



ACAMONTA

Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg

28. Jahrgang 2021



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

der Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg begeht in diesem Jahr seinen 100. Geburtstag. Seit seiner Gründung im Jahr 1921 kann er auf eine bewegte Geschichte mit einschneidenden Brüchen zurückblicken, die jedoch immer wieder Anlass für Neuanfänge boten – sowohl nach der NS- als auch nach der DDR-Zeit (vgl. Vereinsgeschichte, ab S. 161). Heute ist der Verein eine feste Größe an der Freiburger Bergakademie und leistet wichtige Unterstützung bei der Alumni-Arbeit und Traditionspflege sowie durch Förderung von Studierenden und Nachwuchswissenschaftler:innen. Als vor einiger Zeit mit der Jubiläumsvorbereitung begonnen und dabei konkret die Erstellung einer Chronik und die Durchführung einer Festveranstaltung geplant wurden, konnte keiner der Beteiligten erahnen, dass dieses Jubiläum in diesem Jahr nicht wie vorgesehen in würdigen Rahmen begangen werden könne und die Feierlichkeiten auf einen späteren Zeitpunkt zu verschieben wären.

Die COVID19-Pandemie wirkte sich nicht nur auf die Geburtstagsfeier aus, sondern auch – und das weitaus deutlicher – auf die Studienbedingungen an der TU Bergakademie Freiberg in den letzten Semestern. Die Situation mit Lockdown, Homeoffice und Distanzunterricht stellte dabei viele Lehrende vor besondere Herausforderungen. Mit welchen Problemen sie bei der Bereitstellung neuer (digitaler) Lehrformate konfrontiert waren und welche kreativen Lösungen gefunden wurden, lesen Sie u.a. in den Artikeln von A. Solf-Hofbauer (ab S. 125), M. Jacob (ab S. 126) oder K. Bellman (ab S. 131). Über den Beitrag des VFF zur Krisenbewältigung durch Einrichtung eines Hilfsfonds zur Unterstützung von unverschuldet in Not geratenen Studenten wird ab S. 149 geschrieben.

Trotz diverser pandemiebedingter Beeinträchtigungen konnte erfreulicherweise eine Reihe von Baumaßnahmen an der Universität fortgeführt beziehungsweise beendet werden. Zu den spektakulärsten zählte dabei sicherlich die Rekonstruktion des Fördergerüsts auf der Reichen Zeche (S. 104-5). Inzwischen weit fortgeschritten sind die Arbeiten zum Neubau von Laboratorien der Chemischen Institute am Clemens-Winkler-Bau und der Universitätsbibliothek

mit Hörsaalzentrum am Wissenschaftskorridor (S. 101). Bereits in diesem Jahr wurde das Gebäude für das neue Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) an die Nutzer übergeben, die hier ideale Bedingungen vorfinden, um die Entwicklung von ressourcen- und energieeffizienten Technologien im Bereich der Grundstoffindustrie voranzutreiben (ab S. 21).

Lösungsansätze für einen verantwortungsvollen Umgang mit den endlichen Ressourcen unserer Erde werden in diesem Heft insbesondere von Nachwuchswissenschaftler:innen und neuberufenen Professor:innen vorgestellt, wie beispielsweise die Beiträge zu Wegen für die Transformation zu einer nachhaltigen Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoffwirtschaft (ab S. 28), zu Verfahren zur Gewinnung von Platin aus Mikroorganismen (ab S. 34) oder Batterierecyclings-Prozessen (ab S. 42) zeigen. Diesen Themenkreis bearbeiten seit nunmehr zehn Jahren auch Wissenschaftler:innen der TU Bergakademie und des Helmholtz-Instituts für Ressourcentechnologie in Freiberg in enger Kooperation (bspw. S. 25). Eine bisher eher randläufige Rolle spielte das Feld der Weltraumforschung an unserer Universität, das aufgrund vielfältiger Anknüpfungspunkte an traditionell hier verankerte Forschungsbereiche nun verstärkt in den Mittelpunkt rücken soll (ab S. 59).

Forschungsprojekte an der TU Bergakademie Freiberg profitieren seit langer Zeit von finanzieller Unterstützung durch Stiftungen. Als ein von der Dr. Erich Krüger-Stiftung gefördertes Vorhaben feierte das Schockwellenlabor im Bergwerk „Reiche Zeche“ in diesem Jahr bereits seinen 10. Geburtstag. Dem vielfältigen Engagement von Stiftern an der TU Bergakademie Freiberg – auch in Bezug auf die ACAMONTA – gebührt besonderer Dank.

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 Vorstandvorsitzenden (Prof. Hans-Ferdinand Schramm) 6

Stiftungen

10 Jahre Forschung im Freiburger Schockwellenlabor 7
Thomas Schlothauer, Gerhard Heide, Kevin Keller,
Marcus R. Schwarz, Edwin Kroke

Precision Farming 14
Saskia Stopp, Daniela Vogt, Carla Vogt

Freiberg ehrt Stifterin Erika Pohl-Ströher 17
Pressestelle der TU Bergakademie Freiberg

Forschung an der TU Bergakademie Freiberg

Die Suche nach dem Stein der Weisen heute 19
Peter Paufler

Das neue Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) .21
Theresa Lemser im Namen des Direktoriums des ZeHS

Funktionsschichten mittels flexibel strombasierter
Beschichtungs- und Modifizierungsprozesse 23
Dirk C. Meyer, Barbara Abendroth, Hartmut Stöcker, Tina Weigel,
Matthias Zschornak, Theresa Lemser

Innovationsplattform für die Kreislaufwirtschaft der Zukunft 25
Anne-Kristin Jentzsch

Alternative Wege für die Transformation zu einer nachhaltigen
Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoff-Wirtschaft 28
Roh Pin Lee, Martin Gräbner, Bernd Meyer

recomine 32
Philipp Büttner, Jonathan Engelhardt

Gewinnung von Platin durch Mikroorganismen 34
Sabrina Hedrich, Marika Hofmann, Malte Junge

Helios Lab 37
Richard Gloaguen, Sandra Lorenz

Energiewende auf der Nanoskala? 39
Felix Plamper

COOL-Prozess 42
Doreen Kaiser, Robert Mende, Carsten Pätzold, Martin Bertau

Solare Eigenversorgung im Mehrfamilienhaus 44
Andreas Gäbler, Thomas Storch, Undine Fleischmann, Tobias Fieback

Unternehmerische Risikosteuerung mit Hilfe von
Power Purchase Agreements 48
Andreas Horsch, Steffen Hundt

Natürliche Stoffsenken mit biogeochemischem
Prozessverständnis managen 51
Maximilian P. Lau

Ressourcenschutzrecht – Stand und Perspektiven 53
Maximilian Wormit

Resonanzeffekte lassen Dimensionen verschwinden 56
Marcus Waurick

Weltraumforschung 59
Carsten Drebenstedt, Jens Grigoleit

Kühlung von Sondermaschinen zur Beledung von Automobilinterieur ... 62
Aline Jünger, Thomas Storch, Holger Orawetz, Tobias M. Fieback

Chaos!? - Die Faszination und Herausforderung amorpher Materialien 64
Sindy Fuhrmann

Charakterisierung und Quantifizierung der Phasenbildung in
zementhaltigen Materialien 66
Elsa Qoku, Thomas A. Bier

Die Zukunft der Kernherstellung in der Gießerei 72
Michal Szucki, Natalia Mrówka, Simon Genthe, Andreas Zach

Bilanzierung von bedingten Kaufpreisbestandteilen
bei Unternehmenserwerben 75
Silvia Rogler

Genderforschung an der TU Bergakademie Freiberg 78
Jonathan Biehl, Karina Sopp, Jutta Stumpf-Wollersheim

Der Maschinenbau von Morgen 79
Martin Sobczyk

Neue Gangstudien bieten systemisches Verständnis für die Entstehung
hydrothormaler Lagerstätten im Erzgebirge 83
Mathias Burisch, Max Frenzel, Marie Guilcher, Laura J. Swinkels,
Sebastian Haschke, Nils Reinhardt, Jens Gutzmer

RockFeel 88
Carsten Drebenstedt, Taras Shepel

Klimagestaltung und Energiewende 89
Wolfgang Michel

Universität aktuell

Die Tenure-Track-Professur 93
Alena Fröde

Gründungsmonitor 2020 94
Marcus Gast, Karina Sopp

Promotion – Ja oder Nein!? 95
Alena Fröde

Vom Forschungsprojekt zum Startup 96
Andre Uhlmann

Ausgründungsprojekt „NaPaGen“ 98
Nadja Lumme

Die Universität als nachhaltige und umweltgerechte Organisation 99
Maximilian P. Lau, Jens Grigoleit

Einzigartige Forschungsinfrastruktur für die Prozessmetallurgie 100
Volker Recksiek, Michael Bestian, Norman Kelly

Verbesserung der Studien- und Forschungsbedingungen an der
Technischen Universität Bergakademie Freiberg 101
Jens Then

Eröffnung des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung
(ZeHS) nach kurzer Bauzeit 102
Theresa Lemser

Rekonstruktion Fördergerüst „Reiche Zeche“ 104
Helmut Mischo

Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft 2022 106
Denise Pfitzner

Wiedereröffnung der terra mineralia unter neuer Leitung 107
Andreas Massanek, Andrea Riedel, Luisa Rischer, Philomena Kons-
tantinidis, Christina Seifert, Gerhard Heide

Schatzsuche online: schneller und leichter Zugang zu wertvollen
Rohstoffdaten 108
Daniel Korb, Anna Gahlert, Daniel Franke-Laske

Fünf Jahre Zusammenarbeit zwischen den Staatlichen Kunst-
sammlungen Dresden und der TU Bergakademie Freiberg 110
Ulf Kempe, Michael Wagner, Rainer Richter, Eve Begov, Andreas
Massanek, Ulrike Weinhold, Andreas Frauendorf, Martin Wagner,
Michael Gäbelein, Gerhard Heide, Dirk Syndram

Rektor erneut zum Vorsitzenden der Landesrektorenkonferenz Sachsen
gewählt 112
Ellen Weißmantel, Christin Grunenberg, Luisa Rischer

Der Hochschulrat der TU Bergakademie Freiberg 112
Reinhard Schmidt, Simone Raatz, Ellen Weißmantel

9. Senat der TU Bergakademie Freiberg 114
Ellen Weißmantel

50 Jahre Wissenschaftlicher Altbestand 115
Angela Kugler-Kießling

Oryktognostische Sammlung von Abraham Gottlob Werner online 117
Gerhard Heide, Beata Heide

Neu in der Mineralogischen Sammlung 119
Andreas Massanek, Ilona Stoiber

Universität unterstützte medizinische Notfallversorgung des Freiburger
Krankenhauses 120
Pressestelle der TU Bergakademie Freiberg

Studium

Weiterentwicklung des Studienangebots an der TU Bergakademie
Freiberg 122
Swanhild Bernstein, Helmut Mischo, Conrad Jackisch

Von analog zu digital - Online Studieninformation in Pandemiezeiten 123
Sabine Schellbach

Corona-Pandemie und Digitale Lehre 125
Anja Solf-Hofbauer, Yulia Dolganova

Digitale Lehr-Lern-Konzepte für die Vermittlung von fremdsprachlichen
Präsentationstechniken 126
Mark Jacob, André Dietrich, Sebastian Zug

Studienstiftung des deutschen Volkes 128
Swanhild Bernstein, Michael Stelter, Gerhard Ring, Silvia Rogler,
Yvonne Joseph

Digitaler Sprachunterricht – Herausforderung und Chance! 131
Kerstin Bellmann, Birgit Seidel-Bachmann

Schülerlabor „Science meets School - Werkstoffe & Technologien in
Freiberg“ 133
Annett Wolf

Als ich mit Professor Hauk nach Chemnitz fuhr, 135 Thomas Schmalz	Götz P. Rosetz Das sächsische Kobalt- und Blaufarbenwesen 170 Mike Haustein „(...) eine Art von Mittelpunkt chemischer Kentniße in Sachsen.“ 171 Norman Pohl Ernst Friedrich von Schlotheim 174 Peter Hauschild Der Freiburger Radiumkongress am 27. Mai 1921 175 Norman Pohl 70 Jahre Klubhaus „Alte Mensa“ 180 Thomas Schmalz Der Aufbau der russischen Bergverwaltung und der „Fall“ des Ober- berghauptmanns Curt Alexander von Schönberg 182 Friedrich Naumann Gedenken zum 80. Jahrestag des Überfalls Deutschlands auf die Sowjetunion 185 Birgit Seidel-Bachmann Getrenntes und Gemeinsames im deutschen Markscheidewesen 186 Karl-Heinz Heyne Der Freiburger Professor und der Bergakademist 188 Knut Neumann Alchemie, Montanistik und Naturphilosophie in Freiberg 194 Witalij Morosow Zum 160. Todestag von Christian Friedrich Brendel 195 Gerd Grabow 190 Jahre Schwarzenberg - Gebläse 196 Gerd Grabow Erinnerungen an meinen Lehrer Sigismund Otto Rolf Rösler 198 Detlev Dusemond
International Darf's ein bisschen Ausland sein? 137 Anja Weigl Internationale virtuelle Zusammenarbeit im Kurs „Production Planning in Additive Manufacturing“ 139 Moritz Lamottke, Henning Zeidler, Manuela Junghans, Yulia Dolgova Russisch-Deutsche Wissenschaftsbeziehungen des 18.-20. Jahrhunderts auf dem Gebiet der Bodenschätze 140 Ferdinand Damaschun, Irina Talovina, Gerhard Heide Sächsische Bergbaukunst im 18. Jahrh. auf dem Weg nach Russland 142 EURECA-PRO – gemeinsame Ausbildung und Forschung in der Europäischen Union neu denken 143 Carsten Drebenstedt Deutschland-Büro des UNESCO-Kompetenzzentrums für Ausbildung im Rohstoffsektor 145 Carsten Drebenstedt, Felix Baitalow	Personalia Jutta Knittel – 1931-2020 203 Angela Kugler-Kießling Nachruf für Altrektor Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Horst Gerhardt 205 Dietrich Stoyan, Helmut Mischo Nachruf für Prof. Kurt Biedenkopf 207 Pressestelle der TU Bergakademie Freiberg Ein Leben für die Brennstofftechnik 207 Thomas Kuchling, Steffen Krzack, Bernd Meyer Nachruf auf Prof. Gerd Neuhof 209 Bernd Lychatz Nachruf auf Prof. Dr. rer. nat. habil. Heinzjoachim Franeck 210 Gerd Walter, Gunter Krause Nachruf für Prof. Dr. oec. habil. Dieter Slaby 211 Horst Brezinski Nachruf für Ehrendoktor Dietrich von Dobeneck 212 Rolf Zenker
Aus dem Vereinsleben Aus den Protokollen der VFF-Vorstandssitzungen 2020 und 2021 147 Hans-Jürgen Kretzschmar Wir sagen vielen Dank! 149 Hans-Jürgen Kretzschmar St.-Barbara-Stipendienfonds des VFF für Migrantinnen-Studierende 150 Hans-Jürgen Kretzschmar Modellierung des Bruchverhaltens austenitischer TRIP-Stähle Bernhardt von Cotta Preis 151 Andreas Burgold Radikaler Flammenschutz – Vom Moleküldesign bis zur Anwendung 153 Christian Posern, Carl-Christoph Höhne Hinterlassenschaften des handwerklichen Bergbaus (HWB) in ehemaligen Agrar- und Waldgebieten in Ghana 156 Martin Kofi Mensah, Carsten Drebenstedt Präsentation von Forschung auf digitaler Konferenz 158 Paul Scapan Nerdcup – Das Spiel mit den Daten 159 Maximilian Schwabe	
Historie Blick in die VFF-Geschichte 161 Hans-Jürgen Kretzschmar Mit Web-GIS gewürdigt – Julius Weisbach (1806-1871) 165 Konrad Grossehelweg Alfred Wilhelm Stelzner und die Stelzner-Büste 166	

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

Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. (VFF)
 Vorsitzender: Prof. Hans-Ferdinand Schramm
 Geschäftsführer: Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar
 Postanschrift: Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V.
 Akademiestraße 6, 09599 Freiberg
 Geschäftsstelle: Nonnengasse 22, 09599 Freiberg
 Telefon: +49 (0)3731 39-2559, 39-2661
 E-Mail: freunde@zv.tu-freiberg.de
 Internet: https://tu-freiberg.de/wirtschaft/stiften-foerdern/freunde-foerderer
 Jahresbeitrag: 30 EUR Einzelmitglieder; 250 EUR juristische Mitglieder
 Redaktionsleitung: Annett Wulkow Moreira da Silva
 Redaktionskollegium: Prof. Dr. Peter Seidelmann, Dipl.-Slaw. Birgit Seidel-Bachmann,
 Prof. Dr. Helmuth Albrecht, Prof. Dr. Ulrich Groß, Dr. Uta Brusky
 Rubriken-Titelbilder: Seite 18 (Forschung): Forschung am ZeHS:
 Hochtemperatur-Röntgen-Diffraktometer
 Fotografische Vorlage: Dr. Erik Mehner
 Seite 92 (Universität aktuell): Crispin Mokry
 Seite 121 (Studium): Detlev Müller
 Seite 136 (International): TU BAF / Torsten Mayer
 Seite 146 (Aus dem Vereinsleben): TU BAF, UAF, GF 21
 Seite 160 (Historie): TU BAF, UAF, OBA 540, Bl. 133
 Seite 202 (Personalia): Siegfried Werner, Tom Göpfert

Gestaltung/Satz/Druck: Dzierzon Druck, Freiberg
 Auflage: 1300

Die ACAMONTA 2021 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 gekennzeichnete Abbildungen in ihren Beiträgen. Auszugsweiser Nachdruck von Beiträgen bei Angabe von Verfasser und Quelle ist gestattet. Im Sinne der Wünsche von Autoren und Lesern nach detaillierter 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., 2021

ISSN 2193-309X



Unsere Vereinszeitschrift ACAMONTA erscheint diesmal in einem besonderen Jahr, dem Gründungsjahr des Vereins vor 100 Jahren am 3. Dezember 1921. Wir wollten die Gründungsfeier am 2. und 3. Dezember 2021 begehen, mussten diese Feier aber auf 2022 verschieben. Das Jahr 2021 weist die Besonderheit des Lebens unter den Pandemie-Bedingungen COVID19 auf, gekennzeichnet von eingeschränkten persönlichen Begegnungen zwischen den Vereinsmitgliedern und zu den Geförderten an der TU Bergakademie Freiberg; doch hat der Verein in seiner bewegten 100-jährigen Geschichte in Deutschland und Freiberg ganz andere Hindernisse gemeistert. Davon ist in der eigens erschienenen Festschrift als eine ausführliche Chronik nachzulesen, die erstmals die Vereinsgeschichte geschlossen zusammenfasst und die jedes Vereinsmitglied erhalten hat.

Seit der deutschen Wiedervereinigung im Jahre 1990 ist unser Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. wieder in der aktuellen Satzungskonstellation aktiv. Im Geist und Wirken knüpfen wir noch heute an die Motivationen zur Gründung unserer Urvorläuferinstitution im Jahre 1921 an. Mit einer Anzahl von rund 1.500 persönlichen sowie institutionellen Mitgliedern, einem beachtlichen Finanzbudget und der Verantwortung für das uns anvertraute Millionenvermögen der Heinisch-Stiftung zur Förderung der geowissenschaftlichen Sammlungen unserer Universität dürften wir nicht nur in der eigenen Historie einen Rekordstand erreicht haben, sondern auch im Vergleich zu anderen akademischen Fördervereinen ausnehmend gut situiert sein. Die tägliche Arbeit in unserer Geschäftsstelle unter der strukturierten Leitung verdienter Geschäftsführer widmet sich der operativen Umsetzung unserer vielseitigen Projekte zur Erfüllung des satzungsmäßigen Förderauftrages. All unsere Aktivitäten sind darauf ausgerichtet, die TU Bergakademie speziell in Angelegenheiten zu unterstützen, für die keine öffentlichen Mittel zu erlangen sind. Einen besonderen Fokus richten wir natürlich auf beratende und finanzielle Hilfeleistungen für die Studierenden. Dabei pflegen wir eine Kultur der Transmission zwischen den etablierten Alumni-Jahrgängen und der jungen Nachwuchsgeneration. Die TU Bergakademie Freiberg sieht ihr Zukunftsprofil in der Forschung zur Schaffung einer weltweit nachhaltigen Ressourcenwirtschaft unter interdisziplinärer Betrachtung der ingenieur-, natur- und

wirtschaftswissenschaftlichen Problemstellungen. Diese moderne hochschulstrategische Positionierung entspricht zwar einerseits exakt den derzeit dominierenden Erwartungen der Gesellschaft, kollidiert aber andererseits mit einer leider nur sehr begrenzten Neigung der heutigen Abiturientinnen und Abiturienten, ein Studium in den so genannten MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) aufzunehmen. Eine Schlüsselkomponente für den weiteren Erfolg unserer Hochschule liegt daher zweifellos in der Gewinnung einer ausreichenden Anzahl geeigneter Studierender für jede der sechs Fakultäten. Unser Förderverein sieht sich gut gerüstet, um die TU Bergakademie über das bisherige Tätigkeitsspektrum hinaus bei der Bewältigung ihrer Zukunftsherausforderungen hilfreich zu begleiten. Gerne werden wir Konzepte zur Begeisterung junger Menschen für ein Studium an unserer Universität unterstützen, soweit dies nicht anderweitig möglich oder zur Kofinanzierung öffentlicher Gelder nützlich ist. Sowohl der während der Nachkriegs- bzw. Nachwendejahre in großen Teilen der Bevölkerung erlangte Wohlstandsgewinn als auch die zunehmende Ablösung klassischer Familienverbände durch Patchwork-Lebensgemeinschaften weiten in unserer Gesellschaft den Blick für gemeinnützige Spendenleistungen oder sinnstiftende Nachlassregelungen. Wir sehen es in dieser Situation als eine potenzialreiche Zukunftsaufgabe an, die weitere Prosperität des Mäzenatentums zum Wohle unserer weltweit angesehenen Universität zu befördern. Eine wichtige Basis hierfür bietet das sorgfältige Beziehungsmanagement unseres Vereines in einer idealerweise engen Kooperation mit einer kontinuierlichen Alumniarbeit seitens der Hochschule. Über die vielfältigen vom Förderverein initiierten und begleiteten Aktivitäten sowie zu dessen Geschichte gibt eine Reihe von Beiträgen in der vorliegenden Ausgabe der ACAMONTA Auskunft. Beim Lesen dieser und vieler weiterer Artikel zum Forschungs-, Studiums- und Universitätsleben wünsche ich Ihnen viel Freude und hoffe, dass Sie neue und interessante Einblicke zu aktuellen Geschehnissen an der TU Bergakademie Freiberg gewinnen.

*Prof. Hans-Ferdinand Schramm
Vorstandsvorsitzender des
Vereins Freunde und Förderer der TU Bergakademie e. V.*

10 Jahre Forschung im Freiburger Schockwellenlabor

Thomas Schlothauer^{a,c}, Gerhard Heide^{a,c}, Kevin Keller^{a,c}, Marcus R. Schwarz^{b,c}, Edwin Kroke^{b,c}

Vor zehn Jahren, am 11. Juli 2011, wurde das Schockwellenlabor (SWL) des Freiburger Hochdruckforschungszentrums (FHP) durch den Rektor der TU Bergakademie Freiberg, Prof. Bernd Meyer, feierlich eingeweiht. Die Mitglieder der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung, Frau Dr. Erika Krüger, Herr Prof. Groll und Herr Lütke-Uhlenbrock waren Ehrengäste (Abb. 1 und 2). Die Festveranstaltung fand im Stufenkabinett des Forschungs- und Lehrbergwerks „Reiche Zeche und Alte Elisabeth“ (FLB) der TU Bergakademie statt und erreichte auf der 1. Sohle in 150 m Tiefe mit der Enthüllung der Stiftertafel am Eingangsbereich des Schockwellenlabors (Abb. 3) ihren Höhepunkt.



Abb. 1: Stifterratsmitglieder Frau Dr. Krüger und Herr Lütke-Uhlenbrock (v.r.n.l.) bei der feierlichen Eröffnung des Schockwellenlabors im Stufenkabinett (11.07.2011).

Abb. 2: Rektor Prof. Dr. Bernd Meyer eröffnet das Schockwellenlabor (11.07.2011).

Abb. 3: Frau Dr. Krüger und Herr Lütke-Uhlenbrock (v.l.n.r.) enthüllen die Tafel am Eingangsbereich des Schockwellenlabors (11.07.2011).

Bis zum Zeitpunkt der feierlichen Einweihung des Schockwellenlabors im Jahr 2011 hatte die Schockwellensynthese neuartiger Materialien hier in Freiberg bereits ein gutes Stück Strecke zurückgelegt. Angeregt durch Professor Wolfgang Voigt, unterhielten sich die im Jahr 2005 gerade neu berufenen Professoren Gerhard Heide, Kristallograph am Institut für Mineralogie, und Edwin Kroke, Molekül- und Festkörperchemiker am Institut für Anorganische Chemie, über ihre Forschungsinteressen. Als Prof. Heide erfuhr, dass Prof. Kroke am Ernst-Mach-Institut für Kurzzeitdynamik der Fraunhofer-Gesellschaft in Efringen-Kirchen (EMI-FhG) mit der Detonation von Sprengstoff Höchstdrucksynthesen erfolgreich durchgeführt hatte, schlug er – mehr im Scherz – vor, diese Experimente von nun an in unserem Bergwerk durchzuführen.

Gesagt, getan: Mit dem FLB verfügte die TU Bergakademie Freiberg bereits über eine komplette Infrastruktur als Zentrale Forschungseinheit mit qualifiziertem Personal und den Berechtigungen zur Durchführung von Sprengarbeiten. Die Gefahr von Schall- und Staubemission sowie unerwünschter Erschütterungen sind bei einer Teufe von ca. 150 m für Dritte nicht gegeben und die kostspielige Errichtung entsprechender Bauten mit den notwendigen, hohen Sicherheitsstandards über Tage konnte entfallen – ebenso die komplexen Genehmigungs- und Kontrollverfahren verschiedener Ämter. Für das FLB ist das Sächsische Oberbergamt die einzig zuständige Behörde, die sowohl über die Zulassung von Sprengarbeiten, deren Art und deren Durchführung als auch über die Art und Weise der sicheren Lagerung der Sprengstoffe auf der Grundlage des Berggesetzes entscheidet. Aus genau diesem Grunde ist die Anzahl derartiger für die zivile Nutzung zugänglicher Forschungseinrichtungen in Deutschland bzw. in ganz Europa stark limitiert. Von unschätzbarem Vorteil ist zudem, dass Planungen von Labor- und Versuchsräumen sowie deren Ausführung und Erweiterung durch das Personal des FLB selbst ausgeführt werden können.

Die ersten Schockwellensynthesen konnten bereits 2006 nach nur zwei Monaten Bauzeit in einem Versuchsort erfolgreich durchgeführt werden. Wertvolle Unterstützung wurde durch Herrn Dr. U. Hornemann, EMI der FhG (Fraunhofer-Gesellschaft) gegeben. Allerdings erwies sich dieser im FLB liegende Versuchsraum mit einer maximal möglichen Ladungsmenge von 1000 g Nettoexplosivmasse im Laufe der Jahre für den systematischen Auf- und Ausbau der Schockwellensynthese als zu klein und zu instabil (Abb. 4 und 5) – und erste Überlegungen über einen größeren Versuchsraum folgten.



Abb. 4: Der erste Sprengplatz im Abwetterbereich des Wilhelm Stehenden Nord vor dem Experiment (2006).

Abb. 5: Sprengplatz nach ca. 100 durchgeführten Sprengungen.

II

Während der Habilitationszeit von Prof. Kroke am Institut für Materialwissenschaften, TU Darmstadt, waren er und sein Mitarbeiter Dr. Marcus Schwarz an der Entdeckung und Synthese der Hochdruckmodifikation von Siliciumnitrid, dem

Kontakt

Thomas.Schlothauer@mineral.tu-freiberg.de, gerhard.heide@tu-freiberg.de

a Institut für Mineralogie

b Institut für Anorganische Chemie

c Freiburger Hochdruckforschungszentrum (FHP)

γ -Si₃N₄, beteiligt.¹ Dieses Material ist bereits in seinen unter Normaldruck hergestellten Modifikationen sehr hart und temperaturbeständig. Prof. Kroke wollte, basierend auf diesem Material, in Freiberg die Synthese von neuartigen Hartstoffen und -materialien aufbauen. Hierfür konnte er sehr frühzeitig einen Großgeräteantrag für eine 1000-Tonnen-Vielstempelpresse (multi anvil press - MAP) erfolgreich einwerben. Die Universität unterstützte diese Beschaffung mit dem Umbau eines ehemaligen Traföhäuschens in ein modernes Technikum für die MAP, das bereits am 29. November 2007 übergeben wurde (Abb. 6).² Damit war die Grundlage für die systematische Nutzung statischer Höchstdruckmethoden in Freiberg gelegt.



Abb. 6: Eröffnung des FHP-Technikums mit Schlüsselübergabe des SIB (29.11.2007).

Die Schockwellensynthese ihrerseits bietet gegenüber der MAP bzw. anderen Hochdruckpressen nicht nur den Vorteil, dass viel größere Stoffmengen hergestellt, sondern auch viel höhere Drücke und Temperaturen erzeugt werden können. Der Nachteil liegt in der Kurzzeiddynamik, das bedeutet, dass die Reaktionszeit im Bereich von wenigen Mikrosekunden liegt. Dies kann aber auch ein Vorteil sein, denn es können sich einerseits Teilchen im Nanobereich bilden, andererseits kann mit wesentlich höheren Abkühlgeschwindigkeiten gearbeitet werden. Somit können Materialien gewonnen werden, die mit anderen Methoden nicht darstellbar sind. Entsprechende Beispiele und Angaben zu den Syntheseparametern werden unten aufgeführt. Die statischen und dynamischen Methoden ergänzen sich in idealer Weise und sind in ihrer Kombination im Freiburger Hochdruckforschungszentrum an der TU Bergakademie Freiberg für eine Hochschule weltweit einmalig.

Die Erzeugung hoher dynamischer Drücke für die Materialsynthese erfolgt durch die Kollision von beschleunigten Metallscheiben oder auch Rohren mit dem Probenmaterial bzw. dem Probencontainer (Abb. 7 und 8). Hierfür sind hochbrisannte Sprengstoffe erforderlich, die durch ihre Detonation die Metallscheibe bis auf über 4.000 m/s beschleunigen können und damit kurzzeitig zu Probendrücken bis 200 Gigapascal (2 Megabar) führen. Gleichzeitig können infolge der adiabatischen Kompression der Probe sehr hohe Temperaturen von einigen Tausend Kelvin entstehen.

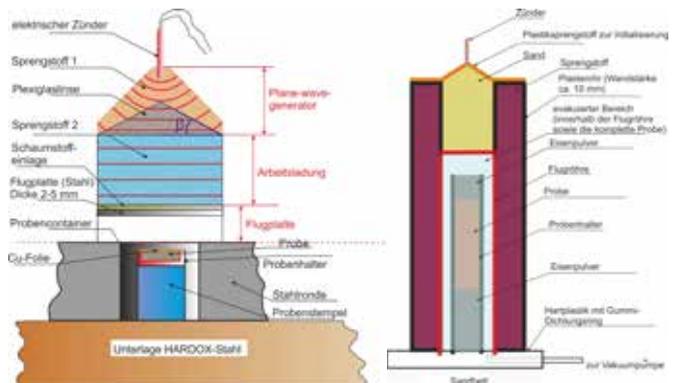


Abb. 7 (links): Schema der Standardversuchsanordnung eines Plane-Wave-Generator. Durchmesser der Arbeitsladung ca. 80 mm.
Abb. 8 (rechts): Schema der zylindrischen Versuchsanordnungen (flyer tube).

III

Die erste Ausschreibung der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung für ein fakultätsübergreifendes, interdisziplinär aufgestelltes, anwendungsnahe Forschungskolleg kam genau zum richtigen Zeitpunkt.³ Die gemeinsamen Interessen der Kollegen Jens Kortus (Theoretische Physik), David Rafaja (Werkstoffwissenschaften: Hartstoffschichten und Charakterisierung), Hans Seifert (Werkstoffwissenschaften: Spark Plasma Sintering - SPS), Lutz Krüger (Werkstofftechnik: Werkstoffprüfung), Heinz Konietzky (Felsmechanik), Matthias Reich (Tiefbohrtechnik) und der Autoren führte zu der Idee, sich zu bewerben. Das Konzept, Hartstoffe - beginnend bei der Theorie über die Synthese und Charakterisierung bis hin zum Test - unter realitätsnahen Bedingungen zu untersuchen, überzeugte den Stifterrat, und mit der daher zugesagten Finanzierung konnte das Freiburger Hochdruckforschungszentrum (Freiberg High-Pressure Research Center - FHP) gegründet werden.⁴ Ein Teil der Finanzierung stand für die Konzeption, den Aufbau und die Inbetriebnahme des angedachten Schockwellenlabors zur Verfügung, um in Zukunft langfristig, weit über die Laufzeit des Forschungskollegs hinaus Großversuche durchführen zu können und einen international ausstrahlenden Forschungsbereich zu etablieren.



Abb. 9: Überhauen im Bereich des Wilhelm Stehenden Nord vor der Aufwältigung des neuen Sprengraumes (08.07.2008).

Dieses Schockwellenlabor sollte nicht nur über den eigentlichen Sprengraum verfügen, sondern auch über einen sicheren Kontroll-, Mess-, Zünd- und Arbeitsraum. Das Volumen der

1 Schwarz, M., Mische, G., Zerr, A., Kroke, E., Poe, B. T., Fuess, H., Riedel, R.: *Spinel-Si₃N₄: Multi-Anvil Press Synthesis and Structural Refinement. Adv. Mat.*, 12 (2000) 883-887.

2 <https://tu-freiberg.de/presse/freiburger-krueger-kolleg-erhaelt-hochdruck-technikum>

3 <https://tu-freiberg.de/universitaet/stiftungen/krueger-stiftung>

4 <https://tu-freiberg.de/hochdruck>



Abb. 10: Mitarbeiter des FLB bei Aufführungsarbeiten für den neuen Sprengraum.



Abb. 11: Arbeiten am neuen Kontroll- und Messraum des SWL.



Abb. 12: Enthüllung der Stiftertafel am neu errichteten Kontrollraum durch Frau Dr. E. Krüger (06.12.2010).



Abb. 13: Besichtigung des SWL anlässlich der Feier des „Letzten Hutes“ (06.12.2010).

Neuauffahrung für den Sprengraum wurde so konzipiert, dass eine maximale Nettoexplosivmasse pro Versuch von 20 kg, äquivalent zum hochbrisanten Sprengstofftyp C4, umgesetzt werden kann. Die Berechnung des dafür erforderlichen Rauminhalts sowie die Ausführung und Dimensionierung des Verschlussbauwerks, das Zugangs- und Bewetterungsmöglichkeiten enthält, wurde von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) Berlin, Abteilung Chemische Sicherheit, Bereich Spreng-, Treibmittel und Pyrotechnik unter Leitung des Regierungsoberamtsrates Dr. Holger Krebs durchgeführt. Für das Labor wurde ein alter Überhau im Bereich des „Wilhelm Stehenden Nord“ ausgewählt, der einen Gleisanschluss (Abb. 9) besitzt und sich unweit des Sprengmittellagers befindet, um die entsprechenden Transportwege kurz zu halten und den Aufwand für die bergmännischen Arbeiten, die durch Mitarbeiter der Reichen Zeche in Eigenleistung durchgeführt wurden (Abb. 10) durch den Einbezug bereits vorhandenen Hohlräume zu minimieren. Der Kontrollraum konnte bereits 2009 fertiggestellt werden (Abb. 11 und 12), die bergmännischen Aufführungsarbeiten des eigentlichen Schockwellenlabors endeten am 6. Dezember 2010 (Abb. 13). Es folgte der Innenausbau, das Einbringen des Betons mit Stahlbewehrung sowie der Abschluss des Labors gegen die Strecke „Wilhelm Stehender Nord“ mit einem Verschlussmauerwerk (Abb. 14 und 15). Diese Arbeiten wurden durch die Belegschaft des FLB in hoher Qualität ausgeführt und am 11. Juli 2011 konnte das neue Schockwellenlabor mit der notwendigen Stellungnahme der BAM und dem Vollzug des Berggesetzes durch das Sächsische Oberbergamt den Testbetrieb aufnehmen. Die Testphase sollte mehrere Jahre umfassen und mit einer Zündung der Maximalladung beendet werden. Hierfür

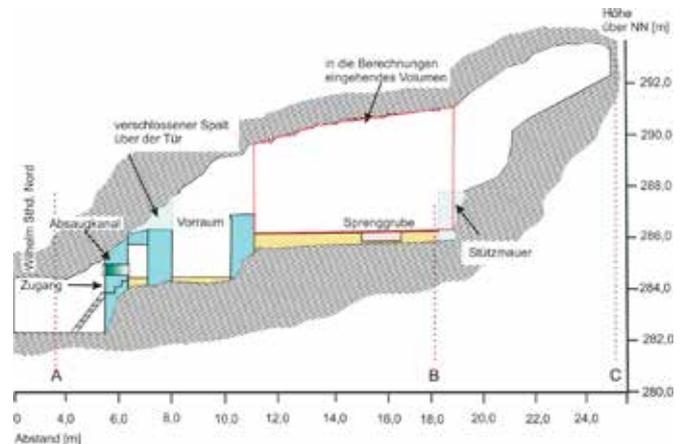


Abb. 14: Schematischer Grundriss des SWL (2011).

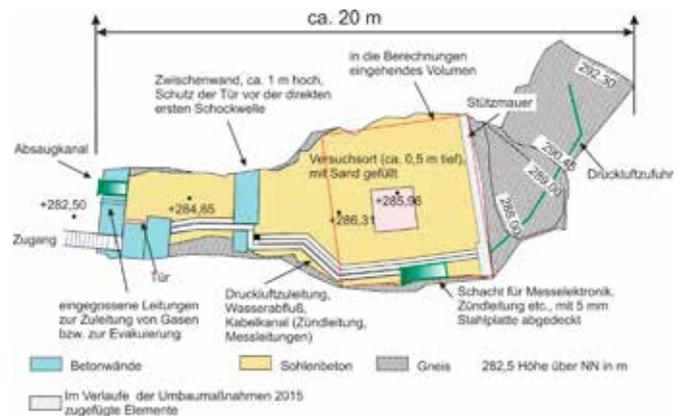


Abb. 15: Schematischer Querschnitt des SWL.

wurden 40 kg gewerblichen Sprengstoffs (als Äquivalent für den hochbrisanten und teuren plastifizierten Sprengstoff nach Militärstandard) eingesetzt. Die Erschütterungen dieses Belastungstests wurden durch eine unabhängige Firma und die Arbeitsgruppe von Prof. Thomas Buske (Geophysik/Seismik) überwacht, die markscheiderische Begleitung der Veränderung des Hohlraumes erfolgte (und erfolgt regelmäßig) durch Laserscans der Arbeitsgruppe von Prof. Jörg Benndorf (Markscheidekunde und Geodäsie). Das Sicherheitskonzept und das Bauwerk bewährten sich; lediglich der Raumverschluss selbst, die Zugangstür, hielt den Belastungen nicht vollumfänglich stand.

Diese neuartige Konzeption, die Entwicklung und der Betrieb eines universitären, untertägigen Schockwellenlabors und von Versuchsaufbauten, die erstmalig eine vollständige Probenrückgewinnung bei Versuchsbedingungen von bis ca. 200 GPa mit Probenmengen im Gramm-Bereich erlauben, war 2016 Gegenstand der Dissertationsschrift des Erstautors.⁵ Zu dem Zeitpunkt, als das SWL in Betrieb genommen wurde, existierte in der Schockwellentechnik noch keine Methode, die eine zuverlässige, reproduzierbare, wissenschaftlich fundierte Probenrückgewinnung bei Drücken unterhalb der Grenze Erdmantel/Erdkern gestattete. Hier herrschen Drücke von ca. 132 GPa⁶ sowie Temperaturen von ca. 3300 °C. Der Erstautor entwickelte auf der Grundlage der dynamischen Impedanztheorie eine an den Lade- und Entspannungskurven orientierte Lösung. Darüber hinaus wurden nicht nur Schocksynthesen als solche durchgeführt, sondern auch eine Vielzahl von Untersuchungen an dynamischer Belastung unterworfenen Materialien unternommen, um die durch die Schockwelle ausgelösten Mechanismen, die Wechselwirkung zwischen den unterschiedlichen Materialien und die Schockwellenphysik besser zu verstehen.⁷

In dieser Zeit bahnte sich auch eine Reihe von neuen Forschungsfeldern an (s. u.), die einen größeren und schwerlasttauglichen Zugang zur Sprengkammer erforderten. Daher wurde eine Erweiterung des SWL geplant. Diese umfasste nicht nur eine neue große, sichere, aber leicht zu bedienende Tür ähnlich einer Bunkertür (Abb. 16), sondern vor allem auch einen neuen Zugang mit Gleisen (Abb. 17) bis zur Sprenggrube, ferner Hebezeug für Schwerlasten sowie eine optimierte Bewetterung, um die Sprengschwaden nach einem Versuch schnell aus der Kammer entfernen zu können. Dankenswerterweise bewilligte der Stifterrat der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung den Antrag auf Umbau und Erweiterung, und die hierfür erforderlichen Arbeiten konnten 2017 beginnen. Nach drei Jahren Umbau, die von den Mitarbeitern des FLB unter der



Abb. 16: Neue Bunkertür nach dem Umbau des SWL (2019).

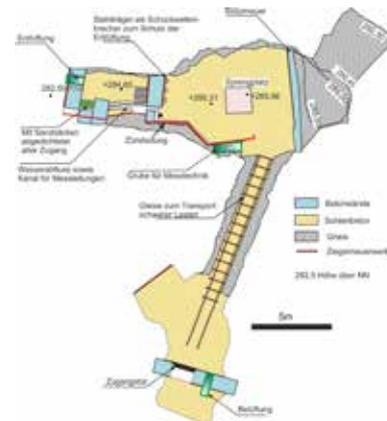


Abb. 17: Schematischer Grundriss des SWL (2019)

Regie des Grubenbetriebsleiters Frank Reuter durchgeführt wurden und den damit verbundenen Genehmigungsverfahren erfolgte die Abnahme im Jahr 2020 mit der für das Schockwellenlabor zulässigen maximalen Ladungsmenge. Die Tür, von einem Freiburger Maschinen- und Anlagenbauunternehmen geplant und gebaut, sowie alle neuen Bauten zeigten keine auf die Sprengung zurückzuführenden Veränderungen, sodass am 30. September 2020 dann auch die „Zulassung für den Regelbetrieb“, gültig bis zum Jahr 2023, durch das Sächsische Oberbergamt erteilt wurde.

IV

Bereits in der Aufbau-, Test- und Umbauphase konnte erfolgreich eine Vielzahl drittmittelbasierter Forschungsprojekte⁸ im Bereich der Synthese neuer Materialien eingeworben werden, aus denen zahlreiche Publikationen und Qualifizierungsarbeiten resultierten. Hier gelang beispielsweise Herrn Keller im Rahmen seiner Dissertation⁹ die erstmalige Schock-

5 Schlothauer, T.: *Aufbau des Schockwellenlabors im Lehr- und Forschungsbergwerk „Reiche Zeche“ der TU Bergakademie Freiberg und die Entwicklung von dynamischen Höchstdrucksynthesemethoden*. TU Bergakademie Freiberg, Freiburger Forschungshefte, Reihe Werkstoffwissenschaften B 370, 2016.

6 1,32 Mbar

7 Schlothauer, T., Schimpf, C., Brendler, E., Keller, K., Kroke, E., Heide, G.: *Halide based shock-wave treatment of fluid-rich natural phases*. J. Phys. Conf. Series 653 (1), (2015) 12033. Schlothauer, T., Schimpf, C., Schwarz, M. R., Heide, G., Kroke, E.: *The role of decompression and micro-jetting in shock wave synthesis experiments*. J. Phys. Conf. Series (2016)774 (1), S. 12053. Schlothauer, T., Schimpf, C., Heide, G., Kroke, E.: *Mechanical Behavior of shocked porous tungsten carbide in the Mbar-range*. In: Golosova O A, Alymov M I (Hrsg.) *Explosive Production of New Materials: Science, Technology, Business, and Innovations*. Torus Press, (2018) S. 225–231.

8 DFG-SPP 1236 *Strukturen und Eigenschaften von Kristallen bei extrem hohen Drücken und Temperaturen: The System Si-Al-O-N at Extreme Pressures: A Synthetic and Computational Route to Novel Materials?* 2006–2011.; EFRE-ADDE: *Funktionales Strukturdesign neuer Hochleistungswerkstoffe durch Atomares Design und Defekt-Engineering*, Teilprojekt: *Neue Volumen-Hartstoffe*. 2009–2014.; Industriepartner: *Schockwellensynthese seltenerd-dotierter Oxo-Nitridosilikate*. 2013–2014.; BMWi-SIGNO: *Herstellung eines kompakten Sinterkörpers aus Aluminiumnitrid mit Kochsalzstruktur (rs-AIN) zur Bestimmung materialspezifischer Eigenschaften*. 2014–2015.; DFG-FOR 1215 *CarboPaT Structures, properties and reactions of carbonates at high temperatures and pressures: Carbonates under shock compression: stability, phase transitions, and chemical reactions with silicates*. 2015–2017.; Industriepartner: *Industrielle Herstellung von Nanokristallinen Hartstoffen*. 2016–2023.

9 Keller, K.: *Schockwellensynthese und Charakterisierung von Aluminiumnitrid*

wellensynthese der Hochdruckphase von Aluminiumnitrid bei gleichzeitigem Rückerhalt des geschockten Probenmaterials. Das nach seiner Kristallstruktur mit rs-AlN¹⁰ bezeichnete Hochdruck-AlN ist um 25 % dichter gepackt als das bei Normaldruck stabile w-AlN mit Wurtzit-Struktur. Dieses keramische Material zeichnet sich durch eine hohe Härte aus¹¹ und war in reiner Form bis dahin nicht in größeren Mengen herstellbar. Das von Keller und seinen Kollegen entwickelte Verfahren zur Schockwellensynthese von rs-AlN wurde erfolgreich zum Patent angemeldet.¹²

Diese Arbeiten waren so erfolgreich, dass es Herrn Keller gelungen ist, eine Nachwuchsforschergruppe im BMBF-Förderprogramm NanoMatFutur einzuwerben. Ziel der N³V-Gruppe¹³ ist es, nanostrukturierte Volumenhartstoffe auf der Basis von Hochdruckphasen aus den Materialsystemen Si-Al-O-N (γ -Si₃N₄, γ -Sialon, rs-AlN) und B-N (cBN/wBN) mit einer geeigneten Mikrostruktur zu entwickeln.¹⁴

V

Neben der Bedeutung der Höchstdrucksynthese für die Festkörperchemie und die Angewandte Mineralogie sind Versuche mit Mineralen bei Drücken von über 200 GPa, wie sie im unteren Erdmantel bzw. an der Kern-Mantel-Grenze herrschen (Abb. 18), von aktuell sehr großem Forschungsinteresse. Mit einem speziell entwickelten Probencontainer konnten Proben vollständig rückgewonnen werden, die Fluide wie CO₂ und H₂O enthalten und damit das Problem des Verhaltens von Kohlenstoff im globalen Kohlenstoffkreislauf der Erde, dem „deep carbon cycle“ untersucht werden. Fragen sind hier z. B., wie sich Diamant in Gegenwart unterschiedlicher car-



Abb. 18: Gleisanschluss in das SWL (2019).

mit Kochsalzstruktur. Dissertation TU Bergakademie Freiberg, 2013. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:105-qucosa-131930>

10 „rs“ für englisch rock salt = Steinsalz bzw. Halit (NaCl)

11 Schwarz, M.; Antlauf, M.; Schmerler, S.; Keller, K.; Schlothauer, T.; Kortus, J.; Heide, G.; Kroke, E. *Formation and properties of rock salt-type AlN and implications for high pressure phase relations in the system Si-Al-O-N*, High Pressure Research, 34 (2014) 22–38.

12 Keller, K.; Schlothauer, T.; Schwarz, M.; Heide, G. & Kroke, E.: *Verfahren und Verwendung einer Vorrichtung zur Herstellung von Aluminiumnitrid mit Kochsalzstruktur mittels Schockwellensynthese*. DE 10 2011 051 647 B4.

13 <https://tu-freiberg.de/bmbf-nachwuchsforschergruppe-n3v>

14 Keller, K.: *Neue nanostrukturierte Nitrid-Volumenhartstoffe – Mit Hochdruck an neuen Materialien forschen! – Die Dr.-Erich-Krüger-Stiftung trägt weitere Früchte*. ACAMONTA 27 (2020) S. 9–12.

bonatischer bzw. silikatischer Gesteine bildet oder wie sich der Übergang von CO₃²⁻ zu CO₄⁴⁻ als Analogon zum SiO₄⁴⁻, das bei diesen Drücken bereits in ein SiO₄-Oktaeder übergegangen ist, vollzieht. Letzteres hat einen erheblichen Einfluss auf das Schmelzverhalten von Gesteinen an der Kern-Mantel-Grenze und die damit verbundene Ausbildung von „mantle plumes“. Die Aufschmelzungsgrade sind in hohem Maße von volatilen Phasen (CO₂, H₂O) abhängig.

VI

Diese Erfahrungen führten zu ersten Gesprächen darüber, dass das Freiburger SWL als Partner am neuen Protonenmikroskop PRIOR am neuen Schwerionenbeschleuniger FAIR¹⁵ in Darmstadt mitwirken könnte. Sie betrafen auch die Unterzeichnung eines Kooperationsabkommens mit dem „Institute of Problems of Chemical Physics“ der Russischen Akademie der Wissenschaften als russischem Partner der methodischen Entwicklung sowie den Aufbau der detonationsbasierten Schockwellentechnik vor Ort. Designvorschläge wurden dazu bereits ebenso eingereicht sowie Vorschläge für erste Messkampagnen in der dortigen „APPA-cave“, dem künftigen Standort des neuen Protonenmikroskops. Für einen internationalen Workshop am 24. April 2019 konnte Freiberg Gastgeber sein.¹⁶

VII

Die Höchstdrucksynthese mittels Schockwellen im SWL beschränkt sich aber nicht nur auf Minerale und neue Materialien, sondern tangiert auch Fragen der Werkstofftechnik, wie das bindemittelfreie Kompaktieren von Hartstoffpulvern oder das Plattieren von Metallblechen¹⁷ – wie auch das Upscaling der Hartstoffsynthese mit der „flyer-tube“-Technologie. Beim sogenannten Explosivplattieren ist die Herstellung eines flächenhaften Verbundes aus unterschiedlichen Materialien das Ziel. Es lassen sich dabei sehr verschiedene Materialien einsetzen: Metalle, Keramiken, Gläser, aber ebenso in Pulverform vorliegende Hartstoffe sowie Kohlenstoff-Nanoröhren. Dadurch können Werkstoffverbunde hergestellt werden, die sich mit konventionellen Schweißmethoden nicht realisieren lassen und somit völlig neue Werkstoffeigenschaften oder auch reduzierte Materialstärken erreicht werden. Das gleichzeitige Plattieren von bis zu sieben Metallblechen ist bereits gelungen.

Die Plattiertechnik wurde auch für die Prägung von Metalloberflächen weiterentwickelt – und es ist so möglich, Symbole, Texte oder auch Pflanzen unikal abzubilden, die eine bemerkenswerte ästhetische Wirkung haben.

VIII

Darüber hinaus können Schockwellen auch für die Erzeugung von Höchsttemperaturen von einigen Tausend Kelvin genutzt werden, um schwer schmelzende Verbindungen – z. B. durch Festkörperreaktionen – herzustellen. Entscheidend ist hierbei, dass das Probensystem geschlossen ist, sodass sich die Stöchiometrie der Ausgangsstoffe nicht verändern kann.

15 <https://fair-center.de>

16 <https://fair-center.de/de/fuer-nutzer/experimente/appa/newsview-appa/article/shock-wave-meeting-for-priorfair.html>

17 Schulze, J.: *Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Sprengplattieren höherfester Metalllegierungen*. Diplomarbeit 2014, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Werkstofftechnik und FHP

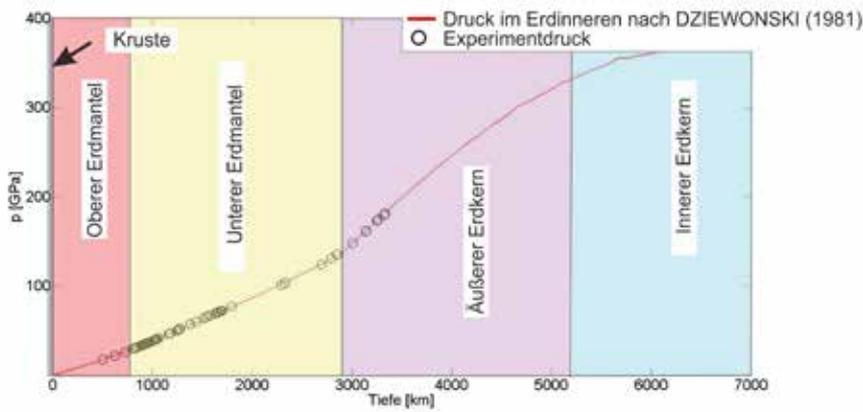


Abb. 19: Experimentell erreichte Drücke (Kreise) auf der Druckkurve nach Dziewonski A M, Anderson D L (1981) Preliminary reference Earth model. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 25: 297–356.

Dieses Synthesekonzept konnte erfolgreich bei der Herstellung von Europium-dotierten Siliconitriden für nanodisperse, fluoreszierende Pigmente (Abb. 19) angewandt werden.¹⁸

IX

Die Möglichkeiten des Freiburger SWL sind nicht auf die Materialsynthese beschränkt. Fragestellungen des Schutzes vor der zerstörenden Wirkung von Sprengstoffexplosionen stellen sich auch im Bereich der Zivilen Sicherheit. Dies ist etwa bei der Beseitigung von Kampfmittelaltlasten im urbanen Raum oder von „Unkonventionellen Spreng- und Brandvorrichtungen“ (USBV), wie z. B. Brief- oder Paketbomben

durchgeführt. Auf Basis entsprechender Vorversuche wurde im März 2021 ein AiF-Antrag (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V.) bewilligt. Die hierzu aufgenommene Arbeit betrifft die Entwicklung von Dämmsäcken aus Glasfasergewebe und eines Glasschaums als Füllmaterial und schließt – neben der Beurteilung entstandener Schäden bzw. der Schutzwirkung solcher Materialien – auch eine direkte Messung der in der Umgebung der zu testenden Objekte herrschenden Drücke ein.

X

Ein weiterer Ansatz, Splitterwirkungen und Druckwellen abzufangen, betrifft Sandwich-Strukturen, wie z. B. Metall-Kunststoff-Verbunde mit zusätzlichen Faservliesen in Plattenform, zumal sich diese neuartige Kombination für Leichtbau-Fassaden eignen würde. Hier sind die durch eine Detonation ausgelösten Materialverformungen noch unverstanden, schwer zu berechnen und somit kaum vorhersagbar. Erste Versuche mit neu entwickelten Platten zeigten erstaunliche Resultate (Abb. 20).

XI

Auch klassische Themen, wie die Untersuchung der Risentstehung und -ausbreitung im Gestein durch Sprengarbeiten sind Untersuchungsgegenstand. Bei konventionellen Ge-



Foto: K. Keller

Abb. 20: Neuartige lumineszierende Pigmente ($\text{Sr}_2\text{Si}_3\text{N}_8\text{:Eu}^{2+}$) durch schockwelleninduzierte Festkörperreaktionen hergestellt, in Abhängigkeit des Eu^{2+} -Gehalts.

oder Gepäckstücken in öffentlichen Gebäuden von großer Aktualität. Der Bedarf an der Entwicklung und Testung von mobilen, nicht brennbaren, textilen Sicherheitsmaterialien als effektiven Dämm- und Schutzstoffen hat stark zugenommen. Es gilt dabei, die Evakuierungsräume und -zeiten so gering wie möglich zu halten. In Zusammenarbeit mit dem Sächsischen Textilforschungsinstitut Chemnitz (STFI)¹⁹ sowie dem Institut für Glas und Glastechnologie unserer Universität wurden dazu Voruntersuchungen an Textilien aus Glasfasern

winnungsarbeiten im Bergbau ist ein Wertverlust durch nicht nutzbares Fein- bzw. Unterkorn unvermeidbar. Im Rahmen der ESF-Nachwuchsforschergruppe „Innocrush“²⁰ wurde hierfür ein wiederverwendbarer Gesteinsprobenhalter entwickelt, der es gestattet, die Auswirkungen von Schockwellen auf eine Gesteinsprobe in größerem Maßstab ($220 \times 220 \times 45 \text{ mm}^3$) zu untersuchen. Der plane-wave-Generator wurde hier so weiterentwickelt, dass die Schockwelle als linienförmiger Impact auf die Gesteinsoberkante trifft (Abb. 21) um Einflüsse des Gesteinsgefüges reproduzierbar untersuchen zu können.²¹

18 Keller, K., Rösler, S., Schlothauer, T., Heide, G., Kroke, E.: *Shock synthesis of $\text{Sr}_2\text{Si}_3\text{N}_8\text{:Eu}^{2+}$ phosphor*. *J. Alloys Comp.*, 784 (2019) 1270–1275, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.01.040>.

19 <https://www.stfi.de>

20 <https://tu-freiberg.de/forschung/forschungsprojekte/projekte/innocrush>
21 Grafe, B., Bravo, A. H., Hesse, M., Morgenstern, R., Rosin, K., Schlothauer, T., Talovina, I. V., Nikiforova, V. S.: *InnoCrush: New Solutions for highly selec-*



Abb. 21: Versuchsaufbau für einen Schockwellen-Test einer Sandwich-Sicherheitsstruktur. Der Sprengstoff befindet sich oberhalb der Platte.



Abb. 22: Sandwich-Sicherheitsstruktur nach dem Explosionstest.

XII

Ähnlich dem zur Rissentstehung und seiner Ausbreitung ist ein Thema aus dem Gebiet des Recyclings gelagert. Für bestimmte großvolumige Bauteile aus faserverstärkten Kunststoffen - wie z. B. für Flügel von Windkraftanlagen - kann die Materialtrennung durch sprengstoffinduzierte Schockwellen eine ökonomisch vertretbare Alternative sein, da sie einen nur geringen technischen Aufwand erfordert. Die im Wasserbad durchgeführten Vorversuche zeigten die technische Realisierbarkeit dieser Methode, bei der das Wasser als Schockwellenüberträger dient und gleichzeitig das Auftreten

tive process chains. In: Litvinenko V (Hrsg.) *Innovation Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects.* 11th Conference of the Russian-German Raw Materials. Taylor & Francis Group, London, 2019, 21-37.



Abb. 23: Versuchsaufbau eines Line-Wave-Generators für Material- bzw. Gesteintest (Breite 400 mm).

gesundheitsschädlicher Stäube, wie z. B. lungengängiger Fasern, verhindert.

XIII

Neue Entwicklungen im SWL richten sich auf den Auf- und Ausbau der Messtechnik, da die quantitative Charakterisierung des Material-, Werkstoff- und Bauteilverhaltens für jedes Prozessverständnis und Simulationen unverzichtbar ist. Eine wichtige Größe ist die Geschwindigkeit von durch die Detonation beschleunigten Probenoberflächen, die durch eine VISAR-Messeinrichtung (Visible Interferometer Spectroscopy for any Reflector) ermittelt werden kann. Mit dieser Technik ist es möglich, Geschwindigkeiten bis zu einigen km/s zu bestimmen. Im Rahmen einer Forschungskoooperation mit der Firma Nordmetall, Adorf, wird zur Zeit ein Messstand für den Betrieb im SWL modifiziert und aufgebaut. Die Dämmwirkung von Schutzmaterialien wird mit piezoelektrischen Drucksensoren orts- und richtungsabhängig erfasst; auch diese Messeinrichtung befindet sich im Aufbau.

XIV

Die Dr.-Erich-Krüger-Stiftung ermöglichte durch ihre großzügige finanzielle Unterstützung im Rahmen des 1. Forschungskollegs somit den Aufbau und die Entwicklung einer völlig neuen, einzigartigen Forschungsinfrastruktur²², die im Zuge ihrer Nutzung auch zu drängenden Themen der Weltraumforschung einen wichtigen Beitrag leisten kann. Das Degradationsverhalten von Weltraummüll wäre eines dieser Themen. Die Autoren danken der Stiftung sehr herzlich. Ebenso danken die Autoren der Belegschaft des Forschungs- und Lehrbergwerks „Reiche Zeche und Alte Elisabeth“ für die kollegiale Zusammenarbeit und großartige Unterstützung. Dem Sächsischen Oberbergamt wird für die zügige Bearbeitung der entsprechenden Anträge ebenfalls herzlich gedankt.

²² Weiterführend: Schwarz, M., Schlothauer, T., Keller, K., Heide, G., Kroke, K.: *Statische und dynamische Ultrahochdruck-Synthesen am Freiberg Hochdruckforschungszentrum (FHP).* In: Groß, U. (Hrsg.) *Glanzlichter der Forschung an der TU Bergakademie Freiberg 250 Jahre nach ihrer Gründung.* TU Bergakademie Freiberg. 2016, S. 116-134.

Precision Farming

Entwicklung einer Hochleistungstechnologie für eine nachhaltige Landwirtschaft

Saskia Stopp¹, Daniela Vogt², Carla Vogt¹

Die globalen Herausforderungen der Zukunft sind klar: Urbanisierung, Wetterextreme, begrenzte Agrarflächen und wachsende Weltbevölkerung. Wie wollen wir die 10 Mrd. Menschen in Jahre 2050 ernähren? Ein Lösungsansatz zur nachhaltigen und ertragreichen Landwirtschaft: Präzisionsackerbau

Der Ackerbau besitzt die zentrale Aufgabe die Ernährung der stetig wachsenden Bevölkerung zu sichern. Die Landwirte stehen vor der Herausforderung, den daraus resultierenden, zunehmenden Bedarf an Lebensmitteln zu decken und dazu die Produktion deutlich zu steigern. Heutzutage muss in Deutschland ein Landwirt etwa 155 Menschen ernähren, im Jahr 1900 waren es noch etwa zehn.[1] Doch die knapper werdende verfügbare Fläche begrenzt den Produktivitätszuwachs und führt zu steigenden Kosten im sozialen und ökonomischen Bereich sowie zu Problemen im Umweltschutz. Mit dem Einsatz von Düngemitteln lässt sich das Ertragspotenzial des Bodens deutlich erhöhen, jedoch führt eine langfristige flächeneinheitliche Ausbringung in einigen Teilen der Nutzfläche zu Überversorgung mit Nährstoffen und bringt starke Umweltbelastungen hervor. Besonders eine langfristige Überversorgung der Felder mit Stickstoff und Phosphor und deren Auswaschung aus dem Boden durch Niederschläge führt zu einer Belastung des Grundwassers sowie zur Eutrophierung von Oberflächengewässern. Die Ergebnisse von Grundwasseruntersuchungen aus dem Zeitraum 2016-2018 zeigen, dass nur 65,0 % der 1215 Messstellen in Deutschland als unbelastet bzw. gering belastet einzustufen sind, während 17,7 % der Messstellen einen erhöhten Nitratgehalt (25 - 50 mg/L) aufweisen und sogar 17,3 % den Grenzwert von 50 mg/L überschreiten.[2] Eine weitere Folge der Überdüngung stellt die erhöhte Abgabe umweltbelastender und klimarelevanter stickstoffhaltiger Gase wie NH_3 und NO_2 in die Atmosphäre dar.[3]

Um die Produktivität zu steigern, gleichzeitig aber Kosten zu senken und den Schutz der Umwelt zu garantieren, gewinnt das Konzept des "Precision Farmings" (dt.: Präzisionsackerbau) zunehmend an Bedeutung. Das Konzept basiert auf der Grundlage der exakt verortenden Kenntnis der Boden- und Pflanzeigenschaften. Die Ackerflächen weisen oft eine hohe Heterogenität in ihren Eigenschaften auf, weshalb bei einer

konventionellen homogenen Bodenbewirtschaftung kein optimales Ertragspotenzial erreicht werden kann. Feldbereiche mit Über- oder Unterversorgung an Nährstoffen können nah beieinander liegen und auch die Pflanzenentwicklung kann je nach Standortbedingungen unterschiedlich erfolgen. Der Präzisionsackerbau beinhaltet die Erfassung dieser Heterogenität und das gezielte Eingehen auf die Unterschiede. Ziel ist es, die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche präzise und ortsdifferenziert in Hinblick auf zahlreiche Parameter zu analysieren. Anhand erstellter Applikationskarten ist es möglich, eine optimale punktuelle Bodenbearbeitung, Pflanzenaussaat, Düngung und einen optimalen Pflanzenschutz zu garantieren. Dadurch können Ressourcen und Umwelt geschont und der Ernteertrag gesteigert werden.[4] Das Grundprinzip ist in Abbildung 1 verdeutlicht.

Die Quantus - Agriculture Technologies GmbH hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Aufnahme der Bodenqualitätsparameter in Echtzeit auf das Feld zu bringen. Dazu wird ein Bohrgerät zur Gewinnung der Bodenprofile am Feldfahrzeug mit einer Analyseeinheit kombiniert. Bis zu einem Meter Tiefe werden engmaschig die Bodenproben entnommen und gleichzeitig sofort die bodenrelevanten Parameter wie Nährstoff-/Wassergehalte, die Bodenbeschaffenheit sowie auch die Bodendichte analysiert. Mit GPS ausgestattet, wird in Echtzeit die Position der jeweiligen Probe lokalisiert. So entsteht ein 3D-Modell des Feldes mit allen Informationen in der Fläche und der Tiefe, die für die optimale Bewirtschaftung nötig sind. Damit lassen sich Fragen, wieviel Wasser oder Dünger benötigt wird, wie der Boden bearbeitet werden muss oder wo welche Pflanze für optimalen Ertrag bei nachhaltigem Materialeinsatz gesät werden sollte, standort-genau beantworten.

Humus als zentraler C-Speicher

Die Bewertung der Bodenfruchtbarkeit ist für jeden Landwirt notwendig. Sie wird zum Großteil durch die organische Bodensubstanz (Humus) und den Wassergehalt bestimmt. So wird die ortsdifferenzierte Bestimmung der Humusgehalte von Ackerböden und deren Feuchte zur Routine für einen produktiven Ackerbau. Die organische Bodensubstanz ist aber nicht nur für die Bodenfruchtbarkeit, sondern auch als Umschlagort von Treibhausgasen für den Klimawandel von Bedeutung. Der Boden speichert Kohlenstoff im Humus und bildet damit die größte terrestrische Senke für Kohlenstoffdioxid. Im Boden ist etwa dreimal mehr Kohlenstoff gebunden, als in der Atmosphäre vorliegt.[5] Des Weiteren gehören organische Zersetzungsprozesse im Boden zu den wichtigsten natürlichen CO_2 -Quellen. Die Böden spielen somit eine zentrale Rolle für das Ziel des Pariser Klimaabkommens. Ein Aufbau des Humusvorrats ermöglicht eine CO_2 -Einbindung, weshalb verstärkte



Abb. 1: Drei zentrale Arbeitsschritte des Precision Farmings 1) Aufnahme von Bodenqualitätsparametern; 2) Berechnen des Nährstoffbedarfs, Erstellen von Applikationskarten; 3) Ausbringen von Düngemitteln

Kontakt

saskia.stopp@chemie.tu-freiberg.de

- 1 Institut für Analytische Chemie, TU Bergakademie Freiberg
- 2 Quantus - Agriculture Technologies GmbH

Anstrengungen zur langfristigen Stabilität der Humusvorräte in Böden einer Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre entgegenwirken können.[5] Die im Mai 2018 erlassenen EU-Rechtsvorschriften fordern, dass jeder EU-Mitgliedstaat ab 2021 sicherstellt, dass die Treibhausgasemissionen aus Landwirtschaft, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft ausgeglichen werden, indem eine mindestens gleich große Menge CO₂ aus der Atmosphäre abgebaut wird.[6] Ein Bericht über die Veränderungen der Vorräte an organisch gebundenem Kohlenstoff in land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden ist daher unumgänglich.

Die Notwendigkeit zur Vor-Ort-Analytik

Die etablierten konventionellen Methoden zur Bestimmung der Bodeneigenschaften und -zusammensetzung beinhalten eine aufwendige Probenahme, Probenvorbereitung und komplexe Analyse im Labor. Die Vor-Ort-Analytik bietet sich an dieser Stelle besonders an, da Ackerböden stark inhomogen sind, sich deren Eigenschaften mit der Zeit verändern können und eine große Probenanzahl zu untersuchen ist. Mittels Vor-Ort-Analytik

können Elementverteilungen und weitere Bodenqualitätsparameter großer Flächen räumlich differenziert mit Tiefeninformationen in Echtzeit erhalten werden. Somit wird es möglich, eine 3D-Online-Kartierung aller relevanten Bodenqualitätsparameter zu erstellen und gegenüber der aufwendigen Laboranalytik eine enorme Zeit- und Kostenersparnis zu erreichen.

Herausforderungen bei der Entwicklung entsprechender Analysetechniken sind die Robustheit der Messtechnik sowie eine schnelle Analyse mit hoher Präzision. Die flexible Anwendbarkeit auf verschiedenste Bodenmatrices ist ebenfalls von Bedeutung.

Analysetechniken

Das Potential der Infrarotspektroskopie (IR) und der Laser-induzierten Plasmaspektroskopie (engl.: Laser-induced Breakdown Spectroscopy, LIBS) für eine umfassende Analyse von Bodenproben wurde in der aktuellen durch die Dr. Erich-Krüger-Stiftung finanzierten Forschung am Institut für Analytische Chemie unter Laborbedingungen erprobt.

IR-Spektroskopie

Die IR-Spektroskopie kommt bereits in großen Teilen der Qualitätskontrolle in der Pharmazie und Lebensmittelchemie zum Einsatz. Durch Absorption von IR-Strahlung werden Atomgruppen zum Schwingen angeregt. So können Verbindungen über die spektrale Lage und Intensität von Absorptionsbanden identifiziert und deren Bindungsformen bestimmt werden.[7] Reflexionstechniken, bei denen die Detektion der reflektierten Strahlung erfolgt, benötigen wenig bis keine Probenpräparation und die Spektren werden innerhalb weniger Sekunden erhalten. Dies sind die wesentlichen Vorteile der IR-Spektroskopie, die einen Feldeinsatz ermöglichen.

Erste IR-Untersuchungen von Bodenproben wurden mittels ATR-Technik (abgeschwächte Totalreflexion) im mittleren IR-Bereich (MIR, 4000 - 400 cm⁻¹) an Bodenproben verschiedener Bodenart (tonig/sandig) und mit unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten durchgeführt. In Abbildung 2 befinden sich typische Absorptionsspektren ausgewählter Bodenproben.

Der Großteil der Spektren ähnelt sich, da alle untersuchten Böden als Hauptbestandteil Sand besitzen, welcher Absorptionsbanden bei etwa 1000, 695 und 450 cm⁻¹ aufweist.[8] Die Unterschiede in den Spektren der Abbildung 2 sind auf die verschiedenen Bodenarten zurückzuführen. So treten in Abbildung 2 c) zusätzliche Absorptionsbanden bei 3690, 3617 und 915 cm⁻¹ auf, die auf Schwingungen in Tonmineralen zurückzuführen sind.[8] Das Spektrum in Abbildung 2 a) wurde von einer Komposterde aufgenommen, die einen hohen Humusgehalt besitzt. Hier treten Banden bei 2923 und 2852 cm⁻¹ auf, die auf die Absorption von organischen Bestandteilen in der Bodenprobe zurückzuführen sind.[9]

Um die Fruchtbarkeit eines Bodens beurteilen zu können, sind der Humusgehalt und der Wassergehalt ausschlaggebend. Anhand der Absorptionsbande der OH-Streckschwingung des Wassermoleküls bei etwa 3340 cm⁻¹ wurde die Quantifizierung des Wassergehalts vorgenommen.[8] Analog können der Humusgehalt oder der Gehalt an anorganisch gebundenem Kohlenstoff quantifiziert werden.[9] Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, überlagern sich teilweise die Absorptionsbanden, die zur Quantifizierung genutzt wurden. Deshalb sollte bei der Quantifizierung des Wassergehalts die Bodenart, insbesondere der Tongehalt, berücksichtigt werden.

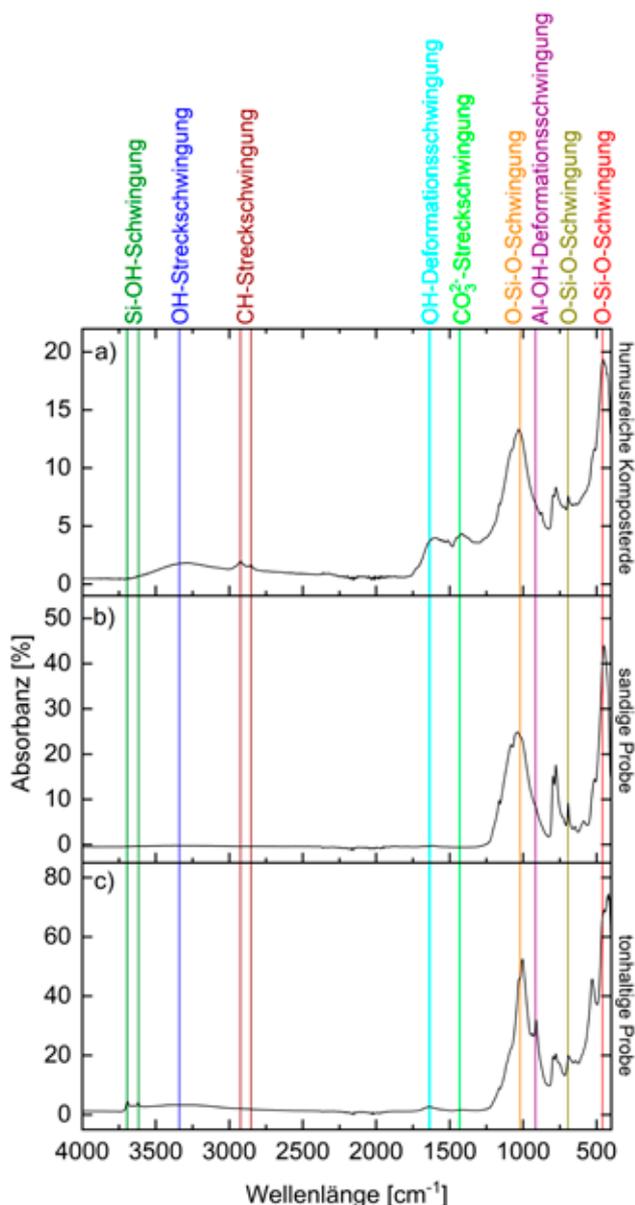


Abb. 2: Übersicht typischer Absorptionsbanden verschiedener Bodenarten im IR-Spektrum

LIBS

Als eine wesentliche Methode zur Analyse von Umweltproben hat sich in den letzten Jahren die Laser-induzierte Plasmaspektroskopie herauskristallisiert. Das zur Analyse verwendete Plasma lässt sich auf fast allen Materialien erzeugen. Deshalb wird die LIBS-Technik vielfältig eingesetzt, unter anderem in der Archäologie, für geologische Anwendungen, in der industriellen Analyse, in der Landwirtschaft und in der Lebensmittelanalytik. Die LIBS-Technik ermöglicht eine schnelle Bestimmung der elementaren Zusammensetzung einer Bodenprobe im gesamten Bereich des Periodensystems ohne aufwendige Probenvorbereitung.[10]

Die Analyse erfolgt über die Fokussierung eines Laserstrahls auf die Probenoberfläche, wobei ein Teil der Oberfläche erhitzt, verdampft und ionisiert wird. Es bildet sich ein Plasma, wobei durch den Laserimpuls die Elektronen der Elemente angeregt werden, welche nach Beendigung des Laserimpulses relaxieren und dabei Lichtquanten mit elementspezifischen Wellenlängen aussenden. Alle Elemente emittieren Strahlung, die im Bereich von 190 - 1000 nm detektiert werden kann.[10] Daraus ergibt

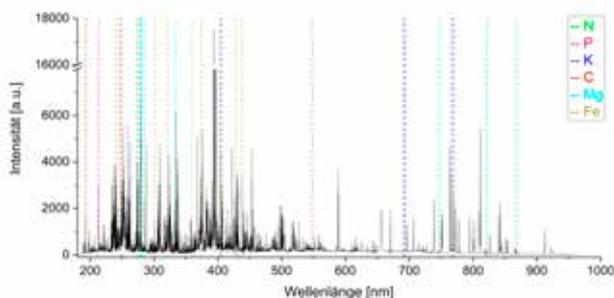


Abb. 3: Komplexes LIBS-Spektrum einer Bodenprobe mit ausgewählten Emissionslinien von Makro- und Mikronährstoffen; die Aufnahme erfolgte mit einem portablen LIBS-Analysator

sich für Bodenproben ein komplexes Spektrum. In Abbildung 3 ist ein typisches Spektrum dargestellt, das mit einem portablen LIBS-Analysator (pLIBS) aufgenommen wurde.

Die ersten Untersuchungen von Bodenproben wurden zunächst mit einem portablen LIBS-Analysator durchgeführt. Aufgrund der komplexen Zusammensetzung der Bodenproben ist eine hohe spektrale Auflösung essentiell und wegen der verbleibenden spektralen Interferenzen müssen geeignete Emissionslinien relevanter Elemente vor einer Etablierung in einer Routinemethode evaluiert werden. Auftretende Matrixeffekte können eine Quantifizierung erschweren und müssen durch Normierungsverfahren kompensiert werden. Dazu wurden anhand von Literaturdaten weitere Emissionslinien, hier der Elemente Silizium und Aluminium, herangezogen, auf die sich die Matrixeffekte in gleichem Maße auswirken.[11] Dabei dürfen sich aber die Ton- und Sandgehalte entlang der Probenreihe nicht ändern. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Kalibrierung entsprechend der Bodenart. Die Datenauswertung bildet an dieser Stelle einen zentralen Forschungsschwerpunkt.

Als einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Spektren konnte die Homogenität der Probe identifiziert werden. Abbildung 4 zeigt ein typisches Kratermuster nach erfolgter LIBS-Analyse an einer gepressten Bodenprobe in Tablettenform.

Die verwendete Methode der pLIBS zeigte für Bodenproben einen hohen statistischen Fehler aufgrund deren inhomogener Zusammensetzung. Für Ergebnisse mit hoher Genauigkeit sollte die Inhomogenität der Probe kleiner als der Durchmesser des Laserspots sein. Da reale Bodenprofile von starken Inhomogeni-

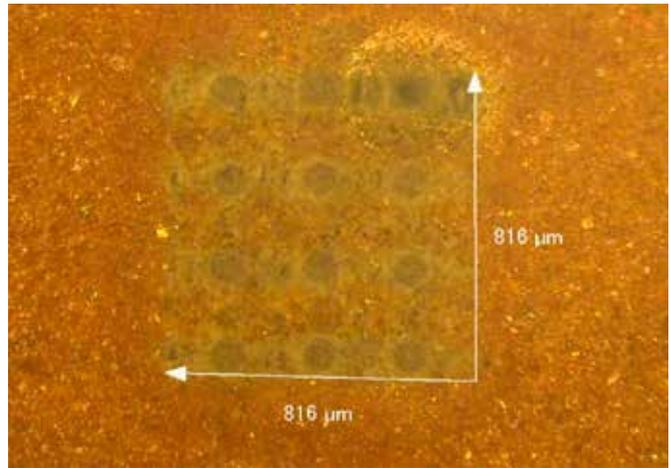


Abb. 4: Digitalmikroskopaufnahme des Kratermusters nach einer pLIBS-Messung am Beispiel einer Bodenprobe bei 100-facher Vergrößerung (mittlerer Durchmesser eines Messpunktes ca. 80 µm)

täten geprägt sind und diese Vorgabe in der Praxis nicht immer umsetzbar ist, müssen die Proben mit hoher Datenaufnahme (mehrere Spektren pro Zentimeter) abgescannt und die Daten gemittelt werden. Eine hohe Dichte zu gewinnender Daten an einer Probe ist für eine statistische Absicherung unumgänglich.

Zusammenfassung – Fazit

Im Gegensatz zur aufwendigen Analyse im Labor erlauben die Infrarotspektroskopie (IR) und die Laser-induzierte Plasmaspektroskopie (LIBS) eine kleinmaschige und orts aufgelöste Bestimmung von Bodenqualitätsparametern. Bisherige Untersuchungen zeigten, dass diese Techniken eine Charakterisierung von Bodenproben hinsichtlich ausgewählter Bodenbestandteile (hier am Beispiel des Kohlenstoff- und Wassergehalts) ermöglichen. Darüber hinaus werden mit beiden Techniken Spektren mit hohem Informationsgehalt generiert, womit eine nahezu vollständige Charakterisierung von Ackerböden ermöglicht werden kann. Dennoch besitzen beide Techniken ihre Schwächen. Aufgrund der inhomogenen Zusammensetzung von Bodenproben weisen die Methoden einen hohen statistischen Fehler auf. Die Aussagequalität kann jedoch erheblich erhöht werden, wenn zusätzlich zu einer hohen Dichte an Daten, die an einer Probe gewonnen werden, gleichzeitig mehrere Analyseverfahren eingesetzt und die erhaltene Datenmatrix mit chemometrischen Verfahren verarbeitet wird. Beispielsweise können durch den zusätzlichen Einsatz einer Hochleistungskamera, von Leitfähigkeitsmessungen sowie einer Aufnahme der Bodendichte und deren Korrelation, neben der Verbesserung der Aussagekraft der Analyseergebnisse zusätzlich weitere Bodenqualitätsparameter abgeleitet werden. [12]

Das Ziel der Quantus - Agriculture Technologie ist es, die Ackerböden vollumfänglich zu charakterisieren. In einem nächsten Forschungsabschnitt sollen ausgewählte Analysetechniken (LIBS, IR, Leitfähigkeit) an realen Bodenproben auf dem Feld erprobt werden. Diese können an einem Bewirtschaftungs-fahrzeug verbaut werden, mit dem es möglich ist, am frisch angeschnittenen Bodenprofil unter Erfassung der exakten Teufenposition Bodenqualitätsparameter zu untersuchen. Abbildung 5 verdeutlicht diesen Ansatz an einer LIBS-Messung direkt am entnommenen Bohrkern. Unter Verwendung der Hochleistungstechnologie können so alle relevanten Informationen in Echtzeit ermittelt und Kunden wie Landwirten, Ministerien

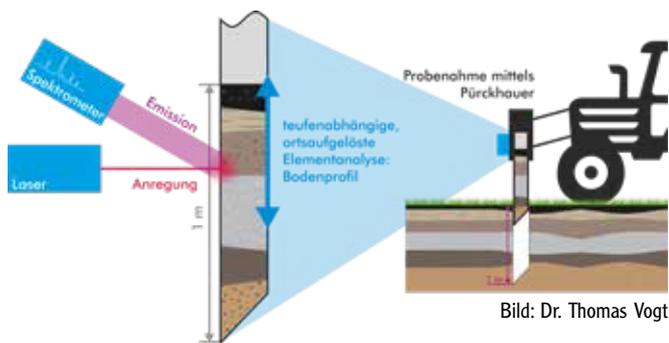


Bild: Dr. Thomas Vogt

Abb. 5: Probenahme und Vor-Ort Analyse mittels LIBS im Beprobungs raster von 0,5 ha und 1 m Tiefe zur 3D-Onlinekartierung aller relevanten Bodenqualitätsparameter

oder anderen Behörden zur Verfügung gestellt werden. Diese Informationen erlauben unter anderem die Erstellung von Applikationskarten, die einen optimalen Düngemiteleinsatz im Einklang mit Ressourcen- und Umweltschonung ermöglichen.

Danksagung

Die Autoren möchten an dieser Stelle der Dr. Erich-Krüger-Stiftung für die Unterstützung dieser ersten Untersuchungen danken. Besonderer Dank gilt dem Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Nossen für die Bereitstellung der Bodenproben. Saskia Stopp dankt zudem dem Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie Freiberg für die Unterstützung während ihrer Masterarbeit.

Literatur

- 1 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Ackerbaustategie 2035. Perspektiven für einen produktiven und vielfältigen Pflanzenbau, Berlin, 2019.
- 2 I. Jakobs, F. Grimm, L. Keppner, F. Hilliges, Nitratbericht. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, 2020.
- 3 W. Amelung, H.-P. Blume, H. Fleige, R. Horn, E. Kandeler, I. Kögel-Knabner, R. Kretzschmar, K. Stahr, B.-M. Wilke, Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde, 17. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, 2018.
- 4 A. Srinivasan, Handbook of precision agriculture. Principles and applications, Food Products Press, New York, 2006.
- 5 K. Paustian, J. Lehmann, S. Ogle, D. Reay, G. P. Robertson, P. Smith, Nature 2016, 532, 49.
- 6 Verordnung über die Einbeziehung der Emissionen und des Abbaus von Treibhausgasen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft in den Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030. LULUCF, 2018.
- 7 H. Günzler, H.-U. Gremlich, IR-Spektroskopie. Eine Einführung, 4. Aufl., Wiley-VCH, Weinheim, 2012.
- 8 A. Tinti, V. Tugnoli, S. Bonora, O. Francioso, J. Cent. Eur. Agric. 2015, 16, 1.
- 9 Y. Ge, J. A. Thomasson, C. L. Morgan, Geoderma 2014, 213, 57.
- 10 R. Noll (Hrsg.) Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. Fundamentals and Applications, Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.
- 11 M. H. Ebinger, M. L. Norfleet, D. D. Breshears, D. A. Cremers, M. J. Ferris, P. J. Unkefer, M. S. Lamb, K. L. Goddard, C. W. Meyer, Soil Sci. Soc. Am. J. 2003, 67, 1616.
- 12 B. Stenberg, R. A. Viscarra Rossel, A. M. Mouazen, J. Wetterlind in Advances in Agronomy (Hrsg.: Donald L. Sparks), Academic Press, 2010, S. 163-215.

Freiberg ehrt Stifterin Erika Pohl-Ströher

Pressestelle der TU Bergakademie Freiberg

Am Eingang zur terra mineralia, eine der weltweit größten Mineralien-Ausstellungen, wurde am 3. Dezember 2020 ein Bronzerelief zu Ehren der Stifterin und Ehrensenatorin der TU Bergakademie Freiberg, Dr. Erika Pohl-Ströher, angebracht.

„In den vergangenen Jahren entwickelte sich Freiberg mit der terra mineralia im Schloss Freudenstein, der Mineralogischen Sammlung Deutschland im Krügerhaus und der mineralogischen Sammlung im Wernerbau zur Welthauptstadt der Mineralien-Sammlungen“, sagte Prof. Georg Unland, ehemaliger Rektor der TU Bergakademie Freiberg, Initiator und Gründer der terra mineralia, ehemaliger sächsischer Finanzminister und selbst passionierter Mineraliensammler anlässlich der Anbringung des Bronzereliefs im Innenhof des Freiburger Schlosses. Mit der Dauerleihgabe eines großen Teiles ihrer Sammlung an die Universität ermöglichte Dr. Erika Pohl-Ströher die Einrichtung der weltbekannten Ausstellungen.

„Dr. Erika Pohl-Ströher (18.01.1919-18.12.2016) hat in 60 Jahren eine der wertvollsten privaten Sammlungen der Welt zusammengetragen, die seit 2008 im Schloss Freudenstein zu sehen ist“, würdigte Prof. Georg Unland das Engagement der Stifterin. Bei der Anbringung des Bronzereliefs waren außerdem Freibergs Oberbürgermeister Sven Krüger, Rektor Prof. Klaus-Dieter Barbknecht und Prof. Hans-Jürgen Kretzschmar, Geschäftsführer des Vereins Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e.V. anwesend und demonstrierten damit die gute und erfolgreiche Zusammenarbeit von Stadt und Universität. Die Ehrung wurde auf Initiative von Dr. Volker



Benedix und Dr. Reiner Hoffmann von den CDU- und SPD-Stadtratsfraktionen vorgeschlagen.

Das Relief aus Bronze gestaltete die Frauensteiner Künstlerin Antje Müller-Palástí. Der Bronzegießer Ferenc Palástí fertigte das Werk. Die Stadt Freiberg, die Universität und der Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e.V. finanzierten die Herstellung und Anbringung der Gedenktafel zu gleichen Anteilen. Gemeinsam mit der Familie Pohl-Ströher soll die Tafel im Jahr 2022 offiziell eingeweiht werden.



Forschung

Die Suche nach dem Stein der Weisen heute

Beitrag zur Eröffnung des ZeHS

Peter Paufler¹

Mit dem ZeHS sollen neue Wege mit dem Ziel beschriftet werden, die gebündelte Expertise unterschiedlicher Fachgebiete zur Optimierung von Stoffwandlungsprozessen einzusetzen. Aus Sicht der Strukturforschung wird aus diesem Anlass ein Blick auf historische Träume vom Stein der Weisen geworfen und dann auf aktuelle Fortschritte der Suche nach unbekanntem Stoffen und deren Eigenschaften eingegangen.

Prolog

Die Gründungskonzeption des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) enthält mit den Aspekten ‚Hochtemperaturmaterialien‘ und ‚Eigenschaften‘ stoffliche Ziele, wie sie auch in der jahrtausendealten Suche nach dem ‚Stein der Weisen‘ (Lapis philosophorum) zu finden sind. Mit diesem Begriff verband man auch eine Universalmedizin zur Heilung von Krankheiten und zur Lebensverlängerung sowie – abseits gegenständlicher Verheißung – die Erlösung im religiösen Sinn.

Lange Zeit im Weltbild der Alchemie gepflegt [1], wurde die Zielstellung Stoffwandlung mit Beginn der Aufklärung zunehmend auf rationale Füße gestellt, heute von Fortschritten der Informatik befördert und noch immer als Metapher für anspruchsvolle Forschungsziele benutzt. An die Stelle der Substanz, mit deren Hilfe wundersame Transmutationen erzeugt und vorrangig unedle Metalle in edle (Gold, Silber) umgewandelt werden konnten, sind heute stoffliche Träger optimaler Eigenschaften aus unterschiedlichen Anwendungsgebieten getreten. Um sie zu finden, stehen der modernen Forschung völlig neue Hilfsmittel zur Verfügung.

Höhepunkt und Verfall der Alchemie

Nach alter Überzeugung sollte der Stein aus den vier antiken Elementen Feuer, Wasser, Erde und Luft entstehen², die noch am Beginn des 17. Jahrhunderts als Eckpfeiler aller Stoffwandlung galten, Hochtemperatur-Stoffwandlung eingeschlossen. Das Ziel, Gold mit Mitteln der Alchemie zu gewinnen, wurde zwar nie erreicht³, Stoffwandlungen in breiterem Sinne nutzbar zu machen, gelang aber schrittweise ab dem 17. Jahrhundert mit Herausbildung des Arbeitsgebiets Chemie.

Chemie und die atomaren Bestandteile

Was den stofflichen Kern des Steins der Weisen angeht, ist dieser nach Einführung des Periodensystems der Elemente (PSE) im Jahre 1869 durch D.I. Mendelejew und L. Meyer nun auf inzwischen 118 bekannt gewordene Elemente des PSE zurückgeführt worden⁴. Anstelle von Gold winken außergewöhnliche Gebrauchseigenschaften dem Suchenden als Lohn.

Seitdem im 20. Jahrhundert die direkte Beziehung zwischen physikalisch-chemischen Eigenschaften und atomarer Struktur an zahlreichen Beispielen belegt worden ist, lautet die aktuelle Frage der Suche: Welche Elemente muss der ‚Stein‘ mit welcher Struktur enthalten, um optimale Wirkung zu erzielen? Für die Antwort steht inzwischen eine reiche Auswahl von Daten zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen zur Verfügung, die die neue Qualität der Suche ausmachen.

Ernüchternde Kombinatorik

Um den Reichtum des PSE zu erschließen, liegt systematisches Abtasten aller Kombinationen von je k Elementen nahe. Deren Zahl steigt mit k über die Binomialkoeffizienten schnell an und beträgt z.B. bei 94 natürlichen Elementen $1,98 \times 10^{28}$ k -näre Systeme. In jedem von ihnen können je nach Mengenverhältnis der Komponenten stabile Phasen auftreten, wodurch der zu erwartende Aufwand noch größer ist.

Während die Vielfalt anorganischer Stoffe primär auf der Variation ihrer chemischen Zusammensetzung beruht, basiert die Vielfalt von organischen und biologischen Stoffen wesentlich auf Varianten der Raumfüllung mit festen Strukturbausteinen. Zum Beispiel wird die chemische und biologische Funktion der Proteine wesentlich durch die Orientierung jeder Aminosäure relativ zu ihren zwei Nachbarn bestimmt. Auch für den Fall von nur etwa zwei sterisch akzeptablen Orientierungen für jedes Paar von Aminosäuren, wächst die Gesamtzahl möglicher Proteine mit der Zahl der Aminosäuren schnell an. Für eine Kette von 100 Aminosäuren ergeben sich rechnerisch $2^{100} \approx 10^{30}$ Möglichkeiten. Lässt sich da eine Struktur vorhersagen? Wir kommen am Schluss darauf zurück.

Strukturargumente als historischer Einstieg

Umso erstaunlicher sind frühe Modelle von Strukturen, als einzelne Atome noch nicht nachweisbar waren und allein aus kombinierter Vermessung äußerer Kristallgestalt und Elementanalyse erschlossen wurden. Das Kugelmodell der NaCl-Struktur von 1883 [2] half W. L. Bragg sogar 30 Jahre später bei der Interpretation der Röntgendiffraktometerdaten [3] und findet sich noch heute in einschlägigen Lehrbüchern. Aus dem schnell wachsenden Datenmaterial der Röntgenlabore folgte nach 1912 nicht nur die gesicherte Strukturgeometrie untersuchter Kristalle, sondern auch eine halbempirische Prognose für unbekannte Kristalle. Nun zugänglichen geometrischen Größen wie Atomabstand, Raumerfüllung u.a. wurde der Rang kristallchemischer Strukturargumente zugemessen [4]. Auch bei Riesen-Struktureinheiten⁵ sind sie noch hilfreich [5]. Für eine eingehende Darstellung der historischen Entwicklung dieser Morgendämmerung der Struktursuche vgl. [6].

Hoffnungsträger Elektronische Datenverarbeitung (EDV)

Die wachsende Zahl von Struktur- und Eigenschaftsdaten in elektronischen Datenbanken gepaart mit leistungsfähigen elektronischen Rechnern eröffnete ab dem 20. Jh. neue Wege für die Suche nach Stoffen und Eigenschaften.

- 1 Prof.(i.R.) Dr. Dr. h.c. Peter Paufler, TU Dresden, Inst. f. Festkörper- u. Materialphysik, D-01062 Dresden
- 2 Seit etwa 600 v.Chr. verbreitet [1]. Feuer und Wasser standen dabei vorwiegend für äußere Parameter, wie Temperatur und Druck.
- 3 Eine Synthese von ¹⁹⁷Au durch Neutronenbestrahlung von ¹⁹⁶Hg wäre heute aus Kostengründen bedeutungslos.
- 4 Von den 118 Elementen sind die mit den Ordnungszahlen 95 bis 118 nur synthetisch darstellbar, die Elemente 61, 84-89, 91 und 93 radioaktiv und damit nur eingeschränkt nutzbar.
- 5 Intermetallische Phasen mit 23 000 Atomen pro Einheit

Ein frühes Beispiel der 1970er Jahre stellten Prognoseversuche der Gruppe Savickij [7] dar, die nach Strukturtypen in k-komponentigen Systemen und optimalen Eigenschaftswerten fragte, dabei das Konzept des maschinellen Lernens (ML) anwandte: Anhand von Kontrollsystemen, bei denen die gesuchte Struktur/Eigenschaft entweder sicher auftritt oder nicht, kann der Algorithmus gesuchte Eigenschaft und Charakteristika der Elemente verknüpfen. Beispielsweise suchten [7] die Sprungtemperatur von Supraleitern des Cr³Si-Typs. Über alle Teilstudien hinweg berichteten die Autoren von einer 90 %igen Trefferquote, die aber nach eigenen Angaben von Menge und Auswahl der Kontrollsysteme abhing.

Durchbruch im 21. Jahrhundert

Die wünschenswerte beschleunigte Entwicklung von Funktionsmaterialien für die Wirtschaft rückte durch eine staatliche Initiative der US-Regierung 2014 („Materials Genome Initiative“ [8]) in das Bewusstsein der internationalen Öffentlichkeit. Das Arsenal für datengetriebene Materialsuche hatte sich seit den Anfängen der EDV erheblich geweitet. Um Zufall beim ML weiter einzuschränken, werden inzwischen Algorithmen der Künstlichen Intelligenz (KI) und vereinfachte Regeln des Zugriffs auf Daten außerhalb von Datenbanken (Data Mining) genutzt, um mit großen Datenmengen (Big Data) die systematische Suche zu verbessern und zu beschleunigen. Spezielle chemische Daten können in der Fachliteratur automatisiert aufgespürt [9], sogar Begleittexte fachsprachlich ausgewertet werden [10]. Wo z.B. für eine neue Fragestellung Daten fehlen, beschaffen passende Algorithmen schnell optimierte Antworten [11]. Wesentliche Unterstützung erfährt die Datensuche durch die automatische Analyse elektronenmikroskopischer Bilder in Veröffentlichungen [12]. Da auch die Berechnung von Kristallstrukturen an Genauigkeit und Geschwindigkeit zugenommen hat [13], werden zunehmend theoretische und experimentelle Daten kombiniert⁶. In der OQMD (Tabelle 1) sind inzwischen mehr als 800.000 Kristallstrukturen zusammengefasst, die mit der Dichtefunktionaltheorie

(DFT) berechnet wurden [14]. Damit wird auch ein Zugang über ML zur berechneten Struktur möglich.

Biomolekül gegen Pandemie

Die Bekämpfung der 2019 ausgebrochenen SARS-COV-19 Atemwegserkrankung führt uns zu einem aktuellen Analogon der Suche nach dem Stein der Weisen auf medizinischem Gebiet. Das primäre Ziel bestand in der strukturellen Charakterisierung des Kontakts zwischen dem Spike-Molekül S Glycoprotein des Virus SARS-COV-2⁷ und dem Rezeptor ACE2⁸ der menschlichen Zelle [15]. Ein Spike ist 20-25 nm hoch, das kugelförmige Virus hat einen Durchmesser von 80-140 nm [16]. Der Kontakt führt zur Verschmelzung der Virushülle mit der Membran der Wirtszelle und zur Entlassung des RNA-Genoms (Länge 30 Kilobasen [17]) in die Zelle. Gegen diese Infektion war ein effizienter Weg der Immunisierung zu finden, der auch dem öffentlichen Handlungsdruck entgegenkam. Erstmals zur Pandemiebekämpfung wurde der Weg über einen mRNA⁹-Impfstoff gewählt, der im Dezember 2020 die staatliche Zulassung erhielt und 2021 angewandt werden konnte¹⁰. Er enthält eine patentierte modifizierte RNA des Spike-Proteins. Mit Hilfe dieser Bauanleitung, die bei der Impfung als Lipid-Nanopartikel verpackt in die Zelle geschleust wird, produziert die Hauptprotease¹¹ der Zelle das gewünschte Protein und die dagegen gerichtete Immunreaktion. Zum Verständnis des Blockademechanismus musste deren Struktur als Voraussetzung für die Hemmstoffentwicklung bestimmt werden [18].

Da sich Biomoleküle nach Größe und Organisation deutlich von den anorganisch/organischen unterscheiden, ist auch das methodische Arsenal angepasst [19]. Die zu bestimmenden

6 Die ICSD nimmt neuerdings ab 2017 theoretisch ermittelte Strukturen auf.
 7 Severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2
 8 Angiotensin-converting enzyme 2
 9 Messenger-Ribonukleinsäure
 10 Darunter mit Pfizer Pharma GmbH im Verein mit dem Forschungsinstitut BioNTech SE in Mainz Akteure in Deutschland.
 11 Enzym zur Proteinerzeugung

Tabelle 1: Ausgewählte Strukturdatenbanken

Datenbankname	Typ der Strukturdaten	Datenbestand 2021
Cambridge Structural Database (CSD), Gegr. 1965	Kleine organische und metallorganische Verbindungen	>1.000 000 Einträge
Pearson's Crystal Data: Crystal Structure Database for Inorganic Compounds (PCD) Gegr. 2002	Intermetallische Verbindungen, Oxide, Halide, Minerale	350 000 Datensätze für 195 000 verschiedene Formeln
Inorganic Crystal Structure Database (ICSD) Gegr. 1985	Anorganische Verbindungen	241 828 Strukturen
Worldwide Protein Databank (wwPDB), Gegr. 1971	Proteine, DNA, RNA	189 758 Einträge als 3D-Strukturen von Biomolekülen
Crystallography Open Database (COD) Gegr. 2003	Minerale, metallorganische und kleine organische Kristallstrukturen, ausgenommen Biomoleküle	476 824 Einträge
Open Quantum Materials Database (OQMD) Gegr. 2015	Dichtefunktionaltheorie - Rechnungen von thermodynamischen und strukturellen Eigenschaften	815 654 Materialien (Bezug zur ICSD)

Proteinstrukturen sind zwischen 8 und 2000 kDa groß und in einer bis zu fünfstufigen Hierarchie organisiert. Allein eine grafische Darstellung der Atomanordnung ist schon aufwändig. Auch für Biomoleküle werden Einkristalle zur Analyse benötigt, deren Züchtung aus der Lösung wegen der geringen Bindungskräfte zwischen den Molekülen schwieriger als bei nichtbiologischen ist. Während des Experiments mit Röntgen- oder Elektronenstrahlen muss auch die Stabilität des Proteinkristalls gesichert werden. Trotz des hohen Aufwands konnten kurz nach Bekanntwerden des Virus im Dezember 2019 allein im vergangenen Jahr 345 neue Strukturdatensätze für das S Glycoprotein des Spikes ermittelt und der Datenbank wwPDB (Tabelle 1) zugeführt werden [20].

Levinthal-Paradox vor der Lösung

Während die Suche nach einem anorganischen Stein der Weisen in das kombinatorische Abseits führte, käme es auch bei der Suche nach dem biostrukturellen Pendant – dem Eiweiß – zur analogen kombinatorischen Katastrophe, wenn eine Kette von Aminosäuren die richtige Faltung über eine Peptidbindung zufällig (durch Probieren) finden müsste. Dann würden im Gegensatz zur Beobachtung utopische Zeiträume gebraucht [21]: bei einer angenommenen Zeitdauer von $\approx 10^{-13}$ s für die Änderung einer der 10^{30} Konformationen eine Dauer von $\approx 10^{17}$ s $\approx 10^{10}$ Jahre. Der Faltungsprozess des Eiweißmoleküls folgt offenbar einer zielgerichteten Prozedur und ist nicht zufällig.

Der zweijährlich stattfindende Wettbewerb von Berechnungsmethoden der Faltung einer vorgegebenen Aminosäuresequenz (Critical Assessment of Protein Structure Prediction (CASP)) endete 2020 mit einem überlegenen Vorsprung des Programms ‚AlphaFold‘ des Entwicklers ‚Deep Mind‘. Es kombiniert neuronales Netz mit Kurzzeitspeicher für künstliches Gedächtnis und kann Faltungen mit einem mittleren Fehler von $1,6 \cdot 10^{-10}$ m vorhersagen. Diese Qualität wird von

der Fachwelt als Durchbruch bei der Lösung des Levinthal-Paradoxes [22] wahrgenommen, der die gesamte Forschung in Medizin und Biotechnologie verändern wird [23]. Die Methode macht künftig Experimente noch nicht überflüssig, reduziert aber die Anforderungen daran wesentlich.

Der Leitung des ZeHS und allen Angehörigen wünsche ich nutzbringenden Gebrauch der neuen Suchmethoden.

Literaturverzeichnis

- 1 H.-W. Schütt, Auf der Suche nach dem Stein der Weisen. Die Geschichte der Alchemie., München, 2000.
- 2 W. Barlow, Nature, Bd. 29, pp. 186-188 u. 205-207, 1883.
- 3 W. L. Bragg, Proc. Camb. Phil. Soc., Bd. 17, pp. 43-57, 1912.
- 4 G.E.R. Schulze, Krist. Technik, Bd. 1, pp. 375-386, 1966.
- 5 J. Dshemuchadse, D. Y. Jung, W. Steurer, Acta Cryst. B, Bd. 67, pp. 269-292, 2011.
- 6 A. Authier, Early days of X-ray crystallography, Oxford, 2013.
- 7 E. M. Savickij, V. B. Gribulja, Prognozirovanie neorganiceskich soedinenii s pomoscju EVM, Moskva, 1977, p. 189.
- 8 Exec. Office Presid. Unit. States, Nat. Sci. Technol. Coun., „Materials Genome Initiative, Stratetic Plan,“ Washington D.C., 2014.
- 9 S. Huang, J. M. Cole, Sci. Data, Bd. 7(260), pp. 1-13, 2020.
- 10 D. M. Lowe, R. A. Sayle, J. Cheminf., Bd. 7 (Suppl.1), pp. S5-S9, 2015.
- 11 P. B. de Castro et al., NPG Asia Mater., Bd. 12:35, pp. 1-7, 2020.
- 12 K. T. Mukaddem et al., J. Chem. Inf. Model., Bd. 60, pp. 2492-2509, 2019.
- 13 P. Verma, D. G. Truhlar, Trends in Chem., Bd. 2(4), pp. 302-318, 2020.
- 14 S. Kirklin et al., NPJ Comp.Mater., Bd. 1(15010), pp. 1-15, 2015.
- 15 A. C. Walls et al., Cell, Bd. 180, pp. 281-292, 2020.
- 16 https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Virologische_Basisdaten.html „Virologische Basisdaten,“ 11.07.2021.
- 17 O. Ziv et al., Mol. Cell, Bd. 80, pp. 1067-1077, 2020.
- 18 L. Zhang et al., Science, Bd. 368, p. 409-412, 2020.
- 19 B. Rupp, Biomoleular Crystallography. Principles, Practice and Application to Structural Biology, Abington, 2010, p. 809 .
- 20 E. N. Baker, IUCrJ, Bd. 8, pp. 331-332, 2021.
- 21 C. Levinthal, J. Med. Phys., Bd. 65, pp. 44-45, 1968.
- 22 D. N. Ivankov, A. V. Finkelstein, Biomol., Bd. 10(250), pp. 1-19, 2020.
- 23 E. Callaway, Nature, Bd. 588, pp. 203-204, 2020.

Das neue Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS)

Theresa Lemser im Namen des Direktoriums des ZeHS^{1,2}

Mit der Förderempfehlung des Wissenschaftsrats für einen in Freiberg zu errichtenden Forschungsbau nach erfolgreicher Teilnahme am bundesweiten Wettbewerb gemäß Art. 91 b GG begann im Mai 2015 die Realisierung eines den Wissenschaftskorridor der TU Bergakademie Freiberg (TU BAF) besonders prägenden Bauvorhabens: die des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS). Seitdem wurden viele Etappen durchlaufen, wozu die zurückliegenden Ausgaben der ACAMONTA mehrfach berichtet hatten³. Der nachstehende Überblick benennt wichtige Zeitmarken der Umsetzung dieses Großvorhabens (Abb. 1).

Am 22. Februar 2021 ist das ZeHS nach nur vierjähriger Bauzeit offiziell an die TU BAF übergeben worden. Unter der Regie des SIB (Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- & Baumanagement) war es plankonform unter Beteiligung aller erforderlichen Gewerke errichtet worden. Erste Teilbereiche konnten schon ab dem Frühjahr des Jahres 2020 sukzessive

an die TU BAF übergeben und von den Nutzern in Betrieb genommen werden. Die reinen Baukosten beliefen sich auf 34,2 Mio. Euro. Über 80 Prozent der Aufträge wurden von sächsischen Planungs- und Bauunternehmen ausgeführt. Parallel zum Baugeschehen erfolgte die Installation der im Zuge des Antragsverfahrens mitverteidigten Forschungs-großgeräte im Gesamtwert von 9,75 Mio. Euro. Damit erhält der Forschungsstandort Freiberg – im bundesweiten Vergleich und erfolgreich im internationalen Wettbewerb stehend – einen maßgeblichen Aufwuchs.

Im Zusammenhang mit der Übergabe des Zentrums hielt Sachsens Wissenschaftsminister Sebastian Gemkow fest: „Mit der Konzentration der an der TU Bergakademie Freiberg vorhandenen Kompetenzen wird am ZeHS interdisziplinäres Forschen auf höchstem Niveau ermöglicht. Im Fokus der wissenschaftlichen Arbeit stehen Ressourcen- und Energieeffizienz zur Schaffung nachhaltiger Industrieprozesse.“

Von der Beantragung bis zur Eröffnung des ZeHS

28. Juni 2013	Vorlage der Bedarfsanmeldung
13. September 2013	Einreichung der Antragsskizze
05. November 2013	Verteidigung der Antragsskizze (D.C. Meyer)
09. Januar 2014	Einreichung des Vollantrags
21. Februar 2014	Verteidigung des Vollantrags (D.C. Meyer)
16. Januar 2015	Einreichung der erweiterten Version des Vollantrags
04. März 2015	Verteidigung der erweiterten Version des Vollantrags
24. April 2015	Förderempfehlung des Wissenschaftsrats
27. Mai 2015	Planungsauftrag des Sächsischen Staatsministeriums der Finanzen (SMF) an das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK)
18. Juni 2015	Anerkennung der Bedarfsanmeldung durch den SIB und das SMF
19. Juni 2015	Förderbeschluss der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz
25. Juni 2015	Auftakt der Bauberatungen im SMWK und SIB
12. Mai 2017	Symbolischer „Baggerbiss“ zum Baubeginn
22. März 2019	Richtfest
22. Februar 2021	Übergabe des Baus an die TU BAF
01. April 2021	Aufnahme der Arbeit durch das neu gebildete Direktorium (D.C. Meyer; B. Meyer, E. Kroke)
04. Mai 2021	Feierliche Inbetriebnahme durch die Nutzer
04. Mai 2021	Verleihung der Goldenen Ehrennadel der Bergakademie an Prof. Dirk C. Meyer

Abbildung 1: Zeitstrahl

Nicht ohne Grund hat der Wissenschaftsrat diesen technologischen Zielstellungen des ZeHS eine ‚sehr hohe gesellschaftliche und wirtschaftliche Relevanz‘ bescheinigt, gehören sie doch zu den drängenden Aufgaben der Zukunft. Gleichzeitig steht die Forschung am ZeHS in der Tradition der Kern-Forschungsbereiche der ältesten montanwissenschaftlichen Hochschule der Welt.“

Dem Wissenschaftlichen Sprecher, Prof. Dirk C. Meyer, war es ein besonderes Anliegen, hervorzuheben, dass „das Zusammenwirken aller Beteiligten, darunter auch das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus sowie das Baudezernat der TU BAF, unter Moderation des SIB in einer ausgesprochen konstruktiven Weise erfolgte, womit die Intentionen der Nutzeranforderungen sowie des gesamten Wettbewerbs hervorragend umgesetzt und die vorgesehene Bauzeit eingehalten werden konnten.“

Mit dem wissenschaftlichen Auftakt am 4. Mai 2021 wurden die Arbeiten im ZeHS offiziell gestartet – wozu teilweise umfassende Vorausplanungen wie auch weitere Forschungen gehörten und gehören. Im Rahmen einer feierlichen Veranstaltung würdigte der Rektor der Bergakademie, Prof. Klaus-Dieter Barbknecht, besonders die Verdienste des Wissenschaftlichen Sprechers des Zentrums, Prof. Dirk C. Meyer, für die Bergakademie, insbesondere sein unermüdeliches Engagement für das ZeHS mit der Verleihung der Goldenen Ehrennadel der Universität. „Mit Prof. Dr. Dirk Meyer ehren wir einen begabten Leiter sowie international ausgezeichneten Wissenschaftler, der sich seit seiner Berufung an die TU Bergakademie Freiberg im Jahr 2009 für

ihre Weiterentwicklung in Forschung und Lehre einsetzt“. Prof. Dirk C. Meyer war von 2010 bis 2016 als Prorektor tätig und engagierte sich in den Bereichen Bildung und Strukturentwicklung, wo er sich unter anderem maßgeblich an der Einwerbung des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Vorhabens MESIOR zu strukturellen Maßnahmen und zur Personalstärkung im Bildungsbereich sowie für den Antrag für das hier dargestellte Vorhaben erfolgreich einsetzte. Im mehrstufigen Antragsprozess des letztgenannten Vorhabens gelang es ihm, die Interessen von zirka 25 Professuren und damit die Forschungsprogrammatische der gesamten TU BAF vor Kommissionen des Wissenschaftsrats erfolgreich zu vertreten und die Fördermittel für den Bau des ZeHS mit persönlichem Einsatz einzuwerben. Auch nach seiner Prorektorenzeit begleitete Prof. Dirk C. Meyer das Projekt während der gesamten, fünfjährigen Bauphase mit besonderer Intensität weiter. Vorbilder für die am ZeHS vorgesehene Zusammenarbeit waren für ihn die im Zentralen Reinraumlabor bereits gelebte Kooperation, klug konzipierte Infrastrukturen, wie die Kompetenzzentren der Sächsischen Landesexzellenzinitiative und das tägliche Erleben der stetigen Fortentwicklung der Universität. In besonderer Weise setzt er sich auch für die Vernetzung des ZeHS mit internationalen Großforschungseinrichtungen ein, wie dem Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY und dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf.

Die Forschungsschwerpunkte am ZeHS werden maßgeblich durch die beiden Kompetenzzentren „Hochtemperaturprozesse – Vom Mechanismus zur Anwendung“ und

„Hochtemperaturmaterialien – Vom Material zum Bauteil“ bestimmt; sollen durch deren Leiterinnen und Leiter vorgebracht werden. Ergänzt wird deren Arbeit durch drei fachspezifische Koordinationsstellen in den Bereichen „Materialien und Eigenschaften“, „Material-, Bauteil- und Prozesssimulation“ sowie „Technologiemanagement und Systemanalyse“, die die methodischen Kompetenzen mit der Geräteinfrastruktur innerhalb des ZeHS repräsentieren. In der damit gegebenen Matrix aus Methoden-, Stoff-, Prozess- und Systemkompetenz ist eine Qualität des Zusammenspiels sich gegenseitig ergänzender und durchdringender Wissensgebiete möglich, wie sie nur in einem Forschungszentrum dieser Größe und strategischen Ausrichtung zu erreichen ist.

Im Wintersemester 2021/22 findet eine Ringvorlesung statt, in deren Rahmen Vorträge aus dem Forschungs- und Lehrgebietsfundus der Mitglieder des ZeHS präsentiert werden. Die Veranstaltung wird im 100 Plätze bietenden Vortragssaal im Erdgeschoss des ZeHS stattfinden; sie umfasst in der Auftaktrunde ausschließlich Vorträge in deutscher

Sprache und ermöglicht damit auch im Freiburger Umfeld einen direkten Zugang zur Arbeit dieser auch für die Region bedeutenden Einrichtung. Der Einladung eines internationalen Fachverlags folgend ist angedacht, die Beiträge dann ebenfalls in englischer Sprache in Buchform zu veröffentlichen. Dazu ist vorgesehen, eine Übersicht der während der gesamten Entwicklungszeit des ZeHS bisher geleisteten wissenschaftlichen Arbeiten unter dem Arbeitstitel „*High-Temperature Processes and Materials Conversion – Future Prospect Demand*“ in kompakter Form international zu kommunizieren.

- 1 Ass. iur. Theresa Lemser, Referentin des ZeHS, Winklerstraße 5, 09599 Freiberg. Die Referentin ist dem Direktorium des ZeHS zugeordnet, dem der Wissenschaftliche Sprecher Prof. Dirk C. Meyer, der Direktor Prof. Bernd Meyer und der Stellvertretende Direktor Edwin Kroke angehören; sie ist seit Beginn der Antragstellung im Jahr 2013, überwiegend mit Prof. Dirk C. Meyer, der Entwicklung des ZeHS fachlich verbunden.
- 2 Das Direktorium wird unterstützt durch Dr. Barbara Abendroth in ihrer Eigenschaft als Hausdirektorin des ZeHS.
- 3 22. Jg. 2015, S. 93 ff.; 24. Jg. 2017, S. 107; 26. Jg. 2019, S. 96 f.; 27. Jg. 2020, S. 108 ff.

Funktionsschichten mittels flexibel strombasierter Beschichtungs- und Modifizierungsprozesse

Wege zu Verbundvorhaben vor dem Hintergrund der Forschungsprogrammatisierung des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS)

Dirk C. Meyer¹, Barbara Abendroth², Hartmut Stöcker³, Tina Weigel⁴, Matthias Zschornak⁵, Theresa Lemser⁶

Eine maßgebliche Aufgabenstellung des ZeHS zielt auf die Ablösung fossiler Energieträger für die Bereitstellung von Aktivierungsenergie und Prozesswärme insbesondere in der Grundstoffindustrie. Damit ist die Forderung nach neuen Strategien und Materialien auf der Grundlage elektrischen Stromes als Energiequelle verbunden. Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen erfordert im besten Falle einen zeitlich flexiblen Einsatz nach Maßgabe der angepassten Stromtarife bzw. des aktuellen Preises an der Energiebörse. Zugleich werden bei der diesbezüglich möglichen Bilanzierung auch neue Prozesswege wirtschaftlich.

Eine entsprechend angepasste Führung von Syntheserouten kann materialwissenschaftlich beispielsweise auf die Entwicklung und Optimierung neuartiger Hochtemperatur-(HT)-Stoffsysteme für Funktionsschichten fokussieren. Die für die HT-Synthese spezifischen und teils extremen Prozessbedingungen – nicht nur hinsichtlich hoher Temperaturen (Abb. 1) – stellen fundamentale Herausforderungen an die Materialstabilität. Geforderte Funktionsschichten realisieren Lösungen für Anwendungsbereiche in der Sensorik, als Transportbarrieren, Elektroden oder Haftvermittler. Sie bieten aber auch neue, alternative Wege für die Materialentwicklung:

Reaktivschichten

Mehrlagenkomposite aus im thermodynamischen Gleichgewicht mischbaren Einzelkomponenten für die Aktivierung von Fügeprozessen.

Wärmedämmschichten/Diffusionsbarrieren

Mehrlagenkomposite aus hochschmelzenden Metallen, ge-

trennt durch Oxidschichten, oder auch Metallkeramikverbünde zur Vervielfachung des Temperatursprungs an den Grenzflächen bei Wärmedurchgang bzw. Unterdrückung von Diffusion.

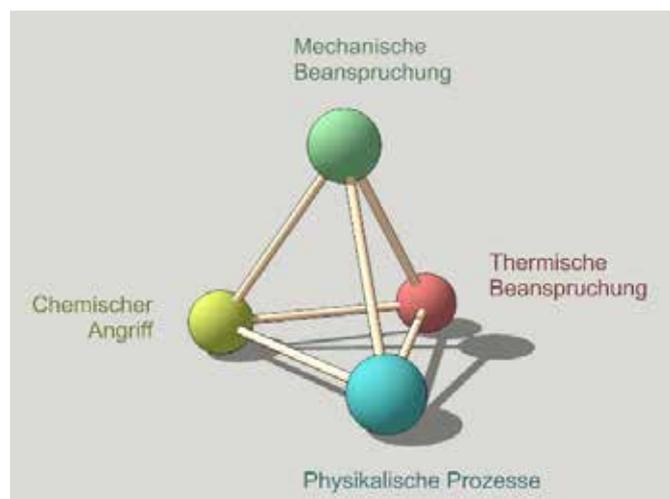


Abb. 1: Die Auslegung geeigneter HT-Materialien muss der Komplexität hoher thermochemo-physikalischer Beanspruchungen genügen.

- 1 Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Wissenschaftlicher Sprecher des ZeHS, Winklerstraße 5, 09599 Freiberg, Direktor des Instituts für Experimentelle Physik, Leipziger Straße 23, 09599 Freiberg
- 2 Dr. Barbara Abendroth, Hausdirektorin des ZeHS
- 3 Dr. Hartmut Stöcker, Institut für Experimentelle Physik
- 4 Tina Weigel (M.Sc.), Institut für Experimentelle Physik
- 5 Dr. Matthias Zschornak, Institut für Experimentelle Physik
- 6 Ass. iur. Theresa Lemser, Referentin des ZeHS, Winklerstr. 5, 09599 Freiberg

Elektroden

Modifizierte Mehrlagensysteme für elektrochemische Speicheranwendungen, z.B. Nutzung metallinduzierter Kristallisationsprozesse nach Blitzlampen-Wärmebehandlung für die Einstellung hochstabiler Einlagerungsstrukturen mit gleichzeitig optimierter Oberflächenmorphologie.

Die adressierten Syntheserouten lassen sich im Kern am Beispiel einer multifunktionalen Anlage, welche die Autoren im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens R2R-Battery (FKZ: 03SF0542A) an das ZeHS gebracht haben, erläutern. Diese Anlage realisiert zahlreiche, strombasierte physikalische Beschichtungs- und Modifizierungsprozesse, die auf flexiblen Trägern fortlaufend, d. h. Rolle-zu-Rolle (R2R) angewendet werden können (siehe Abb. 2). Primär wurde die Anlagenauslegung für die Fertigung von Batterieelektroden konzipiert, wobei die Forderung nach einem möglichst hohen Grad von Anpassbarkeit an weitere Fragestellungen berücksichtigt ist. Ein Energiemonitoring und Energiemanagementsystem soll das oben genannte Ziel unter Einsatz künstlicher Intelligenz erreichbar machen. Die Anlage wird ergänzt durch einen unter Verantwortung der Autoren realisierten Geräteverbund, u. a. durch eine Kreuz-Strahl-Laser-Ablation, eine zusätzliche Einheit zur Ionen-Zerstäubung und Blitzlampen-Wärmebehandlung, ein HT-Röntgendif-

fraktometer sowie ein HT-Röntgenphotoelektronen-Spektrometer (beide für Temperaturen von bis ca. 1200 °C), die ein auch international beachtliches Forschungssystem darstellen.

Die vorgesehenen Arbeiten umfassen mehrere Pakete, für die bereits konkrete Umriss existieren und im Sinne der Kooperation am ZeHS die Grundlage für gemeinsame Entwicklungen bilden. Darin eingeschlossen sind auch Betrachtungen zum Technologiemanagement, zur Ressourcenverfügbarkeit sowie zur Rückführung erzeugter Funktionselemente nach deren Einsatzzeit in den Stoffkreislauf. Der geschilderte Sachstand steht exemplarisch für das besondere Potenzial des ZeHS, das gesamte Innovationsvermögen der TU BAF auch gemäß der traditionell belegten Leistungen wirkungsvoll auszuschöpfen.

Danksagung

Zu dem hier beschriebenen Aufwuchs am ZeHS haben verschiedene Projektträger beigetragen. Besonderer Dank geht an Frau Kerstin Annassi, Projektträger Jülich, für die profunde Unterstützung einschlägiger Verbundvorhaben. Der Gesamtzusammenhang des ZeHS wird durch eine kooperative Unterstützung des Bundes und des Freistaates Sachsen ermöglicht.



Abb. 2: Der Hersteller und Projektpartner ROVAK GmbH realisierte die Aufstellung einer unikalen R2R-Beschichtungsanlage am ZeHS. Auf der linken Seite befinden sich die Depots der flexiblen Träger für die Ausgangs- und Produktrollen, die geschlossen zwischen den acht verschiedenen Behandlungsstationen auf zwei Etagen vor und zurück gefahren werden können. Zusätzlich erfolgt ein umfassendes Energiemonitoring und Energiemanagement, das in dieser Form neuartig ist. Die Fertigungsstationen umfassen Plasma-Reinigung, Elektronenstrahl-Verdampfen, Magnetron-Ionen-Zerstäubung, Blitzlampen- und Infrarot-Wärmebehandlung.

Innovationsplattform für die Kreislaufwirtschaft der Zukunft

Das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie feiert 10-jähriges Bestehen und hat noch viel vor

Anne-Kristin Jentzsch

Die Entwicklung, die das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) seit seiner Gründung genommen hat, ist eine Erfolgsgeschichte. Denn wer hätte vor 10 Jahren gedacht, dass die Idee, ein Institut für Ressourcentechnologie zu gründen, so schnell Früchte tragen würde! Eine wesentliche Rolle spielt dabei, dass es ein Helmholtz-Institut geworden ist, denn Institute dieses Namens geben strategischen Partnerschaften zwischen Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft und Universitäten eine besondere Intensität. In unserem Fall ist es die dauerhaft enge Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Ressourcentechnologie zwischen dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) und der TU Bergakademie Freiberg. Der Namensgeber der Gemeinschaft, Hermann von Helmholtz, vertrat eine Naturwissenschaft, die Brücken zwischen Medizin, Physik und



Luftaufnahme des Campus in der Chemnitzer Straße 40 (Stand: Juli 2021). ©HZDR/HIF

Chemie schlägt. Seine bahnbrechenden Forschungen und Entwicklungen verknüpften Theorie, Experiment und praktische Anwendung miteinander. Diesen bewährten Ansatz möchte das HIF mit dem Ausbau eines Campus für Ressourcentechnologie und Nachhaltigkeit am Standort Chemnitzer Straße 40 in Freiberg fortschreiben und auch damit ein national sowie international ausgerichtetes Kompetenzzentrum zur Erforschung, Entwicklung und Bewertung innovativer Ressourcentechnologien im Kontext einer dem Nachhaltigkeitsprinzip verpflichteten Kreislaufwirtschaft sein. Mit dem Forschungscampus wird es möglich, Innovationen für den nachhaltigen Umgang mit komplex zusammengesetzten Rohstoffen bzw. Stoffströmen voranzutreiben und die Aufbereitung und Rückgewinnung dieser Rohstoffe auf hohem wissenschaftlich-technischen Niveau vom Labor- in den Pilotmaßstab zu überführen. Ziel ist es dabei, die entsprechenden Technologieentwicklungen zeitnah in die industrielle Praxis zu bringen. Damit steigt die Attraktivität des Standorts Freiberg nicht nur als Forschungspartner der TU Bergakademie Freiberg, sondern auch hinsichtlich der Zusammenarbeit mit sächsischen, nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Wegbereiter einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft

Im Fokus der Forschung des HIF steht die Abbildung der gesamten Wertschöpfungskette mineralischer Rohstoffe und Metalle im Kontext einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft (häufig auch Circular Economy genannt). Denn die für eine Circular Economy (CE) benötigten Rohstoffe werden auch in Zukunft sowohl aus primären (geogenen) als auch aus sekundären (anthropogenen) Quellen stammen. Das HIF verfolgt dabei den Ansatz, beide Quellen als komplementär und gleichrangig zu betrachten sowie die Themen Rohstoffe und Energie immer „zusammenzudenken“.

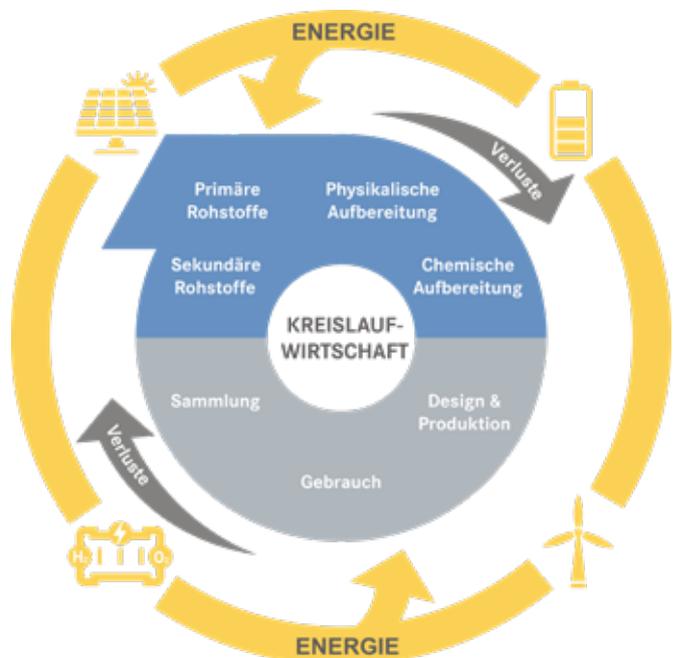


Illustration des Forschungsportfolios des HIF (dunkelblau) im Kontext der Kreislaufwirtschaft mineralischer und metallischer Rohstoffe. Ein besonderes Augenmerk liegt auf dem Zusammenspiel zwischen dem sich wandelnden Energiesystem und den Materialströmen der Kreislaufwirtschaft. ©HZDR/HIF

Der Aufbau einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft ist eine Antwort auf eine der drängendsten Fragen unserer modernen Gesellschaft: auf die des nachhaltigen, verantwortungsbewussten Umgangs mit unseren natürlichen Rohstoffquellen. Den Ressourceneinsatz, die Emissionen und den Energieverbrauch gilt es zu minimieren, indem man versucht, Stoffkreisläufe intelligent und auf Nachhaltigkeit bedacht zu schließen. Dieses eigentlich so einfach klingende Prinzip der Kreislaufwirtschaft ist hochkomplex und erfordert insbesondere zur Rückgewinnung von Hochtechnologiemetallen wie beispielsweise den Sel-

Kontakt

a.jentzsch@hzdr.de, Tel.: 0351 260 4429

tenen Erden, die meist nur in sehr niedrigen Konzentrationen in Produkten zu finden sind, neue und innovative Rückgewinnungsverfahren. Durch Forschung und Innovation auf höchstem Niveau im Bereich der Erkundung, der Charakterisierung, der Aufbereitung beziehungsweise des Recyclings hat sich das HIF zu einem Wegbereiter für den Auf- und Ausbau einer nachhaltigen CE etabliert. Der Aufbau einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft ist zugleich integraler Bestandteil des Europäischen „Green Deal“. Darin wird die Versorgung mit mineralischen und metallischen Rohstoffen als strategisches Element der wirtschaftlichen Entwicklung der EU anerkannt. Diese aktuellen politischen Entwicklungen und die globale geopolitische Situation mit sich stetig verstärkendem Rohstoffverbrauch und rohstoffpolitischen Konflikten, dem Klimawandel und der Energiewende verdeutlichen die hohe gesellschaftliche Relevanz der Forschung am HIF – gemeinsam mit der TU Bergakademie Freiberg, die in den nächsten zehn Jahren weiter an Bedeutung gewinnen wird.

Technologische Entwicklungen am HIF für die Circular Economy

Die Computerchips schrumpfen, die Hightech-Schrotberge wachsen: Die fortschreitende Digitalisierung macht ein effizienteres Recycling umso notwendiger. Eine konsequente Digitalisierung ist dabei auch hier der Schlüssel für ein besseres Verständnis von Recycling und Kreislaufwirtschaft. Gemeinsam mit seinen Partnern forscht das HIF an der Weiterentwicklung von etablierten Recyclingverfahren und beschäftigt sich mit der Simulation, Bewertung und Optimierung der Prozesse, zum Beispiel für das Recycling von Kühlschränken oder Smartphones, oder für die gesamte Wertschöpfungskette von Seltenen Erden. Die Erkenntnisse aus diesen Aktivitäten lassen sich in sogenannte Design-for-Recycling-Konzepte übersetzen. Denn um die Komplexität der Materialströme im Recyclingprozess zu minimieren, muss bereits beim Produktdesign angesetzt werden. Die Zusammenführung der Ressourceneffizienzanalyse mit dem technologieorientierten Design-for-Recycling-Modell soll künftig die Vorhersage eines für eine vollständige Kreislaufführung geeigneten Produktdesigns erlauben.



Der Highspeed-Images-Demonstrator dient der Erfassung, Identifizierung und Sortierung komplex zusammengesetzter Recyclingstoffströme. ©HZDR/Detlev Müller

Die zunehmende Komplexität der global anfallenden Recycling-Stoffströme – mittlerweile findet man nahezu alle Elemente des Periodensystems im Elektronikschrott – macht eine rasche Weiterentwicklung der Inline-Rohstoffcharakterisierung unabdingbar. Dafür werden Technologien in Kombination mit digita-

len Plattformen entwickelt. So können etwa moderne Multisensorsysteme mittels künstlicher Intelligenz Vorhersagen treffen, die eine deutlich bessere, schärfere Trennung und eine dadurch effizientere Rückgewinnung einzelner Stoffkomponenten – beispielsweise aus Elektro- und Elektronik-Altgeräten – ermöglichen. Um die durch die Messungen anfallenden Datenmengen zu strukturieren, zu analysieren und auszuwerten, profitieren die Ansätze des HIF von der Anwendung Künstlicher Intelligenz und des Maschinellen Lernens. Am HIF wurde bereits ein erster Prototyp, der diese Technologien in sich vereint, entwickelt und aufgebaut. Der Demonstrator „Highspeed-Images“ ermöglicht nun eine deutlich bessere und schnellere Identifizierung und Sortierung komplex zusammengesetzter Recycling-Stoffströme.

Zu einer funktionierenden CE gehört auch, alte Bergbahnhalden als Rohstofflagerstätten zu begreifen. Mit dem Rückbau von Halden wird nicht nur die Umwelt entfrachtet und somit eine Renaturierung ermöglicht; die Sanierung bedeutet eben auch, aus den Abraumhalden Rohstoffe rückzugewinnen und damit gleichzeitig deren Sanierung zu finanzieren. Am HIF wurde dafür das rECOMine-Bündnis gegründet, das in der Region ansässige Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft zusammenbringt – mit dem gemeinsamen Ziel, die Bergbaualtlasten zu minimieren. rECOMine hat die Vision, regional in Sachsen gewachsene Kompetenzen im Bereich der Umwelttechnologien weiterzuentwickeln – bis hin zur Erschließung auch disperser Rohstoffquellen. Typische Altlasten, wie sie an den verschiedenen Erprobungs- und Demonstrationsstandorten im Erzgebirge vorzufinden sind, gelten als Vorzeigebispiele für Altlasten weltweit.

Vom Labor- in den Pilotmaßstab

Das HIF richtet seine Forschung an gesellschaftlich relevanten Fragestellungen aus und wird zukünftig auf Basis seiner exzellenten Grundlagenforschung noch fokussierter an anwendungsorientierten Lösungen für KMU und Rohstoffindustrie arbeiten. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es wichtig, innovative Ressourcentechnologien zu digitalisieren und vor allem vom Labor- in den Pilotmaßstab zu überführen. Nur so können neue Technologien gezielt entwickelt, getestet und zum Transfer in die Industrie vorbereitet werden. Dazu sind geeignet dimensionierte Forschungsinfrastrukturen nötig, die den Kern des Forschungscampus für Ressourcentechnologie und Nachhaltigkeit bilden.



Das Technikum besteht aus einer 12 Meter hohen Versuchshalle und einem 15 Meter hohen Kopfbau mit diversen Funktionsräumen. In der Versuchshalle werden auf 950 Quadratmetern Anlagen und Geräte für die gesamte Bandbreite metallurgischer Forschung aufgebaut – von der Pyrometallurgie (wärmegeführte Prozesse) bis zur Hydrometallurgie (wassergebundene Prozesse). Weitere 110 Quadratmeter sind als Lagerfläche vorgesehen. Die Forscher*innen können mit Materialströmen zwischen einem und 500 Kilogramm experimentieren – das entspricht etwa der Lücke zwischen Labor- und Industriemaßstab. ©HZDR/Detlev Müller

Ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg hin zum Campus für Ressourcentechnologie und Nachhaltigkeit ist mit der Inbetriebnahme des Metallurgie-Technikums im Jahr 2021 bereits erreicht. In der neuen Versuchshalle werden Forschungsergebnisse zur pyro- bzw. hydrometallurgischen Rückgewinnung wirtschaftsstrategischer Metalle für den (Wieder-)Einsatz in den Pilotmaßstab überführt. Das Technikum bietet exzellente Voraussetzungen dafür, neue Technologien und Prozesse zu erproben, zu optimieren und zu automatisieren. Simulationsmodelle, die zur quantitativen Bewertung des Materialeinsatzes zum Energieverbrauch in bestimmten Prozessen entwickelt wurden, können praxisnah überprüft werden. Dadurch lassen sich die industrielle Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit innovativer Technologiekonzepte bereits in frühen Entwicklungsphasen abschätzen.



Der Blick in die zukünftige Versuchshalle FlexiPlant zeigt die verschiedenen Ebenen, auf denen alle Arten von Recyclingstoffströmen in der jeweils besten Weise energieeffizient, ressourcenschonend und werterhaltend aufbereitet werden können. ©Baubüro Freiberg

Das Herz des Campus wird in einer weiteren Versuchshalle schlagen: im Technikum FlexiPlant. Der sanierungswürdige Bau und Vorläufer dieser geplanten weltweit einzigartigen Infrastruktur wurde bereits Mitte der 1950er Jahre errichtet; er gehörte zum ehemaligen Forschungsinstitut für Aufbereitung (zum FIA der Akademie der Wissenschaften der DDR) und wird heute durch eine Privatfirma (UVR-FIA GmbH) betrieben. Die Halle wurde damals schon als dreischiffige, schwere Stahlkonstruktion mit Bekranung des Mittelschiffs errichtet, die für variable Versuchsaufbauten und -durchführungen geeignet ist. Nach der Sanierung und Modernisierung soll diese einzigartige Forschungsinfrastruktur auf ca. 1.700 m² Grundfläche ein Demonstrator im Pilotmaßstab für agile Rohstoffaufbereitungssysteme der nächsten Generation sein, der das Konzept Industrie 4.0 an die Bedürfnisse der rohstoffverarbeitenden Industrie anpasst. Die geplante Forschungsinfrastruktur FlexiPlant wird die höchstselektive und effiziente Aufbereitung komplexer Rohstoffströme im Pilotmaßstab erlauben. Das wird insbesondere durch intelligente Kopplung neuartiger flexibler, adaptiver, automatisierter sowie digitalisierter Aufbereitungsprozesse geschehen.

Drei grundlegende Ziele definieren die Bedeutung von FlexiPlant: a) Schließung der Stoffkreisläufe komplexer Rohstoffe, b) Maximierung der Energie- und Ressourceneffizienz, c) Digitale Transformation der gesamten Rohstoffindustrie und damit eine drastische Reduzierung des derzeit noch viel zu starken CO₂-Fußabdrucks.

Die Infrastruktur wird eine einzigartige Kollaborationsplattform zum Nutzen regionaler (beispielsweise die TUBAF), nationaler und internationaler Partner im Bereich der Kreislaufwirtschaft bilden, da sie das ideale Testfeld für innovative Technologien, neuartige Maschinen und Sensorsysteme sowie für die Entwicklung von geeigneten Steuerungsalgorithmen und systemischen Modellierungen bietet.



Um zukünftigen Herausforderungen gerecht zu werden, bedarf es eines gezielten Ausbaus des Gesamtstandorts zum Forschungscampus für Ressourcentechnologie und Nachhaltigkeit. ©Baubüro Freiberg

Nachhaltigkeit

Die wissenschaftliche Exzellenz des HIF, vor allem das Thema Nachhaltigkeit betreffend, soll auch in der (landschafts-)architektonischen Umsetzung auf dem Campusgelände sichtbar werden. Damit steht das Institut für Umweltbewusstsein, Modernität, Offenheit und Transdisziplinarität. Als ein Forschungsinstitut, das sich der Nachhaltigkeit verschrieben hat und einen beträchtlichen Teil seiner Drittmittel aus dem BMBF-Programm „Forschung für Nachhaltigkeit“ erhält, muss auch das Arbeitsumfeld möglichst nachhaltig gestaltet sein. Die Grundprinzipien der Nachhaltigkeit werden sich nicht nur in den Forschungsthemen widerspiegeln, sondern explizit auch das äußere Erscheinungsbild beim Bau und Betrieb der geplanten Forschungsinfrastrukturen des Campus bestimmen. Das HIF folgt damit dem Grundsatz „Weiternutzung vor Verwertung und Beseitigung“. Aber auch in punkto Mobilität wird auf Nachhaltigkeit geachtet. So soll für den Campus ein Gleisanschluss für den An- und Abtransport von Rohstoffen aller Art reaktiviert werden. Für die Mitarbeitenden wird es Dienstfahrräder und Ladestationen für E-Autos und E-Bikes geben. Auch die gemeinsame Nutzung von Laboren und Anlagen mit der TU BAF am Standort unterstreicht den Nachhaltigkeitsaspekt. Und schließlich sollen die Forschungsergebnisse in die Anwendung gebracht werden. Damit der Technologietransfer gelingt, ist die Integration eines Inkubators zur effizienten Einbindung von Start-Ups und innovativen Industriepartnern am Standort auch räumlich geplant. Damit entsteht in Freiberg ein attraktiver Forschungsstandort für national und international führende Experten und Nachwuchswissenschaftler. Die Mission Circular Economy wird am HIF gelebt, um den effizienten Umgang mit Ressourcen und Energie tatsächlich Realität werden zu lassen.

Alternative Wege für die Transformation zu einer nachhaltigen Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoff-Wirtschaft

Roh Pin Lee, Martin Gräbner, Bernd Meyer

1. Das Kohlenstoff-Dilemma

Kohlenstoff – das chemische Element „C“ in der vierten Hauptgruppe des Periodensystems – ist lebensnotwendig und gewährleistet das reibungslose Funktionieren unserer Gesellschaft (Lee und Scheibe 2020; Royal Society of Chemistry 2021). Die globale Nachfrage nach Kohlenstoffressourcen ist in den letzten Jahrzehnten stetig gestiegen, um den durch das globale Bevölkerungswachstum und die wirtschaftliche Entwicklung getriebenen Energiehunger zu stillen (The World Bank Group 2021; United Nations 2021b). Im Jahr 2018 machten die primären Kohlenstoffressourcen in Form von Erdöl, Erdgas und Kohle 84,8 % des globalen Primärenergieverbrauchs aus (bp 2019). In der heutigen linearen Wirtschaft werden diese primären Kohlenstoffressourcen überwiegend energetisch als Kraftstoffe in den Bereichen Stromerzeugung, Wärme und Mobilität genutzt, d. h. verbrannt (Royal Society of Chemistry 2021). Eine solche energetische Nutzung von primären Kohlenstoffressourcen ist mit erheblichen CO₂-Emissionen verbunden. Im fünften Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wird berichtet, dass die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität für 39 % der globalen Treibhausgasemissionen im Jahr 2010 verantwortlich waren (EPA, 2020; Fishedick et al., 2014). Im Jahr 2018 erreichten die globalen CO₂-Emissionen aus der Nutzung von Brennstoffen einen historischen Höchststand von 33,5 GT CO₂, wobei die Emissionen weitgehend durch das starke Bevölkerungswachstum und die wirtschaftliche Entwicklung in Nicht-OECD-Ländern, insbesondere in China und Indien, getrieben wurden (IEA 2021a).

Neben der Verbrennung primärer Kohlenstoffressourcen trägt auch die Verbrennung sekundärer Kohlenstoffressourcen, d.h. kohlenstoffhaltiger Abfälle, zur Strom- und Wärmeerzeugung und damit zu den CO₂-Emissionen aus der Kohlenstoffnutzung bei. Heute werden weltweit etwa 2.500 thermische Abfallbehandlungsanlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 400 Millionen Tonnen Abfall pro Jahr betrieben. Man erwartet, dass diese Kapazität bis zum Jahr 2029 auf fast 2.700 Müllverbrennungsanlagen für 550 Mio. Tonnen Abfall pro Jahr ansteigen wird (ecoprog 2021). Grund ist unter anderem, dass wachsende Volkswirtschaften wie diejenige der VR China von der Deponierung auf die großflächige Ausweitung der Müllverbrennung umsteigen, um zunehmende Probleme der Abfalldeponierung zu bewältigen (Lee et al., 2020). Geht man davon aus, dass die Verbrennung einer Tonne Siedlungsabfall mit der Freisetzung von etwa 0,7 bis 1,7 Tonnen CO₂ verbunden ist (Zero Waste Europe 2019), wird die Müllverbrennung zukünftig mit 371 bis 901 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen (d. h. 0,37 bis 0,9 GT CO₂) signifikant zu den CO₂-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Kohlenstoff-Ressourcen beitragen.

Der globale Fokus auf die Reduzierung von CO₂-Emissionen ergibt sich aus deren zentraler Rolle im Zusammenhang mit der globalen Erwärmung und dem zunehmenden Auftreten von extremen Wetterereignissen (Garrett 1992; Scientific American 2018). Um die Bedrohung durch den Klimawandel zu bekämp-

fen, zielt das Pariser Abkommen darauf ab, den globalen Temperaturanstieg in diesem Jahrhundert auf maximal 2 besser 1,5 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau zu limitieren (United Nations 2021a). Um dieses Ziel zu erreichen, steht die Reduzierung der CO₂-Emissionen, die mit der energetischen Nutzung von Kohlenstoffressourcen verbunden sind, an erster Stelle. Bislang haben sich die globalen Bemühungen um die Transformation unserer kohlenstoffintensiven Gesellschaft in Richtung „net-zero“ vorwiegend auf die Umstellung der energieintensiven Stromerzeugung weg von fossilen hin zu erneuerbaren Energiequellen konzentriert (Lee 2019). In den letzten Jahren hat sich dieser Fokus zunehmend auf die Dekarbonisierung des Mobilitätssektors durch Ablösung konventioneller Verbrennungsmotoren durch Elektro- und Wasserstoffmobilität erweitert (McKinsey & Company 2017).

Während es langfristig möglich wäre, die Energiewirtschaft und den Mobilitätssektor weitgehend zu dekarbonisieren, haben kohlenstoffintensive und -abhängige Industriesektoren wie die chemische Industrie keine Alternativen zur Verwendung von Kohlenstoffressourcen als Ausgangsmaterial für ihre Produktion (Lee und Scheibe 2020; GDCh et al., 2010). Heute werden weltweit 14 % des Erdöls und 8 % des Erdgases von der chemischen Industrie für die Herstellung einer Vielzahl von Produkten verbraucht, die von Kunststoffen, Düngemitteln, Fein- und Spezialchemikalien, pharmazeutischen Produkten bis hin zu Wasch- und Körperpflegemitteln reichen. Dies war im Jahr 2018 wiederum mit dem Ausstoß von 1,5 GT CO₂ weltweit verbunden, was die chemische Industrie zum drittgrößten industriellen CO₂-Emittenten machte (dena 2019). Darüber hinaus führt die Abhängigkeit zahlreicher Länder von importiertem Erdöl und Erdgas – auch für die chemische Produktion – zu signifikanten „carbon leakages“ entlang internationaler Lieferketten, was die Klimaauswirkungen des Chemiesektors weiter verstärkt (Lee et al., 2017c; Lee et al. 2018). Da eine Dekarbonisierung der chemischen Industrie nicht möglich ist, motiviert die Notwendigkeit ihren CO₂-Fußabdruck zu verringern die Suche nach nachhaltigen Alternativen für Kohlenstoff-Ressourcen für die Produktion. Dies ist jedoch nicht der einzige Antrieb für eine Transformation in der chemischen Industrie. Auch andere wichtige Treiber wie Versorgungssicherheit, Strukturwandel sowie Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft üben zunehmend Druck auf die Branche aus, ihre Transformation von der Petrochemie hin zur innovativen Nutzung von alternativen Kohlenstoffressourcen zu beschleunigen. In diesem Zusammenhang ziehen verschiedene Arten von Abfällen als alternative Kohlenstoff-Rohstoffe zunehmend die Aufmerksamkeit der globalen Gemeinschaft auf sich. Ziel ist es, den im Abfall enthaltenen Kohlenstoff möglichst lange im System zu halten, anstatt ihn durch Verbrennung als CO₂ in die Atmosphäre zu emittieren.

Kontakt

Roh-Pin.Lee@iec.tu-freiberg.de

2. Abfall als alternative sekundäre Kohlenstoffquelle

Zwischen 2012 und 2025 wird ein exponentieller Anstieg der jährlich weltweit anfallenden Abfallmenge von 1,3 Milliarden Tonnen auf 2,2 Milliarden Tonnen erwartet (Hoornweg und Bhada-Tata 2012). Derzeit werden nur etwa 16 % dieses Abfalls recycelt, während 46 % (über 950 Millionen Tonnen) nicht nachhaltig entsorgt werden (BBC 2019; Smith 2019). Dies führt zu einer globalen Abfallkrise, die insbesondere durch die Herausforderung der Kunststoffentsorgung vorangetrieben wird.

Die Verwendung von kohlenstoffhaltigen Abfällen als alternative sekundäre Kohlenstoffrohstoffe für die chemische Produktion stellt ein innovatives Konzept dar, das folgende Beiträge leisten könnte (cefic 2021; Lee et al., 2017a; Neste 2021):

- Lösung der globalen Abfall(kunststoff)krise,
- Recycling problematischer Abfallfraktionen (z. B. geschreddertes Material aus der Automobilentsorgung, CFK, GFK, ...),
- Reduzierung der Emissionen klimarelevanter Gase (z. B. CO₂, CH₄) durch Verringerung/Vermeidung von Müllverbrennung und Deponierung
- Diversifizierung von Rohstoffen für die chemische Produktion und der damit einhergehende Beitrag zur Ressourcenschonung zur Versorgungssicherheit durch Verringerung der Abhängigkeit von Importen fossiler Rohstoffe sowie zur Reduzierung von „carbon leakage“ entlang internationaler Lieferketten,
- Erhöhung der Ressourceneffizienz durch Rückführung des Kohlenstoffs im Abfall in den Produktionskreislauf,
- Förderung der Kreislaufwirtschaft und das Erreichen von Recyclingzielen,
- Steigerung der Wertschöpfung aus Abfall (z. B. Abfall-zu-Produkten „waste-to-products“ anstelle von Abfall-zu-Energie „waste-to-energy“).

Angesichts ihrer potenziellen Anwendbarkeit zur Unterstützung der Transformation hin zu einer nachhaltigen Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoff-Wirtschaft stellt die chemische Verwertung von Abfällen eine attraktive und relevante Option für alle Länder dar. Dies gilt insbesondere für jene Nationen mit aktiven Chemiesektoren, die von Importen fossiler Rohstoffe abhängig sind (z. B. Deutschland).

3. Transformationspfade für die chemische Industrie

3.1. Chemisches Recycling (Abfall-zu-chemischen Produkten „waste-to-chemicals“)

Chemisches Recycling wird allgemein als die Aufspaltung von kohlenstoffhaltigen Abfällen in chemische Grundbausteine entweder durch Lösungsmittel oder durch den Einsatz von Wärme definiert. Die gewonnenen Grundbausteine können dann von der chemischen Industrie als Ausgangsmaterial für ihre Produktion verwendet werden (Lee et al. 2020; ACC 2021; cefic 2020). Im Allgemeinen lassen sich Technologien des chemischen Recyclings in vier Kategorien einteilen, näm-

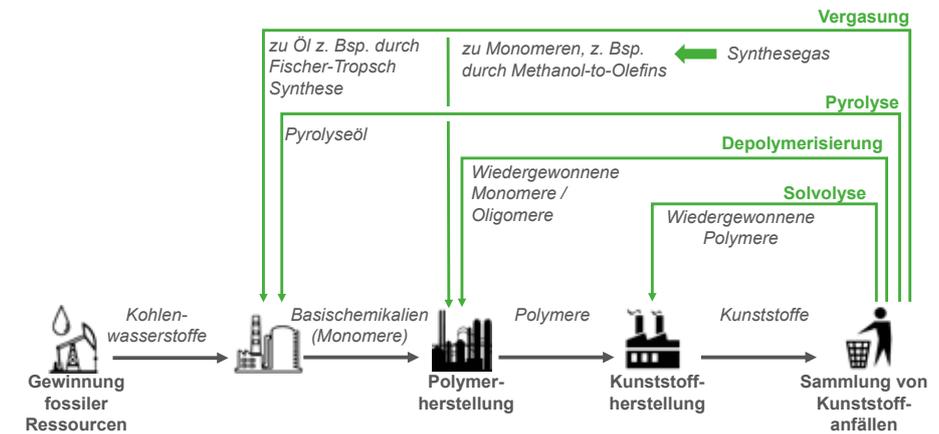


Abbildung 1: Chemische Recyclingpfade (Bsp. Plastikmüll)

lich Solvolyse, Depolymerisierung, Pyrolyse und Vergasung (Lechleitner et al. 2020; Mamani-Soliz et al., 2020)¹. Bei der Solvolyse werden Lösungsmittel verwendet, um Polymere aus Kunststoffabfällen zu extrahieren, während die Depolymerisierung Prozesse wie Alkohololyse, Hydrolyse, Acidolyse und Aminolyse zur Herstellung von Oligomeren oder Monomeren umfasst (Xanthos und Patel 1998; Zhao et al., 2018). Bei der Pyrolyse werden kohlenstoffhaltige Abfälle bei Temperaturen von etwa 400 bis 600 °C unter Luftabschluss thermisch in brennbare Gase, Öle und feste Rückstände zersetzt. Im Gegensatz dazu findet bei der Vergasung die thermochemische Umwandlung von kohlenstoffhaltigem Abfall unter hohen Temperaturen und Drücken zu Synthesegas statt, das hauptsächlich aus CO und H₂ besteht. Dies kann anschließend für die Herstellung einer breiten Palette von Produkten, u.a. chemischer Produkte (z.B. Methanol, Kunststoffe, Pharmazeutika), Kraftstoffe und Wasserstoff (Keller et al., 2020; Lee et al., 2017b; Scheithauer et al., 2021) verwendet werden.

Solvolyse, Depolymerisation, Pyrolyse und Vergasung können auf unterschiedliche Weise in bestehende chemische Produktionsketten integriert werden, um die Ressourceneffizienz zu erhöhen und zu einer schrittweisen Substitution von primären Kohlenstoffressourcen für die chemische Produktion beizutragen (siehe Abb. 1).

3.2. Grüner Wasserstoff aus Abfall

Wasserstoff (H₂) ist ein Gas mit vielen positiven Eigenschaften. Es ist leicht, energiedicht, erzeugt keine direkten Emissionen von Verunreinigungen oder Treibhausgasen und kann – ähnlich wie Erdgas – unter Druck über ein Pipelinennetz bereitgestellt werden (IEA 2019). Laut IEA (2021b, 2021c) hat sich der industrielle Bedarf an Wasserstoff seit 1975 mehr als verdreifacht und lag 2018 bei etwa 70 Millionen Tonnen. Diese Nachfrage wird jedoch fast vollständig durch fossile Brennstoffe gedeckt, wobei 6 % des globalen Erdgases und 2 % der globalen Kohle in die Wasserstoffproduktion fließen. Folglich ist die weltweite Produktion von „grauem“ Wasserstoff mittels Dampfreformierung von Erdgas sowie Kohlevergasung mit etwa 830 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen pro Jahr verbunden, was in etwa den kombinierten Emissionen von Indonesien und Großbritannien entspricht.

¹ Eine detaillierte Übersicht über verschiedene chemische Recyclingverfahren bieten Lechleitner et al., 2020 und Mamani-Soliz et al., 2020 Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, TU Bergakademie Freiberg

Heute sorgen neue Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff zur Unterstützung der Dekarbonisierung diverser Sektoren für eine wachsende globale Nachfrage nach diesem Gas. Dazu gehören verschiedene Anwendungen (IEA 2021c; BMWi 2020):

- in Industriesektoren als Ersatz für fossile Brennstoffe bei industriellen Prozessen wie der Öltraffination, der Ammoniakproduktion, der Methanolherstellung und der Stahlproduktion,
- im Transportsektor zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe oder in Brennstoffzellen für die Wasserstoffmobilität,
- für die Wärmebereitstellung zur Reduzierung der Nachfrage nach Erdgas durch Einspeisung in bestehende Erdgasnetze,
- in der Energiewirtschaft, um fossile Brennstoffe durch die Nutzung von Wasserstoff und Ammoniak zu ersetzen und die Flexibilität des Stromnetzes zu erhöhen.

Um das volle Potenzial von Wasserstoff zur Erreichung der Emissionsreduktionsziele und Kreislaufwirtschaft zu entfalten, hat sich die globale Aufmerksamkeit auf „grünen“ Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen (d. h. Power-to-Hydrogen) gerichtet. Bis heute haben sich die F&E-Aktivitäten sowie die Umsetzung von Projekten überwiegend auf die grüne Wasserstofferzeugung durch Wasserelektrolyse

Ausgangsstoffe für die Bioabfallvergasung an Aufmerksamkeit gewinnen, reichen von Mikroalgen, Ernterückständen, Viehabfällen, Lebensmittelabfällen, kommunalen Feststoffabfällen, Klärschlämmen bis hin zu Holzabfällen (Hossain und Charpentier 2015).

Insbesondere die Erzeugung von grünem Wasserstoff durch Plasmavergasung hat als potenziell saubere Technologie mit geringen Auswirkungen auf die Umwelt großes Interesse geweckt (Hossain und Charpentier 2015). Neben der Plasmavergasung gehören zu den weiteren Bioabfallvergasungstechnologien, die für die grüne Wasserstoffproduktion potenziell interessant sind, die duale Wirbelschichtvergasungstechnologie der Technischen Universität Wien (TU Wien), die MILENA-Vergasungstechnologie des Energy Research Center of the Netherlands (ECN) sowie die Flexi-Technologien des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC), TU Bergakademie Freiberg (Binder et al., 2018; Lee und Meyer 2019) (Abb. 2).

3.3. CO₂-neutrale Flüssigbrennstoffe (Abfall-zu-Kraftstoff „waste-to-fuels“)

Nach Angaben der IEA (IEA 2021d) ist der Transportsektor für 24 % der direkten CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Kohlenstoffressourcen verantwortlich. Er spielt somit eine entscheidende Rolle bei der Reduzierung des globalen CO₂-Fußabdrucks und dem Übergang zu einer „net-zero so-



Abbildung 2: Flexi-Technologien am IEC, TU Bergakademie Freiberg

mit erneuerbarer Energie konzentriert, wobei die installierte Elektrolysekapazität von weniger als 1 MW im Jahr 2010 auf mehr als 25 MW im Jahr 2019 gestiegen ist (IEA 2021c). Grüner Wasserstoff aus Elektrolyse steht jedoch vor drei großen Herausforderungen, nämlich hohen Kapital- und Produktionskosten, einem geringen Wirkungsgrad bei der Umwandlung sowie einem Mangel an günstigem erneuerbaren Strom.² Dies gilt insbesondere für einen Großteil der entwickelten Länder, in denen Solar- und Windenergie nur in geringem zeitlichen Umfang vorhanden sind (Christensen 2020; Hydrogeit 2020). Angesichts der Schlüsselrolle, die grüner Wasserstoff bei der Erfüllung der globalen Dekarbonisierungs- und Kreislaufwirtschaftsziele voraussichtlich spielen wird, besteht ein zunehmendes Interesse an alternativen Routen für die Wasserstoffherstellung. Eine solche Alternative für die großtechnische Produktion von grünem Wasserstoff bietet die Vergasung von biogenen Abfällen. Biogene Abfälle, die derzeit als potenzielle kohlenstoffhaltige

city“. Im vergangenen Jahrzehnt hat sich die Transformation des Verkehrssektors in Richtung Treibhausgasneutralität vor allem auf batterieelektrische Fahrzeuge konzentriert, um konventionelle Fahrzeuge zu ersetzen. In den letzten Jahren wird diese Entwicklung durch eine Expansion der Wasserstoffmobilität ergänzt. Doch während E-Mobilität und Wasserstoffmobilität bei Straßenfahrzeugen wie Pkw und Bussen eine Reduzierung der CO₂-Emissionen unterstützen könnten, gibt es für andere Verkehrswege wie Luftfahrt, Schifffahrt und Schwerlasttransport auf absehbare Zeit keine echten Alterna-

2 Beispiel Deutschland: Für die Herstellung von 1 kg Wasserstoff werden etwa 60 kWh (d. h. 216 MJ) Strom verbraucht (Rievaj et al., 2019). Deutschland hat mit 0,18 EUR/kWh den höchsten Nicht-Haushaltsstrompreis in der EU (European Commission 2021). Somit kostet die Herstellung von 1 kg Wasserstoff mittels Wasserelektrolyse 10,80 EUR. Bei einem angenommenen Erdgaspreis von 0,25 EUR/kg ist dies das Vier- bis Zehnfache der Wasserstoffproduktionskosten mittels konventioneller Herstellung per Dampfreformierung (Dagdougui et al., 2018).

tiven zu flüssigen Kraftstoffen (BMW 2020). Daher ist eine parallele Entwicklung CO₂-neutraler, grüner Flüssigkraftstoffe zur Substitution fossiler Flüssigkraftstoffe dringend erforderlich.

Die Forschung zu synthetischen Flüssigkraftstoffen stellt einen ergänzenden Baustein zu den Entwicklungen der Elektro- und Wasserstoffmobilität dar. Unter der Voraussetzung, dass sie die entsprechenden Normen erfüllen, können synthetische Flüssigkraftstoffe als Ersatz für Diesel, Benzin und Düsenkraftstoffe verwendet werden (European Commission 2015). Hauptvorteil ist, dass sie in konventionellen Verbrennungsmotoren einsetzbar sind. So können synthetische Kraftstoffe analog zu Biokraftstoffen über das bestehende Tankstellennetz als „drop-in fuels“ vertrieben oder schrittweise den bestehenden erdölbasierten Kraftstoffen beigemischt werden, um eine sukzessive Transformation der konventionellen Verbrennungsmotoren hin zu einer klimaneutralen Mobilität zu bewirken (VDA 2020).

Ein Weg zur Herstellung synthetischer Flüssigkraftstoffe führt über die Bioabfallvergasung. Ihr Hauptvorteil ist, dass sie verglichen mit der Wasserelektrolyse nur etwa ein Zehntel der Elektroenergie benötigt. Nach der Bioabfallvergasung kann das erzeugte Synthesegas anschließend durch Syntheseprozesse zu synthetischen Kraftstoffen veredelt werden. Beim Fischer-Tropsch-Verfahren wird das Synthesegas über Katalysatoren in ein Produktgemisch aus synthetischem Naphtha, synthetischen Mittelöledestillaten (d. h. Diesel und Kerosin), Schmierölen und synthetischen Wachsen umgewandelt (Krylova 2014). Eine solche Nutzung der Abfallvergasung in Kombination mit der FT-Synthese zur Herstellung von kohlenstoffarmen/CO₂-neutralen synthetischen Flüssigkraftstoffen gewinnt weltweit an Dynamik, wobei sich aktuell diverse Projekte in der Pipeline befinden. Ein Beispiel ist das Sierra BioFuels Project, das die Vergasungs- und FT-Prozesse von Fulcrum nutzt, um kommunale Feststoffabfälle in kohlenstoffarme synthetische Transportkraftstoffe umzuwandeln (Tiverios und Dunlap 2019).

Alternativ wird das Synthesegas zunächst über die Methanolsynthese in Methanol umgewandelt. Anschließend ist ein zweiter Syntheseschritt notwendig, um das gewonnene Methanol in synthetische Transportkraftstoffe umzuwandeln, z. B. Methanol-to-Gasoline (MTG) (Dagle et al., 2013). Die technische Machbarkeit der Herstellung von grünem Benzin wurde zum Beispiel in dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt Closed-Carbon-Cycle (C3) Mobility gezeigt. Im Rahmen des Projekts kooperierte das IEC mit der Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH (CAC) und produzierte erfolgreich 16.000 Liter CO₂-neutrales synthetisches Benzin mit der MTG-Technologie von CAC (Menschkat 2020). In einer Testkampagne im Jahr 2020 wurden

zusätzlich 45.000 Liter CO₂-neutrales synthetisches Benzin im Dauerbetrieb erzeugt.

4. Fazit

Die energetische Nutzung von primären und sekundären Kohlenstoffressourcen ist mit erheblichen CO₂-Emissionen verbunden und trägt maßgeblich zur globalen Klimaerwärmung bei. Während es langfristig möglich sein mag, den Strom- und Mobilitätssektor weitgehend zu dekarbonisieren,



Abbildung 3: FlexiSyn Gasoline Synthesis Pilotanlage am IEC, TU Bergakademie Freiberg

haben andere kohlenstoffintensive und -abhängige Sektoren wie die chemische Industrie keine Alternativen zu Kohlenstoffressourcen als Ausgangsmaterial für ihre Produktion. Heute ist die chemische Industrie in zahlreichen Ländern nach wie vor weitgehend auf importiertes Öl und Gas angewiesen. Neben dem globalen Druck, ihren CO₂-Fußabdruck zu verringern, motivieren auch andere Treiber wie die Versorgungssicherheit, Strukturwandel sowie Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft die chemische Industrie, ihre Transformation von der Petrochemie hin zu einer nachhaltigen Produktion durch innovative Nutzung alternativer Kohlenstoffressourcen zu beschleunigen. Dieser kurze Artikel gibt Einblicke in Transformationsoptionen für die chemische Industrie durch die Nutzung von Abfall als alternativer sekundärer Kohlenstoff-Rohstoff für das chemische Recycling, sowie die Produktion von grünem Wasserstoff und CO₂-neutralen Flüssigbrennstoffen aus Abfall, um die Transformation zu einer nachhaltigen, Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoff-Wirtschaft voranzubringen.

Literatur

Das Literaturverzeichnis ist bei der Autorin abfragbar bzw. kann auf der ACAMONTA-Homepage eingesehen werden.

recomine

Ganzheitliche Lösungsansätze für Bergbaualtlasten durch Kombination von Umwelt-, Ressourcentechnologie und Digitalisierung

Philipp Büttner, Jonathan Engelhardt

Neue Wege im Umgang mit Bergbaualtlasten

In den vergangenen zehn Jahren befassten sich mehrere nationale und europäische Förderprogramme mit dem Ressourcenpotenzial von Bergbauabfällen (Grobbergematerial, Spülhalden und Hüttenschlacken), wobei der Schwerpunkt auf der Erschließung neuer Quellen für kritische Rohstoffe lag, die von der Europäischen Kommission als äußerst wichtig für die europäische Hightech-Industrie definiert wurden [1]. Sie beruhen auf der europäischen und nationalen Ressourcenstrategie [2]. Eines dieser Programme in Deutschland war das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Programm „r3 - Strategische Metalle und Mineralien - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz“, das im Jahr 2012 startete. Ziel war es, die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit strategisch bedeutsamen Metallen und Mineralien zu sichern und Projekte in den Bereichen Recycling, Substitution und reduziertem Ressourcenverbrauch, Urban Mining und Methoden zur Bewertung der Ressourceneffizienz zu fördern.

Im Rahmen des Programms arbeiteten das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) in verschiedenen Projekten zur Charakterisierung von Bergbauabfällen und zur Rohstoffgewinnung mit Partnern wie der TU Bergakademie Freiberg (TUBAF) oder dem Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) zusammen.

Das HIF verfolgt das Ziel, innovative Technologien für die Wirtschaft zu entwickeln, um mineralische und metallhaltige Rohstoffe effizienter verfügbar zu machen, zu nutzen und umweltgerecht zu verwerten. Das HIF wurde 2011 von der Bundesregierung im Rahmen der nationalen Rohstoffstrategie gegründet. Es ist ein Bestandteil des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf und eng mit der TU Bergakademie Freiberg verbunden. Das HIF ist ein Kernmitglied des europäischen Netzwerks EIT RawMaterials und war maßgeblich an dessen Gründung beteiligt.

Doch nicht nur das Potenzial an wertvollen Metallen aus Bergbauabfällen steht heute im politischen und öffentlichen Interesse. Nach den katastrophalen Dammbürchen bei brasilianischen Bergbauhalden, z.B. in der Córrego do Feijão Mine in Brumadinho (VALE) im Jahr 2019 ist der gesellschaftliche Druck auf die Bergbauindustrie, die Haldenbesitzer bzw. -verwalter (z.B. Bundesstaaten) und die Politik gestiegen, diese Risiken zu senken. Mit dem Global Industry Standard on Tailings Management wurde ein neues Regelwerk entwickelt, um solche Unfälle in Zukunft zu vermeiden. Das International Council on Mining and Metals (ICMM), das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und die Principles for Responsible Investment (PRI) setzen sich für die Einführung globaler Best Practices für Bergbauabfälle ein. Sie haben gemeinsam zur Überprüfung von Abraumhalden weltweit aufgerufen um einen internationalen Standard festzulegen [3].

Ihre Umweltrisiken und gleichzeitig ihr hohes Potenzial als Quelle für kritische Rohstoffe und wertvolle Metalle machen Projekte für Bergbauabfälle komplex. Es besteht ein weltweiter

Bedarf an neuen Lösungsansätzen, die aus verschiedenen Perspektiven mit ganzheitlichen und nachhaltigen Ansätzen und unter Berücksichtigung ökologischer, technischer, sozialer und wirtschaftlicher Aspekte entwickelt werden. Aus diesem Grund hat das HIF die recomine-Allianz gegründet und koordiniert diese. Das überwiegend regionale Netzwerk (Erzgebirge) entwickelt unter Nutzung des bestehenden Knowhow in der Region innovative und holistische Lösungen für den Umgang mit Bergbauabfällen und wird im Rahmen des BMBF WIR! Programms (Wandel durch Innovation in der Region) gefördert.

recomine – Konzeptentwicklung für ressourcenorientierte Umwelttechnologien im Erzgebirge

Zukünftig wird es notwendig sein, neue ganzheitliche Konzepte für Bergbauabfälle zu entwickeln, die sowohl die sozialen als auch die technischen und mineralogischen Aspekte berücksichtigen und die Ressourcentechnologie, Umwelttechnologie und Digitalisierung miteinander verbinden. Soziale Werte müssen in nachhaltige technische Lösungen für einen modernen Bergbau integriert werden um die negativen Auswirkungen des Bergbaus (und dessen Abfälle) zu minimieren.

Dazu hat das HIF die recomine-Allianz gegründet, die vom BMBF für bereits zwei Jahre und noch für weitere drei Jahre gefördert wird. Die Allianz verfolgt die Vision, regional gewachsene Kompetenzen auf dem Gebiet der Umwelttechnologien zur Erschließung disperser Rohstoffquellen weiter zu entwickeln. Typische Altlastengebiete wie die Versuchs- und Demonstrationsflächen im Erzgebirge sind Beispiele, die weltweit von Bedeutung sein können. Die Sanierung solcher Standorte kann durch die Rückgewinnung der verbliebenen Rohstoffe refinanziert werden. Anhand zahlreicher konkreter Aktivitäten in dem Bereich, wie z.B. an eigenfinanzierten Forschungsprogrammen und „Tailings Challenges“, lässt sich international ein steigender Bedarf an ganzheitlichen Lösungen für Bergbaualtlasten erkennen. Nachdem der neue Industriestandard zum Tailingsmanagement 2020 unter der Maßgabe „Zero Harm“ (keine Schäden mehr durch Bergbaualtlasten) in London veröffentlicht wurde, haben viele Bergbaukonzerne konkrete Maßnahmenpläne zur Reduzierung und Verwertung ihrer Halden aufgesetzt. Dies birgt für die im Umgang mit Bergbaualtlasten sehr erfahrene Region und das recomine-Bündnis ein hohes Potenzial für die wirtschaftliche Weiterentwicklung und weltweite Vermarktung dieses Wissens. Die Vision des recomine-Bündnisses ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Themen der recomine-Projekte umfassen drei bergbauliche Altlastenarten: Grobberge- und Spülhalden, Gruben- und Bergbauwässer sowie Schlacken und Aschen, da diese Stoffströme weltweit die wesentlichen Altlasten aus der Bergbaubranche darstellen. Zusätzlich werden die gesellschaftlichen Fragestellungen angesprochen, die unmittelbar mit dem Thema verbunden sind.

Kontakt

p.buettner@hzdr.de, j.engelhardt@hzdr.de

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie

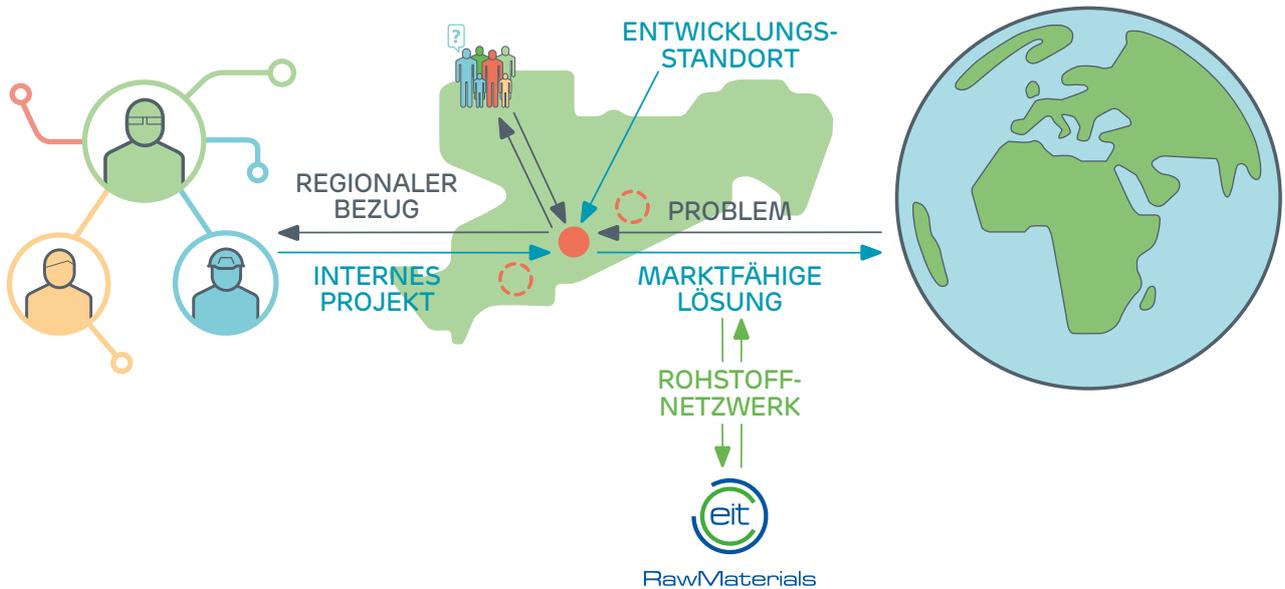


Abbildung 1: Die recomine-Vision: An regionalen Entwicklungsstandorten sollen innovative Lösungen für Alltagsprobleme von weltweiter Relevanz entwickelt und unter realen Bedingungen erprobt werden. Die Standorte sollen zukünftig auch Ausbildungs- und Begegnungsstätten sein, über die die regional entwickelten Konzepte weltweit vermarktet werden können (bspw. durch Demonstrationsanlagen).

Die regionalen Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen verfügen neben umfangreichem Knowhow in der Ressourcen- und Umwelttechnologie auch über ein beachtliches Wissen in der Automatisierungs- und Sensortechnik, das es ermöglicht, zukunftssichere und effiziente Technologien mit höchstem Wirkungsgrad zu etablieren. Die über Jahrhunderte reichende Bergbau- und Hüttengeschichte des Erzgebirges zeichnet die Region als idealen Modellstandort aus, um ressourcenorientierte Umwelttechnologien in Pilot- und Demonstrationsanlagen zu entwickeln und an die Anforderungen des internationalen Markts anzupassen. Zu diesem Zweck werden in der recomine-Allianz zunächst vier Entwicklungsstandorte eingerichtet:

- (1) die Spülhalde Davidschacht in Freiberg
- (2) der Rote Graben in Tuttendorf (unterhalb von (1) gelegen)
- (3) die Spülhalde I&II und der Grubenwasserstollen in Ehrenfriedersdorf
- (4) der historische Hüttenstandort Muldenhütten

Zukünftig sollen auch noch weitere Standorte z.B. in Altenberg (IAA Bielatal), Bad Schlema (in Kooperation mit der Wismut GmbH) und Freiberg (neues Metallurgietechnikum des HIF) für Technologieentwicklung, Ausbildung und Forschung genutzt werden. Abbildung 2 zeigt, welche Themenfelder an welchem Entwicklungsstandort von recomine eine Rolle spielen und durch konkrete Projekte adressiert werden. Weitere Informationen finden Sie unter www.recomine.de.

Quellen

- 1 European Commission, (2020): Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>
- 2 Rohstoffstrategie der Bundesregierung, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2010
- 3 Website: <https://globaltailingsreview.org/>, 29.09.2020

recomine > ENTWICKLUNGS- UND PROJEKTSTANDORTE

- Grubenwässer
- Gesellschaft
- Bergbauhalden
- Schlacken / Aschen

* Abstimmung im Vorfeld erforderlich



Abbildung 2: Die recomine-Entwicklungsstandorte und die dort bearbeiteten Themenfelder

Gewinnung von Platin durch Mikroorganismen

Sabrina Hedrich¹, Marika Hofmann¹, Malte Junge²

Der Begriff Platin ist vom spanischen Wort „plata“, einer Verkleinerungsform für Silber, abgeleitet, welches Goldsucher im 16. Jahrhundert für eine unfertige Form des Silbers hielten.

Neben Ruthenium, Rhodium, Palladium, Osmium und Iridium zählt Platin zu den Platingruppenelementen (PGE). Platin gilt als eines der wertvollsten und seltensten Metalle und wird neben Gold, Silber und Palladium als Anlagemetall gehandelt. Obwohl Platin in einer ähnlichen Häufigkeit in der Erdkruste vorkommt wie Gold, wird es dennoch zeitweise zu einem höheren Preis gehandelt, da sein Abbau wesentlich aufwendiger ist. Das Edelmetall findet aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften Anwendung in der Schmuckherstellung, für Autokatalysatoren, sowie in der chemischen, elektronischen und Glasindustrie und dient nicht zuletzt aufgrund seines Marktwertes als Investmentmetall.

Vorkommen und Aufbereitung von Platinerzen

Platin kann bisher nur in Südafrika, Russland, Simbabwe, Kanada und den USA gewinnbringend abgebaut werden, wo es auch häufig als Nebenprodukt der Kupfer- und Nickelproduktion gefördert wird.

Südafrika besitzt dabei mit 70 % die weltweit größten Ressourcen an PGE, die aus dem Bushveld-Komplex gewonnen werden. Der Bushveld-Komplex ist eine gigantische magmatische Intrusion und umfasst als wichtigste PGE-Lagerstätten das Merensky Reef, UG2-Chromit und das Platreef [1]. Das Platreef ist ein 400 m mächtiger Erzkörper aus magmatischem Gestein mit durchschnittlichen PGE-Gehalten von 1 bis 4 g/t [2]. Allein Deutschland importiert durchschnittlich mehr als 40 % PGE aus Südafrika für industrielle Zwecke.

Platinerze werden hauptsächlich im Untertagebergbau gefördert, besonders im Platreef gibt es allerdings auch sehr große Tagebaubetriebe. Der größte Platin-Tagebau weltweit, die Mogalakwena Mine, wird von Anglo American Platinum Ltd. betrieben und beherbergt 4 Mrd. t Erz zu je 3 g/t PGE [2].

Unverwitterte Platinerze werden mittels konventioneller Abbaumethoden und anschließender Flotation aufbereitet, wobei die Ausbringraten von PGE bei diesem Erztyp bei über 90 % liegen [3]. Allerdings tritt im Bushveld-Komplex oberflächennahe Verwitterung der Erze bis zu einer Tiefe von 40 m auf, wodurch sich die Mineralogie verändert und die konventionelle Flotation behindert wird. Versuche zur Aufbereitung dieser verwitterten Erze führten zu sehr geringen Ausbringraten der PGE von unter 50 %, was als nicht wirtschaftlich erachtet wird [4,5]. Allerdings wird dem verwitterten Platreef ein großes Potential nachgesagt, da hier Berechnungen zufolge bis zu 528 t PGE lagern [6]. Allein in der Mogalakwena Mine liegen mindestens 10 % der Ressourcen als verwitterte und bisher unverarbeitete Erze vor, die somit ein enormes Potential darstellen.

Auf der Suche nach alternativen Aufbereitungsmethoden für diese verwitterten Platinerze bietet Biomining einen möglichen Lösungsansatz.

Biomining zur Metallgewinnung

Biomining ist eine umweltfreundliche und wirtschaftliche Alternative zur Gewinnung von Wertmetallen, vorwiegend aus Armerzen (geringer Wertmetallgehalt) und Prozessrückständen, die sich mit den herkömmlichen Methoden nicht wirtschaftlich anreichern lassen [7]. Entwicklungen und Fortschritte im Prozessdesign, Anlagenbau und Monitoring der mikrobiellen Prozesse führten zu einer weltweiten Verbreitung der Technologie als erfolgreiche Alternative zu anderen hydrometallurgischen Verfahren. Welches Aufbereitungsverfahren für die jeweiligen Ressourcen am geeignetsten ist, hängt von einer Reihe von Parametern ab wie der Mineralogie, Metallgehalt, Begleitelemente, Infrastruktur und nicht zuletzt von den Ergebnissen der Pilotversuche. Aufgrund des gegenüber der konventionellen Erzverhüttung geringen Energieverbrauchs sowie der Vermeidung klima- und umweltgefährdender Gase sprechen oft ökonomische und ökologische Gründe für den Einsatz von Biomining.

Kupfer, Nickel, Kobalt, Zink und Gold werden bereits im industriellen Maßstab durch Biomining gewonnen, wobei die bekannteste industrielle Anwendung die Gewinnung von Kupfer aus sulfidischen Erzen ist. Biomining trägt bereits mit 15 % zur Weltkupferproduktion und mit 3 % zur globalen Goldgewinnung bei.

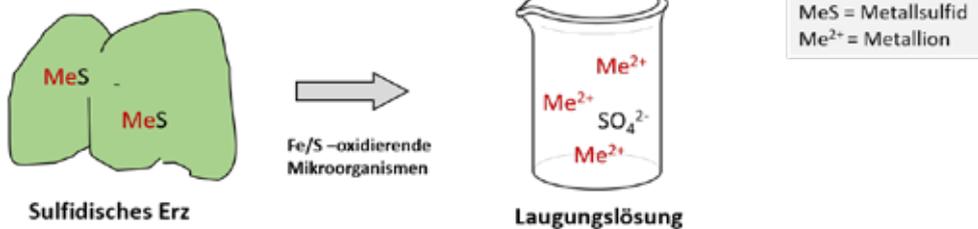
Beim Biomining werden Mikroorganismen genutzt um die Erze zu laugen und somit Metalle in Lösung zu bringen [7]. Zum Einsatz kommen Mikroorganismen, die ihre Energie aus der Umwandlung (Oxidation) von im Erz vorkommenden Eisen- und Schwefelverbindungen gewinnen. Für diese Prozesse und zum Leben benötigen die Mikroorganismen weiterhin Luftsauerstoff und Kohlendioxid. Durch die mikrobiellen Umwandlungsprozesse entstehen am Ende Schwefelsäure und dreiwertiges Eisen, beides Verbindungen, die zu einer Auflösung von Erzen und zum Laugen von Metallen beitragen. Die verwendeten Mikroorganismen müssen daher eine hohe Toleranz gegenüber sauren Bedingungen aufweisen und werden als „acidophil“ (säure-liebend) bezeichnet.

Im Biomining unterscheidet man weiterhin zwei Prozesse: Biolaugung und Biooxidation (Abb. 1). Bei der bekannteren Biolaugung werden Metalle aus den unlöslichen Erzen direkt in Lösung gebracht. Dies ist möglich, da die Zielmetalle (z.B. Cu, Co, Ni) unter den schwefelsauren Bedingungen löslich sind. Bei der Biooxidation hingegen verbleibt das Wertmetall im festen Rückstand und wird lediglich durch die mikrobiellen Prozesse freigelegt. Die Biooxidation wird überwiegend zur Gewinnung von Gold in Rührtankreaktoren eingesetzt. Gold ist allein durch die gebildete Schwefelsäure im System nicht löslich, kann aber durch die Vorbehandlung anschließend besser mit Hilfe komplexierender Chemikalien (z.B. Cyanid) in Lösung überführt werden.

1 AG Biohydrometallurgie & Mikrobiologie, Institut für Biowissenschaften, Leipziger Str. 29, 09599 Freiberg, Korrespondenz: sabrina.hedrich@bio.tu-freiberg.de

2 Mineralogische Staatssammlung München, SNSB-MSM, Theresienstr. 41, 80333 München

Biolaugung



Biooxidation

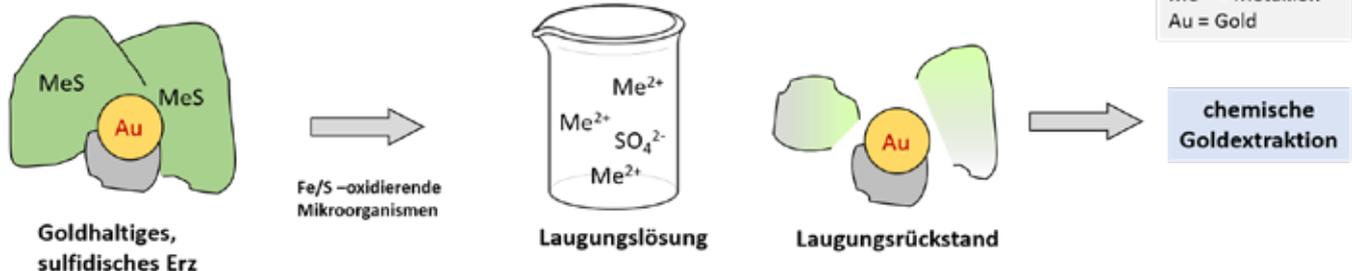


Abb. 1: Schema zur Darstellung der Biolaugung und Biooxidation. Die jeweiligen Zielmetalle sind in rot markiert.

Die biohydrometallurgische Aufbereitung der verwitterten Platinerze folgt dem Prinzip der Biooxidation. Da sich PGE ähnlich wie Gold verhalten und unter den Bedingungen der Biooxidation nicht löslich sind, zielt das angedachte Verfahren auf die Freilegung der PGE zur weiteren Aufarbeitung.

Biooxidation von Platinerzen

Im Vergleich zu herkömmlichen Biomining-Verfahren für sulfidische Erze, stellen die verwitterten Platinerze aufgrund ihrer komplexen Mineralogie und dem geringen Anteil an Sulfiden eine Herausforderung dar.

Die Biooxidation von Platinerzen wurde mit verschiedenen verwitterten Erzen aus der Mogalakwena Mine im Labormaßstab untersucht [8]. Die eingesetzten, stark verwitterten Platinerze enthielten bis zu 3 g/t Platin und Palladium und zusätzlich auch Gold, Nickel, Kupfer und Mangan in relevanten Konzentrationen.

Nach eingehender mineralogischer und chemischer Charakterisierung wurden die Erze in 2l-Rührreaktoren unter verschiedenen Bedingungen der Biooxidation behandelt und vergleichende chemische Laugungsversuche durchgeführt.

Während der Biooxidation in Rührreaktoren waren die acidophilen Eisen- und Schwefeloxidierenden Mikroorganismen in der Lage die Platinerze anzugreifen und unter optimalen Bedingungen bis zu 90 % der

Wertmetalle Nickel, Kupfer und Kobalt in Lösung zu bringen. Dieses Ergebnis ließ sich für die vier untersuchten Erze mit unterschiedlichen Verwitterungsgraden reproduzieren. Als weitere Parameter, die einen Einfluss auf den Erfolg der Biooxidation haben, wurden die Partikelgröße und die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften untersucht. Dabei zeigte sich, dass bei Partikelgrößen <63 µm die besten Ergebnisse im Rührreaktor erzielt wurden. Weiterhin wurde die höchste Metallausbringung mit einem Konsortium von Mikroorganismen bei Temperaturen um die 40 °C erreicht.

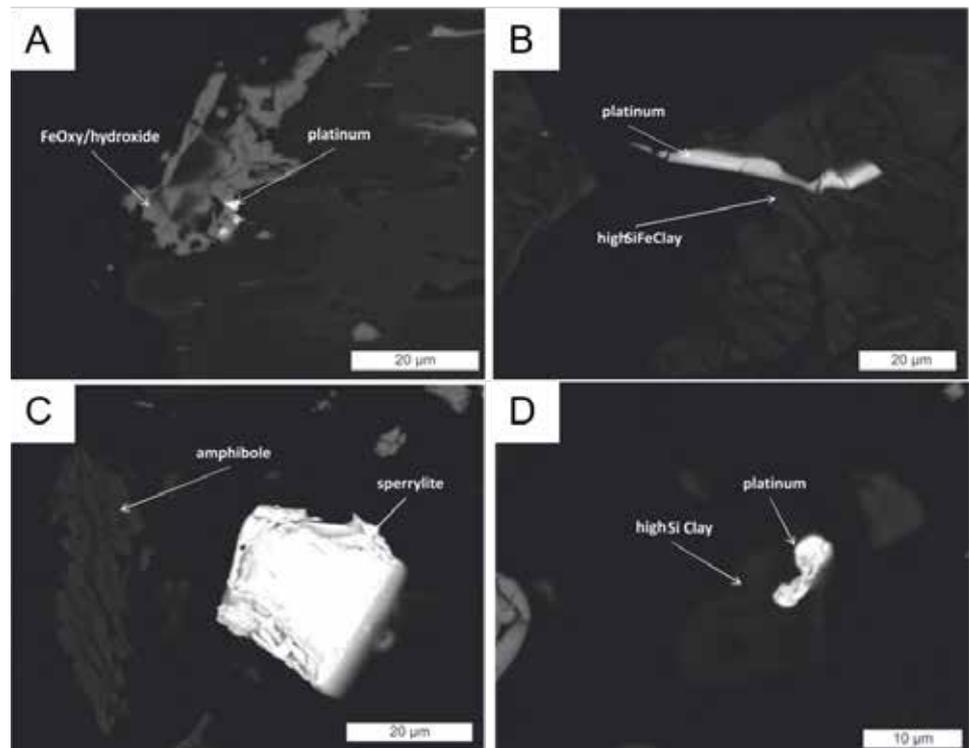


Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen (BSE-Mode) der unbehandelten Platinerze (A, B) und von Biolaugungsrückständen (C, D). (A) Assoziation von Platin mit Fe-(oxy)/hydroxiden und (B) Einschluss von Platin innerhalb eines Tonminerals. (C) Freigelegtes Sperryllith (PtAs₂)-Korn und (D) Platin teilweise assoziiert mit einem Tonmineral.



Abb. 3: Rührtankreaktor (links) und Säulen (rechts) zur Biooxidation von Platinerzen in den Laboren des Instituts für Biowissenschaften der TU Bergakademie Freiberg.

Anschließende Untersuchungen mithilfe der Mineral Liberation Analysis (MLA) zeigten, dass im Vergleich zum Ursprungsmaterial durch die Biooxidation Platin und Platinhaltige Minerale freigelegt wurden (Abb. 2).

Bei der anschließenden chemischen Extraktion der PGE aus den Biolaugungsrückständen konnten im Vergleich zum unbehandelten Platinerz höhere Ausbeuten an Platin und Palladium erzielt werden. Zudem ermöglichte die Biooxidation, dass der anschließende PGE-Extraktionsprozess mit geringen Mengen an Chemikalien und bei niedrigeren Temperaturen durchgeführt werden konnte.

Die Biooxidation bietet somit eine mögliche ökologische und ökonomische Alternative zur Gewinnung von PGE aus verwitterten Platinerzen. Durch den Einsatz von eisen- und schwefeloxidierenden Mikroorganismen bei moderaten Temperaturen zur Vorbehandlung der Platinerze kann ein effizienterer PGE-Gewinnungsprozess entwickelt werden. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Platinerze aus ähnlichen Lagerstätten und mit anderer Zusammensetzung wird derzeit in weiteren Vorhaben getestet. Im Rahmen dieser Arbeiten wird außerdem die Biooxidation in Laugungssäule im Vergleich zur Rührtanklaugung untersucht (Abb. 3), da die verwitterten Platinerze in Südafrika bereits auf einer Halde aufgeschüttet sind und dieser Ansatz bei ähnlichem Metallausbringen vermutlich wirtschaftlicher wäre.

Weiterführende Forschung zur Aufbereitung von Platinerzen an der TUBAF

Die bihydrometallurgische und chemische Aufbereitung von Platinerzen und Bergbaurückständen wird

derzeit in einem BMBF-geförderten Verbundprojekt mit Partnern der University of Cape Town und dem Institut für Technische Chemie der TU Bergakademie Freiberg weiter untersucht. Dabei werden vor allem die Laugungsmechanismen betrachtet und alternative Methoden zur PGE-Gewinnung aus verwitterten Platinerzen getestet, um PGE effizienter zu extrahieren und die Wirtschaftlichkeit der Verfahren zu erhöhen. Ein aktueller Stand der Forschung und die Anwendung der erzielten Erkenntnisse auf andere Materialien, besonders fürs Recycling, wurde im Rahmen eines Kolloquiums beim diesjährigen BHT-Freiburger Universitätsforum präsentiert.

Zudem werden innovative biologische und chemische Verfahren zur Gewinnung von PGE aus verwitterten Platinerzen von der AG Biohydrometal-

lurgie/Mikrobiologie und dem Institut für Technische Chemie im Rahmen einer Auftragsforschung der Deutschen Rohstoffagentur untersucht um anschließend die Wirtschaftlichkeit der effizientesten Verfahren analysieren zu können.

Literatur:

- 1 Oberthür, T., Junge, M., Rudashevsky, N., de Meyer, E., Gutter, P., 2016. Platinum-group minerals in the LG and MG chromitites of the eastern Bushveld Complex, South Africa. *Mineral. Deposita* 51, 71-87.
- 2 Junge, M., Oberthür, T., Kraemer, D., Melcher, F., Pina, R., Derrey, I.T., Manyeruke, T., Strauss, H., 2019. Distribution of platinum-group elements in pristine and near-surface oxidized Platreef ore and the variation along strike, northern Bushveld Complex, South Africa. *Mineral. Deposita* 54, 885-912.
- 3 Rule, C.M., 1998. Hartley platinum mine - metallurgical processing. In: Prendergast, M.D. (Ed.), *International Platinum Symposium - Guidebook to Pre-Symposium Excursion to the Great Dyke of Zimbabwe*, pp. 20-22.
- 4 Oberthür, T., Melcher, F., Buchholz, P., Locmelis, M., 2013. The oxidized ores of the Main sulfide zone, Great Dyke, Zimbabwe: Turning resources into minable reserves - mineralogy is the key. *J. South. Afr. Inst. Min. Metall.* 133, 191-201.
- 5 Kraemer, D., Junge, M., Oberthür, T., Bau, M., 2015a. Improving recoveries of platinum and palladium from oxidized platinum-group element ores of the Great Dyke, Zimbabwe, using the biogenic siderophore Desferrioxamine B. *Hydrometallurgy* 152, 169-177.
- 6 Buchholz, P. & Foya, S. (2015) (eds.): *Investor's and Procurement Guide South Africa Part 2: Fluorspar, Chromite, Platinum Group Elements*. - DERA Rohstoffinformationen 22: 120 pp.; Berlin.
- 7 Hedrich, S. & Schippers, A. (2017) *Metallgewinnung mittels Geobiotechnologie*. *Chemie, Ingenieur & Technik* 89: 29-40.
- 8 Hedrich, S., Kraemer, D., Junge, M., Marbler, H., Bau, M., Schippers, A. (2020) *Bioprocessing of oxidized platinum group element (PGE) ores as pre-treatment for efficient chemical extraction of PGE*. In: *Hydrometallurgy* 196: 105419.

Helios Lab

Ein gemeinsames Labor zwischen Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie und der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

Richard Gloaguen, Sandra Lorenz

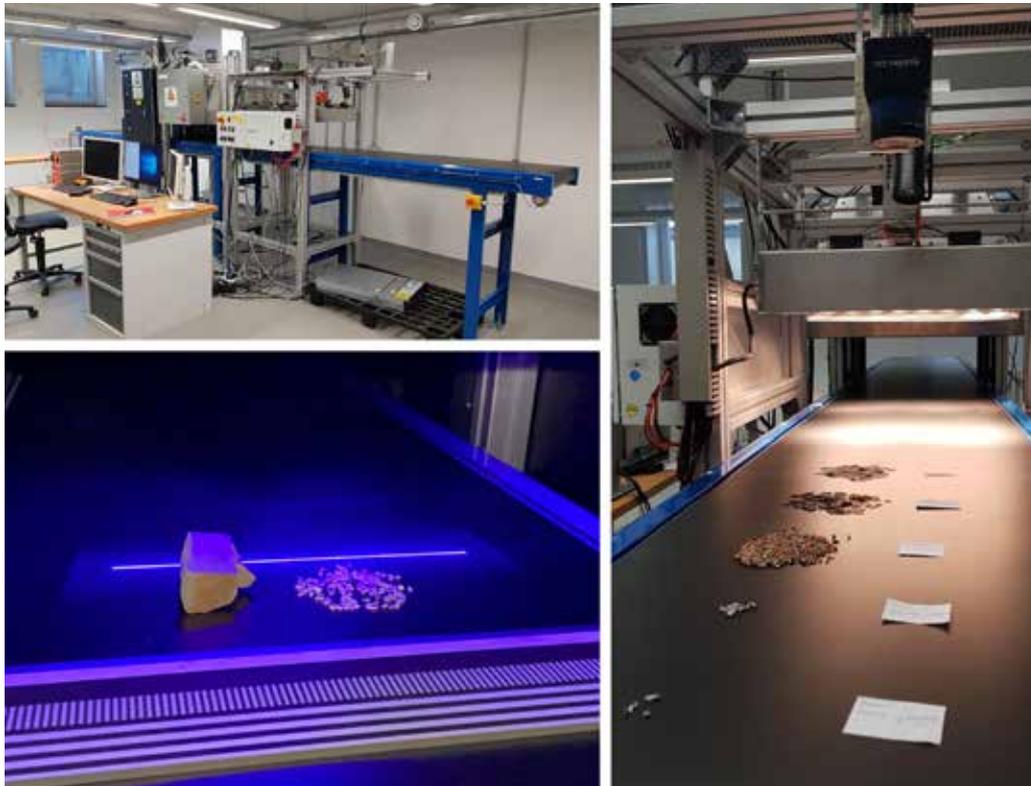


Abb. 1: Oben links: Das Helios Lab. Unten links: Laser-induzierte Fluoreszenz. Rechts: Testmessungen mit Produkten aus Lithiumbatterien.

Wenn wir die negativen Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf Klima und Umwelt reduzieren wollen, müssen wir uns zwangsläufig mit einer exponentiell steigenden Abfallmenge auseinandersetzen. Solche Abfälle beinhalten nicht nur die Reste unseres alltäglichen Konsums wie z.B. Elektroschrott. Im Bergbau wird beispielsweise nur ein kleiner Teil des geförderten Gesteins tatsächlich für die Gewinnung neuer Rohstoffe genutzt, der größere Rest landet auf Halden. Zusätzlich zu solchen primären Abfällen fallen große Mengen an Sekundärabfällen wie Verbrennungsrückstände und Schlacken an. Ein besseres Recycling unserer Reststoffe ist zu einer dringlichen Aufgabe geworden, und auch wenn eine vollständige Kreislaufwirtschaft in Zukunft Utopie bleiben muss, so sollten wir uns doch so viel wie möglich daran annähern.

Bisher wird nur ein kleiner Teil aller Abfälle recycelt. Ein wichtiger Grund ist die zunehmende Komplexität unserer Produkte und damit auch ihrer Überreste. Standard-Recyclingverfahren, die auf einfacher Sortierung basieren, können die enthaltenen Wertstoffe nicht mehr trennen. Um den Recyclingprozess zu verbessern, muss eine vollständige Charakterisierung der Abfallprodukte durchgeführt werden. Hier spielt das Helios Lab eine grundlegende Rolle (Abb. 1). Diese am Helmholtz-Institut Freiberg (HIF) beheimatete Forschungseinrichtung stellt eine gemeinsame Infrastruktur dar, die aus einer erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen dem HIF, dem Institut für Angewandte Physik der TU Bergakademie Freiberg

und Freiberg Instruments, einem erfolgreichen High-tech-Unternehmen mit Sitz in Freiberg, entstanden ist. Das Konzept des Helios Lab ist ziemlich einfach und besteht aus der Verwendung bildgebender Sensoren (um jedes Objekt auf einem Förderband zu kartieren) und der Nutzung maschinellen Lernens (um Echtzeitinformationen für eine bessere Sortierung und Verarbeitung bereitzustellen).

Einer der wichtigsten Eckpfeiler ist die hyperspektrale Bildgebung. Wie Prismen das Licht in alle sichtbaren Farben aufspaltet, messen diese Sensoren einfallendes Licht mit einer sehr hohen spektralen Auflösung. Weil jedes Material unterschiedlich mit dem Licht interagiert, kann man das reflektierte Signal

wie einen Fingerabdruck nutzen: in diesem Fall um bestimmte Moleküle zu identifizieren. Auf diesem Feld arbeitet das HIF mit führenden Herstellern von Hyperspektralkameras wie SPECIM in Finnland und Telops in Kanada zusammen. Nur so konnten einzigartige und innovative Sensoren erworben werden, die das gesamte elektromagnetische Spektrum vom sichtbaren bis zum langwelligen Infrarot abdecken. Das Helios Lab enthält beispielsweise ein laserinduziertes Fluoreszenz-Instrument (LIF), das die direkte Charakterisierung von Seltenerdelementen ermöglicht, sowie einen Laserprofiler, mit dem wir die 3D-Oberfläche von Objekten abbilden können. Aber auch eine Langwellen-Infrarotkamera gehört zur Ausstattung. Sie kann verschiedene Kunststoffe erkennen, darunter auch die bisher gefürchteten – weil schwer zu trennenden – schwarzen Kunststoffe.

Insgesamt kommen im Helios Lab zurzeit folgende Sensoren zum Einsatz (Abb 1):

- RGB: 2 Vollbild-RGB-Sensoren, Teledyne Nano C4020 mit einer räumlichen Auflösung von 4112 x 3008 px, einer Bildgeschwindigkeit von 20 fps und einer Sensorpixelgröße von 3,45 μm

Kontakt

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, Chemnitz Str. 40, 09599 Freiberg
r.gloaguen@hzdr.de

- Laserhöhenprofiler: Teledyne Nano C4030 mit einer räumlichen Auflösung von 4112 x 2176 px, einer Bildgeschwindigkeit von 27 fps und einer Sensorpixelgröße von 3,45 µm
- Laserinduzierte Fluoreszenz (VNIR-Bereich): Specim V10E sCMOS-Sensor mit einem Spektralbereich von 400-1000 nm, einer räumlichen Auflösung von 2184 Pixel, einer spektralen Auflösung von 946 Bändern und einer Bildgeschwindigkeit von 100 FPS
- Reflektanz (VNIR-Bereich): Specim-FX17, ein Zeilenscan-Sensor mit einem Spektralbereich von 900-1700 nm, einer räumlichen Auflösung von 640 Pixel und einer spektralen Auflösung von 224 Bändern mit einer Bildgeschwindigkeit von 527 FPS; sowie Specim-FX10, eine Zeilenscan-Sensor mit einem Spektralbereich von 400-1000 nm, einer räumlichen Auflösung von 1024 Pixel und einer spektralen Auflösung von 224 Bändern mit einer Bildgeschwindigkeit von 330 FPS
- Reflektanz (MWIR-Bereich): Specim-FX50, ein Zeilenscan-Sensor mit einem Spektralbereich von 2,7- 5,3 µm, einer räumlichen Auflösung von 640 Pixel und einer spektralen Auflösung von 154 Bändern mit einer Bildgeschwindigkeit von 380 FPS; sowie Telops HS-MWIR-Sensor, Spektralbereich von 3-9 µm, räumliche Auflösung von 320 x 100 Pixel und spektrale Auflösung von 150 Bändern
- Reflektanz (LWIR-Bereich): Specim-OWL mit einem Spektralbereich von 8 bis 12 µm, einer räumlichen Auflösung von 384 Pixel und einer spektralen Auflösung von 84 Bändern bei einer Bildgeschwindigkeit von 100 fps.

Durch das breite Spektrum an Sensoren kann das System heterogene Datentypen (auch in Bezug auf spektrale Auflösung, Abdeckung und räumliche Auflösung) erfassen, um Materialien von Interesse genau zu identifizieren. Dabei ist die Fusion von Daten mit hoher räumlicher Auflösung und solchen mit hoher spektraler Auflösung für die Charakterisierung des typischerweise stark heterogenen Materialstroms unabdingbar.

Neben anderen Herausforderungen hinsichtlich der Daten-Vorverarbeitung (Entrauschen und Datenregistrierung) und Auswertung ist eine immense Datenmenge zu bewältigen. Allein die FX10-Kamera erzeugt bei 330 FPS einen Durchsatz von 0,15 GB/s. Die kontinuierliche Erfassung aller Sensordaten ergibt somit etwa 5 Gbit an sekundlich zu übertragenden Daten, die auf dem Server geschrieben, vorverarbeitet und für das Training in dichten, neuronalen Netzen nahezu augenblicklich verarbeitet werden müssen. So entstehen im Schnitt für 1-2 Meter analysiertem Material mehr als 50 GB Daten, im Regelbetrieb sind allerdings Hunderte bis Tausende von Förderbandmetern zu erwarten. Die Analyse derart umfangreicher Datensätze in Echtzeit stellt große Herausforderungen an die Hardware und verwendeten Algorithmen. Um das Beste aus diesen einzigartigen Sensoren herauszuholen, haben wir auf Basis von Deep Learning schnelle Verfahren zur Klassifizierung der sich auf dem Förderband bewegenden Teile entwickelt. Der Hauptvorteil von Deep Learning im Vergleich zu herkömmlichen Techniken des maschinellen Lernens besteht darin, dass es automatisch direkt aus Rohdaten lernen kann, ohne handcodierte Regeln oder Nutzer-Kenntnisse zu benötigen. Seine hochflexiblen Architekturen können Ende-zu-Ende

lernen, mit einer signifikanten Leistungsverbesserung, wenn viele Daten bereitgestellt werden.

Wir haben daher einen Objekterkennungsansatz entwickelt, um RGB-Bilder mit hoher räumlicher Auflösung mit hyperspektralen Bildern mit hoher spektraler Auflösung zu integrieren, und so recycelbare Objekte und Elemente zu erkennen. Um das Fusionsnetzwerk zu trainieren, können wir nur eine begrenzte Menge an Trainingsdaten aus dem Multi-sensor-Setup und Open-Source-Online-Daten bereitstellen. Im Gegensatz zu herkömmlichen multimodalen Netzwerken, die Trainingsdaten in der Größenordnung von Tausenden von Bildern benötigen, ist unser GOL-basiertes FASTER rCNN (Guided Object Localization Region-Based Convolutional Neural Network) in der Lage, Objekte anhand eines sehr kleinen Trainingsdatensatzes zu erkennen. Dies ist bei der Materialstromanalyse besonders sinnvoll. Das Modell ist in der Lage, die hohe Genauigkeit der Klassifikation bei der Lokalisierung der Komponenten zu nutzen. Einfach ausgedrückt: die aufgezeichneten spektralen Eigenschaften werden verwendet, um ein Objekt eines bestimmten Materials zu lokalisieren, während die räumlichen Eigenschaften (gegeben durch die hochauflösenden RGB-Daten) verwendet werden, um das lokalisierte Objekt zu klassifizieren. Somit erreicht dieses Modell eine Objekterkennung unter Verwendung der räumlich-spektralen Merkmale des Objekts.

Doch das ist nur der Anfang der Geschichte: auch wenn hyperspektrale Sensoren erstaunliche Werkzeuge sind um bestimmte Moleküle schnell zu charakterisieren, können sie nicht alle Wertstoffe detektieren und scheitern zum Beispiel bei der Identifikation bestimmter Legierungen. Daher entwickeln wir derzeit weitere smarte Sensoren, die eine genaue Analyse der chemischen Zusammensetzung durchführen können. Die Genauigkeit setzt allerdings eine technische Limitierung hinsichtlich der Messgeschwindigkeit, und erlaubt somit aus Zeitgründen die Messung nur an ausgewählten Orten. Die Sensoren setzen diese Messpunkte - unterstützt durch Deep-Learning-Algorithmen - auf smarte Weise und analysieren die Oberfläche von Objekten nur dort, wo es sinnvoll ist. In diesem Zusammenhang entwickeln wir derzeit ein entsprechendes Raman-Spektrometer. Dieses Instrument kann komplexe Gläser, Kunststoffe und organische Verbindungen charakterisieren. Und das ist noch lange nicht das Ende: Helios Lab hat kürzlich eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik an der TU Freiberg begonnen. Gemeinsam wollen wir uns nun der intelligenten Sortierung und dem Recycling von Lithiumbatterien und Wasserstoffzellen widmen. Denn, auch wenn erneuerbare Energien umweltfreundlicher sind als fossile Brennstoffe, erzeugen insbesondere auch sie komplexe Abfälle.

Das ultimative Ziel ist es, jedes Objekt auf dem Förderband vollständig abzubilden, um sowohl gefährliche als auch wertvolle Komponenten zu identifizieren und die erforderlichen Informationen für eine angepasste Weiterverarbeitung bereitzustellen - und das in Echtzeit. Es ist noch ein weiter Weg, aber das Helios Lab wird der Industrie hoffentlich schon bald die Technologien zur Verfügung stellen können, die zur Verbesserung des Recyclings dringend benötigt werden.

Energiewende auf der Nanoskala?

Felix Plamper

Einleitung

Die Wende weg von fossilen hin zu nachhaltigen und erneuerbaren Energieträgern ist eines der wichtigsten Gesellschaftsthemen des 21. Jahrhunderts. Wahrscheinlich ist es sogar das Thema, welches diese und weitere Generationen am stärksten beschäftigen wird. Enorme wissenschaftliche, technologische, finanzielle und soziale Kraftanstrengungen werden erforderlich sein, um mit einem breiten Konsens würdevolles Leben für alle Menschen zu ermöglichen. Dabei wird inzwischen praktisch nicht mehr darum gerungen, ob ein menschengemachter Klimawandel stattfindet. Vielmehr stellt sich die Frage, durch welche Mechanismen der Mensch in besonderem Maße dazu beiträgt und welche Maßnahmen zum Einhalt (und gegebenenfalls zur Umkehr) des Temperaturanstiegs am besten geeignet erscheinen. Dies führte auch in Deutschland zu politischen Weichenstellungen, beispielweise erkennbar an der relativ strikten Mobilitätswende hin zur Elektromobilität. Dies ist bemerkenswert, obwohl auch andere erneuerbare Energieträger im Wettstreit standen und stehen. Parallel wird die zunehmende Brisanz des Themas nicht nur durch die „Fridays-For-Future“-Bewegung ins Bewusstsein gerufen, sondern der Klimawandel schlägt sich inzwischen auch in der Rechtsprechung des höchsten deutschen Gerichts nieder (Urteil des Bundesverfassungsgerichts vom 29.04.2021). Lösungsansätze dazu werden insbesondere auch an der TU Bergakademie Freiberg intensiv diskutiert (z.B. Freiburger Kongress zur Energiewende am 07.05.2021).

Als eine entscheidende Komponente der Energiewende wird die Speicherung von überschüssiger Energie aus Sonnen- und Windkraft angesehen, um sie für Niedrigertragszeiten verfügbar zu machen. So werden Power-to-Fuel Ansätze verfolgt, wobei z.B. überschüssiger Solarstrom zur Elektrolyse von Wasser unter Bildung des Energieträgers Wasserstoff eingesetzt werden kann, der dann wieder bei Bedarf in Brennstoffzellen in elektrische Energie überführt wird. Für diesen Ansatz ist die mögliche Nutzung eines adaptierten Erdgasnetzes für die Verteilung und dezentrale Bereitstellung von Wasserstoff vorteilhaft. Nachteilig jedoch sind der relativ geringe Wirkungsgrad und die damit einhergehenden Energieverluste. Diese Verluste werden teilweise durch die direkte Speicherung der elektrischen Energie in Batterien vermieden, wodurch sich höhere Wirkungsgrade ergeben. Neben der bekannten Lithium-Ionen-Batterie, die nicht nur eine Hauptkomponente der mobilen Endgeräte wie Smartphones, sondern auch der heutigen Elektroautos darstellt, werden auch andere lokalisierte Ansätze mit deutlich höheren Kapazitäten diskutiert, wie Redox-Fluss-Batterien.¹ Diese basieren auf zwei unterschiedlichen elektroaktiven Substanzen, deren salzhaltige Lösungen durch eine maßgeschneiderte Membran getrennt werden. Im geladenen Zustand möchten beide Substanzen/Halbzellen Elektronen austauschen, aber die Membran, die für die eigentlichen elektroaktiven Substanzen undurchlässig ist, erlaubt keine direkte Redoxreaktion, sondern nur den Austausch von kleinen Begleitonen zur Gewährung der Elektroneutralität auf beiden Seiten der Batterie. Einziger Transportweg für die Elektronen stellt daher deren Transfer über den Verbraucher dar, was schließlich zur Entleerung des Akkus unter Arbeitsverrichtung führt. Während des Ladevorgangs wird der Prozess umgedreht, um daraus wieder ein Nichtgleichgewichtssystem zu generieren

(eine geladene Batterie ist ein Nichtgleichgewichtssystem, das unter Energieabgabe in ein Gleichgewichtssystem übergeht). Interessanterweise erlauben diese Redox-Fluss-Batterien durch die Verwendung von großen Speichertanks eine nahezu beliebige Skalierbarkeit. Die teuren Spezialmembranen und die teils toxischen Aktivsubstanzen können zudem vermieden werden, wenn man anstatt der niedermolekularen Aktivsubstanzen polymere Analoga verwendet, die jetzt aufgrund ihrer zunehmenden Größe nicht mehr durch die Poren einfacher und kostengünstiger Membranen passen. Diese Polymere sind typischerweise kettenförmige Moleküle, bei denen die redoxaktiven Gruppen wie Perlen einer Kette aufgereiht sind und dadurch deutlich mehr Platz einnehmen als einzelne Gruppen. Daher handelt es sich hier um eine typische Anwendung von Weicher Materie zur Lösung von großskaligen Energieproblemen (z.B. wird diskutiert, dass eine solche Anlage eine Stadt wie Berlin mit Energie versorgen kann: <https://www.spektrum.de/news/eine-gigantische-batterie-im-untergrund/1575718>; aufgerufen am 7. Mai 2021). In diese Richtung arbeiten verschiedene Arbeitsgruppen, z.B. auch innerhalb eines Schwerpunktprogramms der Deutschen Forschungsgemeinschaft (<https://www.spp2248.uni-jena.de/>; aufgerufen am 7. Mai 2021).

Während solche technologischen Anwendungen voraussichtlich einen bedeutenden Beitrag zur zukünftigen Energieversorgung liefern werden, ist eine Miniaturisierung dieser Konzepte bisher kaum beachtet worden. Daher ist ein wichtiger Forschungsansatz, den wir in der Physikalischen Chemie an der TU Bergakademie Freiberg weiterentwickeln, die Ausnutzung von Energiespeicherung mit Hilfe von nanoskaligen Polymeren. Diese sollen nicht nur dazu dienen, Energie zu speichern, sondern auch mögliche Nichtgleichgewichtssysteme zu generieren, die eine Eigenschaftsänderung von Weicher Materie auf Zuruf/ bei Bedarf ermöglichen. Dies soll bei konstanten Bedingungen erfolgen: das System wird unter den gleichen Bedingungen – wie Temperatur, Konzentration, Druck etc. – vor und nach dem gewünschten Übergang gelagert, aber die mikroskopischen wie makroskopischen Eigenschaften unterscheiden sich deutlich von den Ursprungseigenschaften. Dazu können sich z.B. die Fließeigenschaften plötzlich durch Anwendung eines Auslösers deutlich verändert haben, oder es konnten Cargo-Moleküle zeitgenau (und ortsgenau) freigesetzt werden (was insbesondere für biomedizinische Anwendungen interessant sein wird). Wir verfolgen dabei zwei Ansätze, die ich im Folgenden kurz darstellen möchte. Es handelt sich einerseits um elektroaktive Weiche Materie (Anmerkung: dazu zählen neben Muskelgewebe, Wackelpudding und Shampoo auch die hier beschriebenen wässrigen Polymersysteme). Dabei konnten wir zeigen, dass deutliche Eigenschaftsänderungen mittels Elektrochemie zugänglich sind. Ein anderer Ansatz verwendet Polymeraggregate (sogenannte Mizellen), die in einem energetisch ungünstigen Zustand vorliegen, und dann bei Bedarf hin zum energetisch günstigen Zustand streben. Manche Forschungsstränge stecken noch in den Kinderschuhen, bei anderen wurde die generelle Durchführbarkeit schon gezeigt.

Kontakt

Institut für Physikalische Chemie, Leipziger Str. 29, 09599 Freiberg, Felix.Plamper@chemie.tu-freiberg.de

Elektrochemisch-adressierbare Weiche Materie

Im Fokus stehen also wässrige Polymersysteme, die elektroaktiv sind (Schema in Abbildung 1). Dabei wurde bisher hauptsächlich nur eine Halbzelle betrachtet (im Bild der Redox-Fluss-Batterie von oben interessiert man sich nicht für die andere Halbzelle, also nur eine Seite der Batterie). Zukünftig werden auch elektroaktive Polymerkomponenten in beiden Halbzellen betrachtet werden, um vollständige Batterien zu ermöglichen und um Aktuatoren und Motoren auf Basis von Weicher Materie zu bauen. Damit kann nicht nur Energie gespeichert, sondern die elektrochemische Energie auch direkt in Arbeit umgewandelt werden. Für dieses Ziel haben wir inzwischen einige Arbeiten zu elektrochemisch-adressierbaren Polymeren publiziert.

Ein wichtiger Punkt war bisher die elektrochemische Schaltung von Polymer-Löslichkeiten. Durch Betätigung eines Schalters konnten die gelösten Polymere unlöslich bzw. wieder löslich gemacht werden. Hier gilt zu beachten, dass der Stromfluss über die Elektroden erfolgt, d.h. die elektroaktiven Bausteine müssen zur Elektrode gelangen, um dort eine Änderung des Oxidationszustandes zu erfahren. Will man aber die Löslichkeit von nur einem Teil des Polymers oder die Größe eines Polymerteilchens in Lösung/Dispersion elektrochemisch schalten, ohne dass das gesamte Polymer ausfällt, so ist es besonders vorteilhaft, die eigentliche Elektrochemie von der Aggregation/Größenänderung zu entkoppeln. Dies geschieht mit niedermolekularen, leicht beweglichen, elektroaktiven Gegenionen, die mit einem gegengesetzt geladenen Polymer wechselwirken (einem sogenannten Polyelektrolyten, der ähnlich wie Kochsalz wirkt, wobei allerdings eine Ionensorte zu einer Kette aufgereiht ist). Bestimmte Oxidationsstufen der Gegenionen führen zu einer verstärkten Wechselwirkung und dadurch werden die Polyelektrolytketten physikalisch vernetzt, kollabieren und werden dadurch unlöslicher gemacht. Wenn man den Redoxprozess umkehrt, dann werden die Polymerketten wieder löslich. Mit diesem Prinzip konnten wir erstmals eine sogenannte elektrochemische Mizellbildung demonstrieren.² Während des elektrochemischen Schaltens wird der Polyelektrolytteil des Polymers unlöslich, während eine andere nichtschaltbare und lösliche Polymerkomponente den unlöslichen Teil, der gleichzeitig partiell zur Mizelle aggregiert, stabilisiert, ohne dass dabei das gesamte Polymer ausfällt.

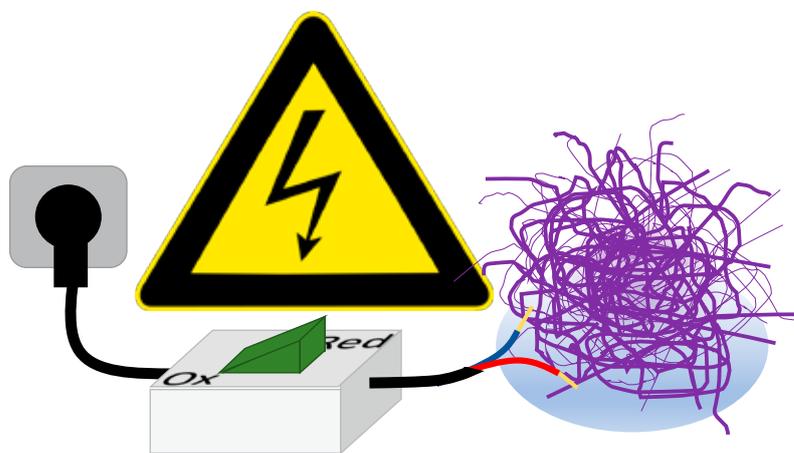


Abbildung 1: Schematische Andeutung der Ausnutzung von elektrischer Energie, die in einem Mikrogel geparkt wird

Dieses Prinzip wurde auch adaptiert, um grenzflächenaktive Polymersysteme zu generieren, die elektrochemisch schaltbar sind. So konnte die Grenzflächenspannung (die Spannung, die die Wasserläufer über Wasser hält) elektrochemisch geschaltet werden, d.h. Stromfluss in bestimmter Richtung verringert die Grenzflächenspannung einer Öl-Wasser Grenzfläche.³ Derartiges Verhalten könnte zudem für Anwendungen interessant sein, bei denen Emulsionen gebrochen und bei Bedarf wieder emulgiert werden können. Das Prinzip der Gegenionenschaltung konnte auch auf nanoskalige Gelpartikel (wie Miniaturschwämmchen, sogenannte Mikrogele) angewandt werden.

Dabei konnten wir ebenfalls erstmalig elektrochemische Größenänderungen von solchen Mikrogele zeigen, in deren Netzwerk sich die redoxaktiven Gegenionen einlagern können und zu einer Schrumpfung in oxidiertem Zustand führen.⁴ Schließlich haben wir auch redoxaktive Einheiten permanent in die Mikrogele eingeführt, die keinen Austausch und daher auch keine Entkopplung zwischen Größenänderung und Elektrochemie mehr erlauben: die Mikrogele müssen als Ganzes zur Elektrode kommen, um eine Redox- und damit eine Eigenschaftsänderung zu erfahren.⁵ Im nächsten Schritt werden Kombinationen verschiedener elektroaktiver Polymersysteme dazu dienen, Systeme zu identifizieren, die Arbeit verrichten (elektrochemisch getrieben) bzw. die Energie speichern können. Dabei zielt ein Teil der Arbeit auf eine Miniaturisierung der Systeme, um schlussendlich Nanobatterien zu generieren. Diese Arbeiten werden uns in den nächsten Jahren beschäftigen.

Nichtgleichgewichtsmizellen

Ein weiterer Ansatz beschäftigt sich mit der Energiespeicherung in Mizellen. Dabei wird die Energie dort nicht elektrochemisch geparkt (wie man anhand des obigen Abschnitts vermuten könnte), sondern die Energie ist eher mechanisch in den Mizellen hinterlegt. Denn Mizellen können verschiedene Gleichgewichtsstrukturen einnehmen, deren Auftreten von der jeweiligen Länge der einzelnen Polymereinheiten abhängt. Bei einer bestimmten Polymerlänge gibt es genau eine bevorzugte Mizellstruktur, die z.B. sternförmig, wurmartig oder schalenartig/hohl sein kann. Wenn man es nun schafft, die Mizellen in einer anderen Struktur zu konservieren, die dann nicht die bevorzugte ist, wird in den Mizellen Energie gespeichert (in Form von Streckung/Stauchung der Ketten und in Form von Grenzflächenspannung), die man gegebenenfalls wieder freisetzen kann. Gleichzeitig ist das System auch bestrebt, in den bevorzugten Zustand überzugehen, aber durch bestimmte Vorkehrungen kann der Übergang erst auf Zuruf erfolgen. Dann gehen mit dem strukturellen Übergang auch deutliche Eigenschaftsänderungen einher (Abb. 2).

Wir konnten damit zeigen, dass schon zum Polymeri-

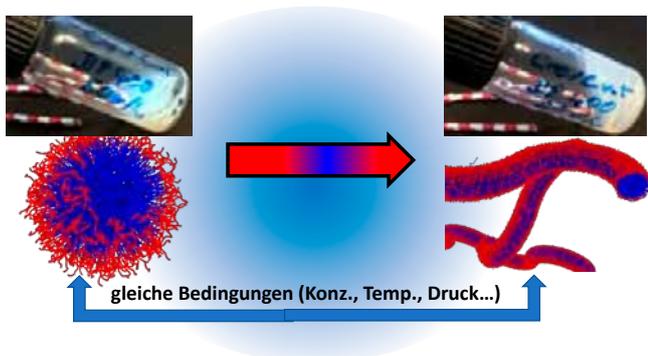


Abbildung 2: Übergang von einer niedrigviskosen Dispersion (aus kugelförmigen Mizellen) in ein Gel aus wurmartigen Mizellen durch getriggerten Übergang in Richtung Gleichgewicht (unter Energiefreisetzung bei ansonsten gleichbleibenden Bedingungen; Abbildung adaptiert mit Erlaubnis von WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim: Plamper et al., Stimulated Transitions of Directed Nonequilibrium Self-Assemblies. *Advanced Materials* 2017, 29, 1703495)

sationszeitpunkt verschiedene Nichtgleichgewichtsstrukturen generiert werden können. Dies geschieht mit einem geschickten Syntheseansatz, bei dem die wachsenden Polymerketten sich direkt während der Synthese zu Mizellen zusammenlagern. Eine geringe Änderung in den Synthesebedingungen ermöglicht die Herstellung von entweder kugelförmigen, kompakten Mizellen oder hohlen Mizellen (Vesikel). Da die Endbedingungen gleich sind (wie Polymerlänge, Konzentration, Temperatur), muss mindestens eine dieser Strukturen abseits des bevorzugten Zustands vorliegen. Interessanterweise kann man jedoch beide Strukturen zu wurmartigen Mizellen reagieren lassen, indem man entweder eine kurzzeitige Abkühlung durchführt, oder indem man einen erhöhten Druck vorübergehend appliziert. Nach Rückkehr zu den Ausgangsbedingungen hat sich die niedrigviskose Dispersion in ein Hydrogel verwandelt, das sich durch die Vernetzung der wurmartigen Mizellen bildet.⁶ Neben diesem Ansatz, bei dem man nur schwer wieder zu dem ursprünglichen Mizellzustand zurückkehren kann (also kompakte, kugelförmige Mizellen oder Vesikel), haben wir inzwischen auch einen anderen Ansatz entdeckt, bei dem man einmal geschaltete/getriggerte Mizellumwandlungen wieder rückgängig machen kann: man lädt sozusagen das Mizellensystem wieder auf und benutzt die Mizelllösung als Energiespeichermedium. Dies geschieht mit Hilfe von thermisch schaltbaren Polymeren, die bei hohen Temperaturen eine andere Gleichgewichtsmizellstruktur aufweisen als bei niedrigen. Unter Ausnutzung einer weiteren Domäne, deren Flexibilität und Dynamik durch Zusatz oder Wegnahme von Kochsalz beeinflusst werden kann, können die Mizellen bei erhöhten Temperaturen „eingefroren“ (Dynamik ist eingeschränkt und Mizellumwandlungen werden verhindert) und damit konserviert werden, indem man den Salzgehalt in der Lösung verändert. Damit werden die wurmartigen Strukturen, die bei 60°C vorherrschend sind, auch bei 20°C zugänglich gemacht, obwohl die bevorzugte Mizellform bei 20°C sternförmig ist. Durch erneute Veränderung des Salzgehalts lagern sich die wurmartigen Mizellen in die sternförmigen um und ein neuer Heizzyklus kann beginnen, indem man die wurmartigen Mizellen bei erhöhter Temperatur regeneriert (Abb. 3).⁷ Damit erinnert das Vorgehen an die Heizzyklen von Wärmekraftmaschinen. Dies wirft die Frage auf, ob diese Mizellen auch Arbeit verrichten können?

Schlussfolgerungen

Die aufgeworfenen Fragestellungen können schließlich einen Beitrag dazu leisten, wie wir im nanoskopischen Bereich effizient Energie bereitstellen können. Die hier diskutierten Ansätze in Form von „deformierten“, „geladenen“ Mizellen bzw. in Form von elektrochemischer Weicher Materie könnten Schlüsselkomponenten zu einer neuen energiegetriebenen Nanotechnologie sein. Sicherlich werden diese Arbeiten nicht die globalen Energieprobleme der Menschheit lösen, aber sie werden Ansätze bieten, wie wir in der Nanotechnologie „energiebewusst“ arbeiten können, um z.B. autarke Nanorobotik, selbstauslösende Aktuatoren und Motoren und auch Freisetzungssysteme zu ermöglichen.

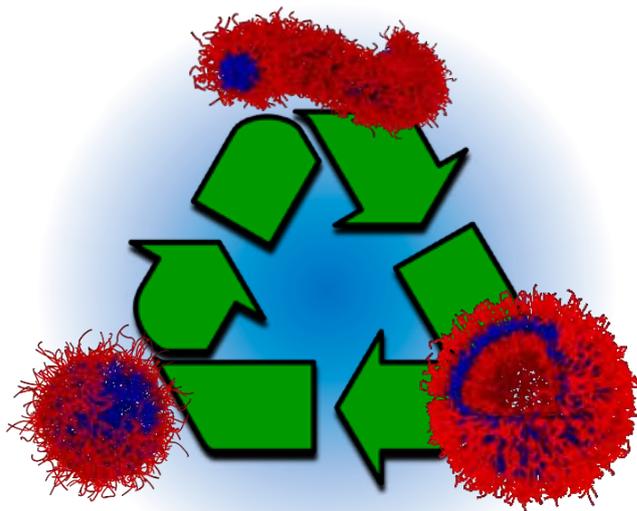


Abbildung 3: Schematische Rückführung der geschalteten Mizellen (z.B. von der wurmartigen Mizelle zur kugelförmigen wieder zurück zur wurmartigen Mizelle) in den mizellaren (Energie-)Kreislauf.

References

- 1 Janoschka, T.; Martin, N.; Martin, U.; Friebe, C.; Morgenstern, S.; Hiller, H.; Hager, M. D.; Schubert, U. S. An aqueous, polymer-based redox-flow battery using non-corrosive, safe, and low-cost materials. *Nature* 2015, 527, 78–81.
- 2 Plamper, F. A.; Murtomäki, L.; Walther, A.; Kontturi, K.; Tenhu, H. e-Micellization. *Macromolecules* 2009, 42, 7254–7257.
- 3 Prasser, Q.; Steinbach, D.; Kodura, D.; Schildknecht, V.; König, K.; Weber, C.; Brendler, E.; Vogt, C.; Peuker, U.; Barner-Kowollik, C.; Mertens, F.; Schacher, F. H.; Goldmann, A. S.; Plamper, F. A. Electrochemical Stimulation of Water-Oil Interfaces by Nonionic-Cationic Block Copolymer Systems. *Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids* 2021, 37, 1073–1081.
- 4 Mergel, O.; Wünnemann, P.; Simon, U.; Böker, A.; Plamper, F. A. Microgel Size Modulation by Electrochemical Switching. *Chemistry of Materials* 2015, 27, 7306–7312.
- 5 Mergel, O.; Schneider, S.; Tiwari, R.; Kühn, P. T.; Keskin, D.; Stuart, M. C. A.; Schöttner, S.; Kanter, M. de; Noyong, M.; Caumanns, T.; Mayer, J.; Janzen, C.; Simon, U.; Gallei, M.; Wöll, D.; van Rijn, P.; Plamper, F. A. Cargo shuttling by electrochemical switching of core-shell microgels obtained by a facile one-shot polymerization. *Chem. Sci.* 2019, 10, 1844–1856.
- 6 Steinschulte, A. A.; Scotti, A.; Rahimi, K.; Nevskiy, O.; Oppermann, A.; Schneider, S.; Bochenek, S.; Schulte, M. F.; Geisel, K.; Jansen, F.; Jung, A.; Mallmann, S.; Winter, R.; Richtering, W.; Wöll, D.; Schweins, R.; Warren, N. J.; Plamper, F. A. Stimulated Transitions of Directed Nonequilibrium Self-Assemblies. *Advanced Materials* 2017, 29, 1703495.
- 7 Dähling, C.; Houston, J. E.; Radulescu, A.; Drechsler, M.; Brugnoni, M.; Mori, H.; Pergushov, D. V.; Plamper, F. A. Self-Templated Generation of Triggerable and Restorable Nonequilibrium Micelles. *ACS Macro Letters* 2018, 7, 341–346.

COOL-Prozess

Schlüsseltechnologie für ein effizientes Batterierecycling

Doreen Kaiser¹, Robert Mende¹, Carsten Pätzold¹, Martin Bertau¹

Einleitung

Der Ausbau der Elektromobilität ist eine wichtige Schlüsselstelle zum Erreichen der Klimaziele und somit ein unerlässlicher Baustein für die Energiewende. Insbesondere bei Anwendung regenerativer Energien werden CO₂-Emissionen gesenkt und die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen verringert. Allerdings sind zur Realisierung der Elektromobilität leistungsstarke Akkumulatoren notwendig, welche in der Regel auf Lithiumbasis aufbauen. Diese Lithiumionenbatterien (LIBs) zeichnen sich im Vergleich zu anderen Batterien wie z.B. NiMH- und Bleiakkumulatoren durch eine höhere Energiedichte, eine längere Lebenszeit, ein kompaktes Design, eine höhere Resistenz gegenüber Selbstentladung, eine höhere Toleranz gegenüber höheren Temperaturen sowie eine höhere Ausgangsspannung (3,7 V vs. 1,2 V bei Blei-Akkumulatoren) aus [1]. Neben der Leistungsfähigkeit der LIBs spielt auch die Nachhaltigkeit eine große Rolle. Dazu gehört sowohl eine nachhaltige, effiziente und zugleich ressourcenschonende Produktion als auch ein effektives Recycling der verbrauchten LIBs, um Stoffkreisläufe zu schließen (Kreislaufwirtschaft).

Die Entwicklung der LIBs ist weit fortgeschritten aber noch längst nicht abgeschlossen. Aus diesem Grund existiert schon jetzt eine Vielzahl von unterschiedlichen LIB-Typen (Tabelle 1) auf dem Markt, welche sich signifikant in deren stofflichen Zusammensetzung unterscheiden. Es ist zu erwarten, dass die Vielzahl unterschiedlicher Batterietypen in der Zukunft noch weiter steigt, was eine große Herausforderung für die zu entwickelnden Recyclingverfahren darstellt. Aktuelle Verfahren zum Batterierecycling zielen auf die Rückgewinnung von Cobalt ab. Für einen nachhaltigen sowie ressourcenschonenden Prozess ist jedoch die Rückgewinnung aller Wertmetalle notwendig.

Tabelle 1: Übersicht existierender Lithiumionenbatterien

LIB-Typ	Zusammensetzung
LCO	LiCoO ₂
NMC	LiNi _x Co _y Mn _z O ₂ (x+y+z=1)
LMO	LiMn ₂ O ₄
NCA	LiNi _x Co _y Al _z O ₂ (x+y+z=1)
LFP	LiFePO ₄

Verbrauchte LIBs werden zunächst gesammelt, sortiert und händisch demontiert. Dadurch können bereits 20-30 Gew.-% der LIBs einem klassischen Metall-, Elektroschrott- sowie Kunststoffrecycling zugeführt werden. Von der EU gefordert ist jedoch ein Recycling von 50 % der Gesamtmasse der Batterie [2], wobei zu erwarten ist, dass diese Recyclingquote in der Zukunft steigen wird. Nach der Demontage folgt aus Sicherheitsgründen eine vollständige Entladung sowie eine mechanische Aufarbeitung der einzelnen Zellen. Durch

eine Kombination aus unterschiedlichen mechanischen Aufarbeitungsschritten, wie Mahlen, Magnetscheidung und Sichtung werden Al- und Cu-Fractionen sowie die sogenannte Schwarzmasse erhalten. Letzteres ist ein feines Pulver bestehend aus Graphit (Anodenmaterial) sowie dem entsprechenden Metallsalz (Kathodenmaterial) und kleinen Anteilen von Aluminium, Kupfer und Kunststoffen [3]. Eine weitere mechanische Aufarbeitung der Schwarzmasse ist nicht möglich.

Existierende Verfahren zum Recycling von Schwarzmasse lassen sich in hydrometallurgische und pyrometallurgische Verfahren untergliedern. Hydrometallurgische Ansätze bezwecken eine Mobilisierung der Wertmetalle durch einen Aufschluss mit anorganischen oder organischen Säuren. Deren geringe Selektivität bedingt jedoch eine aufwendige Aufarbeitung der Aufschlusslösung durch z.B. Flüssig-Flüssig-Extraktion, um alle Wertmetalle zu isolieren. Zur Gewährung hoher Produktreinheit müssen Chemikalien mit hoher Reinheit Anwendung finden, was die Produktionskosten erhöht. Außerdem resultieren große Mengen Abwasser, welche wiederum kosten- und zeitintensiv aufgearbeitet werden müssen. Die Isolation des Lithiums ist in den meisten Fällen der letzte Schritt in der Prozesskette, wodurch hohe Verluste zu verzeichnen sind. Pyrometallurgische Verfahren sind mit einem großen Energieaufwand verbunden. Aufgrund der enthaltenen Fluorverbindungen ist zudem mit giftigen Gasen zu rechnen, was hohe Kosten und Anforderungen an die Arbeitssicherheit mit sich bringt. Auch in diesem Fall ist eine komplexe Aufarbeitung zur Isolation der einzelnen Wertmetalle notwendig. Das enthaltene Lithium wird sogar in der Schlacke gebunden und kann so nicht recycelt werden. Für ein vollständiges Recycling der Wertmetalle erscheint diese Verfahrensweise somit unbrauchbar.

Der COOL-Prozess

Eine effiziente Alternative zu den herkömmlichen Recyclingverfahren ist der COOL-Prozess, dessen Kernstück eine Laugung von lithiumhaltigem Material mit überkritischem CO₂ ist. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass eine Verarbeitung einer Vielzahl von Ausgangsstoffen bei ähnlichen Reaktionsbedingungen möglich ist. Aufgrund des guten Lösungsvermögens des überkritischen CO₂ wird das enthaltene Lithium selektiv und nahezu vollständig mobilisiert. Im Anschluss erfolgt die Fällung des gelösten Lithiums durch eine thermische Behandlung als Lithiumcarbonat Li₂CO₃. Dabei wird ausgenutzt, dass dessen Löslichkeit mit zunehmender Temperatur sinkt, wodurch keine Cofällung mit z.B. Aluminium erfolgt. Das erhaltene Rohprodukt hat bereits eine Reinheit von > 99,5 % und bedarf somit keiner Raffination mehr. Damit kann es zur Produktion neuer

Kontakt

doreen.kaiser@chemie.tu-freiberg.de

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

Batterien genutzt werden und Stoffkreisläufe werden geschlossen. Die anderen Wertmetalle verbleiben nach dem COOL-Prozess im Filterkuchen, sodass eine Gewinnung nach einem schwefelsauren Aufschluss mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion möglich ist (Abb. 1) [4]. Auf diese Weise wird eine ganzheitliche Verwertung der LIBs ermöglicht. Der COOL-Prozess verschafft somit Freiheiten.

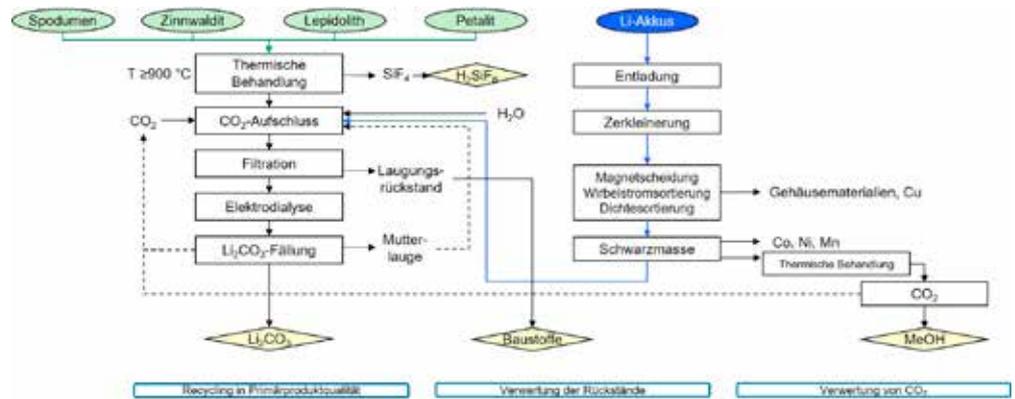


Abbildung 2: Fließbild vom COOL-Prozess zum Li-Recycling aus primären und sekundären Rohstoffen [5]

Nicht nur Batterierecycling ist möglich

Der besondere Charme des COOL-Prozesses liegt neben der hohen Selektivität für die Li-Mobilisierung in der großen Bandbreite bei den Ausgangsstoffen (Abb. 2). Neben Schwarzscheiben aus LIBs können auch primäre lithiumhaltige Rohstoffe verarbeitet werden. Mögliche Ausgangsmaterialien sind zum Beispiel die Erze Zinnwaldit (KLiFe²⁺+Al(AlSi₃O₁₀(F,OH)₂), Lepidolith (K(Li,Al)₃(F,OH)₂I(Si,Al)₄O₁₀), Amblygonit ((Li,Na)Al(F,OH)IPO₄), Petalit (LiAl[Si₄O₁₀]) und Spodumen (LiAl[Si₂O₆]). Eine thermische Behandlung der gemahlene Erze bei 900-1100 °C erzielt eine Umwandlung der lithiumhaltigen Phase zu β-Spodumen und somit eine Vereinheitlichung des Materials. Anschließend erfolgt der eigentliche COOL-Prozess. Nach erfolgreichem Aufschluss mit überkritischem CO₂ wird die Aufschlüsselung vom festen Rückstand abgetrennt und die Lösung elektrodialytisch aufkonzentriert. Aus diesem Konzentrat erfolgt dann nach Erhitzen der Lösung die Fällung des Lithiumcarbonats. Das erhaltene Rohprodukt hat bereits eine Reinheit > 99,5 % und somit Batteriereinheit, sodass das Rohprodukt bereits ohne

aufwendige Reinigung für die Produktion neuerer LIBs einsatzbereit ist [5]. Als Koppelprodukt fällt ein fester silikatischer Rückstand an, welcher zur Produktion sogenannter Geopolymere genutzt wird. Diese Geopolymere sind anorganische, calciumfreie Polymere auf Basis von Silicium- und Aluminiumoxid und können als CO₂-freie Baustoffe eingesetzt werden. Auf diese Weise können herkömmliche Betone und Zemente durch CO₂-freie, klimafreundliche Bindemittel ersetzt werden. Da die Zementindustrie einer der größten CO₂-Emittent ist, kann durch deren Substitution ein bedeutender Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen geleistet werden.

Schließen von Stoffkreisläufen

Der COOL-Prozess ermöglicht somit das Schließen von Stoffkreisläufen bei gleichzeitigem Verzicht auf teure Chemikalien. Das bei den Schritten der thermischen Behandlung freiwerdende CO₂ wird dem COOL-Prozess zugeführt, sodass der CO₂-Footprint ungeschlagen gering ist. Zudem kann der Prozess vollständig auf fossile Rohstoffe verzichten, da alle Anlagenteile mit elektrischer Energie aus regenerativen Quellen betreibbar sind. Somit trägt der COOL-Prozess essentiell zum Erreichen der Klimaziele bei. Alle anfallenden Koppelprodukte werden stofflich verwertet. Aktuell erfolgt die Aufskalierung des Verfahrens in den Technikumsmaßstab, was eine zeitnahe Umsetzung in die industrielle Anwendung ermöglicht.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung beim BMBF für die Förderung des Projektes CO₂-LiPri-Sek (Förderkennzeichen: 033RC020A).

Referenzen

- [1] O. Velázquez-Martínez, J. Valio, A. Santasalo-Aarnio, M. Reuter, R. Serna-Guerrero, Batteries 2019, 5 (4), 68. DOI: 10.3390/batteries5040068.
- [2] European Union, Directive 2006/99/EC of the European parliament and of the council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC 2006.
- [3] M. Gellner, L. Wuschke, H.-G. Jäckel, U. A. Peuker, RECYCLING magazin 2015 (16), 26 - 29.
- [4] S. Pavón, D. Kaiser, R. Mende, M. Bertau, Metals 2021, 11 (2), 259. DOI: 10.3390/met11020259.
- [5] M. Bertau, G. Martin, MSF 2019, 959, 69 - 73. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.959.69.

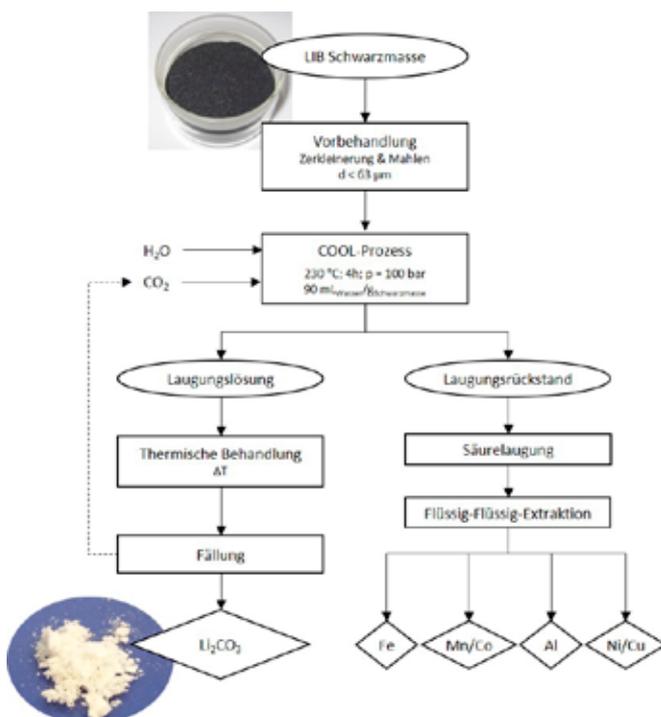


Abbildung 1: Fließschema der ganzheitlichen Verwertung von Schwarzscheibe mittels COOL-Prozess [4]

Solare Eigenversorgung im Mehrfamilienhaus

Energiekennwerte und Nutzereinfluss von zwei realen teilautarken Mehrfamilienhäusern

Andreas Gäbler, Thomas Storch, Undine Fleischmann, Tobias Fieback

Einführung

Im Bestand vermieteter Mehrfamilienhäuser ist die Anwendung von solarer, speziell solarthermischer Energiegewinnung noch selten zu beobachten. Ein Grund dafür kann in dem sogenannten Kosten-Nutzen-Dilemma gesehen werden. Die Kosten der Modernisierung und Effizienzsteigerung des Gebäudes werden vom Vermieter getragen, während die Energiekosten auf den Mieter umgelegt werden und dieser damit von den Einsparungen profitiert. Zwar kann ein Teil der Modernisierungskosten auf die Kaltmiete beaufschlagt werden, die Motivation in Energieeffizienz zu investieren wird dadurch aber kaum gesteigert. In Gegenden mit hohem Leerstand auf dem Wohnungsmarkt können geringe Nebenkosten ein Argument zur erfolgreichen Vermietung sein, was eine Motivation zur Investition seitens der Vermieter darstellt. In Wohnungsmärkten, die eher von Wohnraummangel beeinflusst werden, stellt dies hingegen kein Argument dar.



Abbildung 1: Hochgradig solar versorgte Mehrfamilienhäuser, Süd-Ost-Ansicht mit Solarthermie- und PV-Modulen

Eine Möglichkeit, Kosten und Nutzen in einer Hand zu vereinen bietet die Pauschalmiete. Dabei zahlt der Mieter eine verbrauchsunabhängige Warmmiete, wodurch die Energieeinsparungen, aber auch das Risiko eines Mehrverbrauchs auf den Vermieter übergehen.

Ein solches Projekt wurde durch die eg Wohnen 1902 in Cottbus an den 2018 fertiggestellten Mehrfamilienhäusern (7 Wohneinheiten) nach dem Sonnenhauskonzept umgesetzt. Mit einem geplanten Primärenergiebedarf $< 10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (EnEV 2013) erreichen die Gebäude mit ihren Solaranlagen und Speichern Deckungsgrade von bis zu 77 % elektrisch und 65 % thermisch, vgl. Tabelle 1 und [1, 2, 3]. Nachfolgend werden ausgewählte Auswertungen aus zwei Messjahren des bundesmittelgeförderten energetischen Monitorings (FKZ 03ETS004) dargestellt.

Kontakt

Tel. +49 (0) 3731/39 3185, E-mail: thomas.storch@ttd.tu-freiberg.de
Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, TU Bergakademie Freiberg

Steckbrief: Planungsdaten der hochgradig solarversorgten Mehrfamilienhäuser

Die Kenndaten der beiden 2018 fertiggestellten Gebäude werden nachfolgend vorgestellt.

Als wesentliche zusätzliche technische Umsetzungen sind dabei zu nennen:

- passive Fußbodenkühlung mittels Geothermiesonden (Wärmesenke Erdreich).
- Warmwasseranschluss für Spül- und Waschmaschinen in allen Wohnungen.
- Nahwärme-Stichleitung: Abgabe von Überschusswärme an Bestands-Nachbargebäude möglich (vgl. Abb. 2).
- kein eigener Stromanschluss: die Gebäude werden durch ein Subnetz von einem benachbarten Bürogebäude versorgt. Damit werden auch die elektrischen Überschüsse großteilig durch das Bürogebäude genutzt (vgl. Abb. 2).

Die letztgenannten Punkte führen zu einer Steigerung der anteiligen Energieversorgung des Quartiers mit erneuerbaren Energien. Besonders die Nahwärmeleitung schafft auch für solarthermische Überschüsse eine Wärmesenke und kann sich dadurch ertragssteigernd und somit ökonomisch vorteilhaft auf die Anlage auswirken, bzw. eine größere Dimensionierung der Solarthermieanlage erlauben.

Energiebilanzierung der Häuser

Das Pauschalmietmodell bedarf keiner abrechnungsrelevanten Messtechnik. Das spart Aufwand und Streitigkeiten bei der Nebenkostenabrechnung. Entsprechend der gesetzlichen Vorgaben sind ausschließlich die Produktionszähler der PV-Anlagen nötig, sowie für jede Wohnung ein freier Zählerplatz, um auf Mieterwunsch der Strommarktliberalisierung gerecht werden zu können.

Für die Bewertung der Energieverbräuche im Monitoringprojekt sind die Häuser dennoch mit zahlreichen zusätzlichen

Tabelle 1: Ausgewählte Kenngrößen eines teilautarken Mehrfamilienhauses am Standort Cottbus (Haus 1); * Aus EnEV-Energieausweis [4], vgl. [3]

Kenngröße Sonnenhaus	Zusammensetzung
Nutzfläche (EnEV) / Wohnfläche	853,5 m ² / 634,2 m ²
Anzahl Wohneinheiten (WE) je Gebäude	7
Fläche Solarthermie (ST) / Speichervolumen	100 m ² / 24,6 m ³
Leistung Zusatzheizung (Gastherme)	48,2 kW
Leistung Photovoltaik (PV), Stromspeicher (Li-Ion)	29,6 kWp, 47 kWh
Heizwärmebedarf *	15,58 (kWh/m ² /a)
Primärenergiebedarf *	8,40 (kWh/m ² /a)

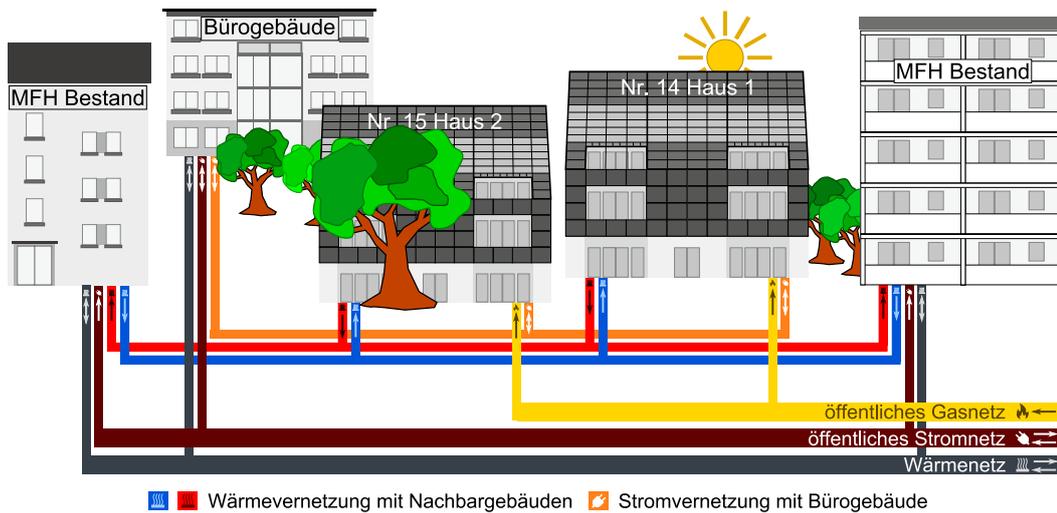


Abbildung 2: Schema des Quartiers mit Integration der hochgradig solarversorgten Mehrfamilienhäuser

Messstellen ausgestattet worden. Damit lassen sich die in Abbildung 3 dargestellten Bilanzgrenzen für Wärme und Strom im Detail auswerten.

Von wesentlichem Interesse für die Bewertung der Energieströme ist der jährliche Verlauf des Autarkiegrades. Der Autarkiegrad A wird im Folgenden bestimmt aus:

$$A = \frac{\text{Ertrag}_{\text{Solar}}}{\text{Ertrag}_{\text{Solar}} + \text{Ertrag}_{\text{Backup}}}$$

Diese Definition entspricht der Vorgehensweise in der Planung [5]. Besonders wärmeseitig sind Speicherverluste kaum verursachergerecht zuzuordnen. Daher existieren unterschiedliche Definitionen der Autarkiegrade. Hier wurde ein Mittelweg gewählt, bei dem sich die Speicherverluste rechnerisch verbrauchserhöhend auswirken und das Ergebnis damit stabil zwischen 0 und 100 % liegt.

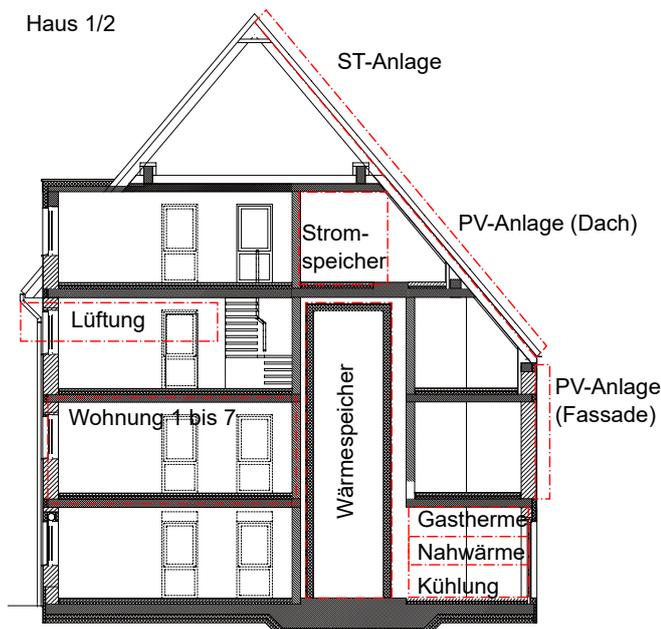


Abbildung 3: Detaillierte Bilanzrahmen zur Erfassung der Strom- und Wärmeflüsse

Ergebnisse

In Abbildung 4 sind die solaren Deckungsgrade eines Hauses beispielhaft für zwei Jahre dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass der Autarkiegrad (Deckungsgrad) für den Wärmebedarf in der Übergangs- und Winterzeit drastisch einbricht, aber erwartbar im Sommer nahezu bei 100 % liegt. Der Einbruch liegt unter anderem

an einem gegenüber den Planungen deutlich erhöhtem Wärmeverbrauch, siehe Bilanzdaten in Tabelle 2. Hierbei sei angemerkt, dass die Planungswerte auf einer frühen Planungsvariante, ohne dem Ausbau des Dachgeschosses (Maisonette-Etage, Studiowohnung) beruhen, was einer Erhöhung der Wohnfläche um ca. 17 % entspricht.

Vor dem Hintergrund des hohen Wärmeverbrauchs fällt die Verfehlung des geplanten thermischen Deckungsgrades verhältnismäßig knapp aus. Dies ist durch den höheren solarthermischen Ertrag in Folge des gestiegenen Bedarfs begründbar und kann als begrenzte Pufferwirkung des Systems gegenüber Mehrverbrauch angesehen werden.

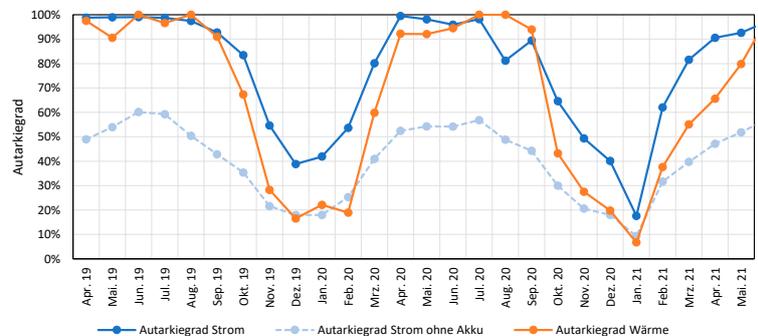


Abbildung 4: Solare Autarkiegrade monatlich im Verlauf des bisherigen Messzeitraums Haus 1

Der Autarkiegrad für Strom weist eine ganzjährig hohe Eigendeckung auf, wobei zusätzlich die theoretischen Werte ohne Akku gegenübergestellt wurden. Hierbei wird deutlich, dass die Installation des Akkus ganzjährig zu einer Anhebung der Eigendeckung um 70 - 100 % führt.

In Abbildung 5 ist der Verlauf der nutzbaren Akku-Beladung tagesaufgelöst über annähernd zwei Messjahre dargestellt. Es wird deutlich, dass es sich hierbei um einen Kurzzeitspeicher handelt, dessen Kapazität innerhalb von 1-2 Tagen ohne Ertrag aufgebraucht ist. Im Winter erreicht der Akku kaum Füll-

stände (SOC – state of charge) über 50 %, während der Sommerperiode fällt der SOC kaum unter 50 %. Lediglich in der Übergangszeit kann an wenigen Tagen die volle Kapazität ausgenutzt werden. Damit bleibt etwa die Hälfte der Kapazität im täglichen Rhythmus ungenutzt. Da der jährliche Nutzen des Akkus mit zunehmender Zyklenzahl steigt, kann insgesamt gefolgert werden, dass in der jetzigen Nutzungsvariante der Akku überdimensioniert ist (im Winter zu groß für den „geringen“ PV-Ertrag und im Sommer zu groß für den Nachtverbrauch). Der Tageshöchststand des SOC wird maßgeblich durch den solaren Ertrag bestimmt. So fallen die Monate Mrz./Apr. 2020 wegen ungewöhnlich hoher Solarstrahlung, aber auch Jan. 2021 durch sehr geringe Einstrahlung auf.

Tabelle 2: Bilanzdaten 2020 von einem hochgradig solar versorgten Mehrfamilienhaus (Cottbus; Werte: geplant, gemessen, prozentuale Abweichung vom Planwert); Angaben Absolutwerte in kWh
*Planungsdaten aus Simulationen für 6 WE-Variante [5]

		Plan *	Messung	Abweichung
Verbräuche	Heizwärmeverbrauch	15.222	51.848	+ 341 %
	Warmwasserverbrauch	10.003	23.381	+ 134 %
	Stromverbrauch	16.500	17.805	+ 8 %
Erträge	PV-Ertrag	29.075	27.758	- 5 %
	ST-Ertrag	26.069	53.331	+ 105 %
Hausanschluss	Netzeinspeisung	13.007	12.209	- 6 %
	Netzbezug	3.750	4.731	+ 26 %
	Wärmeeintrag Gastherme	12.538	42.672	+ 240 %
SD	SD thermisch	65 %	56 %	- 15 %
	SD elektrisch	77 %	73 %	- 5 %

Messwertauswertung – Betrachtungsebene Strombilanz Wohnungen

Der Stromverbrauch der einzelnen Wohnungen variiert naturgemäß, abhängig von individuellen Bedürfnissen, Geräteausstattung und Personenzahl. So wurden wesentliche Unterschiede sowohl in der Höhe als auch im tageszeitlichen Verbrauch gemessen (hier nicht dargestellt). Vorteilhaft ist hierbei die daraus resultierende Glättung des Lastverlaufs (geringe Gleichzeitigkeit) und des Verbrauchs für das Hausnetz (siehe Abb. 6). Sowohl im Hinblick auf den Strom- wie auch auf den Warmwasserbedarf sind Viel- und Geringverbraucher in den Mehrfamilienhäusern vorhanden. Bei den 14 untersuchten Wohneinheiten konnte in etwa ein normalverteilter Jahresverbrauch festgestellt werden. Die Messwerte zeigen keine besonderen Ausreißer, die auf ein missbräuchliches Verhalten schließen lassen, jedoch eine große Bandbreite. Der Jahresstromverbrauch liegt mit 990 bis 3.430 kWh/WE im Rahmen typischer Verbrauchswerte für 2-3 Personenhaushalte [6].

Da jede Wohnung neben dem individuellen Jahresverbrauch auch einen individuellen Tageslastgang aufweist, kann die Aussage des solaren Autarkiegrades auf Gebäudeebene nicht einfach auf jede Wohnung gleichmäßig übertragen werden. Hierfür wurde die Gesamtbilanz mit den einzelnen Wohnungsverbräuchen in 15-Minuten-Schritten ausgewertet. Daraus kann zunächst ein über den Tag variierender Versorgungsmix aus Netzbezug, Akku und Direktverbrauch Photovoltaik bestimmt werden. Dieser variiert jahreszeitlich stark. In Abbildung 6 sind beispielhaft die Verläufe für Januar und Juli gezeigt. Es wird deutlich, dass ein Haushalt mit regelmäßiger Mittaglastspitze einen höheren solaren Direktverbrauch aufweist, als ein Haushalt, dessen Hauptstrombezug auf die Abend- oder Morgenstunden fällt. Diese Unterscheidung ist im Sommer wegen der längeren Solareinstrahlung weniger relevant als im Winter. Die daraus folgende wohnungswise Aufteilung wird in Abbildung 7 monatlich gezeigt. Es wird ersichtlich, dass der Direktverbrauchsanteil individuell stark schwankt. Besonders wirkt sich ein hoher Nachtverbrauchsanteil (nach [7]) in einer Reduktion des PV-Direktverbrauchs aus. Allgemein wird aber im Netzbezugsanteil durch den vorhandenen Akku eine Angleichung aller Wohnungen mit geringer Schwankungsbreite erreicht.

Diese Zuteilung kann genutzt werden, um spezielle Verbrauchskennzahlen für die Einzelwohnungen zu entwickeln. So kann für jede Wohnung der Verbrauch nicht in absoluter Menge, sondern gewichtet nach Direktverbrauch, Akkuverbrauch und Netzbezug bewertet werden. Die Bewertung des jeweiligen Verbrauchsanteils kann sich an ökologischen, ökonomischen oder anderen Kriterien orientieren, was eine neue Verbrauchsbewertung ermöglicht, die neben dem Gesamtverbrauch auch die systemdienliche Lastverteilung berücksichtigt.

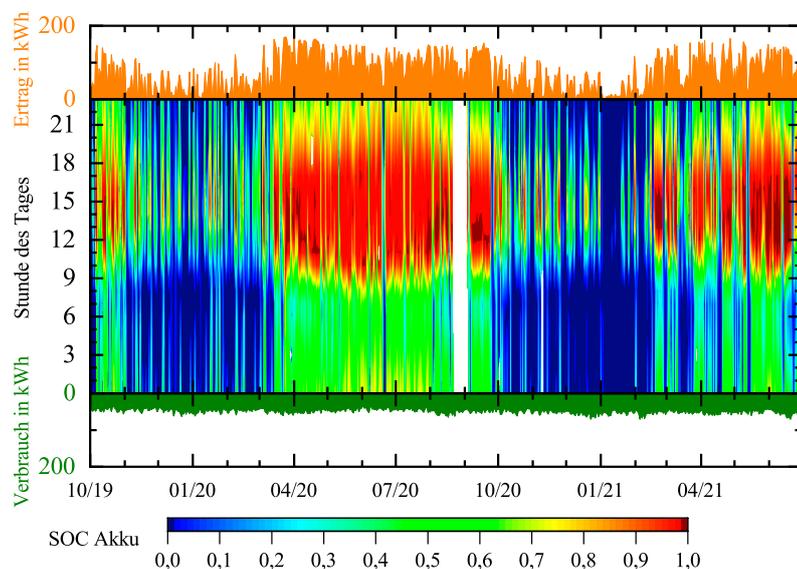


Abbildung 5: Verlauf der Akku-Beladung (Haus 1) in Zusammenhang mit Tagessummen von PV-Ertrag (oben) und Hausverbrauch (unten), weiße Flächen = Unterbrechungen der Datenkommunikation

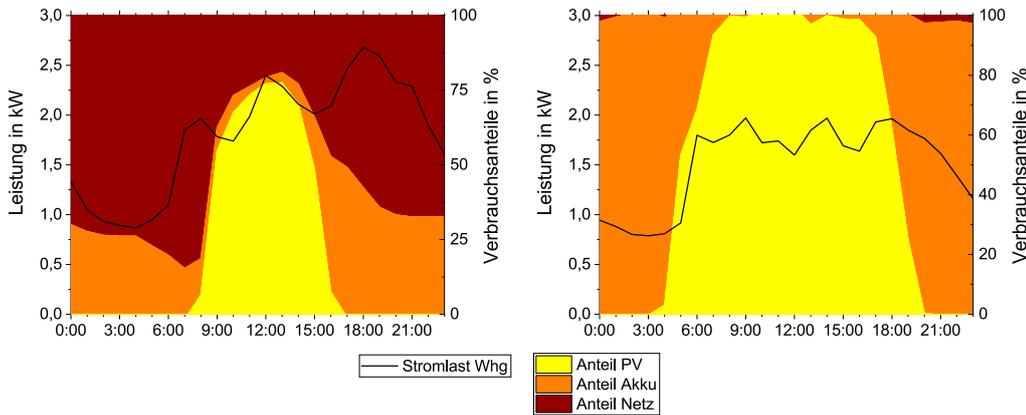


Abbildung 6: mittlerer Tageslastgang aller Wohnungen und Stromzusammensetzung im Tagesverlauf eines Monats, links: Januar 2020, rechts: Juli 2020

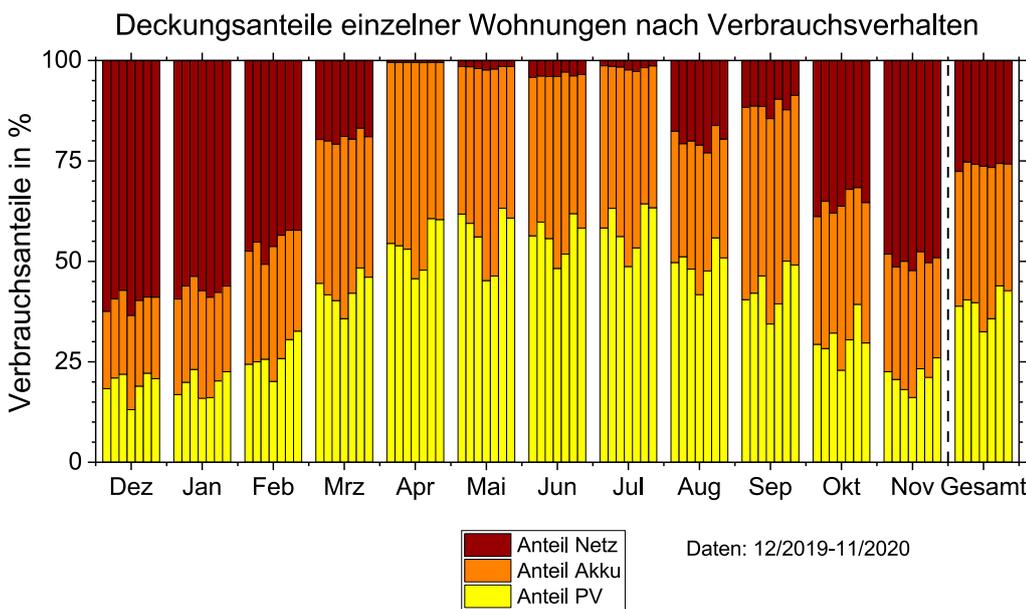


Abbildung 7: Zusammensetzung des Stromverbrauchs aus 15-Min-Mittelwerten nach Wohnung und Monat für Haus 1 (Dezember 2019 bis November 2020); Sortierung der Wohnungen nach absolutem Jahresstromverbrauch ansteigend

Fazit

In der Stromversorgung konnten hohe Autarkiegrade gemäß den Planungswerten erreicht werden. Darauf hat der Akku einen besonders großen Einfluss. Da dieser nicht voll ausgelastet ist, könnte er für zukünftige Projekte mit gleichen Verbrauchsstrukturen deutlich kleiner dimensioniert werden. In Simulationsstudien zeigte sich eine Reduktion um bis zu 40 % auf 29 kWh als vorteilhaft [8], wobei der Akku in einer ökonomischen Betrachtung ohne Förderung stets unwirtschaftlich blieb [9]. Im betrachteten Mehrfamilienhaus zeichnet sich ein geringer Jahresverbrauch im Strombereich mit ausgeglichenen Lastgängen ab. Das Verbraucherverhalten ist also trotz Pauschalmiete im Allgemeinen autarkiefördernd, ist vergleichbar mit Literaturwerten und weist keine Auffälligkeiten auf. Im Allgemeinen kann auf eine sparsame Nutzung bei einer gehobenen Geräteausstattung geschlossen werden, was dem soziologischen Mieterbild entspricht.

Ausblick

Im Monitoring zweier baugleicher Gebäude sind innerhalb der Projektlaufzeit weiterführende Fragestellungen

zu bearbeiten. Eine zukünftige Aufgabe besteht in der Evaluierung der solarthermischen Nahwärmenutzung im Quartier. Auch eine bessere Quartiersvernetzung der Stromversorgung kann alternative Akku-Ladestrategien ermöglichen. Der Einfluss einer Nutzung der Warmwasseranschlüsse für Spül- bzw. Waschmaschine kann in weiteren Untersuchungen herausgestellt werden.

Ein wichtiger Aspekt bleibt eine gute Kommunikation mit den Mietern, um eine ausreichende Aufklärung zu erwirken und zukünftig Einstellungsfehler zu vermeiden.

Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) für die finanzielle und dem Projektträger Jülich für die beratende Unterstützung des Projekts (FKZ 03ETS004). Zudem gilt unser Dank der eg Wohnen 1902, der Helma Eigenheimbau AG sowie den beteiligten Studenten für die Unterstützung. Die Verantwortung für

den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- 1 A. Gäbler, T. Storch, L. Oppelt und T. Fieback, „Nutzereinfluss auf den Energiebedarf zweier teilautarker Mehrfamilienhäuser“ in Online-Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, 2020, S. 289-294.
- 2 A. Gäbler, T. Storch, T. Fieback: Sozioenergetisches Monitoring solar versorgter Mehrfamilienhäuser mit Pauschalmietmodell, Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Mai 2019, Bad Staffelstein, DOI: 10.13140/RG.2.2.24342.09282.
- 3 Projektwebseite „Eversol“, https://eversol.iwtt.tu-freiberg.de/index_de.html, Stand: 03.2021
- 4 R. Köster, „Energieberatung nach DIN 4108-6 und DIN 4701-10: Energieautarkes Mehrfamilienhaus Haus 1“. Energieausweis, Lehrte, 2018.
- 5 T. Leukefeld, „Der energetische Kompass für die eG Wohnen 1902“, Firma Timo Leukefeld, 2016.
- 6 BDEW und CO₂online GmbH, Hg., „Stromspiegel für Deutschland 2017“, 2017.
- 7 J. Weniger, J. Bergner, T. Tjaden und V. Quaschnig, Dezentrale Solarstromspeicher für die Energiewende, 1. Aufl. Berlin: Berliner Wissenschafts-Verlag, 2015.
- 8 E. Reichel, „Energetische Evaluierung von zwei teilautarken Mehrfamilienhäusern im Quartier“. Masterarbeit, Freiberg, 2020.
- 9 A. Gäbler, T. Storch, E. Reichel, T. Fieback: Ökonomische und Ökologische Bewertung der Energieversorgung in teilautarken Mehrfamilienhäusern, ONLINE: 31 Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesystem, Apr. 2021

Unternehmerische Risikosteuerung mit Hilfe von Power Purchase Agreements

Andreas Horsch¹, Steffen Hundt²

Power Purchase Agreements (PPAs) werden für die unternehmerische Risikosteuerung immer bedeutsamer. Tatsächlich handelt es sich um eine Art Renaissance, da sie kein grundsätzlich neues Steuerungsinstrument darstellen, sondern eine neue Ausgestaltung, die im heute gegebenen institutionellen Rahmen einen offenbar erheblichen Nutzenzuwachs verspricht: Die Wiederentdeckung von PPAs ist eng mit dem Bedeutungszuwachs von Erneuerbaren Energien (EE) verbunden (vgl. ausführlich aktuell Hundt et al., 2021; Kobus et al., 2021). Abbildung 1 zeigt den deutlichen Anstieg der mit diesen Verträgen kontrahierten Volumina innerhalb der vergangenen sechs Jahre ebenso wie die EE-Komponente.

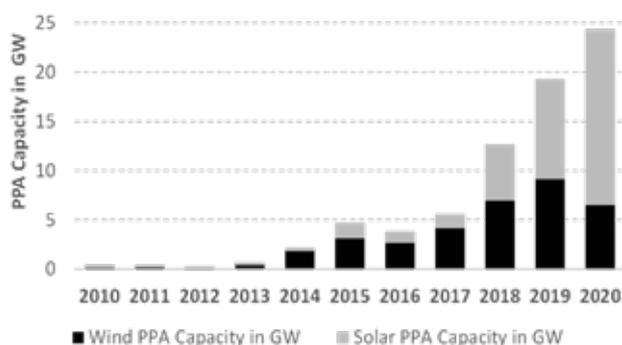


Abb. 1: Entwicklung des Europäischen PPA-Marktes (Quelle: Think RE 2021)

Die ausgeprägte EE-Affinität von PPAs ist ungleich neuer als deren Grundprinzip: Ihrer Bezeichnung entsprechend sind PPAs Übereinkommen, die sich auf den Kauf (und folgerichtig auch den Verkauf) von (elektrischer) Energie beziehen. Was ihre Bezeichnung dagegen nicht unmittelbar erkennen lässt, ist die Tatsache, dass PPAs (1) den Preis (2) einer verhandelten Menge an (elektrischer) Energie (3) einer bestimmten Qualität festlegen. PPAs knüpfen mit (1) also an der fundamentalen Bedeutung an, die Marktpreise (sowie ihre Unsicherheit) in marktwirtschaftlichen Systemen haben, mit (3) reagieren sie auf den sich verändernden institutionellen Rahmen.

Der Preis- als Informationsmechanismus

Preise als Resultat von Marktprozessen resultieren aus dem Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage, die wiederum auf zahlreiche Wirtschaftssubjekte zurückgehen, die ihre Ziele, Wissensstände, Erfahrungen, Präferenzen, Erwartungen und mehr in ihre (Kauf- und Verkaufs-)Handlungen einfließen lassen. Das unter ihnen ungleich verteilte Wissen (dispersed knowledge, vgl. von Hayek, 1945, bes. S. 519f., 530) mündet also in human action (nach von Mises, 1949), aus der am Ende eine zentrale Information hervorgeht: der – angesichts der darin verarbeiteten Informationsmenge höchst informative – Marktpreis (zur Informativität von Preisen vgl. grundlegend von Hayek, 1945, hier S. 526: „We must look at the price system as such a mechanism for communicating information if we want to understand its real function“; ausführ-

lich würdigend vgl. Streissler, 2000). Marktpreise reflektieren also zahllose Informationen, gleichzeitig sind sie selbst eine (hochkonzentrierte) Information. Indem sie auf dem Wissen und Handeln der Wirtschaftssubjekte basieren, können Preise indes nicht stabil sein: Die Menge der Handelnden, ihr Informationsstand, ihre Präferenzen etc. sind permanentem Wandel unterworfen, und folgerichtig sind es auch Preise. Hierin liegt eine wesentliche Herausforderung für Unternehmerinnen und Unternehmer: Zu ihren zentralen Funktionen gehört es, Unternehmungen zu gründen und zu erhalten, wobei Letzteres insbesondere das erfolgreiche Arbitragieren in und zwischen Märkten erfordert (ausführlich D. Schneider, 2011, S. 59-82, bes. S. 64-67). Der dabei angestrebte Erfolg wird zum einen umso mehr erschwert, je unsicherer Preise sind. Zum anderen funktioniert der Preismechanismus auf den unvollkommenen Märkten der Realität nicht friktionsfrei, er verursacht den Beteiligten im Gegenteil Transaktionskosten.

Marktpreisrisiken und ihre Steuerung

Je volatil und je transaktionskostenintensiver Marktpreise sind, desto stärker sind die Anreize für human actors, der hierin liegenden Gefährdung ihrer unternehmerischen Ziele durch planmäßiges Management, insbesondere durch Messung und Steuerung (zu Gesamtumfang und Regelkreischarakter des unternehmerischen Risikomanagements vgl. exemplarisch Crouhy et al., 2014, S. 45-66; Horsch/Schulte, 2016, S. 34-73) diesem sog. Marktpreisrisiko zu begegnen. Im Rahmen unternehmerischen Risikomanagements werden als relevant identifizierte Risiken zunächst gemessen. Erscheint die dabei ermittelte Risikomaßzahl als nicht hinnehmbar, wird aktive (z. B. eine Reduzierung des Risikos durch Diversifikation) oder passive Risikosteuerung (z. B. der Aufbau eines Verlustpuffers) notwendig. Zu den Maßnahmenkategorien der aktiven Risikosteuerung gehören nicht zuletzt solche des Risikotransfers. Hierbei wird das eigentliche Risiko oder seine ökonomische Konsequenz per Vertrag auf einen anderen Marktteilnehmer übertragen. Risikonehmer kann ein hierauf spezialisierter Dritter (z. B. ein Versicherer) sein, aber auch die Gegenpartei genau desjenigen Vertrages, dessen Gegenstand das preisrisikobehaftete Tauschobjekt ist, indem der Verkäufer das Risiko sinkender Absatzpreise auf den Käufer – oder umgekehrt der Käufer sein Risiko steigender Beschaffungspreise auf den Verkäufer – überwälzt (einführend dazu etwa Horsch/Schulte, 2016, S. 41f.).

Steuerung des Marktpreisrisikos durch Festpreisverträge

Ein traditionsreiches Instrument für den Transfer von Marktpreisrisiken sind Verträge, die den Preis für künftige Transaktionen schon heute fixieren. Festpreisverträge reduzieren Preisunsicherheiten ebenso wie (Transaktions-

1 TU Bergakademie Freiberg, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Lehrstuhl für ABWL mit dem Schwerpunkt Investition und Finanzierung.

2 TU Bergakademie Freiberg, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Lehrstuhl für ABWL mit dem Schwerpunkt Rohstoffmanagement.

kosten aus) Preisverhandlungen (grundlegend Carlton, 1979; Bordo, 1980). Umgekehrt gilt: Je ausgeprägter (Preis-)Unsicherheit und die Kosten von (Preis-)Verhandlungen, desto attraktiver werden Festpreisverträge. Die Auffassung vom Preismechanismus als Informationsmedium gilt dabei fort: Beim Aushandeln von Preisen für zukünftige Transaktionszeitpunkte geben die Verhandelnden – mehr oder weniger implizit – preis, welche Preisentwicklungen sie erwarten und fürchten. Das Verhältnis zwischen der Preisunsicherheit und den Vertragsspezifikationen ist indes nicht uneindeutig: Da „the more variable are relative prices, other things being equal, the greater the risk inherent in maintaining long-term contracts“ (Bordo, 1980, S. 1093) kann hohe Preisvolatilität einerseits kurze Vertragslaufzeiten begünstigen, die zwischen gleichermaßen risikoaversen Parteien kontrahiert werden. Je stärker andererseits das Sicherungsinteresse einer verhandlungsstarken Kontraktpartei, desto wahrscheinlicher sind lange Laufzeiten (long-term fixed-price contracts): „Long-term contracts are a mechanism by which a firm can reduce the costs of operating in an uncertain environment characterized by transaction costs“ (Carlton, 1979, S. 1038). Nicht-trivial ist auch das Verhältnis von (bisherigen bzw. erwarteten) Preisunsicherheiten und -verhandlungskosten zu den festgeschriebenen Preisen, da die Kontraktparteien angereizt sind, für sie ungünstige Entwicklungen zu antizipieren und – als eine gesonderte Risikoprämie – in die Konditionen einzupreisen (vgl. grundlegend frühe Arbeiten des späteren Nobelpreisträgers Oliver E. Williamson, hier Williamson, 1971, S. 117).

Strompreisrisiken und ihre Steuerung mit PPAs

Sowohl die positive Korrelation von Preisunsicherheiten und Festpreisverträgen als auch die komplexeren Detailzusammenhänge wie zwischen Volatilitätsausmaß und Vertragslaufzeit zeigen sich u. a. auf den Energiemärkten (vgl. Sund/Hausken, 2012), inzwischen insbesondere den Märkten für elektrische Energie. Eingangs des Jahrtausends schuf die Deregulierung der Strommärkte die notwendige Voraussetzung für Preisvolatilitäten. Den neuen Regelsystemen folgten neue Organisationen (Handlungssysteme, vgl. zu diesem zweiteiligen Institutionenverständnis bes. D. Schneider, 2011, S. 20-27) in Gestalt von Strombörsen. Die wachsende Stromnachfrage traf in den Folgejahren auf ein generell weniger elastisches Angebot und speziell eine zunehmend veränderte Wertschätzung der verschiedenen Stromerzeugungsmöglichkeiten, die sich letztlich signifikant zugunsten Erneuerbarer Energien verschoben hat, deren Eigenheiten sich ebenso signifikant auf Niveau und Volatilität von Strompreisen auswirken. Die obenstehende Abbildung 2 zeigt die historische und erwartete Entwicklung ausgewählter Strompreise an der Leipziger Strombörse EEX.

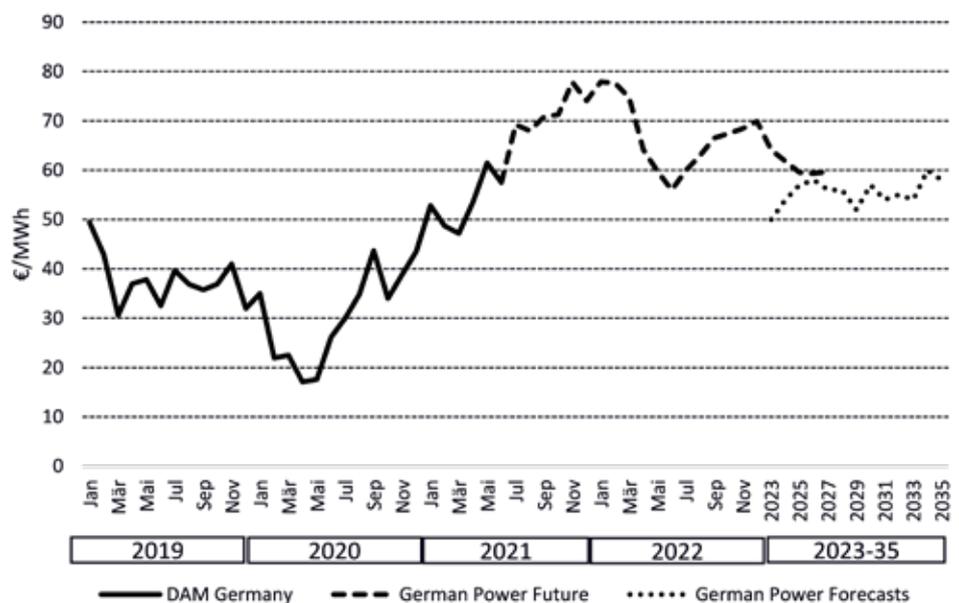


Abb. 2: Entwicklung des Europäischen PPA-Marktes (Quelle: Think RE 2021)

Die durchgezogene Linie beschreibt den historischen Day Ahead Preis auf Monatsbasis bis Juni 2021, die gestrichelte Linie den Future-Preis per Juni 2021 mit Laufzeiten bis zu fünf Jahren, die gepunktete Linie schließlich eine langfristige Preisvorhersage auf Basis eines regressions-basierten Merit Order Modells (vgl. Sensfuß et al., 2007). Angesichts volatilerer Strompreise ist die Renaissance (langfristiger) Festpreisverträge auf den Strommärkten der Gegenwart durch PPAs wenig überraschend: PPAs lassen sich präziser fassen als bilaterale Kontrakte zwischen zwei Unternehmen, einem Produzenten bzw. Verkäufer von Strom sowie einem Abnehmer bzw. Käufer, die sich auf eine bestimmte Menge Strom einer bestimmten Qualität zu bestimmten Zeitpunkten zu bestimmten Preisen über eine bestimmte (zumeist längere) Laufzeit beziehen (vgl. Hundt et al., 2021).

Physical vs. Virtual PPAs

Vorstehende Definition suggeriert, dass zu den kontrahierten Zeitpunkten nicht nur ein Geld-, sondern im Gegenzug elektrischer Strom zwischen den Vertragsparteien fließt. Eine solche Ausgestaltung – als Physical PPA – ist zwar denkbar, auf den heutigen Strommärkten indes nicht die Regel. Stattdessen überwiegen Virtual PPAs (VPPAs, vgl. einführend Kansal, 2019, S. 3-5), bei denen je Erfüllungszeitpunkt lediglich ein Geldstrom fließt: Der im VPPA fixierte Preis dient als Benchmark (b), die bestimmt, welche Vertragspartei der anderen welchen Ausgleichsbetrag zahlen muss. Liegt zu einem Transaktionszeitpunkt der Marktpreis für Strom unter der Benchmark ($p_N < b$), zahlt der Käufer dem Verkäufer die Differenz ($b - p_N$). In einer Cashflow-Betrachtung kann also der Verkäufer seinen Strom in diesem Moment nur zu einem niedrigen Marktpreis p_N (üblicherweise an Dritte, nicht an die VPPA-Gegenpartei) verkaufen, erhält aber von der VPPA-Gegenpartei die Differenz ($b - p_N$), in der Summe also $p_N + (b - p_N) = b$, also den im VPPA fixierten Preis. Liegt der Marktpreis im Transaktionszeitpunkt über der Benchmark ($p_H > b$), verkauft der Verkäufer zwar zu einem hohen Marktpreis, muss aber nun seinerseits die Differenz an die VPPA-Gegenpartei entrichten, erhält also auch in diesem Fall netto $p_H - (p_H - b) = b$.

Mengenrisiken

An vorgenannten PPA-Varianten lässt sich unmittelbar verdeutlichen, inwieweit sie auch das Mengenrisiko mindern: Beim VPPA ist die Minderung des Mengenrisikos schwächer, da nur Liquidität fließt: Welche Menge Strom daneben tatsächlich beschaffbar bzw. absetzbar ist, hängt von Drittparteien ab, die keine Beteiligten des VPPA sind. Ein Physical PPA sichert hingegen die Lieferung auch einer bestimmten Strommenge zu. Das Mengenrisiko sowohl der Liefer- als auch der abnahmeverpflichteten Partei ist insoweit gemindert, allerdings nicht eliminiert: Fällt die eine Partei aus, fällt das Mengenrisiko auf die andere zurück. Analog zum Marktpreis-leitet daher auch das Mengenrisiko über zum Kreditrisiko der Gegenpartei.

Von Preis- und Mengen- zu Kreditrisiken

Da PPAs von beiden Seiten zwingend zu erfüllen sind, werden sowohl ihre Preisrisiken als auch ihre Preischancen eliminiert, das Chance-Risiko-Profil ist mithin dem eines unbedingten Termingeschäfts (Forward / Future) vergleichbar. Analog zu finanziellen Handelsgeschäften sind daher auch die PPA-Parteien dem counterparty credit risk als besonderer Form des Kreditrisikos (vgl. einführend Horsch/Schulte, 2016, S. 152f., ausführlicher Crouhy et al., 2014, S. 471-497) ausgesetzt: Relevant ist nicht die Kreditwürdigkeit eines (Forderungs-)Schuldners, sondern einer Gegenpartei aus einem noch zu erfüllenden (Handels-)Geschäft, hier dem Stromlieferungsvertrag. Solange diese gegeben ist, ist das Preisrisiko transferiert, ist sie nicht mehr gegeben, lebt das Preisrisiko-Exposure wieder auf. Aus Sicht des Stromproduzenten ist also die Kreditwürdigkeit des Offtakers elementare Voraussetzung für das Gelingen seiner Steuerung des Marktpreisrisikos. Aus seiner Perspektive steht tatsächlich diese Seite der Risikosteuerung regelmäßig im Vordergrund. Als Endkonsumenten Strom abnehmende Corporates (C&I PPA) zeigen hierbei bis dato eine weitere Spreizung von Kreditwürdigkeiten, die überwiegend gut bis befriedigend (A+ bis BBB-) und mithin im Investment grade-Bereich liegen, während stromabnehmende Energieversorger und -händler (Utility PPA) deutlich am häufigsten bei BBB und damit an der Grenze von investment und speculative grade zu finden sind (vgl. Hundt et al., 2021).

Reputationsrisiken und -chancen

Unabhängig davon gilt der Zusammenhang auch umgekehrt: Das (Beschaffungs-)Preis- und Mengenrisiko des Offtakers ist nur transferiert, solange die Kreditwürdigkeit des Produzenten gegeben ist. Diese Sichtweise ist umso interessanter deswegen, weil moderne PPAs dem Offtaker die Gelegenheit zur Steuerung eines weiteren Chance-/Risiko-Zusammenhangs eröffnen, indem die ursprüngliche PPA-Definition erweitert wird um die Festlegung einer bestimmten Qualität von Strom. Diese Qualität bezieht sich auf die Art bzw. Quellen der Stromerzeugung, indem vereinbart wird, dass der zu liefernde Strom aus regenerativen Quellen zu stammen hat („Grünstrom“), woraufhin entsprechende Herkunftsnachweise (Energy Attribute Certificates) im Rahmen von PPAs transferiert werden. Durch diese Modifikation der PPA-Grundform kann der Abnehmer nicht nur seine Versorgungssicherheit erhöhen, sondern auch die Erreichung selbst oder behördlich gesetzter Sustainability-Ziele verbessern. Hieraus wiederum ergibt sich die Chance auf Reputationszuwächse in den verschiedensten Märkten bzw. gegenüber den verschiedensten Stakeholder-Gruppen, worauf c. p. langfristig eine bessere Erreichung der unternehmerischen Oberziele folgen sollte. PPAs eröffnen mithin – insbeson-

dere Unternehmen stromintensiver Industrien – eine Möglichkeit, neben Preisrisiken auch Reputationsrisiken zu steuern. Staatliche Marktregeln, die Sustainability-Anforderungen kodifizieren, nehmen zusätzlichen Einfluss auf Angebot und Nachfrage von PPAs. Entsprechend gilt heute das 2020 in Kraft getretene Klassifizierungssystem der EU (Taxonomy for Sustainable Activities, vgl. etwa Lucarelli et al., 2020) als maßgeblicher Treiber.

Ausblick

Die Beantwortung von Forschungsfragen wird regelmäßig erleichtert, wenn die Menge auswertbarer Daten wächst, wovon für PPAs auszugehen ist: Sie werden im Zuge immer ambitionierterer Klimaziele (wie für Deutschland unlängst als Zero Emission 2045 formuliert) eine immer wichtigere Rolle für Unternehmen spielen, die nachhaltiges Handeln nachweisen wollen oder sogar müssen. Angereizt sind sie hierdurch nicht nur durch unmittelbar einzuhaltende staatliche Regeln wie das Klimaschutzgesetz, sondern auch die veränderte Anspruchshaltung ihrer Stakeholder: So stellen mittelgebende Parteien Nachhaltigkeits- zunehmend neben traditionelle Kreditwürdigkeitskriterien, bevor sie eine Investitionsentscheidung treffen. Mittelsuchende Unternehmen werden für sie relevante Sustainability-Vorgaben also auch deswegen erfüllen, um sich künftig als Investitionsobjekt zu qualifizieren. Die Bedeutung von PPAs für das unternehmerische Risikomanagement wird in der Folge nochmals erweitert, da sie mithin auch das Refinanzierungsrisiko mindern helfen. PPAs werden daher auf absehbare Zeit überaus relevant für die Praxis bleiben – und infolge der hierbei aufgeworfenen (Forschungs-)Fragen auch für die Wissenschaft.

Quellen

- Bordo, M. D. (1980): The Effects of Monetary Change on Relative Commodity Prices and the Role of Long Term Contracts, in: *Journal of Political Economy*, Vol. 88, S. 1088-1109.
- Carlton, D. W. (1979): Contracts, Price Rigidity, and Market Equilibrium, in: *Journal of Political Economy*, Vol. 87, S. 1034-1062.
- Crouhy, M./Galai, D./Mark, R. (2014): *The Essentials of Risk Management*, 2. Aufl., New York et al. (McGraw Hill).
- Hayek, F. A. von (1945): The Use of Knowledge in Society, in: *American Economic Review*, Vol. 35, S. 519-530.
- Horsch, A./Schulte, M. (2016): Wertorientierte Banksteuerung II: Risikomanagement, 5. Aufl., Frankfurt/M. (Frankfurt School Verlag).
- Hundt, S./Jahnel, J./Horsch, A. (2021): Power Purchase Agreements and Financing Renewables – An Interdependency, in: *Journal of Structured Finance*, Vol. 27(1), S. 35-50.
- Kansal, R. (2019): *Introduction to the Virtual Power Purchase Agreement*, New York et al. (Rocky Mountain Institute).
- Kobus, J./Nasrallah, A. I./Guidera, J. (2021): *The Role of Corporate Renewable Power Purchase Agreements in Supporting US Wind and Solar Deployment*, New York (Center on Global Energy Policy | Columbia SIPA).
- Lucarelli, C./Mazzoli, C./Rancan, C./Severini, S. (2020): Classification of Sustainable Activities: EU Taxonomy and Scientific Literature, in: *Sustainability*, Vol. 12, art. 6460.
- Mises, L. von (1949): *Human Action – A Treatise on Economics*, New Haven (Yale University Press).
- Schneider, D. (2011): *Betriebswirtschaftslehre als Einzelwirtschaftstheorie der Institutionen*, Wiesbaden (Gabler).
- Sensfuß, F./Ragwitz, M./Genoese, M. (2007): The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany, in: *Energy Policy*, Vol. 36, S. 3086-3094.
- Streissler, E. W. (2000): Internationale Finanzmärkte aus einer von Hayek inspirierten Sicht, in: *ORDO – Jahrbuch für die Ordnung von Wirtschaft und Gesellschaft*, Bd. 51, S. 75-96.
- Sund, K. A./Hausken, K. (2012): Fixed price contract versus incentive-based contract in the oil and gas industry, in: *International Journal of Global Energy Issues*, Vol. 35, S. 371-410.
- Williamson, O. E. (1971): The Vertical Integration of Production: Market Failure Considerations, in: *American Economic Review (Papers & Proceedings)*, Vol. 61, S. 112-123.

Natürliche Stoffsenken mit biogeochemischem Prozessverständnis managen

Maximilian P. Lau^{1,2}

Der Nutzungsdruck auf die natürlichen Ressourcen der Erde nimmt mit der voranschreitenden wirtschaftlichen Entwicklung einer steigenden Weltbevölkerung zu. Dieser Druck hat weitreichende Auswirkungen auf die Ökosysteme und ist mit Eingriffen in den natürlichen, globalen Stoffhaushalt von Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor verbunden. Störungen dieser Elementkreisläufe tragen zu Klimawandel, Artenverlust und Trinkwasserknappheit bei. Um Auswirkungen zu begrenzen, müssen anthropogenen Stoffquellen zukünftig mehr und wirkungsvollere Senken gegenübergestellt werden.

Technische Senken für Kohlenstoffdioxid (CO₂) in Form von Abscheidung und Deponierung sind derzeit noch nicht ausreichend skalierbar. Natürliche Senken, wie Böden, Vegetation und Sedimente standen einst im Gleichgewicht mit den Quellen, gingen aber durch Landnutzungsänderungen und den Klimawandel teilweise verloren. Um die im Übereinkommen von Paris gesteckten Klimaziele zu erreichen, müssen nicht nur Emissionen reduziert, sondern auch Kohlenstoffsenken geschaffen werden. In Sachsen haben land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen, künstliche Gewässer, Nieder- und auch Mittelgebirgsmoore das Potenzial als Stoffsenken zu wirken. Das deutsche Klimaschutzgesetz sieht vor, bis 2045 durch besseres Senkenmanagement die CO₂ Bindung Jahr für Jahr um eine Million Tonnen auszubauen und plant, dafür allein bis 2030 3.5 Mrd. Euro auszugeben [1]. Die Leistungsfähigkeit natürlicher Stoffsenken langfristig und großskalig zu erhöhen, wird eine wichtige Aufgabe der Gesellschaft.

Wann funktionieren natürliche Stoffsenken optimal?

Trotz seiner entscheidenden Bedeutung für den Erfolg von Klimaschutzstrategien ist das biogeochemische Prozessverständnis der natürlichen Stoffsenken in Wäldern, Grünland, Mooren und Gewässern unzureichend, und unsere Steuerungsmöglichkeiten daher begrenzt.

In Mooren ist davon auszugehen, dass die Senkenfunktion an den Wasserstand relativ zur Bodenoberfläche gekoppelt ist. Moore binden durch langsamen Stoffumsatz in wassergesättigter Umgebung Kohlenstoff (als Biomasse), der sich der mikrobiellen Veratmung zu CO₂ entzieht. Die Biomasse ist beständig, da abbaueindliche Umgebungsbedingungen sie stabilisieren. Zahlreiche Mittelgebirgsmoore in Sachsen wurden zur forst- oder landwirtschaftlichen Nutzung entwässert und verlieren seitdem kontinuierlich Biomasse als CO₂. Durch deren Wiedervernässung sollen aus Kohlenstoffquellen wieder Senken entstehen (Abb. 1).

Wie ein Ökosystem auf Maßnahmen zur Verbesserung der Senkeneigenschaften reagiert, kann standortspezifisch jedoch sehr unterschiedlich ausfallen. In Mooren beurteilt man die Kohlenstoff-Senke nicht nur anhand des Austauschs zwischen Boden und Atmosphäre, sondern berücksichtigt auch die Biomasse, die als gelöster organischer Kohlenstoff abfließt. Man kennt die dunkelbraunen, huminstoffreichen Oberflächengewässer aus

moorreicher Landschaft. Sie zeugen von einem starken Kohlenstoffexport (Abb. 1c). Vereinfacht wird angenommen, dass wiedervernässte Moore zu einem natürlichen Kohlenstoffabfluss-Niveau zurückkehren, und dass 90 % des abfließenden Kohlenstoffs andernorts zu CO₂ umgebaut wird und in die Atmosphäre gelangt [2]. Erstere Annahme ist mit starken Unsicherheiten behaftet und widerspricht Beobachtungen regionaler Moorflächen. Ob letztere Quote auch für hiesige Ökosysteme gilt, kommt auf die bio-physikalischen Bedingungen in den nachfolgenden Wasserkörpern an, einschließlich deren Nährstoffversorgung, Durchfluss und Temperatur. Ob eine optimal funktionierende Senke vorliegt, entscheidet sich also nicht nur am Ort der Maßnahme, sondern in allen Gewässern, die der abfließende Kohlenstoff erreicht. In Sachsen bereitet er zusätzlich Probleme bei der Aufbereitung von Trinkwasser aus flussabwärts gelegenen Talsperren. Um langfristig effizient arbeitende Senken zu planen und zu überwachen müssen wir diesen Wissenslücken und Unsicherheiten begegnen. Wir folgen daher in der Arbeitsgruppe Biogeochemie dem organischen Kohlenstoff auf seinem Weg durch das aquatische Kontinuum von seinen Quellen entlang von Bächen, Flüssen, Talsperren und Seen bis ins Meer [3].

Biogeochemische Rückkopplungen beachten

Überall dort greift organischer Kohlenstoff selbst in die biologischen und physikalischen Prozesse ein. Zwei seiner Eigenschaften sind dabei entscheidend. Einerseits verringert seine intensive Färbung die Eindringtiefe von Sonnenlicht, verstärkt die thermische Schichtung von Seen und Talsperren und beschattet photosynthetisch aktive Organismen. Gleichzeitig stellt der in Gewässern eingewaschene organische Kohlenstoff eine Energiequelle dar, die Einbußen bei der verfügbaren Lichtenergie ausgleicht. Gewissermaßen alimentiert das Land so die aquatischen Lebensgemeinschaften. Die Kombination aus weniger Photosynthese und verlängerter Schichtung bei klimabedingt höheren Temperaturen führt, wie man nun weiß, zu einem fortschreitenden Verlust von lebensnotwendigem Sauerstoff aus den Seen, Talsperren und Meeren der Erde [4].

Der Verlust des Sauerstoffs bis hin zur Ausbildung sauerstofffreier, toter Wasserbereiche zieht wiederum gravierende biogeochemische Konsequenzen nach sich. Einerseits wird dort von sauerstoffempfindlichen Organismen Methan produziert, das als Treibhausgas einen

Kontakt

AG Biogeochemie, Institut für Mineralogie, Brennhausgasse 14, 09599 Freiberg, maximilian.lau@ioez.tu-freiberg.de, 03731-393539 <https://tu-freiberg.de/fakultaet3/mineralogie/biogeochemie>

1 Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum

2 Institut für Mineralogie, Juniorprofessur für Biogeochemie



mehr als 20-mal stärkeren Effekt als CO₂ besitzt. Andererseits beeinflusst eine veränderte Sauerstoffversorgung des Grunds betroffener Gewässer auch deren Funktion als Senke des Schlüsselnährstoffs Phosphor [5]. Ähnlich dem Kohlenstoff, sind natürliche Senken für Phosphor rar. Erst anthropogene Aktivität hat den Eintrag von Phosphat in die Biosphäre stark erhöht, was nicht selten zu extremer Eutrophierung führt. In Seen und Talsperren lösen sich abgelagerte Partikel bei Sauerstoffarmut auf und setzen oberflächlich gebundene Phosphate (aber auch organischen Kohlenstoff) frei [6]. Die so aus der Senke freigesetzten Substanzen können zu einer kaskadenartigen Rückkopplung führen und den Sauerstoffverbrauch im Tiefenwasser zusätzlich erhöhen. Die Frage, wie sich diese Faktoren synergistisch auf die Landschafts-Ökosystemfunktionen auswirken, erfordert weitere, intensive Forschung. Ein verbessertes Kohlenstoff-Senkenmanagement wird aber sicherlich viele weitere positive Effekte entlang des Land-zu-Ozean Kontinuums nach sich ziehen.

Senkenmanagement ist Zukunftsaufgabe

Biogeochemische Prozesse steuern die Schlüsselemente des Lebens: Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Phosphor. Nur durch gefestigtes Prozessverständnis lässt sich deren Dynamik im globalen Wandel prognostizieren oder gar durch präzise Eingriffe in Ökosysteme steuern. Diese Steuerungs- und Managementmöglichkeiten wahrzunehmen ist essenziell, um Emissionsreduktionen zu erreichen und um langfristig die globale Erderwärmung zu begrenzen. Die AG Biogeochemie verknüpft daher grundlegende und angewandte Aspekte der Erdsystemwissenschaften. Wir erforschen Ansätze, die natürliche Stoffsenken stabilisieren und negative Rückkopplungen gezielt unterbinden. Geoökologinnen und Geoökologen, wie sie an der TU Bergakademie Freiberg ausgebildet werden, sind die ausgewiesenen Experten für diese Fragestellungen. Sie werden dringend gebraucht, um mit funktionierendem, langfristigem und kosteneffektivem Senkenmanagement den Herausforderungen unserer Zeit zu begegnen.

◀ Gezielter Anstau in ehemaligen Entwässerungsgräben (a) eines forstlich genutzten Moores. Durch Bau von Dämmen (b) soll dessen Eigenschaft als Stoffsenke verbessert werden. (c) Kohlenstoffreiches Wasser aus organischen Böden mischt sich mit klarerem Abfluss. (Fotos: Lau)

Quellenverzeichnis

- 1 Deutsche Bundesregierung. Erstes Gesetz zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes.
- 2 Hiraishi, T. et al. 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switz. (2014).
- 3 Lau, M. P. Linking the dissolved and particulate domain of organic carbon in inland waters. J. Geophys. Res. Biogeosciences e2021JG006266 (2021) doi:10.1029/2021JG006266.
- 4 Jane, S. F. et al. Widespread deoxygenation of temperate lakes. Nature 594, 66–70 (2021).
- 5 Lau, M. P., Valerio, G., Pilotti, M. & Hupfer, M. Intermittent meromixis controls the trophic state of warming deep lakes. Sci. Rep. 10, 1–16 (2020).
- 6 Lau, M. P. & Del Giorgio, P. Reactivity, fate and functional roles of dissolved organic matter in anoxic inland waters. Biol. Lett. 16, 20190694 (2020).

Ressourcenschutzrecht – Stand und Perspektiven

Maximilian Wormit¹

Unser materieller Wohlstand beruht zu einem wesentlichen Teil auf der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen wie Holz, mineralischer Rohstoffe, Metallerze, Boden oder fossiler Brennstoffe. Sie stehen der Menschheit nur im begrenzten Umfang zur Verfügung und sind nur teilweise reproduzierbar. Ihre sorgsame, vergeudungsfreie und verantwortungsvolle Nutzung ist deshalb nicht zuletzt im Interesse künftiger Generationen unausweichlich. Im Folgenden soll aufgezeigt werden, welchen Beitrag das Recht zum Schutz natürlicher Ressourcen leisten kann. Hierzu sollen einige Schlaglichter auf den Bestand und die Entwicklungsperspektiven des Ressourcenschutzrechts geworfen werden.

Schutzbedürftigkeit natürlicher Ressourcen

Der globale „Hunger“ nach natürlichen Ressourcen wird sich in den nächsten vierzig Jahren wegen der wachsenden Weltbevölkerung und ihres gleichzeitigen Strebens nach höherem Wohlstand nahezu verdoppeln.² In besonders plakativer Weise bringt diese Entwicklung der alljährlich von der Organisation Global Footprint Network berechnete „Erdüberlastungstag“ zum Ausdruck. Der „Earth Overshoot Day“ verweist auf den Tag eines laufenden Jahres, an dem die Menschheit so viele (regenerative) Ressourcen verbraucht hat, wie die Erde im ganzen Jahr erneuern kann. Während dieser Tag im Jahr 2000 noch auf den 23. September fiel, stand er im Jahr 2021 – trotz des coronabedingten Wirtschaftsabschwungs – schon am 29. Juli im Kalender.³ Diese Entwicklung bleibt freilich nicht ohne Auswirkung auf die Umwelt: Bereits jetzt sind nach Schätzungen des International Resource Panels der Vereinten Nationen rund die Hälfte der gesamten Treibhausgasemissionen und mehr als 90 % des Verlusts an biologischer Vielfalt auf die Nutzung natürlicher Ressourcen zurückzuführen.⁴ Es gibt also gute Gründe, sich mit – auch rechtsgeformten – Konzepten zum Schutz natürlicher Ressourcen auseinanderzusetzen.

Internationale und nationale Ressourcenschutzpolitik

Angesichts des vorskizzierten Entwicklungs panoramas rückt der Ressourcenschutz immer stärker in den Fokus der internationalen wie nationalen Politik. In den vergangenen Jahren wurde eine Reihe politischer Programme aufgelegt, die sich mit möglichen Regelungsstrategien zur sparsamen und effizienten Nutzung natürlicher Ressourcen beschäftigen. Solche Programme bilden regelmäßig den Ausgangspunkt für die (spätere) Verrechtlichung ressourcenschutzbezogener Handlungskonzepte. Auf europäischer Ebene hat die Europäische Kommission im Gefolge des Ende 2019 verkündeten „europäischen Grünen Deals“ zuletzt ihr Bestreben nach einer effizienteren Ressourcennutzung in einem „Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa“ bekräftigt, mit dessen Hilfe der „Ressourcenverbrauch innerhalb der Belastungsgrenzen des Planeten“ bleiben soll.⁵ Als ressourceneffizienzsteigernde Maßnahmen werden darin beispielsweise die Einführung eines Verbots der Vernichtung unverkaufter,

nicht verderblicher Waren ebenso angesprochen wie die Schaffung von Vorgaben zur Verbesserung der Haltbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Nachrüstbarkeit oder Reparierbarkeit von technischen Produkten.

Auf nationaler (Bundes-)Ebene findet der Ressourcenschutz seinen politischen Rahmen vor allem in der „Rohstoffstrategie der Bundesregierung“ sowie im „Deutschen Ressourceneffizienzprogramm“ („ProgRess“). Leitziel der zuletzt im Jahr 2019 unter Federführung des Bundeswirtschaftsministeriums fortgeschriebenen „Rohstoffstrategie der Bundesregierung“ ist es, „Maßnahmen auf den Weg zu bringen, um Unternehmen bei einer sicheren, verantwortungsvollen und der Nachhaltigkeit verpflichteten Rohstoffversorgung zu unterstützen“.⁶ Zentralanliegen des zuletzt im Jahr 2020 (zum dritten Mal) unter Federführung des Bundesumweltministeriums fortgeschriebenen „Deutschen Ressourceneffizienzprogramms“ („ProgRess III“) ist es demgegenüber „die Entnahme und Nutzung natürlicher Ressourcen nachhaltiger zu gestalten und in Verantwortung für künftige Generationen dazu beizutragen, unsere natürlichen Lebensgrundlagen dauerhaft zu sichern“⁷, neuerdings auch unter Betonung des Beitrags der Ressourceneffizienz zur Erreichung der Klimaschutzziele.⁸ Im Gegensatz zur eher wirtschaftspolitisch konnotierten „Rohstoffstrategie der Bundesregierung“ steht „ProgRess“ also deutlich im Zeichen des Umweltschutzes, womit auch die zweifache Stoßrichtung der Ressourcenschutzpolitik – nämlich die ökonomische und die ökologische – zum Ausdruck kommt.⁹

Die Verrechtlichung des Ressourcenschutzes

Wird ressourcenschutzbezogene Programmatik in rechtsgeformte Strukturen überführt, so lassen sich die geschaffenen Regelungen unter einem systematischen Blickwinkel dem Ressourcenschutzrecht zuordnen. In- des handelt es sich beim Ressourcenschutzrecht keineswegs um ein in sich konsistentes, ausgefeilt-abgegrenztes Rechtsgebiet, dessen zentrale Regelungssätze insbesondere in einem „Ressourcenschutzgesetz“ kodifiziert wären. Der in Deutschland vorfindliche Bestand an ressourcenschutzrelevanten Rechtsnormen entspringt vielmehr einer Fülle nationaler wie europäischer Rechtssetzungsakte (Bundes-

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

2 OECD, Global Material Resources Outlook to 2060, 2018.

3 Vgl. Global Footprint Network, Earth Overshoot Day, <https://www.footprintnetwork.org/our-work/earth-overshoot-day/>.

4 United Nations Environment Programme, Global Resources Outlook 2019, S. 65.

5 Europäische Kommission, Mitteilung v. 11.03.2020, COM(2020) 98 final.

6 BMWi, Rohstoffstrategie der Bundesregierung, S. 3, 2019.

7 BMU, Überblick zum Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess), <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/ressourceneffizienz/deutsches-ressourceneffizienzprogramm/>.

8 Vgl. BMU, Deutsches Ressourceneffizienzprogramm, 2020, S. 6 f.

9 Vgl. Michael Rodi, in: Zeitschrift für Umweltrecht, 2016, S. 531.



Copyright: Family Business - stock.adobe.com

Abb. 1: Haufwerk von Elektroschrott

gesetzen, Landesgesetzen, EU-Verordnungen, etc.), die ihrerseits ganz unterschiedliche Politik- und damit Regelungsbereiche adressieren.

Dementsprechend unterschiedlich fällt auch das „Wie“ ihrer Instrumentalisierung für den Ressourcenschutz aus: Während etwa die Bestimmungen des Bundesberggesetzes (BBergG) oder des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) ihre regulativen Anknüpfungspunkte im Prozess der Rohstoffgewinnung finden, hält das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) ressourcenschutzbezogene Vorgaben zur Entwicklung, Herstellung und Verwertung von Produkten bereit. Geht es hingegen um die Pflicht zur ressourcenschützenden Planung der Nutzung von Grund und Boden durch staatliche Stellen, liefern insbesondere das Raumordnungsgesetz (ROG) und das Baugesetzbuch (BauGB) den einschlägigen Normbestand. Wird dem Betreiber einer Industrieanlage im Bundes-Immissionsschutzgesetz

(BImSchG) die Pflicht zur sparsamen und effizienten Energieverwendung auferlegt, wird hiermit auch dem Schutz natürlicher Ressourcen Rechnung getragen. Steht, um ein letztes Beispiel zu nennen, die Vermarktungsmöglichkeit von Baustoffen innerhalb der Europäischen Union in Rede, stellt die EU-Bauproduktenverordnung (BauPVO) die Vertriebsfähigkeit von Baustoffen im Interesse des Ressourcenschutzes unter die Bedingung ihrer Recyclingfähigkeit.

Bereits diese überblicksweise – und gewiss nicht abschließende – Skizze zum Bestand ressourcenschutzrelevanter Regelungen macht deutlich, dass es sich beim Ressourcenschutzrecht um eine über verschiedene Regelungsbereiche und Regelwerke verstreute „Querschnittsmaterie“ handelt. Es nimmt daher kaum Wunder, dass im rechtswissenschaftlichen Diskurs einige Stimmen für die Kodifizierung eines eigenständigen Ressourcenschutzgesetzes plädieren.¹⁰

Beispiel: Durchführungsverordnungen zur Ökodesign-Richtlinie – „Ressourcenschutz durch Reparatur“

Soll, wie im Folgenden, der nähere Regelungs- und Wirkungsmechanismus von auf den Ressourcenschutz abzielenden Rechtsnormen anhand eines Beispiels illustriert werden, so bietet sich hierfür der Rückgriff auf das europäische Produktrecht an; denn gerade in der jüngeren Vergangenheit haben die in diesem Regelungsbereich erlassenen Rechtsakte wichtige Impulse für die Fortentwicklung des Ressourcenschutzrechts innerhalb der Europäischen Union gesetzt. Dafür zeichnet vor allem die sog. Ökodesign-Richtlinie¹¹ verantwortlich. Die Richtlinie normiert bereits seit 2009 zahlreiche Mindeststandards, welche die Hersteller bei der umweltgerechten Gestaltung („Ökodesign“) ihrer auf dem EU-Markt vertriebenen Produkte – insbesondere aus dem Haushalts- und Elektronikbereich – zu beachten haben. Mit der Richtlinie reagiert die EU nicht zuletzt auf die Erkenntnis, dass bis zu 80 % der Umweltauswirkungen eines Produkts bereits in seiner Entwurfsphase festgelegt werden.¹² Als „Rahmenrichtlinie“ sind die Regelungsinhalte der Ökodesign-Richtlinie unterdessen eher allgemein gehalten und deshalb auf eine Nachverdichtung durch den Erlass produktspezifischer Durchführungsverordnungen angelegt. Eben solche Durchführungsverordnungen hat die Europäische Kommission unlängst verabschiedet und darin einen neuen Regelungsansatz für den produktbezogenen Ressourcenschutz etabliert. Demnach trifft seit dem 1. März 2021 die Hersteller bestimmter Elektrogeräte (u.a. Haushaltsgeschirrspüler, Wäschetrockner, Waschmaschinen) erstmals die Verpflichtung, für deren Reparierbarkeit zu sorgen, Ersatzteile vorzuhalten und den barrierefreien Zugang zu Reparaturinformationen sicherzustellen.

Die beispielsweise nunmehr für Hersteller von Haushaltsgeschirrspülern im Einzelnen geltenden Vorgaben sind in der (Durchführungs-)Verordnung zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Haushaltsgeschirrspüler¹³ geregelt. Deren Anhang II führt unter Nr. 5 die im Detail zu beachtenden „Ressourceneffizienzanforderungen“ auf. Danach trifft die Hersteller entsprechender Geräte die Pflicht, gewerblichen Reparateuren und Endnutzern für einen Zeitraum von bis zu zehn Jahren nach dem Inverkehrbringen des letzten Exemplars eines Modells Ersatzteile wie Türscharniere, Dichtungen oder Ablauffilter zur überlassen. Eine Liste der Ersatzteile und das Verfahren für deren Bestellung müssen dabei auf der frei zugänglichen Website des jeweiligen Geräteherstellers öffentlich verfügbar sein, der auch sicherzustellen hat, dass die Ersatzteile innerhalb von 15 Arbeitstagen nach Bestelleingang geliefert werden. Bei alledem haben die Gerätehersteller dafür Sorge zu tragen, dass die entsprechenden Ersatzteile mit allgemein verfügbaren Werkzeugen und ohne dauerhafte Beschädigung am Gerät ausgewechselt werden können. Schließlich werden die Hersteller von Haushaltsgeschirrspülern darauf verpflichtet, gewerblichen Reparateuren gerätespezifische Reparatur- und Wartungsinformationen (Zerlegungspläne, Verdrahtungs- und Anschlusspläne, etc.) innerhalb eines Arbeitstages gegen eine „angemessene und verhältnismäßige“ Gebühr bereitzustellen.

Wollte man das Regelungsprogramm dieser Verordnung(en) unter ein Leitmotiv stellen, so könnte dieses lauten: „Ressourcenschutz durch Reparatur“. Mit der Inpflichtnahme der Haushaltsgerätehersteller zur reparaturfreundlichen Konstruktion ihrer Produkte sowie zum Vorhalten entsprechender Ersatzteile nebst Reparaturinformationen sind die Bestimmungen unverkennbar darauf angelegt, die Rahmenbedingungen zur praktischen Durchführbarkeit von Reparaturen zu verbessern. Daran knüpft sich wiederum die Erwartung, regulatorische Anreize für die Endkunden zu schaffen, die Reparatur ihrer defekten Haushaltsgeräte dem Neukauf vorzuziehen. Die Vorschriften leisten damit letztlich einen Beitrag zur Schaffung einer stärker kreislauforientierten Wirtschaft („Circular Economy“), bei der es auch darum geht, Produkte und die für ihre Herstellung eingesetzten Ressourcen so lange wie möglich dem Wirtschaftskreislauf zu erhalten.¹⁴

Entwicklungsperspektiven

Mit der auf nationaler wie europäischer Ebene zu verzeichnenden Intensivierung der (rechts-)politischen Diskussion über Strategien zum nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen haben auch die in diesem Bereich entfalteten Rechtssetzungsaktivitäten an Fahrt aufgenommen. Wie die neuerlichen EU-Rechtsakte zu den Ökodesign-Vorgaben verschiedener Haushaltsgeräte belegen, messen die politischen Entscheidungsträger insbesondere dem produktbezogenen Ressourcenschutzrecht eine Schlüsselrolle zur Realisierung einer ressourcenschonenden (Kreislauf-)Wirtschaft zu. Ein Zuwachs an ressourcenschutzbezogenen Bestimmungen steht deshalb vor allem in diesem Bereich zu erwarten. Darauf lässt nicht zuletzt eine Reihe politischer Absichtserklärungen schließen, die kürzlich von verschiedenen EU-Organen verlautbart wurden. Hervorzuheben ist dabei insbesondere die „Entschließung des Europäischen Parlaments vom 10. Februar 2021 zu dem neuen Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft“¹⁵. Darin fordert das Parlament neben der Normierung eines umfassenden „Rechts auf Reparatur“ auch die Einführung eines digitalen Produktpasses, der Auskunft über die Möglichkeit einer Reparatur, über den sozialen und ökologischen Fußabdruck sowie über die Rückverfolgbarkeit der Lieferketten eines Produkts geben soll. Das Parlament reagiert damit auch auf den seit Jahrzehnten schwelenden Verdacht, dass einige Hersteller Strategien der sog. Produktobsoleszenz verfolgen, ihre Geräte also gezielt mit Schwachstellen versehen, damit diese früher, als es beim gewöhnlichen Lauf der Dinge der Fall wäre, defekt gehen.

10 Vgl. Friederike Herrmann/Joachim Sanden/Thomas Schomerus/Falk Schulze, in: Zeitschrift für Umweltrecht, 2012, S. 523 ff.

11 Richtlinie 2009/125/EG v. 21.10.2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte.

12 Europäisches Parlament, Entschließung v. 10.2.2021, 2020/2077(INI), Erwägungsgrund K.

13 Verordnung (EU) 2019/2022 v. 1.10.2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Haushaltsgeschirrspüler gemäß der Richtlinie 2009/125/EG.

14 Vgl. Europäische Kommission, Mitteilung v. 2.12.2015, COM(2015) 614 final, S. 2 („Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft“).

15 Europäisches Parlament, Entschließung v. 10.2.2021, 2020/2077(INI).

Resonanzeffekte lassen Dimensionen verschwinden

Marcus Waurick

Physikalische Prozesse zu verstehen gehört zu den Hauptanliegen naturwissenschaftlichen Strebens. Tatsächlich ist die Erfindung der Physik selbst eine Strategie für einen Erklärungsversuch für die Welt – nämlich, um mit Goethe zu sprechen, „zu erkennen, was sie im Innersten zusammenhält“. Als Kriterium objektiver Wahrheit hat sich das mathematische Argument in diesem Teilgebiet der Naturwissenschaft durchgesetzt. Vor allem in der theoretischen Physik bildet die Mathematik eine Sicherheitsleine, an der logisch stringente – wenn auch unintuitive – Konsequenzen aus konkreten Annahmen abgeleitet werden können. Vor allem diese Folgerungen gehorchen dann eher der beobachteten Welt als deren naive Kontrapunkte mit merklichen Konsequenzen für unser Leben, der Konsistenz unserer Theorien als auch der Erkenntnis über uns selbst: Ohne die unvermuteten Folgerungen aus der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit kein GPS, ohne das noch so unwahrscheinliche Entstehen und Zergehen von Teilchen und Antiteilchen kein thermodynamisch stimmiges Schwarzes Loch und ohne Heisenbergsche Unschärfe kein Zufluchtsort des freien Willens weg vom Laplaceschen Dämon.

Unendlich starke Oszillationen

Daher ist es auch Ziel mathematischer Erkenntnis Denkmöglichkeiten aus bestimmten Annahmen heraus zu entwickeln. Ein Hauptaugenmerk meiner Forschung besteht nun darin, diese Denkmöglichkeiten im Zusammenhang mikroskopischer Oszillationen und makroskopischer Phänomene zu finden. Das diesem Aspekt zugrundeliegende mathematische Fachgebiet wird Homogenisierung genannt. Darin studiert man stark oszillierende variable Koeffizienten in (partiellen) Differentialgleichungen, gibt dem Grenzwert „Oszillationen gegen unendlich stark“ einen mathematischen Sinn und versucht sogenannte „effektive“ Koeffizienten herzuleiten. Die Lösungen der Gleichungen mit diesen effektiven Koeffizienten sind dann oft gute Approximationen für die Lösungen der Gleichungen mit den zuvor betrachteten variablen Koeffizienten. Beispielsweise untersucht man den Einfluß des Mischverhältnisses und der Mischweise von Kies, Sand, Wasser und ähnlichem auf die Wärmeleitfähigkeit im ausgetrockneten, daraus hergestellten Beton der Hauswand unserer Wohnungen. Bereits in einfachen eindimensionalen Stabmodellen mit „Beton“ – bestehend aus einem Verbundstoff mit zwei sich periodisch im gleichen Verhältnis abwechselnden Materialien – zeigt sich, dass sich die resultierende Wärmeleitfähigkeit nicht einfach aus dem arithmetischen Mittel der einzelnen Wärmeleitfähigkeiten ermitteln lässt. Tatsächlich ist es notwendig, das harmonische Mittel, also den Kehrwert des arithmetischen Mittels der Kehrwerte, zu verwenden. In der Anwendung heißt das konkret, dass bei Wärmeleitfähigkeiten von 2 und 3, die resultierende Wärmeleitfähigkeit nicht $1/2 \cdot (2+3) = 5/2$ sondern $2 \cdot (1/2 + 1/3) = 5/3$ beträgt. Das ist umso erstaunlicher, als dass sich physikalische Größen wie die Dichte bei diesem Prozess im arithmetischen Mittel ausgleichen. Die Diskrepanz von naiver Intuition und tatsächlicher physikalischer Wirklichkeit ist bei 2- oder 3-dimensiona-

len Modellen noch frappierender. Dort treten Effekte zutage, die man im 1D-Fall (aus mathematischen Gründen) nicht sehen kann. In mehrdimensionalen Modellen sind einfache Formeln selbst bei Konfigurationen mit nur zwei Konstituenten im allgemeinen nicht mehr erwartbar, sodass die gemittelte Wärmeleitfähigkeit weder isotrop, also in allen Koordinatenrichtungen gleich, noch bequem per Hand berechenbar ist. Die theoretischen Erkenntnisse lassen es jedoch zu, mit dem Computer berechnete, sinnvolle Approximationen der resultierenden effektiven Wärmeleitkoeffizienten anzugeben.

Charakterisierung aus der Quantenwelt

Obschon in vielen konkreten Situationen sowohl Methoden als auch Formeln für die effektiven Koeffizienten angegeben werden konnten, ist es mir in den letzten ca. 10 Jahren gelungen den Blick für die mathematischen Prinzipien des Grenzwertprozesses zu schärfen und abstrakte Charakterisierungen für den Limes unendlich starker Oszillationen zu finden [3, 4]. Um diese Charakterisierungen zu verstehen, begeben wir uns in die Quantenphysik. In der theoretischen Beschreibung quantenphysikalischer Prozesse bemächtigt man sich der Theorie der sogenannten Hilberträume und interpretiert das mathematische Objekt des linearen Operators als zu beschreibende Zielgröße, der Observablen. Nun ist ein linearer Operator auf einem unendlich-dimensionalen Hilbertraum ein vergleichsweise kompliziertes Objekt, das man als solches nicht messen kann. Um quantitative Ideen von physikalischen Prozessen zu bekommen, muss man messen. Das Ergebnis dieser Messungen wird ungeachtet der Einheit und des Konfidenzintervalls schlicht in Zahlen angegeben. Wie erhält man nun aus vielen Zahlen einen Operator auf einem unendlich-dimensionalen Hilbertraum? Die Idee ist denkbar einfach. Der Messprozess bzw. das Messergebnis selbst bietet ja nur eine Idee, eine eindimensionale Projektion der Observablen. Diesen Fakt bildet man mathematisch durch einen analogen Projektionsprozess beim linearen Operator ab. Die Ergebnisse dieser Projektionsprozesse (hinreichend oft durchgeführt), beschreiben dann die Observable eindeutig und machen den physikalischen Prozess nahbar. Die Charakterisierung des Grenzwertprozesses unendlich starker Oszillationen läuft nun genauso ab. Tatsächlich kann man beweisen, dass eine Folge stark oszillierender Koeffizienten genau dann einen effektiven Koeffizienten als Grenzwert besitzt, wenn die entsprechenden Zahlenwerte der Familie eindimensionaler Projektionen konvergieren. Diese Erkenntnis auf der mathematischen Beschreibungsebene erlaubt es, Aussagen über alle potentiellen Grenzwerte zu treffen. Einerseits kann man beweisen, dass die mikroskopischen physikalischen Phänomene zu ähnlichen Prozessen auf der Makroebene führen, andererseits kann man vorhersagen, wann dieser Prozess so ablaufen wird, dass der effektive Koeffizient physikalische Phänomene „mit Gedächtnis“ beschreibt, obschon die Gleichungen mit oszillierenden Koeffizienten diese Ei-

Kontakt

Marcus.Waurick@math.tu-freiberg.de

genschaft nicht hatten: man kann bestimmte (komposite) Materialien in einen Zustand versetzen, der durch Erhitzen ohne mechanische Einwirkungen wieder hergestellt werden kann. Das Material „erinnert“ sich gewissermaßen an seinen Ursprungszustand. Versteht man die Genese solcher Modelle auf mathematischer Seite, hilft dies beim tatsächlichen Herstellen solcher Materialien. Das Denkmögliche erzeugt eine neue Materialwelt, die ohne theoretische Ergebnisse sicher weit hinter der heutigen Praxis anstehen würde.

Metamaterialien und Pendry Linse

Denkmöglichkeiten hängen immer von den Annahmen ab. Die Materialien, die man während des obigen Grenzwertprozesses verwendet, haben bestimmte Eigenschaften und deren Kombination es ist, was zu neuen Phänomenen führt. Die Klasse der zulässigen Materialien generiert sich jedoch nicht ausschließlich vom Experiment sondern eher von der mathematischen Beschreibung dessen. Beobachtet man bei der Brechung von Licht von beispielsweise Luft zu Wasser ein Abknicken des Lichtstrahls kann man das mathematisch durch einen positiven Brechungsindex beschreiben, siehe Abbildung 1. Ganz allgemein kann man dieses Verhalten bei elektromagnetischen Wellen (also den Lösungen der Maxwellgleichungen) beobachten. Der Brechungsindex kann dann aus Permittivität und Permeabilität der betrachteten Materialien berechnet werden. Im Falle von Materialien, die man bis dato gefunden hat, ist dieser Brechungsindex jedoch immer positiv. Es ist nun aber denkbar, dass dieser negativ ist. Während bei herkömmlicher Lichtbrechung an einer ebenen Luft-Wasser-Grenze einfallendes Licht auf einer Seite und das gebrochene Licht auf der anderen Seite der Luft-Wasser-Grenznormalen zu finden ist, bleibt bei der Lichtbrechung von Materialien mit wechselndem Brechungsindexvorzeichen der Lichtstrahl auf der selben Seite der Normalen; siehe Abbildung 1 und 2.

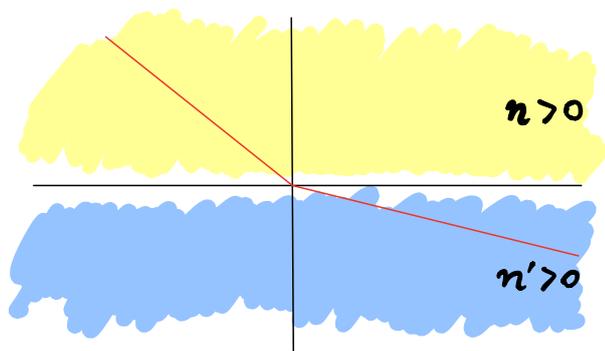


Abbildung 1: Brechung an Materialien mit positivem Brechungsindex

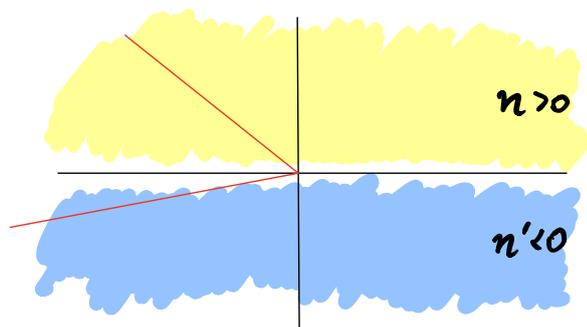


Abbildung 2: Brechung an Materialien mit vorzeichenwechselnden Brechungsindizes

Solche Materialien könnten für Linsen (der „Pendry Linse“) eingesetzt werden, die unterhalb der Abbeschen Auflösungsgrenze Bilder noch scharf abbilden könnten [1]. Dieser Umstand wird „super lensing“ genannt und ist offensichtlich ein erstrebenswertes Ziel technischer Innovation. Einer konkreten Definition von solchen Materialien aus dem Weg gehend nennen wir die Klasse solcher zu „super lensing“ fähigen Materialien schlicht „Metamaterialien“.

In bestimmten geometrischen Situation sieht man schon in eindimensionalen Modellproblemen, dass Metamaterialien mathematische Fallstricke bereithalten können. Nicht nur der Brechungsindex von Metamaterialien selbst hat besondere Eigenschaften sondern auch die Koeffizienten der Differentialgleichungen, die solche Materialien beschreiben: Entgegen den Koeffizienten herkömmlicher Stoffe haben die Koeffizienten im super-lensing-Fall Vorzeichenwechsel. Durch letztere Eigenschaft ist es möglich, dass die entsprechenden Differentialgleichungen keine eindeutige Lösung mehr besitzen [2]. Dieses Maß an Uneindeutigkeit kann man auf zwei verschiedene Weisen interpretieren: Einerseits, es gibt keine Metamaterialien, weil es keinen kanonischen Prozess gibt, der auswählt, welche der zahlreichen Lösungen die richtige ist oder, andererseits, wir kennen diesen kanonischen Prozess schlicht (noch) nicht. Auf die Gefahr hin, dass wir mit unserer ersten Diagnose falsch liegen, bedingt es die wissenschaftliche Neugier weiter an der Forschung von Metamaterialien festzuhalten und deren Eigenschaften zu untersuchen. Dieser Prozess wird zu mehr wissenschaftlicher Erkenntnis führen, der hoffentlich auch auf andere Situationen anwendbar ist, und falls unsere erste These, dass Metamaterialien nicht existieren, richtig sein sollte, führt der Prozess vielleicht zu Ergebnissen, die diese Stoffe aus anderen Gründen verunmöglichen. Im Folgenden werden wir versuchen uns den Metamaterialien etwas besser zu nähern.

Der Atem der Metamaterialien

Wie schon oben angedeutet können Metamaterialien zu nicht eindeutig lösbarer Gleichungen führen. Unter bestimmten Situationen ist es allerdings möglich, dass die zugeordneten (partiellen) Differentialgleichungen obschon die Koeffizienten ihr Vorzeichen wechseln, dennoch wohlgestellt sind. Das heißt zu jedem Datum gibt es genau eine Lösung, die stetig vom Datum abhängt. Letzteres bedeutet, dass kleine Veränderungen des Datums zu kleinen Veränderungen der Lösungen führen. Im eindimensionalen Fall zeigt sich, dass nicht wohlgestellte Gleichungen im Zusammenhang mit Metamaterialien die Ausnahme darstellen. Man kann beweisen, dass man in jeder beliebig kleinen Umgebung die Koeffizienten eines nicht wohlgestellten Problems Koeffizienten finden kann, die zu wohlgestellten Problemen führen. Diese in der Nähe liegenden Koeffizienten sind sehr leicht konstruierbar. Mit elementaren Mitteln der Theorie komplexer Funktionen kann man nun den Lösungsprozess für Metamaterialien beschreiben, ohne dabei die potentiell nicht wohlgestellte Gleichung zu lösen. Gewissermaßen spürt man diesem Lösungsprozess nach, in dem man Umgebungen von Singularitäten hinreichend ausführlich untersucht. Tatsächlich kann man beweisen, dass der Lösungsprozess bei nicht wohlgestellten Problemen vom „Atem der Singularitäten“ eindeutig bestimmt wird. Dabei werden insbesondere Uneindeutigkeiten, die durch den Vorzeichenwechsel der Koeffizienten bedingt sind, auf eine mathematisch sinnvolle Art und Weise zusammengefasst. Das Problem

potentiell unendlich vieler Lösungen existiert nicht mehr, weil wir die Beschreibungsebene gewechselt haben. Diese Strategie verwendet in unumgänglicher Weise, dass in beliebiger Nähe eines Koeffizienten mit Vorzeichenwechsel, der zu nicht wohlgestellten Gleichungen führt, ein kanonischer Koeffizient existiert, sodass der entsprechende Lösungsprozess wohlgestellt ist. Obschon diese Frage im eindimensionalen Setting relativ schnell vollständig verstanden werden kann, ist der analoge Fragekomplex schon im 2-dimensionalen von grundsätzlich größerer Komplexität. Allein die beispielhafte Situation zebra-streifenartiger Metamaterialien, wobei auf Schwarz der Materialkoeffizient 1 und auf Weiß dieser den Wert -1 annimmt, ist kompliziert; siehe Abbildung 3.

Mit erheblichem Mehraufwand kann man jedoch auch hier beweisen, dass in jeder Nähe dieses Koeffizienten ein Koeffizient wartet, der zu wohlgestellten Gleichungen führt. Der Atem der Singularität ist also auch hier stark genug, um das Problem zu verstehen.



Abbildung 3: Ein Metamaterial

Die grundsätzliche Schwierigkeit dieser 2-dimensionalen Situation wird auch dadurch deutlich, dass allein die vollständige Beschreibung des Problems mit einem schwarzen und einem weißen Streifen erst 2014 zufriedenstellend gelungen ist [2]. Die entsprechende Situation auf einem Schachbrett ist bislang noch gänzlich unbeantwortet.

Der Kollaps der Dimension

Auf der Suche nach der Realisierbarkeit mancher Denkmöglichen werden wir nun die Ideen der Homogenisierungstheorie und deren Beschreibung vermöge eindimensionaler Projektionen mit atmenden Singularitäten kombinieren. Wir stellen uns einen Koeffizienten vor, der wie oben die Werte 1 und -1 auf einem Zebra-streifen entsprechend der Farben Schwarz und Weiß annimmt. Um nun starke Oszillationen zu beschreiben, soll die Breite der jeweiligen schwarzen und weißen Streifen immer weiter reduziert werden. Dann haben aber auf derselben Straßenbreite mehr Streifen Platz. Also oszilliert unser Koeffizient immer stärker von 1 nach -1 und umgekehrt; siehe Abbildung 4.

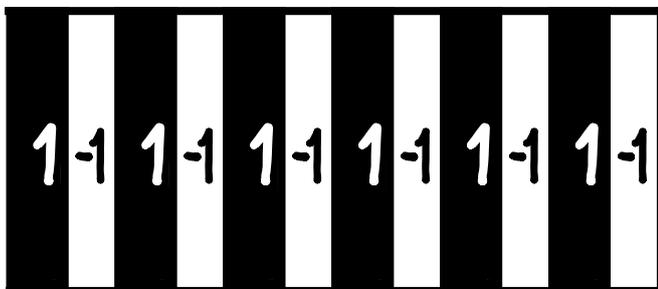


Abbildung 4: Stark oszillierendes Metamaterial

Wie oben beschrieben definiert dieser Koeffizient eine Singularität, deren Atem wir aufspüren und analysieren können. Diese Analyse verwendet nun weitere Eigenschaften der Theorie komplexer Funktionen, wie zum Beispiel, dass diese in einem gewissen Sinne nichtlokal sind: Ist das betrachtete Ge-

biet der komplexen Ebene, auf dem die Funktionen definiert sind, zusammenhängend (d.h., man kann je zwei Punkte des Gebiets durch eine Linie verbinden ohne den Stift abzusetzen; siehe Abbildung 5), so ist die Funktion auf dem Gebiet bereits dadurch eindeutig bestimmt, wenn das Verhalten der Funktion auf einem noch so kleinen Kreis im Gebiet bekannt ist. Man könnte sagen, dass die Singularität nicht nur „atmet“ sondern sehr stark „schnauft“. Etwas weiter entfernt von der Singularität können wir das Konvergenzverhalten der eindimensionalen Projektionen jedoch viel einfacher mit Hilfe klassischer Resultate verstehen. Wenden wir nun diese Ergebnisse auf die stark oszillierenden Zebra-streifen an, so stellen wir fest, dass der effektive Koeffizient zwar bestimmt werden kann, allerdings „verschluckt“ dieser Koeffizient eine ganze Dimension. Als effektive Gleichung erhält man eine Gleichung, die keine Ableitung senkrecht zu den Streifen mehr aufweist. Die Singularitäten haben sich analog zu einem Resonanzeffekt aufgeschaukelt und führen zum Kollaps der Dimension. Eine ausführliche Diskussion vor allem der mathematischen Details kann man in [5] nachlesen.

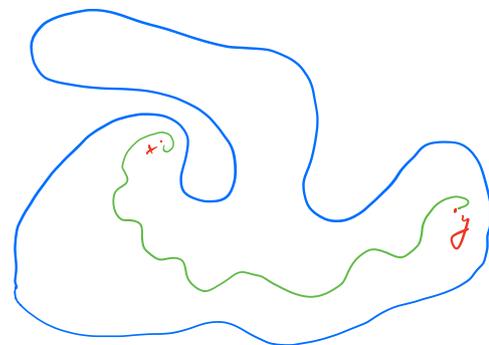


Abbildung 5: Das durch die blaue Linie begrenzte Gebiet ist zusammenhängend. Man kann die Punkte x und y beispielsweise durch den grünen Weg verbinden.

Konsequenzen

Was bedeutet der Kollaps für die Existenz von Metamaterialien? Für welche der Alternativen muss ich mich entscheiden: Kennen wir die Auswahlmechanismen bei Metamaterialien schlicht nicht oder ist die Uneindeutigkeit der Lösungen unphysikalisch? Die Existenz von Metamaterialien führt zum Kollaps der Dimension. Ist das ein realistisches Szenario oder besteht das Problem im fiktiven Limesprozess unendlich starker Oszillationen? Falls Metamaterialien existieren, kann man das oben beschriebene Verfahren für technische Anwendungen nutzen? Ist es möglich durch geschickte Anordnung von Materialien Dimensionen fast zum Verschwinden bringen? Es bleibt zu hoffen, dass die hier skizzierten Metamaterialien in der einen oder anderen Form nicht nur denkmöglich sind; den technischen Anwendungen wären nur schwerlich Grenzen zu setzen.

Literatur

- 1 J. B. Pendry. Negative Refraction Makes a Perfect Lens Phys. Rev. Lett. 85 (18): 3966–3969, 2000.
- 2 J. Behrndt and D. Krejcirik. An indefinite Laplacian on a rectangle Journal d'Analyse Mathématique 134: 501–522, 2018.
- 3 M. Waurick. Homogenisation and the weak operator topology. Quantum Studies: Mathematics and Foundations 6: 375–396, 2019.
- 4 M. Waurick. Nonlocal H-convergence. Calculus of Variations and Partial Differential Equations, 57(6):46, 2018.
- 5 M. Waurick. Homogenisation of Metamaterials – Condensation of Essential Spectra and Collapse of Dimension In preparation, 2021.

Weltraumforschung

Ein künftiges Schwerpunktthema für die TU Bergakademie Freiberg?

Carsten Drebenstedt, Jens Grigoleit

„Es ist ein kleiner Schritt für einen Menschen, aber ein gigantischer Sprung für die Menschheit.“ Als Neil Armstrong vor 52 Jahren mit diesen Worten als erster Mensch den Mond betrat, hatte er sicherlich auch die wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen im Blick, die diesen kleinen Schritt erst ermöglicht haben. Eventuell sah er aber auch den gewaltigen Nutzen für die Menschheit voraus, der sich aus den zahllosen Erfindungen und Innovationen noch ergeben würde, die im Verlauf der Apollo-Missionen realisiert wurden. Weltraumforschung ist kein „Luxus“ der Wissenschaft, sondern verbessert unser tägliches Leben in einem zunehmend dynamischen Maß. Satelliten und deren Sensortechnik sind Beispiele dafür, da sie u.a. die Fahrzeugnavigation, Vermessungen und Erkundungen sowie Wettervorhersagen zur Vermeidung von Schäden durch Naturkatastrophen in völlig neuer Dimension auf unserer Erde ermöglichen. Auch Solarzellen und Herzschrittmacher verdanken wir der Weltraumforschung, ebenso wie die neuen Materialien Karbon und Glaskeramik, deren Einsatz heute insbesondere zu höherer Energie- und Materialeffizienz beitragen.

Auch wenn man die TU Bergakademie Freiberg zunächst nicht unmittelbar mit Themen der Raumfahrtforschung in Verbindung bringt, weist ihr wissenschaftliches Profil in vielen Bereichen für sie relevante Bezüge auf und bietet Potentiale, die zur Bewältigung der Herausforderungen noch erst geplanter Raumfahrtmissionen beitragen werden. Neben konkreten Erfahrungen aus bereits erfolgten Beteiligungen, bspw. an Experimenten auf der Internationalen Raumstation sowie an Missionen zum Mond und zum Mars, ist speziell die bestehende Expertise zu Rohstoff-, Material-, Energie- und Umweltthemen auf dem Planeten Erde auch für die Weltraumforschung von Bedeutung.

In den letzten Jahren haben sich die internationalen Aktivitäten zur Erforschung anderer, zunächst erdnaher Himmelskörper stark beschleunigt. Neben den klassischen Raumfahrtnationen steigen Länder wie China, Indien, Japan und Saudi-Arabien aktiv in den Wettbewerb ein. Private Firmen bauen inzwischen Trägerraketen und realisieren Weltraummissionen. Konkurrenz belebt das Geschäft, auch den Bedarf an Forschung. Im Fokus stehen derzeit insbesondere die Erforschung des Mondes und des Mars, aber auch die von Asteroiden. Für Weltraummissionen werden Energie, Baustoffe, spezielle Werkstoffe, bei Anwesenheit von Menschen auch atembare Luft benötigt, und es müssen darüber hinaus noch weitere Rahmenbedingungen erfüllt sein. Rohstoffe und Techniken von der Erde in den Weltraum zu bringen ist u. a. aufgrund der zu überwindenden Gravitation eine kostspielige und deshalb limitierende Aufgabe. Die Nutzung der Rohstoffe vor Ort, im Weltraum, scheint eine naheliegende Lösung zu sein. Dabei ist eine Reihe von Besonderheiten zu beachten, z. B. das veränderte Schwerfeld, so vorhanden, andere Atmosphäre und anderes Magnetfeld mit Einfluss auf Strahlungsenergie und Meteoriteneinschläge, extrem hohe und niedrige und zudem stark schwankende Temperaturen.

Untersuchungen zeigen z. B., dass eine „Raketentankstelle“ auf dem Mond denkbar wäre, wenn der benötigte Wasserstoff und Sauerstoff z. B. aus dem Mondgestein oder aus dem Eis vor Ort mittels Solarenergie hergestellt werden könnte. Das für die Kernfusion benötigte Helium-3 liegt im Mondstaub in wirtschaftlich interessanten Konzentrationen vor. Die grundlegenden Aufgaben sind fast die gleichen wie auf der Erde: Es muss erkundet, abgebaut, aufbereitet und verarbeitet werden, „nur“ eben unter den speziellen Anforderungen. Wie werden zum Beispiel unter den Bedingungen verringerter Gravitation Bau- und Werkstoffe für Gebäude und Anlagen hergestellt? Welche Materialien halten den extremen Bedingungen stand? An der Professur Bergbau-Tagebau wird z. B. an der drucklosen Gesteinszerkleinerung mittels Mikrowellen geforscht und an physischen Simulatoren der Einsatz von Geräteprototypen unter geomechanischen und Schwerkraftbedingungen anderer Himmelskörper getestet.

In den USA ist die Colorado School of Mines offizieller Partner der NASA für die Thematik der Rohstoffgewinnung im Weltraum. Dort ist ein „Space Mining Institute“ etabliert worden. In Europa könnte die TU Bergakademie Freiberg gegenüber der ESA eine vergleichbare Rolle einnehmen. Mögliche Partner wären u.a. das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und andere mit der Weltraumforschung befasste Institutionen, z. B. das European Space Resources Centre in Luxemburg und das Space Technology Centre der AGH Krakau.

An unserer Universität sind die notwendigen Grundlagenfächer vertreten – von der Mineralogie, der Chemie, der Physik und der Materialkunde, über die Wasserstofftechnologie bis hin zu Robotik, Automation, Sensorik, Maschinenbau und Verfahrenstechnik, die alle benötigt werden, um auch extraterrestrische Prozesse zu verstehen und letztlich zu beherrschen. Eine wirtschaftswissenschaftliche, rechtliche, ethische, ökologische und andere Begleitforschung ist ebenfalls von Bedeutung. Fehlende Wissenschaftsgebiete könnten durch Partner eingebracht werden, so dass im Verbund eine kritische Masse erreicht werden kann, die erforderlich wäre, um weltweite Sichtbarkeit zu erlangen.

Im Rahmen einer Befragung zu Beginn des Jahres, die von mehr als 75 % der Hochschullehrer der TU Bergakademie Freiberg beantwortet wurde, äußerten 80 % der Antwortenden Interesse und sahen die Möglichkeit, sich mit ihren Forschungsgebieten in raumfahrtbezogene Projekte einbringen zu können.

Mit dem vom Bund und vom Freistaat Sachsen 2020 initiierten Ideenwettbewerb für die Einrichtung von zwei neuen Großforschungseinrichtungen in den sächsischen Braunkohleregionen, die mit jeweils 1,25 Mrd. EUR gefördert werden sollen, bietet sich eine Chance, diese Ideenansätze konkret weiterzuentwickeln und die TU Berg-

Kontakt

Carsten.Drebenstedt@mabb.tu-freiberg.de



Foto: PepN Stock Footage - iStock

Abbildung 1: Der Mond als Standort zukünftiger Forschungsstationen

akademie Freiberg im Umfeld der Raumfahrtforschung zu positionieren. Hierzu wurde unter Federführung von Carsten Drebenstedt zunächst eine Konzeptskizze erarbeitet und von der TU Bergakademie Freiberg im April 2021 beim zuständigen Projektträger eingereicht. Diese wurde durch eine Perspektivkommission als eine von sechs Initiativen unter mehr als 100 Einreichungen positiv bewertet und die TU Bergakademie Freiberg mit der Ausarbeitung eines ausführlichen wissenschaftlichen Konzepts sowie einer Umsetzungsplanung beauftragt.

Gegenstand des Vorschlags ist die Einrichtung eines European Research Institute for Space Resources (ERIS) als Großforschungs- und Infrastrukturzentrum, in dem Wissenschaftler der TU Bergakademie Freiberg gemeinsam mit renommierten Partnern aus den Bereichen Raumfahrt, Ressourcen- und Umweltforschung zusammenarbeiten. ERIS fokussiert sich auf die Ermöglichung von Forschung und menschlichem Leben auf anderen Himmelskörpern und die Entwicklung dazu erforderlicher Prozesse und Infrastrukturen. Dafür notwendige Materialien, Energie und Fluide sollen aus Gestein vor Ort (Regolith) gewonnen werden. Die bereits vorhandene Kompetenz zum Abbau von Regolith kann auch genutzt werden, um kritische Rohstoffe von anderen Himmelskörpern zur Erde zu bringen. Die erforderlichen Technologien im Bergbau, im Bauwesen, im Maschinenbau,

in der Materialerzeugung und in der Energietechnik sind, angepasst an die Bedingungen auf anderen Himmelskörpern, neu zu entwickeln. Dies erfordert aber noch einen enormen Schub in Wissenschaft und Technik, insbesondere auch in der Informations- und Kommunikationstechnologie, in der Robotik, Sensorik und auf dem Gebiet der Automation.

Aus zukünftigen Missionen zu Mond und Mars bzw. aus der Errichtung und dem Betrieb dauerhafter Stationen dort sind vielfältige Impulse für technologische Entwicklungen zu erwarten, die sich dann ebenso auf der Erde nutzen lassen. Dies gilt vor allem in für Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit von Volkswirtschaften maßgeblichen Technologiefeldern, wie Datenverarbeitung und KI, Energie- und Produktionswirtschaft, Kreislaufwirtschaft, Lebenswissenschaften sowie Versorgungs- und Umwelttechnik. Die Beteiligung an entsprechenden Entwicklungen und deren Verwertung ist somit für alle Nationen von größtem Interesse. Deutschland als Standort zahlreicher Markt- und Technologieführer auf den genannten Technologiefeldern bietet dazu sehr vorteilhafte Startvoraussetzungen. Im Zuge der Konzeptskizzierung haben bereits zahlreiche traditionelle wie auch noch junge Weltraumtechnologieunternehmen ihr Interesse an einer Mitwirkung bekundet.

Aufgabe des Forschungszentrums ERIS ist es, Weltraumtechnologien zu entwickeln, die auch auf der Erde

ein hohes Nutzenpotential haben. Die gemeinsame Vision der Besiedlung anderer Himmelskörper schafft dabei eine über das Zentrum hinaus ausstrahlende, anziehende und motivierende Atmosphäre und wird Wissenschaftler und Entwickler unterschiedlichster Fachrichtungen zur Zusammenarbeit vereinen. Auch für Studierende ist die Weltraumforschung ein Magnet.

Besondere technologische Herausforderungen, die mit der inhaltlichen Zielsetzung verknüpft sind, sind unter anderem:

- Konzipierung einer extremen Bedingungen angepassten baulichen Infrastruktur unter Nutzung vor Ort verfügbarer Materialien
- Dauerhafte Versorgung einer extraterrestrischen Forschungsstation mit Energie bzw. deren Gewinnung, Umwandlung und Speicherung vor Ort
- Erzeugung und Kreislaufnutzung aller überlebenswichtigen Elemente und Medien; im Fall bemannter Stationen die Versorgung mit Atemluft, Trink- und Brauchwasser sowie Nahrung
- Gewinnung geeigneter Konstruktionswerkstoffe und Treibstoffe für den Bau und Betrieb von Raumfahrzeugen (Stichwort: Raketentankstelle)
- Umfangreicher Einsatz autonomer robotischer sowie KI-gestützter Systeme.

Die sehr anspruchsvollen Einsatzbedingungen im Weltraum – speziell auf Mond und Mars – erfordern unkonventionelle, innovative Herangehensweisen und Lösungsansätze sowie ein hohes Maß an Kreativität bei der Entwicklungsarbeit. Sie fördern damit auch den Ideen- und Erkenntnisgewinn abseits der eigentlichen Aufgabenstellung, wie zahlreiche Entwicklungen auch in den vergangenen Jahrzehnten belegen. Dabei ähneln in vielen Bereichen die Aufgabenstellungen bei Errichtung und Betrieb von Raumstationen irdischen Herausforderungen, bspw. im Hinblick auf eine nachhaltige Rohstoffbereitstellung sowie Etablierung klimaneutraler Produktion und Energiegewinnung. Deshalb ist davon auszugehen, dass aus der Tätigkeit des Forschungszentrums ERIS auch ein massiver Innovationsschub resultieren wird, der der wirtschaftlichen Entwicklung im regionalen Umfeld Auftrieb geben und weltweit ausstrahlen wird. Zusätzlich entstehen wichtige Grundlagenerkenntnisse zum besseren Verständnis des Universums und völlig neue Bedingungen für naturwissenschaftlich-technische Experimente und Entwicklungen.

Zur Realisierung der ambitionierten Zielstellung von ERIS soll in der sächsischen Kohleregion ein weltweit einzigartiges Forschungszentrum für die Entwicklung und Erprobung weltraumgeeigneter Ressourcen- und Produktionstechnologien sowie die Errichtung und den Betrieb von Anlagen und Stationen auf erdnahen Himmelskörpern entstehen. Hierzu kann in zahlreichen Aspekten an bereits vorhandene Kompetenzen regionaler Wissenschaftseinrichtungen und Unternehmen sowie an die Traditionen der Kohleregionen als Montan- und Energieregionen angeknüpft werden. Regionale Cluster in Mikroelektronik, Luft- und Raumfahrttechnik, Anlagen- und Maschinenbau, Energietechnik, Chemie und Grundstoffindustrie, Ressour-

cen- und Kreislaufwirtschaft, Wasserstoff- sowie Umwelttechnik werden eine unmittelbare Anbindung an ERIS finden. Dies gilt sowohl für forschende Großunternehmen wie Siemens und BASF als auch für den innovativen Mittelstand.

Schon heute hat der globale Markt für Raumfahrttechnologien ein Volumen von ca. 500 Mrd. US-Dollar, das nach aktuellen Schätzungen bis 2040 auf bis zu 2.700 Mrd. US-Dollar anwachsen soll. Deutsche, darunter auch sächsische Unternehmen sind als Zulieferer von Komponenten und Modulen erfolgreich in diesem Wachstumsmarkt etabliert und bieten bereits eine Vielzahl von Arbeitsplätzen. Mit dem Forschungs- und Technologiezentrum ERIS würde ein europäischer Leuchtturm der Raumfahrtforschung und -industrie entstehen, der einerseits bis zu 5.000 neue Arbeitsplätze schaffen und andererseits dazu beitragen könnte, der Region Lausitz ein neues Image und hohe Attraktivität zu verleihen.

Bei der Konzeptentwicklung für die neue Forschungseinrichtung arbeitet die TU Bergakademie Freiberg mit führenden Instituten der Raumfahrtforschung sowie wissenschaftlichen Partnern im Bereich der Ressourcen- und Umwelttechnologien zusammen, bspw. mit der RWTH Aachen, der TU Berlin, der Universität Bremen, der TU Braunschweig, der TU Dresden, der Leibniz-Universität Hannover, der Universität Köln, der AGH Krakau, der Montanuniversität Leoben, der TU München, der Universität Stuttgart sowie der ETH Zürich. Daneben werden mehrere außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, Raumfahrtbehörden und relevante Unternehmen in die Arbeiten einbezogen. Nach der vorgesehenen Konzeptreife im April 2022 ist mit einer Entscheidung bzgl. der weiteren Umsetzung im Sommer 2022 (mit Umsetzungsbeginn im Jahr 2023) zu rechnen.

Unabhängig vom laufenden Wettbewerbsantrag bietet das Vorhaben für unsere Universität die Chance, sich – aufbauend auf die vorhandenen Kompetenzen und Traditionen – ein höchst faszinierendes, neues Forschungsfeld zu erschließen und ihr wissenschaftliches Profil als Ressourcenuniversität zukunftsorientiert weiterzuentwickeln. Die zahlreichen positiven Rückmeldungen innerhalb der Universität sowie von den beteiligten Partnern verdeutlichen das bestehende Interesse am hier skizzierten Vorhaben und vermitteln schon jetzt einen Schub an Ideen und kreativen Forschungsansätzen, die sich auf bestehende Aktivitätsfelder übertragen lassen. Dieser Impuls soll genutzt und damit die Innovationskraft, die Außenwirkung und die Attraktivität der TU Bergakademie Freiberg für Studenten und Wissenschaftler nachhaltig gestärkt werden.



Abbildung 2: Logo der Initiative „European Research Institute for Space Resources – ERIS“

Kühlung von Sondermaschinen zur Belederung von Automobilinterieur

Aline Jünger¹, Thomas Storch¹, Holger Orawetz², Tobias M. Fieback¹

Weiche Oberflächen, elegantes ansprechendes Design und teure Materialien sind Qualitätsmerkmale luxuriöser Innenausstattung von Autos und Flugzeugen. Dabei steht Leder seit Jahrhunderten für Langlebigkeit und zeitlose Individualität, so dass viele Menschen den Geruch von gerbtem Leder beim Einsteigen in ein Fahrzeug als Charaktermerkmal wahrnehmen. Hierbei stellt das Naturprodukt selbst höchste Ansprüche auch hinsichtlich des Herstellungs- und Weiterverarbeitungsverfahrens.

ten stellt die Firma unter anderem Kaschiermaschinen zum Verkleben von Leder auf Spritzgusskunststoffbauteilen her und exportiert diese weltweit. Bei dem dabei angewendetem Kaschierverfahren wird mit Hilfe eines Unterdrucks das oberflächenempfindliche Leder mittels einer kundenspezifischen Silikonmembran gleichmäßig auf dem Trägerbauteil fixiert und durch einen Hot-Melt Kleber, dessen Abbindeigenschaften erst ab einer bestimmten Temperatur wirksam werden, zusammengefügt (Abb. 1). Zur Weiterbear-

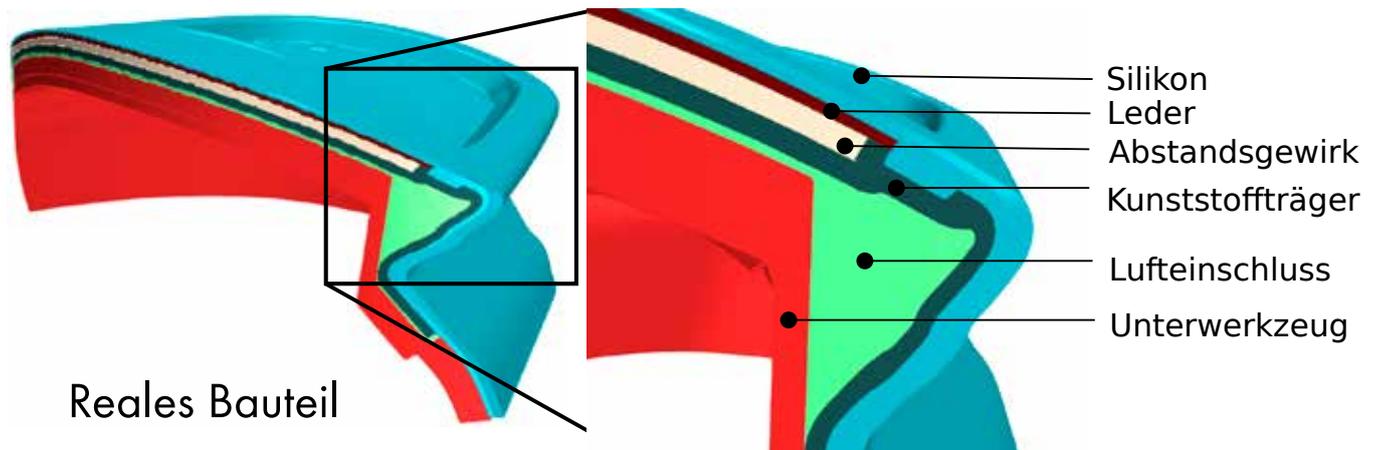


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Kaschierbauteils in der Sondermaschine.

Eine Dresdner Firma, die es sich zur Aufgabe macht kundenspezifische Sondermaschinen zu entwickeln und herzustellen, um Leder auf Instrumententafeln und Türseitentteilen zu applizieren, ist die Qpoint Composite GmbH. Nach dem Motto „Alle sagten: Das geht nicht. Dann kam einer, der wusste das nicht und hat’s einfach gemacht!“ hat sie sich als Zulieferer für in Deutschland ansässige Automobilhersteller wie Audi, Porsche und Opel sowie darüber hinaus auch im Bereich der Luft- und Raumfahrtindustrie international etabliert. Spezialisiert auf Sondermaschinen für die elektrische Beheizung von Freiformflächenelemen-

te und zur Erhöhung der Hafteigenschaften ist eine anschließende Abkühlung notwendig. Die Kühlung stellte bisher mit 70 % Zeitanteil den Prozessschritt mit dem größten Zeitbedarf dar und limitiert die Produktionszeit maßgeblich.

In Zusammenarbeit mit der Qpoint Composite GmbH und dem Lehrstuhl für Technische Thermodynamik der TU Bergakademie wurde ein ZIM-Projekt (ZF4003204CL8, Projektträger: AiF-Projekt GmbH) erfolgreich bearbeitet, welches sich zum Ziel gesetzt hat eine innovative Kühlvariante für diese Sondermaschinen zu entwickeln um damit eine

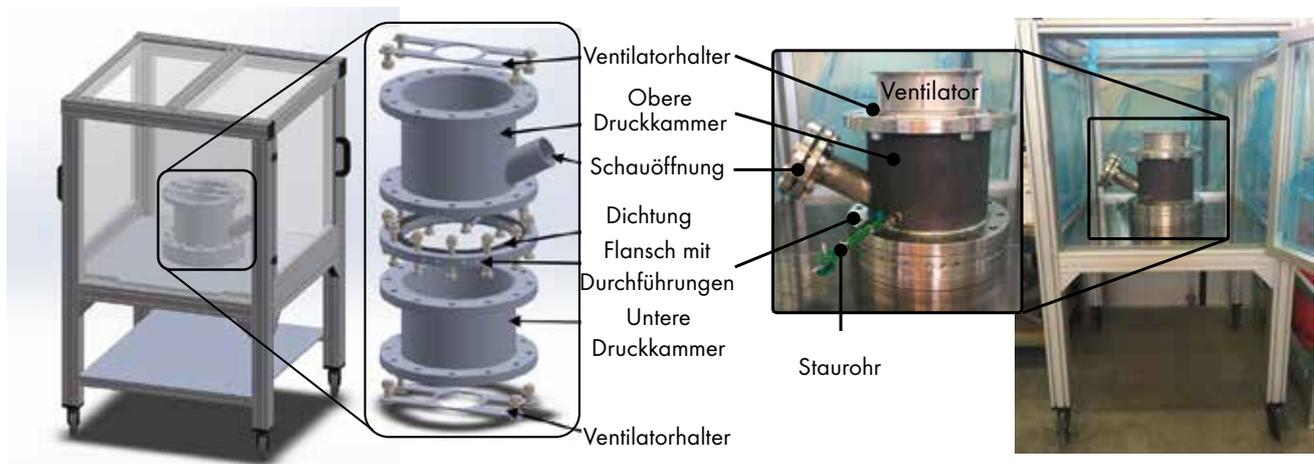


Abbildung 2: Versuchsstand – CAD-Darstellung, Aufbau und Umsetzung.

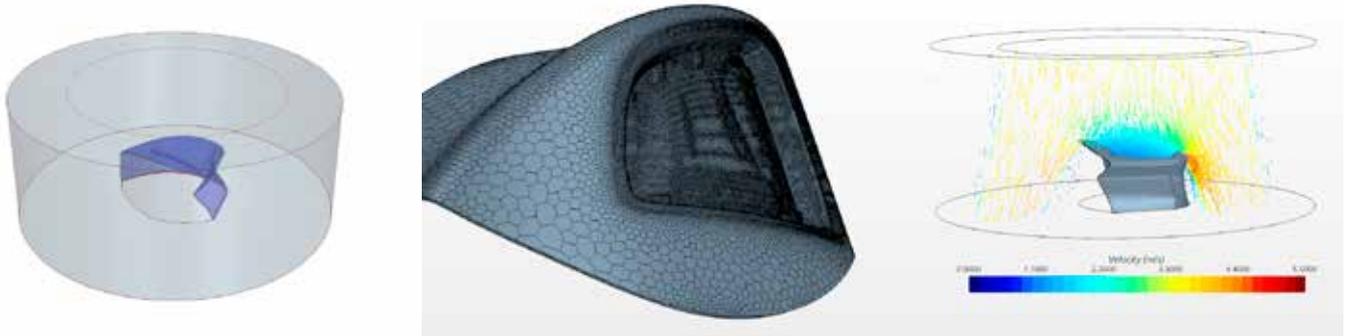


Abbildung 3: 3D-CFD Modell zur Analyse der Außenströmung am 3D-Freiformflächenwerkzeug: Untersuchungsgeometrie (links), Netz (mittig), resultierendes Geschwindigkeitsfeld (rechts).

deutliche Reduktion der Produktionszeiten zu realisieren.

Um neue Verfahren zur Oberflächenkühlung an einem repräsentativen Freiformflächenbauteil während des Kaschierprozesses zu untersuchen, wurde ein Versuchsstand (Abb. 2) konzipiert und erfolgreich in Betrieb genommen. Dieser verfügt neben Druckkammern über Lavaldüsen, die das Injizieren von fein zerstäubten High-Tech-Flüssigkeiten durch Überschallgeschwindigkeit ermöglichen. Dabei kann die latente Wärme beim Verdampfungsprozess gezielt zur Kühlung genutzt werden.

Zur Analyse verschiedener Einflussfaktoren auf die Produktionszeit im Kaschierprozess wurden neben experimentellen Untersuchungen auch dreidimensionale Strömungssimulationen (Computational fluid dynamics) mittels StarCCM+ (Lizenz-Software von SIEMENS) zur Analyse eines realen Ausschnitts eines Automobil-Cockpits, als sogenanntes Schikanebauteil, umgesetzt.

Gemäß dem Stand der Technik herkömmlicher Kühlvarianten wurde eine Prallströmung, wie in der Rechentechnik zur Kühlung von CPUs üblich, als Referenz definiert und damit sowohl Vergleichsmessungen als auch Simulationen durchgeführt (Abb. 3).

Als wesentliche Erkenntnis konnte aufgezeigt werden, dass trotz Steigerung des konvektiven Wärmetransports an der Außenoberfläche des Silikonbauteils nur eine unverhältnismäßig geringe Verkürzung der Kühlzeit erzielt werden kann. Ein wesentlicher Durchbruch konnte allerdings durch Sprühkühlung sowohl in Versuchen als auch in Simulationen

erreicht werden. Dabei wurde eine nicht-toxische und elektrisch nicht-leitende Flüssigkeit mit einem Siedepunkt von weniger als 50 °C auf die aufgeheizte Silikonoberfläche gesprüht, wodurch die Kühlzeit nachweislich um bis zu 37 % reduziert werden konnte (Abb. 4).

Bei den realen Prototypentests der Firma Qpoint GmbH wurde eine Einsparung der Prozesszeit von mehr als 30 % unter Produktionsbedingungen erreicht.

Dies übertrifft die ursprünglichen Projektziele und kann richtungweisend für zukünftige Kühltechnologien im Sondermaschinenbau sein. Planungen zur Integration dieses Verfahrens und der technischen Umsetzung in den Fertigungsablauf laufen derzeit.

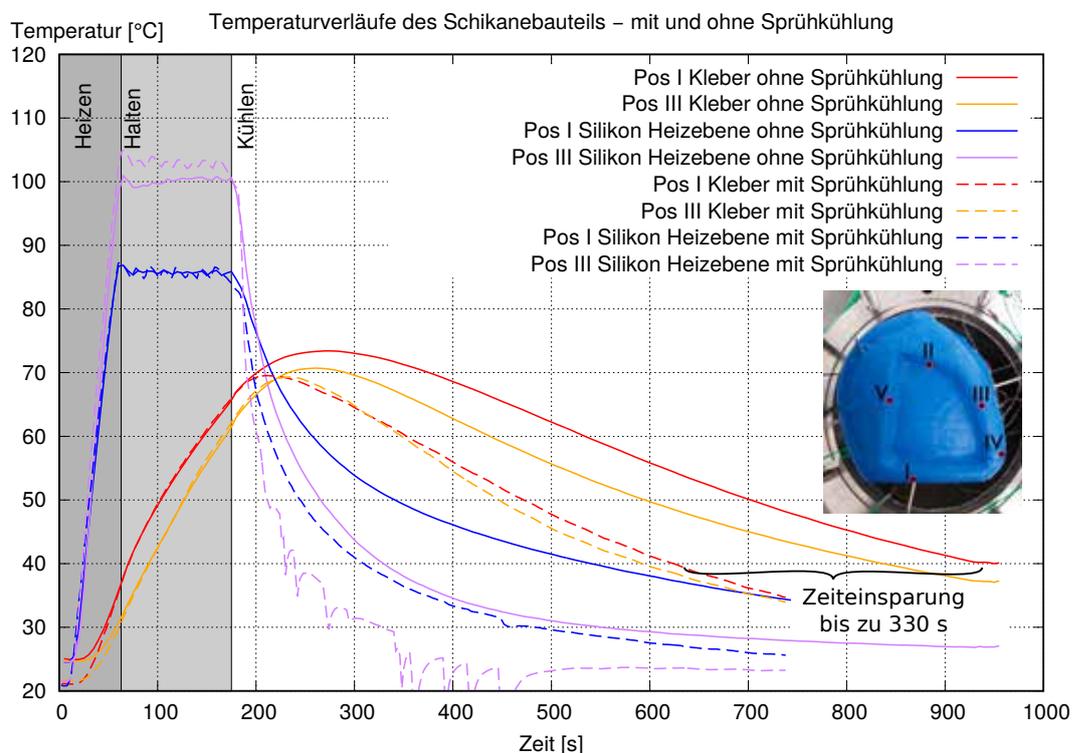


Abbildung 4: Vergleichsdarstellung zum Einfluss der Sprühkühlung auf die Temperaturverteilung und die Produktionszeit beim Kaschierprozess.

- 1 Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, TU Bergakademie Freiberg, Gustav-Zeuner-Str.7 09599 Freiberg (Sachsen) / Germany, Kontakt: Aline. Juenger@ttd.tu-freiberg.de
- 2 Qpoint Composite GmbH Dresden / Germany

Chaos!? - Die Faszination und Herausforderung amorpher Materialien

Oder: Wie das Verständnis topo-chemischer Zusammenhänge die Entwicklung, das Design und die Technologie von Gläsern voranbringen.

Sindy Fuhrmann

Kennen Sie das auch: Chaos? Zum Beispiel im Kinderzimmer nach einem Spielnachmittag mit Freunden, im Kühlschrank vor einer großen Feier, der eigene oder der Schreibtisch des Kollegen. Chaos - der Zustand völliger Unordnung. Doch ist das wirklich korrekt? Nein. Denn das Lieblingskuscheltier ist zur Nacht direkt parat, der vorbereitete Nachtschrank mit einem Griff hervorgezaubert, und es gibt schon eine Ordnung auf dem chaotischen Schreibtisch - zumindest stapelweise. Es herrscht also eine gewisse Ordnung trotz aller Unordnung.

Vergleicht man die strenge, symmetrische Anordnung der Atome in einem Kristall, die sich bis in das Unendliche (oder der Korngrenze) wiederholt, mit der atomaren Anordnung in einem Glas, so scheint die letztere auf den ersten Blick zwar chaotisch, unregelmäßig und ohne jegliche Symmetrie, wird aber einfach beschreibbar unter Zuhilfenahme verschiedener Konzepte. Zum einen ist da die so genannte Nahordnung. Das ist die Beschreibung der lokalen Koordination eines zentralen Kations über die Anzahl und Anordnung der Anionen (Bindungslänge und -winkel, Symmetrie), d.h. die Ausbildung von Koordinationspolyedern. Welche Polyeder ausgebildet werden, hängt von den beteiligten Elementen, den chemischen Bindungen und den Umgebungsbedingungen ab. Die Polyeder sind, entsprechend den Pauling Regeln, zumeist über Ecken miteinander verknüpft, es sei denn, die Bedingungen, wie z.B. extremer Druck, erzwingen eine Kanten- oder Flächenverknüpfung. Und hier kommt das Chaos ins Spiel. Die Verknüpfung der Polyeder über zwei, drei Längenskalen hinaus erfolgt ungeordnet, unregelmäßig - chaotisch. Im Quarzkristall bilden die SiO₄-Tetraeder Sechser-, Vierer-, Fünfer-, ..., Zwölferringen vor - es ist amorph (siehe Abb. 1). Um das Verknüpfungsnetzwerk eines Glases, die so genannte Topologie, zu beschreiben, wird die vorherrschende lokale Geometrie als Polygone abstrahiert und deren Auftrittswahrscheinlichkeiten angegeben. Diese Konfiguration bestimmt die Einordnung eines Glases in der Energy Landscape und damit den thermodynamischen Zustand innerhalb des *p-T-c* Raumes. Hier bewegen sich die grundlegenden Forschungen zum Glaszustand, dessen Phasenbeziehungen, das Auftreten und die strukturelle Beschreibung von Polyamorphismus, sowie das Auftreten von Relaxationsphänomenen und -wegen.

Übrigens, bis in das Jahr 2012 basierte die strukturelle Vorstellung von Glas auf einem Konzept von W. H. Zachariasen¹ (siehe Abb. 1B). Mit der Abbildung einer auf Graphen abgeschiedenen amorphen SiO₂ Doppelschicht konnte die unregelmäßige Verknüpfung der Koordinationspolyeder erstmals abgebildet werden² (siehe Abb. 1C). Doch warum ist vor allem die strukturelle Untersuchung des Netzwerks schwierig? Die aus den Materialwissen-

schaften bekannte Strukturcharakterisierungsmethode ist die Diffraktometrie. Diese beruht auf der winkelabhängigen, konstruktiven Interferenz von Wellen bekannter Länge, an Netzebenen mit definiertem Abstand. Diese fehlen jedoch in der amorphen Anordnung, und an Stelle von definierten Beugungspeaks können lediglich diffuse, breite und wenig intensive Streusignale detektiert werden. Die beinhalten zwar die relevanten Strukturinformationen, es benötigt aber brillante und leistungsstarke Lichtquellen sowie modernste Messsysteme wie an Synchrotronen um die Signale entsprechend qualitativ zu messen und die relevanten Informationen extrahieren zu können. Oftmals benötigt man noch zusätzliche Informationen über die Nahordnung, also die vorliegenden Koordinationspolyeder. Diese erhält man klassisch über spektroskopische Techniken, wie z.B. Raman- und Infrarotspektroskopie, NMR oder UV-Vis-NIR Spektroskopie. Oftmals bedarf es aber auch hier rechnerbasierter Unterstützung mittels ab-initio Methoden zur Berechnung bzw. Simulation und Abgleich von Modellspektren mit experimentell bestimmten Spektren.

Die Strukturaufklärung amorpher Materialien erfordert also einen Multimethoden-Ansatz und benötigt in der Forschung enge Kooperationen zwischen Natur- und Materialwissenschaftlern, Experimentatoren und Theoretikern, Methodenentwicklern und -anwendern. Doch warum ist die Strukturaufklärung essentiell? Durch die Verknüpfung von Struktur und Topologie mit Chemie und ingenieurwissenschaftlichem Knowhow können gezielt Gläser mit spezifischen Eigenschaften, hervorragender Leistungsfähigkeit und innovativen Funktionalitäten designt werden, denn vor allem in Gläsern gilt der direkte Zusammenhang zwischen Struktur und Eigenschaften bis hin zur Anwendung. Diese Aspekte werden an der TU Bergakademie Freiberg am Institut für Glas und Glastechnologie³ im Modul „Grundlagen Glas“ gelehrt. Daneben können interessierte Studierende aller Fächer jeweils im Sommersemester im neuen Wahlmodul „Strukturelle Prinzipien fester Materie“ Materialklassen übergreifend mehr zu diesem Thema erfahren und lernen.

Warum ist Glas amorph? Weil Glas eine unterkühlte, eingefrorene Flüssigkeit ist. Glas entsteht aus der Schmelze. Jede Schmelze bzw. Flüssigkeit kann in ein Glas über-

Kontakt

Sindy.Fuhrmann@igt.tu-freiberg.de

- 1 W. H. Zachariasen J. Am. Chem. Soc. 1932, 54, 10, 3841-3851. doi: 10.1021/ja01349a006
- 2 P. Y. Huang et al. Nano Lett. 2012, 12, 2, 1081-1086. doi: 10.1021/nl204423x
- 3 im Oktober 2020 neben dem Institut für Keramik, Feuerfest und Verbundwerkstoffe aus dem Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik hervorgegangen.

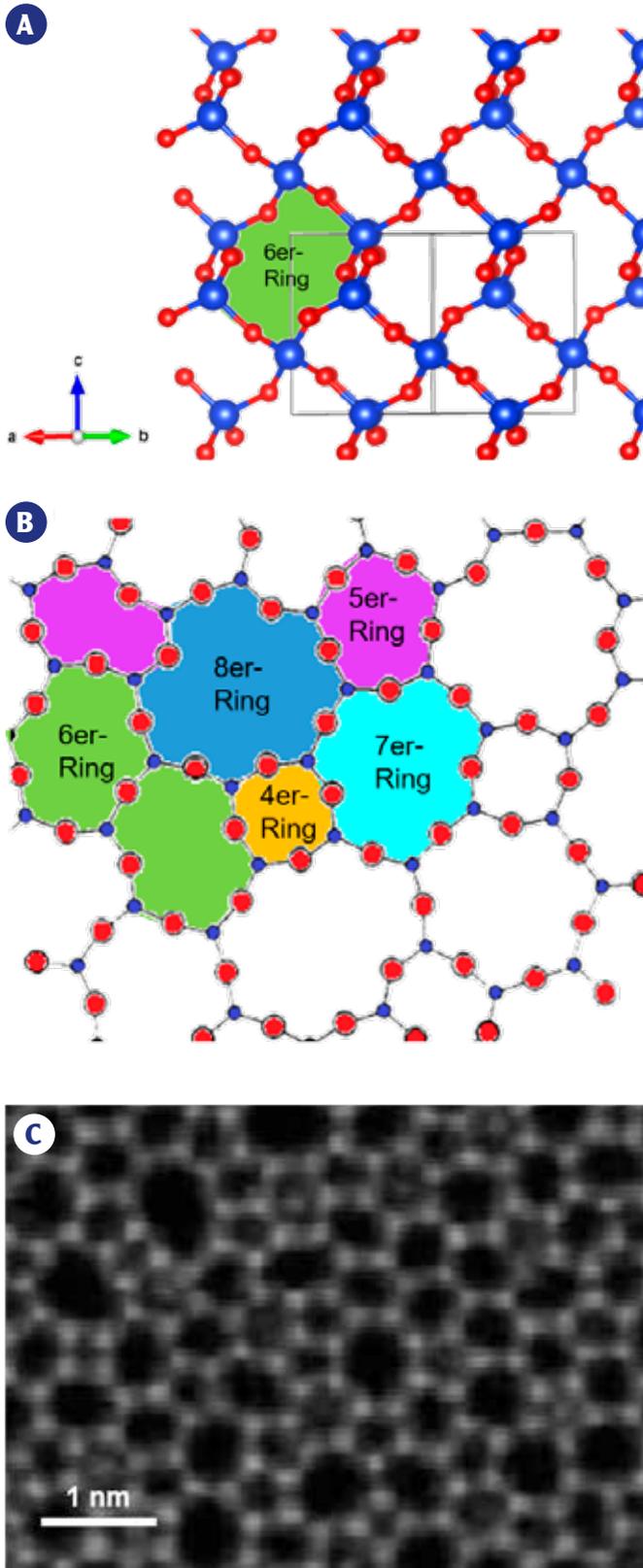


Abbildung 1: Vergleich unterschiedlicher SiO_2 Strukturen: A) Quarz Kristall, B) zweidimensionales Glasnetzwerk, adaptiert mit Genehmigung aus W. H. Zachariasen J. Am. Chem. Soc. 1932, 54, 10, 3841–3851; Copyright 1932 American Chemical Society, C) ADF-STEM Bild von 2D-Silica, adaptiert mit Genehmigung aus P.Y. Huang et al. Nano Lett. 2012, 12, 2, 1081–1086; Copyright 2012 American Chemical Society.

gehen – auch Metallschmelzen oder Wasser! Man muss nur schnell, sehr schnell sein. Beim flüssig-fest Phasenübergang kommt es üblicherweise bei der Schmelztemperatur zum Volumensprung, und die sich chaotisch bewegenden

Moleküle der Flüssigkeit ordnen sich in festen Positionen – dem Kristallgitter. Rein praktisch passiert das nicht exakt bei der Schmelztemperatur, sondern die Kinetik bedingt eine gewisse Unterkühlung, das Verschieben des Phasenübergangs zu Temperaturen unterhalb der Schmelztemperatur. Kühlt man eine Flüssigkeit sehr schnell, verschiebt man die Übergangstemperatur sehr stark unterhalb der Schmelztemperatur. Eine verringerte Temperatur bedingt eine verringerte kinetische Energie und den Verlust von Bewegungsfreiheitsgraden. Ab einer bestimmten Unterkühlung ist eine Umsortierung und damit Ordnung in ein Kristallgitter nicht mehr möglich. Die Atome sind also in ihren Positionen der Flüssigkeit fixiert – eingefroren. Da dieser Vorgang nicht abrupt, sondern kontinuierlich erfolgt, ist der Glasübergang nicht einer Temperatur, sondern vielmehr einem Bereich zuzuordnen, und die Viskosität des Glases erstreckt sich von fest bis dünnflüssig über einen großen Temperaturbereich. Technisch ist das ein großer Vorteil: Gläser werden in Sekundenbruchteilen hergestellt. Pressen, Rollen, Blasen, Biegen, Ziehen, Spinnen, usw. – Formgebungsprozessen sind keine Grenzen gesetzt. Industrialisierung, Automatisierung, Skalierung und technologische Innovationen – allen voran durch Werner von Siemens und Otto Schott – führten dazu, dass Glas heute ein günstiges Massenprodukt ist.

Mit einem Nachteil: einem extremen Energiebedarf um die Rohstoffe in den schmelzflüssigen Zustand zu versetzen. Dieser wird aktuell vor allem durch fossile Brennstoffe, d.h. Erdgas und -öl, gedeckt und verursacht die damit verbundenen, signifikant hohen CO_2 -Emissionen. Doch die Industrie denkt um, und das gemeinsame Ziel in Forschung und Entwicklung lautet: Glasherstellung mit Nullmissionen.

Die Juniorprofessur für Energie- und Rohstoffeffiziente Glastechnologie bereichert an der TU Bergakademie Freiberg mit ihrem Beitrag in Forschung und Lehre zum faszinierenden Material Glas: zur Ordnung im Chaos, zum Materialdesign für hochspezialisierte Nischenanwendungen und billige Massenprodukte, Technologien zur Formgebung und Fertigung, Wiederverwertbarkeit und Zirkularität und der Reduzierung des CO_2 -Fußabdrucks für eine nachhaltige Produktion und Schonung unserer Umwelt und des Klimas.

We celebrate United Nations International Year of Glass 2022⁴ – Sie sind herzlich eingeladen mit uns am Institut für Glas und Glastechnologie der TU Bergakademie Freiberg gemeinsam mit den weltweit Engagierten im Bereich Glas zu feiern.

Willkommen im Zeitalter des Glases!



⁴ www.iyog2022.org
www.hvg-dgg-events.com/iyog2022-germany

Charakterisierung und Quantifizierung der Phasenbildung in zementhaltigen Materialien

Elsa Qoku, Thomas A. Bier

Hintergrund

Die weltweite Produktion von Portlandzement liegt im Bereich von 4,2 Milliarden Tonnen pro Jahr [1], wobei die zentrale Bedeutung dieser Technologie für die moderne Gesellschaft auf die relativ niedrigen Kosten und die weltweite Verfügbarkeit der Rohstoffe zurückgeführt wird. Der wichtigste Prozess bei der Anwendung von zementhaltigen Materialien ist die Hydratation. Die Hydratation ist eine Abfolge chemischer Reaktionen zwischen Zement und Wasser, die zum Abbinden und Erhärten des Materials führt. Die Hydratation der zementhaltigen Materialien ist im Wesentlichen ein Auflösungs- und Ausfällungsprozess, wie er bereits von Le Châtelier vor mehr als 100 Jahren vorgeschlagen wurde [2]. Im Verlauf dieses Prozesses kommt es zur Bildung von Hydratphasen, wie z. B. C-S-H¹, Portlandit, Ettringit, AFm, AH₃, Hydrogranate oder C-A-H.

Da die Zusammensetzung der Hydratphasen eine Schlüsselrolle für die technischen Eigenschaften von zementhaltigen Systemen spielt, ist es von entscheidender Bedeutung, den zugrunde liegenden Hydratationsmechanismus und die Art der Hydratphasen zu verstehen. Aus wissenschaftlicher Sicht stellt diese Aufgabe interessante Herausforderungen in Bezug auf Modellierungsmethoden und experimentelle Techniken. Das Problem ist ein zweifaches: (i) Frühere Arbeiten über die Hydratation von Portlandzement (PZ) und Tonerdezement (TZ) [3] haben gezeigt, dass in beiden Systemen die Hydratationsmechanismen nach einem komplexen Muster ablaufen. (ii) Eine weitere, wichtige ungeklärte Frage in der Bauchemie stellt nach wie vor der Mechanismus der Bildung eines beträchtlichen Anteils von röntgenamorphen Hydraten und deren Zusammensetzung dar.

Daher ist für eine umfassende Untersuchung der Hydratation von zementären Systemen ein Multimethodenkonzept erforderlich. Erst eine Kombination der Resultate verschiedener Analysetechniken wie Röntgen-Pulverdiffraktometrie (XRPD), thermogravimetrische Analyse (TGA), Rasterelektronenmikroskopie (REM/SEM), MAS-NMR-Spektroskopie und thermodynamischer Modellierung erlaubt die umfassende Charakterisierung und Quantifizierung der Entwicklung von Phasenbildung in verschiedenen zementären Systemen.

Im Folgenden wird die Anwendung dieser Methoden für ternäre Bindemittelsysteme gezeigt.

Hydratation von ternären Bindemitteln

Ternäre Bindemittel sind Systeme, die aus den drei mineralischen Komponenten Portlandzement (PZ), Tonerdezement (TZ) und Kalziumsulfat bestehen. Sie werden als technische Mörtel für Beton, als Fliesenkleber, Estrichbindemittel, Reparaturkleber oder zur Verlegung von Fußböden mit selbstnivellierendem Unterboden verwendet. Abb. 1 zeigt eine Klassifizierung der in industriellen Anwendungen häufig verwendeten Mischungen [4]. In dem ternären Diagramm lassen sich hinsichtlich der Zusammensetzung fünf Hauptbe-

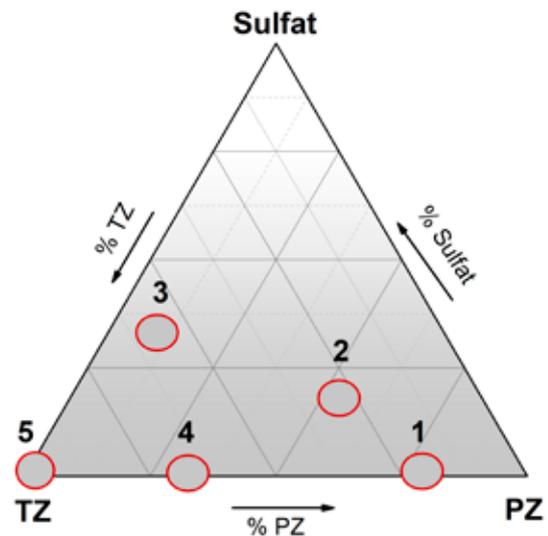
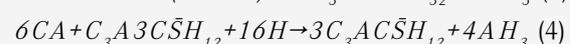
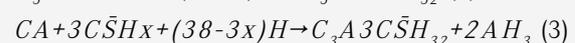
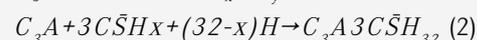
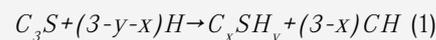


Abb. 1: Unterschiedliche Zusammensetzungen in ternären Bindemittelsystemen für industrielle Anwendungen

reiche bzw. Regionen unterscheiden. Die beiden Regionen 1 und 2 gehören zum sogenannten PZ-reichen Gebiet, während die Regionen 3 und 4 zum sogenannten TZ-reichen Bereich gezählt werden. Zu den wichtigsten technologischen Eigenschaften dieser Mischungen gehören das schnelle Abbinden und die hohe Festigkeitsentwicklung innerhalb von wenigen Stunden. Es wird angenommen, dass die Bildung von Ettringit die Hauptursache für das schnelle Abbinden ist [5].

Die Hydratation von ternären Bindemitteln ist aufgrund der zahlreichen entstehenden Phasen und ihrer Zusammensetzung ein sehr komplexer Vorgang [6]. Je nach Zusammensetzung des Ausgangsmaterials sind die wichtigsten Reaktionen:

- Bei Mischungen, in denen PZ der Hauptbestandteil ist (TZ < 20 %), sind C-S-H zusammen mit Portlandit und Ettringit die wichtigsten Hydratationsprodukte.
- Es kann auch zur Bildung von C₄AH_x Phasen kommen.
- In Mischungen, in denen TZ und Kalziumsulfat die Hauptbestandteile sind, sind Ettringit und AH₃ die wichtigsten Hydratationsprodukte zusammen mit AFm-Phasen wie Monosulfo-aluminat und Strätlingit.



Kontakt

Elsa.Qoku@ikfvw.tu-freiberg.de

Institut für Keramik, Feuerfest und Verbundwerkstoffe, TU Bergakademie Freiberg

1 Verkürzung in der Bauchemie:

A = Al₂O₃; C = CaO; S = SiO₂; F = Fe₂O₃; S̄ = SO₃; H = H₂O

Die Hydratation wird durch das PZ/TZ- und TZ/C \bar{S} Hx-Verhältnis stark beeinflusst. Für PZ-reiche Kombinationen, bei denen das PZ/TZ-Verhältnis in einen bestimmten Bereich fällt, wurde über Verzögerungen bei der Hydratation von Silikaten hingewiesen [7]. Ein weiterer Faktor, der bei der Hydratationskinetik und der Phasenbildung von ternären Bindemittelsystemen eine Schlüsselrolle spielt, ist die Art der Sulfatquelle. Unterschiedliche Formen von Kalziumsulfat weisen auch unterschiedliche Löslichkeiten und Auflösungsgeschwindigkeiten auf, diese Eigenschaften sind jedoch Schlüsselp Parameter für die spätere Morphologie und räumliche Verteilung der Hydrate. Bei der Verwendung von Gips als Sulfatquelle entstehen kurze, gedrungene Ettringitkristalle, während sich im Falle von Anhydrit lange, dünne Ettringitnadeln bilden [8]. Die Art des Sulfats bestimmt auch das Gleichgewicht zwischen den jeweiligen Mengen der Ettringit- und AFm-Phasen.

Kristalline und amorphe Phasen in ternären Bindemitteln

Für unsere Untersuchungen beschränkten wir uns auf zwei repräsentative Kombinationen von ternären Bindemitteln. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Zusammensetzungen dieser Referenzformulierungen. Die Formulierung T1 ist reich an PZ, während die Formulierung T2 dagegen reich an TZ ist. Die Hydratation und die Phasenbildung dieser Systeme wurden im Zeitraum von 2 Stunden bis zu 90 Tagen untersucht.

Tabelle 1: Referenzformulierung der untersuchten Zementpasten

Formulierung	PZ (wt.%)	TZ (wt.%)	C \bar{S} Hx (wt.%)
T1	80	13	7
T2	13	64.5	22.5

PZ-reiche Formulierung

Abb. 2 zeigt das XRD-Diffraktogramm und die TGA/DTG-Kurven bei ausgewählten Hydratationsaltern für T1ternäre Bindemittel. Ein Modell, das die Phasen C $_3$ S, C $_2$ S, CA, C $_2$ AS, Anhydrit, Calcit, Portlandit, Ettringit, Hemicarboaluminat und Monocarboaluminat enthält, erklärt alle in der Röntgenpulverbeugung beobachteten Peaks. Gips ist in keinem der Diffraktogramme zu detektieren, was darauf hindeu-

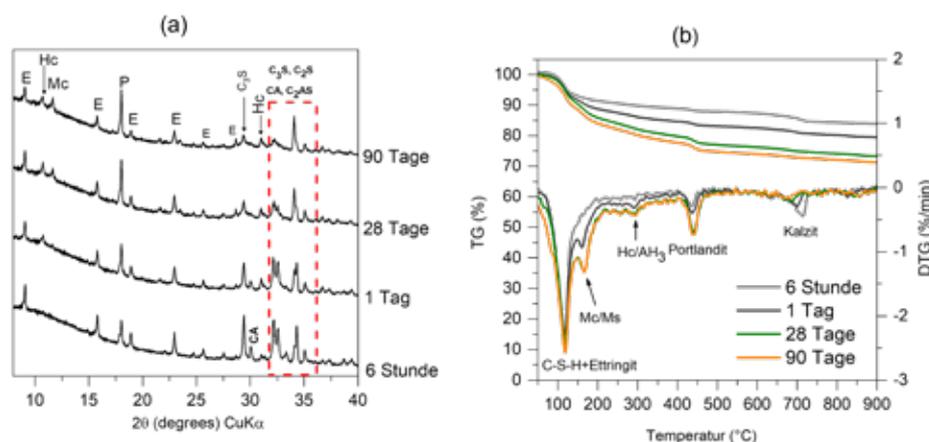


Abb. 2: (a) XRD-Diffraktogramme der T1-Formulierung bei ausgewählten Zeiten und (b) TGA- und DTG-Kurven bei ausgewählten Zeiten. Phasenabkürzungen: (E) für Ettringit, (Ms) für Monosulfoaluminat, (Hc) für Hemicarboaluminat, (Mc) für Monocarboaluminat und (P) für Portlandit.

tet, dass diese Sulfatquelle sehr schnell verbraucht wurde. C-S-H als wichtiges Hydratationsprodukt ist röntgenamorph und war daher in keinem der Röntgendiffraktogramme quantitativ bestimmbar. Monocarboaluminat und Hemicarboaluminat können nach einem Tag der Hydratation nachgewiesen werden. Hemicarboaluminat weist die höchste Intensität auf, die bis zu 28 Tage nach der Hydratation deutlich zunimmt und dann stark abnimmt. Mit der Zeit wandelt sich das Hemicarboaluminat in Monocarboaluminat um.

Die TGA/DTG-Daten entsprechen gut den XRD-Ergebnissen. Sie bestätigen somit die Ausfällung von Ettringit, C-S-H, Portlandit und Calcit. Der Portlandit-Anteil nimmt im Laufe der Zeit zu, während die Menge an Calcit abnimmt. Monocarboaluminat wird im Bereich zwischen 180 und 200 °C identifiziert. Aus den TGA-Kurven ist der Zerfall von Hemicarboaluminat im Bereich von ~250-350 °C deutlich zu sehen, die Intensität nimmt mit fortschreitender Hydratation zu.

Abb. 3 zeigt die 27 Al- und 29 Si-MAS-NMR-Spektren von T1 nach 1 Tag und nach 28 Tagen Hydratation. Der Spektralbereich für oktaedrisch koordiniertes Al (-10 < δ < -20 ppm) der Proben weist drei ausgeprägte Resonanzen auf, wobei der Peak mit der höchsten Frequenz $\delta_{iso} = 13,1$ ppm dem Ettringit zuzuordnen ist. Die zweite Resonanz mit einer chemischen Verschiebung bei $\delta_{iso} = 11,4$ ppm lässt sich sechsfach koordinierten Al-Hydraten wie Monocarboaluminat, Hemicarboaluminat und Monosulfoaluminat-Phasen zuordnen. Die AFm-Phasen haben sehr ähnliche Quadrupole und chemische Verschiebungsparameter und können daher nicht eindeutig unterschieden werden. Der oktaedrische Bereich enthält auch eine geringfügige Resonanz bei 5.3 ppm, die von Al (VI) in Verbindung mit der C-(A)-S-H-Phase stammt

Um die C-S-H-Phase experimentell nachzuweisen wurden 28 Tage nach der Hydratation 29 Si-MAS-NMR-Messungen durchgeführt (Abb. 3b). Die Probe zeigt eine einzelne breite Resonanz bei etwa -74 ppm, die auf hydratisierte monomere Q 0 -Spezies zurückzuführen sind. Die Spektren zeigen außerdem zwei leicht auflösbare Resonanzen bei -78,26 und -83,81 ppm. Die Resonanzen bei -78 ppm werden den schwächeren und/oder endständigen Silikat-Tetraedern Q 1 der C-S-H-Spezies zugeschrieben, während die Resonanzen bei -83 ppm mit den mittleren Q 2 (OAl) der C-S-H-Einheiten zusammenhängen. Zwischen diesen beiden Resonanzen bei -82 ppm ist ein breiter Buckel zu erkennen. Der Buckel ist mit der Q 2 (1Al)-C-S-H-Spezies verbunden und deutet somit auf die Substitution eines Siliziumdioxid-Tetraeders durch einen Aluminiumoxid-Tetraeder hin.

Die quantitativen Daten aus der XRD-Rietveld-Verfeinerung sind in Abb. 4 im Vergleich zur berechneten Phasenzusammensetzung aus der thermodynamischen Modellierung aufgetragen. Aus den quantitativen XRD-Resultaten geht hervor, dass C $_3$ A innerhalb der ersten 24 Stunden der Hydratation verbraucht wird, gefolgt von C $_3$ S, welches länger als 56 Tage nachweisbar bleibt. Nach 90 Tagen Hydratation konnten nur noch ~ 2,6 g/100 g C $_3$ S-Paste in der Probe

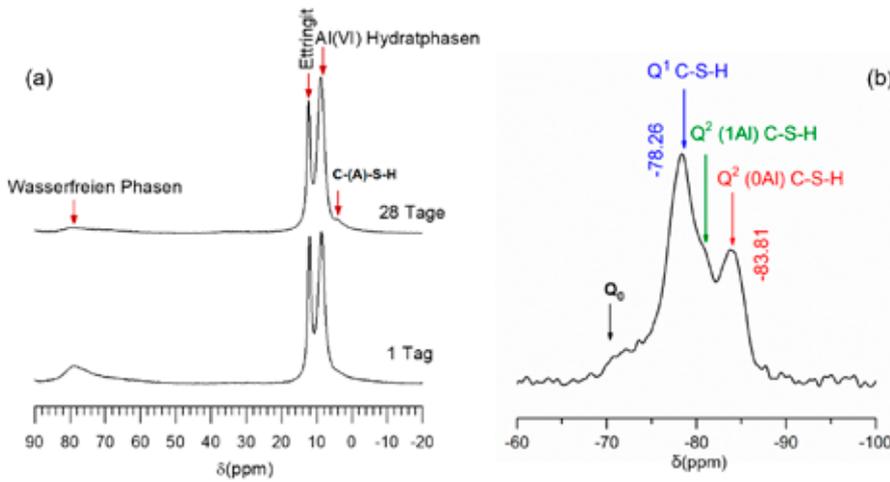


Abb. 3: (a): ²⁷Al MAS NMR-Spektren (14,1T, ν_R = 13,0 kHz), erhalten mit ¹H-Entkopplung für die T1-Formulierung nach 1 und 28 Tagen Hydratation. (b): ¹H-²⁹Si CP MAS NMR-Spektren (9,4T) für die T1 Formulierung nach 28 Tagen Hydratation. Gut definierte Resonanzen mit chemischen Verschiebungen von -78,26, -78,40, -83,76 und -83,81 ppm sind angegeben.

nachgewiesen werden, was einem Hydratationsgrad von ~ 90 % entspricht. Die Hydratation von C₂S verläuft relativ langsam, es beginnt erst nach 7 Tagen Hydratation nachweisbar zu reagieren. Die CA-Phase ist 56 Tage nach der Hydratation vollständig verbraucht. Die Menge an Ettringit nimmt im Laufe der Zeit zunächst in geringem Maße ab, eine signifikante Abnahme ist erst nach 28 Tagen Hydratation zu beobachten. Die Menge an Portlandit nimmt während der Hydratation mit der Zeit leicht zu. Die Pasten sind durch einen hohen Anteil an amorphen Phasen gekennzeichnet. Innerhalb von 90 Tagen nach der Hydratation steigt die Menge der amorphen Phasen von ~17 g/100 g auf 72,2 g/100 g Paste an.

Die experimentellen Ergebnisse stimmen im Wesentlichen mit den Resultaten der thermodynamischen Modellierung überein. Im verwendeten thermodynamischen Modell erfolgte die Ausfällung der C-S-H, Portlandit, Ettringit und AFm-Phasen.

Anhand der experimentellen Beweise aus XRD, TGA und MAS-NMR-Analysen lässt sich die Hydratation der PZ-reichen Formulierung in zwei Schritten zusammenfassen. Im ersten Schritt lösen sich C₃S, C₂S, C₃A und die CA-Phase auf und bilden C-S-H, Portlandit, Ettringit und Monosulfoaluminat. Im nächsten Schritt, wenn die Sulfatquelle verbraucht ist, reagiert Calcit mit den verbleibenden Aluminaten und bildet AFm-Karbonat-Äquivalente wie Hemicarboaluminat und Monocarboaluminat. ²⁷Al-MAS-NMR-Spektren (Abb. 3) zeigen die Ausfällung der TAH-Phase in der ersten Phase der Hydratation.

CAC-reiche Formulierung

In Abb. 5 werden ausgewählte XRD-Diffraktogramme den TGA/DTG Kurven für die T2-Formulierung gegenübergestellt. Unreagierte Anteile von CA, C₃S, C₂S, C₂AS und Gips konnten nachgewiesen werden. Hinsichtlich weiterer Hydratationsprodukte fanden wir deutliche Peaks bei 9,09° 2θ bzw. 9,85° 2θ für Ettringit und Monosulfoaluminat.

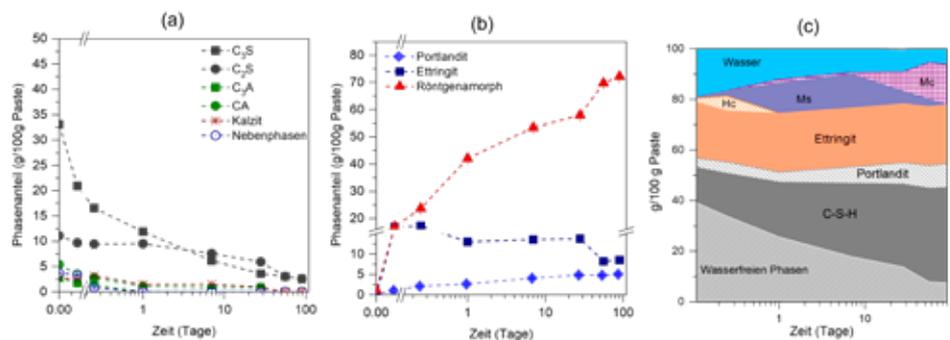


Abb. 4: (a, b) Phasenzusammensetzung als Funktion der Zeit aus der Rietveld-Verfeinerung für die T1-Formulierung. (c) Phasenzusammensetzung, vorhergesagt durch thermodynamische Modellierung

AFm-Karbonat-Äquivalente werden nicht gefunden, da diese Formulierung keine signifikanten Mengen an Calcit enthält. Ein sehr schwacher Peak von AH₃ tritt im Bereich von 18° 2θ - 21° 2θ auf. Diese Phase ist hauptsächlich röntgenamorph.

Die XRD-Messungen wurden durch eine TGA-Analyse ergänzt (Abb. 5b). Ettringit lässt sich anhand des Wasserverlusts bei 120 °C nachweisen. Der Gehalt an Ettringit steigt am ersten Tag an, danach nimmt er leicht ab. Ein deutliches Signal um 260 °C bestätigt das Vorhandensein von AH₃, welches aufgrund des entstehenden Al-Überschusses aus der CA-Phase gemäß den Reaktionen (3) und (4) ausfällt. Die Menge an AH₃ nimmt mit der Zeit weiter zu. Monosulfoaluminat erscheint in den TGA-Messergebnissen zunächst als kleiner Buckel bei 180-190 °C am ersten Tag der Hydratation. Ein zusätzlicher exothermer Peak, der mit Strätlingit im Bereich von 160-175 °C korreliert, ist ab 28 Tagen nach der Hydratation erkennbar. Das Fehlen von Strätlingit-Peaks in den Röntgendiffraktogrammen deutet darauf hin, dass sich hier weniger kristalline röntgenamorphe Strukturen bilden.

Die ²⁷Al- und ²⁹Si-MAS-NMR-Spektren sind in Abb. 6 dargestellt. Ettringit ist mit zwei schmalen deutlichen Resonanzen bei δ_{iso} = 13,4 ppm und δ_{iso} = 13,1 ppm sichtbar. Die anderen breiten Signale bei δ_{iso} = 10,5 ppm sind auf den Beitrag des oktaedrischen Aluminiums in den Monosulfoaluminat- und AH₃-Phasen zurückzuführen. Eine klare Unterscheidung zwischen den beiden Phasen ist aufgrund der starken Überschneidung ihrer Resonanzen nicht möglich. Das Vorhandensein von Strätlingit in den Zementpasten wird durch die Resonanz von zwei Al (IV)-Peakpositionen bei δ_{iso} = 61,8 ppm und δ_{iso} = 68,4 ppm bestätigt.

Schließlich wird für alle Formulierungen der Bereich zwischen 70 ppm und 90 ppm für alle Einzelbeiträge aus den verschiedenen wasserfreien Phasen angegeben. So tritt z. B. Aluminium als Ersatz für Silizium in C₃S und C₂S bei etwa 80 ppm auf. C₃A weist Signale bei etwa 78,3 ppm und 79,5 ppm auf, während die CA-Phase durch mehrere chemischen Verschiebungen im Bereich von 81 ppm bis 86 ppm charakterisiert ist [9].

In den ²⁹Si-MAS-NMR Spektren werden zwei unter-

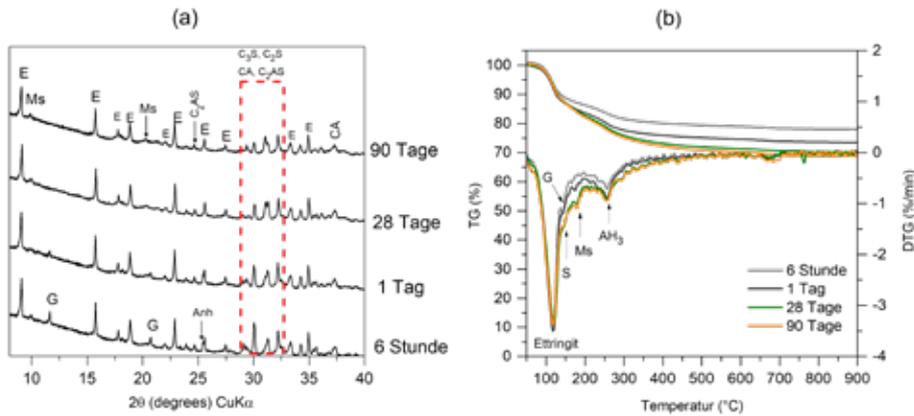


Abb. 5: (a) XRD-Diffraktogramme der T2-Formulierung bei ausgewählten Zeiten und (b) TGA- und DTG-Kurven bei ausgewählten Zeiten. Phasenabkürzungen: (E) für Ettringit, (Ms) für Monosulfat, (S) für Strätlingit und (G) für Gips.

schiedliche Resonanzen den $Q^2(1A1)$ - bzw. $Q^2(0A1)$ -Spezies zugeschrieben, welche den polymerisierten Positionen der Strätlingit-Phase zugeordnet werden. Diese beiden Spektren zeigen, dass die meisten Silikate in der T2-Formulierung bei der Strätlingitbildung ausfallen. Klare, gut aufgelöste von der C-S-H-Phase stammende Resonanzen im Bereich von -79 ppm bis 84 ppm konnten nicht identifiziert werden.

Der Hydrationsprozess kann quantitativ anhand der Daten in Abb. 7, welche die Entwicklung der aus QXRD abgeleiteten Phasenzusammensetzung zeigen, verfolgt werden. In der T2-Paste ist C_3S nach einem Tag der Hydratation verbraucht. Obwohl CA schnell verbraucht wird, können nach 90 Tagen Hydratation immer noch geringe Mengen nachgewiesen werden. Gips wird sehr schnell abgebaut und nur geringe Mengen (2 g/100 g Paste) sind noch nach einem Tag Hydratation nachweisbar. Die Menge an C_2AS nimmt nach 7 Tagen leicht ab. Obwohl C_2AS als hydraulisch inak-

tiv angesehen wird, deutet die Abnahme seines Gehalts auf eine hydraulische Aktivität hin, die zur Strätlingitbildung führt [5].

Die experimentellen Daten stimmen auch hier gut mit den Resultaten der thermodynamischen Modellierung überein. Die Modellierung führt zur Bildung von Ettringit, Monosulfat AH_3 und Strätlingit, eine Ausfällung von C-S-H wird im Modell nicht vorhergesagt.

Für die Formulierung T2 kann das Hydratationsschema in zwei Hauptphasen bzw. Perioden unterteilt werden. Die erste Periode

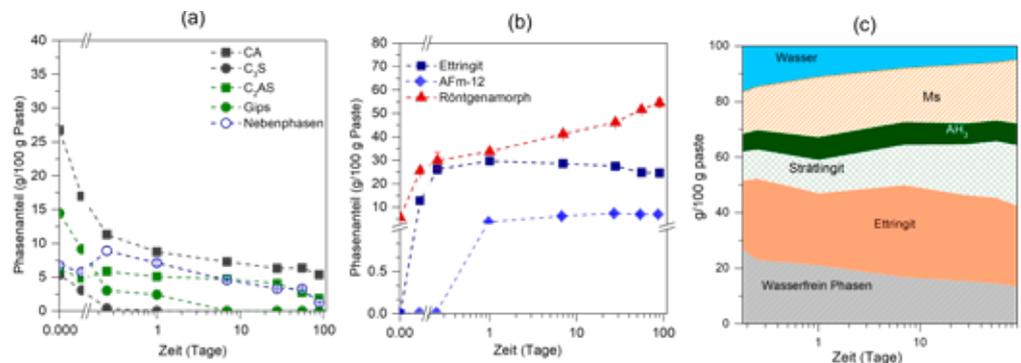


Abb. 7: (a, b) Phasenzusammensetzung als Funktion der Zeit aus der Rietveld-Verfeinerung für die T1-Formulierung. (c) Phasenzusammensetzung, vorhergesagt durch thermodynamische Modellierung

bezieht sich auf die Auflösung der anhydrierten Phasen und der Sulfatquelle. Während dieses Zeitraumes wird die Hydratation der Bindemittel hauptsächlich durch die Bildung

von Ettringit und AH_3 dominiert. Die zweite Periode umfasst die Bildung von Monosulphoaluminat durch den Verbrauch von Ettringit. Eine zusätzliche Bildung von Strätlingit erfolgt durch die Auflösung der Si-haltigen C_2AS -Phase. Die Bildung von C-(A)-S-H findet nicht statt.

Vergleich der quantitativen und semi-quantitativen Ergebnisse

Wie die Ergebnisse von thermischer Analyse und MAS-NMR zeigen, bestehen die röntgenamorphen Hydrate hauptsächlich aus den Phasen C-S-H, AH_3 und AFm. Die jeweiligen Mengen der genannten Phasen wurden anhand stöchiometrischer Berechnungen geschätzt und mit den experimentellen Methoden verglichen.

C-S-H and Portlandit

Abb. 8a zeigt den Anteil an C-S-H für T1-Formulierung, der sich aus den stöchiometrischen Reaktionen der Auflösung von C_3S und C_2S (Gleichung 1) ergibt, wobei angenommen wird, dass alle Silikate bei der C-S-H-Bildung ausfallen. Die Menge an C-S-H lag im Bereich von 40-50 g/100 g Paste, was fast 70 %

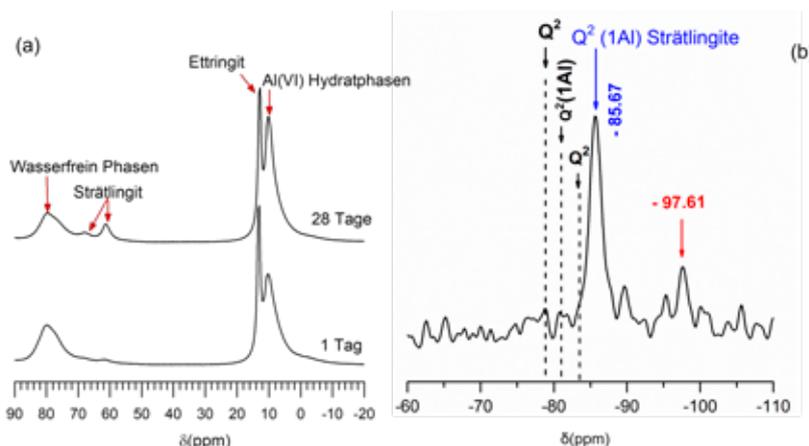


Abb. 6: (a): ^{27}Al MAS NMR-Spektren (14,1T, $\nu_R = 13,0$ kHz), erhalten mit 1H -Entkopplung für die T2-Formulierung nach 1 und 28 Tagen Hydratation. (b): 1H - ^{29}Si CP MAS NMR-Spektren (9,4T) für die T1 Formulierung nach 28 Tagen Hydratation. Gut definierte Resonanzen mit chemischen Verschiebungen von -78,26, -78,40, -83,76 und -83,81 ppm sind angegeben.

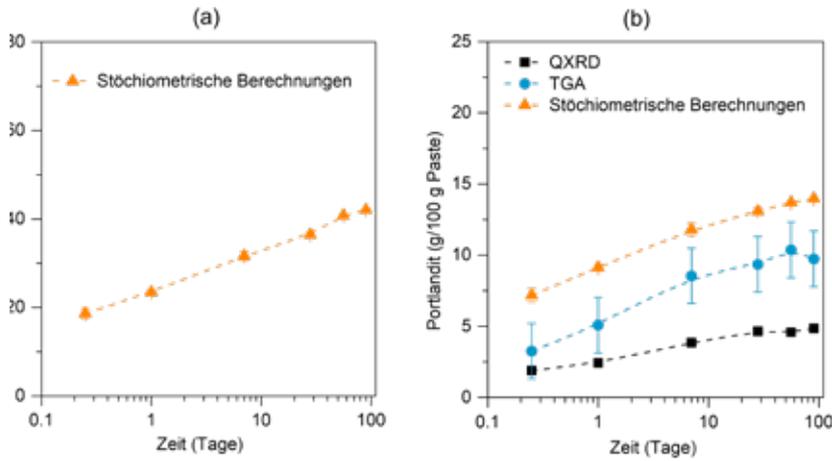


Abb. 8: (a) Stöchiometrische Berechnungen zur Bildung von C-S-H in der T1 Formulierung. (b) Vergleich des durch QXRD, TGA und stöchiometrische Berechnungen ermittelten Portlanditanteil in der T1 Formulierung.

des berechneten röntgenamorphen Anteils entspricht.

Abb. 8b vergleicht den Anteil an Portlandit, der mit drei verschiedenen Methoden ermittelt wurde: (1) QXRD, (2) TGA und (3) stöchiometrische Berechnungen. TGA und stöchiometrische Berechnungen liefern im Vergleich zu QXRD viel höhere Werte für den Anteil an Portlandit. Trotz der Fehlerquellen, die sich aus der TGA-Technik oder den stöchiometrischen Berechnungen ergeben, deutet der Gesamttrend der Ergebnisse auf eine Unterschätzung des Kalziumhydroxidgehalts durch QXRD hin. Dies kann nur durch das Vorhandensein von nanokristallinem oder mikrokristallinem Portlandit in den Zementpasten erklärt werden.

AH₃ und Monosulfoaluminat

Abb. 9 zeigt den Anteil an AH₃, Monosulfoaluminat für die T2-Formulierung, der sich aus stöchiometrischen Berechnungen ergibt. Die stöchiometrischen Berechnungen zeigen, dass der AH₃-Gehalt mit der Zeit ansteigt und einen Höchstwert von 13,3 g/100 g Paste erreicht. Die aus der TGA berechneten AH₃-Mengen liegen in der gleichen Grö-

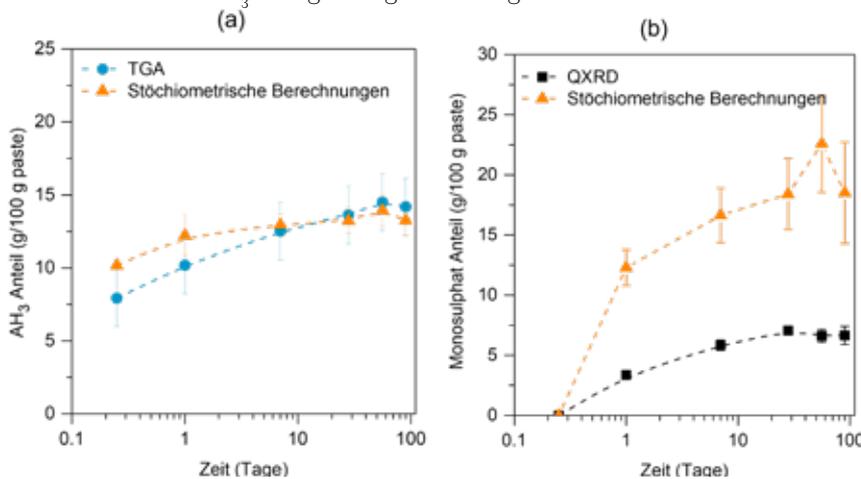


Abb. 9: Vergleich des durch TGA und stöchiometrische Berechnungen ermittelten Anteils an AH₃ in den T2 Formulierungen. (b) Vergleich des durch QXRD und stöchiometrischen Berechnungen ermittelten Anteils an Monosulfoaluminat in den T2 Formulierungen.

Röntgenamorphe Anteile

Die Röntgenquantifizierung auf der Basis der Rietveld-Methode zeigte, dass zementhaltige Sys-

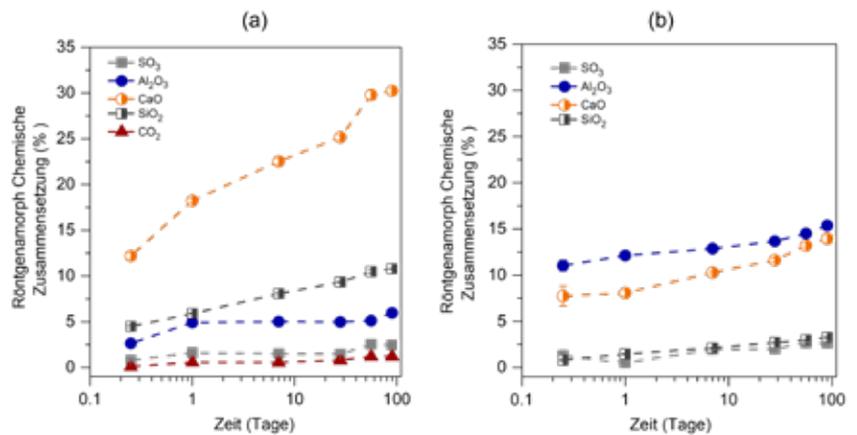


Abb. 10: Chemische Zusammensetzung der Röntgenamorph Hydratphasen in den (a) T1 & (b) T2 Formulierungen.

teme signifikante Anteile röntgenamorpher Fraktionen bilden. Aus der Kombination der unterschiedlichen Messmethoden wird deutlich, dass in den PZ-reichen Kombinationen der größte Teil der röntgenamorphen Fraktion auf die C-S-H-Phase zurückzuführen ist, während in den TZ-reichen Kombinationen die Röntgenamorphie vorwiegend aus den Phasen AH₃ und AFm stammt. In den PZ-reichen Formulierungen macht das C-S-H-Gel etwa 70 % des röntgenamorphen Anteils aus. Der Rest wird den AFm-, C-(A)-S-H-, Portlandit- und Aft-Phasen zugeschrieben. In der TZ-reichen Formulierung macht AH₃ ca. 30 % des röntgenamorphen Anteils aus, während der Rest auf die Phasen AFm, C-A-H und Aft zurückzuführen ist. Darüber hinaus wurde während der Hydratation festgestellt, dass ein Teil des Ettringits und des Portlandits röntgenamorph ist und höchstwahrscheinlich in

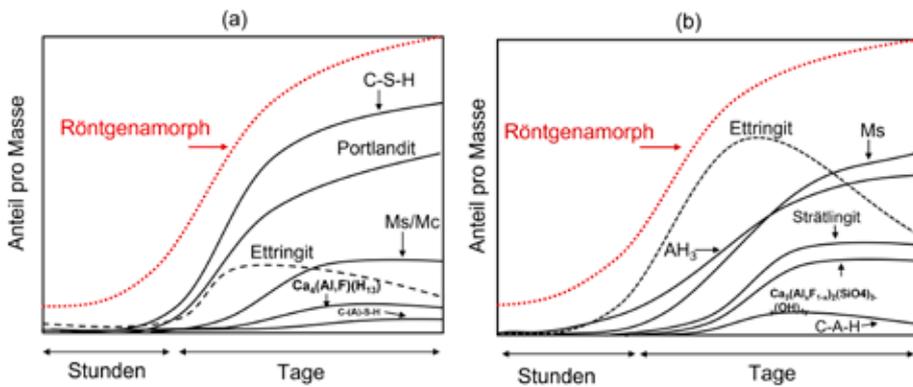


Abb. 11: Schematische Darstellung der Bildung von Hydratphasen während der Hydratation einer (a) PZ-reichen Formulierung und (b) einer TZ-reichen Formulierung.

einem nanokristallinen Zustand vorliegt, so dass deren tatsächlicher Anteil bei der Quantifizierung mittels XRD unterschätzt wird. Die chemische Zusammensetzung des röntgenamorphen Anteiles in den Formulierungen T1 und T2 ist in Abb. 10 dargestellt.

Zusammenfassung

Auf Grundlage experimenteller Resultate und von Ergebnissen der thermodynamischen Modellierung wird die Abfolge der Hydratphasenbildung in PZ-reichen und TZ-reichen Formulierungen als Funktion der Zeit schematisch auf der Basis des Modelldiagramms von Locher [10] in Abb. 11 dargestellt. Die Diagramme Abb. 12 zeigen die Veränderung der Mengenanteile der Hydratphasen im ternären System PZ/TZ/Kalziumsulfat für C-S-H, Portlandit, Ettringit und Monosulfoaluminat nach 90 Tagen Hydratation. C-S-H befindet sich zusammen mit

Portlandit (Abb. 11 a, b) hauptsächlich in der Nähe des Bereichs mit reinem Portlandzement. Der Anteil der beiden Phasen nimmt zu niedrigeren Portlandzementgehalten hin ab. In der Region mit niedrigem PZ-Anteil (< 30 Masse-% PZ) sind beide Phasen nicht vorhanden. Ettringit ist fast im gesamten Bereich des ternären Diagramms, mit Ausnahme der Bereiche von reinem TZ und Sulfat, vorhanden. Die höchsten Ettringitanteile finden sich in der Nähe der binären Bindegrenzen. Das Gleiche gilt für die Monosulfoaluminatphase.

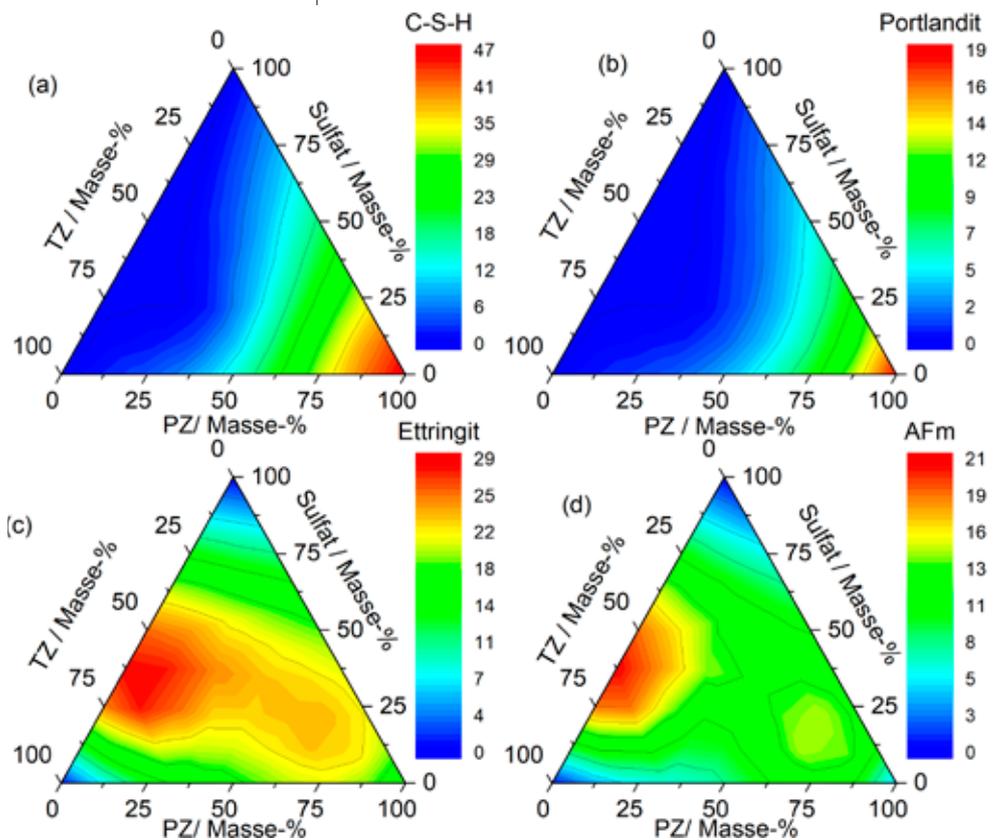


Abb. 12: Verteilung der Haupthydratphasen im ternären Diagramm PZ-TZ-Sulfat. (a) C-S-H, (b) Portlandit, (c) Ettringit und (d) Monosulfoaluminat in g/100 g Paste.

Quellen

- 1 M. Garside (2020) Cement production worldwide from 1995 to 2019. Statista, Nonmetallic Mineral Products.
- 2 Le. Châtelier (1904) Recherches expérimentales sur la constitution des mortiers hydrauliques.
- 3 Bullard J. W., Jennings H. M., Livingston R. A., Nonat A., Scherer G. W., Schweitzer J. S., Scrivener K. L. and Thomas J. J. (2011) Mechanisms of cement hydration Cem. Concr. Res. 41 1208-23.
- 4 Bier Th. A. (2017) Composition and properties of ternary binders. Cementitious materials: composition, properties, application pp 353-76.
- 5 Amathieu L., Bier Th. A. and Scrivener K. L. (2001) Mechanisms of set acceleration of Portland cement through CAC addition. Int. Conf. on Calcium Aluminate Cement pp 303-17.
- 6 Ooku E. (2019) Characterization and quantification of crystalline and amorphous phase assemblage in ternary binders during hydration, PhD Thesis, TU Freiberg.
- 7 Nehring J., Jansen D., Neubauer J. and Goetz-Neunhoffer F. (2018) Hydration of C3S in presence of CA: Mineral-pore solution interaction. J. Am. Ceram. Soc. 1-11.
- 8 Bayoux J.P. Bonin A., Marcdargent S. and Mathieu A. M. V. (1990) Study of the hydration properties of aluminous cement and calcium sulfate mixes in calcium aluminates cement Proceedings of the International Symposium on Calcium Aluminate Cements ed R.J. Mangabhai (London) pp 220-49.
- 9 Skibsted J., High-resolution solid-state nuclear magnetic resonance spectroscopy for portland cement-based systems. in: K. Scrivener, R. Snellings and B. Lothenbach (Eds.) A Practical guide to microstructural analysis of cementitious materials, 2015, pp. 213-87.
- 10 Friedrich W. Locher (2006) Cement: principles of production and use.

Die Zukunft der Kernherstellung in der Gießerei

Simulationen vs. Realität

Michał Szucki¹, Natalia Mrówka¹, Simon Genthe¹, Andreas Zach²



Abb. 1: Beispiel eines Kernpakets für die Herstellung von Abgaskrümmern.

Der globale Wettbewerb sowie stetig steigende Kundenanforderungen stellen die Automobilindustrie vor immer neue Herausforderungen. Höchste Anforderungen an die Produktqualität stehen gleichzeitig einer kosteneffizienten und nachhaltigen Produktion bei kürzesten Taktzeiten entgegen. Um diesen abundant diversen Forderungen gerecht zu werden, sind nicht nur Erfahrung, sondern auch zuverlässige Werkzeuge erforderlich, welche diese steigenden Anforderungen erfüllen können. Dies trifft insbesondere auf den Automotive Sektor in der Gießereibranche zu. Simulationen bilden daher in der heutigen Produktentwicklung und Produktion einen integralen Anteil dieser modernen Technologien. Dank dieser gelingt es neben einer gießgerechten Konstruktion auch Fehler in Gussstücken vorherzusagen und diese im realen Bauteil zu vermeiden, sowie bspw. Kernherstellungsprozesse durch die Wahl bestmöglicher Parameter optimal auszulegen. Die Simulationstechnologie unterstützt dabei die Qualität der Gussprodukte und Produktionsabläufe im Gießereibetrieb weiter zu verbessern. Diese technologischen Möglichkeiten helfen der Gießereibranche nicht nur ihre ökonomischen, sondern ebenfalls wichtigen Umweltziele zu erfüllen.

Kernherstellung

Kerne bilden die oftmals sehr komplexe innere Kontur des Gussteils ab (Abb. 1). Die Herstellung von Gießereikernen erfolgt in zwei Hauptschritten: das Schießen und das Aushärten. Beim

Schießen wird ein Gemisch aus Sand und Luft unter hohem Druck in den Kernkasten eingebracht. Beim Aushärten erhält der Kern seine endgültige Festigkeit. Die gängigsten Kernherstellungstechnologien in Europa sind das Cold-Box- und das Hot-Box-Verfahren, die 64 % bzw. 10 % des Marktes abdecken [1]. Sie werden wegen ihrer hohen Produktionsgeschwindigkeit und der Genauigkeit und guten Oberflächenqualität der damit hergestellten Kerne häufig verwendet. Diese Systeme unterscheiden sich im Mechanismus, der für die Härtung des Kerns verwendet wird. Beim Cold-Box-Verfahren wird der chemische Katalysator, das Amin, zur Aktivierung der Reaktion verwendet, während beim Hot-Box-Verfahren diese Aufgabe das temperierte Werkzeug übernimmt.

Simulation der Kernherstellung

Auch wenn Simulationstechnologien in der Fluid- und Strukturmechanik bereits seit längerem eingesetzt werden, ist die Kernschieß- und (Aushärtungs-)Begasungssimulation eine re-

Kontakt

Michał.Szucki@gi.tu-freiberg.de

- 1 Gießerei-Institut, Bernhard-von-Cotta-Straße 4, 09599 Freiberg,
- 2 Daimler Truck AG, Pattern Shop Foundry, Hanns-Martin-Schleyer-Str. 21-57, 68299 Mannheim

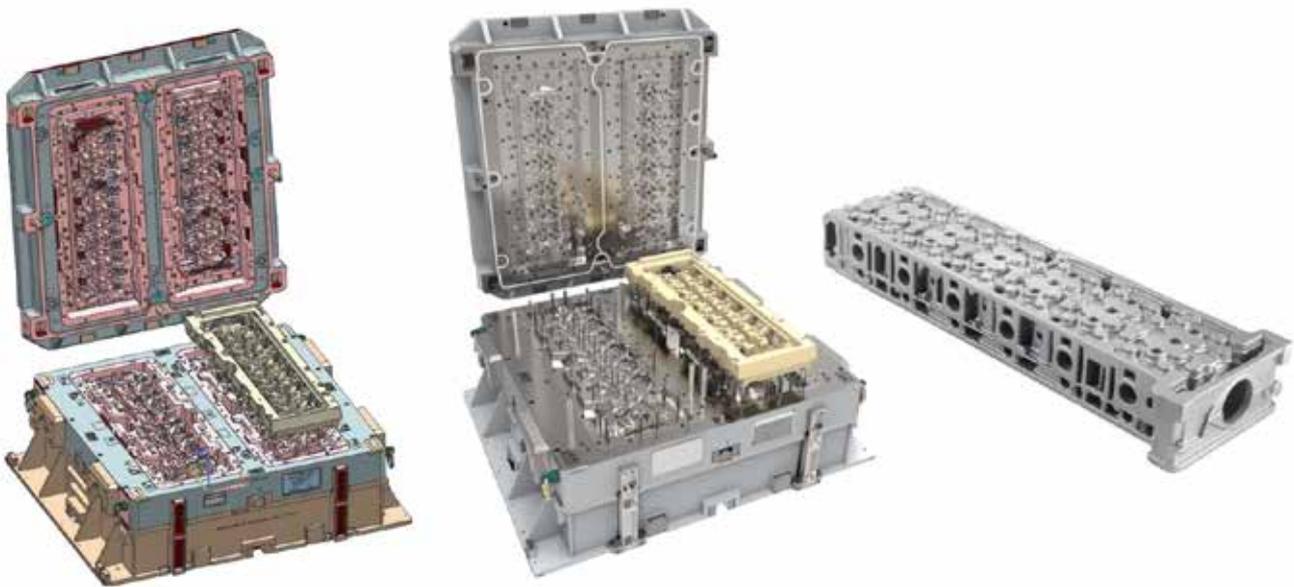


Abb. 2: Zylinderkopf. CAD Geometrie, reales Werkzeug, Gussteil – Quelle: DaimlerTruck AG.

lativ neue Technologie (2013). Diese ermöglicht es durch optimale Werkzeugauslegung, Kerne mit komplexer Geometrie und geringer Wandstärke herzustellen und letztendlich die hohen Anforderungen der Automobilindustrie zu erfüllen. Seit vielen Jahren kooperiert das Gießerei-Institut der TU BAF mit der Daimler Truck AG in unterschiedlichen Forschungsprojekten, die unter anderem auf die Entwicklung von Werkzeugen für die Steuerung und Analyse des Kernherstellungsprozesses abzielen.

Die Simulation der Kernherstellung im Bereich der Automobilindustrie ist komplex. Sie umfasst die Simulation der Zweiphasenströmung (Sand-Luft) während des Schießens und der Zweiphasenströmung (Amin-Luft) in porösen Medien während der Begasung (Cold-Box) mit anschließender katalytischer chemischer Reaktion. Im Fall des Hot-Box-Prozesses wird die chemische Reaktion thermisch ausgelöst.

Derzeit umfassen Simulationen zunehmend nicht nur den Kern selbst, sondern das gesamte Werkzeug (Kernkasten, Begasungsplatte, Schießkopf usw.), welches bei der Kernherstellung verwendet wird (Abb. 2).

Die angewandten Modelle zur Simulation der beiden genannten Technologien unterscheiden sich erheblich. Das Hot-Box-Verfahren erfordert die Simulation eines Wärmeleitungsprozesses, um u. a. den Wärmeübergang vom Metallwerkzeug zum Kernformstoff darzustellen. Das Cold-Box-Verfahren hingegen ist wesentlich komplizierter. Es beinhaltet die Simulation des Katalysatorgasflusses (Amin) vom Begasungskopf zum Kern selbst und durch diesen hindurch, um die lokale Aminverteilung im System zu berechnen.

Da Simulationen Näherungslösungen liefern, besteht ein ständiger Be-

darf, ihre Ergebnisse zu validieren. Dafür steht das Gießerei-Institut in Freiberg in Kontakt mit Industriepartnern wie der Daimler Truck AG, um diese mit neuen und optimierten numerischen Lösungen zu unterstützen und bei Problemen, die die Simulation betreffen, zu helfen.

Validierung der Simulation

Um die Simulationsergebnisse beider Kernherstellungstechnologien zu validieren, entwickelte das Team des Gießerei-Instituts verschiedene Testmethoden. Beim Hot-Box-Verfahren wurden zum Nachweis der korrekten Temperaturverteilung im Inneren des Kerns thermochrome Pigmente eingeführt, die die Farbe ändern, wenn sie einem bestimmten

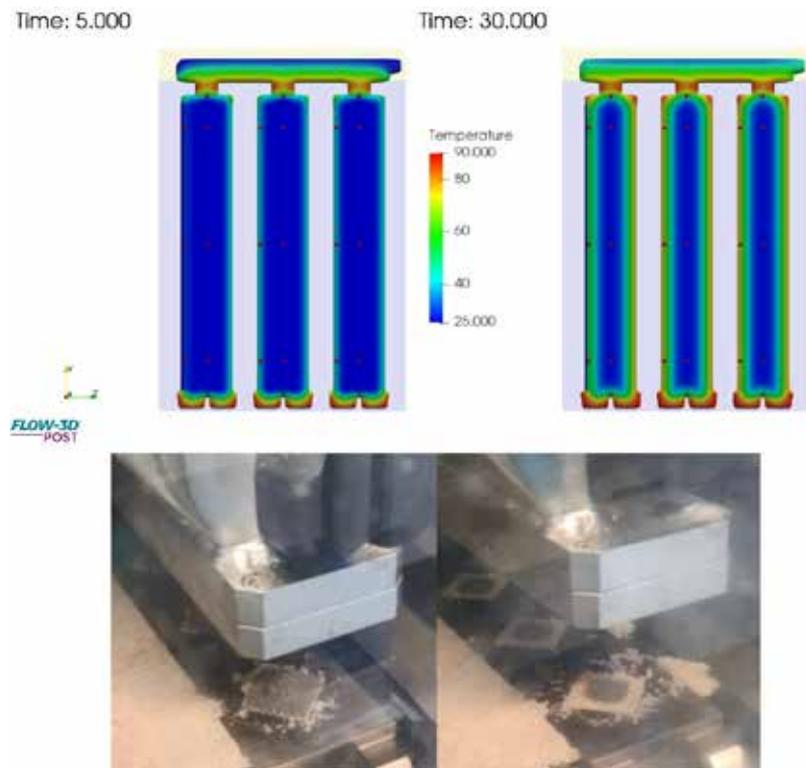


Abb. 3: Hot-Box-Prozess. Simulationsergebnis – obere Abbildung; Versuch mit thermochromen Pigmenten – untere Abbildung.

Temperaturbereich ausgesetzt werden. Auf diese Weise ist es möglich, festzustellen, welcher Teil des Kerns tatsächlich auf die für eine korrekte Aushärtungsreaktion erforderliche Temperatur erhitzt wurde.

Beim Simulieren des Cold-Box-Verfahrens erfolgte bisher eine Konzentration auf die Abschätzung, ob das Amingas auch vollständig aus dem Kern entfernt wurde. Um dies zu überprüfen wurde ein spezieller Ansatz mit der Verwendung einer Phenolphthalein-Lösung entwickelt, die auf die Oberfläche des vollständig ausgehärteten Kerns gesprüht wird; noch im Kernsand vorhandenes Amin wird dabei durch eine Farbreaktion sichtbar (das Amin kondensiert im Kernformstoff, was in den aktuellen Simulationssystemen nicht berücksichtigt wird).

Ergebnisse

Die Simulationsergebnisse (Abb. 3) zeigen die Temperaturverteilung innerhalb des Kerns während des 30 Sekunden andauernden Prozesses. Während dieser Zeit gibt der beheizte Kernkasten seine Wärme an das Sand-Bindemittel-Gemisch ab, wodurch etwa 50 % des gesamten Kernvolumens auf über 50 °C erwärmt werden.

Die Simulationsergebnisse wurden mit einem Labortest verglichen, bei dem ein irreversibles thermochromes Pigment verwendet wurde. Die Eigenschaften dieses speziellen Materials erlauben (nach dem Vermengen mit der Kernsand-Bindemittelmischung) die Beobachtung einer Farbänderung, wenn das Pigment Temperaturen oberhalb von 60 °C ausgesetzt wurde (von schwarz zu farblos). Wie in Abbildung 3 ersichtlich, ist die Veränderung der Sandpigmentierung deutlich erkennbar und kommt den Ergebnissen aus der Simulation sehr nahe. Eine Reihe von Studien hat bestätigt, dass Simulationen des Wärmeübertragungsprozesses bei der Herstellung von Kernen mit der Hot-Box-Methode zuverlässige und korrekte Ergebnisse liefern.

In der Cold-Box-Simulation zeigen die Simulationsergebnisse die Aminkonzentration im Inneren des Kerns (Abb. 4). Die Ergebnisse bestätigen, dass kurz nach Beginn des Begasungsprozesses, Amin im gesamten Volumen des Kerns vorhanden ist. Nach etwas mehr als einer Sekunde des Spülvorgangs mit Luft ist das Amin fast vollständig aus dem Kern entfernt (siehe Abb. 4). Derselbe Prozess wurde in einer Reihe von Versuchen unter Laborbedingungen abgebildet. Die Versuchsergebnisse zeigen jedoch, dass die Simulationsergebnisse noch deutlich von der Realität abweichen. Es ist nicht nur möglich, Aminreste in der begasten Probe nach einer Sekunde Spülzeit zu identifizieren, sondern auch noch nach 20 Sekunden Spülzeit (Abb. 3).

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass aktuelle Simulationen in der Lage sind, die Aminflusskonzentration im Kern zu bestimmen. Leider ist der Prozess wesentlich komplexer und die vorhandenen numerischen Modelle sind

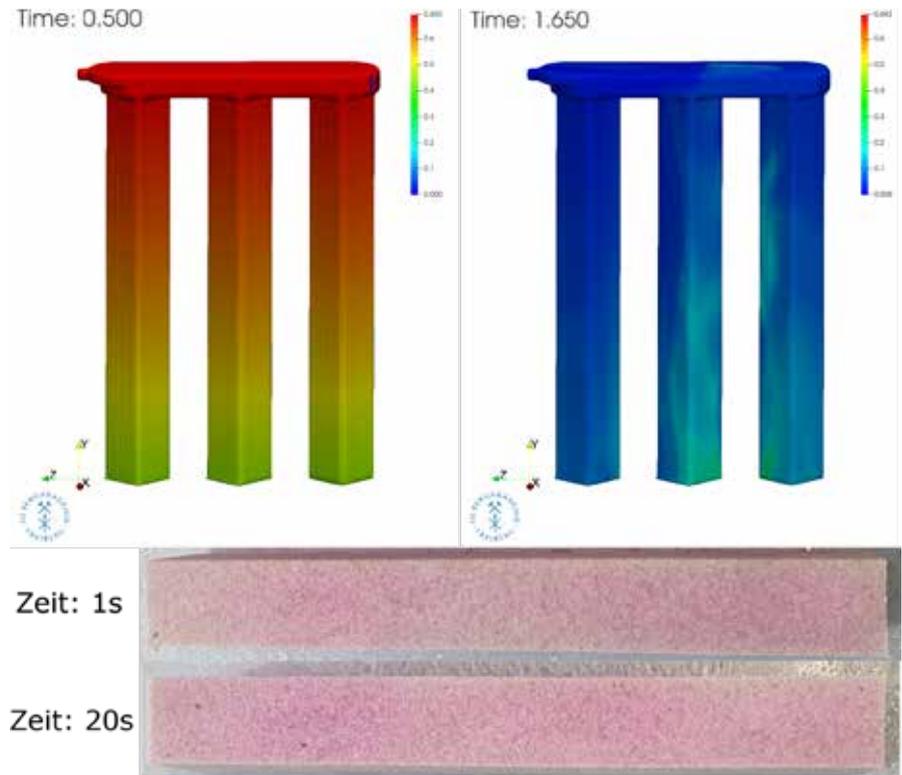


Abb. 4: Cold-Box-Prozess. Simulationsergebnisse – obere Abbildung; Phenolphthalein-Reaktion mit Amin – untere Abbildung.

noch nicht in der Lage, Effekte wie die Gaskondensation im Inneren des Kerns zu simulieren.

Das vorgestellte Verfahren zur Simulationsvalidierung erlaubt es derzeit nicht, die Menge des Amins zu messen. Daher werden derzeit in Zusammenarbeit mit anderen Instituten der TU BAF Lösungen zur Bestimmung der durch den Kern strömenden Aminmenge entwickelt.

Zusammenfassung

Simulationen sind in der Gießerei-Industrie heutzutage unersetzlich. Mithilfe dieser Werkzeuge gelingt es, Prozesse wie das Gießen, Kernschießen, Kernbegasen zu simulieren und stetig zu verbessern. Um den hohen Anforderungen des heutigen Markts gerecht zu werden, ist jedoch ein ständiger Informationsaustausch von Ergebnissen aus Simulationen und Laborversuchen, sowie zu Prozessdaten, Werkzeugen und Produkten essentiell. Nur so ist es möglich, nicht nur die Produktion selbst, sondern sowohl die Prozesswerkzeuge als auch die Simulation zu optimieren, um vollständig innovative, ergonomische und wirtschaftliche Systeme bereitzustellen. Das Gießerei-Institut der TU BAF und insbesondere die dortige Arbeitsgruppe für numerische Simulation unterstützt die Gießerei-Industrie (national und international) auf diesem Gebiet.

Literaturverzeichnis:

- Holtzer, M.; Kamita, A. (2020): *Mold and Core Sands*. In *Metalcasting: Chemistry and Ecology*. 1st ed. 2020. Cham: Springer International Publishing.
- Zach, A. (2019): *Effizienzsteigerung durch innovative und prozessorientierte Werkzeugentwicklung*. Daimler Truck AG, Mercedes-Benz Werk Mannheim. Konferenzbeitrag Ledebur-Kolloquium 2019, Freiberg/Sachsen.

Bilanzierung von bedingten Kaufpreisbestandteilen bei Unternehmenserwerben

Silvia Rogler¹

Bedingte oder auch variable Kaufpreise, wie z.B. Wertsicherungsklauseln und Earn-out-Zahlungen, spielen bei Unternehmenserwerben häufig eine entscheidende Rolle, um die Kaufpreisvorstellungen von Käufer und Verkäufer zusammenzubringen. Dies gilt aktuell mehr denn je. Die Zukunftsaussichten sind nach wie vor unsicher, was sich auf die Zahlungsbereitschaft potentieller Käufer auswirken kann. Bedingte Kaufpreise können dem entgegenwirken, weil sie sowohl positive wie auch negative Entwicklungen berücksichtigen und so einen fairen Interessenausgleich zwischen Käufer und Verkäufer erzielen können: Bei positiver Entwicklung leistet der Käufer zusätzliche Zahlungen, bei negativer Entwicklung weniger (oder keine zusätzlichen) Zahlungen.²

Die Frage der Bilanzierung von bedingten Kaufpreisbestandteilen wird daher weiter an Bedeutung gewinnen. Dies gilt sowohl für den Einzel-, als auch für den Konzernabschluss. Explizite Regelungen gibt es vor allem für den Konzernabschluss, für die internationale Rechnungslegung in IFRS 3 „Unternehmenszusammenschlüsse“, für das deutsche Recht in DRS³ 23 „Kapitalkonsolidierung“. Wenngleich darin teilweise auch die Bilanzierung im Einzelabschluss geregelt ist, bleiben für beide Abschlüsse offene Fragen, die zu klären sind. In diesem Beitrag sollen diese kurz aus Sicht des Erwerbers andiskutiert werden.⁴

Begriff und Arten von bedingten Kaufpreisbestandteilen

Bedingte (oder auch variable) Kaufpreisbestandteile werden weder einheitlich definiert noch klassifiziert. Bei einer umfassenden Abgrenzung umfasst der Begriff alle Vereinbarungen, nach denen der Kaufpreis unter gewissen Bedingungen angepasst wird,⁵ bei engerer Abgrenzung nur Earn-out-Klauseln.⁶ Bei der Bestimmung der potentiellen Ausgleichszahlungen können entweder die Wertverhältnisse zum Erwerbszeitpunkt oder die Wertverhältnisse nach dem Erwerbszeitpunkt relevant sein. Der erste Fall (Wertverhältnisse zum Erwerbszeitpunkt) wird in DRS 23 unter der Überschrift Wertsicherungsklauseln behandelt.⁷ Alternativ wird dieser Sachverhalt auch unter den Begriffen Eigenkapital- und Bilanzgarantie sowie Entschädigungsleistungen diskutiert.⁸ Die Höhe des endgültig zu zahlenden Kaufpreises bestimmt sich hier in Abhängigkeit von der Höhe bestimmter Bilanzposten zum Erwerbszeitpunkt, z.B. des Eigenkapitals. Für den zweiten Fall (Wertverhältnisse nach dem Erwerbszeitpunkt) gibt es keinen übergreifenden Begriff. Beispiele hierfür sind Earn-out-Klauseln⁹ und Kursgarantien¹⁰. Bei Earn-out-Klauseln wird der endgültig zu zahlende Kaufpreis vom (zukünftigen) Erreichen bestimmter Erfolgsziele, z.B. EBIT (earnings before interest and taxes), abhängig gemacht. Kursgarantien beziehen sich auf als Kaufpreisbestandteil hingegebene Anteile.

Bilanzierung von Wertsicherungsklauseln

Mit Hilfe von Wertsicherungsklauseln wird die Unsicherheit über die Entwicklung der Gesellschaft zwischen den Kaufpreisverhandlungen und dem eigentlichen Erwerbszeitpunkt berücksichtigt. Es kommt zu Kaufpreisanpassungen, wenn zum Erwerbszeitpunkt das Nettovermögen oder ein Teil des Nettovermögens des erworbenen Unternehmens einen festgelegten Betrag über- oder unterschreitet (Variante 1) oder der Wert bestimmter Vermögenswerte oder Schulden (einschließlich Eventualverbindlichkeiten¹¹) unter oder über einem bestimmten Betrag liegt (Variante 2).

In IFRS 3 ist nur Variante 2 explizit für den Konzernabschluss geregelt. Danach sind es Entschädigungsleistungen¹², deren Ansatz und Bewertung (Erst- und Folgebewertung) nach den gleichen Grundsätzen erfolgt wie der Ansatz und die Bewertung des zugrunde liegenden Vermögenswerts bzw. der zugrunde liegenden Schuld.¹³ Relevant sind dabei die Einbringlichkeit und die genaue Ausgestaltung der Entschädigung, beispielsweise, ob eine Entschädigung in gleicher Höhe oder nur anteilig erfolgt, ob die Entschädigung stets oder nur bei Überschreitung einer Mindestschwelle zum Tragen kommt.¹⁴ Die Erfassung im Einzelabschluss ist dagegen nicht eindeutig. Da die Entschädigungsleistungen auf einem Vertrag beruhen und i.d.R. auf den Ausgleich in Zahlungsmitteln abzielen, kommt eine Bilanzierung als Finanzinstrument nach IFRS 9 in Betracht. In diesem Fall ist von Anfang an eine Forderung anzusetzen und fortlaufend mit dem Fair Value zu bewerten. Werden sie dagegen als Eventualforderungen klassifiziert, wie auch in der Literatur vertreten,¹⁵ können sie erst als Forderung angesetzt werden, wenn der Anspruch so gut wie sicher ist. Trotz fehlender expliziter Regelung dürfte es bei Variante 1 sachgerecht sein, diese durch Reduktion des Kaufpreises (d.h. Ansatz einer Forderung) bzw. dessen Erhöhung (d.h. Ansatz einer Verbindlichkeit) zu berücksichtigen.¹⁶ Damit verändert sich im Einzelabschluss der Anschaffungspreis bzw. im Konzernabschluss der Goodwill.

In DRS 23 sind beide Varianten von Wertsicherungsklauseln gemeinsam geregelt. Wenn der Verkäufer aufgrund einer Wertsicherungsklausel einen Anpassungsbetrag an den Käufer zahlt, liegt für den Käufer im Einzelabschluss eine Anschaffungspreisminderung i.S.v. § 255 Abs. 1 Satz 3 HGB vor. Kommt es zu Zahlungen des Käufers an den Verkäufer, handelt es sich für den Käufer um nachträgliche Anschaffungskosten i.S.v. § 255 Abs. 1 Satz 2 HGB.¹⁷ Im Konzernabschluss wird die Ausgleichszahlung grundsätzlich mit dem Goodwill verrechnet, da der garantierte Betrag bereits zum Erwerbszeitpunkt nicht eingehalten wurde. Anderes gilt, wenn die Veränderungen der Vermögens- oder Schuldposten in Ereignissen nach dem Erwerbszeitpunkt begründet liegen. Hier ergeben sich keine Auswirkungen

auf die Kapitalkonsolidierung. Ausgleichszahlungen des Verkäufers an das erworbene Unternehmen oder vom erworbenen Unternehmen an den Verkäufer wirken sich dagegen i.d.R. weder auf die Anschaffungskosten des Käufers noch auf die Höhe des (vereinbarten) Eigenkapitals des erworbenen Unternehmens aus.¹⁸

Bilanzierung von Earn-out-Klauseln

Bedingte Gegenleistungen sind nach IFRS allgemein als Verpflichtung des Erwerbers, unter bestimmten Bedingungen zusätzliche Vermögenswerte oder Eigenkapitalanteile dem Verkäufer als Teil des Austauschs für die Beherrschung über das erworbene Unternehmen zu übertragen, definiert.¹⁹ Durch den Bezug auf die „Beherrschung“ dürfen sie keine Vergütungen für künftige Tätigkeiten darstellen. Diese sind getrennt vom Unternehmenserwerb zu bilanzieren.²⁰ Zur Abgrenzung sind in IFRS 3 Indikatoren aufgelistet,²¹ von denen in der Praxis vor allem die Frage relevant ist, ob der Berechtigte zum Erhalt der Zahlung künftig weiter tätig sein muss. In diesem Fall sind die Vergütungen nach IAS 19 oder IFRS 2 aufwandswirksam zu erfassen.

Liegt keine Vergütung für künftige Tätigkeiten vor, wird die bedingte Zahlung im Konzernabschluss im Erwerbszeitpunkt zum Fair Value bewertet und in die Gegenleistung für den Unternehmenserwerb einbezogen.²² Dies beeinflusst die Höhe des Goodwills. Der Ansatz ist unabhängig davon, wie wahrscheinlich der Eintritt ist. Die Wahrscheinlichkeit spielt erst im Rahmen der Bewertung eine Rolle, wobei eine Bewertung zu Null unzulässig ist.²³ Für die Folgebilanzierung ist die Klassifizierung der Earn-out-Zahlungen relevant.²⁴ Bei einer Verpflichtung kann es sich entweder um ein Eigenkapitalinstrument oder eine finanzielle bzw. sonstige Schuld handeln, im (seltenen) Fall des Rechts auf Rückgabe einer zuvor übertragenen Gegenleistung um einen Vermögenswert.²⁵ Bei Eigenkapitalinstrumenten erfolgt keine Neubewertung, bei Vermögenswerten und Schulden ist der Fair Value zu jedem Stichtag neu zu bestimmen und der Differenzbetrag erfolgswirksam zu erfassen. Anderes gilt, wenn ausnahmsweise²⁶ aufgrund von Wert erhellenden Tatsachen während des Bewertungszeitraumes Berichtigungen des im Erwerbszeitpunkt geschätzten Fair Value der bedingten Gegenleistung erforderlich sind. In diesem Fall ist der Differenzbetrag mit dem Goodwill zu verrechnen.²⁷

Aufgrund fehlender Regelungen für den Einzelabschluss ist nach IFRS auf die allgemeinen Vorschriften zurückzugreifen. In der Praxis haben sich für die Bilanzierung von Earn-out-Klauseln zwei verschiedene Vorgehensweisen entwickelt.²⁸ Einerseits Einbezug in die Anschaffungskosten der Anteile am Tochterunternehmen mit dem Fair Value zum Erwerbszeitpunkt, andererseits Bilanzierung erst zum Zeitpunkt des Eintritts. Bei der Erfassung von Wertänderungen der Earn-out-Zahlungen dürfte analog zum Konzernabschluss zwischen Eigenkapitalinstrumenten einerseits und Vermögenswerten oder finanziellen bzw. sonstigen Schulden zu differenzieren sein. Wertänderungen bei Eigenkapitalinstrumenten werden nicht erfasst, da Eigenkapitalinstrumente generell keiner Folgebewertung

unterliegen.²⁹ Schwieriger ist aufgrund der fehlenden Regelung die Erfassung von Wertänderungen bei Vermögenswerten oder Schulden. Hier existieren unterschiedliche Auffassungen. Die Extremfälle sind vollständige ergebniswirksame Erfassung und vollständige Behandlung als nachträgliche Anschaffungskosten, der Zwischenfall teilweise ergebniswirksame Erfassung.³⁰

Auch nach HGB bzw. DRS 23 ist bei Earn-out-Klauseln zunächst zu überprüfen, ob tatsächlich ein Earn-out-Kaufpreis vorliegt oder eine Vergütung für künftige Tätigkeiten, z.B. für die weitere Übernahme der Geschäftsführung. Eine Vergütung künftiger Tätigkeiten ist ebenfalls aufwandswirksam zu erfassen. Liegt tatsächlich ein Earn-out-Kaufpreis vor, sind im Erwerbszeitpunkt die voraussichtlichen Zahlungen des Käufers an den Verkäufer in Höhe ihres Barwertes als Anschaffungskosten der Anteile zu berücksichtigen und gleichzeitig in gleicher Höhe eine Rückstellung zu passivieren.³¹ Voraussetzung ist, dass die Zahlungen verlässlich bewertbar sind und ihr Eintritt wahrscheinlich ist.³² Ist dies nicht der Fall, erfolgt zunächst kein Ansatz, sondern erst bei Erfüllung der Voraussetzungen als nachträgliche Anschaffungskosten. Werden Ergebnisgrößen (voraussichtlich) nicht mehr oder in stärkerem Ausmaß als zunächst erwartet erreicht, sind die Anschaffungskosten zu vermindern oder zu erhöhen, wobei der Barwert zum Erwerbszeitpunkt zu bestimmen ist. Da die gleichzeitig auszubuchende bzw. zu erhöhende Rückstellung nur auf den (späteren) Zeitpunkt der Passivierung abzuführen ist, weichen die Beträge voneinander ab. Der Differenzbetrag ist als Zinsaufwand zu erfassen.³³ In DRS 23 sind für Earn-out-Klauseln nur Zahlungen des Käufers an den Verkäufer geregelt, nicht dagegen der umgekehrte Fall, d.h. Zahlungen des Verkäufers an den Käufer. Daraus könnte geschlossen werden, dass im Erwerbszeitpunkt noch kein Ansatz erfolgen darf. Dieses Vorgehen würde dem Gewinnrealisationsprinzip des HGB entsprechen. Hoffmann/Lüdenbach empfehlen aber trotzdem eine paritätische Erfassung.³⁴ Spätestens bei Realisierung handelt es sich um (nachträgliche) Anschaffungskostenminderungen.³⁵

Bilanzierung von Kursgarantien

Wird der Kaufpreis (teilweise) in eigenen Aktien des Erwerbers erbracht, können diese bis zum Erwerbszeitpunkt an Wert verlieren. Zur Minderung dieses Risikos für den Verkäufer kann der Erwerber eine Kursgarantie abgeben, üblicherweise in Form eines Barausgleichs bei Unterschreitung des Mindestwerts bzw. der Gewährung einer variablen Anzahl von Anteilen. Daraus folgt, dass sie als finanzielle Schulden zu klassifizieren sind.³⁶ Auch wenn konkrete Regelungen fehlen, dürfte die Bilanzierung nach IFRS dem Vorgehen bei als finanzielle Schulden klassifizierten Earn-out-Zahlungen entsprechen.³⁷

Auch im HGB bzw. DRS 23 ist die Bilanzierung von Kursgarantien nicht explizit geregelt. Deshalb sind die allgemeinen Bilanzierungsregeln anzuwenden. Da der Käufer zur Leistung eines Ausgleichs an den Verkäufer verpflichtet ist, wenn die als Teil des Kaufpreises hingegebenen Anteile innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums einen vorgegebenen Mindestwert

unterschreiten, dürfte dafür im Einzelabschluss eine Verpflichtung zu passivieren sein. Eine Auswirkung der Kursgarantie auf die Anschaffungskosten für die Anteile dürfte sich nicht ergeben, da sich diese grundsätzlich nach dem Wert der hingegebenen Anteile zum Erwerbszeitpunkt bemessen.³⁸ Damit erfolgt im Konzernabschluss eine ergebniswirksame Erfassung der Kursgarantie und keine Anpassung des Goodwills.³⁹

Fazit

Bedingte Kaufpreisbestandteile geben beiden Parteien, Käufer und Verkäufer, mehr Sicherheit und werden deshalb vor allem in Zeiten hoher Unsicherheit über die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung vereinbart. Üblich sind in der Praxis vor allem Earn-out-Klauseln. Der Vorteil für den Käufer liegt darin, dass er nur dann den erhöhten Kaufpreis zahlt, wenn die Zielwerte tatsächlich erreicht werden. Zudem muss er i.d.R. nicht sofort den gesamten Kaufpreis zahlen und hat somit einen Finanzierungseffekt.⁴⁰ Bedingte Kaufpreisbestandteile können aber auch für den Verkäufer vorteilhaft sein. Sofern es sich um ein sich gut entwickelndes Unternehmen handelt, wird er oftmals einen insgesamt höheren Kaufpreis realisieren können.

Der Vergleich der Regelungen in IFRS 3 und DRS 23 zeigt, dass beide Rahmenkonzepte gewisse Lücken aufweisen. Nicht geregelt sind in IFRS 3 z.B. Ausgleichszahlungen, die geleistet werden, wenn das Nettovermögen bzw. ein Teil des Nettovermögens des erworbenen Unternehmens zum Erwerbszeitpunkt einen festgelegten Betrag über- oder unterschreitet. In DRS 23 ist u.a. nicht explizit geregelt, wie die Abgrenzung zwischen Earn-out-Klauseln und Vergütungen für künftige Tätigkeiten vorzunehmen ist. Zwischen den beiden Rechnungslegungsregimen gibt es darüber hinaus punktuelle Unterschiede, z.B. bei Earn-out-Zahlungen im Hinblick auf die erforderliche Wahrscheinlichkeit beim Ansatz, die Klassifizierung in verschiedene Arten oder die Höhe des erfolgswirksamen Anteils bei der Folgebewertung. Weiterhin kann die Vergleichbarkeit durch bestehende Ermessensspielräume eingeschränkt sein. Dies gilt nicht nur zwischen Unternehmen, die IFRS oder HGB/DRS anwenden, sondern auch zwischen Unternehmen, die jeweils nach den gleichen Rechnungslegungsvorschriften bilanzieren.

1 TU Bergakademie Freiberg, Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Rechnungswesen und Controlling.

2 Vgl. IFRS (International Financial Reporting Standard) 3.BC348.

3 Vgl. ausführlicher Richter/Rogler, Bedingte Kaufpreisbestandteile bei Unternehmenserwerben – Bilanzierung beim Erwerber, in: Die Wirtschaftsprüfung Nr. 17/2021, S. 1074-1081 (IFRS) und Nr. 19/2021, S. 1207-1213 (HGB).

4 Zwei ausführliche Beiträge mit vielen Beispielen (HGB und IFRS) erscheinen demnächst in der Zeitschrift „Die Wirtschaftsprüfung“ zusammen mit WP Dr. Frank Richter.

5 Vgl. Hoffmann/Lüdenbach, NWB-Kommentar Bilanzierung, 11. Aufl., Herne 2019, § 301, Rn. 36 ff., die dafür den Begriff Kaufpreisanpassungsklauseln verwenden.

6 Vgl. Theile/Behling, in: Heuser/Theile (Hrsg.), IFRS-Handbuch, 6. Aufl., Köln 2019, Kap. 36, Rn. 36.70.

7 Vgl. DRS 23.29. Der Begriff Wertsicherungsklausel wird auch in anderen Zusammenhängen verwendet, z.B. für Verbindlichkeiten, bei denen eine Indexierung vereinbart wird; vgl. Hoffmann/Lüdenbach, a.a.O. (Fn. 4), § 253, Rn. 39.

8 Vgl. Lüdenbach/Hoffmann/Freiberg, Haufe IFRS Kommentar, 19. Aufl., Freiburg 2021, § 31, Rn. 46 und 53 f.; Hoffmann/Lüdenbach, a.a.O. (Fn. 4), § 255 HGB, Rn. 80, sowie § 301 HGB, Rn. 36; Theile/Behling, a.a.O. (Fn. 5), Kap. 36, Rn. 36.76 f. Fey/Deubert verwenden zudem die Begriffe „Garantieklausel“ und „Besserungsklausel“; vgl. Fey/Deubert, BB 2012, S. 1462.

9 Vgl. Weiser, WPg 2005, S. 271.

10 Diese Garantien werden von Theile/Behling, a.a.O. (Fn. 5), Kap. 36, Rn. 36.75 unter der Überschrift Wertsicherungsklauseln behandelt.

11 Vgl. KPMG, Insights into IFRS 2019/20, London 2019, Rn. 2.6.670.30.

12 Vgl. zum Vorrang der Bilanzierung als Entschädigungsleistung Küting/Metz, KoR 2012, S. 402.

13 Vgl. IFRS 3.27 f. und 3.57; Theile/Behling, a.a.O. (Fn. 5), Kap. 36, Rn. 36.77.

14 Vgl. auch EY, International GAAP, Chichester 2020, Ch. 9, 5.6.4.

15 Vgl. PwC, Manual of Accounting, London 2020, FAQ 28.18.1.

16 Vgl. auch Lüdenbach/Hoffmann/Freiberg, a.a.O. (Fn. 7), § 31, Rn. 53.

17 Vgl. DRS 23.29.

18 Vgl. DRS 23.30.

19 Vgl. IFRS 2, Anhang A.

20 Vgl. EY, a.a.O. (Fn. 13), Ch. 9, 11.2.1.

21 Vgl. IFRS 3.B50 und .B55.

22 Vgl. IFRS 3.39.

23 Vgl. IFRS 3.BC349.

24 Vgl. IFRS 3.58 u. 3.BC360E; Senger/Brune, in: Beck'sches IFRS-Handbuch, 6. Aufl., München 2020, § 34, Rn. 222; Theile/Behling, a.a.O. (Fn. 5), IFRS 3, Rn. 36.71.

25 Vgl. IFRS 3.40.

26 In der Regel sind Wertänderungen von Earn-out-Zahlungen durch Ereignisse nach dem Erwerbszeitpunkt begründet bzw. werden mangels genauer Abgrenzbarkeit als solche behandelt. Vgl. IFRS 3.BC357.

27 Vgl. IFRS 3.58 i.V.m. IFRS 3.45 ff.; Senger/Brune, a.a.O. (Fn. 23), § 34, Rn. 222.

28 Vgl. EY, a.a.O. (Fn. 13), Ch. 8, 2.1.1. Die Diskussionen zu bedingten Kaufpreisen bei immateriellen Vermögenswerten und Sachanlagen sind auf Anteile an Tochterunternehmen im Einzelabschluss des Mutterunternehmens übertragbar. Vgl. zudem Richter, IRZ 2016, S. 248 ff.

29 Vgl. z.B. KPMG, a.a.O. (Fn. 10), Rn. 7.3.400.30.

30 gl. Richter, IRZ 2016, S. 249 f.; Lüdenbach/Hoffmann/Freiberg, a.a.O. (Fn. 7), § 32, Rn. 179. Dies gilt grundsätzlich auch für Vermögenswerte, siehe IFRS 3.BC360E.

31 Ebenso Fey/Deubert, BB 2012, S. 1465.

32 Vgl. DRS 23.31; Schubert/Gadek, a.a.O. (Fn. 4), § 255, Rn. 66; Müller, a.a.O. (Fn. 6), § 301, Rn. 39.

33 Vgl. DRS 23.32.

34 Hoffmann/Lüdenbach

35 Vgl. Schubert/Gadek, in: Beck Bil-Komm., 12. Aufl., München 2020, § 255 HGB, Rn. 64; Hoffmann/Lüdenbach, a.a.O. (Fn. 4), § 255 HGB, Rn. 87.

36 Vgl. IAS 32.11.

37 Vgl. Lüdenbach/Hoffmann/Freiberg, a.a.O. (Fn. 7), § 31, Rn. 51. Theile/Behling, a.a.O. (Fn. 5), IFRS 3, Rn. 36.75 (mit a.A. bezüglich der Gewährung einer variablen Anzahl von Anteilen).

38 Vgl. Fey/Deubert, BB 2012, S. 1463. Vgl. zudem Schubert/Gadek, a.a.O. (Fn. 30), § 255, Rn. 65 zu reinen Wertänderungsklauseln beim Erwerb auf Rentenbasis.

39 Vgl. Störk/Deubert, in: Beck Bil-Komm., 12. Aufl., München 2020, § 301, Rn. 257.

40 Vgl. Weiser, WPg 2005, S. 271.

Genderforschung an der TU Bergakademie Freiberg

Nachwuchs forscht im Projektverbund von fünf Hochschulen

Jonathan Biehl, Karina Sopp, Jutta Stumpf-Wollersheim

Im Zuge des wachsenden gesellschaftlichen Bewusstseins für die Ungleichheiten bei der Geschlechterpartizipation hat sich der Europäische Sozialfonds (ESF) zum Ziel gesetzt, etwas dafür zu tun, dass sich Männer und Frauen gleichermaßen von Programmangeboten angesprochen fühlen. Eine interne Prüfung ergab jedoch, dass – über Promotionen, Studienerfolgsprojekte (SEP) und Nachwuchsforschergruppen (NFG) hinweg – nur etwa ein Drittel der durch den ESF geförderten Personen in Sachsen weiblich ist. Eine eigens dieses Problem aufgreifende NFG begibt sich nun auf Spurensuche.

Eine interdisziplinäre Gruppe aus Psycholog*innen sowie Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler*innen fünf sächsischer Hochschulen (TU BAF sowie HS Mittweida, HS Zittau/Görlitz, TU Chemnitz und TU Dresden) untersucht die verschiedenen Gründe für die deutlich unterschiedliche Partizipation der Geschlechter an Projekten des ESF in Sachsen. Hierbei liegt der Fokus zwar insbesondere auf einer Analyse der Entwicklung in den Systemen Hochschule und dem ESF als Förderer bzw. Stipendienggeber. Es werden jedoch auch individuelle Motivationen der Personen in der jeweiligen Zielgruppe sowie gesamtgesellschaftliche Ursachen für dieses Ungleichgewicht (insbesondere mittels einer Sozialstrukturanalyse) untersucht. Mit Hilfe einer Ursachenforschung soll zudem der trotz expliziter Förderungen immer noch zu geringe Frauenanteil in Führungspositionen im Wissenschaftsbetrieb in Deutschland herausgearbeitet werden.

Auf diesen Untersuchungen aufbauend sollen Ankerpunkte identifiziert werden, an denen Hochschulen oder Stipendienggeber ansetzen können, um entsprechend gegenzusteuern. Die Relevanz des Projekts liegt insofern nicht nur arbeitsmarktpolitisch begründet, sondern ist auch allgemeingesellschaftlicher und somit soziostruktureller Natur.

Die Technische Universität Bergakademie Freiberg fokussiert sich seit Oktober 2020 unter wissenschaftlicher Leitung der Professorinnen Karina Sopp und Jutta Stumpf-Wollersheim insbesondere auf die individuellen Aspekte des Recruitings und der Motivation von Kandidat*innen, sich für oder gegen die Teilnahme an einem ESF-Projekt zu entscheiden. Zu diesem Zweck werden Fokusgruppen, Experteninterviews und Fragebögen vorbereitet, um in einem explorativen Vorgehen tieferliegende Beweggründe für das Entscheidungsverhalten von Student*innen, aber auch von Doktorand*innen oder generell von Nachwuchswissenschaftler*innen zu erforschen. Gleichzeitig sollen durch Erhebung quantitativer Größen verschiedene Hypothesen überprüft werden, die die systematische Unterschiedlichkeit der Entscheidungen von Frauen und Männern näher beleuchten und insbesondere erklären, was einzelne, spezifische Aspekte von Stellenausschreibungen betrifft. Welche Rolle nimmt beispielsweise die Nutzung des generischen Maskulinums bei der Ausschreibung von Stellen ein? Bewerben sich Frauen und Männer unterschiedlich – in Abhängigkeit davon, ob es um eine zeitlich befristete oder um eine unbefristete Stelle geht? Welche Rolle spielen informelle Netzwerke im akademischen Bereich bei der Besetzung einer Stelle mit einer/einem wissenschaftlichen

Mitarbeiter*in? Wie groß ist der Anteil der Motive, der die Unterschiede allein durch divergierende Präferenzen der Geschlechter erklärt? Solchen und weiteren Fragen wird im Rahmen des Projekts nachgegangen, um die Voraussetzungen für eine geschlechtergerechte akademische Landschaft zu identifizieren und fördern zu können.

Neben Jonathan Biehl, der bereits seit Beginn des Projekts in die Arbeiten involviert ist, nahmen im Mai 2021 zwei wissenschaftliche Mitarbeiterinnen ihre Arbeit in der Nachwuchsgruppe an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg auf. Sie leisten mittels Organisations- und Dokumentenanalysen zu den untersuchten Organisationen wertvolle Forschungsarbeit für das Verbundprojekt. So können teilweise schon die bisherigen Disparitäten in den Partizipationsverhältnissen erklärt werden, um danach bis zum Ende der Projektlaufzeit im September 2022 Stück für Stück das Mosaik der Gründe für die Unausgewogenheit der Geschlechterrelationen zusammensetzen.



Die Nachwuchsforscher*innen der sächsischen Hochschulen im Zoom-Meeting: Dr. Jana Pieper (TU Dresden), Jonathan Biehl, Meike Scholz (beide TU Bergakademie Freiberg), Christina Madry (HS Mittweida), Ragna Reinhardt (HS Zittau/Görlitz), Melia Beckmann (TU Dresden), Elfi Lange (TU Bergakademie Freiberg), Diana Heinbucher (TU Chemnitz), Stephanie Burger (TU Dresden) – Fotograf: Jonathan Biehl

Kontakt

Jonathan Biehl, Zi. 2.209, Schloßplatz 1a, 09599 Freiberg,
jonathan.biehl@bwl.tu-freiberg.de

- 1 Die Nutzung des generischen Maskulinums führt bei Rezipienten zur Konstruktion mentaler Modelle, in welchen der entsprechende Beruf als männlich konnotiert wird bzw. eine männliche Person diesen ausübt (siehe z.B. Braun, Sczesny, & Stahlberg, 2005).
- 2 Die Datenlage zu Geschlechterunterschieden beim Jobsicherheitsbedürfnis ist widersprüchlich (z.B. Aletraris, 2010; Kim, 2005; Rowe & Snizek, 1995). Es ist aber denkbar, dass Frauen auch aufgrund der Abkehr von traditionellen Geschlechterverhältnissen größeren Wert auf eine sichere Arbeit legen als früher.
- 3 Van den Brink und Benschop (2013) argumentieren, dass männliche Verhaltensweisen auch in Akademiker-Netzwerken das Vorankommen von Frauen zu einer Professur erschweren.
- 4 Eine egalitäre Gesellschaft führt zu stärker manifestierten Geschlechterunterschieden in Bezug auf die Berufswahl (Falk & Hermle, 2018). Dies bedeutet, dass die Geschlechterunterschiede bei der Berufswahl in einem Land wie beispielsweise Schweden stärker ausgeprägt sind als in einem eher stark patriarchalisch geprägten Land wie Indien. Die bessere Verfügbarkeit relevanter Ressourcen senkt die Relevanz des Lebensunterhalts und ermöglicht so erst die Auswahl entlang geschlechtsspezifischer Präferenzen.

Der Maschinenbau von Morgen

Funktionale Integration und Nutzerunterstützung in teilautonomen Systemen

Martin Sobczyk

Vernetzte mobile Arbeitsmaschinen – ein Handlungsauftrag

«Vernetzte mobile Arbeitsmaschinen» – unter diesem breit gefassten Titel wurde Mitte 2019 die neue Professur am Institut für Maschinenbau eingerichtet. Inhaltlich umfasst dieser Arbeitstitel eine große thematische Breite, die die Herausforderungen für den Maschinenbau von morgen, speziell für den Bergbaumaschinenbau, aufnehmen soll. Innovation und Nutzung neuer Technologien haben im Bergbaumaschinenbau eine lange Tradition. Neben den Fragen, wie vor allem für den Nutzer, den Bergmann, die Arbeit sicherer und nach Möglichkeit auch leichter werden kann, ermöglichen Elektrifizierung und Digitalisierung völlig neue Möglichkeiten. «Remote work» – die Entkopplung von Arbeitsstelle und Ausführungsort, ist eben nicht nur ein Thema der klassischen Büroarbeit, sondern kann gerade im Bergbau neue Perspektiven für den Maschineneinsatz ermöglichen. In Forschung und Lehre lassen sich damit viele Fragestellungen neu angehen, die von jeher den Bergbau beschäftigen: Wie kann mit minimal-invasiven, kleinen Geräten ein möglichst schonender, abraumloser Bergbau betrieben werden? Wie können Arbeitsvorgänge in schwierigen oder nicht zugänglichen Bereichen – in der Tiefsee, bei Gefahrstoffen, auf Monden und Planeten – teilautonom und mit hoher Sicherheit ausgeführt werden? Und nicht zuletzt: Wie kann der Bergbau auch künftig seinen Beitrag zu nachhaltiger und ressourcenschonender Wirtschaft leisten und die Rohstoffe bereitstellen, die die Welt von morgen benötigt? Mit der beschlossenen Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft entfallen die in Deutschland sehr traditionsreichen Felder der Kohlegewinnung und Verarbeitung, gleichzeitig entstehen neue Herausforderungen für die Gewinnung der Rohstoffe für die benötigten neuen Energieträger.

Der Maschinenbau hat in Freiberg eine lange Tradition. Seit Gründung der Bergakademie Freiberg war die «Maschinenkunde» ein fester Bestandteil des Curriculums, der die Maschinenteknik für die Förderung und die Aufbereitung mineralischer Rohstoffe sowie die notwendigen Hilfseinrichtungen umfasste. Der technische Fortschritt und die wachsende Bedeutung des allgemeinen Maschinenbaus und seiner im Zuge der industriellen Revolution weitergehenden Differenzierung spiegeln sich auch in der immer breiteren maschinenbaulichen Ausbildung an der Bergakademie wieder, nicht zuletzt mit der Gründung des Instituts für Bergbaumaschinen 1954, dem Umzug in den Weißbachbau 1960 und der Aufteilung in die Bereiche Gewinnungs- und Aufbereitungsmaschinen. Das heutige Institut für Maschinenbau (IMB) entstand schließlich im Jahr 1991; und mit der Ausgründung der Aufbereitungsmaschinen 1996 in ein eigenes Institut umfasste dies die Lehre und Forschung für die Gewinnungstechnik, Bergbaumaschinen und die Spezialtiefbautechnik. Mit der Neuausschreibung der mehrere Jahre vakanten Professur ab 2017 unter dem Arbeitstitel «Vernetzte mobile Arbeitsmaschinen», die gemeinsam mit dem VDMA und dessen For-

schungsvereinigung Baumaschinen und Baustoffanlagen (FVB) erfolgte, wurde der Auftrag verbunden, unter Beibehaltung der bisherigen Exzellenz in den Fachbereichen der Gewinnungs- und Spezialtiefbautechnik Elemente der «Industrie 4.0» – besonders der Elektrifizierung von Antrieben, die Nutzung und automatisierte Aufbereitung von Daten und die Visualisierung für eine weiter verbesserte Bedienung von teil-autonomen Systemen – in die Lehrstuhlufgaben zu übernehmen und die Ausbildung um methodische Kompetenzen entlang der aktuellen Industriestandards zu erweitern. Die Professur wurde zum 1. Juli 2019 mit der Berufung von Dr. Martin Sobczyk neu besetzt. Das Institut befindet sich im historischen Gebäude zwischen Karl-Kegel-Bau und Eisenhütteninstitut an der Leipziger Straße (Abb. 1). Inzwischen wurden die bestehenden Haushaltsstellen weitgehend besetzt und erste Projekte erfolgreich eingeworben.



Abbildung 1: Das Institutsgebäude an der Leipziger Straße, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vlnr.: Swen Aurich, Steffen Weinhold, Uwe Engmann, Prof. Dr.-Ing. Martin Sobczyk, Ramona Primm und Dr.-Ing. Lothar Schumacher

Das Institut ist Mitglied der Forschungsvereinigung Baumaschinen und Baustoffanlagen (FVB) sowie der Deep Sea Mining Alliance (DSMA), einem Zusammenschluss, der im Bereich der Forschung und Entwicklung von Anlagen für den Einsatz in der Tiefsee tätigen Forschungseinrichtungen und Unternehmen.

Erste Schritte – Profilbildung und Lehraufgaben

Der Neuaufbau des Institutes begann mit der Überarbeitung des Lehrangebots zum Wintersemester 2019/20. Beibehalten wurden alle Lehrveranstaltungen zu Komponenten und Konstruktion von Gewinnungs- und Baumaschinen, die durch Dr. Lothar Schumacher vertreten werden. Dazu wurde sukzessiv die Verantwortung für die Tunnelbautechnik und Spezialtiefbaumaschinen übernommen und die entsprechenden Angebote in den Vorlesungskanon integriert, so dass der gesamte Umfang des Fachgebiets jetzt am IMB angesiedelt ist.

Kontakt

Martin.Sobczyk@imb.tu-freiberg.de
Institut für Maschinenbau, Professur Vernetzte mobile Arbeitsmaschinen

Parallel wurden neue Lehrveranstaltungen konzipiert, die die drei inhaltlichen Schwerpunkte

- ingenieurmäßige Grundlagen
- fachliche Vertiefung
- methodische Kompetenz

in der Ausbildung vermitteln sollen. Im Einzelnen waren dies die Lehrveranstaltungen zur Messtechnik im Grundstudium, die um eine Lehrveranstaltung zur Qualitätssicherung und zum Qualitätsmanagement auf Grundlage der DIN 9001:2015 im Hauptstudium erweitert wurden. Die Messtechnik selbst geht in einem erweiterten Modul zur Mess- und Regelungstechnik auf, das ab dem Sommer 2022 erstmalig als institutsübergreifende Lehrveranstaltung angeboten wird. Die Lehrveranstaltungen Projektmanagement und Integrierte Produktentwicklung im Hauptstudium legen die methodischen Grundlagen für die eigenständige Bearbeitung von Projekten in interdisziplinären Teams auf Basis der VDI2221 sowie der ICB4.0 der IPMA, in denen vorlesungsbegleitend durch die Studenten Projekte erarbeitet werden. Zielsetzung ist hier, durch die Arbeit an kleinen, eigenen Projekten die Elemente kreativer und strukturierter Projektarbeit kennen zu lernen und Methoden zur Unterstützung einer systematischen Lösungsfindung spielerisch ausprobieren zu können. Unterstützt wird dies durch den inzwischen angeschafften 3D-Drucker, der den Studenten die Möglichkeit bietet, direkt und unkompliziert erste Ansichts- und Funktionsmuster direkt im Rahmen von Praktika und Seminaren zu erstellen (Abb. 2).



Abbildung 2: Mehr-Komponenten-3D-Drucker für die Herstellung erster Funktionsmuster im Rahmen studentischer Arbeiten und für Ansichtsmodelle komplexer mechanischer Aufbauten

Mit der Erweiterung des Forschungs-Portfolios sowie dem personellen Aufbau kann nun das Vorlesungs- und Seminarangebot in Richtung strukturierter Datenanalyse und Integrierter Systeme als eigene Lehrveranstaltungen ausgebaut werden, in denen zukünftig die Möglichkeiten der statistischen Versuchsplanung und der Datenanalyse mittels JMP und MathLab sowie der Nutzung von Kalman-Filtern vermittelt werden.

Mitten im Aufbau und in der Neukonzeption erforderte das Corona-Jahr 2020 ein sehr schnelles Reagieren auf die geän-

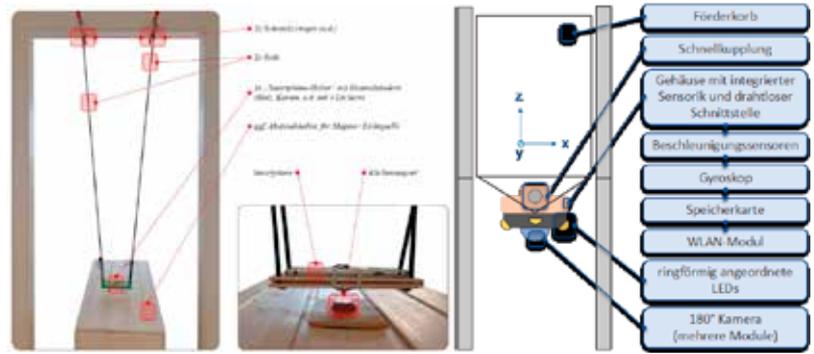


Abbildung 3: Versuchsaufbau für das Online-Praktikum «Das Smartphone als Messsystem» sowie Konzept des Sensorsystems zur Wegmessung mittels Beschleunigungssensoren

derte Situation und eine Neuorientierung hin zu rein digitalen Formaten. Was für die Vorlesungen als Veranstaltungen reiner Wissensvermittlung recht zügig möglich war und vor allem Experimente mit den unterschiedlichen Anbietern von Konferenz-Software erforderte, war für die Inhalte der Praktika eine große Herausforderung. Gerade in den Praktika soll ja Wissen im Wortsinne durch «Begreifen» vermittelt werden, und gerade bei den kopfstarken Grundstudiumsveranstaltungen stellte sich die Frage, wie unter Einhaltung aller Schutzmaßnahmen eine sinnvolle praktische Beschäftigung mit den Fragen der Vorlesung erfolgen konnte. Mit viel Engagement und Einsatz entstand unter der Leitung von Steffen Weinhold ein Konzept für ein digitales messtechnisches Praktikum, das die Studenten in online-Kursen und zu Hause absolvieren können.

Kern ist dabei die Nutzung des eigenen Smartphones als Messgerät. Aktuelle Smartphones enthalten eine Vielzahl unterschiedlicher Sensoren, die in der Elektrischen Messtechnik eine Rolle spielen. Das sind zum Beispiel Beschleunigungssensoren, die das kapazitive Messprinzip nutzen, oder Magnetfeldsensoren auf Basis des Hall-Prinzips.

Durch Nutzung der von der RWTH Aachen entwickelten Software Phyphox lassen sich diese gezielt ansprechen, für eigene Experimente im heimischen Umfeld nutzen und die sensorisch erfassten Daten zur Weiterbearbeitung in anderen Programmen auslesen, so dass Integrations- und Differentiations-Operationen oder auch eine Fourier-Transformation durchgeführt werden können.

Kern des so entwickelten Praktikums war ein Pendelschwingversuch, dessen Vorbereitung, Analyse und Auswertung den Studenten einen durchaus tiefen Einblick in die Möglichkeiten ihres Smartphones gab und die Kenntnis über dieses deutlich vertiefte. In einer daraus entstandenen Studienarbeit konnte bestätigt werden, dass mit einem einfachen Messaufbau unter Nutzung der Beschleunigungssensoren die Teufe der 1. Sohle der Reichen Zeche bei 146,35 m auf einen Zentimeter genau sicher elektronisch gemessen werden kann (Abb. 3).

Eine weitere erfolgreiche studentische Arbeit war die Wiederbetriebnahme des noch vorhandenen Pendelschlagwerks. Hier bestand die Herausforderung darin, die bestehende Anlage zunächst zu analysieren und das vorhandene Wissen zusammen zu tragen. Dann galt es, Lösungen zu finden, wie durch Erneuerung von Teilen der Mechanik sowie Konzeption von Sensorik und Elektronik für die Steuerung eine dem aktuellen Stand der Technik entsprechende Anlage geschaffen werden kann (Abb. (4)). Die-

se steht jetzt für die Ausbildung von Studenten in Praktika zur Nutzung von Dehnmessstreifen für die Kraftmessung zur Verfügung und kann darüber hinaus für die Forschung für Pendelschlagversuche zur Bestimmung bruchmechanischer Eigenschaften verschiedener Werkstoffe eingesetzt werden.

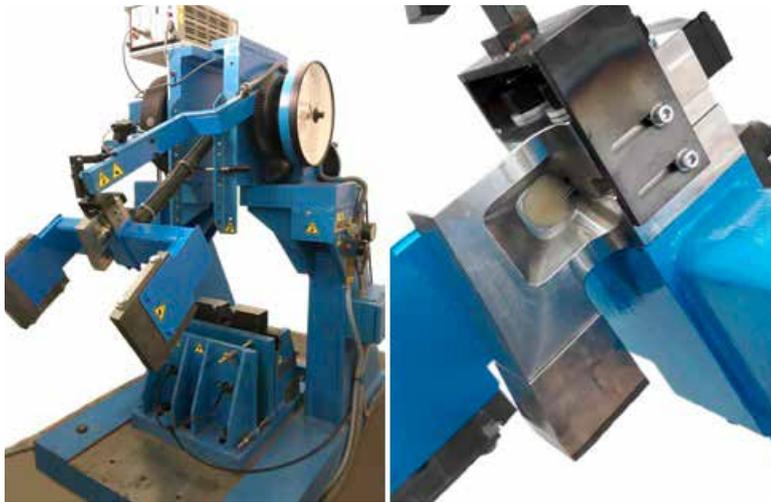


Abbildung 4: Pendelschlagwerk zur Bestimmung bruchmechanischer Eigenschaften von Werkstoffen sowie für das Messtechnische Praktikum zur Bestimmung von Kräften mittels Dehnmessstreifen

Neben den Vorlesungen, Praktika und Seminaren spielen studentische Arbeiten eine große Rolle in der Ausbildung. Gerade im Maschinenbau hat dabei die Kooperation mit Unternehmen der Branche eine wichtige Funktion, die Studenten einerseits an praktische Fragestellungen der Industrie heranführen und andererseits die Studenten auf einen Übergang vom Studium in die ersten beruflichen Schritte vorbereiten soll.

Hier konnten einerseits bestehende Kooperationen zu namhaften Unternehmen des Bergbaumaschinenbaus fortgesetzt werden, gleichzeitig auch neue vor allem im Bereich des Automobilbaus und der Zulieferindustrie aufgebaut werden. Thematisch lehnen sich Studien-, Bachelor- Projekt- und Masterarbeiten dabei an das Profil der Professur an. Bearbeitet wurden und werden Themen zur Auslegung von Komponenten und Teilen von Bergbaumaschinen, vertiefend hier auch häufig unter der Frage der Elektrifizierung des Triebstrangs, messtechnische Fragestellungen in sehr vielen anwendungsbezogenen Facetten sowie zunehmend Themen der Massendatenanalyse und der schnellen, automatisierten Erfassung und Weiterverarbeitung von Messdaten. Dies sowie die ganz praktische Unterstützung kommt auch dem Racetec-Team der TUBAF zugute: vom Druck einzelner Strukturteile bis zu Fragen des motorischen Antriebs wird hier ein inten-



Abbildung 5: Racetec RT15 und Strukturteile aus Kunststoff, E-Motor

siver Austausch geführt und der Aufbau des aktuellen RT15 mit begleitet (Abb. 5).

Forschung an vernetzten mobilen Arbeitsmaschinen

Mit der Bewilligung des Verbundvorhabens DSS - Deep Sea Sampling im Jahr 2021 konnte gemeinsam mit sechs Partnern aus Forschung und Industrie ein erstes großes Drittmittelprojekt für die Institute IART und IMB gewonnen werden. Ziel des Projekts mit einer Laufzeit von drei Jahren ist die Weiterentwicklung eines Fräsystems für den Einsatz in der Tiefsee, verbunden mit der Fragestellung der Elektrifizierung des bisher hydraulischen Antriebs sowie der Erarbeitung von Konzepten für das teil-autonome Handling von Komponenten - zum Beispiel für den Werkzeugwechsel - unter Wasser (Abb. 6).

Dies wird durch Grundlagenuntersuchungen begleitet, in die verschiedene andere Institute der TUBAF eingebunden sind: dazu zählen das Institut für Tagebautechnik und Spezialtiefbau, das Institut für Geologie und das Forschungsbergwerk Reiche Zeche. Diese umfassen detaillierte Untersuchungen zu den zu erwartenden Mineralien hinsichtlich ihrer geologischen und technologischen Eigenschaften (Abb. 7).

Dies gilt sowohl für die mikroskopische wie auch die makroskopische Ebene: Zum einen muss klar sein, wie ein über 50 Tonnen schweres Aggregat auf einem Boden in fast 3.000 m Wassertiefe steht, über dessen Struktur und Beschaffenheit noch sehr wenig bekannt ist; zum anderen muss getestet werden, wie eine Fräseinheit Proben aus diesem Boden entnehmen kann, welche Umgebungsbedingungen dabei auf die Fräseinheit wirken und wie das so gelöste Material aufgenommen, aufbereitet und transportiert werden kann.

Vertiefend wird weiterhin die Fragestellung der Orts- und Lagebestimmung ohne die Nutzung satellitengestützter Ortungssysteme bearbeitet. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für die «vernetzte mobile Arbeitsmaschine», da diese zu jedem Zeitpunkt - unter Wasser oder unter Tage - ihren Standort und ihre Lage kennen muss, um sicher und zuverlässig Arbeitsoperationen ausführen zu können. Hierbei kommt das Kalman-Filter zum Einsatz.

Bergbaumaschinen für die Gewinnung von morgen

Wo wird das IMB 2030 stehen? Als sich die Frage 2019 das erste Mal stellte, hatte niemand von uns vor Augen, mit welcher rasenden Geschwindigkeit sich die Welt verändern würde. Online-Konferenzen, remote work, vernetztes Arbeiten in Cloud-

Lösungen haben sich mit hoher Geschwindigkeit etabliert, aber Fragen der Sicherheit und der Verfügbarkeit der so immer häufiger entgrenzten Daten stellen sich mehr als je zuvor. Gerade im Bereich der rechnergestützten Zusammenarbeit hat sich die Welt sehr viel schneller verändert, als es sich viele vor zwei Jahren noch kaum vorstellen konnten. Fragen der Nachhaltigkeit haben gerade in der Gewinnung von Rohstoffen ein deutlich höheres Gewicht erhalten, die Maßnahmen zur De-

karbonisierung der Wirtschaft haben die Anforderungen an die Prozesse der Gewinnung von Rohstoffen und die Gestaltung von Maschinen und Anlagen grundlegend verändert.



Abbildung 6: Elektrifizierung in der Tiefsee - Deep Sea Sampling, ein Forschungsprojekt des BMWi zur Probenentnahme von Massivsulfiden in der Tiefsee

Hinsichtlich der thematischen Arbeit des IMB können drei große Leitlinien konzipiert werden:

- In der Forschung für die teil-autonome Arbeitsmaschine stellt sich die Frage: Wie kann durch Nutzung datenbasierter Echtzeitsysteme eine maximale Unterstützung des Maschinenbedieners dergestalt erfolgen, dass Maschinen unter für Menschen nicht zugänglichen Bedingungen sicher und erfolgreich arbeiten können? Dies umfasst nicht nur die Fragen der Fernsteuerung, also der reinen Mess- und Regelungstechnik für eine technische Operation, sondern unter dem Begriff des User Enhancement auch die möglichst breite Nutzung und Visualisierung der durch unterschiedlichste Sensoren gesammelten Daten. Hier können mit Prüfständen gekoppelte cyber-physikalische Systeme nicht nur die Entwicklung neuer Antriebskomponenten beschleunigen und verbessern, sondern auch die Arbeit für den Bediener in der Verschmelzung von virtuellem und realem Raum deutlich sicherer und intuitiver erfahrbar machen. Hier müssen Grundlagen geschaffen werden, die dafür notwendigen Daten automatisiert zu erfassen, zu übermitteln, aufzubereiten und zu visualisieren.
- Für die Entwicklung konkreter Arbeitssysteme kann auf bestehenden Ansätzen der Automatisierung aufgesetzt werden: Werden Echtzeit-Daten und simulativ ermittelte Parameter im konkreten System wie einer Fräse für die Tiefsee kombiniert, entstehen cyber-physikalische Systeme, die die für einen Nutzer wichtigen Größen integrieren und so die Bedienbarkeit komplexer Maschinensysteme auch auf große Distanz ermöglichen und den Entscheidungsspielraum des Bedieners erheblich erweitern. Dies kann durch eine entsprechende Prüfstandsumgebung aufgebaut werden, in der reale Baugruppen und simulierte Systeme so miteinander verschmelzen, dass sowohl

für die vorgelagerte Erprobung als auch für den späteren Betrieb einer Anlage die jeweils relevanten Bauteile im unmittelbaren Eingriff sind. Entwicklungszyklen für neue Arbeitsmaschinen und ihre Komponenten können so verkürzt werden, die Sicherheit über deren Lebensdauer steigt, im Betrieb können funktionskritische Komponenten im cyber-physikalischen Zwilling real überwacht werden, während die eigentliche Maschine tief unter Tage, unter Wasser oder sogar außerhalb der Erde ihre Funktion erfüllt.

- In der Ausbildung setzen wir weiter auf die Internationalität, die die heutige TU Bergakademie Freiberg seit ihrer Gründung lebt. Das heißt, dass sukzessive alle Inhalte in deutscher wie auch in englischer Sprache verfügbar gemacht werden. Die ingenieurtechnischen Grundlagen sollen vor allem im Bereich der angewandten Signalerfassung und -auswertung weiter ausgebaut werden, so dass innerhalb der Curricula die Arbeit mit aktuellen Softwaretools für die Datenakquise und -analyse gelehrt und geübt werden kann. Die anwendungsbezogene fachliche Ausbildung wird auf den weiter in seiner Bedeutung wachsenden Bergbaumaschinenbau ausgerichtet sein und die Elemente aus Elektrifizierung und Digitalisierung in Forschung und Lehre integrieren. In der methodischen Kompetenz werden die Schwerpunkte in den Richtungen DIN EN ISO 9001, ICB4.0 und VDI 2221 liegen, so dass hier entsprechende Zusatzqualifikationen für eine breite und gut anwendbare Ausbildung mitgegeben werden.



Abbildung 7: Massivsulfid aus einer Tiefsee-Lagerstätte

Die Nachhaltigkeitsbegriff - vor über 250 Jahren in Freiberg erstmalig geprägt - wird für die Ausbildung wieder sehr viel stärker eine Rolle spielen. Die 17 „Sustainable Development Goals“ der Vereinten Nationen sowie die sich daraus ableitenden Regelungen im nationalen und internationalen Recht bedeuten für die Maschinenbau ein Umdenken bei der Auswahl von Antrieben und Energieversorgungssystemen. Dieses für die Neu- und Weiterentwicklung von Anlagen und Produkten - nicht nur im Bereich der Gewinnungsmaschinen - umzusetzen, bietet neben den sicher nicht immer einfachen Herausforderungen viele spannende Beschäftigungsfelder und große Potentiale für Produktideen - die von der Entwicklung bis zur unternehmerischen Umsetzung durch das Institut begleitet werden.

Neue Gangstudien bieten systemisches Verständnis für die Entstehung hydrothermaler Lagerstätten im Erzgebirge

Mathias Burisch^{1,2}, Max Frenzel², Marie Guilcher¹, Laura J. Swinkels¹, Sebastian Haschke¹, Nils Reinhardt¹, Jens Gutzmer^{1,2}

Einleitung

Als Professor der Geognosie an der Bergakademie Freiberg gilt Bernhard von Cotta (Abb. 1) als Begründer der Erzlagerstättenlehre. Dieser Ruf wird zumeist zurückgeführt auf die Publikation des Lehrbuchs „Die Lehre von den Erzlagerstätten“ im Jahr 1850 (von Cotta, 1859).



Abbildung 1: Portrait von Bernhard von Cotta. Stich von August Weger. Quelle: <https://de.wikipedia.org>

Darüber hinaus hat Prof. von Cotta aber auch durch die Publikation der als „Gangstudien“ betitelten vier Bände in den Jahren 1850-1862 Herausragendes für die Erzlagerstättenlehre geleistet. Im Vorwort zum ersten Band definiert von Cotta sehr klar als Zweck der Gangstudien „über die Bedingungen der Erzführung womöglich einiges Licht zu verbreiten; also Materialien zu einer wissenschaftlichen Wünschelrute zu liefern, welche künftig dem Bergmann auf seinen dunklen Pfaden als eine Leitschnur dienen könnte.“ Motiviert wurde die Publikation der Gangstudien dabei insbesondere durch die proaktive Rolle des Oberbergamts, welches „eine sorgfältige Untersuchung der hiesigen Erzgänge und vorzüglich ihrer Veredelungs- oder Verunedelungsursachen angeordnet“ hatte. Daher richtete von Cotta den Fokus der Gangstudien zunächst klar auf die Bildung der Erzlagerstätten in der Region. In der durch Bernhard von Cotta zusammengestellten Publikationsreihe findet sich in der Folge eine große Zahl von

Beiträgen, welche durchaus als bahnbrechend für ihre Zeit gelten.

Die vorerst letzte Phase des Bergbaus in Freiberg endete im Jahre 1969; der Bergbau im Erzgebirge fand mit der deutschen Wiedervereinigung im Jahr 1991 ein unvermitteltes Ende. In den seither vergangenen Jahrzehnten hat die Kenntnis um die Entstehung der Erzlagerstätten im Erzgebirge mit modernen geowissenschaftlichen Erkenntnissen und Konzepten nicht mitgehalten. Dadurch ging viel Kompetenz verloren – aus modellbasierten Annahmen früherer Bearbeiter wurden „in Stein gehauene“ Paradigmen, die weitestgehend unkritisch weitergegeben wurden.

Mit dem Ziel, diesen offensichtlichen und eklatanten Missstand zu beheben, wurde im Jahr 2018 die ESF Nachwuchsforschergruppe „Mineral Systems Analysis“ gegründet. Ermöglicht durch öffentliche Fördermittel der Europäischen Union und des Freistaats Sachsen haben sich seither zwei Doktorandinnen und zwei Doktoranden, flankiert durch eine Vielzahl von Master- und Bachelor-Student*innen unter der Leitung von Mathias Burisch mit der Entstehung verschiedener hydrothermaler Lagerstättentypen im Erzgebirge befasst. Die Arbeiten der Nachwuchsgruppe am Institut für Mineralogie der TU Bergakademie Freiberg wurden durch Max Frenzel und Jens Gutzmer am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie unterstützt. Die Forschung basierte dabei zum Teil auf dem Studium von hervorragenden Proben der geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg, der Wismut GmbH und dem Bohrkernarchiv des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Die enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit mit den Firmen, die aktuell im Bereich von Rohstofferkundung und -abbau im Erzgebirge beteiligt sind, lieferte einen weiteren wichtigen Baustein für den Erfolg der Gruppe.

Die Entwicklung eines modernen Verständnisses der räumlich-zeitlichen Entwicklung der Erzlagerstätten im Erzgebirge und die Integration der lagerstättenbildenden Prozesse mit relevanten Prozessen der regional- und lokalgeologischen Entwicklung stand im Fokus der Forschung – ganz im Sinne von Bernhard von Cotta. Daher sind die wichtigsten Resultate der Arbeit der Nachwuchsforschergruppe, die im Folgenden vorgestellt werden sollen, in das aktuelle Verständnis der geotektonischen Entwicklung eingebettet. Hier werden insgesamt 10 peer-review Artikel der Mineral Systems Analysis Gruppe zusammengefasst, die alle in der Referenzliste aufgeführt sind und bei Interesse zur weiteren Vertiefung gelesen werden können.

Kontakt

mathias.burisch@mineral.tu-freiberg.de; j.gutzmer@hzdr.de

- 1 Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie, Brennhausgasse 14, 09599 Freiberg
- 2 Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, Chemnitz Str. 40, 09599 Freiberg

Die geologische Geschichte des Erzgebirges

Die hier relevante geologische Geschichte des Erzgebirges beginnt in der jüngeren Hälfte des Paläozoikums mit der variszischen Orogenese und der Kollision zweier großer kontinentaler Blöcke (Gondwana und Laurussia), die in der Bildung des Superkontinents Pangaea kulminierte (Sebastian, 2013). Stapel sedimentärer und magmatischer Gesteine wurden dabei intensiv metamorph überprägt, ein Prozess, der vor ca. 340 Millionen Jahre (Ma) seinen Höhepunkt erreichte. Dabei entstanden aus den Ausgangsgesteinen die Gneise, Glimmerschiefer und Phyllite sowie weitere metamorphe Gesteine, welche heute das Bild des Erzgebirges dominieren.

Kurz nach dem Höhepunkt der Metamorphose wurden die verschiedenen Gesteinseinheiten herausgehoben und durch große Granitplutone intrudiert (335-310 Ma (Förster et al., 1999; Romer et al., 2010; Tichomirowa et al., 2019)). Auch wenn magmatische Gesteine, die jünger als ~310 Ma Jahre sind, nur selten auftreten, zeugen (sub-) vulkanische Einheiten von einem Andauern der magmatischen Aktivität bis ca. 265 Ma (Hoffmann et al., 2013; Luthardt et al., 2018). Durch rasche Extension und Absenkung wird das Erzgebirge (als Teil des variszischen Orogens) ab dem Perm von jüngeren sedimentären Gesteinen überlagert.

Ab ungefähr 230 Ma (Ära des Trias im frühen Mesozoikum) ist die geotektonische Entwicklung Zentraleuropas – und damit auch des Erzgebirges – von der Öffnung des Nordatlantiks und der Alpenen Tethys geprägt (Ziegler, 1990). Diese Entwicklung, welche mit der Ablagerung mächtiger Sedimentstapel verknüpft ist, endet mit dem aufeinander Zuwandern der afrikanischen und eurasischen Kontinentalmassen (Stampfli and Borel, 2004). Neben den Alpen entstanden in dem stark veränderten Stressfeld lokale Riftzonen, wie der Oberrheingraben und der Egergraben (Ziegler and Dèzes, 2007). In den Randzonen dieser Rifts wurden als Ausgleichsbewegung tiefere/ältere Gesteinspakete angehoben und durch Erosion freigelegt. Dazu gehört auch das Erzgebirge, welches als Pultscholle seit ~50 Ma (Känozoikum) angehoben und in seine heutige Form gebracht worden ist (Sebastian, 2013; Ziegler and Dèzes, 2007).

Diese wichtigen geotektonischen Entwicklungsschritte setzen auch den Rahmen für die Bildung der Lagerstätten des Erzgebirges (Abb. 2). Wichtige Lagerstättentypen des Erzgebirges umfassen dabei verschiedene Arten von Ganglagerstätten, aber auch die sogenannten Greisen und Skarne. Viele der Lagerstätten sind ausgezeichnet dokumentiert, sowohl durch historische Archive (z.B. Bergarchiv) als auch extensive Probensammlungen (z.B. geowissenschaftliche Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg, Bohrkernarchiv des Landesamts für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie und Sammlung der Wismut GmbH). Trotz der verfügbaren Beschreibungen und des vorhandenen Probenmaterials ist die raum-zeitliche Entstehung vieler Erzlagerstätten im Erzgebirge nur recht

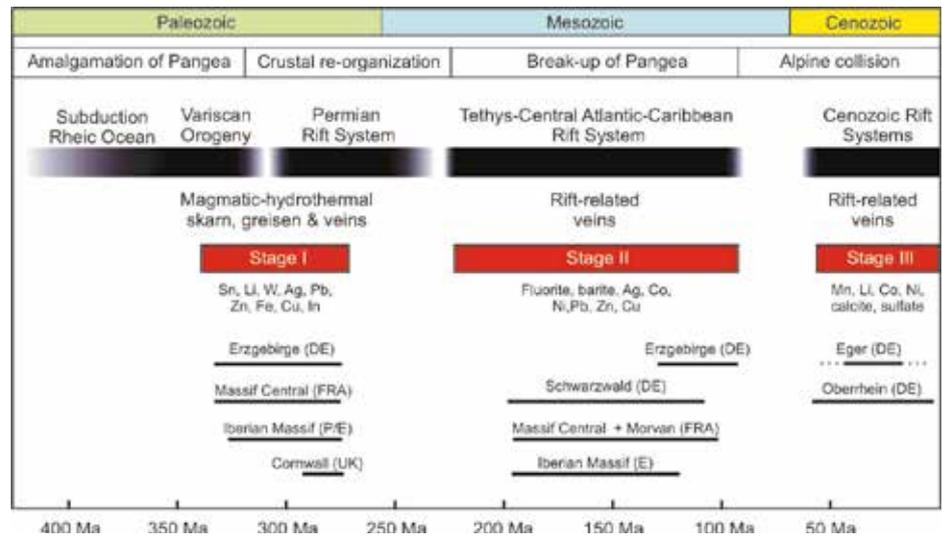


Abbildung 2: Übersicht der geotektonischen Entwicklung Europas und Hauptstadien (rot) der Lagerstättenbildung. Verändert nach (Burisch, 2021)

schlecht verstanden. Basierend auf wenigen verfügbaren geochronologischen Daten wurden die verschiedenen Lagerstättentypen zeitlich entweder einer spät-variszischen oder einer post-variszischen Phase zugeordnet, jedoch blieb die Entstehung und die Eingliederung in den geotektonischen Rahmen unzureichend verstanden. Basierend auf aktuellen Resultaten lassen sich drei geotektonische Stadien definieren, in denen sich die Erzlagerstätten des Erzgebirges gebildet haben: diese werden hier als das spät-paläozoische, das mesozoische und das känozoische Stadium bezeichnet. Im Folgenden werden die neuen Erkenntnisse zu den verschiedenen Lagerstättentypen nach ihrer geotektonischen Einordnung präsentiert (Abb. 2).

Das spät-paläozoische Stadium

Dem spät-paläozoischen Stadium können Greisen-, Skarn- und Ganglagerstätten zugeordnet werden. Zinn, W, In, Ag, Zn und Pb sind Wertelemente, die mit diesen Lagerstätten assoziiert sind. Obwohl die Sn-(W)-(Zn)-Skarne des Erzgebirges die größte Sn-Ressource Europas darstellen (Elsner, 2014), war ihre Entstehung und Asso-

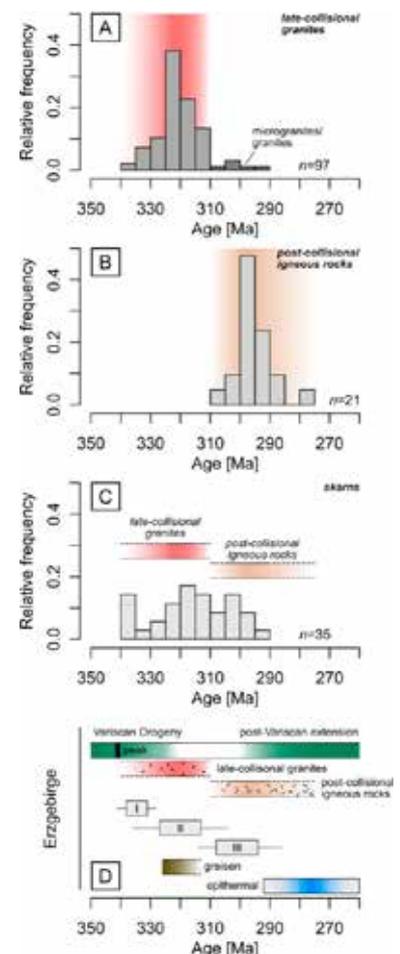


Abbildung 3: Geochronologische Daten der spät-kollisionalen Granite (A), der post-kollisionalen Vulkanite (B) und der Skarne (C, D) Zusammenfassung und Skarnstadien I, II und III. Abbildung aus (Reinhardt et al., accepted)

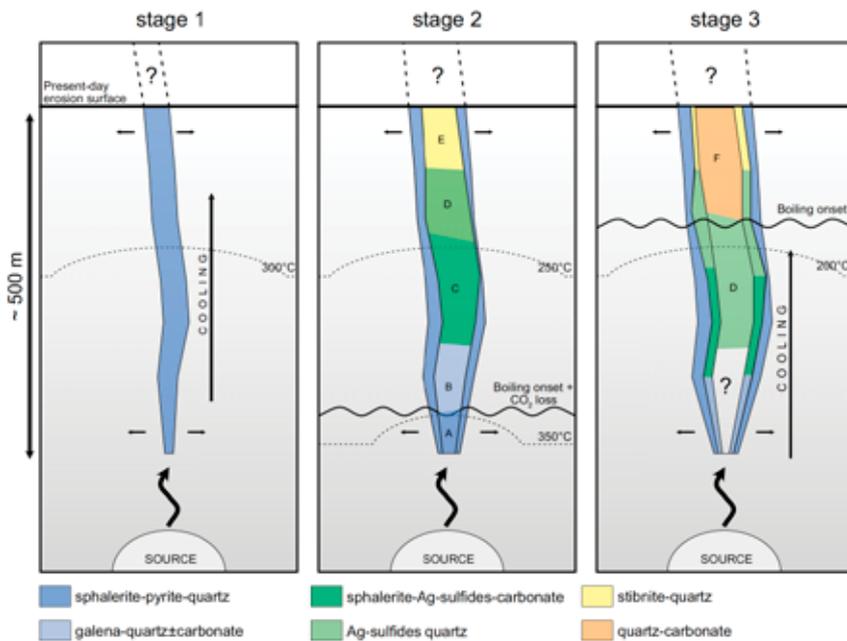


Abbildung 4: Schematische Darstellung der raumzeitlichen Entwicklung der Freiburger Silbergänge (Swinkels et al., 2021)

ziation mit granitischem Magmatismus im Erzgebirge lange umstritten. Aktuelle Studien (Burisch et al., 2019a; Reinhardt et al., 2021; Reinhardt et al., accepted) belegen eindrucksvoll, dass die Skarne, ähnlich wie die Greisen, magmatisch-hydrothermalen Ursprungs sind und sich zwischen 338 und 295 Ma gebildet haben.

Innerhalb dieses Zeitfensters lassen sich drei Phasen unterscheiden: Phase I von 338-330 Ma, Phase II von 325-310 Ma und Phase III von 310 bis 295 Ma (Abb. 3). Die Phasen I und II können direkt mit dem spät-kollisionalen Magmatismus in Verbindung gebracht werden, was mit Annahmen in früheren Studien gut übereinstimmt. Phase III (310 bis 295 Ma) hingegen stellt ein jüngeres Ereignis dar, welches von früheren Bearbeitern nicht wahrgenommen wurde. Interessanterweise sind nur wenige intrusive magmatische Gesteine im Erzgebirge bekannt, die dieses junge Alter zeigen, jedoch zeugen voluminöse vulkanische Gesteinsabfolgen (Chemnitzer Wald, Rochlitz) von einem intensiven und hochspezialisierten Magmatismus in diesem Zeitfenster (Hoffmann et al., 2013; Hübner et al., 2020; Luthardt et al., 2018). Das Zeitfenster für magmatisch-hydrothermale Lagerstättenbildung im Erzgebirge erstreckt sich demnach über ca. 45 Ma. Es beginnt sehr bald nach dem Höhepunkt der Regionalmetamorphose (ca. 340 Ma) und endet erst um 295 Ma (Abb. 3).

In die Spätphase der magmatisch-hydrothermalen Lagerstättenbildung sind auch die polymetallischen Erzgänge des Freiburger Distrikts einzuordnen (Burisch et al., 2018; Burisch et al., 2019b; Ostendorf et al., 2019). Vergleicht man diese Altersdaten mit anderen Regionen der europäischen Varisziden (zum Beispiel Massiv Central, Iberisches Massiv), so sind große Ähnlichkeiten zu erkennen (Abb. 2). In den externen Bereichen des variszischen Gebirgsgürtels (z.B. Cornwall) hingegen setzte die Erzlagerstättenbildung deutlich später ein. In einer breit angelegten Studie (Swinkels et al., 2021) konnte bestätigt werden, dass insbesondere die silberreichen Erzgänge des Freiburger Distriktes aus magmatisch-hydrothermalen Fluiden entstanden sind. Diese Arbeit ist die erste distriktweite Studie seit der detaillierten Dokumentation von

Müller (1901) und der Zusammenfassung durch Baumann (1965). Swinkels et al. (2021) zeigen anhand von neuen Daten, dass die Gänge magmatisch-hydrothermalen Ursprungs sind und sowohl lateral als auch vertikal eine systematische Zonierung aufweisen (Abb. 4).

Mit den nun verfügbaren Daten zur Mineralparagenese und zu Flüssigkeitseinschlüssen kann erstmalig abgeschätzt werden, in welcher Paläotiefe und über welche vertikale Erstreckung sich besonders reiche Silbererze im Freiburger Distrikt abgeschieden haben und in welchen Teufen sich diese potentiell fertilen Zonen heute befinden (Swinkels et al., 2021). Diese Erkenntnisse werden bereits jetzt in den aktuellen Explorationsarbeiten durch die Firma *Excellon Resources* im Freiburger Distrikt (Abb. 5) berücksichtigt.



Abbildung 5: Bohrturm von Excellon Resources im Raum Freiberg, Sommer 2020. Foto: Tina Pereira

Das mesozoische Stadium

Die beiden wichtigsten Vertreter der mesozoischen Gangtypen sind Fluorit-Baryt-Pb-Zn- (auch häufig als fba-Gänge bezeichnet) und Ag-Co-Ni-Bi-As-Gänge (alternativ als „5-Element-Gänge“ oder UBiCoNi-Gänge bezeichnet). Diese Gänge stellen die wichtigste Quelle für die Industriemineralien Fluorit und Baryt in Europa dar und werden aktiv im Erzgebirge (Grube Niederschlag) abgebaut. Die 5-Elementgänge des Erzgebirges waren insbesondere wegen ihres Reichtums an Uran historisch von besonderer Bedeutung. Sie stehen aber, aufgrund von hohen Gehalten an Co, Ni und Ag, auch heute wieder im Fokus der geologischen Erkundung.

Trotz ihrer besonderen Bedeutung ist die Entstehung dieser beiden Ganglagerstättentypen im Erzgebirge bislang unzureichend dokumentiert; sie waren daher auch ein Schwerpunkt in der Arbeit der Nachwuchsforschergruppe. So stellt die Publikation von Haschke et al. (2021) den aktuellen Wissensstand zur Fluorit-Baryt-Ganglagerstätte Niederschlag vor, welcher noch durch weitere Daten aus Müller and Ehle (2021) komplementiert wird.

Mineralogische und geochemische Analysen in Haschke et

Fluorit-Baryt-Ganglagerstätten zugeordnet werden kann, welche in Mitteleuropa weit verbreitet sind.

Als weiteres wichtiges Resultat konnte am Beispiel der Ganglagerstätte Annaberg erstmals der genetische und zeitliche Zusammenhang von 5-Elementgängen mit Fluorit-Baryt-Gängen im Erzgebirge nachgewiesen werden (Abb. 7). Co-Ni-Arsenide und U-oxide treten dabei nur dort in Fluorit-Baryt-Gängen auf, wo reduzierte Bedingungen vorherrschen, die zur Ausfällung dieser Vergesellschaftung notwendig sind. Solche reduzierenden Bedingungen können entweder durch die lokale Präsenz methanreicher Fluide oder durch Reaktion mit kohlenstoff-führenden Nebengesteinen (Abb. 7) verursacht werden.

Durch in-situ U-Pb-Geochronologie von mit den Arseniden verwachsenen Karbonaten konnte weiterhin gezeigt werden, dass sich die 5-Element-Vergesellschaftung verschiedener Gangdistrikte im Erzgebirge in einem Zeitfenster zwischen 129 und 86 Ma Jahren (Guilcher et al., 2021), also im Mesozoikum, gebildet hat. Ähnlich wie viele Fluorit-Baryt-Ganglagerstätten in Mitteleuropa ist die Bildung der 5-Element-Gänge im Erzgebirge somit mit der Öffnung des nordatlantischen Ozeans und der alpinen Tethys in Verbindung zu bringen (Burisch et al., submitted).

Das känozoische Stadium

Auch wenn quarzreiche Mn-Fe-Oxid-Mineralisationen im Erzgebirge bereits in der Literatur Erwähnung fanden (Frenzel, 1870; Kuschka, 2002), fehlten bislang absolute Alters- und detaillierte mineralogische und geochemische Beschreibungen. Burisch et al. (2021) liefern für die sehr ungewöhnliche polymetallische Li-Co-Ni-REE-Mineralisation in oberflächlich aufgeschlossenen Quarzgängen nahe Eichigt für das Erzgebirge erstmals eben solche Daten. Argon-Argon-Geochronologie von Mn-Oxidmineralien der

Coronadit-Gruppe ergab dabei Alter zwischen 40 und 35 Ma. Basierend auf den Altern sowie geochemischen und textuellen Argumenten ist anzunehmen, dass sich die Paragenese aus niedrig temperierten (30-60°) hydrothermalen Fluiden bildete, deren Zirkulation im Zusammenhang mit der Ausbildung des Egergraben-Rifts im Känozoikum stand.

Fazit und Ausblick

Die Erkenntnisse der Mineral Systems Analysis Gruppe liefern eine wichtige, neue und faktenbasierte Grundlage für das Verständnis der Lagerstättenbildung im Erzgebirge. Die Resultate zeigen klar, dass sich Lagerstätten als lokale Erscheinungen großtektonischer geologischer Prozesse bilden. Ihre Bildung darf daher keinesfalls als isoliertes Phänomen betrachtet werden, auch wenn die lokale Anreicherung von Metallen und Industriemineralen immer eine starke Interaktion lokalisierter und zeitlich begrenzter natürlicher Prozesse darstellt. So ist die Bildung der wirtschaftlich bedeutenden Lagerstätten im Erzgebirge mit der Bildung (spät-paläozoi-

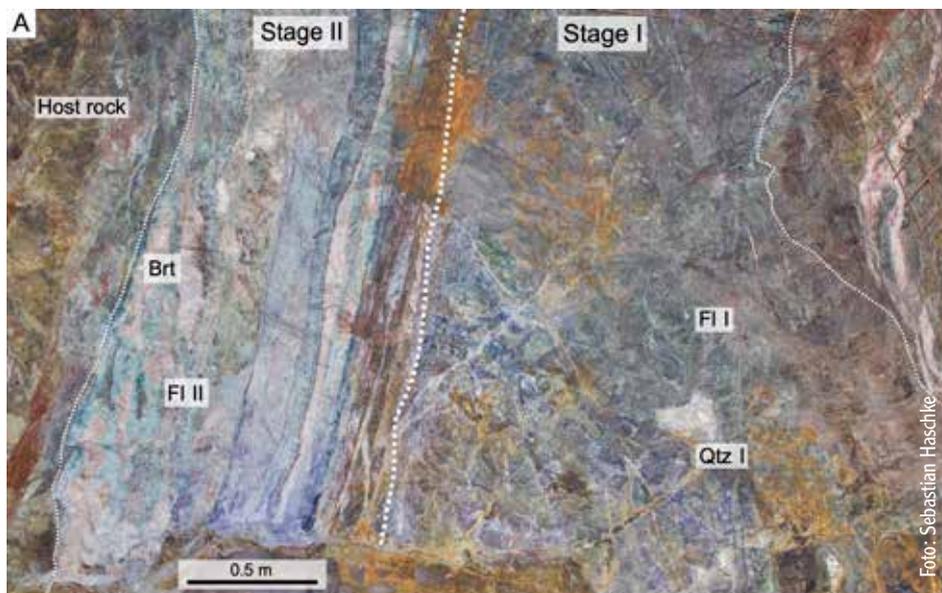


Abbildung 6: Fluorit-Baryt-Gang im Bergwerk Niederschlag.

al. (2021) belegen, dass sich die Lagerstätte in zwei Hauptstadien ausgebildet hat (Abb. 6). Eine erste Fluoritgeneration besteht lediglich aus Fluorit und Quarz. Die Bildungstemperaturen dieser Paragenese lagen bei 140-180°C und die assoziierten Fluide weisen moderate Salinitäten zwischen 7 und 20 wt% NaCl eq. auf. Die Ausfällung des Fluorits kann auf eine Kombination von Gesteins-Wasser-Wechselwirkung, Mischung verschiedener hydrothermalen Fluide und Abkühlung zurückgeführt werden. Im Gegensatz dazu wird eine jüngere Fluoritgeneration von Baryt, Quarz und Pb-Zn-Cu-Sulfiden begleitet. Die Bildungstemperaturen dieser Paragenese waren deutlich niedriger (80-120° C) und die Salinitäten der Fluide höher (18-27 wt% NaCl eq.). Die Ausfällung wurde hier bedingt durch die Mischung zweier chemisch unterschiedlicher hydrothermalen Fluide. Obwohl geochronologische Daten (noch) fehlen weisen die mineralogischen und geochemischen Charakteristika der älteren Fluorit-Quarz-Paragenese eher auf einen magmatisch-hydrothermalen Ursprung hin, wohingegen die jüngere Fluoritgeneration den klassischen

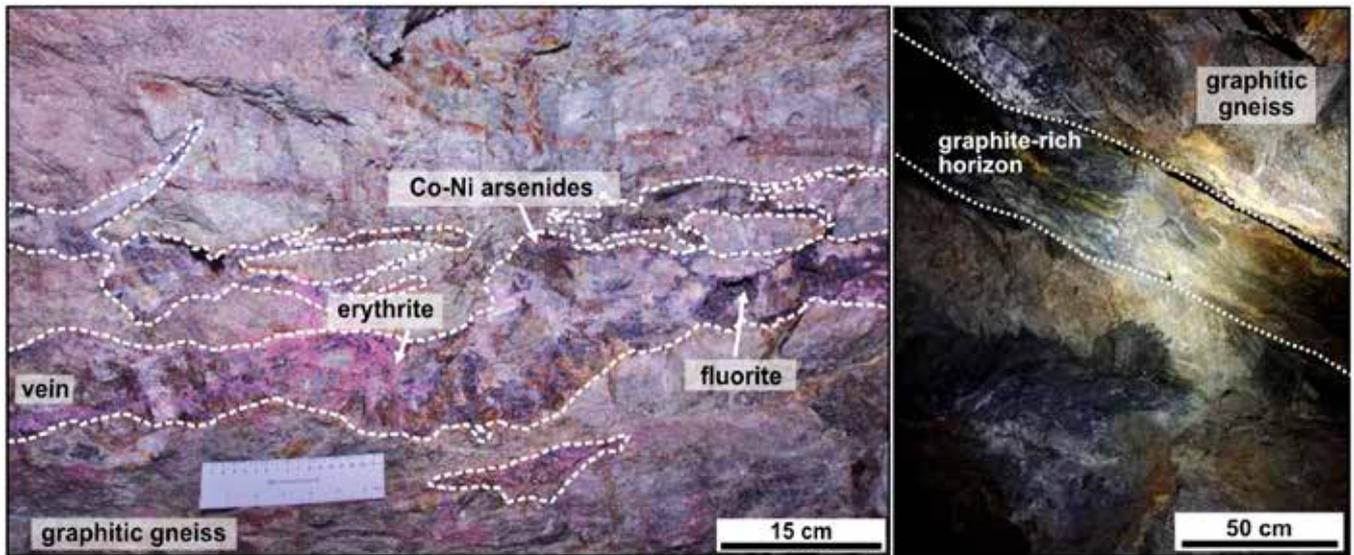


Abbildung 7: Links: Oxidierter Co-Ni-Arsenid-Gang im Markus Röhling Besucherbergwerk, Annaberg-Buchholz. Foto: S.Haschke. Rechts: Graphitreiche Zone. Foto: M. Schaling

ches Stadium) und dem Zerfall (mesozoisches Stadium) des Superkontinents Pangäa in Verbindung zu bringen. Mineralisationen, assoziiert mit dem känozoischen Stadium, dagegen sind eine Konsequenz der alpidischen Orogenese.

Die umfangreichen Daten und Einsichten, welche die Mineral Systems Analysis Gruppe in den vergangenen drei Jahren geliefert hat, kommen unmittelbar der Industrie zugute, welche sich mit der Erkundung neuer Rohstoffpotentiale im Erzgebirge befasst – sowohl aktuell, als auch in Zukunft. Dies ist ganz im Sinne von Bernhard von Cotta. Er wollte durch die von ihm initiierten Gangstudien „das versuchsweise Umhertappen, die blinde Empyrie, Gewohnheit, Vorurtheil und Aberglauben“ durch „ein sicheres Wissen, ein bewusstes Handeln“ verdrängen.

Danksagung

Wir möchten Jens Grigoleit für die tatkräftige Unterstützung bei der Antragsstellung herzlich danken. Ebenfalls danken möchten wir Ute Kahl, Doreen Fischer und Heike Rühmling für die umfangreiche Hilfe bei der Verwaltung des Projekts. Des Weiteren danken wir den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Geowissenschaftlichen Sammlungen der TUBAF (Christin Kehrer), der Wismut GmbH (Axel Hiller und Markus Slomke) sowie dem Sächsischem Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft (Manuel Lapp, Patrick Paschke und Johannes Richter) für die Unterstützung und den Zugang zu Probenmaterial. *Excellon Resources*, *Globex Mining*, *Lithium Australia*, *Erzgebirgische Fluss- und Schwespatwerke* (EFS) und *Beak Consultants* sei für die gute Zusammenarbeit gedankt. Zu guter Letzt möchten wir uns bei allen Co-Autoren der hier zusammengefassten Artikel bedanken, die maßgeblich zu den wissenschaftlichen Erkenntnissen beigetragen haben.

Literatur

- 1 Baumann, L., 1965, Die Erzlagerstätten der Freiberger Randgebiete: Freiberger Forschungshefte, v. 188 C, p. 1-216.
- 2 Burisch, M., 2021, Hydrothermal Mineral Systems of Central Europe – Case Studies from the Erzgebirge and the Schwarzwald Metallogenic Provinces: Unveröff. Habilitationsschrift, TU Bergakademie Freiberg.
- 3 Burisch, M., Bauer, M., Frenzel, M., Hartmann, A., Kehrer, C., Ostendorf, J., Seifert, T., und Gutzmer, J., 2018, Neues Wissen zur Metallogenie im Freiberger Revier: 850 Jahre nach dem Silberfund – und (k)lein bisschen klüger? : Acamonta - Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg, p. 8-13.

- 4 Burisch, M., Frenzel, M., Seibel, H., Gruber, A., Oelze, M., Pfänder, J. A., Sanchez-Garrido, C., und Gutzmer, J., 2021, Li-Co-Ni-Mn-(REE) veins of the Western Erzgebirge, Germany—a potential source of battery raw materials: *Mineralium Deposita*.
- 5 Burisch, M., Gerdas, A., Meinert, L. D., Albert, R., Seifert, T., und Gutzmer, J., 2019a, The essence of time-fertile skarn formation in the Variscan Orogenic Belt: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 519, p. 165-170.
- 6 Burisch, M., Hartmann, A., Bach, W., Krolow, P., Krause, J., und Gutzmer, J., 2019b, Genesis of hydrothermal silver-antimony-sulfide veins of the Bräunsdorf sector as part of the classic Freiberg silver mining district, Germany: *Mineralium Deposita*, v. 54, p. 263-280.
- 7 Burisch, M., Markl, G., und Gutzmer, J., (eingereicht), Break up with benefits - hydrothermal vein systems related to the decay of a supercontinent: *Earth and Planetary Science Letters*.
- 8 Elsner, H., 2014, Zinn - Angebot und Nachfrage bis 2020, in *Ressourcen*, B. f. G. u., ed.: Berlin, Deutsche Rohstoffagentur (DERA), p. 68.
- 9 Förster, H. J., Tischendorf, G., Trumbull, R. B., und Gottesmann, B., 1999, Late-collisional granites in the Variscan Erzgebirge, Germany: *Journal of Petrology*, v. 40, p. 1613-1645.
- 10 Frenzel, A., 1870, Lithiophorit, ein lithionhaltiges Manganerz: *Journal für praktische Chemie*, v. 2, p. 203-206.
- 11 Guilcher, M., Albert, R., Gerdas, A., Gutzmer, J., und Burisch, M., (2021), Timing of native metal-arsenide (Ag-Bi-Co-Ni-As-U) veins in continental rift zones - in situ U-Pb geochronology of carbonates from the Erzgebirge province: *Chemical Geology*.
- 12 Haschke, S., Gutzmer, J., Wohlgenuth-Ueberwasser, C. C., Kraemer, D., und Burisch, M., 2021, The Niederschlag fluorite-(barite) deposit, Erzgebirge/Germany—a fluid inclusion and trace element study: *Mineralium Deposita*, p. 1-16.
- 13 Hoffmann, U., Breitzkreuz, C., Breiter, K., Sergeev, S., Stanek, K., und Tichomirowa, M., 2013, Carboniferous-Permian volcanic evolution in Central Europe—U/Pb ages of volcanic rocks in Saxony (Germany) and northern Bohemia (Czech Republic): *International Journal of Earth Sciences*, v. 102, p. 73-99.
- 14 Hübner, M., Repstock, A., Rommel, A., Fischer, F., Lapp, M., Breitzkreuz, C., und Heuer, F., 2020, Der Rochlitzer Supervulkan: *Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie*, v. 9, p. 57.
- 15 Kuschka, E., 2002, Zur Tektonik, Verbreitung und Mineralogenie sächsischer hydrothermaler Mineralgänge: *Freiberg, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie*, 183 p.
- 16 Luthardt, L., Hofmann, M., Linnemann, U., Gerdas, A., Marko, L., und Rößler, R., 2018, A new U-Pb zircon age and a volcanogenic model for the early Permian Chemnitz Fossil Forest: *International Journal of Earth Sciences*, p. 1-25.
- 17 Müller, A., und Ehle, H., 2021, Rapid ore classification for real-time mineral processing optimisation at the Niederschlag multi-generation hydrothermal barite-fluorite vein deposit, Germany: *Mineralium Deposita*, v. 56, p. 417-424.
- 18 Müller, H., 1901, Die Erzgänge des Freiberger Bergrevieres: Leipzig, Engelmann, 350 p.
- 19 Ostendorf, J., Henjes-Kunst, F., Seifert, T., und Gutzmer, J., 2019, Age and genesis of polymetallic veins in the Freiberg district, Erzgebirge, Germany: constraints from radiogenic isotopes: *Mineralium Deposita*, v. 54, p. 217-236.
- 20 Reinhardt, N., Frenzel, M., Meinert, L. D., Gutzmer, J., Kürschner, T., und Burisch, M., 2021, Mineralogy and fluid characteristics of the Waschleithe Zn skarn - a distal part of the Schwarzenberg mineral system, Erzgebirge, Germany: *Ore Geology Reviews*, v. 131, p. 104007.
- 21 Reinhardt, N., Gerdas, A., Beranoaguirre, A., Meinert, L. D., Gutzmer, J., und Burisch, M., (angenommen zur Veröffentlichung), Timing of magmatic-hydrothermal activity in the Variscan belt - LA-ICP-MS U-Pb geochronology of skarn-related garnet from the Schwarzenberg district, Erzgebirge: *Mineralium Deposita*.
- 22 Romer, R. L., Förster, H.-J., und Štemprok, M., 2010, Age constraints for the late-Variscan magmatism in the Altenberg-Teplce Caldera (Eastern Erzgebirge/Krušné hory): *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*, v. 187, p. 289-305.
- 23 Sebastian, U., 2013, Die Geologie des Erzgebirges: Heidelberg, Springer, 268 p.
- 24 Stampfli, G. M., und Borel, G. D., 2004, The TRANSMED Transects in Space and Time: Constraints on the Paleotectonic Evolution of the Mediterranean Domain, in Cavazza, W., Roubé, F., Spakman, W., Stampfli, G. M., und Ziegler, P. A., eds., *The TRANSMED Atlas. The Mediterranean Region from Crust to Mantle: Geological and Geophysical Framework of the Mediterranean and the Surrounding Areas*: Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, p. 53-80.
- 25 Swinkels, L. J., Schulz-Ißenbeck, J., Frenzel, M., Gutzmer, J., und Burisch, M., 2021, Spatial and Temporal Evolution of the Freiberg Epithermal Ag-Pb-Zn District, Germany: *Economic Geology*.
- 26 Tichomirowa, M., Kässner, A., Sperner, B., Lapp, M., Leonhardt, D., Linnemann, U., Munker, C., Ovcharova, M., Pfänder, J. A., und Schaltegger, U., 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*, v. 519, p. 11-38.
- 27 von Cotta, B., 1859, Die Lehre von den Erzlagerstätten: Freiberg, Buchhandlung J. G. Engelhardt, 252 p.
- 28 Ziegler, P. A., 1990, *Geological Atlas of Western and Central Europe*: Den Haag, Netherlands, Shell Internat. Petroleum Maatschappij.
- 29 Ziegler, P. A., und Dézes, P., 2007, Cenozoic uplift of Variscan Massifs in the Alpine foreland: Timing and controlling mechanisms: *Global and Planetary change*, v. 58, p. 237-269.

RockFeel

Innovative Lösungen zum selektiven Abbau von Gestein im Bergbau und Bauwesen

Carsten Drebenstedt, Taras Shepel

In der heutigen geopolitischen Situation stößt die Bergbauintdustrie auf die Herausforderungen einer möglichst global diversifizierten Versorgung mit strategischen Rohstoffen. Einerseits steigt der Bedarf an ihnen beständig, andererseits werden die Abbaubedingungen immer komplexer. Neben der zunehmenden Erschöpfung leicht zugänglicher, gut gewinnbarer und reicher Lagerstätten werden die Umweltschutzanforderungen ständig verschärft. Dies drängt Ingenieure weltweit zur Entwicklung von Technologien, die eine dennoch wirtschaftliche und auf Nachhaltigkeit bedachte Rohstoffförderung und -verarbeitung ermöglichen. Die vor allem durch hohe Umwelt- und Sicherheitsrisiken steigenden Kosten und Hindernisse bei der Genehmigung von Bergbauprojekten führen zu einer zunehmenden Verlagerung der Rohstoffproduktion aus den Industrieländern in ärmere Entwicklungs- und Schwellenländer. Dieser bedenklichen Entwicklung, die uns mit zudem zunehmender Fragilität der globalen Lieferketten immer bewusster wird, kann vernünftigerweise nur durch den Abbau von Lagerstätten in den die Rohstoffe verbrauchenden Industrienationen selbst begegnet werden. Ein Verfahren mit hohem Potential zur Erfüllung dieser Anforderungen ist das selektive, schneidende Lösen von mineralischen Rohstoffen und Gestein. Die schneidenden Löseverfahren stellen jedoch eine vergleichsweise teure Alternative zum herkömmlichen Bohr- und Sprengverfahren dar. Mit dem Schneidverfahren kann z. B. das Erz selektiver, schonender, sicherer und umweltfreundlicher, d.h. ohne Sprengemissionen – etwa in Form von nitrosen Gasen, Lärm und Erschütterungen – gewonnen werden. Das bedingt jedoch komplexere und damit teurere Maschinen. Zu beachten sind auch die für einen wirtschaftlichen Betrieb bei geringen Nutzkomponentengehalten abzubauenen großen Mengen und der entsprechend hohe Verschleiß der Werkzeuge. Einsparungen an Kosten und Umwelteinflüssen ermöglicht das Schneiden aber in den nachgeschalteten Prozessstufen, da i. A. ja bis zu 90 % der im Erzbergbau insgesamt benötigten Energie für den Massentransport und die Aufbereitung des Roherzes benötigt werden. Effekte aus der Einsparung von Energie und Prozessstufen, wie dem normalerweise ja fälligen weiteren Zerkleinern des Gesteins in Brechern, können die relativen Mehrkosten des hochselektiven Schneidens mehr als kompensieren.

Notwendige Voraussetzung für die wirtschaftliche Anwendung des hochselektiven Schneidens von Gestein ist die möglichst automatische Erkennung von Festigkeitsunterschieden des Gesteins während des Lösens. Die sensorgestützte Erkennung der Gesteinsfestigkeiten ermöglicht es z.B., nur das erzhaltige Gestein abzubauen und aufzubereiten. Der Abbau von Nebengestein kann auf das unbedingt notwendige Maß reduziert und das Taube getrennt vom Erz gleich vor Ort wieder abgelagert werden. Dies hätte ebenfalls spürbar positive Effekte auf die Wirtschaftlichkeit und die Umweltbilanz des Abbaus. Durch diese und andere Effekte würden Lagerstätten in Deutschland und Europa wirtschaftlich interessant, die bisher aufgrund geringer Quantität, Qualität und Bonität sowie aufgrund von Umweltschutz- und Sicherheitsauflagen nicht abbauwürdig sind. Dadurch wären eine größere Unabhängigkeit von ausländischen Rohstoffquellen und die Reduzie-

rung der Rohstoffimport-Volumina möglich.

Um die noch existente technische Lücke bei der sicheren Materialerkennung während des Gesteinsabbaus in Echtzeit zu schließen, entwickelt ein interdisziplinäres Team an der TU Bergakademie Freiberg im Rahmen des Projekts RockFeel neuartige Sensorsysteme. Mit ihnen ist eine Differenzierung der Gesteinsarten nach ihrer Festigkeit bereits während des Lösevorganges möglich. Ziel ist es, Schichtgrenzen zwischen Gesteinen – z. B. zwischen Rohstoffarten und Nebengestein wie auch die Gebirgsstabilität in Echtzeit zu messen. Damit können betriebsoptimierende oder sicherheitsrelevante Maßnahmen unmittelbar eingeleitet werden. Hierfür benötigt die RockFeel-Lösung neben extrem robuster sensorischer Hardware ein leistungsstarkes statistisches Analysesystem, das in den erfassten Daten Muster erkennen und klassifizieren kann.

Als potentielle Smart Real-Time-Mining-Lösung geht das zu entwickelnde RockFeel-System Hand in Hand mit Bestrebungen der Industrie hin zu einem autonomen, prozessintegrierten Bergbau 4.0. Rockfeel wird also einen essenziellen Baustein für intelligente, schneidende Gewinnungsmaschinen liefern, sich deren Potential für die Automatisierung und die Prozessintegration zunutze machen mit dem Ziel, einen autonomen Betrieb auch in komplexen Situationen zu ermöglichen, die Verdünnung des Roherzes zu verringern und so Ressourcen zu schonen sowie Echtzeitdaten zur geologischen Vor-Ort-Situation fortwährend in das Lagerstättenmodell einzupflegen.

Das RockFeel-Analysesystem soll dem Bergbaubetreiber künftig in bestehenden oder neu zu erschließenden Bergwerken folgendes ermöglichen:

- Reduzierung von Werkzeugverschleiß
- Echtzeit-Prognose der Gebirgsstabilität
- Getrennte Verarbeitung von Erz und Nebengestein durch Identifizierung von Schichtgrenzen
- Reduzierung von Investitionsaufwendungen und Betriebskosten durch Verschlankung und Verkürzung der Prozesskette
- Einhaltung hoher Umwelt- und Sicherheitsstandards
- Ressourcenschonung
- Akzeptanzerhöhung
- Gewinnung aus wirtschaftlich oder immissionsrechtlich sonst nicht nutzbaren Lagerstätten.

Außerhalb des Einsatzbereiches im ambitioniert selektiven Gesteinsabbau kann das Sensorsystem voraussichtlich auch Informationen über den Verschleiß der Schneidwerkzeuge liefern. Damit wird das Sensorsystem auch für Anwendungen im Bauwesen, z. B. bei der Herstellung von Hohlräumen und Einschnitten sowie beim Abriss von Bauwerken, sehr interessant.

Im Rockfeel-Projekt wird – aufbauend auf Grundlagenforschung – ein erstes marktfähiges Produkt entwickelt und eine Firma zu dessen Vermarktung und Weiterentwicklung gegründet. Das Projekt wird durch den ESF und das BMWi im Rahmen

Kontakt

Carsten.Drebenstedt@mabb.tu-freiberg.de

des EXIST-Programms ab Oktober 2020 über zwei Jahre finanziert und beginnt aktuell mit der Erprobung der RockFeel-Technologie an einer Anbaufräse mit Rundschaftmeißeln eines industriellen Prototypen (Abbildungen).



Gesteinsfräse der Pilotanlage bei ersten Tests an Beton (links Gesamtkonfiguration, rechts Detail des Schneidkopfes mit Sensortechnik).

Klimagestaltung und Energiewende

Was ist bei einer derartigen Entwicklung in der Zukunft zu erwarten?

Wolfgang Michel

Ein großer Teil der Öffentlichkeit, insbesondere in Deutschland, spricht sich für Maßnahmen zur Klimasteuerung und für regenerative Energiequellen, den Kohle- und Atomenergieausstieg und die Hinwendung zur Wasserstofftechnologie aus. Selbst ein Teil der zu dieser Thematik ausgebildeten Spezialisten vertritt eine derartige Auffassung bzw. hält sich in dieser Frage dezent bedeckt. Im jüngsten Meinungsaustausch der führenden Industriestaaten sind auch die USA auf diesen Weg eingeschwenkt.

Warum ist das so? Um auf diese Frage eine Antwort zu finden, sollen im weiteren Verlauf der Untersuchungen möglichst nur nachgewiesene Wahrheiten zusammengestellt werden, die sich in der Praxis bestätigt haben. Die übliche Sammlung von Meinungen bzw. Standpunkten ist für diesen Anspruch nicht förderlich. Um dieser Zielstellung gerecht werden zu können, muss der Rahmen der Untersuchung jedoch weiter gespannt werden.

Die Praxis der Erdgeschichte beweist, dass diese durch ständige Veränderungen geprägt ist. Aus ihrer Entwicklung ist auch das Leben hervorgegangen, erst von niederen Formen bis zur derzeit höchsten Entwicklungsstufe, den Menschen, deren hervorgehobenes Merkmal ihre Fähigkeit ist, logische Zusammenhänge zu erkennen. Durch analytische Untersuchungen von Ereignissen aus der Erdgeschichte, aktuellen Ereignissen sowie der Überprüfung von Thesen auf ihren Wahrheitsgehalt in der Praxis wurden objektive Gesetzmäßigkeiten erkannt, die unabhängig vom menschlichen Willen stetig wirken. Diese so erkannten objektiven Gesetze finden sich heute in den Wissenschaftsdisziplinen Mathematik, Physik, Chemie, Biologie und Gesellschaftswissenschaften wieder. Sie alle werden in der täglichen Produktion der Menschen genutzt und bestätigen mit dem immer wiederkehrenden Produktionsergebnis ihren objektiven Charakter und damit ihre Wahrheit.

Mit der von objektiven Gesetzen gesteuerten Entwicklung der verschiedenen Lebensbereiche (Pflanzen, Tiere, Menschen) geht auch eine Herausbildung von Gesellschaften, ebenfalls durch ob-

jektiv wirkende Gesetze gesteuert, einher, so dass auch diese der erdgeschichtlichen Entwicklung zugehörig sind.

Einige dieser objektiven Gesetze sollen nunmehr herangezogen werden, um eine Antwort auf die Fragestellung im Titel zu finden. Leider gilt es auch bei diesem Fragenkomplex festzustellen, dass es noch eine Reihe von Problemstellungen gibt, für die die Menschheit noch keine objektiven Gesetze erkannt hat.

Im Bereich des Klimas können viele Erscheinungen z.Zt. nicht mit objektiven Gesetzen begründet werden. Ihre Interpretation stützt sich dabei nur auf Thesen, bei denen der Wahrheitsbeweis durch die Praxis noch nicht erbracht werden konnte. Das trifft insbesondere auf Warm- und Kaltzeiten in der Erdgeschichte zu, z.B. in Perioden, in denen es noch keine Menschen auf der Erde gab, was eine wissenschaftlich nachgewiesene Wahrheit ist. Es trifft aber auch auf die Wechselbeziehungen zwischen Sonne und Erde, Mond und Erde sowie die Erdbewegung auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne und um sich selbst sowie der Pendelbewegung der Erdachse zu.

Selbst in aktuellen Wettervoraussagen sind diese Unsicherheiten zu verzeichnen. Andererseits ist die Beeinflussung der Sonneneinstrahlung auf die Erde durch bestimmte Gase aber auch das Wärmespeichervermögen der sogenannten Klimagase, wie u.a. Kohlendioxid, durch objektive Gesetze bewiesen. Dabei besitzt Wasserdampf übrigens ein wesentlich höheres Wärmespeichervermögen als Kohlendioxid. Die Schlussfolgerung ist, dass die Erwartungshaltung an den Ausstieg aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Klimasteuerung aber auch die Begründung der Kohlendioxidsteuer wissenschaftlich nicht gesichert ist, also der Wahrheitsbeweis fehlt, weil mit Sicherheit die Entwicklung einer Warmzeit auf der Erde nicht nur ausschließlich dem Wärmespeichervermögen des Kohlendioxids zuzuschreiben ist. Folgt man

Kontakt
maxiwogu@gmx.de

der Argumentation der Kohlendioxidsteuer ist demnächst infolge der Parameter des Wasserdampfes und der Häufigkeit seines Vorkommens auf der Erde die Einführung einer Wasserdampfsteuer u.a. für das Essen kochen sowie für das Duschen zu erwarten.

Auch aus einem anderen Blickwinkel ist die in Deutschland eingeführte Kohlendioxidsteuer fragwürdig. Der Anteil Deutschlands am Kohlendioxidaufkommen auf dieser Erde liegt nachgewiesen bei kleiner 2 %. Mit der Kohlendioxidsteuer in Deutschland das Weltklima beeinflussen zu wollen, ist nach den Regeln der mathematischen Statistik ein Argument, das komplexe Ahnungslosigkeit beweist. Ein ähnliches Szenarium zeichnet sich ab, wenn man das Verbot zur Verbrennung fossiler Brennstoffe den Konsequenzen auftauender Permafrostböden gegenüberstellt. An dieser Stelle soll nur darauf hingewiesen werden, dass in der früheren Erdgeschichte nachgewiesenermaßen die Antarktis, heute Inbegriff für Eis und Kälte, ein grünender Erdteil war. (Damit es keine Verwechslungen mit aktuellem politischen Geschehen in Deutschland gibt, wird nicht von einem grünen Erdteil gesprochen.)

Ein weiterer Gesichtspunkt sollte an dieser Stelle noch hervorgehoben werden. Die Lebewesen auf dieser Erde benötigen für ihre Lebensfähigkeit Sauerstoff und produzieren Kohlendioxid. Die Pflanzen auf dieser Erde benötigen Kohlendioxid und produzieren Sauerstoff. Dieser naturgesetzliche Kreislauf ist das Grundgesetz allen Lebens auf dieser Erde, auch das von uns Menschen. In diesem Kreislauf gibt es ernstzunehmende Störgrößen, die durch Menschen verursacht werden, nicht aus Gründen der Lebenserhaltung, sondern schlichtweg aus Profitinteressen. Gemeint ist die Rodung der Regenwälder ohne Wiederaufforstung. Ein Importverbot von Edelhölzern weltweit statt Kohlendioxidsteuer wäre ein wichtiger Beitrag für den Kreislauf des Lebens und würde eine spürbare Senkung für Kohlendioxid und damit möglicherweise eine glaubhafte Aktivität gegen die Erderwärmung, wenn sie dann zutreffend sein sollte, darstellen.

Zum Themenkreis der Energiewende

Die Energiebereitstellung ist für die Leistungsfähigkeit von Industriegesellschaften von besonderer Bedeutung. Mit der Erfindung der Dampfmaschine wurde das industrielle Zeitalter eingeleitet. Sie ermöglichte es, die bis dahin neben der menschlichen Muskelkraft nur nutzbaren Kräfte von Tieren sowie die Wind- und Wasserkraft zu ersetzen und um ein vielfaches effizienter zu gestalten. Mit der Erzeugung und Nutzbarmachung von elektrischem Strom wurde die Standortbindung der Kraftentfaltung aufgehoben und die Effizienz noch weiter gesteigert. Naturgesetzlich bedingt ist dabei festzustellen, dass nicht jede Energie die Fähigkeit hat, durch Kraftentfaltung Arbeit zu leisten, also Arbeitsfähigkeit besitzt. Die Umwelt auf der Erde z.B. verfügt über ein unendlich großes Energiepotential. Ihr Nachteil besteht jedoch darin, dass diese Energie auf Grund naturgesetzlicher Gegebenheiten Null Arbeitsfähigkeit besitzt. Die Energie, über die geredet werden soll, verfügt also über arbeitsfähige und nichtarbeitsfähige Energie. Die erwünschte Komponente wird von Fachleuten als Exergie bezeichnet. Elektrischer Strom kann als 100 % Exergie und Wärme zum Heizen als Gemisch aus Exergie und nichtarbeitsfähiger Energie, die als Anergie bezeichnet wird, angesehen werden. Dabei geht der Exergieanteil bei Wärme gegen Null, je mehr ihre Temperatur sich der Umwelttemperatur anpasst.

Eine weitere Besonderheit der Energie gilt es zu beachten, um die Problemstellungen bei der Diskussion der Energiewende erkennen zu können. Jede Energie kann beliebig oft in andere

Energieformen umgewandelt werden. Nach den objektiven Gesetzen ist jede Umwandlung mit einem Wirkungsgrad verbunden. Bei jeder Energieumwandlung geht zwar keine Energie verloren, denn Menschen haben ja als objektives Gesetz den Energieerhaltungssatz formuliert, aber ihre Exergie wird weniger, da sie sich in Anergie umwandelt.

Bei der Energiewende sind mehrere Energieumwandlungsstufen in einigen Lösungsvorschlägen vorgesehen, so dass im Ergebnis immer weniger Exergie, gemessen an der eingesetzten Primärenergie, für die Industrie herauskommt, d.h. dass die nutzbare Arbeitsfähigkeit immer teurer wird und demzufolge die Kosten der Produktion steigen, was dem Grundcharakter der Marktwirtschaft zuwider läuft. Ein Beispiel soll die daraus resultierende Konsequenz sichtbar machen. Nimmt man an, dass von der eingesetzten Primärenergie bis zur Arbeitsleistung der Energie beim Endverbraucher nur drei Umwandlungsstufen nötig sind und jede Umwandlung mit einem Wirkungsgrad von 40 % stattfindet, kommen nur noch 6,4 % der eingesetzten 100 % Energie letztlich beim Verbraucher an.

Eine weitere Besonderheit des elektrischen Stroms gilt es zu beachten. Elektrischer Strom ist in der Größenordnung des Industriebedarfs nicht speicherbar. Deshalb muss die Stromerzeugung immer der Größe des Stromverbrauchs entsprechen, weil sonst die Gefahr des Zusammenbruchs des Stromübertragungsnetzes besteht. Der Strombedarf über einen Tag ist nicht konstant. Der Bedarfsverlauf über einen Tag wird als Lastgang bezeichnet. Die Anpassung der Stromerzeugung an den Lastgang wird durch Stromeinspeisung über Grundlast-, Mittellast- und Spitzenlastkraftwerke gesichert. Grundlastkraftwerke sind solche mit hohen Investitionskosten, also hohen Abschreibungen. Um die Stromerzeugungskosten trotzdem niedrig zu halten, sind sie 24 Stunden am Tag in Betrieb. Mittellastanlagen sind solche mit nicht so hohen Investitionskosten, meistens mit Wärmeerzeugung gekoppelt, die je nach Bedarfslage einen Teil des Tages bzw. mit gestufter Leistung Strom abgeben. Mit Spitzenlastanlagen wird Strom nur in den kurzen Spitzenzeiten des Tages erzeugt. Sie zeichnen sich durch besonders niedrige Investitionskosten aus, wie z.B. Gasturbinenanlagen. Auf Grund der täglich nur kurzen Betriebszeit ist dies trotzdem der teuerste Strom.

Mit dieser Strategie wird erreicht, dass die Kosten der in der Industrie zu leistenden Arbeit, entsprechend einem Hauptanliegen der Marktwirtschaft, möglichst niedrig gehalten werden können. Mit der Einleitung der Energiewende werden jedoch die Sonnenenergie, bereits eine Energiequelle der menschlichen Gesellschaft in der Urgemeinschaft, und die Windenergie, bereits in den Windmühlen des Mittelalters genutzt, zur Stromerzeugung herangezogen. Damit gilt es in der modernen Energiewirtschaft, zusätzliche Problemstellungen zu meistern, da beide Primärenergiequellen nur unabhängig vom Willen der Menschen zur Verfügung stehen. Die vorzuhaltende Reservekapazität an Erzeugerleistung für die Stromerzeugung muss größer werden als vor der Energiewende, was eine weitere Steigerung der Stromkosten zur Folge hat, wie das auch die Stromrechnungen der Energieversorger über einen längeren zurückliegenden Zeitraum als Wahrheitsbeweis belegen.

Es gilt noch einen weiteren Gesichtspunkt im Rahmen dieses Teils der Diskussion hervorzuheben. Bei der Umwandlung chemisch gebundener Energie durch Verbrennung in mechanische Energie und dem dabei zugewinnenden Exergieanteil, wie in den fossilen Kraftwerken und den Verbrennungsmotoren, spielt auch die Energiedichte eine wichtige Rolle. Um das zu verdeutlichen ist

z.B. bei Wärmekraftwerken der Wirkungsgrad umso größer, je höher die Temperatur des als Zwischenprodukt erzeugten Dampfes ist. Aus diesem Grund ist auch der Dieselmotor dem Ottomotor als Energiemaschine überlegen.

Eine letzte Aussage noch im Rahmen der Wahrheiten zur Energiewende soll sich den Atomkraftwerken und dem in Deutschland beschlossenen Ausstieg aus dieser Technologie zuwenden. Atomkraftwerke, die frei sind von Kohlendioxidemissionen, konnten von Menschen in Funktion gesetzt werden, weil objektive Gesetzmäßigkeiten erkannt wurden.

Diese Technologie ist die modernste Form der Elektroenergiebereitstellung, über die z.Zt. verfügt wird. Nach den hiermit aufgetretenen Katastrophen ist einerseits verständlich, dass es eine Bewegung ihrer Ablehnung gibt. Es war aber schon von vornherein klar, dass derartige Anlagen nicht auf dem Feuergürtel der Erde, wie in Japan und teilweise auch anderswo, errichtet werden sollten. Auf Grund dieser fortschrittlichsten Technologie zur Stromerzeugung sind in vielen Ländern Atomkraftwerke in Betrieb bzw. werden errichtet. Die Reaktion von Atomkernen zur Energiebereitstellung ist so alt wie unser Sonnensystem selbst und demzufolge die älteste Energiebereitstellung auf dieser Erde. Ohne diese Energiebereitstellung durch Kernreaktionen würde es kein Leben auf dieser Erde geben und uns Menschen auch nicht.

An dieser Stelle muss noch auf eine bemerkenswerte Inkonsistenz der gleichen Entscheidungsträger aufmerksam gemacht werden, die neben dem Beschluss zum Atomausstieg auch für die Beschlüsse zur Energiewende und Klimasteuerung verantwortlich sind.

Atomkraftwerke sind für eine friedliche Nutzung der Atomenergie konzipiert, Atomwaffen bedrohen die Menschheit mit totaler Vernichtung. Trotzdem gestatten sie deren Lagerung auf deutschem Boden.

Werden die bisherigen Ausführungen einer Zwischenbilanz in der Form unterzogen, inwieweit Klimasteuerung und Energiewende in Übereinstimmung mit der Wirkung von objektiven Gesetzen stehen, konnte nachgewiesen werden, dass in einigen Fällen die Kenntnisse über wissenschaftlich begründete Zusammenhänge fehlen und die Entscheidungsbasis einerseits nur auf bisher nicht in der Praxis bestätigten Thesen, also nicht auf Wahrheit, beruht, sich in anderen Fällen gegen die Wirkrichtung objektiver Gesetze (Kostensteigerung der Arbeit) wendet.

Aus dieser Zwischenbilanz erhebt sich die Frage nach den Ursachen, warum solche Wege per Beschluss eingeschlagen werden, wobei auffallend ist, dass sich bei dem Thema Klimasteuerung in jüngster Zeit zunehmend westliche Industriestaaten anschließen. Um hierfür plausible Zusammenhänge erkennen zu können, sollen einige Erkenntnisse aus der Kategorie der Gesellschaftswissenschaften herangezogen werden, wobei sich der Erkenntnisgewinn der Gesellschaftswissenschaften aus der Analyse der Geschichte der Gesellschaften ergibt.

Im Mittelpunkt aller Gesellschaften, die sich durch das Leben entwickelt haben, stand und steht die Frage der Macht und der Wettbewerb als Weg zur Machterlangung und Machtsicherung. Ein überzeugendes Beispiel hierfür bietet die jüngere Geschichte der menschlichen Gesellschaft, die sich z.Zt. in der Phase des Kapitalismus befindet. Ab 1917 entwickelte sich neben ihr eine Gesellschaftsordnung, die sich als Sozialismus bezeichnete. Der gegenseitige Kampf um die Macht bestimmte für mehr als 70 Jahre das Weltgeschehen. Letztendlich haben die Erfolge der kapitalistischen Ordnung im Wettbewerb die Machtfrage zwischen beiden Systemen für sich entschieden.

Erkenntnisse über das Wirken objektiver, vom Willen der Menschen unabhängiger Gesetze im Kapitalismus, gehen auf den Philosophen Karl Marx zurück. So hat er erkannt, dass die Entwicklung der Produktivkräfte eine bestimmende Größe für jede menschliche Gesellschaft von der Urgemeinschaft bis zur gegenwärtig höchsten Form, dem Kapitalismus, ist. Beispiele wie die Beherrschung des Feuers durch die Menschen, die Erfindung des Rades für eine immer effizientere Fortbewegung, die Entwicklung der Flugtechnik, die Atomtechnik und die Digitalisierung beweisen die Bedeutung der Produktivkräfte als Triebkraft für die menschliche Gesellschaft. Aber auch die Feststellung von Marx über die Unvermeidbarkeit von Wirtschaftskrisen im Kapitalismus wird durch das aktuelle Geschehen, siehe die Weltwirtschaftsstatistiken, bewiesen. Die Frage der Macht, bereits oben artikuliert, wird im Kapitalismus durch das Streben nach Profit realisiert, der Wettbewerb über das Prinzip der Marktwirtschaft, d.h. niedrigste Kosten, beste Qualität und damit maximaler Profit. Natürlich findet man in der Geschichte der menschlichen Gesellschaft neben den genannten Ereignissen des 20. Jahrhunderts auch andere Beispiele dafür, wie blühende Gesellschaften untergegangen sind. Gründe dafür sind u.a. ungenügende Beachtung objektiver Entwicklungen in der Natur bzw. von Menschen getroffene Entscheidungen gegen die Entwicklungsrichtung der objektiven Gesetze.

Um auf die im Thema formulierte Erwartungshaltung zurückzukommen, gilt es folgendes zu beachten. Aktuell befinden sich die Industrieländer, wie auch bereits mehrfach im 20. Jahrhundert, zweifelsfrei erneut in einer der von Marx prognostizierten Wirtschaftskrisen.

Der Profit durchläuft in der Krise eine Senke. Die objektiven Gesetze des Kapitalismus fordern eine schnelle Profitsteigerung, d.h. durch hohe Investitionen die Wirtschaft wieder anzukurbeln.

Im 20. Jahrhundert wurde dazu das Mittel des Krieges mit seiner großen Materialvernichtung eingesetzt. Dieser Weg ist im 21. Jahrhundert infolge der sich entwickelnden Produktivkräfte (Atomwaffen) bei Strafe des Untergangs der Menschheit, nicht mehr zu begehen. Neue Lösungen müssen gesucht werden. Dabei gewinnt die Erkenntnis Oberhand, dass man mit der Energiewende und der Klimasteuerung zeitweilig viel Geld verdienen kann. China hat einen anderen Weg gewählt, mit dem Projekt „Neue Seidenstraße“. Die Wirtschaftsstatistik für China weist den Erfolg dieses Weges aus.

Es ist zu erwarten, dass der Investitionsschub der westlichen Industriestaaten in Energiewende und Klimasteuerung kurzfristig die bestehende Profitsenke überwinden hilft. Mittelfristig sind jedoch Zweifel anzumelden, weil dieser Weg, wie dargelegt, zwangsweise mit Kostenerhöhungen für die Arbeitsleistungen verbunden ist, was bedeuten würde, dass dann in diesen Ländern nicht mehr die effektivsten Produktivkräfte eingesetzt werden und demzufolge gegen die Grundprinzipien der Marktwirtschaft verstoßen wird. Die Länder, die dann diesem Weg nicht folgen, werden erhebliche Überlegenheit erlangen, weil ihre Produkte kostengünstiger produziert werden können.

Eine Schlussfolgerung aus dieser Analyse ist zwingend:
Wer gegen die Wirkrichtung der objektiven Gesetze verstößt, befindet sich auf der Straße der zukünftigen Verlierer.

Daran ändert sich auch nichts, wenn die beliebte Methode von Umfragen zu anderen Ergebnissen führt. Es bleibt für einen einfachen Bürger, wie dem Autor dieses Artikels, nur zu hoffen, dass die politischen Entscheidungsträger genügend Wissen und Weisheit besitzen.



Universität aktuell

Die Tenure-Track-Professur

Ein neuer Karriereweg für den wissenschaftlichen Nachwuchs

Alena Fröde



Foto obere Reihe von links: JProf. Björn Sprungk, JProf. Maximilian Lau, JProf. Sindy Fuhrmann, JProf. Conrad Jackisch, untere Reihe von links: Prof. Alexandros Charitos, JProf. Sabrina Hedrich, Prof. Michal Szucki, JProf. Christian Kupsch

Mit dem Bund-Länder-Programm zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses (WISNA) beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) wird die Tenure-Track-Professur erstmals flächendeckend an den Universitäten in Deutschland etabliert. Für viele jungen Wissenschaftler:innen wird der Weg zur Professur damit transparenter und planbarer.

Auch die TU Bergakademie Freiberg nimmt an diesem Programm mit acht Tenure-Track-Professuren teil. Zum April 2021 wurden die Tenure-Track-Professuren mit hoch qualifizierten Wissenschaftler:innen aus dem In- und Ausland erfolgreich besetzt. Die Tenure-Track-Professur sieht nach erfolgreicher sechsjähriger Bewährungsphase den unmittelbaren Übergang in eine Lebenszeit-

professur vor. Dauerhaft will die TU Bergakademie Freiberg 10 % aller Berufungen über das Tenure-Track-Verfahren besetzen.

Das Tenure-Track-Programm ist auch ein strukturelles Reformprojekt. Neben der Schaffung von neuen Strukturen zur Berufung, zur Evaluation und zur Begleitung und Qualifizierung der Tenure-Track-Professoren werden mit diesem Projekt auch Mittel bereitgestellt, um an der TU Bergakademie Freiberg den wissenschaftlichen Nachwuchs noch umfassender in den Qualifizierungsphasen zu fördern. Die bisherigen internen Weiterbildungs- und Vernetzungsangebote unter dem Dach der Graduierten- und Forschungsakademie werden mit dem WISNA-Programm auch

für Tenure-Track-Professuren und für Postdoktorandinnen in der Qualifizierungsphase weiter ausgebaut. Neue Begleit- und Beratungsangebote, wie Mentoring und Coaching, können damit an der Hochschule für den wissenschaftlichen Nachwuchs etabliert werden.

Ansprechpartnerinnen für das WISNA Programm an der TU Bergakademie Freiberg sind Frau Dr. Ellen Weißmantel (Projektleitung) und Frau Alena Fröde (Projektkoordination).

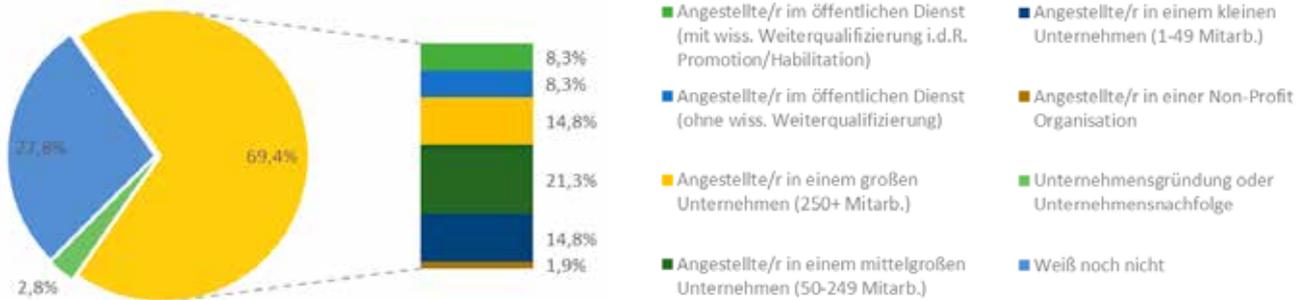
Kontakt

Technische Universität Bergakademie Freiberg
Graduierten- und Forschungsakademie
Prüferstrasse 2
09599 Freiberg
Alena.Froede@grafa.tu-freiberg.de

Gründungsmonitor 2020

Gründungsneigung von Studierenden an der TU Bergakademie Freiberg

Marcus Gast, Karina Sopp



Geplanter Karriereestieg nach dem Studium

Einleitung

Einen wichtigen Beitrag zum Technologie- und Wissenstransfer zwischen Forschung und Wirtschaft leisten Studierende sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit innovativen Unternehmensgründungen.¹ Die Förderung eines positiven Gründungsklimas an deutschen Hochschulen trägt zum erfolgreichen Technologie- und Wissenstransfer bei und steht in den letzten Jahren vermehrt im Fokus von politischen Entscheidungsträgern. Einschätzungen zum Gründungsklima werden an diversen Einrichtungen bereits regelmäßig erhoben.² Einen ersten Einblick in das Gründungsklima an der TU Bergakademie Freiberg vermittelt dieser Beitrag, der die Ergebnisse einer Erhebung unter Studierenden der TU Bergakademie Freiberg zusammenfasst.

Datenerhebung

Im Zeitraum vom 09. Juli 2020 bis zum 14. September 2020 wurde unter Studierenden der TU Bergakademie Freiberg eine onlinegestützte Befragung durchgeführt. Die Aufforderung zur Teilnahme an der Befragung erfolgte mittels der sogenannten Uni-Rundmail. Zum Zeitpunkt der Erhebung waren ca. 4.000 Studierende³ an der TU Bergakademie Freiberg eingeschrieben (hierunter: ca. 30 % weibliche Studierende); davon haben 108 Studierende (bzw. ca. 2,7 % der Studierenden) an der Befragung teilgenommen (hierunter: ca. 48 % weibliche Studierende). Zur Auswertung der Befragung wurden die Teilnehmenden in Abhängigkeit von ihrer Studienrichtung in

eine der Gruppen „Naturwissenschaften“⁴, „Ingenieurwissenschaften“⁵ oder „Wirtschaftswissenschaften“⁶ eingeordnet.

Umfrageergebnisse zur Gründungsneigung

69,4 % der Teilnehmenden geben an, nach dem Ende des Studiums eine Tätigkeit in einem Angestelltenverhältnis aufnehmen zu wollen; nur 2,8 % der Befragten streben es an, direkt nach dem Studium ein Unternehmen zu gründen oder eine Unternehmensnachfolge anzutreten. Die restlichen Befragten sind hinsichtlich der Tätigkeit nach dem Studium noch unentschieden. Trotz des hohen Anteils an Studierenden, die eine Tätigkeit im Angestelltenverhältnis anstreben, stehen 51,5 % der Befragten einer potentiellen unternehmerischen Selbständigkeit positiv gegenüber (64,6 % hiervon entfallen auf weibliche Studierende). Der höchste Anteil an Zustimmungen befindet sich mit 62,5 % in der Gruppe der Studierenden der Wirtschaftswissenschaften; darauf folgen die Befragten in der Gruppe der Ingenieurwissenschaften mit 53,1 %. In der Gruppe der Studierenden der Naturwissenschaften bejahen nur 30 % ihre Bereitschaft zur potentiellen unternehmerischen Selbständigkeit.

Nach den Umfrageergebnissen besitzen bereits 16,7 % aller Studierenden eine konkrete Geschäftsidee. Hierbei weisen die Studierenden der Wirtschaftswissenschaften mit 26,5 % wiederum einen hö-

heren Wert auf als Studierende der Natur- oder Ingenieurwissenschaften (10 % bzw. 13 %). Nach Angabe aller Befragten haben nur 1,9 % aller Teilnehmenden die vorhandene Geschäftsidee im Rahmen ihres Studiums entwickelt.

Umfrageergebnisse zur Bekanntheit von Gründernetzwerken und Existenzgründungsprogrammen

Einen besonders hohen Bekanntheitsgrad genießt das Gründernetzwerk SA-XEED an der TU Bergakademie Freiberg. 76,9 % aller Studierenden geben an, diese Einrichtung zu kennen. Bei Studierenden der Wirtschaftswissenschaften ist der Bekanntheitsgrad mit 85,3 % höher als bei Studierenden der Natur- und Ingenieurwissenschaften mit 70 % bzw. 74 %. Das Existenzgründerprogramm EXIST ist 18,4 % der Studierenden bekannt.⁷ Im Rahmen einer offenen Frage geben die Teilnehmenden an, die folgenden weiteren Programme und Initiativen mit Existenzgründungsbezug zu kennen (gereiht nach der Häufigkeit der Nennung): FOUNdress, FutureSAX, InnoStartBonus, SAB Technologiestipendium, Univations Gründerservice Halle, Flüge, Babytou, UnternehmerTUM, BayStartUp, Startup Safari Dresden, ImpactHub Dresden, SpinLab, Indigogo, kickstarter, Innospire Dresden, GründerGarten Dresden, Dresden exists.

⁷ Wirtschaftswissenschaften 26,65 %; Naturwissenschaften 15 %; Ingenieurwissenschaften 14,3 %.

Kontakt

TU Bergakademie Freiberg
 Professur für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre mit dem Schwerpunkt Entrepreneurship und betriebswirtschaftliche Steuerlehre
 Schlossplatz 1, 09599 Freiberg

¹ Vgl. Frank/Schröder (2018).

² Beispiele für solche Studien bieten Blöcher/Gowlik (2020); Voigt (2004); Görisch (2002).

³ Vgl. TU Bergakademie Freiberg (2020).

⁴ Fakultät 1 und 2: 18,5 % der teilnehmenden Studierenden.

⁵ Fakultät 3, 4 und 5: 50 % der teilnehmenden Studierenden.

⁶ Fakultät 6: 31,5 % der teilnehmenden Studierenden.

Umfrageergebnisse zu Veranstaltungen mit Existenzgründungsbezug

69 % aller Befragten würden weitere Veranstaltungen mit Existenzgründungsbezug im Rahmen ihres Studiums besuchen. Ein besonderes Interesse zeigen hierbei die Studierenden der Wirtschaftswissenschaften mit 88,2 %. Hingegen würden nur 35 % der Studierenden der Naturwissenschaften eine fakultative Veranstaltung zum Thema Existenzgründung im Studium besuchen.⁸ Die Bereitschaft, an einer Veranstaltung zum Thema Existenzgründung in der Freizeit – mithin ohne Bezug zum Studium – zu besuchen, sinkt über alle Studierenden hinweg auf 43,8 %. Hierbei bilden die Naturwissenschaftler

⁸ Ingenieurwissenschaftler liegen bei 69,6 %.

mit 10,5 % deutliches Schlusslicht.⁹ Eine Teilnahmegebühr würden nur 21,3 % der Studierenden für eine Veranstaltung zum Thema Existenzgründung entrichten.

Fazit

Die durchgeführte Erhebung zeigt, dass die Studierenden der TU Bergakademie Freiberg dem Thema Existenzgründung grundsätzlich positiv gegenüberstehen und die Angebote der TU Bergakademie Freiberg von den Studierenden wahrgenommen werden. Nichtsdestotrotz sind die Gründungseigung der Studierenden und der Bekanntheitsgrad von Maßnahmen zur Förderung von Existenzgründungen ausbaufähig.

⁹ Wirtschaftswissenschaften 66,7 %; Ingenieurwissenschaften 42,6 %.

Literatur

Blöcher, Annette / Gawlik, Lukas (2020): Entrepreneurship-Kultur an Hochschulen. Empirische Untersuchung am Beispiel der TH Köln, Köln.

Frank, Andreas / Schröder, Eike (2018): Gründungsradar 2018, Essen.

Görisch, Jens (2002): Studierende und Selbstständigkeit. Ergebnisse der EXIST-Studierendenbefragung, Bonn.

TU Bergakademie Freiberg (2020): Kennzahlen und Rankings, Abgerufen am 01.12.2020 unter <https://tu-freiberg.de/universitaet/profil/kennzahlen-rankings>

Voigt, Eva (2004): Gründungsbereitschaft und Gründungsqualifizierung. Ergebnisse der Studentenbefragung an der TU Ilmenau, Ilmenau.

Promotion – Ja oder Nein!?

Ein Workshop zur Entscheidungshilfe für Studentinnen

Den Anteil promovierender Frauen in den MINT-Fächern zu erhöhen, ist auch für die TU Bergakademie Freiberg ein wichtiger Auftrag und mittlerweile in Zielstellungen von Personal-, Gleichstellungs- und Hochschulentwicklungskonzepten fest verankert. Viele hochqualifizierte Studentinnen verlassen dennoch die Hochschule, ohne einmal an eine Promotion gedacht zu haben. Den Studentinnen fehlen konkrete und korrekte Informationen zu den formalen und individuellen Anforderungen an eine Promotion. Darüber hinaus sind die Zugangswege zur Wissenschaft und die Vielfalt an Promotionsmöglichkeiten vielen Frauen oft nicht bekannt. Neben Fehlinformationen zeigen sich auch Fehlvorstellungen, die sich auf ein zu geringes Selbstvertrauen zurückführen lassen. Frauen erwarten z. B. häufig Zuspruch von außen – als Signal dafür, dass man ihnen die Promotion zutraut.

Seit 2019 findet einmal jährlich unter dem Dach der Graduierten- und Forschungsakademie in den Erstsemesterwochen ein dreitägiger Workshop statt – mit dem Titel „Promotion – Ja oder Nein!? Entscheidungshilfe zur Promotion für Studentinnen“. Das Angebot richtet sich an Studentinnen, die bereits einen Studienabschluss erreicht haben oder in der Abschlussphase ihres Studiums stehen.

Innerhalb der drei Tage informiert das Programm die Teilnehmerinnen über die formalen Anforderungen an eine Promotion. In verschiedenen Diskussionsforma-

ten, wie Kamingespräche oder Besuche am Arbeitsplatz von Doktorandinnen, können die Studentinnen ihre individuell bereits bestehenden Vorstellungen zum „Promovieren“ hinterfragen. In Selbstreflexionseinheiten entwickeln sie für sich selbstwirksamkeitsbezogene Vorstellungen zur individuellen Umsetzung eines Promotionsprojekts. Darüber hinaus werden Vorgehensweisen und Instrumente zur Planung eines Promotionsprojekts vermittelt, um die Teilnehmerinnen für einen zielorientierten und strukturierten Einstieg in ein solches Projekt zu motivieren.

Bisher haben an den drei bereits stattgefundenen Workshops (2019 - 2021) 28 Studentinnen teilgenommen. Die Teilnehmerstimmen verdeutlichen, dass jede der jungen Frauen das Angebot für sich individuell nutzen und an Entscheidungssicherheit gewinnen konnte. Auch künftige Teilnehmerinnen können sich mit dem Angebot ausreichend informieren und orientieren: „Die Informationen über den allgemeinen und dann persönlichen Weg haben die Zweifel etwas zerstreut“. Auch können die Teilnehmerinnen Fehlvorstellungen zur Machbarkeit und zur Selbstorganisation korrigieren: dass eine Promotion wahrlich machbar ist. Dass man sich strukturieren kann, dass man sich

auch aus Tiefpunkten heraus wieder motivieren kann und dass einem auf dem Weg Hilfe zur Verfügung steht.“ Die Teilnehmerinnen berichten außerdem über eine positive Wirkung auf ihre Motivation und Selbstwirksamkeit: „Die Vorstellungen haben sich zum Positiven entwickelt; Ängste, ggf. nicht zu genügen, wurden genommen.“

Finanziert wird die Durchführung aus Mitteln der Rektoratskommission Diversität, Gleichstellung und Inklusion. Das Workshopkonzept wurde im Jahr 2021 als Beispielprojekt in den INKA Katalog für Modellmaßnahmen zur Verwirklichung der Geschlechtergerechtigkeit in der Wissenschaft aufgenommen.

Kontakt

Alena Fröde (M.A., MBA)
Technische Universität Bergakademie Freiberg
Graduierten- und Forschungsakademie
Prüferstrasse 2, 09599 Freiberg



Foto: Alena Fröde / GraFA

Vom Forschungsprojekt zum Startup

Gründungsunterstützung an der TU Bergakademie Freiberg

Andre Uhlmann

Stärkung des Wissens- und Technologietransfers durch erfolgreiche Gründungen

Neben den klassischen Aufgaben der Hochschulen im Bereich der Lehre und Forschung 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 2020 zufolge allgemein weiter rückläufig. Hinzu kommt die Corona-Pandemie, deren Auswirkung auf das Gründungsgeschehen in der Bundesrepublik Deutschland bisher nur bedingt eingeschätzt werden kann. Unabhängig von dieser Entwicklung bleibt der Anteil der Gründungen, die ideengetrieben, innovativ, digital und wachstumsorientiert sind, konstant. Die Hochschulen als Treiber hin zu qualitativen Gründungen, v. a. im Rahmen von Spin-Offs, gewinnen weiter signifikant an Bedeutung. Zentraler Akteur der Gründungsunterstützung an der TU Bergakademie Freiberg ist das hochschuleigene Gründernetzwerk SAXEED. Angesiedelt am Prorektorat für Forschung sensibilisiert und motiviert SAXEED Studierende, Hochschulabsolventen und Hochschulmitarbeiter für die Idee der eigenen Unternehmensgründung. Durch ein breites Angebot an Netzwerk- bzw. Lehrveranstaltungen werden Gründer qualifiziert und von erfahrenen Gründerbetreuern von der Bewertung der Geschäftsidee über die Entwicklung des Geschäftsmodells bis zur Gründung des eigenen Startups begleitet. Als Verbundprojekt gibt es SAXEED neben der TU Bergakademie Freiberg auch an der TU Chemnitz und an den beiden Fachhochschulen in Mittweida und Zwickau.

TU Bergakademie Freiberg erneut für „vorbildliche Leistungen“ in der Gründungsunterstützung ausgezeichnet

Im deutschlandweiten Ranking „Gründungsradar 2020“ des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft e.V. belegte die TU Bergakademie Freiberg bundesweit den siebten Platz unter den kleinen Universitäten bzw. Hochschulen und ist erneut unter den Top Ten bundesweit. Der Gründungsradar des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft e.V. erfasst und analysiert alle zwei Jahre die Gründungsaktivitäten und Unterstützungsangebote deutscher Universitäten und Hochschulen. Die Ana-



Philipp Arnold und Axel Helm von der Additive Drives GmbH bei der Übergabe des Sächsischen Gründerpreises durch den Wirtschaftsminister Martin Dulig am 14.07.2021

lyse ist das größte und wichtigste Ranking für Gründeraktivitäten an deutschen Hochschulen. Insbesondere in den Kategorien „Gründungsverankerung“ und „Gründungsaktivitäten“ hat die TU Bergakademie Freiberg sehr gute Ergebnisse erzielt. Hinsichtlich der Anzahl an EXIST-Förderungen für Ausgründungsprojekte bezogen auf die Anzahl der Studierenden zählt die Universität zu den besten Hochschulen in Deutschland. Im Referenzjahr 2019 hat SAXEED an der TU Freiberg insgesamt 45 Gründungsprojekte beraten, woraus sieben Gründungen hervorgegangen sind. Besonders erfreulich ist es, dass die Ausgründungsprojekte mittlerweile aus allen Fakultäten der Universität kommen. Darüber hinaus wurde SAXEED im Rahmen des Gründungsradars als Beispiel für erfolgreiche Kooperationen mehrerer gleichberechtigter Hochschulen in der Gründungsunterstützung vorgestellt. Den Gründern steht so ein hochschulübergreifendes Unterstützungsnetzwerk zur Verfügung, das auch stark mit weiteren Unterstützern verbunden ist.

Erfolgreiche Startups aus der TU Bergakademie Freiberg

Die Startups aus der TU Bergakademie Freiberg setzen vorwiegend an den anwendungsorientierten Forschungsprojekten der TU Bergakademie Freiberg an. In den letzten fünf Jahren (01/2016 bis 06/2021) wurden 44 Unternehmen aus der TU Bergakademie Freiberg gegründet, von den noch dreiviertel am Markt tätig sind. 43 % der gegründeten Unternehmen sind Kapitalgesellschaften. Insgesamt wurden rund 120 werthaltige Arbeitsplätze in der Region geschaffen. Besonders erfolgreiche Ausgründungen der jüngsten Vergangenheit waren die **ATNA Industrial Solution GmbH** und die **Additive Drives GmbH**.

Mit dem 3D-Druck von E-Motor-Komponenten startet die Additive Drives GmbH (Gründung im April 2020) die neue Ära der Elektrifizierung. Im Fokus stehen hochperformante Kupferwicklungen, Hauptbestandteil eines jeden Elektromotors. Die vereinfachte Herstellung – direkt aus den CAD-Daten des Konstrukteurs – ermöglicht kürzere Entwicklungs- und Testzyklen. Durch die Herstellung von Kupferspulen mittels 3D-Druck werden höhere Leistungen und Wirkungsgrade erzielt. Der höhere Kupferanteil im Elektromotor senkt die Verluste und verbessert die thermische Ankopplung der Wicklung. So können bis zu 45 % mehr Leistung im gleichen Bauraum erzielt werden.

Start-up der TU Bergakademie Freiberg gewinnt Sächsischen Gründerpreis 2021

Mit der Additive Drives GmbH wurde erstmals eine Ausgründung der TU Bergakademie Freiberg mit dem Sächsischen Staatspreis für Gründer:innen prämiert. Das Start-up setzte sich gegen rund 90 Mitbewerbende durch und erhielt am 14. Juli die Auszeichnung von Staatsminister Martin Dulig. Damit konnte das Gründerteam neben dem IQ Innovationspreis

Kontakt
andre.uhlmann@saxeed.net

Mitteldeutschland Ende Juni bereits den zweiten bundesweit relevanten Gründerpreis nach Freiberg holen. Den feierlichen Rahmen der Übergabe bildete die Sächsische Innovationskonferenz, welche von futureSAX – der Innovationsplattform des Freistaates Sachsen, veranstaltet wurde. Neben den besten sächsischen Grün-

unterschiedlicher Formate und Einsatzstoffe. So können auf den Brikettpressen der ATNA sowohl nachwachsende, mineralische und fossile Rohstoffe, als auch Rest- und Abfallstoffe zu Briketts höchster Qualität verarbeitet werden. Darüber hinaus unterstützt ATNA ihre Kunden bei der Durchführung von Laboruntersuchungen

Herstellung von Briketts für Industrieanwendungen, können somit auch Minibriketts mit einem Durchmesser von 2 cm hergestellt werden, um maßgeschneiderte Brennstoffe für Kleinverbrennungs- und auch Kleinvergasungsanlagen bereitzustellen. Insbesondere bei anspruchsvollen Holz- und nichtholzartigen Biomassen bie-



Bild: SAXEED

Der neue Workshopraum in der SAXEED Base



Bild: SAXEED

Blick in die SAXEED Base – den neuen Coworking Space für Startups der TU Bergakademie Freiberg



Bild: SAXEED

Feierliche Eröffnung der SAXEED Base am 27.08.2020

dungsideen wurden auch herausragende Transferprojekte und Innovationen mit den Staatspreisen für Transfer und Innovation prämiert. Nominiert für den Sächsischen Transferpreis war Prof. Dr. Henning Zeidler von der Professur für Additive Fertigung der TU Bergakademie Freiberg als Wissens- und Technologiegeber der Additive Drives GmbH. Zudem erhielt Andre Uhlmann vom Gründernetzwerk SAXEED der TU Bergakademie Freiberg eine Nominierung für den Sonderpreis für Technologiemitelnde. Somit waren Akteure der TU Bergakademie Freiberg in fast allen Kategorien der Sächsischen Staatspreise für Gründung, Transfer und Innovation nominiert. Auch wenn es am Ende nicht für den Sieg in diesen Kategorien gereicht hat, spricht allein die Nominierung für die hohe Qualität der Gründungsunterstützung an der TU Bergakademie Freiberg und die sachsenweite Wahrnehmung der Arbeit des Gründernetzwerks SAXEED.

Einen wichtigen Meilenstein in der Unternehmensentwicklung hat im Mai 2021 auch die **ATNA Industrial Solutions GmbH** erreicht. Das Start-up ist ein Maschinen- und Anlagenbauunternehmen und wurde 2019 aus dem Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik der TU Bergakademie Freiberg ausgegründet. Die Firma beschäftigt sich mit der Entwicklung und Produktion von Maschinen zur Herstellung von Briketts

und Machbarkeitsstudien zu komplexen verfahrenstechnischen Fragestellungen und überführt die Ergebnisse in individuelle Anlagenplanungen. Am 6. Mai 2021 haben Vertreter der ATNA Industrial Solutions GmbH die erste innovative Stempelbrikettiermaschine der Serie GreenLine S50 im Rahmen einer feierlichen Präsentation an die DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH ausgeliefert. Die Anlage arbeitet in ihrem Aufbau nach



Bild: ATNA Industrial Solutions GmbH

Feierliche Inbetriebnahme der ersten hydraulischen Presse „GreenLine S50“ der ATNA Industrial Solutions GmbH am 06.05.2021

dem Prinzip der Einkanalverdichtung und beinhaltet mehrere Verdichtungsschritte. Auf diese Art können Hubwege der Verdichtungskolben wesentlich verkürzt und die Anlage insgesamt energiesparender betrieben werden. Dieses Arbeitsprinzip ermöglicht zudem die Verringerung der Brikettdurchmesser, weil mit dem verkürzten Verdichtungskolben ebenfalls geringere Stempeldurchmesser ohne erhöhtes Knickrisiko möglich sind. Neben der

tet dies eine echte Alternative zur Pelletierung. Beide Startups wurden bzw. werden in ihrer Frühphase über das Förderprogramm EXIST Forschungstransfer des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) finanziert, welches die Umsetzung von anwendungsorientierten Forschungsergebnissen in innovativen Startups unterstützt. Dazu werden Personalmittel für das bis zu vierköpfige Gründer-team 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.

Danksagung

Die im Beitrag genannten Gründungsvorhaben und Aktivitäten der Gründungsförderung wurden mit Fördermitteln aus verschiedenen Programmen der EU, des Bundes, des Freistaates Sachsen finanziell unterstützt. Darüber hinaus sei an dieser Stelle allen beteiligten Professorinnen und Professoren und Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der TU Bergakademie Freiberg sowie den Partneereinrichtungen 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.

Ausgründungsprojekt „NaPaGen“

Im Oktober 2020 haben am Institut für Elektronik- und Sensormaterialien (IESM) vier junge Wissenschaftler*Innen die Arbeit am Ausgründungsprojekt „NaPaGen“ aufgenommen. Das zweijährige Projekt wird als EXIST-Forschungstransfer vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert und hat als erklärtes Ziel die erfolgreiche Ausgründung eines Unternehmens als Spin-off aus der Universität heraus.

Der Projekt- und Firmenname „NaPaGen“ leitet sich aus dem Begriff „Nano-ParticleGenerators“ ab und bezeichnet genau, worum es bei der Ausgründung geht: Die Wissenschaftler*Innen vom IESM befassen sich mit der Herstellung von Nanopartikeln und daraus resultierend vor allem mit der Entwicklung und Produktion von nanopartikelhaltigen Inkjet-Tinten für den Markt der gedruckten Elektronik.

Die Idee zur Ausgründung entstand während der Forschungsarbeiten von Frau Nadja Lumme auf der Grundlage eines Landesinnovationsstipendiums (gefördert aus Mitteln der Europäischen Union und des Freistaates Sachsen) zur automatisierten Herstellung von Edelmetall-Nanopartikeln. Da herkömmliche Batch-Verfahren nur eine bedingte Kontrolle über die Entstehung und das Wachstum von Nanopartikeln gestatten, wurde am Institut eine automatisiert arbeitende Anlage entworfen, die Nanopartikel reproduzierbarer herstellen und deren Eigenschaften gezielt beeinflussen kann. Dieser Fortschritt soll nun einem großen Problem in der gedruckten Elektronik entgegenwirken, denn viele Anwender aus der Industrie beklagen, dass die auf dem Markt verfügbaren Tinten großen Qualitätsschwankungen unterliegen. Dies führt dann beim Druck von Leiterbahnen & Co. schnell zu Problemen, die von verstopften Druckköpfen und damit verbundenen Kosten bis hin zu einem erhöh-

ten Material- und Zeiteinsatz führen.

Ein weiteres Problem der kommerziell erhältlichen Tinten liegt darin, dass sie weitgehend „universell“ einsetzbar sein sollen, doch in der Praxis sind sie das oftmals nicht. Das liegt vor allem daran, dass sowohl der Druckprozess als auch die Nachbehandlung der Produkte ein Zusammenspiel aus vielen Faktoren und Parametern ist. Das hat zur Folge, dass bisher immer der Druckprozess auf die erworbene Tinte angepasst werden musste, da die Anwender auf die Beschaffenheit der Tinte keinen

Das Echo etablierter Wirtschaftsunternehmen auf das Projekt ist überaus positiv zu bewerten, weshalb die Wissenschaftler*Innen die Ausgründung frühzeitig vollzogen haben, um der Nachfrage des Marktes rechtzeitig begegnen zu können. Dazu liegen Anfragen für verschiedene Materialien und Tinten aus KMU, Konzernen und Forschungseinrichtungen vor.

Langfristig möchte sich NaPaGen einen permanenten Platz im Markt für Inkjet-Tinten in der gedruckten Elektronik erarbeiten. Dieser Markt umfasst verschiedenste Segmente und reicht von sensorischen Anwendungen, beispielsweise für den Fahrzeug- und Flugzeugbau, bis hin zu medizinischen Produkten sowie NFC- und RFID-Chips. Allein schon der Markt der e-Textilien, in den vor allem auch die sogenannten Wearables fallen, soll im Jahr 2030 über 1,4 Milliarden USD wert sein; das Weltmarktvolumen der gedruckten Elektronik wird heute schon auf über 35 Milliarden USD geschätzt.

Zum Team um Projektleiterin und Geschäftsführerin Nadja Lumme gehören im aktiven Tagesgeschäft drei weitere Alumni der TUBAF: das sind der Chemiker Dr. Maik Gerwig, der sich um die Entwicklung und Produktion der Partikel und Tinten kümmert, M.Sc. Frederic Güth, der als Absolvent des IESM vor allem den Aufbau und die Automatisierung der Produktionsanlagen vorantreibt, sowie M.Sc. Bedia Jüttner, die als BWLerin alle finanziellen und kaufmännischen Aufgaben betreut. Mit ausgegründet hat auch die Leitung des IESM und fachliche Mentorin des Teams, Prof. Dr. Yvonne Joseph.



v.l.n.r. Dr. Maik Gerwig, Bedia Jüttner, Frederic Güth, Nadja Lumme

Einfluss nehmen können.

Mit der im Mai 2021 ausgegründeten NaPaGen GmbH ändert sich das nun: das Start-Up entwickelt spezifische Tinten und Nanopartikel in Zusammenarbeit mit den Anwendern, so dass diese iterativ Einfluss nehmen können auf die Zusammensetzung der Tinte (Stichwort: „customized inks“).

Nach erfolgreicher Entwicklungsarbeit für die jeweils konkrete Tinte können die Kunden diese dann zukünftig unter gleichbleibenden Qualitätsstandards über die NaPaGen GmbH beziehen, denn Entwicklung und Produktion werden bei NaPaGen unter einem Dach vereint sein.

Kontakt

NaPaGen GmbH
 Nadja Lumme, Geschäftsführerin
 Tel.: 03731 39 39 72
 Email: nadja.lumme@napagen.tu-freiberg.de



Die Universität als nachhaltige und umweltgerechte Organisation

Maximilian Lau^a, Jens Grigolet^b

Nachhaltigkeit ist einer der wesentlichen Werte im Leitbild der TU Bergakademie Freiberg und zentraler Gegenstand ihres wissenschaftlichen Profils. Konsequenterweise möchte die Universität auch selbst Vorbild sein und strebt einen möglichst umwelt- und klimagerechten Campusbetrieb an. Mit der Einsetzung eines neuen Umweltbeauftragten sowie eines Beirats für Umweltmanagement sollen hierzu weitere Schritte und Maßnahmen initiiert werden.

Mit der Ausbildung von spezifisch qualifizierten Fachkräften sowie der Forschung zu Umweltfragen und der nachhaltigen Ressourcennutzung leistet die TU Bergakademie Freiberg seit jeher relevante Beiträge für den Umwelt- und Klimaschutz. Beispiele zeigt die aktuelle Forschungsbroschüre zum Schwerpunkt „Umwelt“¹. Universitätsinterne Maßnahmen des Umweltmanagements erzielten dagegen deutlich weniger Aufmerksamkeit und waren weniger systematisch organisiert.

Aufgabe des Umweltbeauftragten ist es nun, Anregungen für einen ressourcenschonenden Betrieb zu geben und mehr Aufmerksamkeit für dieses Thema zu wecken. Mit Senatsbeschluss im Frühjahr 2021 wurde Jun.-Prof. Maximilian Lau als neuer Umweltbeauftragter der TU Bergakademie Freiberg bestätigt. Ihm zur Seite gestellt wird ein Beirat für Umweltmanagement, der zusätzliche Ideen für Maßnahmen zum Umwelt- und Klimaschutz generiert, deren Umsetzung unterstützt und eine breitere Akzeptanz gewährleisten soll.

Generell ist festzustellen, dass Themen der Nachhaltigkeit sowie des Umwelt- und Klimaschutzes für Hochschulen an Bedeutung gewinnen^{2,3}. Einerseits besteht eine hohe Erwartungshaltung an die Hochschulen seitens der Gesellschaft, andererseits entstehen auch innerhalb der Einrichtungen selbst entsprechende Initiativen. Tatsächlich können Bottom-up Aktivitäten und Innovationen des Hochschulpersonals und der Studierenden wichtige positive Beiträge zur Nachhaltigkeit leisten⁴. Zu den wichtigsten Prinzipien gehört daher die Einbindung der Studierenden, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in die Erarbeitung und Umsetzung von Initiativen. Die Hochschule kann ihren Beitrag zur Nachhaltigkeit am besten leisten, wenn institutionelle Vielfalt gewährleistet wird und alle Gruppen angemessen beteiligt werden. Solche Initiativen in ein

koordiniertes Gesamtkonzept aufzunehmen und durch strategische Planung zu flankieren ist von zentraler Bedeutung. Nur so kann die Wirksamkeit von Maßnahmen erhöht und deren Kontinuität gewährleistet werden.

Die Zusammensetzung des Beirats für Umweltmanagement spiegelt dies wider. Ihm gehören Vertreter aller Mitgliedergruppen der Universität sowie der drei Fachgruppen Mathematik/Naturwissenschaften, Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften. Vertreter des Staatsbetriebs Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB) sowie des Dezernats für Bau- und Gebäudemanagement arbeiten als kooptierte Mitglieder im Beirat mit. Gegenwärtig gehören dem Beirat für Umweltmanagement als ordentliche Mitglieder an: J.-Prof. Maximilian Lau (Umweltbeauftragter), Prof. Rüdiger Schwarze und Prof. Jutta Stumpf-Wollersheim (Professorenschaft), Dr. Oliver Wiche (wissenschaftliche Mitarbeiter), Edda Paul (weitere Mitarbeiter und Personalrat) und Isabelle Svojanovsky (Studierende). Der Beirat kann grundsätzlich um weitere interessierte Teilnehmer erweitert werden und zu einzelnen Maßnahmen Projektarbeitsgruppen bilden. Wer sich engagieren möchte, wendet sich am besten an den Umweltbeauftragten, J.-Prof. Maximilian Lau, oder an die AG Umwelt des Studentenrates. Gegenwärtige Arbeitsschwerpunkte des Beirats sind:

1. Nachhaltiger Betrieb von Forschung und Lehre

Wir suchen nach Möglichkeit den laufenden Universitätsbetrieb umweltfreundlicher zu gestalten, zum Beispiel durch gründlicheres Recycling, mehr erneuerbare Energien oder reduzierten Wasserverbrauch. Nachhaltigkeitskriterien können bei der Beschaffung noch stärker berücksichtigt werden. Klimaneutralität auf unserem Campus ist ein langfristiges Ziel, für dessen Erreichung wir einen Zeithorizont definieren müssen, der für die Universität und das Land angemessen ist.

2. Nachhaltige Mobilität

Für unsere Mitarbeiterinnen, Mitarbeiter und Studierenden sowie Gäste der Universität wollen wir mehr und bessere Möglichkeiten schaffen, ihren Weg zur Universität nachhaltiger zu gestalten. Dazu gehören nicht nur verbesserte Infrastruktur für (Elektro-) Fahrräder, sondern auch das Angebot des

öffentlichen Nahverkehrs, über das wir mit Stadt, Land und den Verkehrsbetrieben im Gespräch bleiben müssen. Bei Dienstreisen ist zu erwägen, so oft wie möglich auf öffentliche Verkehrsmittel zurückzugreifen, und soweit vertretbar – wie manche andere wissenschaftliche Einrichtungen – auf Flüge bei Strecken unter 1.000 km zu verzichten⁵.

3. Lebensraum Campus

In Hinblick auf das Thema Biodiversität sollen bestehende Potentiale auf dem Gebiet des Campus mehr Aufmerksamkeit erhalten. Wir können an eine Tradition der ökologischen Beobachtungen auf dem Campusgelände der TUBAF anknüpfen und wollen uns weiterhin für höhere Aufenthaltsqualität und Biodiversität einsetzen⁶. Der Beirat für Umweltmanagement wird alle Entwicklungen in diese Richtung nach Kräften unterstützen und jährlich über seine Aktivitäten sowie die dabei erzielten Ergebnisse berichten. Wie immer beim Thema Nachhaltigkeit steigen die positiven Effekte immer dann, wenn persönliche und institutionelle Verantwortung gleichermaßen übernommen werden. Es wird angestrebt, umweltfreundliche Lösungen zu finden und innerhalb der institutionellen Grenzen Mitarbeiter, Mitarbeiterinnen und Studierenden unkompliziert verfügbar zu machen. Sie zu nutzen und zu schätzen, das liegt dann an uns persönlich.

Kontakt

maximilian.lau@ioez.tu-freiberg.de

- a Umweltbeauftragter der Bergakademie Freiberg
- b Referent, Prorektorat Forschung

Quellen

- 1 TU Bergakademie Freiberg, 2021, Forschungsbroschüre UMWELT, <https://tu-freiberg.de/presse/publikationen/forschungsbroschuere>
- 2 Universities facing Climate Change and Sustainability, Studie des Global University Leaders council
- 3 Nachhaltigkeit und Ethik an Hochschulen, Positionspapier, netzwerk-n.org
- 4 Nationaler Aktionsplan: Bildung für nachhaltige Entwicklung, BMBF, <https://www.bne-portal.de/de/hochschule-1764.html>
- 5 <https://unter1000.scientists4future.org/de/selbstverpflichtung-gute-beispiele/>, Abgerufen 22.07.2021
- 6 Richert et al., 2009, Vielfalt statt Einfalt: Der Campus der TU Bergakademie Freiberg als artenreicher Lebensraum, Eigenverlag TU Freiberg

Einzigartige Forschungsinfrastruktur für die Prozessmetallurgie

Das neue Metallurgie-Technikum am Helmholtz Institut Freiberg für Ressourcentechnologie

Volker Recksiek^{1,2}, Michael Bestian¹, Norman Kelly¹



Das Metallurgie-Technikum des HIF, von der Chemnitzer Straße aus gesehen. HZDR/Detlev Müller

Am 9. September 2021 wurde das neugebaute Metallurgie-Technikum am Standort des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF), das zum Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) gehört und eine gemeinsame Gründung des HZDR und der TU Bergakademie Freiberg (TU BAF) ist, eingeweiht. In der neuen Versuchshalle werden künftig Forschungsergebnisse zur pyro- bzw. hydrometallurgischen Rückgewinnung wirtschaftsstrategischer Metalle zum (Wieder-) Einsatz in modernen Schlüsseltechnologien aus dem Labor- in den Pilotmaßstab überführt und so für den Transfer in die Industrie vorbereitet. Dazu werden innovative Verfahren miteinander kombiniert und digital untereinander vernetzt. Das Technikum bietet damit exzellente Voraussetzungen, um neue Technologien und Prozesse zu erproben, zu automatisieren und zu optimieren.

Diese in Deutschland einzigartige Forschungsinfrastruktur wurde mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) der Europäischen Union in Höhe von 10,2 Millionen Euro finanziert. Die vorbereitende Planung begann im Jahr 2016; im Oktober 2018 starteten die Bauarbeiten, die dann im Spätsommer 2021 abgeschlossen werden konnten. Das Technikum ist ein erster Baustein und integraler Teil des insgesamt breiter angelegten Vorhabens zum Ausbau und Entwicklung des Campus an der Chemnitzer Straße 40.

Das Metallurgie-Technikum besteht aus einer ebenerdigen Halle und einem viergeschossigen Kopfbau, der mit einer prominenten Glasfassade zur Chemnitzer Straße hin ausgerichtet ist. Dieser Kopfbau beheimatet unter anderem gut ausge-

stattete mechanische und elektrische Werkstätten, eine Probenpräparation, ein Gesprächszimmer, zwei Kontrollräume und einen Serverraum, in dem sämtliche Messdaten aus den Versuchsanlagen zusammengeführt und verarbeitet werden.

Die Halle des Technikums weist eine Nutzfläche

von rund 950 Quadratmetern auf und ist vollständig mit einem 10-Tonnen-Brückenkran überfahrbar. Ausstattung und Entwicklung der Halle werden in enger Partnerschaft mit dem HZDR (insbes. dem Institut für Fluidodynamik) wie auch mit den fachlich zuständigen Bereichen der TU BAF geplant und umgesetzt. Die Versuchshalle ist dabei in zwei ungefähr gleichgroße Sektoren unterteilt. Die Ausstattung des ersten Sektors fokussiert sich auf die Bedürfnisse der Hydrometallurgie. Schwerpunkte der hydrometallurgischen Forschung werden in diesem Sektor sein: die chemische Laugung, die Solventextraktion und die Biohydrometallurgie. Dazu sollen unter anderem Laugungsreaktoren für den Normaldruck- und Überdruckbetrieb, eine Mixer-Settler-Batterie sowie verschiedene Online-Analysatoren installiert werden. Die Ausstattung des zweiten Sektors ist auf die Bedürfnisse der Pyrometallurgie ausgerichtet. Es werden diverse Rohröfen mit kontrollierbaren Gasatmosphären, ein Vakuuminduktionsofen sowie Muffel- und Kipptiegelöfen für experimentelle Arbeiten zur Verfügung stehen. Des Weiteren ist für den Zeitraum 2021/22 die Installation eines Plasmaofens in Vorbereitung. Dieser Ofen bietet durch die sehr hohen Plasmatemperaturen die Möglichkeit, die Raffination von hochschmelzenden Schlacken (Alumina, Stahlwerkschlacken, Nickelschlacken) sowie anderer hochschmelzender Keramikmaterialien (Katalysatoren, Feuerfestmaterialien) zu untersuchen. Durch

verbesserte Raffination könnten zum einen Wertmetalle aus den Schlacken zurückgewonnen und zum anderen die Umweltschädlichkeit der prozessierten Schlacken reduziert werden.

Alle Versuchsanlagen im Technikum werden mit Online-Sensoren ausgestattet sein. Damit kann ihr Betrieb weitestgehend automatisiert und die Prozessregelung digitalisiert werden. Die dazu notwendige Ausstattung findet sich im Kopfbau wieder. Zur zentralen Steuerung und Überwachung der Versuchsanlagen wurden zwei Kontrollräume mit PC-Arbeitsplätzen und ein Server-Raum eingerichtet. Auch die Versorgungstechnik, wie z. B. die Kühlwasserversorgung und die Lüftungstechnik für das gesamte Technikum, ist im obersten Geschoss des Kopfbaus untergebracht.



Die an der Rückseite des Kopfbaus befindliche Technikumshalle hat eine Nutzfläche von rund 950 Quadratmetern. Hier werden die Versuchsanlagen aufgebaut und betrieben. HZDR

In das Metallurgie-Technikum gelangt man durch einen verglasten Übergang, der mit dem Hauptgebäude des HIF verbunden ist. Diese räumlich nahe Anbindung soll die enge Vernetzung der Forschung im Technikum mit den insgesamt mehr als 150 Mitarbeiter*innen des HIF sicherstellen.

Im Zuge der Bauarbeiten wurde auch die Regenwasserableitung des Areals modernisiert und um ein umfangreiches Regenrückhaltesystem erweitert.

1 Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF); Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V. (HZDR) Chemnitzer Str. 40 | 09599 Freiberg
2 <http://www.hzdr.de/hif>

Kontakt

Volker Recksiek, Abt. Prozessmetallurgie, v.recksiek@hzdr.de, Tel. +49 (0) 351 260-4469

Verbesserung der Studien- und Forschungsbedingungen an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

Neubau von Laboratorien der Chemischen Institute am Clemens-Winkler-Bau

Jens Then

Der Neubau der Labore am Hauptgebäude der Chemischen Institute schafft beste Studien- und Forschungsbedingungen für dieses Fachgebiet und begründet mit seiner Konzeption und Ausstattung ebenfalls komfortable Bedingungen für die Ausbildung von Studierenden und die Förderung dieser Wissenschaftsdisziplin.

Die Realisierung erfolgt in mehreren Bauabschnitten, beginnend mit dem bereits in Nutzung befindlichen Laborflügel Nord, der schon 2014 fertiggestellt wurde. In Verbindung mit dem noch zu sanierenden Hauptgebäude wird ein einzigartiges Ensemble geschaffen werden, welches zugleich ein Pendant zum sich rasch entwickelnden Campusbereich des Wissenschaftskorridors darstellen wird.

Die städtebauliche Rezeption der Laborflügel gelingt durch additive Kuben, die jeweils mit einem gläsernen Übergang an das Hauptgebäude des Clemens-Winkler-Baus angeschlossen werden. Diese Kuben überragen das Hauptgebäude nicht, stellen aber mit ihrer Ausdruckskraft dar, welchen Stellenwert die Laborarbeit für dieses Wissenschaftsgebiet hat. Die Baukörper mit ihren fast weißen, nahezu introvertierten Fassaden bilden einen spannenden Kontrast zu den dunkel anmutenden und leicht aus der Kubatur heraustretenden Verglasungen, die einerseits Ausblick aus, andererseits Lichteintritt in die Labore gestatten.

An der Grundrisskonzeption lassen sich dezente Variationen erkennen. Während beim Laborflügel Nord noch ein innenliegender Mittelgang die zu beiden Seiten liegenden Labore erschloss und die Anbindungen über kleine Lichthöfe mit farbigem Glas Licht in das Gebäude lenkten, bedarf es – funktionsbedingt – bei den beiden sich nunmehr in Realisierung befindlichen Laboranbauten bereits zweier innenliegender Flure. Diese binden die entlang der Außenwände umlaufend angeordneten Labore verschiedenster Fachdisziplinen an. Dabei hat man die Konzeption



tion der schmalen Lichthöfe beibehalten und gliedert sonst lange Flure mittels kleiner Tagesoasen auf angenehme Art und Weise.

Den Anschlüssen an das Hauptgebäude gegenüber wurde jeweils ein Außenzugang mit kleinem Foyer angeordnet. Diese Zugänge, eingebettet in großzügig gestaltete Freianlagen, erlauben eine Entflechtung von Verkehrswegen und den Zutritt zu Lehrräumen in den Laborflügeln, ohne dabei den Weg über das Hauptgebäude wählen zu müssen. All das lässt eine einheitliche Grundkonzeption von großer Klarheit erkennen. Geschickt werden komplizierte fachliche Zusammenhänge ausbalanciert. Die schiere Vielfalt an Laborarten, die es gelungen ist, hier zusammenzuführen, beeindruckt ganz besonders. Reicht die Skala doch von den Grundlagenlaboren für die verschiedenen chemischen Fachrichtungen bis hin zu in höchstem Maße technisierten Einrichtungen, wie beispielsweise zu Sicherheitsbereichen für die Biowissenschaften, ein Hochdruckzentrum oder Spezialeinrichtungen für die Isotopengeochemie. Die gesamte Forschungsinfrastruktur wird unterstützt durch hoch integrierte und dicht gepackt installierte Haustechnik, die eine Vielzahl von technischen Anwendungen erlaubt.

Neben den technischen und funktio-

nen Vorzügen, die der gesamte Gebäudekomplex einmal haben wird, unterstreicht ein durchgängig gestaltetes Farb- und Materialkonzept den hohen architektonischen Anspruch. Helle und freundliche, trotzdem aber sachlich zurückhaltend gewählte Farben im Arbeitsgebäude werden dazu beitragen, dass sich die Wissenschaftler ganz auf ihre Tätigkeit konzentrieren können. Nichts aber wirkt steril und unterkühlt. Die äußere Fassade setzt die helle Farbfassung fort und gibt mit der gewählten Materialität in Form einer Vorhangfassade aus künstlich hergestelltem Stein ein Statement ab – zu den Möglichkeiten, die die moderne Chemie in der praktischen Umsetzung erlaubt. Und geradezu elegant verdeckt sie auf nachhaltige Art und Weise die thermische Hülle, die im Wandbereich mit einer Dämmung auf mineralischer Basis – neben der Wandverkleidung selbst – einmal mehr auf Langlebigkeit setzt.

Mit dem Neubau der Laboranbauten an das Hauptgebäude der Chemischen Institute wird ein weiterer, großer Schritt bei der Erneuerung und Weiterentwicklung der TU Bergakademie Freiberg erreicht, der mit seiner hohen Bauqualität Maßstäbe setzt und damit sehr gute Voraussetzungen zum Gedeihen dieser für die Universität bedeutenden Wissenschaftsdisziplin schafft.

Eröffnung des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) nach kurzer Bauzeit

Dirk C. Meyer*, Theresa Lemser



Foto: Heinle, Wischer und Partner Freie Architekten

Außenansicht Eingang ZeHS

Architektur¹

Die Innovationskette der Forschungsprogrammatik des ZeHS bildet sich im Neubau auch architektonisch ab. Die Büros, die Labore und die Versuchshalle sind in separaten Gebäudeteilen untergebracht. Das ZeHS folgt der städtebaulichen Leitidee des „Wissenschaftskorridors“ und fügt sich durch die abgestufte Geschossigkeit in die Proportionen des Campus ein. Die einzelnen Kettenglieder sind in ihrer Abfolge räumlich – und im übertragenen Sinne auch gedanklich – miteinander verbunden. Aus den „Denkzellen“ im Kopfbau gibt es Sichtbeziehungen auf alle tiefer liegenden Teile des Hauses – bis in die Versuchshalle hinein – und umgekehrt. Die effiziente, flexible Unterteilung des Raumprogrammes in Labortrakt, Versuchshalle und Büros ermöglicht durch kurze Wege und Aufweitungen an hochfrequentierten Bereichen die Nutzung des ZeHS als Forschungs- und Gedankenaustauschzentrum für alle Fakultäten.

In die Gestaltung des Hauses sind viele Assoziationen zum Bergbau und Montanwesen eingeflossen. Wie ein aufgespaltenes Mineral, dessen äußere steinerne Hülle den inneren kristalli-

¹ Die Texte unter der Überschriften „Architektur“ und „Kunst am Bau“ sind in enger Anlehnung an, auch für Besucher (außerhalb der Laboratorien) offen am ZeHS ausliegende, Falblatt-Informationen unter Verantwortung der Autoren in Abstimmung mit den Urhebern verfasst. Weiteres findet sich unter www.zehs-freiberg.de.

nen Kern schützt, liegt der Neubau topographisch geschichtet am Wissenschaftskorridor. Das Gebäude übersetzt das Karge und Schroffe der bergbaulichen Hütten und Hal- den in ein gestalterisches Gesamtkonzept und

verortet sich damit auf dem Campus der Bergakademie und im Herzen der Bergstadt Freiberg. Es mutet von außen durch seine steinerne Fassade wehrhaft und kraftvoll an; gleichwohl geht diese durch die ablesbare Schichtung der Geschosse sensibel mit den topographischen Verhältnissen um und lässt durch die regelmäßig, präzise gesetzten Fenster eine behütete Nutzung erahnen. Im Inneren entfalten sich Wärme und zurückhalten- der Glanz. Der räumliche Kon- trast zwischen dem großzügigen Atrium und den engen, stollenar- tigen Gängen knüpft ebenfalls an die Bergbautraditionen der Stadt an. Alle diese Räume umkreisen den Kern des Hauses: einen Innenhof – der gefasst wird mit Farben, die von sehr hellen über leicht rosafarbene bis zu sehr dunklen Violett-Tönen an Amethyste erinnern. So wird der in sich abgeschlossene Hof räumlich zur verbindenden Mitte des Hauses. Die Materialien und Farben der Innenausbauten folgen diesen Themen ebenso: In den Büros, wo die „hohe Theorie“, die übergeordnete Planung der Dinge, passiert, kommen helle, glatte Oberflächen zum

Einsatz. Die feine, praktische Arbeit in den Laborflügeln wird visuell in das Thema „Stollen“ übertragen und findet seine Entsprechung in bronzefarbenen, erdigen Tönen für Türen, Treppengeländer, Fenster oder Profile der Innenraumverglasungen. Die Teeküchen mit den Eichenverkleidungen interpretieren das Thema „Schutzhütten“ in den Bergbaustollen. Die robuste Versuchshalle, in der die groben, schwergewichtigen Arbeiten stattfinden werden, ist gestalterisch durch roh belassene Materialien, wie Beton, Estrich oder verzinktes Metallblech, bestimmt.

Kunst am Bau

Mit „Kunst am Bau“ fördert der Freistaat Sachsen auf Grundlage seines baukulturellen Anspruchs die zeitgenössische Kunst, indem er bei Baumaßnahmen ab einer bestimmten



Foto: Sven Jachalke

Teeküche und Begegnungsraum ZeHS

Größenordnung Aufträge an bildende Künstler vergibt. Für das ZeHS wurde durch eine Jury im Rahmen eines Wettbewerbs der Entwurf „Solaris“ des Künstlers Axel Anklam ausgewählt. Die ausgewählten Kunstwerke sollen dauerhaft fest im Inneren oder außerhalb der(s) Gebäude(s) mit diesem verbunden sein.

Licht und Bewegung sind fundamentale Bestandteile unserer Erde und damit Gegenstand der Wissenschaft. Das Licht zum bildnerischen Medium zu machen – dieser Gedanke war Ausgangspunkt des künstlerischen Entwurfs



Innenhof ZeHS, Amethystdruse

„Solaris“ für den ZeHS-Neubau. Die von diesem Objekt ausgesandten goldenen Lichtreflexe bedecken die Wände des Foyers. Von einer großflächigen, goldschimmernden und partiell auch selbst hell strahlenden Wand wird der Besucher des Forschungsbaus empfangen. An der goldverspiegelten Oberfläche einer vielfach gebrochenen Reliefstruktur werden Lichtstrahlen reflektiert. Das erzeugt unzählige wei-

tere Lichtimpulse. Folgt der Blick dem Lichtschein, wird schnell gewahr, dass dieses Licht im am Dach des Gebäudes eingefangen und über mehrere Spiegel durch das Treppenhaus auf das Kunstobjekt geleitet wird. In der Tat ist es das Sonnenlicht, das hier gebündelt aufscheint wird. Der so gerichtete Lichtstrahl teilt sich prismenartig auf der fragmentarisch gebrochenen Metalltextur.



Technikumshalle ZeHS



Kunst am Bau, Solaris



Mikroskopische Aufnahme eines austenitischen Gefüges (Cr-Ni-Stahl)

Am Rande von Veranstaltungen sowie zu Gruppenbesuchen, etwa für ganze Schulklassen vorgesehene Praktika, kann der Zusammenhang zwischen baulicher Infrastruktur sowie Architektur, „Kunst am Bau“ und der Forschungsvision für eine breite Öffentlichkeit erfahrbar werden. Ein diesbezüglich guter Auftakt war sicherlich die Präsentation des Forschungsbaus im Rahmen des Tages der Architektur am 26. Juni 2021 unter Beteiligung zahlreicher Mitwirkender. In der „Freien Presse“ vom 29.06.2021 gab der verantwortliche Architekt des ausführenden Büros Heinle, Wischer und Partner Freie Architekten GbR aus Dresden, Jens Kraube, zum harmonischen Bauablauf u. a. an: „Fünf Jahre habe ich mit Professor Meyer und dem Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement eng zusammengearbeitet. Das war fast wie eine Ehe geworden, und zwar wie eine gute Ehe.“

Hinzugefügt sei an dieser Stelle, dass der moderne Forschungsbau gemäß Initiative des Wissenschaftlichen Sprechers und auf Zuwendungen maßgeblicher Wissenschaftlerpersönlichkeiten gestützt eine Sammlung wertvoller wissenschaftlicher Vor- und Nachlässe beherbergt, so u. a. die Sammlungen von Fr. A. Haake, Prof. T. Hahn und Prof. P. Paufler, die dem Gebäude einen besonderen Geist und damit verbundene Verwurzelung gewähren. Auch diesbezüglich sind wissenschaftliche Untersuchungen zum Erkenntnisgewinn am Zentrum in Arbeit.

*Für das Direktorium des ZeHS. Diesem gehören an: Prof. Dirk C. Meyer, Prof. Bernd Meyer, Prof. Edwin Kroke

Rekonstruktion Fördergerüst „Reiche Zeche“ Mai - Ende November 2021

Helmut Mischo

Die TU Bergakademie Freiberg saniert ihr einzigartiges Forschungs- und Lehrbergwerk. Auftakt zu einer ganzen Reihe von Baumaßnahmen bildete die Rekonstruktion des Fördergerüsts. Das bestehende Fördergerüst aus dem Jahr 1953 genügte den statischen Anforderungen nicht mehr und war aufgrund der jahre-

langen Witterungsexposition nicht mehr sanierungsfähig. Es war ein neues Gerüst zu fertigen. Dabei galt es zahlreiche Randbedingungen zu beachten. Zum einen war das Gerüst aufgrund seines UNESCO-Welterbestatus entsprechend den Vorgaben des Landesamtes für Denkmalpflege in weitestgehend gleicher Form zu

gestalten, zum anderen erfolgte der Einbau des allen aktuellen Normierungen entsprechenden Gerüsts in ein bestehendes Bergwerk mit seinen Ursprüngen im Mittelalter. Eine zusätzliche Herausforderung bildete dabei das Einsetzen des neuen Fördergerüsts in das bestehende Gebäude der Schachthalle.



Ansicht des Fördergerüsts vor Baubeginn

Fördergerüst Reiche Zeche
Errichtet: 1953
Höhe: 30 m
Masse Führungsgerüst: 35 t
Masse Schrägstütze: 18 t

AN: Schachtbau Nordhausen

Reihenfolge der Arbeiten:

- Abheben Gerüstkopf
- Seilscheiben und Gerüst
- Schrägstütze schräg ausfädeln
- Zerlegen des alten Schachtgerüsts (am Boden)
- Neubau Gerüst
- Herstellung neues Fundament und Schachtkopf
- Wiedereinheben/Befestigen aller Teile



Liebherr LG 1750, Traglast: 750 t, 8 Achsen, Kranmotor: 455 kW





Beginn der Demontage



Verschrottung Altgerüst



Herausheben des alten Gerüsts / Einsetzen des neuen Gerüsts



Neue Gründung



Betonage Schachtkeller

Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft 2022

Denise Pfitzner

Schon einmal virtuell auf einem 160 Meter hohen Windrad gestanden – oder gesehen, wie aus Staub ein Werkstoff wird? Alle zwei Jahre lockt die TU Bergakademie Freiberg zu später Stunde mit einem bunten und spannenden Programm an Vorlesungen, Führungen, Vorträgen und Experimenten tausende Besucher auf den Campus. Nachdem 2021 aufgrund der Infektionslage die planmäßige Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft verschoben wurde, heißt es am 18. Juni 2022 zwischen 18 Uhr und Mitternacht für kleine und große Wissensfans wieder Stauen! Raten! und Ausprobieren! Die Bergakademie öffnet Labore, Institute und Einrichtungen des neuen Freiburger Wissenschaftskorridors und ermöglicht einen Blick hinter die Kulissen.



© TU Bergakademie Freiberg/ Crispin Mokrey

Innenhof ZeHs

Special zum Jahr des Glases

Das Jahr 2022 wurde von der UNO zum Internationalen Jahr des Glases ausgerufen. Daher nimmt das Freiburger Institut für Glas und Glastechnologie neben weiteren Aktionen im Jahr 22 das Thema Glas und dessen vielfältige Facetten bei der kommenden Wissensnacht genauer unter die Lupe und gewährt Einblicke in die aktuelle Forschung.



© TU Bergakademie Freiberg/ Detlev Müller

Forschungsarbeiten an einem Hochschmelzofen

Stadt und Wirtschaft als starke Partner

Die Nacht der Wissenschaft ist ein Gemeinschaftsprojekt der Universität und der Stadt Freiberg. Freiburger Gastronomiebetriebe verwöhnen die Besucher zudem mit einem kulinarischen Angebot und sorgen für das Rundum-Paket. Auch enge Kooperationspartner der TU Bergakademie Freiberg, wie etwa das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF), beteiligen sich an der Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft. Die HIF-Forscher zeigen unter anderem innovative Technologien für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft der Minerale und Metalle und gewähren einen Einblick in ihr neues Metallurgietechnikum. Dieses wurde im Rahmen des 10-jährigen Jubiläums des HIF im September 2021 eingeweiht und erweitert den einzigartigen Freiburger Campus für Ressourcentechnologie und Nachhaltigkeit.

Wissenschaft erleben für Kinder

Auch unsere kleinen Forscher nehmen die Veranstalter wieder mit auf eine Wissensreise. Neben den Angeboten „Uni für Kinder“ (<https://tu-freiberg.de/uni-fuer-kinder>) mit der halbjährlich stattfindenden Junior-Universität lädt das Maskottchen TU-Lino die kleinen Gäste zu interessanten Mitmachexperimenten ein. Anfassen und Ausprobieren ist hier ausdrücklich erlaubt.



© TU Bergakademie Freiberg/ Sven Jachalke

Augmented Reality Sandbox

Kultur

„Ohne Kunst und Kultur wird's still“: Nach den etwas ruhigeren Jahren 2020 und 2021 wird es Zeit, den Campus mal wieder mit rhythmischen Klängen zu beschallen. Ob Rockmusik vom Professor mit der E-Gitarre oder Jazzmusik der Blechbläser: Auf einer großen und einer kleinen Bühne wird die Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft musikalisch umrahmt. Wer um Mitternacht das traditionelle Steigerlied performen wird, bleibt aber vorläufig noch ein Geheimnis.



© TU Bergakademie Freiberg/ Detlev Müller

Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft 2019

Wir laden Sie herzlich ein, mit der ganzen Familie und Freunden die Experimentier-Brille aufzusetzen und die Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft am 18. Juni 2022 zu besuchen.



Kontakt

Denise Pfitzner, Dezernat
 Universitätskommunikation,
 Veranstaltungsorganisation,
 Email: denise.pfitzner@zuv.tu-freiberg.de,
 Tel. +49 3731 39-4399

Wiedereröffnung der terra mineralia unter neuer Leitung

Andreas Massanek, Andrea Riedel, Luisa Rischer, Philomena Konstantinidis, Christina Seifert, Gerhard Heide



Foto: Detlev Müller / TU Bergakademie Freiberg.

Neu an der Spitze der terra mineralia – wissenschaftlicher Direktor Prof. Dr. Gerhard Heide, Geschäftsführerin Andrea Riedel, Kustos Andreas Massanek (v.l.n.r.).

Am 15. Juli war es endlich so weit: Nach acht-einhalb Monaten pandemiebedingter Schließung konnten die beliebten Ausstellungen terra mineralia im Schloss Freudenstein und die Mineralogische Sammlung Deutschland im benachbarten Krügerhaus ihre Tore wieder öffnen. Das wurde nicht nur von den Mitarbeitenden und Studierenden sehnsüchtig erwartet, sondern vor allem von unserem Publikum. So kamen in den ersten beiden Wochen bereits mehr als 3.500 Besucher:innen in die beiden Ausstellungen unserer TU Bergakademie Freiberg.

Zwei Wochen vor der Wiedereröffnung, am 2. Juli, unterzeichneten Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht und Oberbürgermeister Sven Krüger eine Kooperationsvereinbarung zwischen der TU Bergakademie Freiberg und der Stadt Freiberg zur terra mineralia.¹ Mit dieser Vereinbarung soll es künftig eine enge Zusammenarbeit mit dem Stadt- und Bergbaumuseum, insbesondere beim Marketing, geben. Ziel ist es, die Wahrnehmung beider Ausstellungshäuser in der sächsischen Museumslandschaft – und zwar als Juwelen, die sie unbestritten sind – zu erweitern und auf diese Weise auch den Wissenschafts- und Tourismusstandort Freiberg bekannter zu machen. Diese Aufgabe übernimmt die neue Leitung der terra mineralia mit Andreas Massanek als Kustos und Andrea Riedel als Geschäftsführerin, die gleichzeitig Direktorin des Stadt- und Bergbaumuseums Freiberg ist.

Zusammen wollen sie die Ausstellun-

gen im Domhaus, im Schloss Freudenstein und im Krügerhaus zukunftsfähiger gestalten, noch besser vernetzen und dadurch einen gemeinsamen Mehrwert erzielen, beispielsweise durch gemeinsame Tickets für die terra mineralia und das Stadt- und Bergbaumuseum. Zudem sollen die wissenschaftliche Erschließung der Sammlung – inklusive Digitalisierung – und die Publikation der dabei gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse vorangetrieben sowie die populärwissenschaftlichen und museumspädagogischen Konzepte der Ausstellungen weiterentwickelt werden.

Unterstützt wird die neue Leitung dabei durch Prof. Dr. Gerhard Heide. Er repräsentiert nach wie vor als wissenschaftlicher Direktor diese Zentrale Einrichtung der Universität. Dazu gehört auch die Zusammenarbeit mit Partneereinrichtungen wie den Staatlichen Kunstsammlungen Dresden, der Klassikstiftung Weimar, der Senckenberg Naturforschenden Gesellschaft Frankfurt, den Staatlichen Naturwissenschaftlichen Sammlungen Bayerns und dem Museum für Naturkunde Berlin sowie die Einbindung von Lehrveranstaltungen in den Ausstellungsbetrieb.² Eine besondere, völlig neue Chance besteht in der Öffnung des Demonstrationslabors im ZeHS³ für Schülergruppen, denn im Schloss Freudenstein sind die experimentellen Möglichkeiten begrenzt. Zudem wurde vom Rektorat der TU Bergakademie Freiberg ein neuer Beirat gewählt, in den Vertreter:innen der Stif-

terfamilien, Geo- und Museumswissenschaftler sowie Universitätsangehörige ihre wissenschaftlichen und vor allem ihre sammlungsbezüglichen Fachkompetenzen einbringen.

Die terra mineralia feierte 2019 ihr zehnjähriges Bestehen^{4,5} und konnte sich im selben Jahr über den einmillionsten Besucher freuen. Die Ausstellungen im Schloss Freudenstein und im Krügerhaus mit mehr als 4.500 Mineralen, Edelsteinen und Meteoriten wurden vor allem durch die Dauerleihgabe einer der weltweit größten privaten Sammlung ermöglicht. Die 2016 verstorbene Stifterin und Ehrensenatorin der TU Bergakademie Freiberg, Frau Dr. Erika Pohl-Ströher, hatte in über mehr als 60 Jahren besonders schöne Stufen aus aller Welt zusammengetragen. Gemeinsam mit den Geowissenschaftlichen Sammlungen im Abraham-Gottlob-Werner-Bau, wo weitere 9.000 Exponate zu sehen sind, bilden die drei Ausstellungen den größten mineralogischen Ausstellungskomplex der Welt.

1 <https://tu-freiberg.de/presse/neue-leitung-der-terra-mineralia-vorgestellt>

2 Heide, Gerhard & Seifert, Christina (2020), *Methoden der personalen Vermittlung: Oder, wie ich durch ein Museum führe*. (FmusBA, 31321). sowie Heide, Gerhard & Massanek, Andreas (2009), *Informationsbewertung und -vermittlung*. (MINFOBE 2032, 31311).

3 <https://tu-freiberg.de/zehs>

4 <https://tu-freiberg.de/presse/pressemappen/10-jahre-terra-mineralia>

5 Heide, Gerhard (2009), *terra mineralia ... das erste Jahr*, Zeitschr. f. Freunde und Förderer der Techn. Univ. Bergakademie Freiberg, S. 21–23.

Schatzsuche online: schneller und leichter Zugang zu wertvollen Rohstoffdaten

Sachsen hebt seine Schätze – Projekt ROHSA 3

Daniel Korb, Anna Gahlert, Daniel Franke-Laske

Die Erkundung von Rohstoffvorkommen und deren Gewinnung prägen Sachsen seit über 850 Jahren. Mit dem Bergbau verbinden sich wirtschaftlicher Aufstieg, die Weiterentwicklung geologischer Erkenntnisse sowie die Herausbildung der Montanwissenschaften. Waren am Anfang Silber, später Uranerz, Buntmetalle sowie Fluss- und Schwerspat das Ziel der Bergleute, so stehen heute die Erz- und Spatvorkommen, die für Zukunftstechnologien eine zentrale Rolle einnehmen, verstärkt im Fokus wirtschaftlicher Interessen (Marscheider-Weidemann et al. 2021). Um diese Entwicklung zu begleiten und Bergbau-Unternehmen zu unterstützen, hat die sächsische Staatsregierung bereits 2012 eine sächsische Rohstoffstrategie beschlossen und seither fortgeschrieben (SMWA 2017). Das Schlüsselprojekt dieser Strategie ist das 2013 gestartete Projekt ROHSA 3 (Rohstoffdaten Sachsen). Ziel ist es, die zu sächsischen Erz- und Spatvorkommen vorhandenen Daten zu recherchieren, zu sichern und aufzubereiten sowie online für Forschung und Wirtschaft bereitzustellen. Bis zum Projektende im Jahr 2024 werden dafür jährlich etwa eine Million Euro Landesmittel für die Umsetzung von ROHSA 3 bereitgestellt. Die behördenübergreifende Projektgruppe ROHSA 3 mit MitarbeiterInnen des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie sowie des Sächsischen Oberbergamts wird bei dieser Aufgabe von zahlreichen Projektpartnern unterstützt. Begleitet wird das Vorhaben durch einen Projektbeirat, bestehend aus Vertretern der auftraggebenden sächsischen Ministerien (SMEKUL, SMWA), der Wirtschaft (GKZ Freiberg, IHK Chemnitz) und der Forschung (TU Bergakademie Freiberg).

Auf der Suche nach dem Schatz – wo wird gegraben?

Die ROHSA 3-relevanten Daten zu sächsischen Erz- und Spatvorkommen existieren in der Regel in Papierform

und finden sich in rohstoffgeologischen Berichten, Analysen, Karten, Bohrungsdaten, Grubenrissen, Qualifizierungsarbeiten sowie geophysikalischen und geochemischen Untersuchungen. Der Umfang dieses analogen Datenvolumens ist immens und misst allein innerhalb der Bestände des Geologischen Archivs des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie mehrere Aktenkilometer.

Neben dieser internen Datenaufarbeitung fokussiert sich das Projekt ROHSA 3 auf die Datenerschließung aus externen Archivbeständen. Zu den wichtigsten externen Archiven mit ROHSA 3-relevanten Daten zählen hierbei die der TU Bergakademie Freiberg, das sächsische Bergarchiv in Freiberg und das Geologische Archiv der Wismut GmbH. Darüber hinaus befindet sich eine Vielzahl weiterer Daten bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, an Universitäten mit Lehrstühlen der Geowissenschaften (u.a. an den Universitäten Leipzig, Greifswald und Potsdam), im Bestand der geologischen Dienste, in staatlichen Archiven benachbarter Bundesländer sowie in ausgewählten Unternehmensarchiven der Bergbaubranche.

ROHSA 3 bringt die erz- und spatrelevanten Unterlagen mit Bezug zu Sachsen aus diesen Archiven zusammen, sichert und digitalisiert sie, um eine zentrale und leicht durchzuführende Onlinerecherche zu ermöglichen.

Seit Beginn des Projekts ROHSA 3 wurden ca. 45.000 analoge Dokumente gescannt. Diese Anzahl entspricht knapp 3 Millionen Einzelseiten. Im gleichen Zeitraum wurden über 10.000 Dokumentenmetadaten, Daten aus über 600 Bohrungen, mehr als 530.000 geophysikalische und knapp 250.000 geochemische Messspunktdateien gesichert, erfasst und digital verfügbar gemacht.

Kooperation mit der TU Bergakademie Freiberg

Die TU Bergakademie Freiberg ist ein wichtiger Partner des Projekts ROHSA 3. Neben dem umfangreichen Bestand an geologischen Untergrunddaten, die im Rahmen von Qualifizierungsarbeiten entstanden sind, stellt die Sammlung an Gesteinsdünn- und anschliffen einen wertvollen Schatz dar. Seit 2016 wurden ROHSA 3-relevante Erzanschliffe des Instituts für Mineralogie und Gesteinsdünnanschliffe der

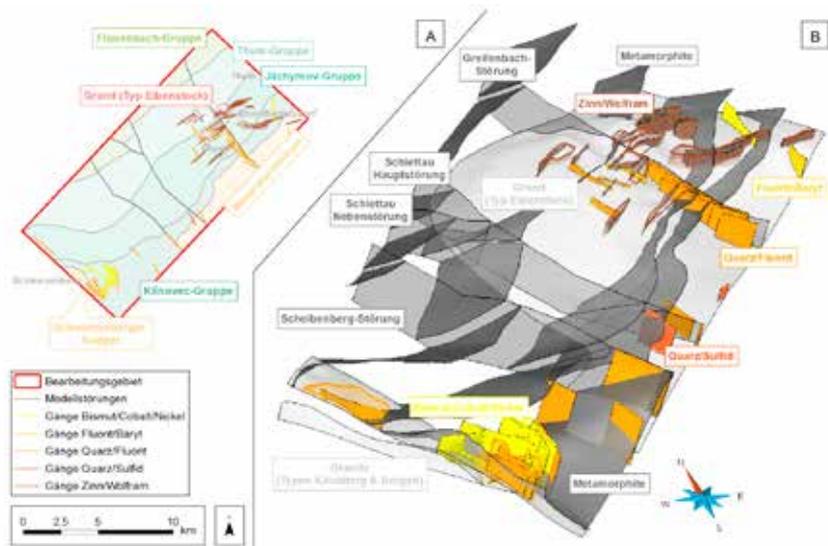


Abbildung 1: 3D-Modell, das im Rahmen von ROHSA 3 angefertigt wurde. (A) Modell-Lage: Bereich Schwarzenberg – Ehrenfriedersdorf. 2D-Darstellung von geologischen Großstrukturen und Lithologien. (B) Modellierter Lage der lithologischen Einheiten, tektonischer Störungen und von Erzgängen (Kirsch 2017).

Geowissenschaftlichen Sammlungen gesichert, digitalisiert, erschlossen und die zugehörigen Metadaten erfasst. Im Fokus der Kooperation steht dabei die Verfügbarmachung über die „AQUILA“-Datenbank.

Einblicke in den Untergrund

Wozu die digitalisierten Informationen unter anderem genutzt werden können, zeigen die folgenden Beispiele. Im Projekt ROHSA 3 entstanden ein 3D-Modell des Untergrundes sowie eine Rohstoffprognose für Zinn Wolfram, Fluss- und Schwerspat.



Abbildung 2: Die Rohstoffprognose für Zinn, Wolfram, Fluss- und Schwerspat im Mittel Erzgebirge, erschienen in der Reihe der Bergbaumonographien des LfULG, Band 19 (Brosig et al. 2020).

3D-Modell

Das 3D-Modell der Region Mittleres Erzgebirge ermöglicht einen Einblick in die Gesteinsschichten bis zu einer Tiefe von etwa 1000 Metern (vgl. Abb. 1). Insgesamt flossen in die Erstellung des 3D-Modells Daten aus rund 1.600 Bohrungen, 180 geologischen Erkundungsberichten sowie aus einer Vielzahl geologischer und tektonischer Karten, Rissen und Schnitten ein. Auf der Grundlage eines Voxelmodells können Aussagen zu verschiedenen Rohstoffvorkommen getroffen, Theorien zu deren Genese verfeinert und Konzepte für weitere Erkundungen erstellt werden. Es zeigt, dass die zugrundeliegenden Daten in Qualität und Quantität modernen, wissenschaftlichen und industriellen Ansprüchen gerecht werden (Kirsch 2017).

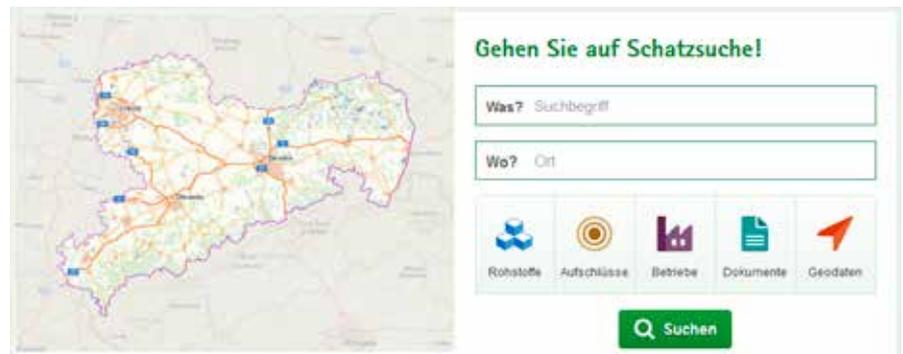


Abbildung 3: www.rohsa.sachsen.de – Suchmaschine für Metadaten zu Informationen über sächsische Erze und Spate. Bildausschnitt der Website des Projektes ROHSA 3

Rohstoffprognose für Zinn, Wolfram, Fluss- und Schwerspat

Auf der Grundlage der im Rahmen des Projekts ROHSA 3 digitalisierten Daten und unter Zuhilfenahme künstlicher neuronaler Netze sowie des bereits erwähnten 3D-Modells wurde eine Rohstoffprognoserechnung für das Mittlere Erzgebirge erstellt (Abb. 2). Durch die begleitende rohstoffgeologische Interpretation der Rechenergebnisse ergeben sich Wahrscheinlichkeiten, mit denen die Anreicherung eines Rohstoffes in einem bestimmten Gebiet zu erwarten ist und als höffig bezeichnet wird (Brosig et al. 2020). Hierdurch ist ein moderner Bergbau möglich, der durch geringinvasive sowie ökologische und ökonomische Standards charakterisiert ist.

Anwendung und Nutzen

Um den wertvollen Datenschatz nutzen zu können, wurden zentrale Onlineplattformen erstellt, mit Hilfe derer direkt auf die Daten zugegriffen werden kann: die Metadatensuchmaschine (www.rohsa.sachsen.de/) und die zukünftige Plattform DiGAS - Digitale Geologische Auskunft Sachsens (www.digas.sachsen.de). In der Metadatensuchmaschine können NutzerInnen auf öffentlich zugängliche Metadaten geologischer Erz- und Spatdaten in Sachsen zugreifen (Abb. 3). Die Plattform verweist auf das jeweilige Archiv, in welchem sich das Originaldokument befindet. Weiterführend werden digital zugängliche Dokumente zur Plattform DiGAS verlinkt. Dort können die von ROHSA 3 gescannten Dokumente im digitalen Lesesaal eingesehen werden.

DATA MINING 4 YOU

Das Projekt ROHSA 3 hebt den Datenschatz für Sie. Doch dieser Schatz wird nicht nur heute genutzt, sondern auch an die kommenden Generationen

weitergereicht. ROHSA 3 leistet auch zukünftig einen essenziellen Beitrag zur Erschließung und zum Schutz des geologischen Untergrundes in Sachsen. So können unsere natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt, Spitzenforschung auf dem Gebiet der Geowissenschaften unterstützt und bürgernahe Dienstleistungen verbessert werden.

Literatur

Brosig, Andreas; Barth, Andreas; Knobloch, Andreas; Dickmayer, Ellen (2020): Rohstoffprognosen für Zinn, Wolfram, Fluss- und Schwerspat im Mittel Erzgebirge (Bergbau in Sachsen, Bergbaumonografie, 19).

Kirsch, Moritz (2017): Geologisches 3D-Modell für das Pilotprojekt ROHSA 3.1. Technische Universität Bergakademie Freiberg. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Sächsisches Oberbergamt. Freiberg, 29.03.2017.

Marscheider-Weidemann, Frank; Langkau, Sabine; Eberling, Elisabeth; Erdmann, Lorenz; Haendel, Michael; Krail, Michael et al. (2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. Berlin (DERA Rohstoffinformation, 50).

SMWA (Hg.) (2017): Rohstoffstrategie für Sachsen. Rohstoffwirtschaft - eine Chance für den Freistaat Sachsen. 2. Aufl.

Kontakt

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE
Projektgruppe ROHSA 3
Halsbrücker Str. 31a | 09599 Freiberg
Postanschrift: Postfach 54 01 37
01311 Dresden
Tel.: +49 3731 294 1411
Fax: +49 3731 294 1099
Daniel.Franke-Laske@smekul.sachsen.de
www.lfulg.sachsen.de

Fünf Jahre Zusammenarbeit zwischen den Staatlichen Kunstsammlungen Dresden und der TU Bergakademie Freiberg

Im Spannungsfeld zwischen Kunst und Geologie

Ulf Kempe¹, Michael Wagner², Rainer Richter², Eve Begov², Andreas Massanek³, Ulrike Weinhold²,
Andreas Frauendorf⁴, Martin Wagner¹, Michael Gäbelein³, Gerhard Heide^{1,3}, Dirk Syndram^{2,4}

Am 13.09.2016 wurde ein Vertrag über die Kooperation zwischen den Staatlichen Kunstsammlungen Dresden und der TU Bergakademie Freiberg geschlossen. Und obwohl es auch schon lange vorher Kontakte und gemeinsame Projekte beider Institutionen gegeben hatte, war zu diesem Zeitpunkt für alle Beteiligten noch nicht absehbar, dass sich daraus eine so ungewein breite und vielseitige Zusammenarbeit entwickeln würde.

Was haben die Museen der Staatlichen Kunstsammlungen und geowissenschaftliche Forschungseinrichtungen an der Bergakademie gemeinsam? Beide beschäftigen sich mit Langzeitprozessen und damit verbundenen Veränderungen in Natur und Gesellschaft. Die für die Geowissenschaften relevanten Zeiträume werden in Jahrtausenden, seltener in Jahrtausenden gemessen – dagegen kaum in Jahrhunderten oder gar Jahrzehnten, die wiederum für kunstgeschichtliche Betrachtungen maßgeblich sind. Finden wir an den Jahrhunderte alten, kunsthandwerklich hochwertigen Museumsobjekten Jahrtausende alte Minerale und Gesteine, dann treffen Kunstwissenschaften und Geologie unmittelbar aufeinander.

In den Dresdner Sammlungen, insbesondere in der Rüstkammer und im Grünen Gewölbe, findet man solche meisterhaft gestalteten Steinschnittobjekte häufig. Die Verarbeitung von Edel- und Dekorsteinen zur Repräsentation war an den sächsischen Höfen zu allen Zeiten sehr beliebt, da dadurch nicht nur der Reichtum des Landes an Erzlagerstätten, sondern auch an Schmuck- und Dekorsteinvorkommen zur Schau gestellt werden konnte. Neben der regionaltypischen Verwendung von hellem Pirnaer Sandstein, gelblichem Thüringer Tuff oder rotem Porphyrtuff von Rochlitz in der sächsischen Architektur lässt sich auch in der Herstellung repräsentativer Gebrauchsgegenstände und Pretiosen verfolgen, wie die geologischen Besonderheiten Sachsens die spezifische Ausprägung der hiesigen Kultur und Kunst beeinflusst haben.



Abbildung 1: Der rötliche „Porphyrtuff“ (Igmimbrit) von Rochlitz prägt die sächsische Kulturlandschaft innerhalb des Städtedreiecks Chemnitz – Leipzig – Nossen. Das Portal, die Fenstergewände und die Stützmauern der Alten Knabenschule (1564) in Colditz wurden aus diesem Gestein gefertigt (Foto: U. Kempe).

In der alltäglichen Forschungsarbeit geht es zunächst meist um relativ profane Fragen: Was für ein Stein wurde an diesem oder jenem Kunstobjekt verwendet? Wie ist dessen geologische und geographische Herkunft zu bestimmen? Welche Erkenntnisse ergeben sich hieraus hinsichtlich der Entstehungsgeschichte des Objekts? Bei genauerer Betrachtung kann es aber auch die eine oder andere Überraschung geben. So erweist sich der einzige an einem Objekt im Grünen Gewölbe befindliche Malachit, auf dem ein auf einer Cister spielender Bergmann steht, plötzlich als ein raffiniert gefertigtes Imitat. Gemeint ist die „Uhr mit dem Bergsänger“, die Hofjuwelier Johann Heinrich Köhler um 1700-1710 in Dresden geschaffen hat (Inv.-Nr. VI 101). Generationen von Besuchern und wohl auch so mancher Geowissenschaftler haben schon ehrfürchtig vor der entsprechenden Vitrine gestanden – die Illusion des „natürlich gewachsenen Malachits“ war immer perfekt.

Ebenso stellte sich nach der Durchführung genauerer Struktur- und Elementaranalysen heraus, dass etliche der als Steinbesatz an diversen Objekten verarbeiteten, auffällig blauen Türkise in Wirklichkeit sogenannte „Zahntürkise“ (Odontolithe) aus Apatit sind. Dabei

handelt es sich um durch Erhitzen blau gefärbtes Mammutelfenbein, dessen Fundort im Südwesten Frankreichs, am Fuße der Pyrenäen zu verorten ist.

Auch solche prominenten Objekte wie das Reitzzeug von August dem Starken aus dem Bestand der Rüstkammer (Inv.-Nr. RK L 0013) oder der „Große Zieranhänger“ von Johann Melchior Dinglinger (Inv.-Nr. VIII 205) im Grünen Gewölbe wurden zum Gegenstand von Untersuchungen. Bei letzterem erwiesen sich die spektakulären großen Onyxplatten nach genaueren mikroskopischen und chemischen Analysen als verkieselte Hölzer. Diese hier nur exemplarisch aufgeführten



Abbildung 2: Die „Uhr mit dem Bergsänger“ (Inv.-Nr. VI 101) im Neuen Grünen Gewölbe. Die mikroskopische Abbildung unten rechts lässt bereits erkennen, dass es sich bei dem „naturgewachsenen Malachit“ (so das historische Inventar) um ein Imitat handelt (Fotos: M. Wagner und U. Kempe).

- 1 TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie, Brennhausgasse 14, 09596 Freiberg/Sa
- 2 Grünes Gewölbe, Staatliche Kunstsammlungen Dresden, Taschenberg 2, 01067 Dresden
- 3 TU Bergakademie Freiberg, Geowissenschaftliche Sammlungen, Brennhausgasse 14, 09596 Freiberg/Sa
- 4 Rüstkammer, Staatliche Kunstsammlungen Dresden, Taschenberg 2, 01067 Dresden



Abbildung 3: Vier ausgewählte Tafeln (oben: zwei „sächsische“, unten: zwei „ausländische“) aus dem Steinkabinett von Heinrich Taddel aus dem letzten Viertel des 18. Jh. Die Stücke messen etwa 44 x 33 mm (Fotos: M. Wagner).

Resultate veranschaulichen die erfolgreiche Zusammenarbeit von Kunstwissenschaftlern, Restauratoren und Geowissenschaftlern in den letzten Jahren.

Einen besonderen Schwerpunkt in den gemeinsamen Untersuchungen bildet die Neuordnung und Restaurierung des ursprünglich aus mehr als 200 einzelnen Tafeln bestehenden Steinkabinetts von Heinrich Taddel (1715-1794) im Grünen Gewölbe. Die Erkenntnisse aus diesen bereits mehrere Jahre andauernden detaillierten Forschungen sollen nach Abschluss der Arbeiten in eine Kabinettausstellung münden. So erwies sich zum Beispiel, dass es bereits Ende des 18. Jahrhunderts direkte Transfers von kunsthistorisch und geologisch relevanten Objekten von Dresden nach Freiberg gab. Allein diese Tatsache unterstreicht die Bedeutung der Bestände der über Jahrhunderte gewachsenen, naturhistorischen Freiburger Sammlungen nicht nur als wissenschaftlich wertvolle Belege, sondern auch als Kulturgut.

Gemeinsame Erfahrungen bei der Gestaltung von Ausstellungen konnten bereits in mehreren Projekten gesammelt werden. In der Mineralogischen Sammlung Deutschland im Krügerhaus sowie in der Sonderausstellung „Freibergs Silber - Macht und Gier, Schweiß und Zier“ in der terra mineralia im Schloss Freudenstein in Freiberg werden beziehungsweise wurden hochrangige Einzelobjekte aus den Staatlichen Kunstsammlungen Dresden präsentiert. Umgekehrt wurden 2019 aus den Freiburger Sammlungen für die zeitweilige Intervention von Bertram Haude am „Mohr mit der Smaragdstufe“ im Historischen Grünen Gewölbe sowie für die geowissenschaftlichen Führungen „Auf der Suche nach dem Grün - grü-

ne Steine im Grünen Gewölbe“ während der Dresdner Museumsnacht Mineralstufen zur Verfügung gestellt. Einen Höhepunkt bildete die gemeinsam gestaltete Sonderausstellung zum Dresdner Hofjuwelier Johann Heinrich Köhler 2019/2020. Ein zentrales Objekt der Präsentation war das von Köhler kurz vor seinem Tode an seine Taufkirche in Bad Langensalza gestiftete Kruzifix, welches reich mit verschiedenen Edelsteinen und Glasflüssen besetzt ist und das erstmals seit fast 300 Jahren wieder zu seinem Entstehungsort nach Dresden zurückgekommen ist. Inzwischen gelang es durch intensive Bemühungen aller Beteiligten, die finanziellen Mittel für die dringend notwendige Restaurierung des Kruzifixes zu sichern.

Auch in den nächsten Jahren werden den Kunsthistorikern, Restauratoren und Geowissenschaftlern in Dresden und Freiberg die Themen für die gemeinsame Arbeit nicht ausgehen. Gedacht sei hier an die zahlreichen Objekte aus Heliotrop oder die aus verschiedenen Hartsteinsorten bestehenden, vielen prächtigen Florentiner und Prager *pietre dura* Arbeiten, welche interessante Fragen über deren Spezifik und Herkunft aufwerfen.

Neben den geologischen Artefakten könnte aber auch die Verwendung von Glas stärker in den Fokus rücken. In der Vergangenheit wurden schon einige Glasperlen aus den Beständen der Rüstkammer in vergleichende Untersuchungen zu den aus Stabperlen gefertigten Wandverkleidungen im „Roten Schmelzzimmer“ des Schlosses Arnstadt in Thüringen einbezogen. Das dafür ausgewählte ungewöhnliche Kostüm (Inv.-Nr. RK i 0046) war zusammen mit einem ähnlich gearbeiteten Sattel für höfische Festumzüge („Inventionen“) bestimmt. Die gesamte Oberfläche des Kleidungsstücks ist mit hunderten kleinen, röhrenförmigen Glasflüssen bestickt. Deren Form, Farbe und chemische Zusammensetzung geben Hinweise auf die Herstellung und Herkunft der Perlen.

Die bunten Glasflitter, die sich in der Wand- und Deckendekoration eines „geheimen secret“ im Dresdner Schloss erhalten haben, sind für ähnliche Fragestellungen von großem Interesse. Das „secret“ war schon in der Vergangenheit Gegenstand denkmalpflegerischer Untersuchungen. Mineralogische Betrachtungen könnten jedoch weitere

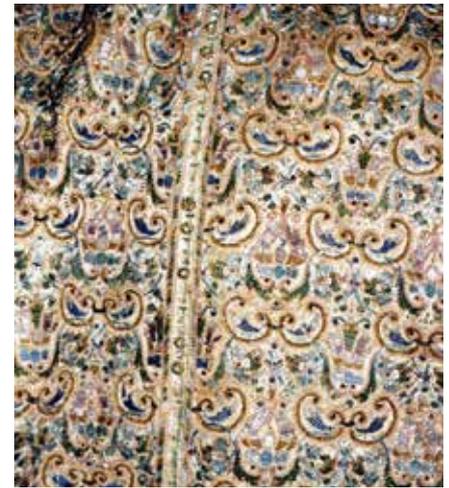


Abbildung 4: Das in der Rüstkammer aufbewahrte Festkostüm für Inventionen (höfische Festumzüge) ist vollständig mit farbigen Stabperlen aus Glas bestickt (Inv.-Nr. RK i 0046, Detail).

stoffliche Aspekte und Erkenntnisse hinzuzufügen.

Ein damit verwandtes Thema ist die Untersuchung von Schleif- und Poliermittellrückständen in den Tiefen radgravierter Dekore an Glas- und Bergkristallobjekten. Hierzu konnten bereits erste Erfahrungen an ausgewählten Museumsobjekten gesammelt werden. Bislang wurde das Hauptaugenmerk auf diverse Schmirgelpulver gelegt, deren Verwendung in der Vergangenheit laut den historischen Quellen eine große Bedeutung beigemessen wurde.

Obwohl in den letzten Jahren die Zahl der Veröffentlichungen, die an den Schnittstellen zwischen Kunstwissenschaften und Geologie entstanden sind, weltweit stetig zugenommen hat, zeigen die bisher in unserer Kooperation gesammelten und hier kurz umrissenen Erfahrungen, dass die interdisziplinäre Forschung auf diesem Gebiet oft auch heute noch ganz an ihrem Anfang steht.

Zum Weiterlesen (Auswahl)

Syndram, D.; Weinhold, U. (Hg.) *Der Dresdner Hofjuwelier Johann Heinrich Köhler. Dinglingers schärfster Konkurrent.* Sandsteinverlag Dresden, 2019.

Kempe, U.; Massanek, A.; Wagner, M.; Hammer, V. M. F.; Thalheim, K. *Baumstein und Silberachat - Bergrat Abraham Gottlob Werner und Hofjuwelier Johann Christian Neuber: Gab es eine Verbindung?* In: Kandler, S. (Hg.): *Abraham Gottlob Werner und die Geowissenschaften seiner Zeit.* Freiburger Forschungshefte D 250, 2020, S. 291-332.

Kempe, U.; Wagner, M.; Massanek, A. *Zur Herkunft des sogenannten Blutjaspis oder Blutsteins („bloodstone“): Untersuchungen an einer Steinschale aus „Böhmischem Heliotrop“ im Historischen Grünen Gewölbe in Dresden.* *Geologica Saxonica* 65/66, 2020, S. 119-133.

Rektor erneut zum Vorsitzenden der Landesrektorenkonferenz Sachsen gewählt

Ellen Weißmantel, Christin Grunenberg, Luisa Rischer

Der Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht wurde für eine weitere Amtszeit als Vorsitzender der Landesrektorenkonferenz Sachsen (LRK) bestätigt. Seine zweite dreijährige Amtszeit begann am 1. August 2020. Damit bleibt auch die Geschäftsstelle der LRK Sachsen für weitere drei Jahre an der TU Bergakademie Freiberg.

Der Vorstand besteht des Weiteren aus den neu gewählten stellvertretenden Vorstandsmitgliedern Prof. Dr. Mark Mietzner (Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig) sowie Axel Köhler (Hochschule für Musik Dresden). Sie treten die Nachfolge von Prof. Dr. Ludwig Hilmer (Hochschule Mittweida) und Matthias Flügge (Hochschule für Bildende Künste Dresden) an.

Die Landesrektorenkonferenz sichert das Zusammenwirken der sächsischen Hochschulen bei der Erfüllung ihrer

Aufgaben. Sie erarbeitet Stellungnahmen und Empfehlungen zu hochschul- und wissenschaftspolitischen Themen sowie zu Fragen, die die Hochschulen gemeinsam berühren. Die LRK informiert die Hochschulen über aktuelle hochschulpolitische Entwicklungen und versteht sich als Stimme der sächsischen Hochschulen in der Öffentlichkeit. Die Landesrektorenkonferenz Sachsen entsendet zugleich ein Mitglied aus der Gruppe der Universitäten und ein Mitglied aus der Gruppe der Hochschulen für angewandte Wissenschaften in den Senat der bundesweiten Hochschulrektorenkonferenz.

Die Landesrektorenkonferenz kann zur Sacharbeit, zur Unterstützung oder zur Erarbeitung von Konzepten oder Positionspapieren sachbezogene Arbeitskreise (AK), wie bspw. den AK „E-Learning“, oder sachbezogene Ar-

beitsgruppen (AG), wie bspw. die AG „Nachhaltigkeit und Klimaneutralität“, ins Leben rufen.

2020 befasste sich die Landesrektorenkonferenz intensiv mit dem Thema Schutzmaßnahmen und Maßnahmen zur Abmilderung der Folgen der COVID-19-Pandemie in den sächsischen Hochschulen. Andere Themen waren die Konzeption eines sächsischen Promotionskollegs, die Novellierung des sächsischen Hochschulfreiheitsgesetzes, europapolitische Schwerpunktsetzungen, Stellungnahmen zu verschiedenen Gesetzesvorlagen wie bspw. zum Bildungsstärkungsgesetz, zur Änderung des Sächsischen Beamtengesetzes, zur Sächsischen Studienplatzvergabeordnung oder die Benennung von Vertretern bspw. im Landesnaturschutzbeirat, im Landesbeirat für Familien oder im Landesbeirat für Erwachsenenbildung.

Der Hochschulrat der TU Bergakademie Freiberg

Reinhard Schmidt, Simone Raatz, Ellen Weißmantel

Der Hochschulrat ist ein zentrales Organ der TU Bergakademie Freiberg. Er berät das Rektorat in wesentlichen Dingen, die Weiterentwicklung der Hochschule betreffend, und übt die Aufsicht über dessen Geschäftsführung aus. Die Aufgaben des Hochschulrats sind durch das Sächsische Hochschulfreiheitsgesetz definiert. Insbesondere zählen dazu gemäß § 86 SächsHSFG:

- Empfehlungen zur Profilbildung und Verbesserung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der Hochschule unter Berücksichtigung der Hochschulentwicklungsplanung des Freistaates Sachsen
- Erstellung eines Vorschlags für die Wahl des Rektors und Mitwirkung an der Abwahl eines Rektors
- Mitwirkung bei der Bestellung des Kanzlers
- Aufsicht über die Wirtschafts-

führung des Rektorats, Genehmigung des Jahresabschlusses und Entlastung des Rektorats

- Stellungnahmen zum Jahresbericht des Rektorats und zum Abschluss von Zielvereinbarungen sowie zur Einrichtung, wesentlichen Änderungen und Aufhebung von Studiengängen.

Dem Hochschulrat, der in der Periode von 2019 bis 2024 amtiert, gehören elf Mitglieder an: Frau Prof. Dr. Monika Mazik (TU Bergakademie Freiberg), Frau Dr. Claudia Dommaschk (TU Bergakademie Freiberg), Herr Wolf-Dieter Jacobi, Herr Prof. Dr. Burkhard Schwenker (Roland Berger Consulting), Herr Prof. Dr. Hans-Joachim Kämpel (BGR), Frau Dr. Simone Raatz (Helmholtz Institut Freiberg für Ressourcentechnologie), Frau Kerstin Salomon (Geschwister-Scholl-Gymnasium Freiberg), Herr Prof. Dr. Hans Michael EBlinger (ehem. GF Brauhaus Freiberg), Herr Prof. Dr.

Andreas Tünnermann (Friedrich-Schiller-Universität Jena), Herr Prof. Hans-Ferdinand Schramm (Sparkasse Mittelsachsen) und Prof. Dr. Reinhard Schmidt (Oberberghauptmann a.D.) als Vorsitzender.

Der „neue“ Hochschulrat konstituierte sich in seiner Sitzung am 4. Februar 2020. Er wählte in dieser Sitzung Herrn Prof. Dr. Reinhard Schmidt zum Vorsitzenden und Frau Salomon zur Stellvertretenden Vorsitzenden.

Der Hochschulrat tagte im Berichtszeitraum 2020 fünfmal. An seinen Sitzungen nahmen neben den oben genannten Mitgliedern das Rektorat sowie als Gast Herr Dr. Walter Kühme (Referatsleiter „Universitäten und Kunsthochschulen“ des Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus) teil. Die Sitzungsvorbereitung und die Durchführung der Sitzungen sowie deren Nachbereitung unterstützt die Referentin des Rektorats, Frau Dr. Ellen Weißmantel. Über

die Sitzungen wurden jeweils Protokolle angefertigt.

Der Hochschulrat erörterte in allen Sitzungen – auch auf der Basis regelmäßiger Berichte von Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht – strategische Fragen. Hierzu gehörten beispielsweise Diskussionen zur Ausrichtung der Universität, über die Situation der Fakultäten, über angeworbene Drittmittel, über Auszeichnungen und Preise sowie über Ranking-Ergebnisse. Von Interesse waren auch Informationen zu Grundfragen der Berufungs- und Gleichstellungspolitik oder Fragen zu den unterschiedli-

chen Qualitäten der Online-Lehrangebote der einzelnen Fakultäten während der Schließung der Universität aufgrund der Sars-CoV2-Pandemie.

Ein Schwerpunkt der Arbeit des Hochschulrats 2020 lag auf der Erstellung einer Vorschlagsliste zur Wahl des Rektors und der Begleitung des Auswahlprozesses für den Kanzler.

In allen Sitzungen befasste sich der Hochschulrat mit Stellungnahmen zur Einrichtung und Aufhebung von Studiengängen. Dies wurde von den Hochschulratsmitgliedern teilweise sehr kritisch diskutiert. In seiner Juli-

Sitzung befasste sich der Hochschulrat mit den notwendigen Beschlüssen zur Bildung der allgemeinen Rücklage per 31. Dezember 2019 und zum Jahresabschluss 2019. Der Kanzler und der vom Hochschulrat bestellte Wirtschaftsprüfer (euros GmbH) erläuterten hierfür die Bilanz im Einzelnen. 2020 spielten die Beratung des Rektorats in der Sars-CoV2-Pandemie und die erforderlichen Schutzmaßnahmen für die Mitglieder der Universität sowie die Aufrechterhaltung des Lehr- und Forschungsbetriebs ebenfalls eine große Rolle in der Arbeit des Hochschulrates.



Eigenwertaufgaben in Hilbertschen Räumen

Mit Aufgaben und vollständigen Lösungen

Computational and Applied Mathematics, Bd. 1

Friedrich Stummel, Ludwig Kohaupt

2021, 302 Seiten
ISBN 978-3-8325-5262-6
Preis: 29.00 €

Dieses Buch vereint ein Vorlesungsskript über die Behandlung von Eigenwertaufgaben in Hilbertschen Räumen von Friedrich Stummel und Übungsaufgaben zu den Eigenwertaufgaben sowie zugehörigen Lösungen von Ludwig Kohaupt.

Neben Standardmethoden werden aus der Funktionentheorie stammende Methoden verwandt sowie Themen behandelt, die bisher noch keinen Eingang in Lehrbücher gefunden haben.

Die hergeleiteten allgemeinen Ergebnisse sind auf Integralgleichungen, Rand- und Eigenwertaufgaben gewöhnlicher und partieller Differentialgleichungen sowie auf Matrixgleichungen anwendbar und werden am regulären Sturm-Liouville-Problem sowie weiteren Beispielen erläutert.

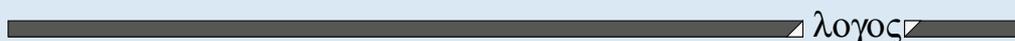
Die hier vorliegende funktionalanalysis-orientierte Darstellung erlaubt es, viele Methoden unter einheitlichen Gesichtspunkten zu betrachten, was auch zu einem besseren Überblick über die verschiedenen Anwendungsgebiete führt.

Dank der vielen gelösten Übungsaufgaben ist das vorliegende Skript nicht nur als Vorlage für eine Vorlesung geeignet, sondern auch zum Selbststudium, insbesondere für Studierende der Mathematik, aber wegen des engen Zusammenhangs zwischen Eigenvektoren und Eigenformen bei Anwendungsaufgaben auch für Studierende der Physik und Ingenieurwissenschaften.

Dieser Band eröffnet die neue Schriften *Computational and Applied Mathematics*, die von Jan Heiland (Max Planck Institute for Dynamics of Complex Technical Systems Magdeburg), Ludwig Kohaupt (Beuth University of Technology Berlin) und Yan Wu (Georgia Southern University) herausgegeben wird.

Bestellung über den Buchhandel oder direkt beim Verlag, entweder online oder per Fax

Logos Verlag Berlin GmbH · Georg-Knorr-Str. 4, Geb. 10 · D-12681 Berlin



Tel.: +49 (30) 42 85 10 90 · Fax: +49 (30) 42 85 10 92 · Internet: <http://www.logos-verlag.de>

9. Senat der TU Bergakademie Freiberg

Ellen Weißmantel

Im November 2019 fanden die Wahlen zum Senat für alle Personalgruppen der TU Bergakademie Freiberg statt.

Der Senat ist das zentrale Organ der Universität, in dem alle Universitätsangehörigen im Rahmen ihrer Gruppen vertreten sind und über die Ausgestaltung und Probleme ihrer Universität diskutieren und beraten können. Das Forum des Senats trägt zur Transparenz und zur Offenheit von Entscheidungsprozessen bei, fördert die vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen den Beschäftigtengruppen und den Fakultäten und ermöglicht eine gemeinsame Willensbildung in der Universität.

Seit 1. April 2020 agiert dieses Selbstverwaltungsorgan in seiner 9. Legislaturperiode in veränderter Zusammensetzung. Die Amtszeit der stimmberechtigten Mitglieder des Senats beträgt fünf Jahre. Die studentischen Vertreter im Senat werden jährlich gewählt. Der Senat gliedert sich – je nach Aufgabengebiet – in den engeren und den erweiterten Senat.

Die gesetzlich festgelegten Aufgaben des Senats umfassen die übergeordneten akademischen Angelegenheiten der Hochschule, so beispielsweise die Mitwirkung an der Wahl des Rektorats, die Stellungnahme zum jährlichen Bericht des Rektors, die Beschlussfassung über die an der Hochschule geltenden Ordnungen, Entscheidungen von grundsätzlicher Bedeutung in Angelegenheiten der Förderung des wissenschaftlichen und künstlerischen Nachwuchses, der Lehre und der Forschung, ferner die Formulierung von Grundsätzen der Organisation des Lehr- und Studienbetriebs, die Aufstellung von Grundsätzen für die Evaluation der Lehre, Beschlussfassungen über die Entwicklungsplanung der Hochschule, Vorschläge für die Berufung von Mitgliedern des Hochschulrates und die Erteilung des Einvernehmens zum Wahlvorschlag des Hochschulrats für die Wahl des Rektors.

Der Senat der TU Bergakademie Freiberg setzt sich in der 9. Legislaturperiode wie unten vermerkt zusammen.

Neben den stimmberechtigten Senatsmitgliedern gibt es die Mitglieder mit beratender Stimme. Die Gruppe der beratenden Mitglieder des Senates setzt sich zusammen aus den Mitgliedern des Rektorats, den Dekanen, der Gleichstellungsbeauftragten der Universität und ggf. einem Mitglied, das der Studentenrat der TU BAF entsendet. (Der Studierendenrat kann ein beratendes Mitglied entsenden, wenn kein Mitglied des Studentenrates dem Senat angehört).

Der Akademische Senat kommt während der Vorlesungszeit einmal im Monat zusammen. Seine Sitzungen sind hochschulöffentlich, d. h. zugänglich für alle Beschäftigten und Studierenden der Universität.

Vor seinen Sitzungen erhält der Senat über den Rektor, der den Senatsvorsitz führt, alle für die jeweilige Beratung benötigten schriftlichen Unterlagen – von solchen zu Berufungs- und Studienangelegenheiten über neue Satzungsentwürfe bis hin zu Konzepten zum Hochschulentwicklungsplan.

Gruppe der Hochschul-lehrerinnen und -lehrer (9 Sitze)

Herr Prof. Dr. Jung, Bernhard

Herr Prof. Dr. Rheinbach, Oliver

Herr Prof. Dr. Kroke, Edwin

Frau Prof. Dr. Vogt, Carla

Herr Prof. Dr. Amro, Mohammed

Herr Prof. Dr. Drebenstedt, Carsten

Herr Prof. Dr. Heide, Gerhard

Herr Prof. Dr. Prahl, Ulrich

Frau Prof. Dr. Rogler, Silvia

Gruppe der Studierenden (3 Sitze - Stand: 01.04.2021)

Frau Bunk, Zoé

Herr Nowack, Leon

Frau Günther, Franziska

Gruppe der Akademischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (3 Sitze)

Herr Dr. Ballani, Felix

Frau Dr. Hüttl, Regina

Herr Dr. Krzack, Steffen

Gruppe der sonstigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (2 Sitze)

Frau Dipl.-Min. Docekal, Andrea

Frau Dr. Mörters, Ulrike

50 Jahre Wissenschaftlicher Altbestand

Vom historischen Kulturgut zur modernen Informationsressource

Angela Kugler-Kießling

Bis in die 1960er Jahre hinein gab es im Hochschul- und Universitätssystem der DDR zahlreiche Brüche. Der Bau der Mauer 1961 und ein neues ökonomisches System der Planung und Leitung der Volkswirtschaft erforderten eine Reformierung auch des Bildungswesens. Deshalb beschloss der VI. Parteitag der SED im Jahr 1963 eine III. Hochschulreform. Das entsprechende *Gesetz über das einheitliche sozialistische Bildungssystem* wurde am 25.02.1965 verkündet. 1966 veröffentlichte das Staatsekretariat für das Hoch- und Fachschulwesen die *Prinzipien zur Entwicklung der Lehre und Forschung an den Hochschulen der DDR*. Das Studium sollte künftig in vier Bereiche untergliedert werden: Grundlagen-, Fach-, Spezial- und Forschungsstudium. Diese Struktur bedeutete eine radikale Abkehr von der traditionellen Hochschule. Einzelne Fachgebiete wurden nicht mehr zu Fakultäten zusammengefasst, sondern in „Sektionen“ organisiert. Außerdem kam es zu einer Trennung von Forschung und Lehre.



Bibliotheksmagazin um 1965, Fotoarchiv UB

Im Zuge dieser III. Hochschulreform wurde ab 1968 auch die Bergakademie und damit natürlich auch deren Bibliothek umstrukturiert. Die damalige Hochschulbücherei schuf sich als DDR-weit erste solche Einrichtung eine Bibliotheksordnung, die den Instruktionen zur Hochschulreform entsprach. Die bis dato 47 Instituts- und

sieben Abteilungsbibliotheken wurden in 13 Sektionsbibliotheken umgewandelt, an die nach und nach Fachinformationsstellen angegliedert wurden. Eine Hochschulgewerkschaftsbücherei stellte ab 1970 Beltristik zur Verfügung. 1971 fasste man die zentralen Einrichtungen Bibliothek, Archiv, Film- und Bildstelle, Druckerei und Buchbinderei zum Wissenschaftlichen Informationszentrum (WIZ) zusammen und unterstellte die neugeschaffene Struktureinheit dem Bibliotheksdirektor. Im selben Jahr wurde unter Kustos Dr. Peter Schmidt die Abteilung „Wissenschaftlicher Altbestand“ gegründet – ein dringend notwendiger Schritt, denn die wertvollen historischen Drucke, Handschriften, Karten und Risse wie auch wissenschaftliche Nachlässe waren in absolut ungeeigneten Räumlichkeiten untergebracht. Nässe und ungesicherte Magazine gefährdeten die historische bergakademische Bibliothek wie auch die Privatbibliothek Abraham Gottlob Werners sowie dessen wissenschaftlichen Nachlass. Außerdem sollten Rara und Unika in die Lehre und Forschung einbezogen werden, was neben einer zuverlässigen Sicherung auch ihre besondere Erschließung und Pflege verlangte. Man suchte deshalb gezielt nach Möglichkeiten, die wissenschaftshistorisch hochbedeutenden Handschriften, Bücher, Zeitschriften, Risse, Karten, aber auch Münzen sowie Gemälde einem größeren Nutzerkreis zur Verfügung zu stellen. Der Wissenschaftliche Altbestand fand damals in umgebauten und gesondert vergitterten Kellerräumen in der Nonnengasse ein neues Domizil.

Während man vor 50 Jahren den historischen Bestand in erster Linie einem fast ausschließlich regionalen Publikum anbieten konnte, befindet sich dieser heute in einer Phase der digitalen Transformation, damit er künftig jedem Interessenten zur Verfügung stehen kann.

Linked Open Data und Mobile Computing sind momentan die Schlüsselinstrumentarien, die man benötigt, um aus urheberrechtsfreiem kulturellem Erbe moderne, frei zugängliche Informationsressourcen zu schaffen, die sich zudem relativ leicht bearbeiten lassen. Es wird künftig nämlich nicht reichen, einfach nur



Transport der Literatur aus den Auslagerungsstellen

Dokumente ins Netz zu stellen. Wir brauchen neue Edutainment-Anwendungen und -Werkzeuge, um vor allem bei den jüngeren Menschen das Interesse für die inzwischen so weitgehend digitalisierten historischen Ressourcen zu wecken und einen sinnvollen, zielgenauen Zugang zu ihnen zu ermöglichen. Aus dieser Überlegung heraus hat die Universitätsbibliothek in den letzten Jahren einen beachtlichen Teil ihrer historischen Bestände digitalisiert. Für den Wissenschaftlichen Altbestand begann der Weg ins digitale Zeitalter bereits 2004 mit der Beteiligung am sog. sächsischen Kartenforum. Unter Federführung der SLUB Dresden wurde im Frühjahr 2004 mit der Sammlung der 350 Sächsischen Grubenrisse ein bedeutender erster Teilbestand digital zur Verfügung gestellt. Es folgte das Briefkonvolut Abraham Gottlob Werners (1749-1817): 783 Briefe seiner Korrespondenzen blieben erhalten und können nun seit mehreren Jahren im Volltext über die Homepage des Wissenschaftlichen Altbestandes genutzt werden. Die Recherche kann nach Briefverfasser (deren sind fast alle bekannt) oder nach Briefdatum erfolgen. Der jetzt also mögliche Zugriff auf diese Briefe ist ein eindrucksvoller Beleg für die enorme Entwicklung auf dem Felde der Dokumentendigitalisierung. Die Universitätsbibliothek hatte sich 2009 dafür entschieden, die Briefe hybrid bearbeiten zu lassen. Parallel zur Digitalisierung – damals noch in Graustufen – erfolgte eine Sicherheitsverfilmung zum Zwecke der Langzeitarchivierung. Allein der Fakt, dass damals nur in Graustufen digitalisiert werden konnte, weil der Speicherplatz begrenzt war, zeigt deutlich, wie enorm sich die Digitalisierung von Kulturgut seitdem weiterentwi-

ckelt hat. Inzwischen wurden die Briefe, die ein Stück Wissenschaftsgeschichte der Zeit der Aufklärung belegen, farbig und in hoher Auflösung neu digitalisiert und stehen nun über den Online-Katalog der UB



Foto Angela Kiebling, 2006

Wissenschaftlicher Altbestand mit Regalschubanlage

zur Verfügung.

2014/15 beschloss die sächsische Landesregierung ein großflächiges Landesdigitalisierungsprogramm (LDP). Gefördert mit 2,5 Mio. Euro jährlich, begann damals tatsächlich die erste Stufe der Massendigitalisierung sächsischer Bestände. Jetzt konnten auch die 78 Bände des wissenschaftlichen Nachlasses Abraham Gottlob Werners mit Aufzeichnungen zur Entwicklung der Geo- und Montan- sowie anderer Naturwissenschaften, zur akademischen Ausbildung an Bergakademien, seinen wissenschaftlichen Disputen mit bedeutenden Gelehrten des ausgehenden 18. und beginnenden 19. Jahrhunderts, mit linguistischen Studien, die zeitlich weit vor denen Wilhelm von Humboldts (1767–1835) liegen, aufbereitet, digitalisiert und seit zwei Jahren weltweit genutzt werden.

Neben den urheberrechtsfreien Drucken und Handschriften hat die UB in den letzten drei Jahren zwei weitere wichtige Bestände digital aufbereitet. 2016 schlossen sich 26 Universitäten unter dem Kürzel NUMiD zu einem „Netzwerk Universitärer Münzsammlungen in Deutschland“ zusammen, mit dem Ziel, ein gemeinsames „Digitales Münzkabinett“ zu schaffen, das die Bestände der universitären Sammlungen virtuell zusammenführt, eLearning-Module bereitstellt, Online-Ausstellungen präsentiert und weitere Angebote aus dem Bereich der numismatischen Forschung und Lehre bereithält. Hier ist die UB künftig mit den 6.600 antiken Münzen und den 1.500 bergmännischen Geprägen der numismatischen Sammlung der TU Bergakademie vertreten. Zurzeit sind alle diese Münzen und Medaillen digital erfasst (12.600 Images) und davon 3.000 Objekte in das digitale Münzkabinett eingepflegt.

Eine für die TU Freiberg selbst sehr

wichtige digitale Ressource steht künftig mit der Datenbank TUBAFmedia zur Verfügung. Hier haben sich unter Federführung der UB Medienzentrums, Archiv, Pressestelle, Kustodie und seit kurzem auch das Institut für Elektrotechnik eine Möglichkeit geschaffen, digital visualisierbare Dokumente auch unter dem Aspekt der Forschungsdatenspeicherung recherchierbar zu halten und dauerhaft zu archivieren sowie – je nach Bedarf – frei, uni- oder fachbereichsintern einer Nutzung zugänglich zu machen. Mit Hilfe einer webbasierten Digital Asset Management-Software wird so eine einrichtungsübergreifende Open Access-Ressource zur Verfügung gestellt, die Aufnahmen des weltweiten Geo- und Montanwesens aus Vergangenheit und Gegenwart (z.B. Abbildungen aus Exkursionsberichten zwischen 1870–1910), zur Geschichte der Bergakademie oder historische Aufnahmen einzelner Institute und deren Sammlungen zugänglich macht. Aus dem Fundus des wissenschaftlichen Altbestandes wurden seit letztem Jahr etwa 21.000 Aufnahmen in diesem Portal archiviert und mit den entsprechenden Metadaten versehen.

Gegenwärtig wird der Bestand an bergmännischen Manuskripten bearbeitet. Historische Abschriften von Bergurkunden aus dem 14. Jahrhundert sind ebenso darunter wie eine der zwei noch existierenden Abschriften des Schladminger Bergbriefs von 1408.

Mit der digitalen Transformation der urheberrechtsfreien Bestände stellt die Universitätsbibliothek einen erheblichen Teil ihres historischen Altbestandes für Forschung und Lehre als Open Access-Ressource zur Verfügung.

Der Wandel vom analogen zum digitalen kulturellen Gedächtnis hat sich in den letzten Jahren stetig beschleunigt. Jetzt steht die Universitätsbibliothek – wie viele andere Institutionen und Firmen – vor der Aufgabe, die Nutzer auf einen sinnvollen, zielgerichteten Umgang mit diesen neuen Ressourcen vorzubereiten und entsprechend anzuleiten. Bisher standen bei der Digitalisierung vor allem Technologien oder Geschäftsmodelle im Vordergrund. Inzwischen wird deutlich, dass man die neuen Herausforderungen anders als bisher angehen muss. Bei der digitalen Transformation sind daher Strategie-, Führungs- und Qualifikationsprozesse sowie die aktive Weiterentwicklung der Arbeits-, Lehr- und

Lernkultur entscheidend für den Erfolg.

Sicher ist der Zugriff auf das gesamte Wissen der Welt ein uralter Menschheits Traum, aber dieser Zugriff birgt eben auch Risiken ...

Bernhard Serexhe schreibt in seinen Skizzen zum Systemwechsel im Bereich des kulturellen Gedächtnisses „... In den letzten Jahrzehnten haben sich auf zwei wichtigen Gebieten der technologischen Entwicklung massive Probleme bezüglich der sicheren Aufbewahrung eingestellt: bei den strahlenden Überresten der Atomkraft und bei den für eine strahlende digitale Zukunft entwickelten digitalen Kulturgütern.“ Er geht davon aus, dass bei einer „durchgehenden Digitalisierung unserer Kultur



XVIII 0936 Grundriss Tiefer Fürsten Stolln; Thelersberger Stolln von Freiesleben

das Vergessen, das fortschreitende Versagen und die aus technischen und politischen Gründen verfügte Manipulation der Speicher zum Ergebnis einer Intelligenz ohne Gedächtnis und Vergangenheit [...], in eine Zukunft ohne Menschen führt ...“

„The world's digital heritages is at risk of being lost to posterity. Digital evolution has been too rapid and costly for government and institutions to develop timely and informed preservation strategies. The threat to the economic, social, intellectual and cultural potential of the heritage - the building blocks of the future - has not been fully grasped ...“ Das veröffentlichte die UNESCO 2003 im Charter on the Preservation of Digital Heritage - UNESCO.

Es ist und bleibt unsere Aufgabe, mit unserem Kulturgut bewusst und verantwortungsvoll umzugehen. U. a. deshalb wurde vor immerhin bereits 50 Jahren der „Wissenschaftliche Altbestand“ als die *réserve précieuse* der heutigen TU Bergakademie Freiberg gegründet.

Oryktognostische Sammlung von Abraham Gottlob Werner online

Ein Projekt des Landesdigitalisierungsprogramms des Freistaats Sachsen

Gerhard Heide,^{a,b} Beata Heide,^{a,b}



I Die Frage, welchen Wert historische, geschlossene Sammlungen für eine Universität haben, wird häufig gestellt. Vor allem dann, wenn eine Sammlung heute vom eigenen Fachgebiet weder als Lehr- noch als Forschungssammlung genutzt wird bzw. werden kann. Hiermit eng verknüpft ist die Fragestellung, welche Bedeutung Sammlungsdaten grundsätzlich haben und wie historische Sammlungen in Wert gesetzt werden können. Neben den Antworten, die die Geschichte von Universitäten geben kann – die Gründung von Universitäten war häufig mit der Stiftung von Sammlungen verbunden – und die sich im Gesetz zum Schutz von Kulturgut (KGSG)¹ finden, ist die entscheidende Antwort die einer wissenschaftlichen Sammlung innewohnende Latenz. Forschungsdaten haben typischerweise temporäre Bedeutung, Sammlungsdaten hingegen sind zeitlos. Gegenständliche Sammlungen können je nach Methodik und Thematik immer wieder neu „befragt“ werden.

II Ein Schlüssel für die Erschließung und Nutzung von Sammlungen liegt in der freien Zugänglichkeit der Bestandsinformationen über das Internet, wie dies bei Bibliotheken seit Jahrzehnten und in stark zunehmendem Maße auch bei Archiven und Landesämtern der Fall ist. Universitären Sammlungen fehlen hierzu die finanziellen und personellen Ressourcen. Ein weiterer entscheidender Punkt liegt in der Digitalisierung der Bestandsinhalte. Hier setzt das Landesdigitalisierungsprogramm für Wissenschaft und Kultur des Freistaats Sachsen² (LDP) an, das die Digitalisierung von wertvollem Schrift- und Kulturgut in Sachsen im großen Umfang durchführt. Besonders wichtig ist, dass

Bestände komplett digital erfasst werden. Dies ermöglicht es u.a., neue Forschungsfragen zu generieren. Die DFG unterstützt andererseits mit ihrem Förderprogramm „Digitalisierung und Erschließung“³ die Digitalisierung von Beständen, die bereits jetzt für die Forschung überregionale Bedeutung haben.

III Die geowissenschaftlichen Sammlungen von Abraham Gottlob Werner (1749–1817) erfüllen nicht nur die unter (I) genannten Kriterien, sie sind auch ein Spiegel der Entwicklung und Ausdifferenzierung in den Geowissenschaften um 1800. Sie dokumentieren die Mineralfunde, die Fundorte und auch die zu dieser Zeit bekannten mineralischen Rohstoffe. Mit dem 78-bändigen handschriftlichen Nachlass,⁴ den 743 erhaltenen an Werner gerichteten Briefen⁵ und seinen Druckwerken^{6,7,8,9} bilden Werners geowissenschaftliche Sammlungen ein einzigartiges, geschlossenes Konvolut – vor allem da die Sammlungsobjekte mit originalen Stufenzetteln versehen sind. Eine ähnliche Bestandsfülle können nur die Klassikstiftung Weimar mit Goethes Sammlung,¹⁰ das Barockhaus des Kulturhistorischen Museums Görlitz mit der Sammlung Gersdorf¹¹ und die Georg-August-Universität Göttingen bzw. die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen mit der Blumenbach-Sammlung¹² aufweisen.

IV Werner legte neun geowissenschaftliche Sammlungen an, von denen die Systematische Oryktognostische Sammlung, die Edelsteinsammlung und die Äußere-Kennzeichen-Sammlung weitgehend unverändert erhalten geblieben sind.¹³ Sie befinden sich im Bestand der Geowissen-

schaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg. Die Objekte der anderen sechs Sammlungen bildeten bereits ab Mitte des 19. Jahrhunderts den Grundstock der heutigen Petrographischen, der Lagerstätten- und der Paläontologisch-Stratigraphischen Sammlung und sind in ihnen aufgegangen. Die Kennzeichensammlung konnte im Rahmen eines DFG-Projekts vollständig, die beiden anderen Sammlungen auf Grund ihres Umfangs nur exemplarisch erschlossen und digitalisiert werden.¹⁴

V Die Systematische Oryktognostische Sammlung ist zusammen mit der Edelsteinsammlung eine mineralogische Sammlung, die Grundlage eines Mineralklassifizierungssystems war. Johann Carl Freiesleben (1774–1846) veröffentlichte dieses System unmittelbar nach Werners Tod 1817 als *Abraham Gottlob Werner's letztes Mineral-System*.¹⁵ In ihm hatte Werner 317 Gattungen (Minerale) mit ihren Arten (Varietäten) und Unterarten in die von ihm entwickelte Mineralsystematik eingeordnet. Deren vier Klassen – Erdige, Salzige, Brennliche und Metallische Fossilien – sind in insgesamt 39 Geschlechter unterteilt.

Die Sammlung umfasst 8043 Nummern, die aus verschiedengestaltigen, kleinen, handschriftlichen, einem Etikett ähnlichen Stufenzetteln und dem Mineral selbst bestehen. Diese Stufenzettel enthalten Informationen zum Fundort oder Fundgebiet und zum Objekt selbst,

a TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie, Brennhausgasse 14, 09596 Freiberg

b TU Bergakademie Freiberg, Geowissenschaftliche Sammlungen, Brennhausgasse 14, 09596 Freiberg



4



5

teilweise auch Jahreszahlen, Signaturen und ausführlichere Beschreibungen, die sich im Sammlungskatalog (1823) und der Zettelkartei (20. Jh.) wiederfinden. Das Wertvolle an den Stufenzetteln ist, dass sie primäre Objektinformation enthalten und

das Bindeglied zwischen dem Naturobjekt und dem damaligen Wissensstand sind. Die Etiketten erleichtern einen Vergleich verschiedener historischer Sammlungen untereinander. Die Oryktognostische Sammlung ist gesichert aufbewahrt und

kann nur auf Anfrage eingesehen werden. Es ist dem LDP¹⁶ zu verdanken, dass die Sammlung Ende 2020 und Mitte 2021 in zwei Etappen vollständig photographisch erfasst und im Internet über sachsen.digital¹⁷ frei zugänglich gemacht wurde.

Anmerkungen Bildmaterial

- Abb. 1
Chrysopras | Żabkowice Śląskie (Frankenstein), Polen | Breite: 6,8 cm | Inv.-Nr.: MiSa 101511
- Erste Klaße. Erdiche Foßilien | 3) Kiesel-Geschlecht | Sipschaft des Quarzes | 65. Krisopras. Abb. 2
- Fluorit | Annaberg-Buchholz | Breite 5,8 cm; Inv.-Nr.: MiSa 103925; Erste Klaße. Erdiche Foßilien; 6) Kalk-Geschlecht | C. Flusssäure Kalkgattungen.; 163. Flus, c. Flusspath. Abb. 3
- Calcit | Bystřany (Wisterschan), Teplice, Tsche-

- chien | Breite: 7,5 cm | Inv.-Nr.: MiSa 103760; Erste Klaße. Erdiche Foßilien | 6) Kalk-Geschlecht | A. Luftsäure Kalkgattungen. | 159. Arragon, b. stänglicher Arragon. Abb. 4
- Stufenzettel zu Inv.-Nr. MiSa 103925, Flussspath, inwendig violettblau ins Rothe übergehend, äusserlich nach einer gewissen Richtung einer Linie stark honiggelb, oder damit eingeschlossen, so dass mehrere Krystallen oder Würfeln in ein ander stecken, und dadurch, und durch Brechung der Lichtstrahlen, verschiedene lebhaft starkglänzende, dem metallischen Glanze, oder Folie sich nähernde

- Farben spielen. Die Krystallen sind [d] durchsichtige, und durchscheinende Würfel mittlerer Größe, mit aufliegenden graulichweissen, durchsichtigen starkglänzenden einzelnen sehr, und ganz kleinen Bergkrystallen, und verlaufen sich in wachsgelben, grobkörnigen derben Flusspath. Von der Grube zu St. Annaberg [b. a.] Die starkglänzende Oberfläche der Flusspathwürfel ist auf der Oberfläche sehr schwach würflicht gestrift. Abb. 5
- Stufenzettel zu Inv.-Nr. MiSa 102596; [2596.] Gebirgsart des Gotharts am Aizolo wovon die ganze Stadt gebaut ist. [Aizolo am Gotthard.]

1 <https://www.gesetze-im-internet.de/kgsg>
 2 <https://www.slub-dresden.de/ueber-uns/projekte/landesdigitalisierungsprogramm>
 3 https://www.dfg.de/foerderung/programme/infrastruktur/lis/lis_foerderangebote/digitalisierung_erschliessung/index.html
 4 Handschriftlicher Nachlass Abraham Gottlob Werner, Bestände der Universitätsbibliothek Freiberg <http://digital.slub-dresden.de/id476178843>
 5 <http://digital.slub-dresden.de/id475078764>, sowie <http://edition-werner.tu-freiberg.de/>
 6 Freiesleben, J. C.: *Abraham Gottlob Werner's letztes Mineral-System - Aus dessen Nachlasse auf oberbergamtliche Anordnung herausgegeben und mit Erläuterungen versehen.* Cranz und Gerlach und Gerold, Freyberg und Wien, 1817. <https://katalog.slub-dresden.de/id/0-1667635891>
 7 Werner, A. G.: *Von den verschiedenley Mineraliensammlungen, aus denen ein vollständiges Mineralienkabinet bestehen soll.* Sammlungen zur Physik und Naturgeschichte

von einigen Liebhabern dieser Wissenschaften, 1. Band 4. Stück. Leipzig, Dykische Buchhandlung, 1778, S. 387-420. <http://digital.slub-dresden.de/id477200818>
 8 Werner, A. G.: *Ausführliches und systematisches Verzeichnis des Mineralien-Kabinetts des weiland kurfürstlich saechsischen Berghauptmans Herrn Karl Eugen Pabst von Ohain.* 2 Bände, Crazische Buchhandlung Freiberg und Annaberg 1791 und 1793. <https://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/mineralienkabinett1791>
 9 Werner, A. G.: *Von den äußerlichen Kennzeichen der Foßilien.* Crusius Leipzig, 1774. <https://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/werner1774/0001>
 10 Prescher, H.: *Goethes Sammlungen zur Mineralogie, Geologie und Paläontologie.* Akademie-Verlag, Berlin, 1978.
 11 Lempfer, E.-H.: *Adolf Traugott von Gersdorf (1744-1807) - Naturforschung und soziale Reformen im Dienste der Humanität.* Veröffentlichungen des Mathematisch-Physikalischen Salons - Forschungsstelle Dresden, Band 6, 1976.

<https://doi.org/10.11588/arthistoricum.79.75>.
 12 <https://blumenbach-online.de/index.php> und hier <https://blumenbach-online.de/Einzelseiten/Sammlungen.php>
 13 Heide, G., Heide, B., Lange, J.-M., Gao, S., Gaitzsch, B., Kehler, C., Massanek, A.: *Über die Geowissenschaftlichen Sammlungen Abraham Gottlob Werners.* In: Kandler, S. (Hg.): *Abraham Gottlob Werner und die Geowissenschaften seiner Zeit.* Freiburger Forschungshefte D 250, 2020, S. 181-190.
 14 Heide, G., Lange, J.-M., Massanek, A.: *Erschließung und Digitalisierung der Äußerlichen Kennzeichen, der Oryktognostischen und der Edelstein-Sammlung von A. G. Werner (1749-1817).* <https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/203212518> <https://webapp.senckenberg.de/aquila-freiberg/search>
 15 s. Anm. 6
 16 s. Anm. 2
 17 <https://sachsen.digital/sammlungen/oryktognostische-sammlung-von-abraham-gottlob-werner>

Neu in der Mineralogischen Sammlung

Die Sammlung Dr. Erik Winter

Andreas Massanek, Ilona Stoiber

Im Frühjahr 2020 bekam der Kustos der Mineralogischen Sammlung, Andreas Massanek, eine Anfrage von Frau Dr. Ilona Stoiber aus Berlin, ob Interesse an der Übernahme der Mineralsammlung ihres Lebenspartners Dr. Erik Winter bestehen würde. Die Entscheidung für so eine Übernahme wird im Allgemeinen erst nach einer Besichtigung der Sammlung getroffen. Auf Grund der Pandemie war es aber erst im späten August möglich, die Sammlung persönlich in Berlin in Augenschein zu nehmen. Sie ist nach dem System des Lehrbuchs zur Speziellen Mineralogie von Prof. Hans Jürgen Rösler geordnet und machte einen gepflegten Eindruck. Die Qualität der meisten Stufen ist jedoch nicht ausreichend, um Eingang in die Mineralogische Schausammlung der TU Bergakademie Freiberg

finden zu können. Da aber alle Stufen über Etiketten und Katalogeinträge verfügten, waren sie durchaus für die Vorrats- und Übungssammlungen von Interesse. Bevor allerdings der Transport organisiert werden konnte, kam der nächste Lockdown, und es verging fast ein Jahr, bis die Sammlung Ende Juni 2021 abgeholt werden konnte.

Dr. med. Erik Winter war Facharzt für Neurologie und Psychiatrie. Er lebte vom 19. Oktober 1930 bis zum 9. Dezember 2019. Von Kind an glänzte er mit außergewöhnlichem Wissen, das er auf der Grundlage seines hervorragenden Gedächtnisses auf zahlreichen Gebieten erwarb und ständig erweiterte. Im Alter von 15 Jahren unternahm er mit seinem Schulfreund Harry Wilk eine Exkursion in den Harz, um dort unter anderem in ein Bergwerk einzufahren. Zu

diesem Zeitpunkt begann er, Minerale zu sammeln, einschlägige Bücher zu lesen und sich für Theorie und Praxis der Geologie zu interessieren. Sein Freund studierte Geologie und wurde Professor, sammelte aber nicht wie er. Nach einer sehr schweren Krankheit begann Erik Winter Medizin zu studieren. Die Mineralogie wurde sein Hobby. In jüngeren Jahren reiste und suchte er selbst nach Mineralen; im Alter kaufte er alles, was er noch nicht hatte. Er wählte ein Ordnungssystem aus, um danach die Stufen zu sortieren, zu beschriften sowie mit Formeln und Fundortangaben zu versehen. So entstand eine sehr umfangreiche Sammlung. Erik Winter wollte nicht, dass sie nach seinem Tod zerrissen wird. Sie sollte, auch zur Erinnerung an ihn, in den Besitz der TU Bergakademie Freiberg übergehen.



Bild 1: Dr. Erik Winter (19.10.1930 – 09.12.2019).
© Dr. Ilona Stoiber

Bild 2: Fluorapatit in Calcit. Yates Mine, Otter Lake, Outaouais, Quebec, Kanada. 6,5 x 10 cm.

Bild 3: Elbait, Var. Rubellit. Morro Redondo Mine, Coronel Murta, Minas Gerais, Brasilien. 8 x 6 cm.

Bild 4: Quarz, Var. Achat. Artigas, Uruguay. 8 x 7,5 cm.

Bild 5: Inesit. Hale Creek Mine, Mad River Rock, Trinity Co., California, USA. 7 x 5,5 cm.

Bild 6: Malachitstalaktit auf Smithsonit, Tsumeb, Oshikoto, Namibia. 7,5 x 7,5 cm.

Bild 7: Calcit. Steinbruch Rhomberg, Hohenems, Dom-

birn, Vorarlberg, Österreich. 8 x 5,5 cm.

Bild 8: Glendonit (Calcit pseudomorph nach Ikaït).

Fluss Olenitsa, Weißes Meer, Murmansk, Halbinsel Kola, Russland. 7 x 5,5 cm.

Alle Mineralfotos: Andreas Massanek, TU Bergakademie Freiberg

Universität unterstützte medizinische Notfallversorgung des Freiburger Krankenhauses

Pressestelle der TU Bergakademie Freiberg

Das Kreiskrankenhaus Freiberg erhielt während der Corona-Pandemie Unterstützung von Mitgliedern der Grubenwehr der TU Bergakademie Freiberg. Auch der Lehrstuhl für Maschinenelemente unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Matthias Kröger entsandte Hilfe.

Bereits seit längerer Zeit bestand eine enge Zusammenarbeit zwischen der Freiburger Grubenwehr und Mitarbeitern der Notaufnahme am Freiburger Kreiskrankenhaus. Gemeinsam entwickelten die Beteiligten beispielsweise in enger Absprache mit dem Oberbergamt und der zuständigen Betriebsmedizinerin ein bisher einmaliges taktisches medizinisches Curriculum zur professionellen medizinischen Versorgung unter Tage. Mit dieser auf die Bedürfnisse des modernen Bergbaus ausgerichteten Ausbildung soll Grubenwehren das nötige Rüstzeug zur medizinischen Notfallrettung unter Tage gegeben werden, da hier keine dem öffentlichen Rettungsdienst vergleichbare Rettung verfügbar ist. In 16 Unterrichtseinheiten wird ein auf typische Notfälle opti-

miertes medizinisch-taktisches Rettungsschema vermittelt und der Gebrauch mit spezifischer Ausrüstung geschult. Die so ausgebildeten Grubenwehren können die Lücke der professionellen Notfallrettung unter Tage schließen und waren damit auch auf einen Einsatz in der Notaufnahme des Freiburger Krankenhauses vorbereitet.

Hier war während der Corona-Pandemie jede helfende Hand nötig. Die hauptberuflich an der Bergakademie Freiberg und ehrenamtlich in der Grubenwehr tätigen Mitarbeiter Stefan Pötzsch, Frank Reuter (Leiter Grubenbetrieb am Forschungs- und Lehrbergwerk der TU Bergakademie Freiberg) und Lars Quaschny setzten dann auch ihre Kenntnisse von Dezember 2020 bis März 2021 mit Einverständnis des Rektors und einer Abordnung durch das Dezernat für Personalangelegenheiten in der Notaufnahme ein und konnten dazu noch praktische Erfahrungen im patientennahen Umfeld sammeln.

Dr. Andreas Fichtner, Ärztlicher Leiter Notfall- und OP-Management am Kreis-

rankenhaus Freiberg, zeigte sich über den Einsatz sehr zufrieden: „Bei in der Folge pandemiebedingt aufgetretenem akuten relevanten Personalmangel in der Notaufnahme des Kreiskrankenhauses Freiberg boten sich einige der mit dem vorgestellten Kurs geschulten Grubenwehrmitglieder zur ehrenamtlichen Mitarbeit an. Nach anfänglicher Skepsis seitens des Notaufnahmepersonals waren die eingesetzten Bergleute nach wenigen Tagen in der Lage, ausgefallene Notfallpflegdienste mit nur noch wenig Anleitung zu besetzen. Maßnahmen am Patienten wurden unter ärztlicher Aufsicht und Verantwortung durchgeführt – die im Rechtsrahmen der Notkompetenz geschulten invasiven Maßnahmen allerdings nicht. Dennoch waren die Bergleute nicht nur für die Basisnotfallversorgung eine als sehr nützlich evaluierte Unterstützung über mehrere Monate, sondern assistierten nach kurzer Zeit auch Schockraumversorgungen mit dem grundlegenden Prozessverständnis aus der absolvierten strukturierten taktisch-medizinischen Schulung.“



Studium



Weiterentwicklung des Studienangebots an der TU Bergakademie Freiberg

Swanhild Bernstein¹, Helmut Mischo², Conrad Jackisch³

Im Zuge der Neubesetzung von Professuren und inhaltlicher Weiterentwicklungen, aber auch wegen didaktischer Erwägungen, wie solchen zur Überarbeitung der Lehr- und Prüfungsformate, sind regelmäßige Anpassungen von Prüfungs- und Studienordnungen notwendig. Im Jahr 2021 wurden 16 Studiengänge überarbeitet. Entweder werden die Studiendokumente komplett erneuert (Neufassungen) oder es werden nur die notwendigen Anpassungen mit Änderungssatzungen beschlossen und erlassen.

Im Jahr 2021 ist besonders die Fakultät für Geowissenschaften mit dem Masterstudiengang „Geoökologie“ und dem Diplomstudiengang „Geotechnik, Bergbau und Geo-Energiesysteme“ hervorzuheben. Die Geoökologie hat in Freiberg 25 Jahre Tradition und ist einer von sechs Standorten in Deutschland, an denen dieser interdisziplinäre, naturwissenschaftlich fundierte Umweltstudiengang angeboten wird. In dieser Zeit haben sich das Wissen und die Datenbasis über Umweltsysteme vervielfacht. Gleichzeitig zeigen sich die globalen Krisen immer deutlicher in regionalen Veränderungen, welche Mensch und Umwelt vor existenzielle Herausforderungen stellen. Für gesellschaftliche und naturräumliche Anpassungsmaßnahmen bedarf es kluger Lösungen zu komplexen Problemen. Dazu müssen Prozessverständnis, ökologische Funktionen und technische Innovationen verbunden werden. Die Geoökologie bildet exakt diese Kompetenzen aus. Nun hat das Masterstudium eine neue Struktur bekommen, um sich klarer an den vielfältigen aktuellen und zukünftigen Herausforderungen auszurichten. Wir bieten ab dem Wintersemester 2021/22 das Studium mit einem schlanken Pflichtbereich und einem großen, nach Schwerpunkten gegliederten Wahlpflichtkatalog an. Die Module im Pflichtbereich stellen eine vertiefte fachliche Kompetenz in den Kerndisziplinen der Geoökologie sicher. Das sind Datenanalyse, Statistik und Fernerkundung sowie die abiotischen und biotischen Wechselwirkungsprozesse von

der atmosphärischen Grenzschicht bis zum Grundwasser. Im Wahlpflichtkatalog gibt es neun Schwerpunkte: „Umwelt-Ingenieurgeologie“, „Ökosystem & Landschaftsmanagement“, „Umwelt- & Geobiotechnologie“, „Biogeochemische Analytik“, „Klima- & Atmosphärenwissenschaften“, „Wasser & Landschaft“, „Bodenhydrologie“, „Hydrogeologie“ und „Wissenschaftliches Tauchen“. Dazu kommen weitere, allgemeine Wahlmodule. Studierende können mehrere dieser Schwerpunkte und Wahlmodule frei kombinieren und sich so individuell und interessengeleitet vertiefen. Mit der neuen Struktur des Masterstudienganges Geoökologie haben wir auch eine agile Basis für die inhaltliche Weiterentwicklung des Studiengangs und seiner Teildisziplinen gelegt. Ein weiterer Schwerpunkt – betreffend die Zusammenarbeit von Messtechnik, Informatik, Datenmanagement und Datenanalyse – ist bereits in Planung. Die Freiburger Geoökologie verbindet so die vielfältigen Stärken der Bergakademie für die Ausbildung von Problemlöserinnen und Problemlösern von morgen.

Der Diplomstudiengang „Geotechnik, Bergbau und Geo-Energiesysteme“ ist die Weiterentwicklung des bisherigen Diplomstudiengangs „Geotechnik und Bergbau“. Im Grundstudium werden neben den allgemeinen naturwissenschaftlichen Grundlagen (Mathematik, Physik, Chemie, Elektrotechnik, Werkstoffkunde, Mechanik, Thermodynamik usw.) auch spezielle Grundlagen, wie Geowissenschaften und rechtliche und betriebswirtschaftliche Grundlagen vermittelt. Im Hauptstudium kann zwischen den drei Vertiefungsrichtungen – „Bergbau“, „Geotechnik“ sowie „Tiefbohrtechnik, Erdgas- und Erdölgewinnung“ – gewählt werden. Gegenüber dem bisherigen Studiengang wird die Regelstudiendauer aufgrund der Aufnahme eines Praktikumssemesters um ein Semester erhöht, so dass die Regelstudiendauer nunmehr zehn Semester beträgt. Das Einfügen eines Praktikumssemesters im 9. Fachsemester vereinfacht es den Studierenden, ihr studienbegleitendes Fachpraktikum inner-

halb der Regelstudienzeit abzuleisten – und erlaubt ihnen darüber hinaus auch die standardmäßige Absolvierung des Grundausbildungsteils der Beflissenen-ausbildung im Rahmen des Studiums. Durch die Bergbaubeflissenen-ausbildung unter Aufsicht des Oberbergamts sollen sich die Studierenden mit den bergmännischen Grundarbeiten auseinandersetzen und den Bergbaubetrieb, seine geologischen Verhältnisse und die Bergtechnik in praktischer Anwendung erleben, so dass an bergbaubezogenen umwelt- und geotechnischen Verfahren mitgearbeitet und arbeitssicherheitliches Bewusstsein entwickelt wird. Insgesamt müssen dafür 200 Schichten (120 Schichten Grundausbildung und 80 Schichten Weiterbildung) unter der Aufsicht der Bergbehörde in Bergbaubetrieben verschiedener Bergbauzweige erbracht werden.⁴ Die Beflissenen-ausbildung ist Voraussetzung für die spätere Referendarausbildung in einem zweijährigen Vorbereitungsdienst für den höheren technischen Verwaltungsdienst im Berg- und Markscheidefach und wurde auch von der Industrie als Standard übernommen. Dadurch wird die universitäre Ausbildung den Marktanforderungen optimal angepasst. Die TU Bergakademie Freiberg kann durch Lehrende mit einschlägiger Berufserfahrung in den entsprechenden Industriezweigen eine praxisnahe Lehre garantieren, so dass die Nachfrage nach unseren Absolventinnen und Absolventen im Diplomstudiengang Geotechnik, Bergbau und Geo-Energiesysteme entsprechend groß und die Einsatzmöglichkeiten sehr vielfältig sind.

- 1 TU Bergakademie Freiberg, Prorektorin Bildung.
- 2 TU Bergakademie Freiberg, Professur für Rohstoffabbau und Spezialverfahren unter Tage.
- 3 TU Bergakademie Freiberg, Professur für Strömungs- und Transportmodellierung in der Geosphäre.
- 4 Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr über die Ausbildung der Bergbaubeflissenen oder Beflissenen des Markscheidefachs vom 01.07.2021 (SächsABLS.807).

Von analog zu digital - Online Studieninformation in Pandemiezeiten

Sabine Schellbach

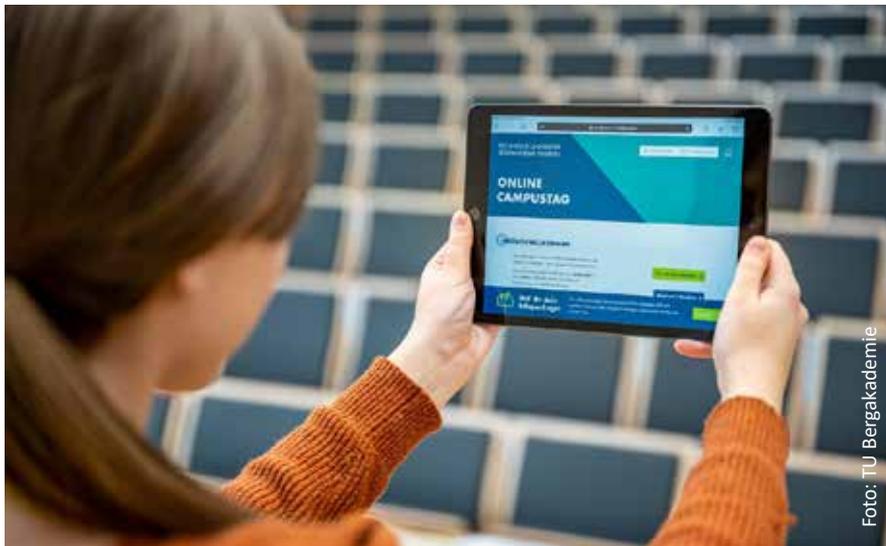
Wie informieren sich Studieninteressierte und zukünftige Studierende, wenn die Studienberaterin nicht mehr bei Veranstaltungen an Schulen und auf Messen beraten und informieren kann, wenn der Besuch von Klassen und Kursen an der Universität nicht mehr möglich ist? Im Januar 2020 konnte die Zentrale Studienberatung der Universität mit dem CampusTag eine letzte Veranstaltung auf dem Campus durchführen.

Die Herausforderung

Die Pandemie hat die Rahmenbedingungen für Studieninformation und -beratung grundlegend verändert. Maßnahmen zur Kontaktbeschränkung, die Schließung der Schulen ab dem 15. März 2020, die Campusschließung und der

Allen Akteuren der Universitätskommunikation und insbesondere im Studierendenmarketing war klar, dass neue digitale Beratungs- und Ersatzformate und -angebote für Schüler:innen und Abiturienten:innen kurzfristig entwickelt werden müssen.

Mit welchen Angeboten gehen wir auf deren Bedürfnisse in der Studienorientierung ein? Wie kann man für ein Studium begeistern, wenn man sich die Uni nicht selbst ansehen kann? Wie kann persönliche Beratung auch weiterhin stattfinden? Welche Informationen sind wichtig, um den Unsicherheiten unserer Zielgruppe in dieser Zeit entgegen zu steuern? Was können wir tun,



Online CampusTag

bundesweite Lockdown machten es ab März 2020 unmöglich, geplante analoge Angebote zur Studienorientierung mit Direktkontakten wie gewohnt durchzuführen. Projektstage von Schulklassen an der Universität und der Besuch von Studienbotschafter:innen an Gymnasien mussten pandemiebedingt abgesagt werden. Auch die Schüleruniversität in den Sommerferien, die Schüler:innen Einblicke in die verschiedensten Studiengänge der Universität gibt, konnte nicht wie üblich stattfinden. Die Teilnahme an Bildungsmessen war nicht mehr möglich. Der Campustag als eines der wichtigsten Informationsangebote, um Schülern die Universität, das Studium und die Studienmöglichkeiten vorzustellen, benötigte eine Alterna-

um in den Phasen der Orientierung, der Bewerbung und des Studienbeginns zu unterstützen? Neben der inhaltlichen Konzeption der neuen digitalen Angebote stand die Frage nach der Erreichbarkeit unserer Zielgruppen Schüler:innen, Studieninteressenten:innen und Abiturienten:innen im Mittelpunkt. Durch die Schulschließungen in Folge der Corona-Pandemie waren unsere Interessenten fast ausschließlich nur noch online erreichbar.

Es sind neue digitale Formate der Studieninformation und Studienberatung entstanden, die zusätzlich zu den Präsenzangeboten auch nach Corona einen Teil des Maßnahmenpektrums des Studierendenmarketings ausmachen werden.

Den Campus online erkunden

Die Website der TU-Kampagne „Studieren in Freiberg“ wurde zur Landing-Page für die kommenden „Online-Campustage“. Unter www.studieren-in-freiberg.de/campustag können sich Schülerinnen und Schüler in [Live-Chats](#) und [Websprechstunden](#) beraten lassen. Neben [Video-Studiengangsvorstellungen](#) stehen für Interessierte kurze [Clips](#) zu den Themen Studienbeginn, Studienfinanzierung, Universitätssport sowie studentisches Leben und Engagement bereit. In Webseminaren werden alle Fragen rund um das Studium und zur passgenauen Wahl eines Studienfachs von der Zentralen Studienberatung beantwortet. Zum Programm der Online-Tage gehören auch [Fachberatungen](#) und [Online-Schnuppervorlesungen](#) der sechs Fakultäten. Teilnehmende können hier direkt mit den Lehrenden und Forschenden sprechen. In Fachvorträgen geben Wissenschaftler:innen Einblicke in spannende Forschung und zeigen zukünftige Herausforderungen auf ihren Gebieten. Für den Austausch mit Studierenden gibt es einen [Studi-Talk](#) für die Studieninteressierten in [Live-Meetings](#).

Um den Campus auch in der Zeit der Campusschließung entdecken zu können, ist in Zusammenarbeit mit der Leipziger Agentur Sons of Motion-Pictures eine [virtuelle „CampusTour“](#) entstanden. Die virtuelle Tour zeigt einen ersten Eindruck von der Campusuniversität mit kurzen Wegen.

Informationen vom Sofa – die „Couch-Gespräche“

Bereits im Wintersemester 2019/20 ist das neue Bewegtbildformat der Couch-Gespräche entstanden. In ersten Folgen stellten Universitätsangehörige in dreiminütigen Videos wichtige Themen rund um den Studienbeginn bzw.

KONTAKT

TU Bergakademie Freiberg
Dezernat Universitätskommunikation
Dezernentin
Dr. Sabine Schellbach
Prüferstr. 2, 3. OG
09599 Freiberg
Tel. 03731 39-3461
E-Mail kommunikation@zuv.tu-freiberg.de



Couch-Gespräche, Folge 19 zu den Services des Studentenwerks



Websprechstunde der Zentralen Studienberatung mit der Studienberaterin Maike Baudach

das Studium an der Universität vor, berichteten von ihren Erfahrungen, und es wurden universitäre Einrichtungen und Services vorgestellt.

Im Zuge der andauernden Einschränkungen durch die Pandemie wurde die Reihe der Couch-Gespräche fortgesetzt. Im Mittelpunkt stehen dieses Mal authentische Erfahrungsberichte von Studierenden der sechs Fakultäten. Mittlerweile sind 19 Folgen produziert, die in der Studienberatung, bei den Online-CampusTagen und als Video-Content für Social Media, insbesondere Youtube und die Instagram-Kanäle, eingesetzt werden.

Netzwerken - Beratung, Sprechstunden, Talk mit Studierenden

Neben [Telefon- und E-Mail-Beratung](#) bieten auch digitale Beratungs- und Vernetzungsformate die Möglichkeit für persönliche Kommunikation, Beratung und den Austausch auf Augenhöhe. Von der Zentralen Studienberatung wurde eine [wöchentliche Websprechstunde im virtuellen Raum](#) (auf BBB) eingerichtet, um für Studieninteressierte der Universität zu Themen wie der Studienfachwahl, Zulassung und Einschreibung zum Studium und zum Studienbeginn zu beraten.

Studierende berichten über ihre Erfahrungen im Studium & Leben in Freiberg. Im [Studi-Talk](#) sind Studierende der Universität umfassend eingebunden. Der Austausch mit den Studierenden im virtuellen Raum

ermöglicht unkomplizierte Begegnungen mit niedrigschwelligem Zugang und Interaktion, um Vertrauen und Bindung zur Uni aufzubauen.

Orientierungshilfen zum Studienbeginn

Insbesondere Studienanfänger:innen benötigen in den Zeiten der Corona-Pandemie eine besondere Orientierung und Unterstützung. Bisherige Prä-

„[Studienstart-Portal](#)“ gebündelt und die Angebote für Studienanfänger:innen teilweise in den virtuellen Raum verlegt und zum Teil, wie die [Infobörse zum Studienbeginn](#), unter Beachtung der AHA-Regeln in Präsenz durchgeführt.

Was bleibt

Während der Corona-Pandemie waren und sind digitale Angebote und Formate alternativlos. Der Digitalisierungsschub an Schulen und an der Universität verändern das Kommunikationsverhalten. Trotzdem können Vor-Ort-Erfahrungen und Selbsterkundung nicht vollständig durch digitale Angebote ersetzt werden. Die „Nach-Corona-Zeit“ stellt neue und andere Herausforderungen. Neben den Präsenzangeboten werden sich digitale Angebote, wie z.B. Online-Websprechstunden oder der Talk



Studi-Talk mit Studierenden

senzangebote der Orientierungs- und Einführungsphase wie die [Zentrale Einführungsveranstaltung](#) vor dem Wintersemester 2020/21 wurden in der üblichen Form abgesagt. Wir haben alle Informationen auf einem relaunchten

mit Studierenden, dauerhaft im Portfolio der Studienorientierung und -information etablieren. Digitale Angebote sind nachhaltig, der Zugang zu diesen Angeboten ist zeit- und ortsunabhängig und Zugangsbarrieren sind gering.

Informationen zum Studium an der TU Bergakademie

- web tu-freiberg.de/studium
- web studieren-in-freiberg.de
- Facebook bergakademie
- Instagram tu_bergakademie-freiberg.de
- YouTube TUBergakademie
- Twitter #tubaf

Corona-Pandemie und Digitale Lehre

TU Bergakademie Freiberg verlegt Prüfungen ins Internet

Anja Solf-Hofbauer, Yulia Dolganova

Seit dem Beginn der Corona-Pandemie im Sommersemester 2020 setzt die TU Bergakademie Freiberg – wie auch andere Hochschulen weltweit – verstärkt auf digitale Formate. Zeitweise wurden Lehrveranstaltungen ausschließlich online durchgeführt; die Studierenden verfolgten Vorlesungen im Stream oder über Webkonferenzen von zu Hause aus. Mit Fortschreiten der Beschränkungen verlegte die Universität im Wintersemester 2020/21 erstmals auch mündliche und schriftliche Prüfungen ins Internet – eine Herausforderung für Studierende, Lehrkräfte, E-Learning- und IT-Verantwortliche. Von insgesamt ca. 500 Klausuren wurden schätzungsweise mehr als zwei Drittel online durchgeführt – entweder im mündlichen oder im schriftlichen Format. 265 davon waren schriftliche Online-Klausuren, von denen wiederum ein Zehntel mit großen Teilnehmerzahlen (jeweils mehr als 70 Studierenden) realisiert wurde. Sowohl Lehrende als auch Studierende stellten sich gut auf die neue Situation ein; nur ein geringer Anteil von Klausuren musste ins nächste Semester verschoben werden.

„Die Umstellung auf digitale Formate war ein notwendiger Schritt, um unseren Studierenden, die nicht vor Ort sein konnten, die Möglichkeit zu geben, an Prüfungen teilzunehmen“, sagt Prof. Dr.-Ing. Urs Peuker, Prorektor für Strukturentwicklung und erklärt weiter: „Das betraf einen nicht unerheblichen Teil unserer internationalen Studierenden, die aufgrund von Reisebeschränkungen nicht in Freiberg sein konnten, aber auch unsere deutschen Studierenden, die wegen der verordneten Kontaktbeschränkungen nicht in den Räumen der Universität zusammenkommen konnten. Ich bin sehr froh darüber, dass wir die Möglichkeit zum digitalen Prüfen genutzt haben und alles in allem gut über die Bühne gegangen ist.“

Vor allem die Umstellung schriftlicher Klausuren auf digitale Formate erforderte einige Vorbereitung. Noch vor Beginn des Wintersemesters 2020/21 wurden erste Maßnahmen dazu in die Wege geleitet. Für die digitale Prüfungsaufsicht stand das bereits etablierte Webkonferenzsystem BigBlueButton zur Verfügung, das vom

Universitätsrechenzentrum für eine Auslastung mit bis zu mehreren Hundert Teilnehmern aufgerüstet wurde. Zusätzlich wurde eine Prüfungsinstanz eingerichtet, die auf einem separaten Server eine höhere Systemstabilität gewährleisten sollte. Sie ähnelte in ihren Grundzügen dem Lernmanagementsystem der Universität und bot die Möglichkeit, zwei verschiedene Prüfungsformate zu realisieren: (1) Paper-Pencil-Klausuren mit Upload der Lösungen sowie (2) elektronische Fernklausuren mit Bearbeitung direkt am PC (siehe Infobox).

Der Vorteil der separaten Prüfungsinstanz lag vor allem darin, dass diese – anders als das sachsenweit vernetzte Lernmanagementsystem – nicht durch wechselseitige technische Störungen beeinflusst werden konnte. „Die Stabilität des Systems musste unbedingt gewährleistet sein, damit wir die Prüfungen im digitalen Raum ohne Störungen abhalten können“, erzählt Prorektor Prof. Urs Peuker. „Wenn bis zu 200 Studierende gleichzeitig online zusammenkommen, um ihre Prüfungsaufgaben erstmals auf diesem Weg zu bearbeiten und abzugeben, dann muss alles einwandfrei funktionieren.“ Große technische Ausfälle blieben aus, kleinere technische Probleme wurden eher nur in Einzelfällen beobachtet und ließen sich oftmals zwischen Prüfer:innen und Prüfling klären. Funktionierte beispielsweise das Hochladen nicht einwandfrei, so bestand in der Regel die Option, die Lösungsblätter innerhalb bestimmter Zeit und unter digitaler Aufsicht per E-Mail zuschicken. Nur in wenigen Fällen hielt die Internetverbindung der Studierenden nicht stand. Studierende, die in Ausnahmefällen nicht über die entsprechende Bandbreite oder die Möglichkeiten einer Bildübertragung per Webcam verfügten, konnten sich in der Neuen Mensa einen Sitzplatz organisieren, wo sie ihre Klausur unter Aufsicht und mit solider WLAN-Verbindung schreiben konnten.

Zur Vorbereitung gehörte neben der Konzipierung der Klausur auch die Organisation des Prüfungsablaufs. Die Studierenden mussten frühzeitig informiert und die „Spielregeln“ definiert und kommuniziert werden. Um alle Beteiligten, d.h.

Prüfer:innen, Prüflinge und Aufsichtspersonal bestmöglich auf die neue Situation vorzubereiten, wurden in der Regel Probeklausuren veranstaltet. Diese dienten dazu, sich mit der Technik vertraut zu machen, den Ablauf zu proben und mögliche Fallstricke, wie z. B. eine unzureichende Bandbreite oder unzureichende Hardware, frühzeitig zu identifizieren. Wichtigstes Equipment für die Teilnahme an einer digitalen Klausur war ein Laptop für den Zugriff auf die Klausur, eine Webcam mit Bildübertragung für die digitale Klausuraufsicht und ggf. ein Gerät (z.B. ein Smartphone) zum Einscannen und Hochladen der Lösungsblätter. Die Internetverbindung musste so stabil sein, dass die Studierenden ohne längere Unterbrechung im Bild zu sehen waren und ihre Aufgaben in der vorgegebenen Zeit einreichen konnten.

Die digitale Klausuraufsicht war Voraussetzung jeder Online-Prüfung – egal, ob Hilfsmittel zugelassen waren oder nicht. Schließlich sollten alle Studierenden gleiche Chancen haben. Gerade bei Klausuren, die reines Wissen abfragen, musste sichergestellt werden, dass Studierende keine Hilfsmittel benutzen oder sich austauschen konnten. Für die Beaufsichtigung der Prüflinge, die ihre Klausuren nicht vor Ort, sondern z. B. zu Hause schrieben, waren Bild- und Tonübertragungen deshalb unabdingbar. Um Schummerei vorzubeugen, nutzten einige Lehrkräfte sogenannte Open-Book-Formate, in denen Hilfsmittel zugelassen waren, oder sie stellten jedem Prüfling eine individuelle Klausur zur Verfügung, indem sie die Aufgabenreihenfolge änderten oder Rechenwerte austauschten.

„Rückblickend ist unser ‚Experiment‘ geglückt und wir können mit mehr Gelassenheit in die nächste Prüfungsperiode starten“, freut sich Prorektor Prof. Urs Peuker. Trotz niedriger Inzidenzwerte wurde an der TU Bergakademie Freiberg auch im Sommersemester 2021 nahezu ausschließlich digital geprüft. Das schafft für Lehrende, aber vor allem auch für die Studierenden Planungssicherheit. „Auch wenn der Großteil der Prüfer:innen wie auch der Studierenden sich Prüfungen in Präsenz ersehnt, sind die meisten doch

froh darüber, dass die Klausuren stattgefunden haben und nicht bis auf Weiteres verschoben werden mussten“, resümiert Prof. Peuker.

Nichtsdestotrotz bleibt die Umstellung klassischer Prüfungs- auf digitale Formate mit einem gehörigen Mehraufwand für die Lehrenden verbunden. Wer sich aber reingefuchst hat, kann den neuen Formaten durchaus auch Positives abgewinnen. Elektronische Klausuren ermöglichen nicht nur eine ortsunabhängige Teilnahme, sondern auch eine teilautomatisierte Korrektur, eine schnelle Rückmeldung an die Studierenden und eine ressourcensparende digitale Archivierung der Daten. Für die Zukunft bleiben dennoch offene Fragen, die es zu klären gilt, sollten Prüfungen weiterhin digital möglich oder erforderlich sein. Neben einheitlichen rechtlichen Rahmenbedingungen müssen die technischen Möglichkeiten erneut in den Blick genommen werden, um digitale Prüfungen auch in Zukunft sicher und gerecht zu gestalten. Zudem bleibt zu klären, welche didaktischen Anforderungen an digitale Prüfungsformate gestellt werden. Fest steht, dass auch für die Zeit nach der Pandemie digitale Prüfungsformate erprobt und evaluiert werden müssen, um Studium und Lehre innovativ fortzuentwickeln.

Digitale Prüfungsformen an der TU Bergakademie Freiberg

Paper-Pencil-Klausur mit Upload

Studierende können sich die Aufgaben im System herunterladen und dann klassisch mit Stift und Papier lösen. Die Lösungsblätter werden zum Ende der Klausur (ggf. mit dem Smartphone) abfotografiert/gescannt und in einen digitalen „Abgabeordner“ hochgeladen.

Elektronische Fernklausur mit Bearbeitung am PC

Studierende beantworten Klausurfragen direkt am PC. Die Tests umfassen in der Regel verschiedene Aufgabenformate, die das Programm (Onyx) als Vorlage bereitstellt. Eine zusätzliche Prüfungssteuerung zeigt den Prüfer:innen an, wenn Studierende ihre Aufgaben gestartet, beendet oder abgebrochen haben (z.B. bei Unterbrechung der Internetverbindung).

Mündliche Prüfungen

Prüfer:innen und Studierende treffen sich zur vorgegebenen Zeit im virtuellen Raum über das Webkonferenzsystem BigBlueButton. Die Fragen werden mündlich beantwortet. Zur visuellen Unterstützung (z.B. für Formeln und Skizzen) kann ein digitales Whiteboard genutzt werden.

Alternative Prüfungsleistungen

Prüfungen werden von Prüfer:innen auf Antrag in alternative Prüfungsleistungen (z.B. Hausarbeit, Belegarbeit) umgewandelt. Die Abwicklung einschließlich Einreichung der Lösungen erfolgt digital (z.B. über das Lernmanagementsystem).

Digitale Lehr-Lern-Konzepte für die Vermittlung von fremdsprachlichen Präsentationstechniken

Mark Jacob, André Dietrich, Sebastian Zug

Die Präsentation wissenschaftlicher Inhalte in einer fremden Sprache ist eine fächerübergreifende Grundfertigkeit, die die Studierenden im Rahmen der Sprachausbildung an der TU Bergakademie Freiberg erlernen. Wie aber kann – vor dem Hintergrund der Pandemiesituation – der entsprechende Lernprozess in ein digitales Lehr-Lern-Konzept eingebettet werden, das neben den grundsätzlichen Herausforderungen, wie der Heterogenität der Vorkenntnisse und der individuellen „Angst“ vor dem gesprochenen Wort, auch die Besonderheiten des Online-Unterrichts berücksichtigt.

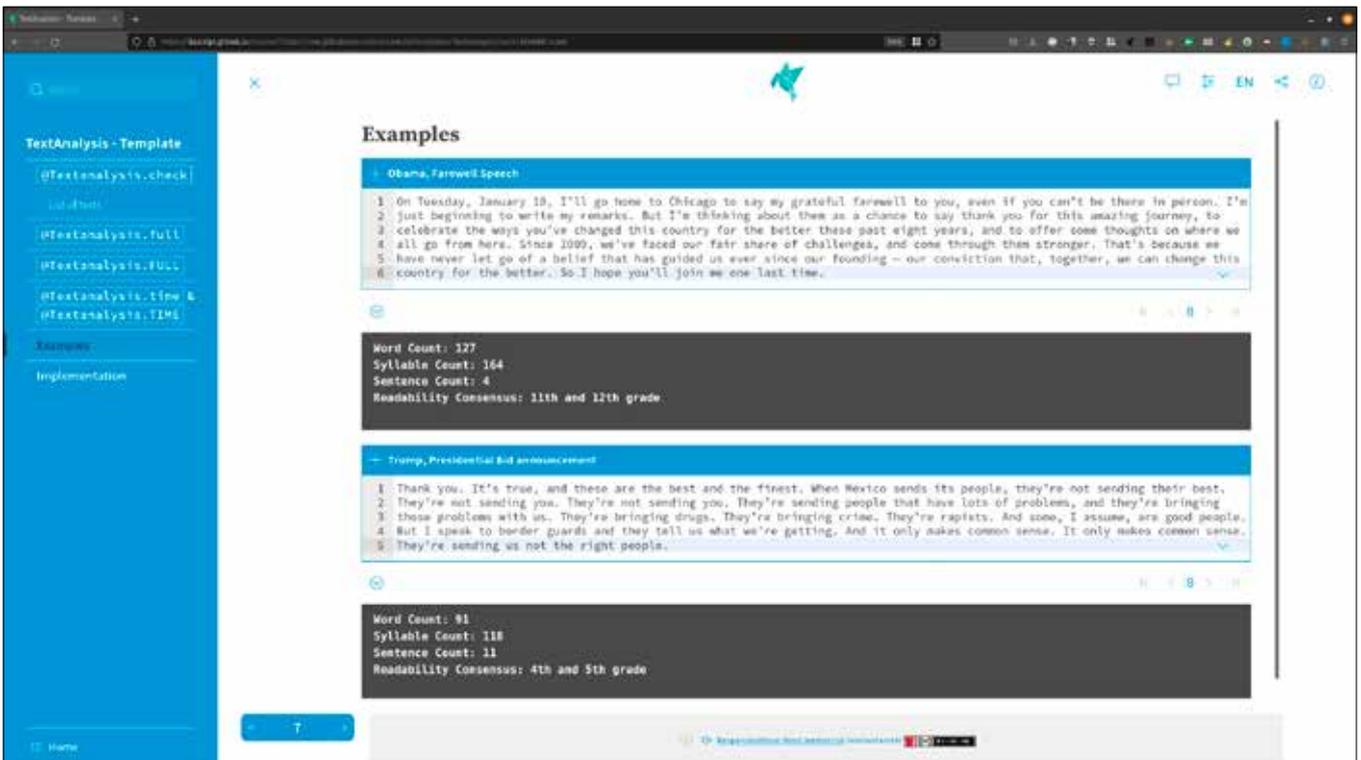
Im Rahmen des Digital-Fellowship-Programms des Bildungsportals Sachsen zielte ein Tandemprojekt zwischen dem Sprachenzentrum (Dr.

Mark Jacob) und dem Institut für Informatik (Prof. Dr. Sebastian Zug) auf die didaktische und technische Adaption einer Veranstaltung zur Vermittlung der englischsprachigen Grundlagen für Präsentationen im Fach Angewandte Informatik. Im Kern zielte das Vorhaben dabei auf die Realisierung eines kollaborativen Lernprozesses, der durch die Interaktion der Studierenden getragen wird und den Lehrenden eher als Moderator einbindet. Dementsprechend wurden die individuellen Beiträge zunächst in kleinen Gruppen von Studierenden vorgestellt und kritisch analysiert. Zum einen, um die Größe des Auditoriums zu verringern und zum anderen, um den strukturierten fremdsprachlichen Diskurs zu üben. Parallel dazu wurde zusammen mit

den Studierenden eine Materialsammlung angelegt, die Videos, Vokabeln und Redewendungen sowie selbst produzierte Best-Practice Beispiele umfasst.

Sowohl für die Materialsammlung als auch die Präsentationen der Studierenden wurde die Beschreibungssprache LiaScript¹ verwendet, die auf die Erstellung von interaktiven Open Educational Resources (OER) abzielt. Da die Studierenden das Format bereits aus den Fachvorlesungen der Informatik kannten, war damit eine rasche Unterfütterung der Präsentationen anhand von ausführbaren Codebeispielen, Videos oder Diagrammen möglich. Für die Materialsammlung wurden zusätzliche PlugIns

¹ <https://LiaScript.github.io>



Textanalyse-Plugin zur Bestimmung der Lesbarkeit, Komplexität und optimalen Leserniveaus

entwickelt, die die sprachliche Analyse von im Netz verfügbaren aufgezeichneten Präsentationen ermöglicht. Mit dem TextAnalysis-PlugIn können zum Beispiel englische Texte unter statistischen und auch stilistischen Aspekten analysiert werden. Dies kann auch von jedem selbst ausprobiert und zum Überprüfen der eigenen Texte verwendet werden.

Mit dem YouTube-grabber kann der gesprochene Anteil eines Videos separat erfasst werden. Mithilfe der extrahierten

Texte wird eine vereinfachte Navigation durch das Video möglich. Damit lassen sich gute und weniger gute Präsentationen anhand objektiver Kriterien voneinander unterscheiden – An welcher Stelle wird die Formulierung “What do you think?” benutzt und wie unterstützt der Präsentierende die rhetorische Fra-

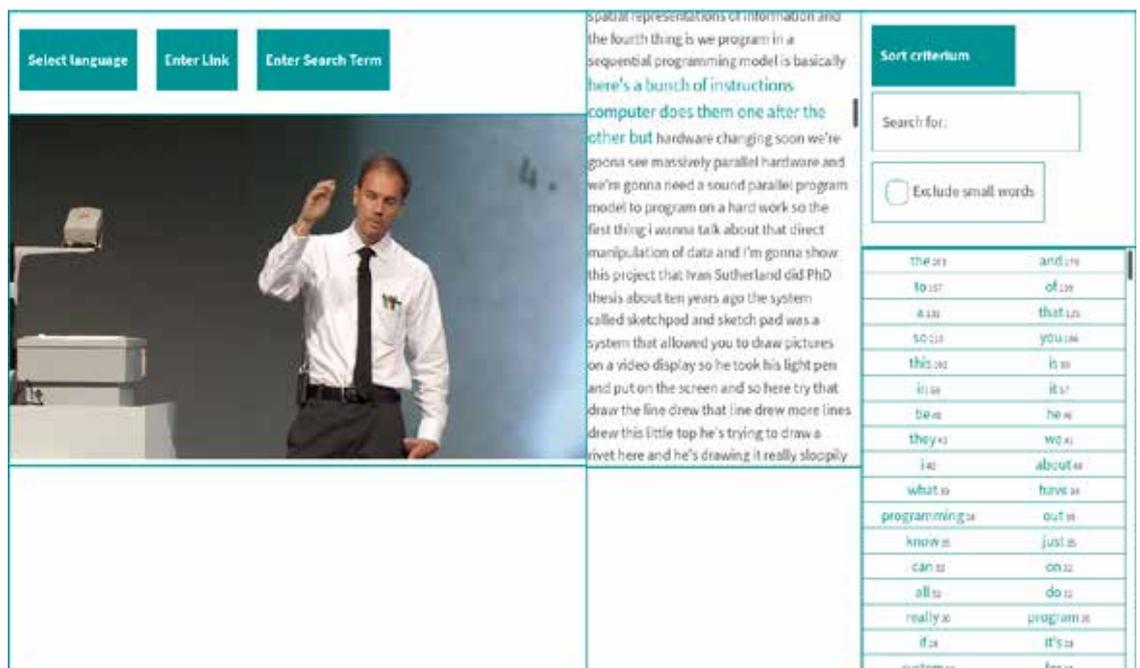
ge mit körpersprachlichen Mitteln?

Im Ergebnis zeigten die Studierenden in ihren Abschlusspräsentationen, die bedauerlicherweise online stattfinden mussten, eine beeindruckende Bandbreite an Themenfeldern und beschrieben die selbstgewählten Algorithmen, die Codebeispiele und auch die Diagramme sehr anschaulich. Viele der Materialien werden in den kommenden Semestern selbst Bestandteil der Materialsammlungen werden.

<https://github.com/LiaTemplates/TextAnalysis>

<https://liascript.github.io/course>

<https://raw.githubusercontent.com/LiaTemplates/TextAnalysis/main/README.md#7>



Studienstiftung des deutschen Volkes

Mehr als Begabtenförderung

Swanhild Bernstein, Michael Stelter, Gerhard Ring, Silvia Rogler, Yvonne Joseph

Die Studienstiftung des deutschen Volkes (Studienstiftung) ist nach eigenen Angaben das älteste und größte Begabtenförderungswerk in der Bundesrepublik Deutschland. Offiziell gegründet wurde die Studienstiftung 1925 in Dresden als Abteilung der bereits am 19. Februar 1921 entstandenen studentischen Selbsthilfeorganisation „Wirtschaftshilfe der deutschen Studentenschaft“. Im Jahr 1934 wurde sie aufgelöst und 1948 in Köln als eingetragener Verein neu gegründet.

Die Studienstiftung dient dem Auftrag, „die Hochschulbildung junger Menschen“ zu fördern - unabhängig von politischen, weltanschaulichen und religiösen Aspekten. Sie möchte solche jungen Menschen fördern, „deren hohe wissenschaftliche oder künstlerische Begabung und deren Persönlichkeit

besondere Leistungen im Dienste der Allgemeinheit erwarten lassen“. Die Studienstiftung unterstützt, wie folgende Abbildung zeigt, die gesamte Breite der fachlichen Hochschulbildung. Wobei, verglichen mit dem Anteil der Studierenden an den Fächergruppen insgesamt, insbesondere die Gruppe der Ingenieurwissenschaften wie auch die der Rechts-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in der Studienstiftung unterrepräsentiert ist. Aktuell fördert die Studienstiftung mehr als 12.700 Studierende und etwa 1.300 Doktoranden. Die Zahl der Neuaufnahmen liegt bei rund 2.400 Studierenden und etwa 400 Doktorandinnen und Doktoranden pro Jahr.

Bis zum Februar 2010 basierte das Auswahlverfahren ausschließlich auf dem System des Vorschlagswesens. Über das aktive Vorschlagsrecht ver-

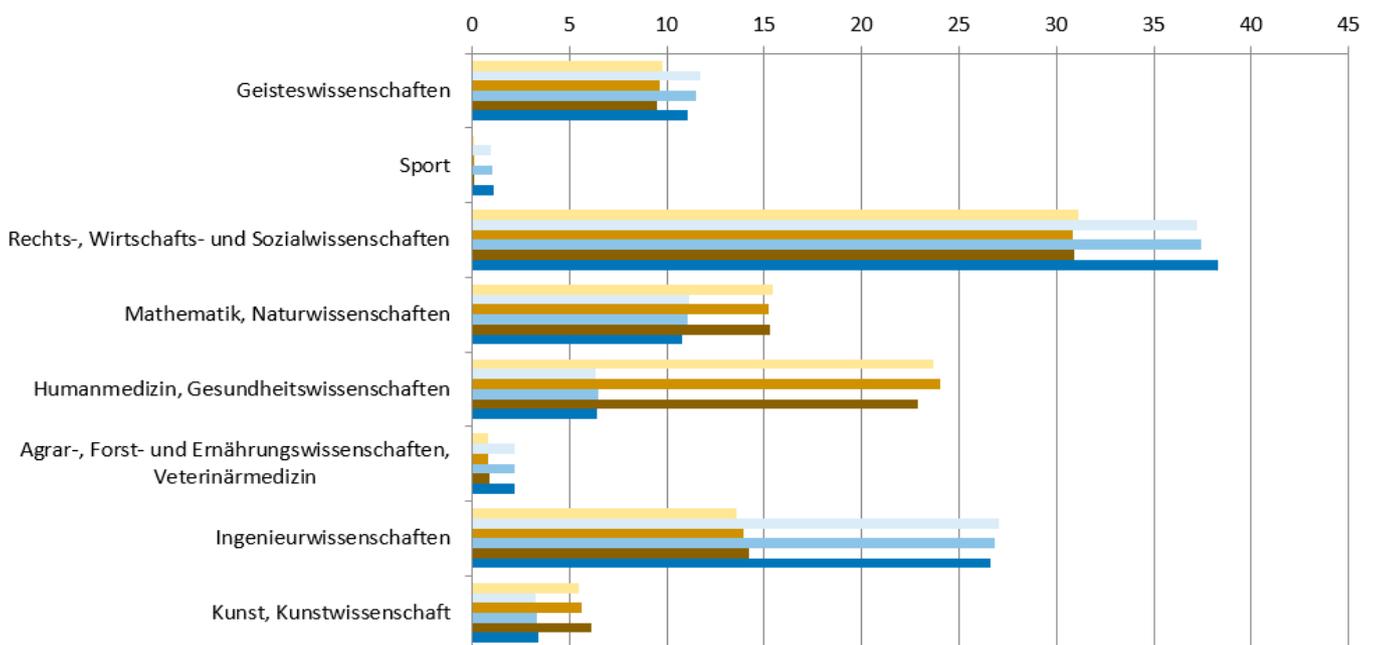
fügen die Schulleitungen, Veranstalter verschiedener Schülerwettbewerbe, die Prüfungsämter staatlich anerkannter Hochschulen und die Professorinnen und Professoren. Schulen dürfen pro angefangene 40 Absolventinnen und Absolventen eine Person empfehlen. Die Prüfungsämter der Hochschulen können die besten zwei Prozent der Studierenden des dritten und vierten Semesters zur Förderung vorschlagen. Außerdem haben alle Professorinnen und Professoren an deutschen Universitäten das Recht, Studierende für ein Stipendium der Studienstiftung vorzuschlagen.

Faktisch konnten Studienanfängerinnen und -anfänger bis 2010 nur durch die Schule, die zur Hochschulbefähigung führte, zur Aufnahme in die Studienstiftung vorgeschlagen werden. Das Informationsdilemma aufgrund



Vergleich

Anteil Studierende bundesweit versus Anteil Studierende in Studienstiftung - nach Fächergruppen in Prozent

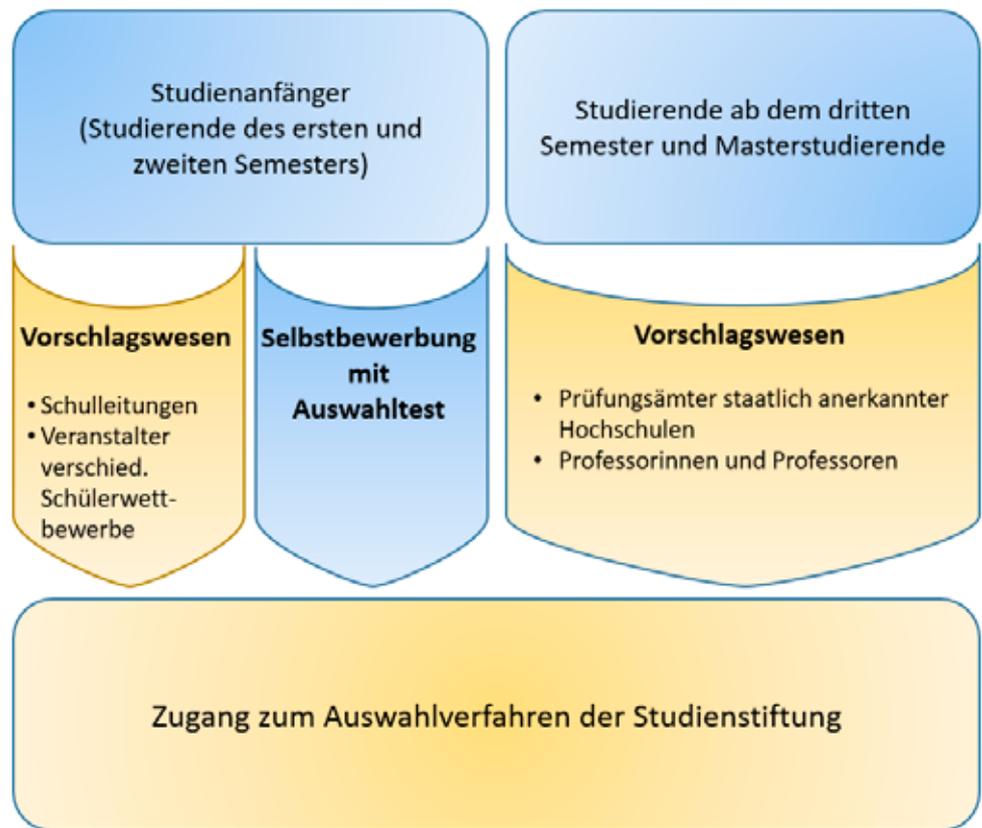


Quelle: Jahresbericht 2020 der Studienstiftung des deutschen Volkes, Auflage Mai 2021/57.100, S. 222 sowie <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bildung-Forschung-Kultur/Hochschulen/Tabellen/studierende-ingesamt-faechergruppe.html>, abgerufen 5. August 2021.

mangelnder Kenntnis der Fördermöglichkeiten der Studienstiftung war an dieser Stelle vorprogrammiert. Als Korrektiv wurde ab Februar 2010 die Möglichkeit der Selbstbewerbung der Studierenden des ersten oder zweiten Semesters mit zu absolvierendem Auswahltest installiert.

Für Studierende umfasst das Stipendium in jedem Falle eine monatliche Studienkostenauspauschale in Höhe von 300 €. Abhängig von der finanziellen Situation der Familie können ein Grundstipendium entsprechend den BAföG-Sätzen und ggf. Zuschüsse zur Kranken- und Pflegeversicherung sowie Familienzuschläge hinzukommen. Doktoranden erhalten ein monatliches, elternunabhängiges Stipendium in Höhe von 1.450 € inklusive Forschungskostenpauschale plus ggf. einen Zuschuss zur Krankenversicherung in Höhe von maximal 100 €.

Neben der finanziellen Förderung ist die ideelle Förderung der Stipendiaten mit einem breit gefächerten Themenangebot ein integraler Bestandteil der Arbeit der Studienstiftung. Insbesondere die Akademien, als Herzstück der ideellen Förderung, zielen auf eine Auseinandersetzung mit sehr unterschiedlichen Themen im interdisziplinären Kontext als gemeinsames Projekt ab. Das bietet Raum, intensiv inhaltlich zu arbeiten, über den eigenen fachlichen Horizont hinauszuschauen, Kontakte zu knüpfen und Freundschaften entstehen zu lassen. Im Rahmen wissenschaftlicher Kollegs wird in vier herausfordernden Arbeitsphasen, die sich über einen Zeitraum von zwei Jahren erstrecken können, der Austausch über Fachthemen gepflegt. Für Promotionsstipendiaten gibt es Doktorandenforen, die es ermöglichen, ihr Forschungsprojekt vorzustellen und Erfahrungen auszutauschen. Zudem finden berufspraktische Seminare zu den Schwerpunkten Wissenschaft, Wirtschaft und Lehramt sowie Kurztagungen, Kompetenz- oder Kontaktseminare statt. Die Studienstiftung ermutigt explizit zu einem Auslandsaufenthalt. Für Studien-, Forschungs- und Praktikumsaufenthalte oder Sprachkurse im Ausland können Stipendiaten deshalb zusätzliche



Unterstützung erhalten. Die Stiftung kooperiert auch mit führenden ausländischen Stiftungen, Universitäten und Forschungseinrichtungen, so dass Studien- und Forschungsaufenthalte realisiert werden können, die über die Möglichkeiten der eigenen Universität hinausgehen, z.B. Teilnahme an Nobelpreisträgertagungen. Ergänzt wird dieses institutionelle Programm durch die Vertrauensdozenten der Studienstiftung an der Hochschule. Sie stehen für vertrauliche und offene Gespräche, z. B. für Fragen der individuellen Studien- und Berufsplanung oder der finanziellen Förderung und Bewerbung, zur Verfügung.

Die Vertrauensdozenten kommen zu Wort

Seit mehr als einem Jahrzehnt engagieren sich die Professoren Gerhard Ring (seit 2005) und Michael Stelter (seit 2007) in diesem Amt, so dass beide viel Erzählenswertes zu berichten haben. Besonders eine Begebenheit ist Prof. Ring in lebhafter Erinnerung geblieben: „Sicher verläuft nicht jede Karriere unserer Stipendiaten so wie jene, die ich nachstehend kurz schildern möchte. Andererseits ist der Werdegang unseres Stipendiaten aber auch nicht ganz untypisch, eine in Freiberg angelegte Karriere in der Wissenschaft:

Kurz nachdem ich 2005 mit dem Ausscheiden von Kollegen Lohmann das Amt des Vertrauensdozenten der Studienstiftung in Freiberg – verantwortlich für die Stipendiaten der natur- und wirtschaftswissenschaftlichen Studiengänge – übernommen hatte, stellte sich bei mir ein junger Stipendiat aus der Fakultät 3 vor, der sich in der Phase des Vordiploms befand. Es ging um die Fortführung seiner Förderung.

Wir kamen schnell ins Gespräch, und es ging – wie immer im Rahmen solcher Gespräche – um ein Kennenlernen, um Fragen des Woher und des Wohin.

Notenmäßig exzellent ausgewiesen und sozial engagiert – vor allem aber, was ich bei unseren Stipendiaten immer sehr geschätzt habe – über den Tellerand der eigenen, inhaltlich begrenzten Studienrichtung hinaus interessiert. Und ein Lichtblick im Vergleich zu den Vielen, die die Aufgabenstellung einer Hochschule nur mit der „Vorbereitung auf eine berufliche Tätigkeit“ (vgl. § 5 Abs. 2 Nr. 1 des Sächsischen Hochschulfreiheitsgesetzes) gleichsetzen. Der Erwerb eines „berufsqualifizierenden Abschlusses“ steht leider zunehmend allein im Fokus des Studiums.

Diesen verengten Tunnelblick vermeidend und die eigenen Perspektiven reflektierend führte unser Gespräch

- zu meiner großen Überraschung - zur Überlegung unseres Stipendiaten, neben seinem allgemeinen, naturwissenschaftlichen Curriculum auch am zivilrechtlichen Lehrangebot teilzunehmen und dabei die entsprechenden Abschlussprüfungen zu absolvieren.

Dieses Ansinnen hat mich zunächst - zugegebenermaßen - überrascht. Zugleich erinnerte ich mich jedoch an meine ersten Berufsjahre in einem Wissenschaftsministerium. In dieser Zeit waren mir eine Reihe von Naturwissenschaftlern begegnet, die sich - verblüffend für einen Juristen - schnell in juristische Problemstellungen einarbeiten konnten und sich letztlich (ohne ein großes Detailwissen) durch bloße Kenntnis der Methodik als exzellente Rechtsanwender entpuppten. Insbesondere ein Abteilungsleiter - Honorarprofessor für theoretische Physik - kam mir in Erinnerung. Mit ihm hatte ich mich sehr oft über die Frage ausgetauscht, warum das stark theoriebelastete Studium einer Naturwissenschaft einen sehr viel leichteren Zugang zur Rechtswissenschaft bietet als eher praxisorientierte Studiengänge. Nun ist die „Juristerei“ sicherlich ein sehr anwendungsbezogenes Studium - wenn und soweit man sich im Irrgarten der Einzelfälle verliert und auf methodische Grundlagen verzichtet. Vereinfacht ausgedrückt ist es wohl die notwendige Erkenntnis, dass „nicht alles mit allem zusammenhängt“, sondern ein richtiges Verständnis des Rechts ein hohes Abstraktionsniveau erfordert, eine Methodik und Regeln, die über die Lösung eines Einzelfalls hinausgehen und generalisierend auf eine Vielzahl differenziert ausgestalteter Einzelfälle in diversen Rechtsmaterien übertragbar sind.

In den folgenden Semestern bis zum Diplom absolvierte unser Stipendiat alle Lehrveranstaltungen, die das Zivilrecht an der Bergakademie anbietet: Grundlagen und Vertiefung des Privatrechts, Handels- und Gesellschaftsrecht, Individual- und kollektives Arbeitsrecht - kurzum, das gesamte Altcurriculum Zivilrecht des Diplomstudiengangs Wirtschaftswissenschaften. Und dies mit exzellenten Ergebnissen in den Klausuren.

Bis zum heutigen Tag sind die Klausurleistungen unseres Stipendiaten im Zivilrecht immer noch ein beredtes Beispiel dafür, dass bei gleichbleibendem Schwierigkeitsgrad für ein gutes Klausur-

ergebnis vor allem ein Interesse an der Methodik bzw. an der Materie notwendig ist - und die stupide, unreflektierte Rezeption auswendig gelernten Wissens nicht zielführend ist.

Nach erfolgreichem Abschluss seines Diplomstudiums an der Bergakademie zog es unseren Stipendiaten zur Promotion ins deutschsprachige Ausland. Wir sind uns in der Folge gelegentlich bei der Nacht der Wissenschaft in Freiberg begegnet - bis mich im vergangenen November seine Mail erreichte, dass er sich erfolgreich habilitiert habe. Ich habe dem lieben Herrn Kollegen dazu herzlich gratuliert und ihn an seine zusätzlichen juristischen Studien in Freiberg erinnert, woraufhin er mir mitteilte, dass diese ihm nunmehr im akademischen Betrieb immer noch von Nutzen seien. Sicherlich nicht das Erlernte als Detailwissen, sondern die fruchtbare Anwendung der Methodik zur Lösung eines Problems.

Welche Lehre lässt sich nun hieraus ziehen? Ein Blick über das Pflichtcurriculum des eigenen Studiengangs hinaus mag dem Studenten zwar für den Augenblick unter Nützlichkeitsabwägungen nicht opportun erscheinen, erweist sich aber sehr oft in Weitung des Gesichtsfeldes als vorteilhaft. Und sei es auch „nur“ der zunächst intrinsische Ansatz, das Fachwissen der eigenen Disziplin mit neuen Eindrücken und fremden Betrachtungsweisen zu bereichern. Vergessen wir nie, dass unsere Studenten das Privileg haben, an einer Universität studieren zu dürfen.“

Für Herrn Prof. Stelter waren die Sommerakademien ein besonderes Highlight in dieser Zeit: „Zu den Sommerakademien durften sowohl Kollege Prof. Ring als auch ich in verschiedenen Jahren ein Seminar anbieten. Die intensive Kommunikation, die konsequente Auseinandersetzung mit einem speziellen Thema, aber besonders die gemeinsame Zeit mit den Stipendiaten war für alle Beteiligten eine außerordentliche Erfahrung. Solche Sommerakademien, Sprachkurse und Symposien werden von der Studienstiftung in jedem Jahr angeboten. Ob in Österreich, Spanien oder in Norwegen, in ganz Europa finden solche Angebote statt, die geplant, vorbereitet, organisiert und betreut werden von den Mitarbeitern der Studienstiftung. Die Dozenten bzw. Seminarleiter sind Experten aus der ganzen Welt, die über ein oder zwei Wochen mit den

Stipendiaten spezielle Fragestellungen diskutieren und Lösungsansätze erarbeiten. Daneben bietet sich ausreichend Gelegenheit die Freizeit an den neuen Orten mit neuen Bekanntschaften und Kontakten, die Kultur, die Landschaft und die Leute dort kennen zu lernen. Dazu sind Exkursionen, Wanderungen und Besichtigungen mit im Programm.“

Im Jahr 2020 hat bereits Frau Prof. Yvonne Joseph die Aufgabe der Vertrauensdozentin von Herrn Prof. Stelter übernommen. Für Herrn Prof. Ring wird Frau Prof. Silvia Rogler folgen.

Frau Prof. Joseph ist Professorin für Elektronik- und Sensormaterialien. Arbeitsschwerpunkt ihres Instituts ist die Grenz- und Oberflächenchemie von Materialien, die für Anwendungen in der Elektronik, der chemischen und biologischen Sensorik und der Membrantechnologie bestimmt sind. Frau Prof. Rogler ist Professorin für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Rechnungswesen und Controlling. Die Lehr- und Forschungsschwerpunkte der Professur sind die nationale und internationale Rechnungslegung, Jahresabschlussanalyse und Jahresabschlusspolitik sowie Kostenmanagement und Controlling. Beide freuen sich auf die neue Aufgabe, da sie den Austausch mit engagierten Studierenden schätzen und als Bereicherung empfinden. Ihr Ziel für die kommende Zeit ist es, den Anteil Freiburger Studierender, die über die Studienstiftung des Deutschen Volkes gefördert werden, zu erhöhen. Von den Studierenden wünschen sie sich, dass sie sich auch bewerben, wenn sie dazu aufgefordert werden.

Ganz sicher öffnet die Studienstiftung Türen. Ob ein Stipendiat durch diese Türen tritt, können wir als Universität nur fördern und unterstützen, nicht erzwingen. Es liegt aber in unserer Hand, Studienanfängerinnen und -anfänger zu einer Bewerbung bei der Studienstiftung des Deutschen Volkes zu ermutigen und als Professorinnen und Professoren unsere Studierenden vorzuschlagen, wie es die Universität seit vielen Jahren über die Studiendekane tut. Aber bestimmt wären mehr Vorschläge von der TU Bergakademie Freiberg dabei, und mittelfristig auch mehr Stipendiaten, wenn sich besonders jeder Studiendekan und jede Studiendekanin, aber auch alle Professorinnen und Professoren dieser Möglichkeit bewusst wären und sie nutzten.

Digitaler Sprachunterricht – Herausforderung und Chance!

Kerstin Bellmann, Birgit Seidel-Bachmann

Von *Eigentlich* und *Uneigentlich* (ja, beide Begriffe lassen sich im Duden finden) spricht Jöran Muuß-Merholz im Zusammenhang mit dem Einsatz digitaler Medien. Denn *eigentlich* machen digitale Medien in der Lehre vieles einfacher, schneller und besser, aber in der Realität sieht es oftmals ganz anders aus¹. Betrachtet man die Digitalisierung der Lehre an Hochschulen, so stellt man fest, dass es bereits seit Ende der 1990er Jahre



Freiberg anreisen durften, wobei es aber auch deutschen Studierenden zum Teil unmöglich war, in Freiberg präsent zu sein.

Asynchrone Online-Lehre umfasst im Gegensatz zur virtuellen Präsenzlehre Angebote, die nicht zeitgleich besucht werden müssen, sondern von den Studierenden in der für sie passenden Zeit bearbeitet werden können. Dazu gehören bspw. aufgezeichnete und über den Video-Server der Universität

Förderprogramme zum E-Learning und E-Teaching auf Landes- und Bundesebene gibt. Seit dem Jahr 2001 ist das Bildungsportal Sachsen die gemeinsame E-Learning Initiative sächsischer Hochschulen, die im Jahr 2007 den Arbeitskreis E-Learning ins Leben rief. An der TU Bergakademie Freiberg gibt es seit 2012 eine E-Learning-Koordinationsstelle. *Eigentlich* ist die Digitalisierung der Lehre also seit Jahren Thema, *uneigentlich* hat die Corona-Pandemie (nicht nur) uns am Internationalen Universitätszentrum (IUZ) eiskalt erwischt.

Digitalisierung in der Fremdsprachenausbildung war auch vor Corona schon ein Thema – ein Thema, dessen man sich weitgehend zu verschließen suchte. Zu groß war die Befürchtung, dass Sprachkurse, angestellte und freiberuflich tätige Sprachlehrerinnen bzw. -lehrer und somit das IUZ/Sprachen überflüssig würden. Allerdings hatte die Digitalisierung im Sprachunterricht längst eingesetzt. Schließlich kamen bereits vor Corona YouTube-Videos zum Einsatz, wurden Audios via App – und nicht mit dem altbewährten CD- oder gar Kassettenrekorder – abgespielt oder online zur Verfügung gestellte Unterrichts- und Übungsmaterialien der Lehrbuchverlage genutzt.

Im Zuge der Corona-Pandemie und der Mitte März 2020 verhängten Massenquarantäne musste auch die TU Bergakademie Freiberg von einem Tag auf den anderen in den Standby-Betrieb übergehen: Der Campus wurde geschlossen, Home-Office wurde (plötzlich) möglich bzw. verpflichtend und Lehre, wie man sie bis dato

kannte, war nicht mehr durchführbar. Im Nachhinein betrachtet wurde schnell klar, dass Präsenzlehre keine Option ist. Jedoch starb die Hoffnung sprichwörtlicherweise zuletzt. „Digitale Lehre“ hieß das Schlagwort der Stunde – *uneigentlich* aber wusste man nicht, was das bedeutet und wie das funktionieren sollte. *Eigentlich* begannen alle Sprachkurse pünktlich und digital spätestens zum verschobenen Vorlesungsbeginn.

Wenn man eine Sprache lernen möchte, muss man sie sprechen und aktiv anwenden. Die in Deutschland von Piepho² eingeleitete kommunikative Wende verschob in den 1970er Jahren den Fokus im Fremdsprachenunterricht von einer systemorientierten bzw. -zentrierten Linguistik hin zu einer kommunikationsorientierten Linguistik. Die Zeiten des lehrerzentrierten, stark gesteuerten und kontrollierten Frontalunterrichts waren vorüber. Man bediente sich nunmehr der jeweiligen Sprache, um u. a. lebensnahe, relevante Situationen im Unterricht zu simulieren, den Lernenden Sprechansätze zu geben, sie stärker in die Unterrichtsgestaltung einzubeziehen und Sprache zur Problemlösung einzusetzen. Interaktion und Austausch wurden integrale Bestandteile eines effektiven und erfolgversprechenden Fremdsprachenunterrichts.

Nach Vorgaben der Universitätsleitung sollten für das Sommersemester 2020 asynchrone digitale Lehr- und Lernangebote geschaffen werden, von denen auch der hohe Anteil internationaler Studierender profitieren konnte. Internationale Reisebeschränkungen führten nämlich dazu, dass ausländische Studierende nicht nach

zugänglich gemachte Vorlesungen oder für die individuelle Bearbeitung erstellte Aufgaben mit Lösungsvorschlägen. Wie aber sollte man so den Ansprüchen eines kommunikativen Fremdsprachenunterrichts gerecht werden? Sollte man tatsächlich zurück zu einer Art Frontalunterricht? Allen war klar, dass dies gerade für den Sprachunterricht auf Dauer keine zufriedenstellende Option darstellt. Die asynchrone Online-Lehre musste durch virtuelle Präsenzlehre ergänzt werden.

Wie genau sieht guter, kommunikativer, virtueller Sprachunterricht aus? Welche technischen Voraussetzungen sind dafür zu schaffen? Welche methodisch-didaktischen Konsequenzen ergeben sich für die Unterrichtsplanung? Welche Tools können zum Einsatz kommen? Diese Herausforderungen waren nicht die einzigen, die es zu meistern galt. Erschwerend kam hinzu, dass man sich im Kolleg/innenkreis zu dieser Zeit nicht treffen und auch nicht sehen konnte. Schnell etablierten sich Chat-/Konferenzsysteme wie Skype, Zoom oder BigBlueButton, die einen interpersonellen Austausch ermöglichten. Dieser gegenseitige Austausch sowie die seitens der E-Learning-Koordinationsstelle gegebene Unterstützung führten dazu, dass sich rasch erste weiterführende Ideen und Konzepte entwickelten. Im Home-Office verschwimmt die Grenze zwischen Beruflichem und Privatem. Die Bereitschaft, eine dennoch funktionierende Lösung zu finden, war ungebremst – und das nicht nur seitens der angestellten, sondern auch der freiberuflich tätigen Lehrenden,

Kontakt

Kerstin.Bellmann@iuz.tu-freiberg.de
Fachsprachenzentrum, TU Bergakademie Freiberg
Prüferstr. 2, 09599 Freiberg

1 vgl. Jöran Muuß-Merholz, Freie Unterrichtsmaterialien finden, rechtssicher einsetzen, selbst machen und teilen, 1. Auflage (Weinheim Basel: Beltz, 2018), 24 f.

2 vgl. Hans-Eberhard Piepho, Kommunikative Kompetenz als übergeordnetes Lernziel im Englischunterricht (Limburg: Frankonius, 1974).

was nicht selbstverständlich ist, so dass ihnen eine besondere Anerkennung für ihr Engagement zuteilwerden sollte. Jedenfalls ging die Lernkurve bei allen steil nach oben.

Alle Sprachkurse wurden in der einen oder anderen Form mit synchronen wie auch asynchronen Elementen angeboten. Natürlich lief vor allem in der Anfangsphase sowohl seitens der Lehrenden als auch der Lernenden nicht alles reibungslos ab, aber gemeinsam konnten Hindernisse überwunden werden. Meistens gab es eine Person im Kurs, die wusste, wie das gerade auftretende Problem gelöst werden konnte. Und so lernten alle von- und miteinander und wuchsen an ihren Aufgaben.

Mittlerweile liegt das dritte virtuelle Semester hinter uns. Man hat in dieser Zeit unterschiedliche Methoden und Ansätze ausprobiert, um den für sich und seinen Lehrstil besten digitalen Weg zu finden. Es ist an der Zeit, die gesammelten Erfahrungen zu evaluieren. Zweifellos freuen wir uns alle darauf, die Lernenden im Wintersemester 2021/22 wieder in Präsenzkursen begrüßen zu können, jedoch müssen weiterhin vor allem die Deutschkurse für internationale Studierende in englischsprachigen Masterprogrammen überwiegend virtuell angeboten werden. In gewisser Weise scheint aber eines sicher: Unterricht, wie man ihn vor Corona kannte, wird es in dieser Form nicht mehr geben. Viele der in den letzten anderthalb Jahren kennengelernten digitalen Lehr- und Lernmöglichkeiten werden nicht einfach wieder verschwinden. Zudem sind Onlinekurse gefragt. Ein Beleg dafür ist, dass sich der einzige online angebotene Deutschkurs auf der Niveaustufe B2 in der Einschreibephase am schnellsten füllte – trotz der Tatsache, dass viele der Teilnehmenden vor Ort in Freiberg sind.

Einer der größten Vorteile, den digitaler (Sprach-)unterricht nämlich bietet, ist die örtliche Flexibilität: 7.30 Uhr zu Hause, 11.30 Uhr im Büro, bei der Konferenz in St. Petersburg oder beim Praktikum in einer anderen Stadt. Die in den Sprachkursen obligatorische Anwesenheit kann so leichter erfüllt werden. Aber auch für Präsenzkurse bieten virtuelle Klassenzimmer die Flexibilität, die es braucht, wenn bei der Bahn gestreikt wird oder winterliche Straßenverhältnisse es den oft nicht in Freiberg wohnenden Lehrenden und Studierenden erschweren, pünktlich und sicher nach Freiberg zu kommen.

Digitale Tools wie Padlet oder Google Docs erlauben es den Studierenden, unab-

hängig vom Aufenthaltsort gemeinsam an Projekten zu arbeiten oder Präsentationen vorzubereiten. Auch der sogenannte Flipped Classroom rückt in Corona-Zeiten stärker in den Fokus. Selbstaufgenommene Videos oder YouTube-Tutorials ermöglichen es den Lernenden, sich in selbst gewählter Zeit und nach individuellen Bedürfnissen Inhalte, – wie bspw. Grammatik-Regeln –, zu erarbeiten. Die virtuelle Präsenzzeit kann zum Üben genutzt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Lernenden sich entsprechend vorbereiten und im virtuellen Klassenzimmer aktiv mitarbeiten. Break-out-Räume machen die Arbeit in kleineren Gruppen möglich. Die Lehrkraft hat ja die Möglichkeit, diesen Räumen beizutreten und bei Bedarf helfend einzugreifen.

Was in der theoretischen Beschreibung hier recht unkompliziert klingt, ist in der Realität allerdings nur bedingt umsetzbar – sind es die Teilnehmenden doch aus anderen Online-Lehrveranstaltungen nicht unbedingt gewohnt, so aktiv an einem virtuellen Unterricht zu partizipieren, wie es Online-Sprachkurse verlangen. Nicht selten sind Kameras und Mikrofone nicht ganz funktionsfähig bzw. deaktiviert. Viel Zeit geht im virtuellen Unterricht dabei verloren, auf die Reaktion der Teilnehmenden zu warten. Anders als im Präsenzunterricht können Teilnehmende nicht einfach sofort sprechen, sondern müssen zuerst die Stummschaltung ihrer Mikrofone aufheben. Für die Lehrkraft ist dies eine Geduldsfrage: Ist der Angesprochene nicht da, hat er vergessen, das Mikrofon anzumachen, hat er die Frage nicht verstanden, denkt er über die Antwort nach, ist er kurz zur Toilette? Im Präsenzunterricht spielen diese Fragen keine Rolle; man sieht seine Teilnehmenden und gegebenenfalls auch die Fragezeichen in deren Gesichtern.

So verliert man im virtuellen Unterricht viel Zeit. Zahlreiche Abläufe müssen kleinschrittiger geplant werden und sind langwieriger, worunter der vermittelbare Stoffumfang leidet. Dies muss von den Lernenden im Selbststudium oder durch das Lösen von Hausaufgaben kompensiert werden. Die Vor- und Nachbereitung des Unterrichts erfordert somit nicht nur von den Lehrenden, sondern auch von den Lernenden erheblich mehr Zeit. Sich dazu zu motivieren und das eigene Lernen sinnvoll zu strukturieren, fällt jedoch knapp einem Drittel der Studierenden nicht leicht³.

3 Quelle: Studierendenbefragung zum digitalen Wintersemester 2020/21 vom Prorektorat Bildung der TU Bergakademie Freiberg in Kooperation mit

Des Weiteren ist es auch mit zwei Monitoren auf dem Schreibtisch unrealistisch, bis zu zwanzig Sprachkursteilnehmende im Auge zu behalten, nebenher noch ein übersichtliches Tafelbild zu erstellen und den Chat im Blick zu behalten. Natürlich gibt es hilfreiche, digitale Werkzeuge – so eignen sich Umfragen oder digitale Quizze – wie bspw. Kahoot oder Quizlet – dazu, möglichst viele Lernende aktiv in den Unterricht einzubeziehen. Jedoch sind es nicht zuletzt immer auch technische Probleme, wie instabile Internetverbindungen oder in anderen Ländern blockierte Internetseiten, an denen ein reibungsloser Unterricht scheitert.

Sprachkurse, vor allem auf niedrigeren Niveaustufen, sind im Vergleich zu anderen Lehrveranstaltungen etwas sehr Persönliches. Im direkten Unterricht lernt man sich sehr schnell kennen – es werden die alltäglichen Dinge des Lebens besprochen: die eigene Biographie, Vorlieben und Abneigungen, der studentische Alltag, Familienverhältnisse, Lebens- und Essgewohnheiten etc. Sprachkurse waren an der Universität immer schon ein Ort, an dem Bekanntschaften und Freundschaften – auch studiengangübergreifend – entstanden. In Zeiten von Kontaktbeschränkungen kam dem virtuellen Präsenzsprachunterricht deshalb eine besondere Bedeutung zu, bot er doch die Gelegenheit zu sozialen Kontakten und persönlichem Austausch. Das Feedback der Studierenden in den Sprachkursen belegte, dass Gespräche miteinander vor, während und nach dem Sprachunterricht dazu beitragen, die soziale Isolation zu verringern. Interessant und erfreulich ist das vor allem vor dem Hintergrund, dass mehr als 61 Prozent der Studierenden den Kontakt und die Kommunikation mit Kommilitoninnen im Wintersemester 2020/21 als schlecht oder sehr schlecht bewerteten.⁴ Im Online-Sprachkurs hingegen lernte man neben den Kursteilnehmenden auch Geschwister, Kinder, Eltern und andere Familienmitglieder sowie selbst Haustiere kennen und bekam so einen noch tieferen Einblick in das persönliche Leben und die Wohnverhältnisse des jeweils anderen.

Jedoch ist der virtuelle, persönliche Kontakt ein anderer. Im Gegensatz zum Präsenzunterricht ist es nämlich bei nur virtueller Anwesenheit nicht möglich, bei der Einzel-, Partner- und Gruppenarbeit im Seminarraum umherzugehen, still zu beobachten, um gegebenenfalls Hilfestel-

dem Studentenrat

4 Quelle: ebd.

lung anzubieten und diese bei Bedarf mit der gesamten Gruppe zu teilen. Ist man als Lehrkraft im virtuellen Klassenzimmer in den Break-Out-Rooms unterwegs, hört man immer nur eine Gruppe und nimmt nicht wahr, womit sich die anderen gerade beschäftigen. Ebenso kann man den Lernenden nicht über die Schulter schauen oder sie zur Seite nehmen, um individuelle Lernfortschritte oder -rückstände zu besprechen.

Zweifelsfrei hat sich mit den letzten drei Semestern in der universitären Fremdsprachenausbildung einiges geändert. Man war gezwungen, neue Wege zu gehen – Wege, die man vorher so vermutlich nicht eingeschlagen hätte. Viele dieser Neuerungen werden auch weiterhin im

Unterricht, egal ob in Präsenz oder virtuell, zum Einsatz kommen. Andere werden wieder in Vergessenheit geraten, denn nicht für alle Unterrichtsaktivitäten eignen sich digitale Formate. Letztlich hängt es wohl auch stark von den Kursbeteiligten ab. Von einigen Lehrenden in ihren Kursen durchgeführte Umfragen haben ergeben, dass ein Drittel der Teilnehmer den Online-Sprachunterricht bevorzugt. Dabei kommen einige Lehrende besser mit Online-Unterricht zurecht als andere. Zusammenfassend ist sicher festzuhalten, dass Online-Sprachkurse durchaus funktionieren können – wenn die nötigen technischen Voraussetzungen gegeben sind und diese Unterrichtsform sowohl seitens der Lehrenden als auch der Lernenden ak-

zeptiert wird.

Die letzten drei Semester waren anstrengend, zum Teil auch frustrierend, stressig, ermüdend und extrem zeitaufwändig, aber auch unglaublich kreativitätsfördernd und befriedigend. Und so ist man am IUZ/Sprachen stolz auf das Erreichte, das dabei Entstandene und ebenso auf das überwiegend positive Feedback. *Eigentlich* hat man in dieser Zeit das *Uneigentliche* geschafft. Am IUZ/Sprachen ist man mit den digitalen Medien warmgeworden. Synchrone und asynchrone virtuelle Lehre ist Chance und Herausforderung zugleich. Sie ersetzt die Präsenzlehre *eigentlich* nicht, auch nicht *uneigentlich*. Sie kann diese jedoch unterstützen, wenn man die Potentiale bedarfsgerecht nutzt und einsetzt.

Schülerlabor „Science meets School - Werkstoffe & Technologien in Freiberg“

Annett Wolf



Gruppenfoto mit den Preisträgern des Schülerwettbewerbes 2020



Berufsschüler des BSZ "Julius Weisbach" beim Zugversuch

„Was haben mein Fahrrad, das Hüftgelenk meiner Oma und der Bagger auf der Baustelle nebenan gemeinsam?“

So beginnt der Besuch im Schülerlabor „Science meets School - Werkstoffe & Technologien in Freiberg“. Hier dreht sich alles um Werkstoffe. In den letzten 15 Jahren wurden deshalb tausende Stahlproben erhitzt, oder mit flüssigem Stickstoff abgekühlt und anschließend mit lautem Knall zerschlagen. Der Kerbschlagbiegeversuch ist nur eines von vielen Angeboten zum Thema Werkstoffprüfung. Seit dem 22. Februar 2006 konnten knapp 5.400 Schülerinnen und Schüler ab Klasse 8, aber auch Berufsschüler*innen, unter fachlicher Anleitung Arbeitsschritte aus der Metallografie kennenlernen, Zugversuche mit verschiedenen Werkstoffproben durchführen, die elektrische Leitfähigkeit von Materialien mit dem magnetinduktiven

Verfahren untersuchen oder auch die Härte wärmebehandelter Stähle prüfen. Besonders verblüfft sind die Besucher*innen immer wieder, wenn sich Metallfedern beim Erwärmen zusammenziehen (Formgedächtnislegierungen) oder durch additive Fertigung mithilfe eines 3D-Druckers feingliedrige, in sich bewegliche Kunststoff-Dinosaurier entstehen.

Das Schülerlabor, das von Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Biermann initiiert und als einer der ersten außerschulischen Lernorte zu werkstofforientierten Fragestellungen im Institut für Werkstofftechnik an der TU Bergakademie Freiberg aufgebaut wurde, hat das Ziel, jungen Menschen durch eigenes Experimentieren einen Einblick in die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu ermöglichen und so frühzeitig das Interesse für diese Schlüsseldisziplin zu wecken. Das Labor sieht sich als Schnitt-

stelle zwischen Schule und Universität. Es kann einen wichtigen Beitrag zur beruflichen Orientierung leisten, indem es vermittelt, dass die Ingenieurwissenschaften sehr fachübergreifend sind und hervorragende Berufschancen bieten. Mehrere Themen werden in den Laborräumen angeboten, die die Durchführung definierter Experimente in kleinen Gruppen ebenso ermöglichen wie freies Experimentieren Einzelner, z. B. im Rahmen von Schülerwettbewerben, besonderen Lernleistungen oder von „Jugend forscht“.

Das Labor hat sich in der Bildungslandschaft Sachsens etabliert. Viele Schulen aus der Region nutzen das Angebot zur Durchführung des Fächerverbindenden

Kontakt

Koordinatorin des Schülerlabors am Institut für Werkstofftechnik, awolf@ww.tu-freiberg.de

Unterrichts oder als Inhalte des mathematisch-naturwissenschaftlichen Profils. So gibt es z. B. eine sehr enge Zusammenarbeit mit dem Geschwister-Scholl-Gymnasium Freiberg, das in der Sekundarstufe II einen Wahlgrundkurs „Moderne Werkstoffe“ anbietet, und dem BSZ für Technik und Wirtschaft „Julius Weisbach“ Freiberg bei der Ausbildung von Werkstoffprüfern. Andere Gruppen besuchen das Schülerlabor während ihrer Bildungsreise und als Station auf einer „Wissensreise“ zum Kennenlernen der TU Bergakademie Freiberg. Auch Lehrer*innen nehmen die Fortbildungsveranstaltungen zu Werkstoffthemen gern an.

Finanziell gefördert wurde das Schülerlabor anfangs durch die Robert-Bosch-Stiftung und in den letzten Jahren über den durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereich 799 „TRIP-Matrix-Composite“. Das Kultusministerium leistet mit der Bereitstellung von Lehrpersonal ebenfalls einen wichtigen Beitrag zum Erfolg des Schülerlabors. Als Mitglied im LernortLabor - Bundesverband der Schülerlabore ist es bundesweit mit anderen außerschulischen Lernorten vernetzt.

Seit 2011 organisierte das Schülerlabor (bis 2020 in enger Kooperation mit dem o. g. SFB 799) alljährlich einen Schülerwettbewerb, bei dem Verbundwerkstoffe im Mittelpunkt standen. Die Schüler*innen sollten motiviert werden, sich mit Werkstoffen kreativ auseinanderzusetzen, deren Eigenschaften selbstständig zu erkunden und schließlich als Werkstoffwissenschaftler*in tätig zu werden. Die Grundaufgabe bestand immer darin, mit haushaltsüblichen Materialien einen Verbundwerkstoff herzustellen und anschließend einer Prüfung zu unterziehen. Das spezielle Wettbewerbsthema wechselte dabei von Jahr zu Jahr. So wurden die Schüler*innen im ersten Wettbewerb: „Ganz schön gerissen“ aufgerufen,

einen Verbundwerkstoff aus Pappmaché mit beliebigen Komponenten aus dem Haushalt zu entwickeln, der leicht sein sollte, aber einer hohen Zugkraft standhält. 2012 lautete das Motto: „Auf Biegen und Brechen“. Hier bestand die Aufgabe darin, einen Verbundwerkstoff aus Modelliermasse und beliebigen Haushaltsfasern anzufertigen, der auf Biegebelastung geprüft wurde. „Ein kniffliger Fall“ 2013 forderte zum Bau einer leichten, festen und verformbaren Crashstruktur aus haushaltsüblichen Verpackungsmaterial auf, die auf Druckverformung geprüft wurde. Eine Crashstruktur aus Trinkhalmen, Papier und Klebeband sollte 2014 beim Wettbewerb „Ei Caramba“ ein rohes Ei vor den Folgen eines Aufpralls schützen. Mit „Lasst die Balken biegen“ (2015), „Das Gips doch gar nicht“ (2016), „Experiment mit Tiefgang“ (2017), „Wer einknickt, verliert“ (2018), „Zieglein, Zieglein in der Wand“ (2019) und schließlich „Müll ist nicht tragbar - deine Tasche schon“ (2020) wurden in den folgenden Jahren von den Schüler*innen Brücken aus Pappe und Holzstäbchen, Biegeproben aus Gips, Schwimmkörper aus Papier mit Wachsbeschichtung, filigrane Türme aus bunten Papierröllchen, Lehmziegel mit Bambus und Jumbotaschen aus ausgedienten Plakatplanen gebaut. Und so einfallsreich wie die Namen der Wettbewerbe waren auch die Ideen der Teilnehmer*innen, die die Jury immer wieder mit originellen Einsendungen überraschten und in Staunen versetzten.

Seit der Corona-Pandemie ist es still im Schülerlabor. Die Durchführung des Schülerwettbewerbs bietet nun die Möglichkeit, trotzdem das Werkstoffthema in die Schulen zu bringen. Bereits während der ersten Schulschließung im Frühjahr 2020 nutzten einige Lehrer*innen die Wettbewerbsaufgabe als Auftrag für Schüler*innen des mathematisch-naturwissenschaftlichen Profils im Homeschooling.

„Rettet mit uns das Gletschereis!“ lautete der Auftrag an die Schüler*innen in diesem Jahr. Die Idee für den Schülerwettbewerb 2021 wurde von Mitarbeitern des Instituts für Werkstoffwissenschaft entwickelt. Eine nach unten geöffnete Kühlbox aus haushaltsüblichen Gegenständen und Materialien sollte gebaut werden, die einen Eisblock besonders lange vor dem Aufschmelzen bewahrt, wobei die Verwendung kommerziell erhältlicher Dämmstoffe - z. B. von Styropor - verboten war. Die Auswahl der Werkstoffe sollte im Protokoll begründet und die Schritte der Entwicklung der Kühlbox waren zu dokumentieren. Am Ende sollte die Kühlleistung der Box selbst geprüft und ein Diagramm: ‚Eisblockmasse gegen die Zeit‘ erstellt werden. Bis zum 14. Mai erreichten uns 39 Einsendungen. Insgesamt beteiligten sich 69 Schüler*innen der Klassenstufen 5 -12 aus sechs Schulen am Wettbewerb. Die weiteste „Anreise“ hatte eine Kühlbox von zwei Schwestern aus Rödermark im Landkreis Offenbach, die sich bereits zum zweiten Mal am Wettbewerb beteiligten. Alle Kühlboxen wurden einem Härte-test unterzogen, da am Tag der Prüfung 30 °C Außentemperatur herrschten. Das beste Kühlvermögen zeigte dabei die Konstruktion von Wilhelm Stockmann aus dem Geschwister-Scholl-Gymnasium Freiberg. Die beste Gruppenleistung stammt aus dem Landkreis-Gymnasium St. Annen in Annaberg-Buchholz. Neben diesen Preisen wurden von der Jury auch das beste Protokoll und die kreativste Kühlbox ermittelt. Die Stiftung „Sachsen. Land der Ingenieure“, die den Wettbewerb schon über viele Jahre finanziell bei der Prämierung der Wettbewerbssieger unterstützt, ruft außerdem einen Mädchenpreis aus. Alle Gewinner*innen wurden am 7. Oktober zur Preisverleihung und zu einem Forschertag an die TU Bergakademie Freiberg eingeladen. Zu wünschen bleibt, dass bis dahin auch das Schülerlabor wieder regelmäßig Schülergruppen empfangen kann.



Jurysitzung zum Schülerwettbewerb 2021



Gewinner - Kühlboxen



Abkühlen der Proben in flüssigem Stickstoff beim Kerbschlagbiegeversuch

Als ich mit Professor Hauk nach Chemnitz fuhr, ...

Thomas Schmalz

Studentenwerk nimmt Gestalt an

Bergakademie baut eigenes Studentenwerk auf

Schlagzeile in der Akademischen Zeitung, 33. Jahrgang Nr. 2 Ausgabe 1991 (Titelseite)

Am 01.07.1991 wurde das Studentenwerk Freiberg wiedergegründet. 30 Jahre später scheint es vielen, als wäre es nie anders gewesen. Das Werk ist wichtiger und zuverlässiger Partner der Hochschuleinrichtungen in Freiberg und Mittweida auf den Gebieten Finanzierung, Wohnen, Verpflegung, Beratung, Kinderbetreuung und kulturelle Unterstützung der Studierenden. Aber kaum jemand erinnert sich noch an die Zeit vor der Wiedergründung dieses Dienstleisters für unsere Studentinnen und Studenten.

In den Neuen Bundesländern war die außeruniversitäre Betreuung der Studierenden mehr als 40 Jahre lang Aufgabe der Hochschuleinrichtungen. In dieser Zeit wurden von den Hochschulen selbst Wohnheime, Mensen und Kindertagesstätten gebaut, Studentenclubs gegründet und Ferienheime betrieben. Mit der Wende stellte sich die Frage, wie diese Einrichtungen weitergeführt werden sollten, denn nach bundesdeutschem Recht war der Betrieb all dieser Bereiche eindeutig nicht Aufgabe von Lehrinrichtungen. In jedem Fall stand fest, dass Lehre und studentisches Leben nicht mehr wie bisher aus einer Hand organisiert werden sollten.

In Freiberg existierte - wie an 49 anderen Standorten in Deutschland in ähnlicher Weise auch - seit den 1920er Jahren bis zur Gleichschaltung im Reichsstudentenwerk Berlin mit dem „Freiberger Studentenhilfe e.V.“ eine Hilfsorganisation, die finanziell schlechtergestellten Studenten das Studium erleichtern bzw. überhaupt ermöglichen sollte. Das Prinzip Studentenwerk, das in den westlichen Bundesländern bereits Ende der vierziger Jahre wiederaufgenommen wurde, sollte also nun auch bei uns reaktiviert werden. Geklärt werden musste nur, wie viele Studentenwerke es in Sachsen geben sollte.

Die Bergakademie hatte bereits 1990 mit den Vorbereitungen zu einem eigenen Studentenwerk begonnen. Am 1. September wurde Frau Dr. Christiane Rieß mit der

Aufbauleitung einer solchen Organisation beauftragt. Sie ist bis heute Abteilungsleiterin für die Bereiche Allgemeine Verwaltung, Rechnungswesen und Wohnen und stellvertretende Geschäftsführerin in diesem

Unternehmen. Allerdings war es nicht einfach, die Vorstellungen der Bergakademie in der politischen Landschaft des neu geschaffenen Freistaats zu positionieren. Es gab neben den eigenen auch weitergehende Überlegungen zu diesem Thema, z.B. die, drei Studentenwerke zu gründen, die territorial den damals noch existenten Verwaltungsbezirken Dresden, Leipzig und Karl-Marx-Stadt entsprachen.

1990 war ich gewählter Geschäftsführer des StudentenRates an der Bergakademie und wurde als studentischer Vertreter vom damaligen Verwaltungsdirektor und späteren amtierenden Kanzler Professor Hauk gebeten, an einem Treffen der im Bezirk Karl-Marx-Stadt ansässigen Hochschuleinrichtungen teilzunehmen, das die Gründung eines Studentenwerks zum Thema haben sollte. Eingeladen zu diesem Meinungsaustausch hatte die dortige Technische Universität.

An jenem 07.11.1990 fuhren wir gemeinsam in die damalige Bezirkshauptstadt und beratschlagten, wie wir am besten vorgehen könnten. Dass wir dabei auf unserem eigenen Studentenwerk bestehen wollten, stand außer Frage. Professor Hauk riet mir, dass wir am besten erst mal die Anderen reden lassen und dann, wenn alle ihre Statements vorgebracht hätten, auch unsere Meinung darlegen sollten.

Das Treffen begann, wie wir es uns gedacht hatten: Der Vertreter der TU Karl-Marx-Stadt schlug vor, ein Studentenwerk zu gründen, das für die Studierenden von Zwickau bis Freiberg und von Roßwein bis Schneeberg zuständig sein sollte und schilderte uns das Ganze in den buntesten und besten Farben. Aber da hatte er die Rechnung ohne die vielen anderen anwesenden Hochschulvertreter gemacht. Als erste lehnten die Teilnehmer aus Zwickau diesen Vorschlag ab. Sie machten sich Hoffnung darauf, selbst zur Universität ernannt zu werden und wollten demzufolge ein eigenes Studentenwerk gründen. Das gefiel den einladenden Vertretern offen-

sichtlich gar nicht und es wurde versucht, Argumente vorzubringen, die dagegen sprächen. Dieser Dialog zog sich eine Weile hin, und als beide Seiten nichts mehr vorzubringen hatten, stieg Professor Hauk in das Thema ein. Er verkündete, dass auch die Bergakademie die Gründung eines eigenen Studentenwerks erwarte. Seinen Ausführungen stimmte ich wortreich zu und der Karl-Marx-Städter Vertreter sah seine Felle gänzlich davonschwimmen. Als dann noch Dr. Otto als Vertreter der Ingenieurhochschule Mittweida verkündete, dass auch sie ein eigenes Studentenwerk haben wollten, und wenn dies nicht möglich sei, maximal ein Zusammenspiel mit Freiberg denkbar wäre, war dem Treffen seine ursprüngliche Grundlage entzogen.

Noch im November beschlossen die Bergakademie Freiberg und die Ingenieurhochschule Mittweida, die Gründung eines eigenen Studentenwerks zu forcieren. Der mit der Gründung der Studentenwerke Beauftragte des Sächsischen Staatsministeriums unterstützte die Forderung und das Ministerium bestätigte dies, da der Plan bestand, die Freiberger Bergakademie in den Rang einer Technischen Universität zu erheben. An jedem Universitätsstandort in Sachsen, so der Wille des Ministeriums, sollte es ein Studentenwerk geben.

Übrigens: Auch am Standort Zwickau kam es am 01.07.1990 zur Gründung eines eigenständigen Studentenwerks. Als jedoch einige Jahre später feststand, dass es hier nicht zu einem Universitätsstandort kommen wird, wurden Zwickau und Chemnitz zum Zuständigkeitsbereich eines Studentenwerks zusammengefasst.

Es gab zwischen jenem 7. November und der Bestätigung des Staatsministeriums zur Gründung des Studentenwerks Freiberg mit Sicherheit noch viele Gespräche und Telefonate zwischen dem damaligen amtierenden Kanzler, Professor Hauk, sowie dem Rektor, Professor Stoyan und der Staatsregierung, von denen ich nichts weiß und die vielleicht noch viel wichtiger waren, um das Vorhaben gelingen zu lassen. Für mich aber ist jenes Treffen in Karl-Marx-Stadt und das „Nein!“ von Freiberg und Mittweida zu den vorgefassten Plänen der eigentliche Gründungstag unseres Studentenwerkes, auch wenn der offizielle Startschuss erst knapp acht Monate später erfolgen sollte.

International



Darf's ein bisschen Ausland sein?

Das neue Erasmus-Programm 2021-27

Anja Weigl

In diesem Jahr startete das Bildungsprogramm Erasmus+ in eine neue Förderperiode. Es steht allen Hochschulangehörigen offen: An einer der vielen europäischen Partnerhochschulen der TU Bergakademie können Freiburger Studierende ein gefördertes Gaststudium oder Praktikum absolvieren. Lehrende und Personal können Lehr- und Arbeitserfahrungen in einem anderen Umfeld sammeln.

Am Erasmus-Programm – dem laut Deutschem Akademischem Austauschdienst (DAAD) weltweit größten Austauschprogramm im Bereich Studium und Praktikum – nehmen regelmäßig auch Studierende der TU Bergakademie teil, um ihrem Lebenslauf und ihrer Karriere einen Pluspunkt in Sachen interkultureller Kompetenz zu geben. Etwa 300 von ihnen studierten in der letzten Erasmus-Förderperiode zwischen 2014 und 2020 an einer europäischen Partnerhochschule bzw. absolvierten dort oder an einer ausländischen Forschungseinrichtung ein Praktikum. Hinzu kamen noch etwa 30 Praktikant:innen in ausländischen Unternehmen, die im Rahmen einer Kooperation mit dem Leonardo-Büro Sachsen an der TU Dresden finanziell gefördert wurden.

Am beliebtesten bei den Freiburger

Studierenden waren die Universitäten in Trondheim (Norwegen), Poznań (Polen), Huelva (Spanien), Paris 12 - Val de Marne (Frankreich), Trento (Italien), Oulu (Finnland), Lappeenranta (Finnland), Loughborough (UK) und die Central European University (Ungarn). Tatsächlich hätten noch mehr Studierende finanziell gefördert werden können. Jedenfalls erhielten alle Bewerber:innen, deren Erasmus-Bewerbungen von der jeweiligen Fakultät genehmigt worden waren, einen Austauschplatz, meist sogar an ihrer Wunschhochschule.

Von den Partnerhochschulen der TU Bergakademie kamen im Gegenzug rund 100 Studierende zum Studium oder Praktikum nach Freiberg, allen voran aus Polen (AGH Krakau und Universität Gliwice), Frankreich (Institut Polytechnique LaSalle Beauvais und Universität Jean Monnet in Saint-Etienne) und Ungarn (Miskolc), aber auch aus Bulgarien, Finnland, Litauen, der Tschechischen Republik, der Türkei und weiteren Ländern.

2,4 Mio. Euro Fördermittel am IUZ

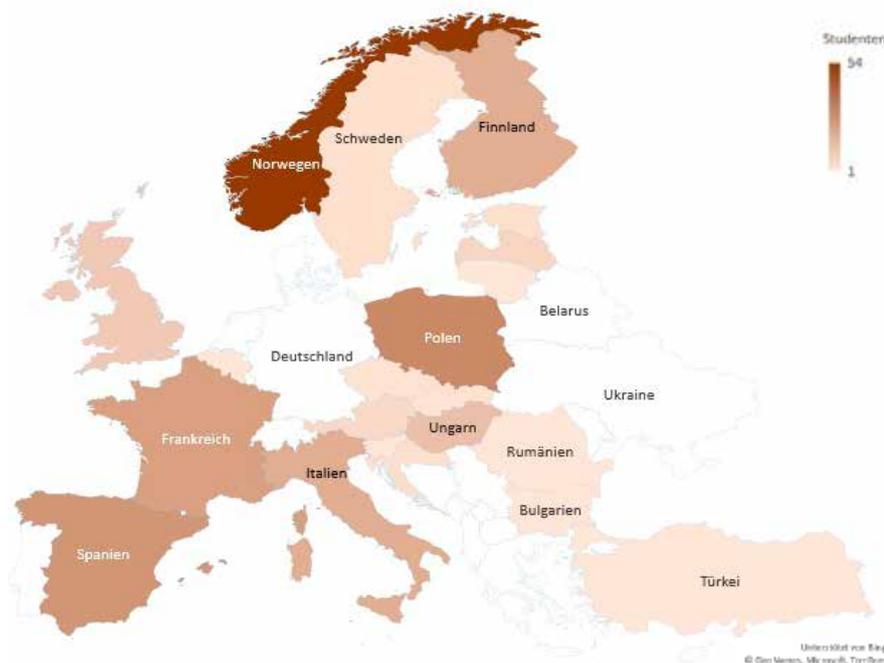
Auch die Hochschulmitarbeiter:innen nutzten die Möglichkeit, mit einer Erasmus-Förderung ins Ausland zu gehen. Unterstützt wurden entweder die Lehrtä-



Copyright: Jan von Allwörden/DAAD Foto

tigkeit oder eine Fortbildung an einer Partnerhochschule. Sechzig Mobilitäten dieser Art fanden statt. Erasmus fördert die Zusammenarbeit im Hochschulbereich aber nicht nur in Europa, sondern auch darüber hinaus. Dadurch konnte die Kooperation der TU Bergakademie in der Bildung mit Hochschulen in Afghanistan, Algerien, Bosnien und Herzegowina, Irak, Israel, Kenia, Kosovo, Marokko, Montenegro, Serbien, Ukraine, Mongolei, Nigeria, der Russischen Föderation und Südafrika unterstützt werden. Hier gab es circa 50 Aufenthalte von Studierenden und etwa 160 Mobilitäten von Lehrenden und sonstigem Hochschulpersonal. Für den europäischen und weltweiten Austausch in der vergangenen Erasmus-Förderperiode warb das Internationale Universitätszentrum (IUZ) „Alexander von Humboldt“ Fördermittel von insgesamt rund 2,4 Mio. Euro ein, verwaltete sie und gab sie in Form von Stipendien weiter.

Für die Durchführung des Erasmus-Programms und dessen Finanzverwaltung bekam die TU Bergakademie im Sommer diesen Jahres sehr gute Noten ausgestellt. Beides prüfte die Nationale Agentur für EU-Hochschulzusammenarbeit (NA DAAD) im Juni im Rahmen eines online durchgeführten Audits mit Mitarbeiter:innen des IUZ. Sie begutachtete nicht nur alle Prozesse in Verbindung mit Studierenden, die ins Ausland gehen, sondern auch mit denjenigen, die im Gegenzug im Rahmen von Erasmus nach Freiberg kommen. Die Universität arbeite



Je dunkler ein Land eingefärbt ist, umso mehr Studierende aus Freiberg absolvierten dort ein Studium oder Praktikum in der letzten Erasmus-Förderperiode von 2014–20.

Kontakt

anja.weigl@iuz.tu-freiberg.de

insgesamt sehr gut, hieß es, jedoch fordert bzw. empfiehlt die NA DAAD Verbesserungen insbesondere in puncto Vorlesungsverzeichnis, Auswahl der Austauschstudierenden und bei der Anerkennung von Studierenden- und Personalmobilitäten:

- Rechtzeitige Veröffentlichung des Vorlesungsverzeichnisses in deutscher und englischer Sprache
- Veröffentlichung fachspezifischer Kriterien bei der Auswahl der Erasmus-Teilnehmer:innen
- Aufnahme freiwillig im Ausland erbrachter Leistungen in das Diploma Supplement
- Anerkennung von Personalmobilitäten bei der Beurteilung oder Bewertung von Mitarbeiter:innen
- Einblick in das zentrale Prüfungssystem und systematische Auswertung der Anerkennung durch die Erasmus-Koordinatorin

Viele Kooperationen der TUBAF werden fortgesetzt

Für das IUZ ist die positive Evaluierung eine starke Motivation, um die Herausforderungen des neuen Erasmus-Programms, das von 2021 bis 2027 läuft, anzugehen. Die EU hat das Budget deutlich erhöht: auf rund 26 Mrd. Euro. In allen Bildungsbereichen fördert Erasmus europaweiten Austausch und Zusammenarbeit. Ange-

sprochen sind Schüler und Schülerinnen, Studierende, Auszubildende, im Lehrbetrieb tätige Menschen, Ehrenamtliche, Jugendbetreuer- und betreuerinnen sowie im Sport tätige Menschen und Organisationen. Eine erhöhte Förderung verspricht das Programm allen, die es aufgrund ihrer persönlichen oder sozialen Situation schwerer haben, einen Auslandsaufenthalt zu organisieren bzw. durchzuführen. An deutschen Hochschulen können Teilnehmende mit einem Grad der Behinderung ab 20 und chronischer Krankheit wie auch Studierende mit Kind eine solche Unterstützung erhalten.

Neben Inklusion legt das neue Erasmus-Programm einen Schwerpunkt auf die Digitalisierung. Künftig soll alles digital verwaltet werden, angefangen zum Beispiel bei den Learning Agreements vor dem Auslandsaufenthalt bis hin zu den Transcripts of Records, die die Gasthochschulen den Studierenden ausstellen. Dafür müssen neue Schnittstellen für den Datentransfer zwischen Wissenschaft und Verwaltung geschaffen werden. Darüber hinaus stehen auch die Themen Nachhaltigkeit und Teilhabe am demokratischen Leben im Fokus.

Um am neuen Erasmus-Programm teilnehmen zu können und die Weichen dafür zu stellen, beantragte das IUZ erfolgreich die Erasmus Charter for Higher Education

(ECHE). Gemeinsam mit den Fakultäten wurden dann die bisherigen Erasmus-Kooperationsverträge auf den Prüfstand gestellt: Welche Kooperationen laufen gut und wohin gehen die Studierenden gern? Welche Verträge sollen also fortgesetzt werden und welche nicht? Das Ergebnis: Die Studierenden haben auch weiterhin eine große Auswahl an Gasthochschulen, einige neue sollen hinzukommen.

Alle künftigen Austauschmöglichkeiten ab dem Studienjahr 2022/23 sind zeitnah in der Datenbank „Mobility Online“ auf den Webseiten des IUZ recherchierbar. Schließlich startete zum 1. September das erste Förderjahr im neuen Erasmus-Programm. Coronabedingt gehen derzeit immer noch weniger Studierende ins Ausland als üblich. Im Januar und Februar 2022 können sich die interessierten Studierenden für ein Erasmus-Studium im nächsten akademischen Jahr bewerben. Praktika sowie Lehr- und Personalmobilitäten können fortlaufend im IUZ beantragt werden.

Weitere Informationen:

Mit Erasmus ins Ausland:

[www.tu-freiberg.de/
international/erasmus](http://www.tu-freiberg.de/international/erasmus)

Mit Erasmus nach Freiberg:

[www.tu-freiberg.de/international/
erasmus/aus-dem-ausland](http://www.tu-freiberg.de/international/erasmus/aus-dem-ausland)

Erasmus+ 2021-27

- ▶ Erasmus+ ist das EU-Programm für allgemeine und berufliche Bildung, Jugend und Sport.
- ▶ 33 Länder nehmen als „Programmländer“ teil (27 EU-Mitgliedsstaaten sowie Island, Liechtenstein, Nordmazedonien, Norwegen, Serbien, Türkei).
- ▶ Das Vereinigte Königreich zählt künftig zu den Erasmus-„Partnerländern“; der Austausch mit britischen Universitäten ist weiterhin möglich.
- ▶ Neben der Förderung von Mobilität (KA1, z.B. Studierende und Hochschulpersonal) bietet Erasmus weitere Programmlinien für institutionelle Kooperationen (KA2 und KA3), wie z.B. Cooperation Partnerships, Strategische Partnerschaften, Erasmus Mundus.
- ▶ www.eu.daad.de

Mobilitäten von Lehrenden und Personal

- ▶ Zielgruppe: alle Hochschulmitarbeiter:innen
- ▶ Zweck: Lehre oder Fortbildung
- ▶ Aufenthaltsdauer: 2-60 Tage in den Programmländern
- ▶ Finanzielle Förderung: Tagespauschalen und Reisekostenpauschale, abhängig vom Gastland (Budget gedeckelt!); Top-up für „special needs“ und nachhaltiges Reisen

Mobilitäten von Promovierenden

- ▶ Kurzeitaaufenthalt: 5-30 Tage
- ▶ Langzeitaufenthalt: 2-12 Monate
- ▶ Blended-Format: 5-30 Tage physischer Aufenthalt plus virtueller Teil
- ▶ Maximale Förderdauer: 12 Monate
- ▶ Finanzielle Förderung: monatliches Teilstipendium oder Tagespauschalen und Reisekostenpauschale, abhängig vom Gastland (Budget gedeckelt!); Top-up für Praktikum, „special needs“ und nachhaltiges Reisen

Mobilitäten von Studierenden

- ▶ Studium oder (Graduierten-) Praktikum
- ▶ Ab 1. Studienjahr möglich
- ▶ Mindestaufenthalt: 2 Monate
- ▶ Maximale Förderdauer je Studienphase: 12 Monate
- ▶ Neu: Blended-Format: 5-30 Tage physischer Aufenthalt plus virtueller Teil
- ▶ Finanzielle Förderung: monatliches Teilstipendium abhängig vom Gastland; Top-up für Praktikum, „special needs“ und nachhaltiges Reisen

Internationale virtuelle Zusammenarbeit im Kurs „Production Planning in Additive Manufacturing“

Moritz Lamottke, Henning Zeidler, Manuela Junghans, Yulia Dolganova

Im Rahmen eines vom DAAD „International Virtual Academic Collaboration (IVAC)“-Programm geförderten Projekts hat die Professur für Additive Fertigung im Sommersemester 2021 erstmalig den Kurs „Production Planning in Additive Manufacturing“ angeboten. Teilnehmer waren Studierende der TUBAF sowie der beiden beteiligten Partneruniversitäten: der Salahaddin Universität in Erbil und der NUST MISIS in Moskau. In diesem Kurs stand vor allem ein Praxisteil im Vordergrund, bei dem zunächst in der Fertigungsplanung und anschließend bei der additiven Fertigung von Bauteilen international zusammengearbeitet wurde.

Für die stark von konventionellen Fertigungsverfahren abweichende Additive Fertigung besteht global Bedarf an qualifiziertem Fachpersonal. Mit dem angebotenen Kurs wird der Erwerb von Fachkompetenz in diesem Bereich mit dem Erwerb von Erfahrungen für die im Berufsleben zunehmend erforderliche globale Zusammenarbeit kombiniert.

Die Durchführung des Kurses im internationalen Rahmen wurde vor allem durch die Nutzung der OPAL-Lernplattform der TUBAF ermöglicht. Durch externe Accounts konnten die Studierenden der Partneruniversitäten den Kurs dabei ohne Einschränkungen nutzen. Die Bereitstellung der Lehrmaterialien im Rahmen der asynchron realisierten Vorlesungen erfolgte mittels Screencasts und PDF-Unterlagen. Über auf dem ONYX System basierende Zwischentests wurde das im Vergleich zu live-Veranstaltungen fehlende Feedback ausgeglichen.

Für den praktischen Teil des Lehrstoffmoduls wurden drei Fertigungsaufgaben,

die in internationalen Teams gelöst werden sollten, vorgegeben. Jedes Bearbeitungsteam aus Studierenden jeweils zweier Universitäten verfügte über einen eigenen Online-Arbeitsbereich im OPAL-Kurs. Es wurden Werkzeuge, wie ein Forum, eigene BigBlueButton-

Web-Konferenz-Räume und Austauschordner implementiert. Unterstützt wurden die Teams sowohl von IVAC-Projektmitarbeitern der TUBAF als auch von Lehrenden der Partneruniversitäten, die die jeweils lokale Bearbeitung der praktischen Aufgaben betreuten. Für den Austausch zwischen den Betreuern der beteiligten Universitäten wurde ebenfalls auf die in OPAL integrierten Kommunikationswerkzeuge zurückgegriffen.

Die Fertigungsaufgaben im Praxisteil wurden entsprechend der unterschiedlichen, an den Partneruniversitäten verfügbaren Additiven Fertigungsanlagen gestaltet. Durch die Studierenden des MISIS wurde ein Fertigungsplan für Kunststoffbauteile erarbeitet, die mittels der an der Salahaddin Universität verfügbaren FFF-Maschinen gefertigt wurden. Die Studierenden der TUBAF planten die Fertigung eines Metallbauteils, das dann am MISIS auf einer LBM-Anlage gefertigt wurde. Für eine Kleinserie von nach dem



Die Studentinnen Meike Denker und Andrea Pönitzsch (v.l.n.r.) mit dem an der TUBAF eingesetzten „Concr3de-Armadillo White“ Binder Jetting Drucker

Binder-Jetting-Verfahren hergestellten Marmor-Zement-Bauteilen wurde die Planung durch Studierende der Salahaddin Universität und die Fertigung an der TUBAF durchgeführt.

Die Zusammenarbeit der Studierenden-Gruppen bestand zunächst darin, die zur Fertigungsplanung benötigten Informationen auszutauschen. Anschließend wurden die entsprechenden Fertigungspläne untereinander ausgetauscht und die Fertigung jeweils vor Ort durchgeführt, wobei auch hierzu ein intensiver Gedankenaustausch über aufgekommene Zwischenfragen und die Fertigungsergebnisse stattfand. In Abschlusspräsentationen zu den drei Fertigungsaufgaben stellten die Studierenden ihre Ergebnisse vor und diskutierten diese mit den Wissenschaftlern. Durch die sich ergänzenden Schwerpunkte bei den Fertigungsaufgaben und durch die Nutzung verschiedener AM-Technologien ermöglichten dann die Ergebnispräsentationen einen zusätzlichen Wissenser-



Kursteilnehmer mit einer FFF Maschine im „Glückauf“ Labor der Salahaddin Universität. V.l.n.r.: Ravin Rizgar (Studentin), Ahmed Samir (Uni Mitarbeiter), Ahmed Ameer (Student)



Studierende des MISIS vor der verwendeten LBM Anlage. V.l.n.r.: Olesia Komarnitskaia, Alexandra Stepanova, Boris Zotov und Dmitry Solodov

werb für alle Beteiligten.

Um den interkulturellen Aspekt der Gruppenarbeit zu unterstützen, wurden drei den Praxisteil begleitende Seminare durchgeführt. Die Seminarleiterin Antje Schöne startete mit einer kurzen Information über die jeweiligen Herkunftsländer

der teilnehmenden Studierenden. Anschließend wurden die Kursteilnehmer für die kulturbedingten Unterschiede sowie für individuelle Stärken und Schwächen, die bei solchen Gruppenarbeiten zutage treten können, sensibilisiert. An zwei weiteren Seminarterminen wurden ähnliche

Schwierigkeiten und Herausforderungen, mit denen in den noch anstehenden Phasen der Gruppenarbeit zu rechnen ist, besprochen.

Nach Abschluss des Kurses beschreiben drei Teilnehmer ihre Erfahrungen wie folgt:

„Interactions between students were organised well. Special meetings focused on human behaviour and basic communication helped establish connection between students. The goal of manufacturing task was not 100 % clear at the beginning, but we got plenty of time to figure everything out, so we ended up fine. I really enjoyed it because it allowed me to meet new people while learning.”

[Boris Zotov, MISIS]

„Der Kurs war für mich eine sehr bereichernde Erfahrung. Neben dem Theoretischen [...] war es für mich besonders interessant, das Gelernte direkt anwenden zu können. Die [...] Zusammenarbeit mit Studierenden anderer Universitäten hat mir recht gut die Möglichkeiten und Herausforderungen solcher Kooperationen aufgezeigt.“

[Andrea Pönitzsch, TUBAF]

„Being on this program was something really great. It exposed me to many new strategies for production planning in additive manufacturing. Furthermore, it was a good opportunity to get to know so many great people from different countries with different cultures, and it was really challenging to try to succeed in long-distance teamwork. I really appreciate all IVAC's efforts to put this program together and make it flexible to support and optimise our learning. This was a great and well-received course.”

[Ahmed Ameer Arsalan Hadi, SU]

Russisch-Deutsche Wissenschaftsbeziehungen des 18.-20. Jahrhunderts auf dem Gebiet der Bodenschätze Eine Arbeitsgruppe des Deutsch-Russischen Rohstoffforums

Ferdinand Damaschun, Irina Talovina, Gerhard Heide



Abb. 1: Der Katalog gehört zur sogenannten russischen Sammlung von 1803, einem Geschenk von Zar Alexander I. an den Preußischen König Friedrich Wilhelm III. (Slg. MfN Berlin)

Vor zwei Jahren wurde hier über die Forschungsreise „Auf den Spuren Alexander von Humboldts durch Westsibirien, den Altai und Ostkasachstan“¹ berichtet. Damals fiel auf: Auf der ganzen Strecke, selbst in den kleinsten Dörfern, die an der historischen Reiseroute von Humboldt und seinen Begleitern lagen, war man sich auch nach 190 Jahren der Bedeutung dieser Reise bewusst; mehr noch, man ist noch heute stolz darauf, dass dieser große deutsche Gelehrte durch ihren Ort gereist war. Diese Reise selbst, der zweibändige Bericht seines Begleiters Gustav Rose und Humboldts Spätwerk „Central-Asien“ von 1844 haben beispielhaft gezeigt, wie wichtig die Erforschung Russlands durch deutsche Wissenschaftler und die daraus erwachsene Zusammenarbeit zwischen

1 Andrea Docekal, Ferdinand Damaschun, Carsten Eckert, Gerhard Heide. *Reisetagebuch: Auf den Spuren Alexander von Humboldts durch Westsibirien, den Altai und Ostkasachstan: 190 Jahre Humboldts Sibirien- und 150 Jahre Cottas Altai-Reise*. ACAMONTA 26 (2019) 129-133.

russischen und deutschen Geowissenschaftlern bereits im 19. Jahrhundert war. Die Reise bereicherte das damalige Mineralogische Museum der Berliner Universität, das heutige Museum für Naturkunde Berlin um ca. 450 Mineral- und Gesteinstufen.

Humboldt war nicht der erste und auch nicht der letzte deutsche Wissenschaftler, der in Russland forschte. Vor allem im 18. und 19. Jahrhundert bereisten Deutsche im Auftrag der russischen Krone oder im „eigenen“ Auftrag die Weiten Russlands, beschrieben das Gesehene und Erforschte in teilweise umfangreichen Publikationen und belegten es mit Sammlungsobjekten. Einer der Ersten, der sowohl im Auftrag der russischen Zarin Katharina II. (der Großen) als auch auf eigene Kosten mehrfach Sibirien bereiste, war Peter Simon Pallas (1741-1811). Seine umfangreichen Sammlungen hinterlegte er in der Russischen Akademie der Wissenschaften, seine private Sammlung im heutigen Museum für Naturkunde Berlin. 100 Jahre



Abb. 2: Perowskit, Achmatowsk, Süd Ural, Das Mineral wurde 1839 von Gustav Rose im Nachgang zur russischen Reise von Alexander von Humboldt, Gustav Rose und Christian Gottfried Ehrenberg 1829 beschrieben. (Slg. MfN Berlin)

später erkundete Carl Bernhard von Cotta (1808-1879) den Altai an der Grenze zu China und brachte umfangreiches Sammlungsmaterial nach Freiberg. Die Reihe dieser Forschungsreisen ließe sich nahezu beliebig fortsetzen. Eine andere Gruppe in Russland Wirkender waren gut - vor allem in Freiberg - ausgebildete Bergingenieure. Sie halfen dabei, die Bodenschätze Russlands zu bergen. Viele von ihnen sammelten. Ergänzt wurden diese Kollektionen durch Geschenke, die aus Russland den Weg in deutsche Sammlungen nahmen, wie z. B. die Sendung von Lorenz von Pansner (1777-1851) aus St. Petersburg 1816 an die „Societät für die gesammte Mineralogie zu Jena“.² Häufig waren es Staatsgeschenke, wie die sogenannte Russische Sammlung von Zar Alexander I. 1803 an den preußischen König Friedrich Wilhelm III. oder „erfüllte“ Wünsche, wie die Sammlung Olga von Württembergs (geb. Romanowa), die 1865-1867 nach Stuttgart gelangte.

Wenn wir unsere Sammlungen als Forschungsinfrastrukturen bezeichnen, müssen wir uns die Frage stellen: Wie können wir diese historischen Sammlungen für die Forschung nutzen? Zur Diskussion erster Vorstellungen dazu trafen sich deutsche und russische Museumsvertreter auf der 12. und 13. Deutsch-Russischen Rohstoff-Konferenz am 29. November 2019 in St. Petersburg³ bzw. am 30. April 2021 in

2 Lidia Stokratskaya. *Lorenz von Pansner (1777-1851): Sein Wirken als Mineraloge in Russland im Zeitraum von 1800 bis 1836, seine wissenschaftlichen Arbeiten und seine Briefkorrespondenzen*. Dissertation TU Bergakademie Freiberg, 2016, S. 247. d-nb.info/1221068687/34.

3 Arbeitsgruppe V: Museen als Umfeld für die nachhaltige Entwicklung wissenschaftlicher Beziehungen und die Popularisierung von Wissen. 12. Deutsch-Russische Rohstoff-Konferenz,

Leipzig⁴ (wegen der Pandemie virtuell) zu Rundtischgesprächen. Während es 2019 noch sehr allgemein um „Russisch-Deutsche Wissenschaftsbeziehungen im 18. und 19. Jahrhundert“, um die „Digitalisierung von Museumssammlungen“, sowie um „Wissenspopularisierung

- Ergebnisse und neue Ansätze“ ging, wurde 2021 sehr viel konkreter darüber diskutiert, wie sich die Deutsch-Russischen Wissenschaftsbeziehungen des 18.-20. Jahrhunderts in den Sammlungen niedergeschlagen haben. So stellten z. B. Ferdinand Damaschun und Ralf Thomas Schmitt vom Museum für Naturkunde Berlin die umfangreichen Bestände an Mineralen und Gesteinen aus Russland in ihrem Museum vor sowie Larissa Bondar von der Russischen Akademie der Wissenschaften und Anna Kurguzova von der Bergbauuniversität St. Petersburg die Forschungen von Daniel Gottlieb Messerschmidt (1685-1735) auf dem Gebiet der Mineralogie in der ersten



Abb. 3: Gustav Rose sammelte 1829 auf der russischen Reise 107 Sandproben von Gold- und Platinlagerstätten im Ural. Sie sind heute wieder für die Forschung interessant. (Slg. MfN Berlin)

Hälfte des 18. Jahrhunderts und dessen Manuskript „Sibiria Perlustrata“. Thomas Schmuck von der Klassikstiftung Weimar gab einen Einblick in die Sammlung russischer Minerale und Gesteine in Goethes Sammlung, Nadine Schäfer von der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen

St. Petersburg, 29. November 2019. <https://www.rohstoff-forum.org/conference/12-deutsch-russische-rohstoff-konferenz/#1594942210526-8f5e8bf8-caf5>

4 Arbeitsgruppe IV: „Russisch-Deutsche Wissenschaftsbeziehungen des 18.-20. Jahrhunderts auf dem Gebiet der Bodenschätze“, 13. Deutsch-Russische Rohstoff-Konferenz, Leipzig, 30. April 2021, <https://www.rohstoff-forum.org/conference/13-deutsch-russische-rohstoff-konferenz/#1594942210526-8f5e8bf8-caf59d83-490d>



Abb. 4: Gesteinstäfelchen aus Kolyvan im Altai (Petrographische Sammlung, TU BAF)

in die Sammlung Baron Georg Thomas von Aschs (1729-1807) und Birgit Kreher-Hartmann aus Jena in die Sendung von Lorenz von Pansner wie zudem Franz Xaver Schmidt aus dem Staatlichen Museum für Naturkunde Stuttgart in die Sammlung der Königin Olga von Württemberg, geb. Romanova (1822-1892). Aus der TU Bergakademie Freiberg und von den Senckenberg Naturhistorischen Sammlungen in Dresden kam ein Beitrag von Anja Weber, Christin Kehler, Jan-Michael Lange und Gerhard Heide zur Kollektion geschliffener Gesteinstäfelchen von Kolyvan aus der Sammlung Bernhard von Cottas (1808-1879). Vitaly Vedernikov vom Bergbaumuseum St. Petersburg führte uns in die aus zahlreichen Ländern zusammengetragene Modellsammlung dieses Museums ein und zeigte, wie man solche historischen Sammlungen in die moderne Lehre einbauen kann. Insgesamt wurden 14 Kurzvorträge (6 aus Deutschland, 8 aus Russland) gehalten, die ein weites Spektrum deutsch-russischer Beziehungen aufzeigten. Obwohl das Programm sehr kurzfristig zustande kam, nahmen mehr als 50 Zuhörer teil. Die Organisation auf der russischen Seite lag in den Händen von Prof. Irina Talovina von der Bergbauuniversität St. Petersburg und Dr. Mikhail Shabalov sowie Dr. Elena Kotova vom Bergbaumuseum St. Petersburg.

Bereits auf der oben erwähnten Forschungsreise vor zwei Jahren entstand die Idee, Sammlungssuiten aus Russland aus dem 18. und 19. Jahrhundert in deutschen Sammlungen in Sinne von Open Science nutzbar zu machen; analog dazu sollen auch die von deutschen Wissenschaftlern und Bergingenieuren in russische Sammlungen hinterlassenen Spuren auf gleiche Weise sichtbar gemacht werden. Das Projekt wird gemeinsam von der TU Bergakademie Freiberg, dem Museum für Naturkunde Berlin und der Bergbauuniversität St. Petersburg getragen. Es geht dabei nicht nur um historische Forschungen zu den

deutsch-russischen Beziehungen, sondern es hat sich gezeigt, dass manch eines der in die Sammlungen eingegangenen Stücke auch Erkenntnisse zur Lösung aktueller geowissenschaftlicher Fragestellungen liefern kann. Zum Beispiel können frühe Belege von historischen oder noch heute im Abbau befindlichen Lagerstätten immer noch einen Beitrag für die Erforschung dieser Lagerstätten liefern. Ziel ist es, die

Informationen über die Sammlungsbestände in einem Internetportal öffentlich zugänglich zu machen. Das Projekt ist offen für alle Sammlungen in Deutschland und in Russland.

Coronabedingt ruhte das Projekt im Jahre 2020. In diesem Jahr wird es wieder aufgenommen. Als erster Schritt ist eine Umfrage an alle Sammlungen geplant, die das Vorhandensein von Sammlungssuiten

aus dem 17. und 18. Jahrhundert mit Mineralen von russischen Fundorten erfassen soll. Der Erfassung werden die Digitalisierung und die standortübergreifende Erschließung folgen. In einem weiteren Schritt sollen die Daten dann veröffentlicht werden.

Wir verstehen dieses Projekt als ein Beispiel für die Nutzung historischer Sammlungen als Forschungsinfrastruktur.

Sächsische Bergbaukunst im 18. Jahrh. auf dem Weg nach Russland Путь Саксонского горного дела в Россию – XVIII век Neuerscheinung

MIRONDE Verlag, Niederfrohna 2022, 256 Seiten, 84 Abb., ISBN 978-3-96063-045-6

„Wir haben nicht wenig Zeugnisse darüber, dass in Russland kein so großes Dunkel der Unwissenheit herrscht, wie es viele ausländische Schriftsteller schildern.“

Welch deutliche Worte Michail Vasil'evič Lomonosovs, die vor fast 300 Jahren aus seiner Feder flossen und mit denen er die Einseitigkeit der gelehrten Welt Europas kritisierte! Als Peter der Große begann, das Fenster zum Westen aufzustoßen und das Zarenreich in das „Konzert der europäischen Mächte“ eintrat, erfuhr das Land eine bis dahin unbekannte Dynamik des Aufbruchs. Verbunden war dieser mit dem massenhaften „Import“ von Wissenschaft und Technik, aber auch mit der Aufnahme vielfältiger kooperativer Beziehungen. Als besondere Herausforderung erwies sich dabei der Aufbau der Rohstoffwirtschaft, waren bislang doch Bergbau und Hüttenwesen in Russland kaum entwickelt.

Diese Situation rechtfertigte den Blick in hochentwickelte Regionen und weckte entsprechende Begehrlichkeiten. Sachsen als diesbezüglicher Topstandort und be-

reit für mannigfaltigen Technologietransfer kam hierbei eine besondere Rolle zu und fungierte schließlich als Katalysator bei der Entwicklung des russischen Montanwesens.

Prof. Dr. Friedrich Naumann, der zur Thematik bereits mehrere Beiträge in der ACAMONTA veröffentlichte, hat nun die Ergebnisse seiner langjährigen Forschungsarbeiten in einem Buch zusammengefasst, das im kommenden Jahr in einer zweisprachigen Ausgabe (Deutsch und Russisch) erscheinen wird.

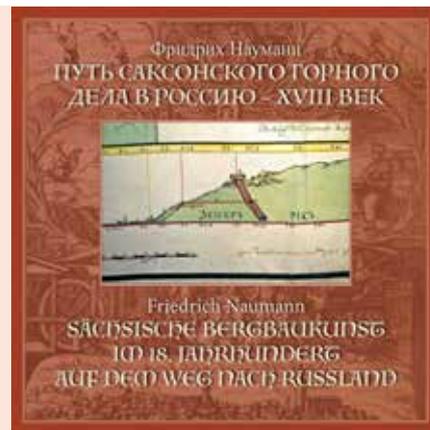
Das Buch behandelt zunächst die Themen „Kunstgerechter Bergbau und Montanwissenschaften“ sowie die „Annäherung Russlands an Europa“ und beschreibt dann den Aufbau einer leistungsfähigen Montanwirtschaft in Russland. Eine besondere Rolle spielt dabei der Sächsische Oberberghauptmann Curt Alexander von Schönberg, der 1736 in Begleitung zahlreicher Spezialisten nach Russland ging, um die Bergverwaltung aufzubauen, dann aber in Ungnade fiel. Aber auch der mit sächsischer Hilfe un-

terstützte Aufbau eines spezifischen Bildungswesens wird behandelt. Schließlich gilt die Aufmerksamkeit Naumanns M. V. Lomonosov, der nach vorbereitendem Studium an der Universität Marburg seine ersten Kenntnisse zum Berg- und Hüttenwesen in Freiberg erwarb und nach Rückkehr in seine Heimat entscheidend zur Begründung der dortigen Montanwissenschaften beitrug. Der Autor hofft, mit den vorgelegten Ergebnissen zur Aufhellung der sächsisch-russischen Beziehungen auf dem Gebiet des Montanwesens im 18. Jahrhundert beizutragen und zu weitergehenden Forschungen anzuregen.

Für die Herausgabe des Buches, die von Altrektor Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer angeregt wurde, gebührt Marianne und Prof. Dr. Frank-Michael Engel ganz besonderer Dank, da sie diese durch ihre Stiftung in großzügiger Weise unterstützten. Sie reiht sich ein in eine Kette fortgesetzter, ehrenamtlicher Engagements dieser Stiftung in Lomonosovs Geburtsort Lomonossovo und seiner Heimatregion Archangelsk.

Rezension von Prof. Igor Sergeevič Dmitriev, Doktor der Chemischen Wissenschaften an der Russischen Staatlichen Pädagogischen Universität. A. I. Herzen und Direktor des Mendelejev-Museums und Archivs in St. Petersburg

Das ist ein ausgezeichnetes Buch. Ausgehend von umfangreichem historischen Material beleuchtet der Autor einen der wenig erforschten Lebensabschnitte des russischen Wissenschaftlers M. V. Lomonosov, vor allem seine montanistische Ausbildung beim Bergrat Johann Friedrich Henckel in der sächsischen Bergstadt Freiberg. Der Autor beschreibt diesen Lebensabschnitt des jungen Lomonosov in einem breiten historischen Kontext. Das Buch ist sehr gut geschrieben und wird sicherlich von jedem mit Interesse gelesen werden, der sich für Lomonosov, die Geschichte Russlands und seine Verbindungen zu Deutschland in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts interessiert.



EURECA-PRO – gemeinsame Ausbildung und Forschung in der Europäischen Union neu denken

Carsten Drebenstedt

Am 09.07.2020 wurde in Wien das Ergebnis der zweiten Ausschreibungsrunde im Programm „Europäische Universität“ (European University) der Europäischen Union bekannt gegeben. Die Technische Universität Bergakademie Freiberg gehört EURECA-PRO, einem der 24 Siegerkonsortien 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 ist, in verschiedenen Sprachen, über Länder- und Fachgebietsgrenzen hinweg zusammenzuarbeiten, um die großen gesellschaftlichen Herausforderungen und den Fachkräftemangel, mit denen Europa konfrontiert ist, gemeinsam zu bewältigen. Langfristig ist es denkbar, die Europäischen Universitätsverbände in eine rechtliche Struktur zu überführen.

Hintergrund der Initiative des französischen Präsidenten Emmanuel Macron war, Europa als Innovationsstandort zu erhalten. Damit das so bleibt, benötigen wir die besten Absolvierenden und müssen die besten Lehr- und Lernmethoden sowie -inhalte nutzen und diese ständig weiter entwickeln. Dafür müssen die Grenzen innerhalb Europas überwunden und Kompetenzen gebündelt werden. Verschiedene kulturelle, soziale und organisatorische Herangehensweisen sind die Stärken Europas. Was liegt also näher, als sich der Stärken des Einzelnen bewusst zu werden und sie zum Vorteil der Gemeinschaft zu nutzen?

Am 01.11.2020 nahm die Hochschulallianz EURECA-PRO offiziell ihre Arbeit auf. Das Konsortium wird während einer Pilotphase von zunächst drei Jahren mit ca. 5 Millionen Euro aus dem Programm Erasmus+ gefördert. Eine Verlängerung um weitere vier Jahre und eine dritte Phase von mindestens zwei Jahren wird angestrebt. Weitere 2 Millionen Euro werden seit 01.09.2021, ebenfalls für drei Jahre, über das EU-Forschungsprogramm Horizon2020 zur Integration wissenschaftlicher Aspekte über das Projekt RE EURECA-PRO bei-

gesteuert. Auch der Deutsche Akademische Austauschdienst (DAAD) unterstützt das Vorhaben seit 01.01.2021 für drei Jahre über das nationale Programm EUN.



Die Hochschulallianz EURECA-PRO hat sich zum Ziel gesetzt, Forschung und Ausbildung im Themenfeld „Verantwortungsbewusstes Konsumieren und Produzieren“ (Responsible Consumption and Production), dem Ziel 12 der Vereinten Nationen zur nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft bis 2030, voranzubringen. Das Akronym EURECA-PRO steht dann auch für „European University on **R**esponsible **C**onsumption **and P**roduction“.

Der Hochschulallianz EURECA-PRO gehören neben der TU Bergakademie Freiberg Partnerhochschulen aus Leoben (Österreich), Petroșani (Rumänien), León (Spanien), Kreta (Griechenland), Gliwice (Polen) und die Fachhochschule Mittweida an. Die Partner fokussieren auf unterschiedliche fachliche Schwerpunkte, die eine interdisziplinäre Ausbildung und Forschung sowie den Transfer in die Gesellschaft im Kontext von Ingenieur-, Politik-, Sozial-, Umwelt- und Wirtschaftswissenschaften ermöglichen. Langfristig haben sich die Partner vorgenommen, bis 2040 einen integrierten Europäischen Campus zu bilden. Assoziiert mit dem Konsortium sind ca. 30 weitere Vertreter aus einem

breiten Spektrum der Gesellschaft, wie Forschungseinrichtungen, Wirtschafts- und Regionalverbände, Studentenorganisationen, Gesundheitskassen oder Medienvertreter, wie z.B. ARTE.

Das Konsortium verfolgt mit seinen Aktivitäten das Ziel, zur Erreichung der CO2-Minderungsziele durch die Entwicklung von Innovationen und Nachhaltigkeitspraxis im Sinne des Green Deal der Europäischen Union bis 2050 beizutragen. Dazu werden Aus- und Weiterbildung, Wissenschaft und Innovationen, Praxis und Unternehmertum sowie Digitalisierung und Kommunikation wirksam miteinander vernetzt. Die unter dem Dach von EURECA-PRO vereinten Akteure wollen Beiträge zu ganzheitlichen Lösungen in der wissenschaftlichen Ausbildung junger Menschen leisten, die in einem breiten Kontext zu den Schicksalsfragen unserer Gesellschaft stehen. Das Konsortium EURECA-PRO versteht sich deshalb nicht als Projekt, sondern als eine Mission mit dem Anspruch neuen Denkens und Handelns.

In der Forschung sehen die Maßnahmen unter anderem neue Technologien und Prozesse für primäre und sekundäre Ressourcenströme sowie die Effizienzsteigerung der Ressourcennutzung 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 Klimawandel, Verlust an Biodiversität und Degradierung der landwirtschaftlichen Nutzflächen. Für die wissenschaftlichen Projekte und Publikationen der Partner der Hochschulallianz zum Thema „Responsible Consumption and Production“ wurde unter Leitung der Montanuniversität Leoben eine Datenbank angelegt, in dem nach Partnern für Forschungsk Kooperationen recherchiert werden kann.

Die TU Bergakademie Freiberg ist im EURECA-PRO-Konsortium für das Arbeitspaket „Ausbildung und Studium“ (Education and Studies) verantwortlich. Das Arbeitspaket sieht vor, „joint de-



EURECA-Pro Kickoff Meeting

gree“ Programme auf den Ebenen Bachelor, Master und Promotion mit dem inhaltlichen Schwerpunkt „Responsible Consumption and Production - RCP“ zu entwickeln und zu implementieren. Bei einem „joint degree“ vergeben die beteiligten Partner einen gemeinsamen Abschluss, ganz im Sinne einer gemeinsamen Universität. Eine Besonderheit des Programms ist dann auch, dass den Studierenden alle RCP-relevanten Studieninhalte der sieben Partner zur Verfügung stehen. Dazu wurde ein „Inventory“ als Datenbank mit allen wichtigen Informationen zu den RCP-Modulen erstellt. Die Studierenden entscheiden sich innerhalb der hohen Bandbreite an angebotenen Wahlpflichtmodulen und frei wählbaren Modulen, für die Studieninhalte, für die sie sich interessieren und die sie für ihre künftige berufliche Entwicklung für wichtig erachten. Die Studierenden können dabei zwischen den einzelnen Hochschulen, Fachdisziplinen, der Sprache und dem Modus Präsenz/Online frei wählen. Zur Beratung der Studierenden stehen Studiendekane zur Verfügung. Langfristiges Ziel ist es einen neuen Grad in der Ausbildung zu vergeben – Bachelor, Master und Doktorat „in European Studies on Responsible Consumption and Production“.

Neben den Studiengängen entwickelt die TU Bergakademie Freiberg in ihrem Arbeitspaket neue Bausteine für Kursprogramme in Aus- und Weiterbildung zum Thema „Verantwortlich Konsumieren und Produzieren“. So wurde im Sommersemester 2021 erstmals eine Vorlesungsreihe „Lecture Series on Responsible Consumption and Production“ als Modul mit 5 ECTS entwickelt und angeboten. Die sieben Partneruniversitäten tragen dabei mit jeweils zwei Vorlesungen in englischer Sprache mit ihren RCP-Schwerpunktthemen inhaltlich bei. Im Anschluss an einen ca. 60 minütigen Vortrag besteht ausreichend Zeit für eine Diskussion. Für den Abschluss

des Moduls ist eine Hausarbeit anzufertigen. Die Themen wurden durch die Vortragenden bereitgestellt und bewertet. 170 Teilnehmende haben dieses Angebot teilweise oder komplett realisiert.

Im Sommersemester 2021 wurde als weiterer Baustein eine Sommerschule „Responsible Consumption and Production“ vorbereitet und in Freiberg in Präsenz durchgeführt. Thema der Sommerschule war die kritische Analyse von Online- und Präsenzlehre aus pädagogischer, sozialer, wirtschaftlicher und ökologischer Sicht. Das Modul (3 ECTS) bestand aus einem Online-Vorbereitungskurs, einer einwöchigen Präsenzveranstaltung und einem bewerteten Projektbericht. In der Präsenzwoche wechselten sich themenbezogene Vorträge am Vormittag mit begleiteter Projektarbeit in Gruppen am Nachmittag ab. Natürlich bleibt auch Zeit für interkulturelle Erlebnisse. Jede Partnerhochschule war mit drei Teilnehmenden vertreten.

Im Horizon2020-Projekt RE EURECA-PRO ist die TU Bergakademie Freiberg verantwortlich für das Arbeitspaket „Wissenschaft im Lebenslangen Lernen“ (science in life long learning). Hier soll der Bogen zur Integration wissenschaftlicher Inhalte in Bildungsangebote vom Kindergarten über das Berufsleben bis zu interessierten Senioren geschlagen werden.

Im Rahmen des vom DAAD zur Unterstützung des Aufbaus der Europäischen Universität aufgelegten nationalen Programm EUN werden an der TU Bergakademie zahlreiche Maßnahmen durchgeführt. Dazu gehören neben dem Ausbau bestehender und dem Aufbau neuer Hochschulkooperationen insbesondere die Unterstützung in der Sprachausbildung Deutsch für Ausländer und Fachenglisch sowie weiterer Fremdsprachen, die Unterstützung des Internationalen Universitätszentrums bei der Willkommens- und Betreuungsarbeit von ausländischen Studierenden, die Unterstützung der pädagogischen und didaktischen Ausbildung, die Un-

terstützung beim Ausbau der digitalen Lehre, von Medienkompetenz und die Herausgabe von Publikationen sowie Veranstaltungen zur Kommunikation mit Wirtschaft und Gesellschaft.

Aus den dargelegten inhaltlichen Ansätzen wird das Besondere der internationalen Zusammenarbeit in EURECA-PRO deutlich: sie umfasst alle Bereiche und Strukturen der Universität, ob Fakultäten, Universitätsverwaltung, Sprachzentrum, Internationales Universitätszentrum, Universitätsrechenzentrum, Universitätsbibliothek, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Medienzentrum, GraFA ... jeder hat die Möglichkeit sich einzubringen und zum Zusammenwachsen der Europäischen Universität beizutragen. So richtet sich die Sprachausbildung z.B. auch gezielt an das Verwaltungspersonal oder das Personal in den Laboren und Werkstätten.



Task Managerin „Education and Studies“, Frau Dr. Juliia Sishchuk, an der TU Bergakademie Freiberg

Die neue Qualität der internationalen Kooperation spiegelt sich auch in den Gremien von EURECA-PRO wieder. So gibt es einen externen Beirat (External Advisory Board), der seitens der TU Bergakademie Freiberg mit Dr. Kühme vom Referat Hochschulen des Sächsischen Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst besetzt ist, einen „Board of Rectors“, eine „Research Task Force – RTF“, eine „Communication Task Force – CTF“, ein „Educational Council“ sowie Fachgruppen der Koordinatoren der Arbeitspakete, der Sprachen- und Internationalen Zentren, der Rechenzentren und der juristischen Abteilungen.



Website

<https://www.eurecapro.eu/>

Deutschland-Büro des UNESCO-Kompetenzzentrums für Ausbildung im Rohstoffsektor

Carsten Drebenstedt, Felix Baitalow

Am 11. Juni 2012 wurde auf Initiative der weltweit ältesten Ressourcenuniversitäten, der TU Bergakademie Freiberg und der Bergbauuniversität St. Petersburg, das Weltforum der Ressourcenuniversitäten für Nachhaltigkeit gegründet (World Forum of Universities of Resources on Sustainability, WFURS). Die Gründung des WFURS erfolgte vor dem Hintergrund, dass der mit dem Wachstum der Weltbevölkerung und des Lebensstandards steigende Rohstoffbedarf und die zunehmend schwierigeren Bedingungen für den Rohstoffabbau zu gravierenden Auswirkungen auf die Umwelt und auf die ohnehin schon prekären sozialen Verhältnisse in vielen Bergbauregionen führen. Daher war es an der Zeit, die Leitidee der Nachhaltigkeit in die weltweite Aus- und Weiterbildung von Fach- und Führungskräften im Rohstoffbereich einzubringen. Über 120 Rohstoffuniversitäten aus der ganzen Welt sind dem WFRUS beigetreten, um die Verantwortung für die Entwicklung und Umsetzung der Grundsätze für die Schaffung eines neuen Rohstoffbewusstseins und die Etablierung umweltbezogener Standards in Forschung und Lehre zum gesamten Rohstofflebenszyklus zu übernehmen. Bei Tagungen des WFRUS, die in den vergangenen Jahren in Freiberg, Trondheim (Norwegen), Leoben (Österreich), Akita (Japan) und St. Petersburg durchgeführt wurden, diskutierten Experten über geeignete Maßnahmen zum internationalen Wissens- und Erfahrungsaustausch und für die Förderung von Lehre und Forschung im Rohstoffbereich auf globaler Ebene.

Das WFURS bildete den Grundstein für die Einrichtung des Internationalen Kompetenzzentrums für die Ingenieurausbildung im Rohstoffbereich unter der Schirmherrschaft der UNESCO (International Competence Centre for Mining-Engineering Education under the auspices of UNESCO). Die Vereinbarung zur Gründung des Kompetenzzentrums wurde am 7. März 2018 vom russischen Energieminister Alexander Novak und der Generaldirektorin der UNESCO, Audrey Azoulay, in Paris unterzeichnet. Das UNESCO-Kompetenzzentrum, das

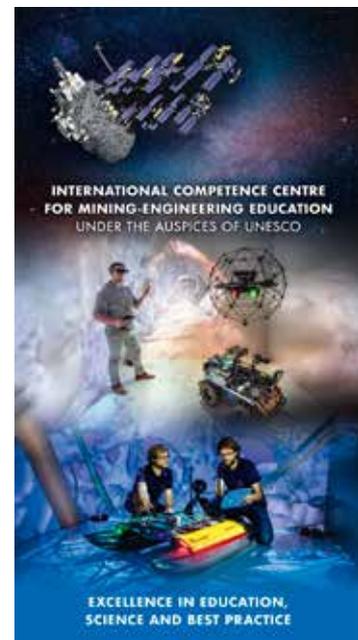
seinen Hauptsitz an der Bergbauuniversität St. Petersburg hat, führt die Mission des WFRUS weiter und unterstützt die weltweiten Anstrengungen zur Verbesserung der Aus- und Weiterbildung wie auch der Forschung im Rohstoffbereich, um damit die Grundlagen für eine verantwortungsbewusste Rohstoffproduktion und -konsumtion zu legen.

Am 22. Januar 2021 wurde die Vereinbarung zum Aufbau eines Deutschland-Büros des UNESCO-Kompetenzzentrums vom Präsidenten des Zentrums, Prof. Wladimir Litvinenko, und dem Rektor der TU Bergakademie Freiberg, Prof. Klaus-Dieter Barbknecht, unterzeichnet. Das Deutschland-Büro hat sein Sitz an der TU Bergakademie Freiberg. Freiberg hat damit eines von vier Länderbüros des Zentrums neben Leoben (Österreich), Lappeenranta (Finnland) und London (UK).

Eine der Kernaufgaben des Deutschland-Büros ist es, die hierzulande vorhandene wissenschaftlich-praktische Rohstoffexpertise und die Erfahrungen in der Frage, wie man Rohstoffgewinnung, Umweltschutz und soziale Belange in Einklang bringt, für das UNESCO-Kompetenzzentrum zugänglich zu machen und über die ausgezeichneten internationalen Kontakte und Netzwerke, sowie die internationalen Bildungs- und Forschungsangebote der Bergakademie Freiberg weltweit zu verbreiten. Zu den weiteren Aufgaben gehört die Unterstützung der globalen Mobilität von Studierenden, Doktoranden, Forschern und Lehrkräften, die Beteiligung an Weiterbildungsprogrammen des UNESCO-Kompetenzzentrums mit Fokus auf einen verantwortungsvollen Umgang mit dem System Erde, die Einhaltung der von den UN-Mitgliedsstaaten beschlossenen Ziele für nachhaltige Entwicklung sowie die Entwicklung von Kommunikationsstrategien für verschiedene Zielgruppen in Politik und Gesellschaft, um das Rohstoffbewusstsein und die den Umgang mit Rohstoffen betreffende Akzeptanz in der breiten Öffentlichkeit zu stärken.

Das Deutschland-Büro, das im Frühjahr 2021 seine Tätigkeit aufgenommen

hat, ist in neu eingerichteten Räumlichkeiten am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau an der TU Bergakademie Freiberg (Tagebautechnikum, Gustav-Zeuner Str. 1a) untergebracht. In diesem Büro werden zukünftig bis zu vier Mitarbeiter beschäftigt sein. Die Finanzierung wird durch die Zentrale des UNESCO-Kompetenzzentrums in St. Petersburg sichergestellt. In den zurückliegenden Monaten war das Deutschland-Büro bereits an der Organisation und Durchführung einer Reihe von Veranstaltungen (Workshops, Konferenzen, Vorlesungsreihen), an der Umsetzung internationaler Ausbildungs- und Weiterbildungsprojekte sowie an der Vorbereitung der Errichtung eines Lomonosow-Denkmal in Freiberg beteiligt.



Kontakt

TU Bergakademie Freiberg
Deutschland-Büro des UNESCO Kompetenzzentrums für die Ingenieurausbildung im Rohstoffsektor
Gustav-Zeuner-Straße 1A
09599 Freiberg
Telefon: +49 3731 393373
Mail: unesco@tu-freiberg.de
Homepage: <https://tu-freiberg.de/UNESCO-Centre>

Aus dem Vereinsleben

Gesellschaft von Freunden
der Bergakademie Freiberg.

Freiberg, den 18. November 1921.

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 den Protokollen der VFF-Vorstandssitzungen 2020 und 2021

Hans-Jürgen Kretzschmar

Vorwort

Erstmals in den 30 Jahren seit der Wiedergründung des VFF musste COVID-19-pandemiebedingt auf eine Mitgliederversammlung im Jahr 2020 verzichtet werden. Das war sehr bedauerlich, sind doch die persönlichen Vereinsdarstellungen und Begegnungen mit anschließender Barabarafeier ein wichtiger Aspekt des Vereinslebens. Formal fordert die VFF-Satzung zwar mindestens alle drei Jahre eine Mitgliederversammlung, jedoch gehört das jährliche Treffen zum VFF.

Deshalb möchten wir Sie zu ausgewählten Punkten der VFF-Vorstandssitzungen, die auch sonst in der Mitgliederversammlung präsentiert werden, auf diesem Wege informieren. Hybride Vorstandssitzungen fanden am 5. Juni 2020, 27. November 2020 und 25. Juni 2021 statt.

Mitgliederstand

Im November 2020 zählte der VFF insgesamt 1.518 Mitglieder, davon 1.431 persönliche und 87 juristische Mitglieder. Dies ist eine erfreulich-beachtliche Zahl nach einem stetigen Anwachsen der Mitgliederzahlen in den vergangenen Jahren.

Diese Zahl reduzierte sich im Juni 2021 auf 1.506 Mitglieder (1.422 persönliche, 84 juristische), also erstmalig ein geringes Abfallen, das pandemiebegründet ist; andere Vereine zeigen Mitgliederverluste bis zu 20 %. Neben einigen so begründeten Austritten fehlte die Möglichkeit der persönlichen Ansprachen in dieser außergewöhnlichen „Verfremdungszeit“ (Studierende bzw. Absolventen konnten seit mehr als einem Jahr nicht vom VFF gesehen werden). Bedauerlich ist auch der Rückgang in den Firmenmitgliedern, die hoffentlich keine „Entfremdung“ der Industrie von der Universität darstellt.

Der VFF-Vorstand appelliert an alle Mitglieder zu einer Werbung neuer VFF-Mitglieder!

Finanzbericht 2019

Mit der Absage zur Mitgliederversammlung 2020 im August 2020 haben die Mitglieder die Jahresrechnung

2019 als Einnahmen-Ausgaben-Tabelle zur Kenntnis und ggf. Rückäußerung erhalten. Diese Zahlen sind steuer- und wirtschaftsrechtlich durch den Jahresbericht der ECOVIS WWS Steuerberatungsgesellschaft mbH bestätigt. Die Einnahmen von 181.748,01 € (Plan: 161.250 €) liegen um ca. 20 T€ über der Planzahl. Das begründet sich in erfreulicherweise gestiegenen Spendenzahlen, vermehrten Zinseinnahmen und einer vertragsgemäß erhöhten Alumni-Vergütung. Etwa 20 % unserer zahlenden Mitglieder spenden mit einem über die 30 € erhöhtem Beitrag. Dafür sagt der Vorstand herzlichen Dank. **Künftig – ab dem Jahr 2022 – werden von der Geschäftsführung nur noch schriftliche Spendenbescheinigungen ab einer Spendenhöhe über 300 € (§ 50 Abs. 2 Einkommensteuer-Durchführungsverordnung [EStDV]) verschickt, ausgenommen im gewünschten Bedarfsfall.** Die gesteigerten Einnahmen ermöglichten eine stärkere Ausgabentätigkeit von 176.087,82 € (Plan: 161.250 €) in den Positionen Hochschulinstitutionen und Alumni-Beauftragte. Die bleibende Differenz als Überschuss von ca. 5 T€ wird in die Rücklage zur 100-Jahrfeier des VFF im Jahr 2021 eingespeist.

Die als inhaltlich und terminlich begrenzten etwa 50 Zweckprojekte werden im VFF als Förderprojekte für die TU Bergakademie geführt mit Jahreseinnahmen von 132.318,80 € und Jahresausgaben von 207.855,88 €, also ein deutlicher Abbau im Finanzbestand.

Die 10 Förder- bzw. Fachkreise unter dem VFF-Dach wiesen am 31.12.2019 einen summarischen Kassenstand von 190.077,73 T€ auf.

Der obige VFF-Haushalt wird im schriftlichen Umlaufverfahren den Mitgliedern Jahresende 2021 zur Diskussion zugestellt werden. Er stellt geprüft eine solide Vereinsbasis dar.

Finanzbericht 2020

Die VFF-Mitglieder haben mit der Absage zur Mitgliederversammlung 2020 per Brief/E-Mail im August 2020 die Jahresrechnung 2020 als Einnahmen-Ausgaben-Tabelle schriftlich erhalten. Die Zahlen 2020 gehen aus

dem Jahresbericht der ECOVIS WWS Steuerberatungsgesellschaft mbH hervor. Den Gesamteinnahmen des VFF von 166.467 € (Plan: 165.550 €) stehen VFF-Gesamtausgaben von 139.872 € (Plan: 165.550 €) gegenüber. Die Minderausgaben begründen sich in der stark gesunkenen Anzahl von Studierenden-Förderanträgen (keine Exkursionen, Tagungen u. ä.), in ausgefallenen Veranstaltungen und im reduzierten Aufwand für die Alumni-Beauftragten. Der daraus folgende Überschuss von ca. 25 T€ wird als Spende in den Corona-Hilfsfonds und für die Jubiläumsfeier anlässlich 100 Jahre VFF eingespeist.

Für die etwa 50 Förderprojekte der TU Bergakademie, die außerhalb des VFF-Etat als Zweckprojekte gemanagt werden, konnten im Jahr 2020 rund 229 T€ eingenommen und rund 207 T€ ausgegeben werden. Auch hier zeigt sich eine verständliche Minderausgabe im Betrachtungsjahr.

Der Etatvorschlag für das Jahr 2021 von 75 T€ Einnahmen wie Ausgaben seitens des VFF-Vorstands wird ebenfalls im schriftlichen Umlaufverfahren den Mitgliedern zur Abstimmung gestellt werden. Jedes Mitglied hat diesen Etatvorschlag im August 2020 schriftlich zur Kenntnis erhalten. Bisher erhielt der Vorstand aus der Mitgliedschaft keine Einwände zu diesem Vorschlag, weshalb er auf dieser Basis das Geschäftsjahr 2021 gestaltet.

Die starke Reduzierung des Etats von vorher 165 T€ auf künftig 75 T€ ergibt sich aus dem Wegfall der Position „Alumni-Beauftragte“ in Höhe von ca. 90 T€. Die Universität hat den bestehenden Alumni-Vertrag per 31. Dezember 2020 beendet und führt diese Arbeit nunmehr im „eigenen Haus“ fort.

Die 10 Förder- bzw. Fachkreise im VFF wiesen per 31. Dezember 2020 einen Gesamt-Finanzstand von 179.320,69 € auf. Die Förderkreisleiter/innen wurden vom VFF-Vorstand für das Geschäftsjahr 2020 entlastet.

Insgesamt ergibt sich für den VFF eine stabile Finanzlage, steuer- und wirtschaftsrechtlich von „außen“ geprüft und bestätigt.

Preisvergaben 2020

In obigen Finanzzahlen ist die Preisvergabe von 9 T€ enthalten. Folgende Preisgelder wurden ausge-reicht.

Cotta-Preise

Die von einer VFF-Auswahlkommission aus 9 eingereichten Dissertationen ausgewählte Cotta-Preise gin-gen an:

- Herrn Dr.-Ing. Andreas Burgold, Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik, Institut für Mechanik und Fluidodynamik zu „Modellierung des Bruchverhaltens austenitischer TRIP-Stähle“ (2 T€ für anwendungsorientierte Arbeit)
- Herrn Dr. rer. nat. Carl-Christoph Höhne, Fakultät für Chemie und Physik, Institut für Anorganische Chemie und Fraunhofer Institut für Chemische Technologie zu „Organische Sulfide und Disulfide von s-Triazin und s-Heptazin und deren Potential als Flammenschutzmittel“ (1 T€ für theorieorientierte Arbeit)gemeinsam mit
- Herrn Dr. rer. nat. Christian Posern, Fakultät für Chemie und Physik, Institut für Anorganische Chemie zu „Neuartige S-, Se- und P-haltige s-Heptazinderivate: Synthesen, Strukturen und Eigenschaften“ (1 T€ für theorieorientierte Arbeit)

Agricola-Preise

Die Träger der Agricola-Medaillen als Jahresbeste 2020 jeder Fakultät wurden mit je 250 € vom VFF bedacht:

- Fakultät 1: Markus Friedemann
- Fakultät 2: Isabell Engel
- Fakultät 3: Cordula Haupt
- Fakultät 4: Vincent von Oertzen
- Fakultät 5: Max Weiner
- Fakultät 6: Lukas Oppelt

Oppel-Preis

Der Friedrich-Wilhelm-von Oppel-Preis für herausragende sozio-kultu-relle Aktivitäten eines Studierenden mit einem Preisgeld in Höhe von 500 € ging 2020 an Frau Alexandra Kaas (Studium Verfahrenstechnik).

Weisbach-Preise

Für hervorragende Leistungen in der Lehre gingen 2020 die Julius-Weisbach-Preise zu je 250 € an:

- Fakultät 1: Dr. Felix Ballani
- Fakultät 2: Dr. Andreas Lißner
- Fakultät 3: Dr. Anne Routschek
- Fakultät 4: Dr. Rhena Wulf
- Fakultät 5: Prof. Yvonne Joseph
- Fakultät 6: Dr. Tobias Nell

Alumni-Arbeit 2020

Im vertragsbasierten Auftrag der Universität hat der VFF seit dem Jahr 2013, mit Förderungen aber bereits seit 1997, die Alumni-Arbeit übernommen und dafür die Alumni-Beauftragten Frau Stefanie Preißler und Frau Dr. Constance Bornkamp arbeitsrechtlich eingestellt und be-treut. Beide Beauftragten haben eine hervorragende Alumni-Arbeit geleistet, die der VFF-Vorstand in seiner Sitzung am 27. November 2020 hoch-dankend würdigte. Gemäß Vorgabe aus dem Dresdner Staatsministerium hat die TU Bergakademie den Alumni-Auftrag an den VFF per 31. Dezember 2020 beendet und setzt diese Arbeit inneruniversitär fort. Die genannten Alumni-Beauftragten im VFF überga-ben ihr Arbeitsergebnis in den Haupt-punkten an die Universität:

- Intelligente Software/Daten-bank „alumnii“
- 4.350 Registrierungen im FAN (Freiberger Alumni Netzwerk), davon 418 persönliche Neu-registrierungen und 4 neue Alumni-Firmen in 2020
- Persönlich betreute FAN-Web-seiten in den Social-Media-Kanälen Facebook, XING und LinkedIn
- Zahlreiche Alumni-Treffen in Freiberg, allein 16 in 2020
- Gewinnung neuer Alumni-Botschafter in der Welt (China, Schweiz)
- Spendenaufruf für den Corona-Hilfsfonds für Studierende an der TU Bergakademie über die FAN-Datenbank: 42 % aller Spender waren Alumni
- Zahlreiche Uni-Publikationen wie z. B. Absolventenbuch, Alumni-Newsletter TUBALUM.

Es ist zu hoffen, dass diese vielsei-tige Alumni-Arbeit in bewährter Wei-se fortgesetzt werden kann, da sich eine erfolgreiche Alumni-Arbeit bis



auf die Neu-Studierendenzahlen nie-derschlägt.

Heinisch-Stiftung

In der Kuratoriumssitzung der Günter Heinisch-Stiftung des Fördervereins VFF für die geowissenschaftlichen Sammlungen Freiberg am 25. Juni 2021 konnte auf ein solides Ge-schäftsjahr 2020 rückgeblickt werden. Das geplante Budget wurde eingehalten und ausgeschöpft, Einnahmen von 38,5 T€ konnten aus Ausschüttungen, Zinsen und Dividenden erwirtschaftet werden. Die angeschafften Edelmetall-Mineralstufen, als Leihgaben an das Mineralogische Institut weiterge-reicht, dienen der Kapitalerhaltung bzw. -erhöhung, dessen Startwert von 1,5 Mio. € gesteigert wurde. Das Kura-torium dankte dem Stiftungsvorstand für seine fördernde Arbeit und ent-lastete diesen für die Geschäftsjahre 2019 und 2020.

Weitere Hauptaktivitäten

Zur Notunterstützung der Studie-renden konzentrierte sich die VFF-Förderung auf die Ausschöpfung zweier Hilfsfonds:

- Barbara-Hilfsfonds für Mig-ranten-Studierende, denen der Studienbeginn an der TU Berg-

akademie erleichtert wurde; mehr als 30 geflüchtete Studierende erhielten Zuschüsse von gesamt ca. 45 T€

- Corona-Hilfsfonds seit Mai 2020 zur finanziellen Unterstützung von Studierenden, deren Nebenjobs zur Studienbewältigung wegfielen und die von einem Studienabbruch bedroht waren. Dank großzügiger Spenden von vielen Freunden und Förderern der TU Bergakademie konnten mehr als 130 T€ gesammelt und auch ausgegeben werden – und das sogar schon vor dem Start der Hilfsprogramme der Bundesregierung. Dank der kompetenten Sozialauswahl des Studentenwerkes wurden mehr als 120 Studierende unterstützt. In nachfolgenden Artikeln sind beide Hilfsfonds ausführlicher beschrieben.

Einen weiten Zeitraum nahm die Erarbeitung der VFF-Festschrift zum 100 Jahre-Jubiläum des Vereins ein. Diese Vereischronik liegt seit September 2021 gedruckt vor und ist jedem Mitglied zugestellt worden. Das Autorenteam mit Frau Stefanie Preißler, Frau Dr. Constance Bornkampff, Herrn Dr. Norman Pohl, Herrn Prof. Helmuth Albrecht und Herrn Prof. Hans-Jürgen Kretzschmar hat die hundertjährige Vereinsgeschichte innerhalb von fünf Gesellschaftsordnungen in Deutschland und Freiberg erstmals geschlossen dokumentiert. Unsere 100-jährige Vereinsgeschichte zeigt trotz der unterschiedlichen Systeme eine relative Kontinuität im Vereinsziel. Diese Gewissheit möge auch im nächsten Vereinsjahrhundert walten.

Die hochklassige Erarbeitung der Zeitschrift ACAMONTA 2021 durch das Redaktionskollegium unter Leitung von Frau Annett Wulkow soll nicht nur als „üblich“, sondern wieder

mit großem Dank gewürdigt werden.

Der VFF beteiligte sich finanziell an der Herausgabe des Buches „Leute, ich regele das! Harald Kohlstock – ein Leben für seine Universität“, das das Wirken des Ehrensensors und ehemaligen VFF-Vorstandsmitglieds Dr. Harald Kohlstock für die TU Bergakademie markant beschreibt.

Weitere Aktivitäten lagen in der organisatorischen Vorbereitung der 100 Jahre Jubiläumsfeier sowie in den „Standardarbeiten“ Grabpflege auf dem Donatsfriedhof (fast 40 Grabstellen), Management der Zweckprojekte, Förderkreise u. a.

Die Pandemieregeln erlauben es leider nicht, uns in der Mitgliederversammlung/Barbarafeier/Jubiläumsfeier 100 über das Vereinswirken zu erfreuen.

Wir sagen vielen Dank!

Für die zahlreichen Spenden zugunsten des Corona-Hilfsfonds zur Unterstützung von Studierenden an der TU Bergakademie Freiberg.

Hans-Jürgen Kretzschmar

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 Nebenjobs neben dem Studium waren schlagartig weggefallen, während Finanzforderungen wie Miete, Versicherungen und Kosten für den Lebensunterhalt weiterliefen und weiterlaufen.

Wir sind hochofret und beeindruckt von der starken Resonanz dieses Aufrufs und von der großen Spendenbereitschaft. Bis Sommer 2021 sind im Förderverein Spendengelder in Höhe von 131.000 Euro eingegangen. Herzlichen Dank allen 263 Spendern!

Etwa 42 Prozent der Spender sind Alumni, die im Freiburger Alumni Netzwerk ihrer Alma Mater Freibergensis verbunden sind. Das ist unsere



Bergakademie-Familie!

Aus den zahlreichen Anträgen der Studierenden wurde durch kompetente Prüfung von Mitarbeitern des Studentenwerks Freiberg (Abteilung Soziale Dienste) bislang 129 Förderanträge mit einem Fördervolumen von 122.000 Euro positiv beschieden. Bei 95 Prozent der Geförderten handelt es sich um internationale Studierende. Für diese umfangreiche Antragsauswahl sagen wir herzlichen Dank!

Die Unterstützungszuweisungen waren breit gefächert: Miete, Versicherungen, Lebensmittel, Freitische in der Mensa und Gutscheine für Freiburger Geschäfte. Zitate von Studierenden drücken den Dank für die Hilfe aus

... Die Unterstützung hat mir vor allem in mentaler Hinsicht geholfen, denn zu den pandemie-bedingten Sorgen wie z.B. fehlende soziale Kontakte, keine richtige Planbarkeit mancher Dinge usw., kam wenigstens nicht die Sorge um finanzielle Nöte hinzu. Diesbezüglich war es auch schön, finanziell nicht abhängig von der Familie gewesen sein zu müssen und somit die Eigenständigkeit beibehalten zu können. In materieller Hinsicht konnte ich mir durch die Unterstützung ein Tablet zulegen, das ich vorrangig für das Schreiben der Abschlussarbeit gekauft habe. Davon erhoffe ich mir einen erleichterten Arbeitsprozess (Digitalisation, Mobilität, in meiner bisherigen Studienzzeit habe ich mit einem recht alten, schweren und sperrigen Laptop gearbeitet).

... ich habe mein Studium wie geplant abgeschlossen (...) Die Unterstützung der VFF hat mir sehr geholfen, mich zu konzentrieren und meine Masterarbeit erfolgreich abzuschließen. Mit Hilfe dieser Unterstützung war ich in der Lage, mich zu konzentrieren, ohne über Geld nachzudenken, um meine grundlegenden Rechnungen zu bezahlen. Es war auch eine Form der Ermutigung, noch fleißiger zu arbeiten. Am Ende habe ich mein Studium mit guten Noten abgeschlossen. Aufgrund der erfolgreichen Masterarbeit war mein Professor mit meinen Ergebnissen zufrieden und er möchte, dass ich weiterhin in seiner Forschungsgruppe arbeite, bis wir meine Arbeit veröffentlichen. Er hat mir eine Stelle als wissenschaftliche Hilfskraft von April bis September 2021 angeboten. Langfristig freue ich mich auf Möglichkeiten, entweder in der Industrie oder im akademischen Bereich (als Doktorand). Vielen Dank noch mal.

... Vielen Dank für die Hilfe während meiner Studienzzeit. Ich freue mich, Ihnen mitteilen zu können, dass ich meine Masterarbeit am 3. Februar 2021 abgeschlossen habe. Ich freue mich auch, Ihnen mitteilen zu können, dass ich meine Promotion begonnen habe. (...) Das Stipendium war eine große Hilfe für mich, mich während meiner Masterarbeit auf die Forschung zu konzentrieren, und ich habe mein Bestes gegeben, um ein gutes Ergebnis der Arbeit zu erzielen. Mein Betreuer war sehr zufrieden mit den Forschungsergebnissen. Danke.

... Mein Plan war es im Wintersemester 2020/2021 mein Studium zu beenden. Im Februar 2021 habe ich meine Diplomarbeit abgegeben und diese am 17.03.2021 mit Erfolg verteidigt. Die starke Unterstützung der Freunde und Förderer hat mir geholfen mein Studium sehr erfolgreich zu absolvieren, ohne unter belastenden finanziellen Druck zu geraten. Somit war ich in der Lage meine gesamte Arbeitszeit und Konzentration unbeirrt in die Durchführung und Fertigung meiner Abschlussarbeit zu investieren. Die Benotung der Arbeit mit 1,2 spiegelt die Unterstützung der Freunde und Förderer deutlich wieder.

... Recht herzlich möchte ich mich bei Ihnen Frau Kneip und auch bei den Freunden und Förderern für die unvergessliche Unterstützung und Hilfeleistungen bedanken! Ohne diese Rückendeckung wäre die Anfertigung meiner Diplomarbeit unter den jetzigen Bedingungen nicht gelungen.

Once again, I want to use this chance to appreciate "Friends and sponsor of the TU Freiberg" for their support and help. The funds received from the above mentioned association was of tremendous help to completing my studies: with the funds I was able to pay most of my bills and this gave me the chance to concentrate and write my thesis and final exam: on the 18th of March. I did complete and submitted my thesis, but I am yet to defend my thesis as my supervisor had surgery and is on the Journey to recovery. I await result from my FINAL exam and will defend my thesis in summer semester 2021: this depends on how fast my supervisors recovers and his thesis defends schedule.

St.-Barbara-Stipendienfonds des VFF für Migranten-Studierende

Hans-Jürgen Kretzschmar



Foto: Stefanie Preißler

Studierende mit ihren neuen Notebooks nach der Übergabe.

In der ACAMONTA 2019 (vgl. S. 160) berichtete der VFF bereits über den vor einigen Jahren eingerichteten St.-Barbara-Stipendienfonds, der seit dem Jahr 2015 geflüchtete Studierende unterstützt, die ein Studium an der TU Bergakademie Freiberg aufnehmen. Der Hilfsfonds konnte mit einem Betrag von rund 45 T€ starten, der dank der großzügigen Spenden von neun Förderern erreicht wurde, die zum 250. Jubiläum der Universität im Jahr 2015 eine bronzene Tischstatue der Heiligen Barbara erwerben, wie sie in voller Größe im Foyer des Rektorates die Besucher begrüßt (vgl. Abb. 8 im Beitrag zur

Geschichte des VFF). Nach nunmehr sechs Jahren ist dieser Fonds ausgeschöpft und kann auf eine gute Unterstützungsleistung zurückblicken. Insgesamt wurden 65 Studienanfänger – geflüchtet aus Syrien, Irak, Libyen, Eritrea, Libanon, Ägypten und Pakistan – gefördert. 27 Studienbewerber erhielten einen Kostenzuschuss für die Kurse zum Erlernen der deutschen Sprache, die eine Voraussetzung für die Aufnahme eines Studiums an der TU Bergakademie Freiberg bilden. 37 Studienanfänger bekamen einen Laptop als notwendiges Werkzeug für das Studium. In finanziell-sozialen Notfäl-

len erhielten sieben Studierende ein Zusatzstipendium, größtenteils in Ergänzung zum Laptop.

Alle Förderungen wurden zwischen dem VFF und dem Internationalem Universitätszentrum (IUZ) eng abgestimmt, ebenso Veranstaltungen wie Workshops und ein interkulturelles Wochenende, in denen die ausländischen Studienanfänger mit deutschen Studierenden zusammengebracht wurden, um die Integration am Studienort zu erleichtern.

Nachdem nun der St.-Barbara-Stipendienfonds ausgeschöpft und geschlossen ist, wird der VFF in

künftigen Härtefällen auch weiterhin Migranten-Studierende unterstützen – hierfür werden Fördermittel aus dem Studierendenfonds zur Verfügung stehen. Vielen der geförderten Studienanfänger wird auch über den gegenwärtig laufenden Corona-Hilfsfonds beim VFF, aus dessen aktuellen Spenden-Budget von 131 T€ bisher 122 T€ ausgereicht wurden, geholfen.

Nochmals sei den damaligen Spendern des Fonds herzlich gedankt. Das skizzierte Unterstützungsergebnis zeigt, wie wertvoll die Spenden für die Studienaufnahme von Migranten an unserer Universität wirkten.

Modellierung des Bruchverhaltens austenitischer TRIP-Stähle Bernhard-von-Cotta-Preis 2020

Andreas Burgold

Motivation

TRIP-Stähle zeichnen sich durch eine mechanisch induzierte martensitische Phasenumwandlung aus, die sich wesentlich auf das Werkstoffverhalten auswirkt. Die Phasenumwandlung trägt zur Verfestigung des Werkstoffs bei und ermöglicht zusätzliche inelastische Verformung (TRIP: TRansformation Induced Plasticity, umwandlungsinduzierte Plastizität). TRIP-Stähle weisen somit ein hohes Verfestigungsvermögen bei guter Verformbarkeit auf. In den vergangenen 12 Jahren wurden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB 799 „TRIP-Matrix-Composite“ hochlegierte austenitische TRIP-Stähle eingehend erforscht. Dabei wurde eine große Bandbreite von Themen bearbeitet – angefangen von der Herstellung der Stähle und darauf basierender Verbundwerkstoffe, über die Weiterverarbeitung, die Prüfung und Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Modellierung und Simulation verschiedenster Aspekte des Materialverhaltens [1].

Das Thema meiner Dissertation war die Modellierung des Versagens und des zyklischen Verformungsverhaltens hochlegierter TRIP-Stähle. Der Fokus lag auf Fragen zum Verständnis des Bruchverhaltens der TRIP-Stähle und zur Rolle der Phasenumwandlung beim Bruchprozess. Außerdem wurde untersucht, wie Risse und Rissfortschritt in den hochgradig duktilen Stählen simuliert werden können. Dies hat zum Ziel, Bruch und Versagen vorausberechnen

zu können und damit Sicherheitsbewertungen zu ermöglichen bzw. zu verbessern. Weiterhin wurde ein leistungsfähiges Materialmodell zur Simulation des Werkstoffverhaltens der TRIP-Stähle unter Wechselbeanspruchung erarbeitet. Das ist die Voraussetzung für weiterführende numerische Beanspruchungsanalysen im Wechselbelastungsfall.

Untersuchung des Bruchverhaltens

Im ersten Schritt wurden die Spannungen, die plastischen und umwandlungsinduzierten Verzerrungen und die Entwicklung des Martensitvolumenanteils vor einer Risspitze untersucht. Dabei kam ein vorhandenes Materialmodell [2] für TRIP-Stahl zum Einsatz. Die Abstumpfung der Risspitze (crack tip blunting) durch große plastische Verformungen wurde berücksichtigt. Basierend auf den Ergebnissen der Beanspruchungsanalyse und unterstützt von Erkenntnissen aus der Literatur [3] wurden Thesen aufgestellt, die einen positiven Effekt der Phasenumwandlung auf das Bruchverhalten erklären. Diese bezogen sich zunächst auf den beobachteten Fall des duktilen Versagens, bei dem Rissausbreitung durch Wachstum und Vereinigung von Mikroporen stattfindet. In diesem Fall wirkt sich das umwandlungsinduzierte zusätzliche Verfestigungsvermögen des TRIP-Stahls positiv auf den Bruchwiderstand aus, da es das zu Grunde liegende Porenwachstum erschwert. Dies konnte durch eine Simulation des duktilen Riss-

fortschrittsmechanismus (Abbildung 1) mit diskret aufgelösten Mikroporen demonstriert werden.



Abbildung 1: Mikromechanische Simulation (2D) der Rissausbreitung durch Porenwachstum und -vereinigung in einer TRIP-Stahl-Matrix

Weiterhin wurde ein abschirmender Effekt auf die Risspitze vermutet, der mit der Phasenumwandlung und der damit verbundenen zusätzlichen Dissipation in der Umgebung der Risspitze begründet wurde. Dieser Effekt ist sowohl für duktilen als auch für sprödes Versagen relevant. Um den Abschirmeffekt zu untersuchen, wurde die risstreibende thermodynamische Kraft im Rahmen der Theorie materieller Kräfte, siehe z. B. [4], formuliert. Die auf die Risspitze wirkende materielle Triebkraft G_{tip} ergibt sich folgendermaßen:

Kontakt

E-Mail: andreas_burgold@yahoo.de

$$G_{tip} = J - G_{pl} - G_{tr}$$

Dabei wird das bekannte vektorielle J-Integral J durch Terme, die aus der plastischen Deformation G_{pl} und der martensitischen Phasenumwandlung G_{tr} resultieren, modifiziert. Im Fall von Kleinbereichsfließen wurde der abschirmende Effekt der Phasenumwandlung in Form einer Reduktion der rissstreibenden Kraft nachgewiesen.

Rissinitiation und Rissausbreitung in austenitischem TRIP-Stahl wurden mit einem Kohäsivzonenmodell [5] simuliert. Dabei charakterisieren die Modellparameter der Kohäsivzone den Bruchprozess: Die Separationsarbeit des Kohäsivgesetzes entspricht gerade dem kritischen Wert der auf die Risspitze wirkenden materiellen Kraft. Deshalb wurden die Parameter der Kohäsivzone an Hand bruchmechanischer Experimente an CT-Proben identifiziert. Abbildung 2 zeigt eine verformte CT-Probe (Kompaktzugprobe), bei der während der Belastung die Risspitzenöffnungsverschiebung CTOD (δ) und die Rissausbreitung Δa gemessen wird. Die werkstoffmechanischen Experimente stammen aus der konstruktiven Zusammenarbeit mit den Kollegen des Instituts für Werkstofftechnik der TU Freiberg. Die resultierenden Risswiderstandskurven, d. h. die Auftragung von CTOD δ über der Rissausbreitung Δa , sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Kohäsivparameter wurden so gewählt, dass der Unterschied zwischen den experimentellen Daten und den Simulationsergebnissen minimiert wird. Mit den somit identifizierten Parametern ist die Simulation der Rissausbreitung in verschiedensten Bauteilen möglich.

Modellierung des Materialverhaltens unter zyklischer Beanspruchung

Zur Untersuchung der Rissausbreitung und des Versagens der TRIP-Stähle unter zyklischer Beanspruchung werden zunächst Materialmodelle benötigt, die das zyklische Verformungsverhalten einschließlich der mechanisch induzierten Phasenumwandlung beschreiben können. In der Literatur sind zahlreiche Modelle für das Materialverhalten von TRIP-Stählen unter monotoner Belastung erarbeitet worden, wohingegen der Fall der Wechselverformung wenig beachtet wurde. Darum wurde ein neues Modell entwickelt, das auf einem existierenden leistungsfähigen phänomenologischen Modell für monotone Beanspruchung [6] basiert.

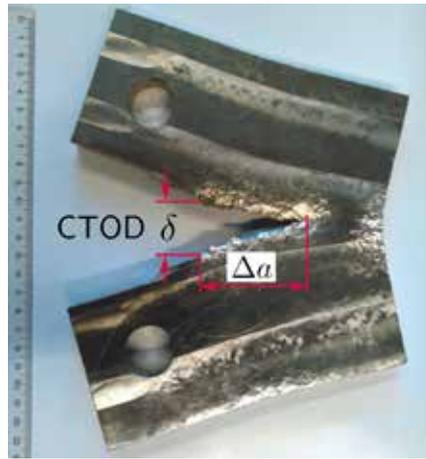


Abbildung 2: Geprüfte CT-Probe mit deutlich ausgeprägter stabiler Rissausbreitung und großer plastischer Verformung

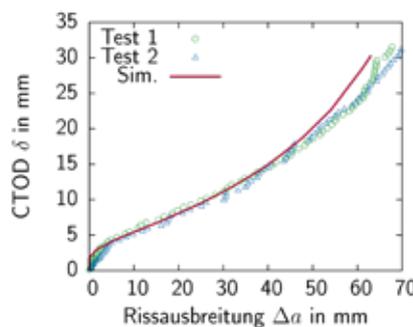


Abbildung 3: Vergleich der Risswiderstandskurven aus den Experimenten mit denen der Simulation unter Verwendung der identifizierten Kohäsivparameter

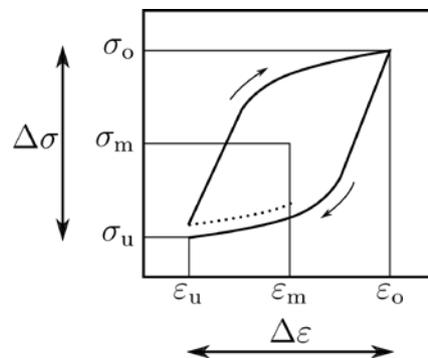


Abbildung 4: Wichtige Kenngrößen einer Spannungs-Dehnungs-Hysterese: Ober- (o), Unter- (u) und Mittelwerte (m) der Spannung σ und Dehnung ϵ sowie deren Schwingbreiten $\Delta \sigma$ und $\Delta \epsilon$

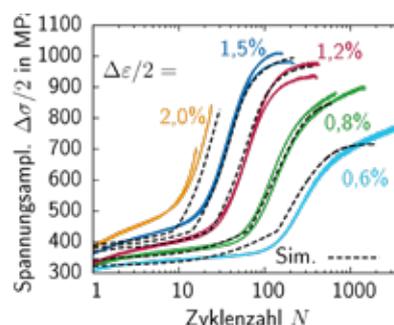


Abbildung 5: Vergleich der experimentell bestimmten Wechselverformungskurven (farbig) für verschiedene vorgegebene Dehnungsamplituden $\Delta \epsilon / 2$ mit den Ergebnissen der Simulation

Die Modellparameter wurden mit Hilfe von Wechselverformungsversuchen bestimmt, die wiederum am Institut für Werkstofftechnik durchgeführt worden sind. In Wechselverformungsexperimenten werden Proben einer Zug-Druck-Wechselbelastung unterzogen. Dabei werden zahlreich Spannungs-Dehnungs-Hysteresen durchlaufen, siehe Abbildung 4. Im Versuch wird jeweils eine Dehnungsamplitude $\Delta \epsilon / 2$ vorgegeben und die Spannungsamplitude $\Delta \sigma / 2$ in Abhängigkeit von der Zyklenzahl N ausgewertet. Die resultierenden Wechselverformungskurven sind in Abbildung 5 und die Entwicklung des Martensitvolumenanteils z (Nachweis der Phasenumwandlung) ist in Abbildung 6 dargestellt. Die zugehörigen Simulationen wurden für alle Dehnungsamplitude $\Delta \epsilon / 2$ mit dem gleichen Parametersatz ausgeführt und weisen eine gute Übereinstimmung mit den Experimenten auf [7]. Vergleichbare Ergebnisse sind in der Literatur bisher nicht zu finden.

Zusammenfassung

Die Dissertation befasste sich mit der Simulation des Bruchverhaltens austenitischer TRIP-Stähle unter monotoner Beanspruchung. Die numerische Beanspruchungsanalyse eines Risses in TRIP - Stahl und die Auswertung der auf die Risspitze wirkenden materiellen Kraft deuten auf einen positiven Einfluss der Phasenumwandlung auf den Bruchprozess hin (d. h. eine Erhöhung des Bruchwiderstands). Rissinitiation und Rissausbreitung wurden mit einem Kohäsivzonenmodell erfolgreich abgebildet. Auch der Fall der zyklischen Beanspruchung wurde in Betracht gezogen. Dafür ist ein neuartiges Materialmodell zur Beschreibung des Wechselverformungsverhaltens austenitischer TRIP-Stähle entwickelt worden. Qualitativ wurden bereits alle wesentlichen Effekte abgebildet, was auch zu quantitativ guten Ergebnissen führte.

Danksagung

Ich bedanke mich bei allen Kollegen aus dem Institut für Mechanik und Fluidodynamik und aus dem Sonderforschungsbereich 799 für die Unterstützung und für das gute Arbeitsklima während meiner Promotionszeit. Besonderer Dank gilt Prof. Dr. rer. nat. habil. Meinhard Kuna, der meine Promotion betreut hat. Bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG bedanke ich mich für die Förderung

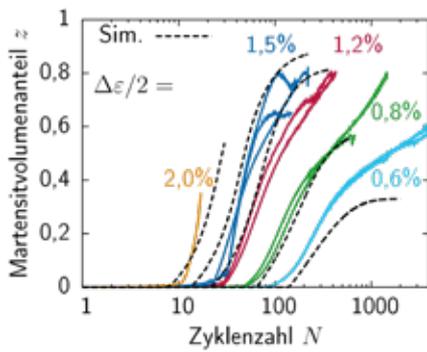


Abbildung 6: Entwicklung des Martensitvolumenanteils mit der Zahl der Belastungszyklen (farbige Kurven: experimentelle Ergebnisse) und Vergleich mit den Simulationsergebnissen

der Forschung im Rahmen des SFB 799 „TRIP-Matrix-Composite“ (Projektnummer 54473466). Dem Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg danke ich für die Würdigung meiner Arbeit mit dem Bernhard-von-Cotta-Preis.

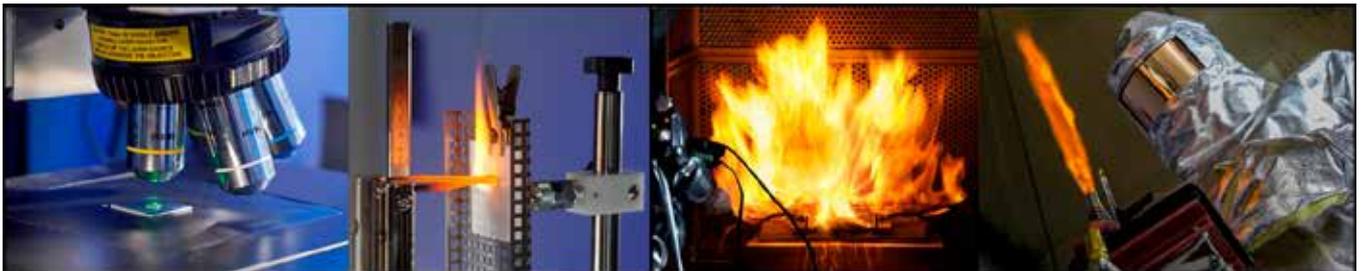
Referenzen

- 1 H. Biermann: Visionen aus Stahl und Keramik. Der Sonderforschungsbereich 799 „TRIP-Matrix-Composite“. *Acamonta* 24 (2017). 17-18. TU Bergakademie Freiberg
- 2 S. Prüger, M. Kuna, S. Wolf, L. Krüger: A Material Model for TRIP-Steels and its Application to a CrMnNi Cast Alloy. *steel research international*. 82.9 (2011). 1070-1079

- 3 G. Hütter, L. Zybelle, U. Mühlich, M. Kuna: Consistent Simulation of ductile Crack Propagation with discrete 3D Voids. *Computational Materials Science* 80.0 (2013). 61-70
- 4 T. Nguyen, S. Govindjee, P. Klein, H. Gao: A Material Force Method for inelastic Fracture Mechanics. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 53.1 (2005). 91-121
- 5 S. Roth, G. Hütter, M. Kuna: Simulation of Fatigue Crack Growth with a cyclic Cohesive Zone Model. *International Journal of Fracture* 188.1 (2014). 23-45
- 6 A. Seupel, M. Kuna: Application of a local Continuum Damage Model to porous TRIP-Steel. *Applied Mechanics and Materials* 784 (2015). 484-491
- 7 A. Burgold, M. Droste, A. Seupel, M. Budnitzki, H. Biermann, M. Kuna: Modeling of the cyclic Deformation Behavior of austenitic TRIP-Steels. *International Journal of Plasticity* 133 (2020). 102792

Radikaler Flammenschutz - Vom Moleküldesign bis zur Anwendung Bernhard-von-Cotta-Preis 2020

Christian Posern, Carl-Christoph Höhne



Die vielseitige Verwendung von Kunststoffen ist Teil unserer Gesellschaft. Sie bilden die Basis für leistungsfähigere, ökonomisch und ökologisch verbesserte Produkte. So ermöglicht etwa die Weiterentwicklung von kunststoffbasierten Leichtbautechnologien einen effizienteren Transport, unabhängig vom eingesetzten Energieträger. Durch neue Verarbeitungstechnologien wie die der additiven Fertigung werden nicht nur der Industrie immer wieder neue Einsatzmöglichkeiten für Kunststoffe eröffnet, sondern jede und jeder kann heute durch den „3D-Druck“ auf verhältnismäßig einfache Weise Kunststoffen eine Form und damit einen Zweck geben. Aus diesen und vielen weiteren Gründen nimmt die weltweite Produktion von Kunststoffen nach wie vor zu. In der Alltagssprache werden Produkte aus Kunststoffen meist auf das enthaltene Polymer reduziert – der Fensterrahmen aus PVC (Polyvinylchlorid), die Getränkefla-

sche aus PET (Polyethylenterephthalat), die Backform oder Fugenfüllung aus Silikon (Poly(organo)siloxane), etc. Dabei gerät leicht in Vergessenheit, dass erst durch die Zugabe von Additiven ein Polymer zum Kunststoff wird. Denn ein Polymer oder eine Mischung verschiedener Polymere erhält erst durch das Hinzufügen exakt abgestimmter Mengen von Zusatzstoffen die charakteristischen Materialeigenschaften, welche genau diesen einen Kunststoff auszeichnen. Dazu gehören u. a. Antioxidantien, UV- und Geruchsabsorber, Licht- und Rezyklatstabilisatoren, Metall- und Füllstoffdesaktivatoren, Antiozonantien, Nukleierungsmittel, Antinukleierungsmittel, Schlagzähigkeitsverbesserer, Weichmacher, optische Aufheller, antimikrobielle Wirkstoffe, Antistatika, Haftvermittler, Hydrophobisierungs-, Dispergier-, Entschäumungs- und Mattierungsmittel, Glanzverbesserer, Verstärkungsmittel, Farbstoffe, Pigmente und

Flammenschutzmittel. Neben den physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Kunststoffs, welche die Verwendungsmöglichkeiten und Lebensdauer bestimmen, sind auch Sicherheitsaspekte relevant. Denn abgesehen von wenigen Ausnahmen teilen sich Polymere eine unvorteilhafte Eigenschaft: ihre leichte Brennbarkeit. Für viele Anwendungsbereiche ist daher die Erfüllung von Flammchutzanforderungen obligatorisch. Aus diesem Grund werden Polymeren Flammenschutzmittel zugesetzt.

Die Arbeitsgruppe für Siliciumchemie und chemische Materialwissenschaft um Prof. Edwin Kroke arbeitet seit vielen Jahren mit dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT) in Pfinztal auf diesem Themengebiet zusammen.

Durch die Expertise der TU Berg-

Kontakt

carl-christoph.hoehne@ict.fraunhofer.de
christian.posern@freenet.de

akademie im Bereich der organischen und anorganischen Molekülchemie und die des Fraunhofer ICT im Bereich der Kunststoffentwicklung, wurden in der Vergangenheit bereits Flammenschutzmittel auf der Basis von phosphor- und stickstoffreichen Molekülen entwickelt. In den beiden mit dem Bernhard-von-Cotta-Preis 2020 ausgezeichneten Dissertationen wurden neue Flammenschutzmittel auf Basis schwefelhaltiger stickstoff-reicher Moleküle - Derivate von s-Triazin und s-Heptazin - erstmals synthetisiert und charakterisiert. Die prinzipiell hohe Temperaturstabilität der beiden Stoffklassen s-Triazin und s-Heptazin lässt eine problemlose Einarbeitung in die meisten Polymere zu. Die flammhemmende Wirkung wiederum kann gezielt durch die Molekülstruktur beeinflusst werden. So können Tri- und Heptazine entworfen werden, die gasphasenaktive Fragmente erzeugen, oder beispielsweise auch Derivate, welche im Brandfall die Entstehung thermisch isolierender, gasdichter Oberflächen (Intumeszenzschichten) unterstützen.

Für die aktuelle Forschung besonders interessant sind die schwefelhaltigen Verbindungen. Bei thermischer Belastung können schwefelhaltige Verbindungen, beispielsweise organische Disulfide, radikalische Schwefelspezies „Thiylradikale“ freisetzen. Diese radikalischen Spezies beeinflussen die Reaktionen u. a. der Polymerzersetzung in der kondensierten Phase und stören insbesondere die radikalischen Verbrennungsprozesse in der Flamme. Diese Wirkungsweise ist daher auch als „Flammvergiftung“ bekannt. Dadurch sind die Verbrennungsprozesse der Flamme weniger effizient und die thermische Rückkopplung der Flamme auf den Kunststoff wird geschwächt. Ist die Beeinträchtigung der Flamme hinreichend hoch, bewirkt sie eine zu geringe Freisetzung von thermischen Zersetzungsprodukten des Kunststoffs - dem Brennstoff der Flamme. Die Flamme erlischt dadurch. Diese Wirkungsweise eines Flammenschutzmittels ist besonders effektiv, da bereits geringe Flammschutzmittelanteile zu einer hinreichenden Beeinträchtigung der Flamme führen können.

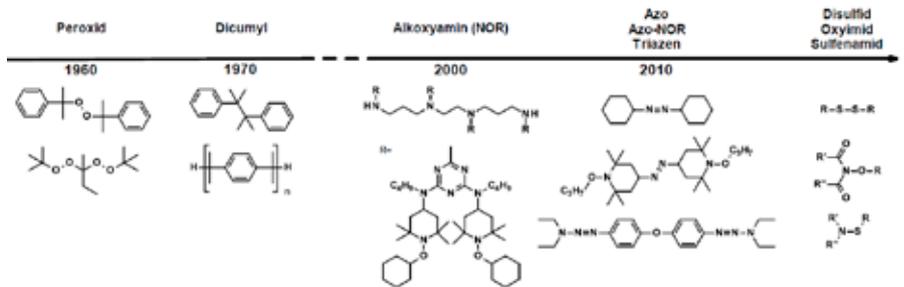
Wie in den beiden ausgezeichneten



Polymerverarbeitung

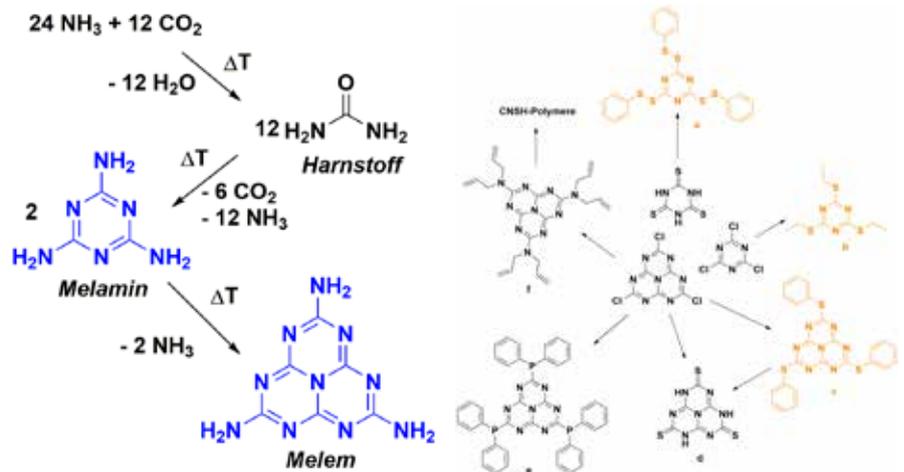
Links u. Mitte: Mit miniaturisiertem Extruder und Spritzgussaggregat lassen sich bereits mit wenigen Gramm an Flammenschutzmittel Prüfkörper herstellen.

Rechts: Die erforschten schwefelhaltigen Heptazinderivate fluoreszieren unter UV-Licht. Eingearbeitet in Polypropylen nimmt die Intensität der Fluoreszenz sogar noch zu. (© Carl-Christoph Höhne)



Entwicklung thermisch induzierter Radikalgeneratoren für Flammchutzanwendungen

Gute Flammenschutzmittel wirken bereits bei Anteilen von deutlich unter 10 Gew.-% hinreichend flammhemmend. Insbesondere thermisch induzierte Radikalgeneratoren zeigen eine hohe Effektivität. Bei thermischer Belastung setzen sie radikalische Spezies frei, welche die Verbrennungsprozesse der Flamme stören. Halogenhaltige Verbindungen sind daher als Flammschutzmittel nahezu optimal. Jedoch ist diese Verbindungsklasse aufgrund umwelttoxikologischer Bedenken in die Kritik geraten. Ihre Substitution stellt aktuell eine große Herausforderung für Industrie und Forschung dar. Ein aktuelles Forschungskonzept sind Moleküle, die Thiylradikale (R-S-) freisetzen.



Synthese von Melamin und Melem / Beispiele einiger neuer Tri- und Heptazine

Das Triazin „Melamin“, das Heptazin „Melem“ und verwandte Verbindungen wurden bereits 1834 von Justus von Liebig beschrieben. Mit der Beschreibung des Verhaltens dieser Verbindungen als „merkwürdig“ und „sonderbar“ machte Liebig seine Faszination an diesen Verbindungen deutlich. Seit 1930 wird Melamin kommerziell hergestellt. Das heute industriell verwendete Verfahren ist die Trimerisierung von Harnstoff. Daneben gibt es weitere industriell bedeutende Triazine, wie das Cyanurchlorid. Aus diesen Ausgangsverbindungen lassen sich viele verschiedene Moleküle und Materialien realisieren, welche breite Verwendung finden, z.B. als Melamin-Formaldehyd-Harze und -Schäume in Akustikabsorbent, als Insektizide oder als Textilauflöser. Heptazine dagegen werden bislang nur in Nischenanwendungen kommerziell eingesetzt, z.B. in Nitriersalzbädern. Insbesondere die deutlich geringere Reaktivität des Heptazins ist Grund dafür. Mittels Schutzgastechnik und speziellen Reinigungsverfahren können über den Weg der Chlorierung des Heptazins jedoch ebenfalls zahlreiche Verbindungen hergestellt werden.

Das Schema rechts zeigt einige neue Verbindungen, die im Rahmen der Dissertationen untersucht wurden. Neben Entwicklungen für den Flammschutz (a,b,c) konnten weitere Moleküle für andere Anwendungen realisiert werden. Mit einem Heptazin-basierten Polymer-Linker (f) konnte ein neues schwefelreiches Polymer synthetisiert werden, welches aktuell in Zusammenarbeit mit dem IFW Dresden als Kathodenmaterial in Lithium-Schwefel-Batterien getestet wird.

ten Dissertationen gezeigt werden konnte, setzen auch schwefelhaltige s-Triazine und s-Heptazine bei thermischer Belastung flammhemmende Schwefelradikale frei. Neben der Erstsynthese vieler der untersuchten Verbindungen fand zunächst eine theoretische Betrachtung durch quantenchemische Berechnungen statt, welche mit den Daten aus der thermogravimetrisch gekoppelten Massenspektroskopie abgeglichen wurden. Diverse Anwendungstests u. a. der Limiting Oxygen Test (LOI) an kompakten Prüfkörpern und der DIN 4102-1 B2 Test an Folien wurden mit Polypropylen durchgeführt.

Insbesondere für organische Disulfide des s-Triazins wurde eine unerwartet hohe FlammSchutzwirkung beobachtet. Diese Verbindungen zeigen eine thermische Zersetzung in der kondensierten Phase. Dabei kommt es zu einer Freisetzung von Thiyl-Spezies in die Gasphase. Zudem verbleiben s-Triazin-thiyl-Spezies in der kondensierten Phase. Die thermische Polypropylenzersetzung wird dadurch jedoch nicht beeinträchtigt. Vielmehr werden die flammSchützenden Thiyl-Spezies circa 160 °C unterhalb des PP-Zersetzungsbeginns ungestört freigesetzt.

Die Ergebnisse beider Dissertationen fließen derzeit ins Fraunhofer-DFG-Kooperationsprogrammprojekt „Flüssige FlammSchutzmittel für PU-Schäume auf der Basis von s-Heptazin-, s-Triazin- und Dicyanamid-Derivaten - *LiquiFiRe*“ ein, in welchem die TU Bergakademie Freiberg und das Fraunhofer ICT gemeinsam mit der BASF als Anwendungspartner die Überführung dieser und weiterer Forschungsergebnisse in die Anwendung intensiviert.

Weiterführende Literatur

- 1 C. Posern, U. Böhme, J. Wagler, C.-C. Höhne, E. Kroke, Arylthio- and Arylseleno-Substituted s-Heptazines. *Chem. Eur. J.* 2017, 23, 12510.
- 2 C.-C. Höhne, R. Hanich, E. Kroke, Intrinsic flame resistance of polyurethane flexible foams: Unexpectedly low flammability without any flame retardant. *Fire Mater.* 2018, 42, 394.
- 3 C. Posern, U. Böhme, E. Kroke, The Reactivity of Cyameluric Chloride C₆N₇Cl₃ towards Phosphines and Phosphine Oxides, *Z. Anorg. Allg. Chem.*, 2018, 644, 121.



FlammSchutztests

Der LOI- und der DIN 4102-1 B2-Test wurden eingesetzt, um die FlammSchutzigenschaften der neu entwickelten FlammSchutzmittel auf Polypropylen zu prüfen. (© Fraunhofer ICT)



Fraunhofer ICT (Pfinztal bei Karlsruhe / BW)

Am Fraunhofer ICT forschen aktuell etwa 580 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den Produktbereichen Angewandte Elektrochemie, Energetische Materialien, Energetische Systeme, Neue Antriebssysteme, Polymer Engineering und Umwelt Engineering in den Bereichen Chemische Prozesse, Energiesysteme, Explosivstofftechnik, neue Antriebssysteme, Kunststofftechnologie und Verbundwerkstoffe. (© Fraunhofer ICT, Peter Eich)

- 4 C.-C. Höhne, C. Posern, U. Böhme, E. Kroke, Sulfides and Disulfides of s-Triazine: Potential Thermal Thiyl Radical Generators. *Chem. Eur. J.* 2018, 24, 13596.
- 5 C.-C. Höhne, C. Posern, U. Böhme, F. Eichler, E. Kroke, Dithiocyanurates and thiocyanamides: Thermal thiyl radical generators as flame retardants in polypropylene. *Polym. Degrad. Stab.* 2019, 166, 17.
- 6 C. Posern, C.-C. Höhne, U. Böhme, C. Vogt, E. Kroke, Synthesis of Thiocyanamuric Acid C₆N₇S₃H₃, its Reaction to Alkali Metal Thiocyanamurates and Organic Tris(dithio)-cyanamurates. *Chem. Eur. J.* 2019, 25, 15555.
- 7 C. Posern, Neuartige S-, Se- und P-haltige s-Heptazinderivate: Synthesen, Strukturen und Eigenschaften, Dissertation, 2019.
- 8 C.-C. Höhne, Organische Sulfide und Disulfide von s-Triazin und s-Heptazin und deren Potential als FlammSchutzmittel, Dissertation, 2020.
- 9 P. Audebert, E. Kroke, C. Posern, S.-H. Lee, State of the Art in the Preparation and Properties of Molecular Monomeric s-Heptazines: Synthesis, Characteristics, and Functional Applications, *Chem. Rev.* 2020, 121, 2515.

Hinterlassenschaften des handwerklichen Bergbaus (HWB) in ehemaligen Agrar- und Waldgebieten in Ghana

Martin Kofi Mensah¹, Carsten Drebenstedt²

Die Umweltzerstörung durch informellen, handwerklich betriebenen Bergbau ist Ghanas derzeit akutestes Umweltproblem. Der Verlust von Vegetation, Biodiversität, die Wasserverschmutzung und die damit verbundenen Risiken im Fortgang des Klimawandels sind in den betroffenen Gebieten deutlich sichtbar. Leider wurden diese Gebiete von den Bergleuten ohne Rekultivierung aufgegeben. Um diese Gebiete besser verwalten zu können, wurde die hier vorzustellende Forschung durchgeführt, um die Verteilung von potenziell toxischen Elementen (PTE) an den belasteten Standorten im Vorfeld eines Sanierungsversuchs zu verstehen. Das Ausmaß an potenzieller Kontamination wurde mittels Geoakkumulations-Berechnungen abgeschätzt.

Methoden

Standortcharakteristiken

Die hier vorgestellte Studie wurde in Bergbau-Enklaven in der Nähe der Standorte 5° 18' 0" N, 1° 59' 0" W und 05° 26' 00" N 02° 09' 00" W in Ghana durchgeführt – im Zeitraum zwischen Dezember 2019 und Juni 2021. Geologisch betrachtet, liegen die Standorte innerhalb der paläoproterozoischen Formationen der Tarkwaian-Gruppe. Die Tarkwaian-

Gruppe umfasst polymiktische wie auch quarzhaltige Kieselkonglomerate, Sandsteine und in geringem Umfang Argillite, Schluffe und Tuffe. Die Böden setzen sich aus eisenhaltigen Acrisolen und drystrischen Fluvisolen zusammen. Auf Basis reichlichen Vorkommens an freiem, metallischen Gold werden in diesem Gebiet mehrere seit Langem aktive handwerkliche Bergbaubetriebe unterhalten.

Probenahme, Probenvorbereitung und Laboranalyse

Bodenproben wurden in jeweils dreifacher Ausfertigung nach dem Zufallsprinzip von insgesamt 30 solchen HWB-Standorten entnommen. Die Proben kamen von drei verschiedenen Standortkategorien: untertägige Hartgesteinsgrube (UHG), Oxid- und Verwitterungsgesteinsmischung (Oxid-Mischung) und Alluvialböden. Als Referenz wurden Proben aus zehn bisher nicht vom Abbau berührten Gebieten genommen. Insgesamt wurden 100 Bodenproben entnommen und auf die Ziel-PTE-Gehalte von Cd, Zn, As, Hg und Pb (mg/kg) hin untersucht. Die Proben wurden mit Königswasser behandelt und die gewonnenen Extrakte am Buck Scientific 210VGP Atomabsorptionsspektrometer (AAS) analysiert. Der pH- und der EC-Wert der Proben

wurde mit einem PHS-3E pH-Meter bzw. Eutech EcoTestr EC bestimmt. Für die Varianzanalyse wurde SPSS, Version 26 verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Standortbeobachtungen und -bewertungen ergaben, dass das Land vor dem Bergbau an der Mehrheit der Standorte entweder für die Agrar- oder für die Forstwirtschaft genutzt wurde (Abbildung 1A). Alle beprobten Abbauflächen wurden weder saniert noch rekultiviert, sondern einfach verlassen (Abbildung 1B).

Laut Analyse wiesen die UHG-Quellen die höchsten Gehalte an Cd, Zn, Hg und As auf. Es folgten die Oxidmischung und der Alluvialboden. Für den Pb-Gehalt wurde die Reihenfolge: Oxidgemisch > UHG > Alluvialboden festgestellt, wie in der folgenden Tabelle zu sehen ist. An den Referenzstandorten waren geringe PTE-Gehalte zu verzeichnen. Die Varianzanalyse ergab signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Standorten. Durchschnittliche pH-Werte von 4,91, 5,01, 5,10 und 6,08 wurden für die UHG, das Oxidgemisch, die Alluvialböden und die Referenzmaterialien ermittelt. In Bezug auf die WHO und die EU-Qualitäts-

^{1,2} Institut für Bergbau und Spezialtiefbau



Abbildung 1: Forscher an einer HWB-Schwemmstelle in einer Ölpalmenplantage (A) und an einer abgebauten und verlassenen HWB-Stelle in einem Waldschutzgebiet (B).

Tabelle 1: PTE-Bereiche in verschiedenen Abraumquellen

Erzquelle	Probenanzahl	Cd	Zn	Hg	As	Pb
	n	PTE-Bereiche (mg/kg)				
UHG	42	4.83- 17.31	108.83- 350.11	0.24- 8.03	129.04- 458.75	9.66- 20.04
Oxidgemisch	18	5.88- 11.29	90.67-126.56	0.28- 4.65	100.02- 344.17	9.28- 34.80
Alluvialboden	30	3.61- 9.02	18.26- 27.54	0.15- 7.36	5.46- 15.94	3.07- 7.21
Referenz	10	0.0- 0.2	11.95- 31.44	0.05- 0.06	1.96- 15.06	0.0- 5.44

referenzen für landwirtschaftliche Bodenbewertungen (Rinklebe et al., 2019; Tóth et al., 2016) überschreiten die UHG-Standorte die tolerierbaren Grenzwerte (TGW) von 1,0 mg/kg und 5,0 mg/kg für Cd und As einzeln um 100 %. Der TGW-Wert für Hg von 0,5 mg/kg wurde an den einzelnen Standorten um 90 % überschritten.

Zudem haben die Proben aus den Oxidgemischquellen die Grenzwerte für Cd und As um 100 %, aber nur um 33,33 % für As übertroffen. Einzelne Alluvial-Bodenproben haben um bis zu 100 % die Cd-Grenzwerte und um bis zu 60 % die Hg-Grenzwerte überschritten. Die Zn- und die Pb-Gehalte lagen für alle Standorte innerhalb ihrer jeweiligen Auslöswerte (TAV) von 400 mg/kg bzw. 50 mg/kg. An den Referenzstandorten wurden durchschnittliche PTE-Gehalte

von 0,04, 20,59, 2,52, 0,14 bzw. 6,46 für Cd, Zn, Pb, Hg und As in einem akzeptablen Bereich gemessen, wie in Abbildung 2 dargestellt.

Die Durchgängigkeit der Grenzwertüberschreitungen in der UHG im Vergleich zu den anderen Quellen deutet auf eine hohe Mineralisierung des Muttergesteins hin, in dem das Gold vorkommt. Durch den Bergbau wurde das Muttergestein jedoch destabilisiert und somit Material in die Umwelt freigesetzt. In den Tarkwain-Bodenformationen sind As und Cd mit dem Ausgangsmaterial fest verbunden. Die große Menge an Phylliten im Boden setzt bei der Oxidation erhebliche Mengen an Sulfaten frei. Diese säurebildenden Substanzen haben die Tendenz, noch mehr PTE für die Bioakkumulation zu mobilisieren. Dies wird durch den allgemein

sauren pH-Wert von 4,91- 6,08 für alle Standorte bestätigt. Die Oxidmischungen waren im Durchschnitt PTE-reicher als die Alluvialböden (Abbildung 2). Was die Hg-Kontaminationen anbelangt, ist das Vorhandensein von Zinnober, der in den Untersuchungsgebieten nicht geogen vorkommt, in hohem Maße auf die Verwendung von Hg bei der Goldamalgamierung im Verhältnis von fast 2:1 zurückzuführen. Niedrige Rückgewinnungsraten und schlechte Handhabung sind sichere Wege, auf denen Hg während der HWB-Operationen in die Umwelt gelangt.

Da keiner der Kontrollstandorte mit den Ziel-PTEs kontaminiert war, kommt diese Studie zu dem Schluss, dass der Bergbau hohe PTE-Kontaminationen in den Böden nach dem Bergbau verursacht hat. Dabei sind

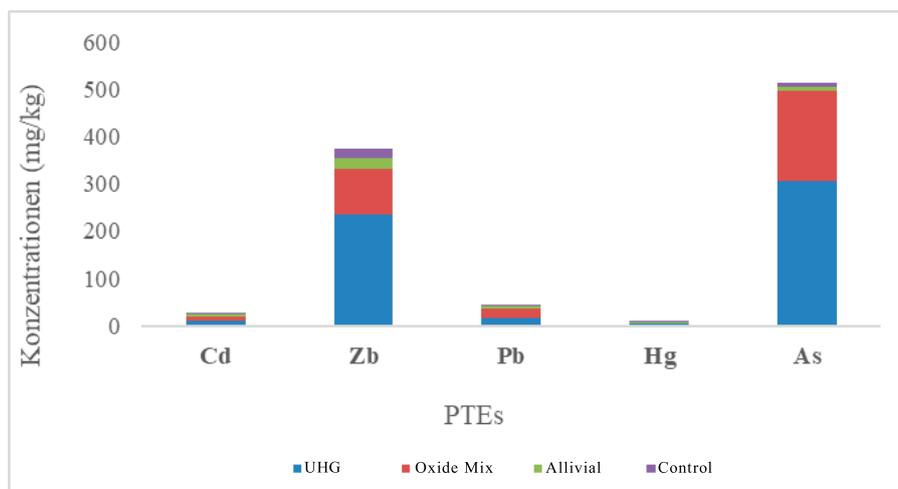


Abbildung 2: Grafische Darstellung der durchschnittlichen PTE-Konzentrationen in verschiedenen Abraumquellen.

UHG-Quellen größere Reservoirs für PTE in der Umwelt als die Oxidge-mische und alluviale Quellen. Jeder Standort war im Durchschnitt mit zwei oder mehr PTE kontaminiert. Sie alle gelten daher als ungeeignet für landwirtschaftliche Zwecke. Aufgrund der freien PTE besteht ein Toxizitätspotential für Menschen. Dieses kann durch direkte Aufnahme, Hautkontakt, Inhalation oder über die Nahrungskette akut wirken. Es wird empfohlen, dass vor einer Verwendung der Flächen für die Landwirtschaft eine angemessene Bodensanierung durchgeführt wird. An Standorten, an denen effiziente Sanierungsverfahren nicht realisierbar sind, werden Landnutzungsop-

tionen wie Biomasseanbau für die Biogasproduktion oder das Errichten von Solaranlagen durch diese Studie empfohlen.

Referenzen

- 1 Kabata-Pendias. Spurenelemente in Böden und Pflanzen. 4th ed. Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York. Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York.; 2011. 548 p
- 2 Mantey J, Nyarko KB, Owusu-Nimo F, Awua KA, Bempah CK, Amankwah RK, et al. Mercury contamination of soil and water media from different illegal artisanal small-scale gold mining operations (galamsey). Heliyon [Internet]. 2020;6(6):e04312. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04312>
- 3 Mensah MK, Mensah-Darkwa K, Drebenstedt C, Annam B V., Armah EK. Berufliche Ge-

fährungsbeurteilung von lungengängigem Minenstaub und Dieselpartikeln in einer unterirdischen Goldmine in Ghana. J Heal Pollut. 2020;10(25):1-9.

- 4 Owusu-Nimo F, Mantey J, Nyarko KB, Appiah-Effah E, Aubynn A. Spatial distribution patterns of illegal artisanal small scale gold mining (Galamsey) operations in Ghana: A focus on the Western Region. Heliyon. 2018;4(2).
- 5 Rinklebe J, Antoniadis V, Shaheen SM, Rosche O, Altermann M. Health risk assessment of potentially toxic elements in soils along the Central Elbe River, Germany. Environ Int [Internet]. 2019;126(January):76-88. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.011>
- 6 Tóth G, Hermann T, Da Silva MR, Montanarella L. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. Environ Int [Internet]. 2016;88:299-309. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.017>.

Präsentation von Forschung auf digitaler Konferenz

Paul Scapan

Als 2020 die Konferenz „Characterization and Remediation of Per- and Polyfluoroalkyl Substances and Other Emerging Contaminants“ geplant wurde, hatten sich die Organisatoren eine Präsenzveranstaltung in Leipzig erhofft. Aufgrund von steigenden Inzidenzen wurde die Konferenz auf Anfang Mai 2021 verschoben und in digitaler Form durchgeführt. Als Doktorand des Instituts für Technische Chemie nahm ich an der Veranstaltung teil.

Im Rahmen meiner Promotion beschäftige ich mich mit der Herstellung von neuen Materialien, die für die Entfernung von Schadstoffen geeignet sind. Als Basis hierfür dienen Tonminerale, welche mit organischen Stoffen verändert und zielgerichtet auf eine gute Entfernung angepasst werden. Diese Schadstoffe sind sogenannte perfluorierte Alkylsubstanzen (Kurzform PFAS oder PFC), die sich als sehr langlebig und giftig herausgestellt haben. Zudem verbleiben diese Stoffe über mehrere Jahre im menschlichen Körper. Im Alltag gewährleisten sie die wasser- und schmutzabweisende Wirkung auf Regenjacken und Pfannen. In der vergangenen ACAMONTA 27 (2020), Seite 19 ist zu den ersten Experimenten ein Bericht zu finden.

Auf der Konferenz wurde das Programm dem digitalen Rahmen angepasst: So war beispielsweise die Anzahl der Poster reduziert und Pausen erwei-



Hergestellte Tonkomposite zur Schadstoffentfernung

tert. Mein Vortrag war zum Glück nicht von den Programmeinschnitten betroffen, und so konnte ich als Vertreter aus Freiberg meine aktuellen Forschungsergebnisse im Rahmen eines wissenschaftlichen Vortrags vorstellen. Die Vielzahl der Fragen zum neuen Komposit zeigt, wie hochaktuell das Thema ist. Besonders positiv war zu sehen, dass wir in Freiberg weltweit mit an der Spitze arbeiten.

Dem Verein für Freunde und Förde-

rer der TU Bergakademie Freiberg e.V. möchte ich herzlich für die finanzielle Unterstützung zur Teilnahme an der Konferenz danken.

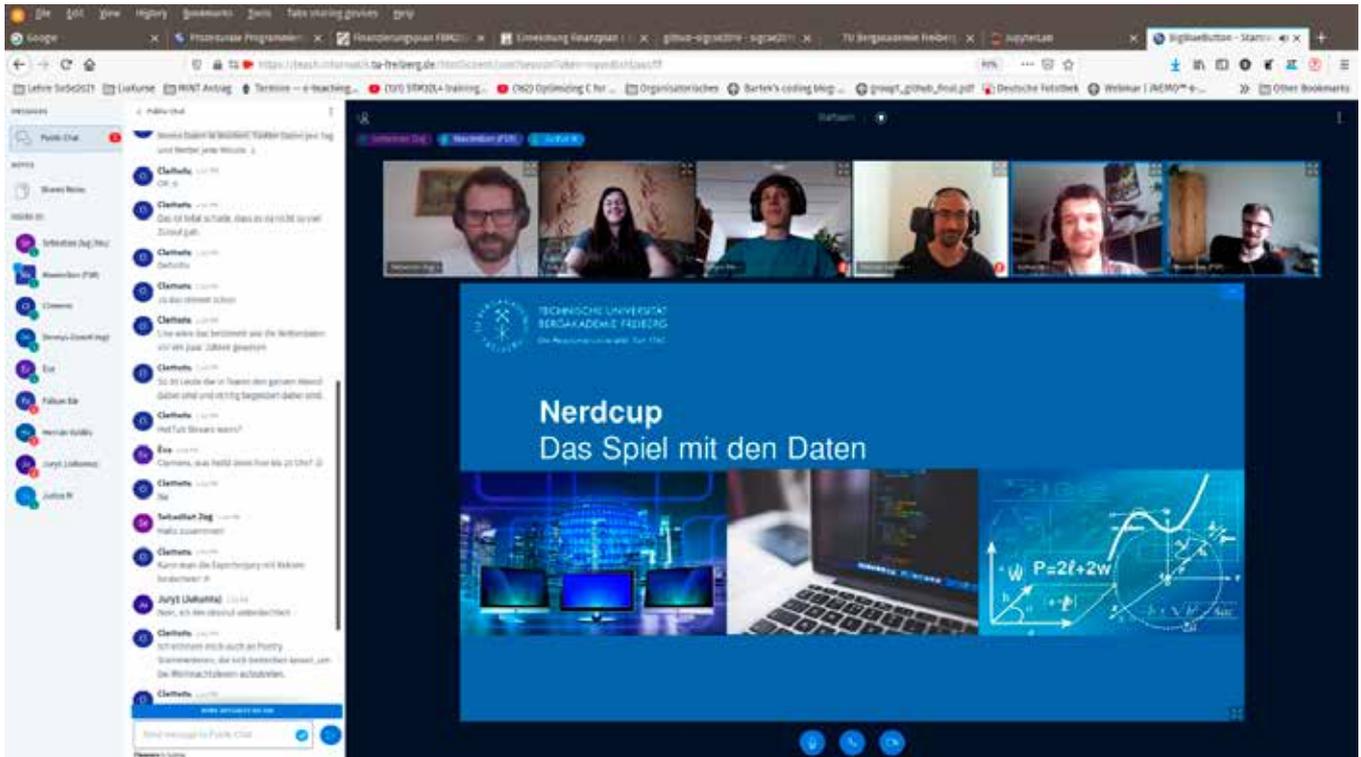
Glück Auf!
Paul Scapan

Kontakt

M. Sc. Paul Scapan, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg

Nerdcup – Das Spiel mit den Daten

Maximilian Schwabe



Im Rahmen der vom Freiburger StuRa organisierten „Studitage“ veranstaltete der Fachschaftsrat der Fakultät 1 den Hackathon „NerdCup“. Dieser war die Fortsetzung des „Alle Wetter“-Projekts, das im vergangenen Jahr noch in Präsenz stattfinden konnte. Dabei waren die Teilnehmerinnen und Teilnehmer aufgefordert, mithilfe von Mikrocontrollern und Sensoren innerhalb einer Nacht prototypische Setups zur Datenaggregation, Visualisierung und Nutzerinteraktion zu verwirklichen. Da sich diese Veranstaltung eher an Studierende der Informatik, Robotik und Ingenieurwissenschaften richtete, sollte der Nerdcup die Kompetenzen der Mathematikerinnen und Mathematiker erst recht herausfordern.

Ziel war es, gewissen Freiburger Datensätzen ihre Geheimnisse zu entlocken und interessante Hypothesen durch geeignete Analysen zu verifizieren. Dafür hatten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer einen Tag Zeit, wobei die Fragestellungen mal mehr, mal weniger ernst gemeint sein durften. Die verfügbaren Datensammlungen reichten von lokalen Wetterdaten über Erhebungen zum

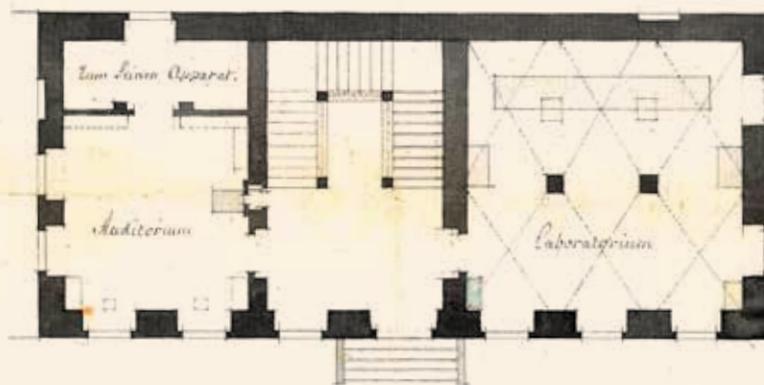
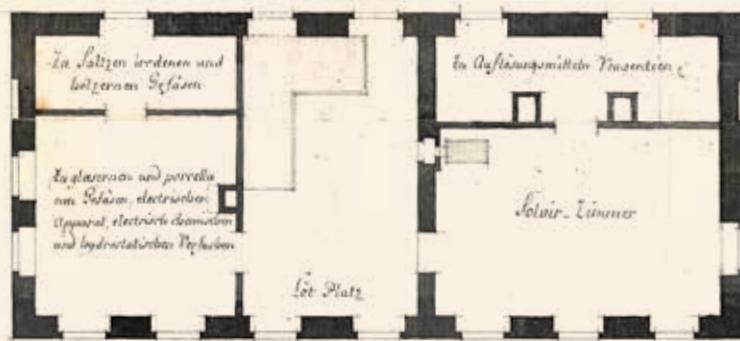
Wahlverhalten einzelner Besuchergruppen in der Mensa, den aktuellen Corona-Kennndaten aus Freiberg bis hin zu den Twitter-Aktivitäten an der Bergakademie. Während für die erstgenannten das Material schon vorbereitet war, mussten sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer die letztgenannten Datensätze zunächst mithilfe einer entsprechenden Programmierschnittstelle selbst beschaffen bzw. erarbeiten.

Das Mensa-Thema wurde durch die Teams bevorzugt aufgegriffen. Zeitreihenuntersuchungen und Hauptkomponentenanalysen zeigten, dass es signifikante Unterschiede bei der Essenswahl zwischen Mitarbeitern und Studierenden gibt. Dies betrifft nicht nur den „Einbruch“ der Zahl der während der vorlesungsfreien Zeit an Studierende ausgegebenen Mahlzeiten, sondern auch die Art der servierten Gerichte. Während bei Studierenden die Wahl eher auf den Campusteller bzw. auf vegetarisches Essen fällt, legen Mitarbeiter ein viel diverseres Essverhalten an den Tag und wählen wesentlich breiter gefächert aus dem Angebot. Allerdings scheint auch diese Gruppe den Cam-

пустeller zu bevorzugen. Perspektivisch interessant sein dürfte zudem die Prognose der künftigen Entwicklung der Zahl der ausgegebenen Portionen auf Basis der Zahlen aus den vergangenen Jahren. Unter Berücksichtigung der corona-bedingten Rückgänge ist von einem weiteren Anstieg auszugehen.

Auch der reine Online-„Nerdcup“ war ein großer Erfolg, denn er generierte nicht nur interessante Ergebnisse, sondern gab den Teilnehmerinnen und Teilnehmern die Gelegenheit, ihre Kenntnisse zur Datenanalyse sehr praktisch anzuwenden.

Besonderer Dank gilt an dieser Stelle Herrn Professor Zug, der uns bei der Planung der Aktion unterstützend zur Seite gestanden hat – sowie den Freunden und Förderern der TU Bergakademie Freiberg e. V. durch die das Engagement der Teilnehmerinnen und Teilnehmer mit einem Preisgeld von insgesamt 50 € in Form von Freiberg-Gutscheinen belohnt wurde.



Historie

Blick in die VFF-Geschichte

VFF-Kurzchronik 1921-2021 – Eine Zusammenfassung der Autorenbeiträge in der Festschrift des VFF zum 100-Jahre Jubiläum

Hans-Jürgen Kretzschmar

Einleitung

Die Chronik 1921-2021 des „Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e.V.“ ist erschienen und in der VFF-Geschäftsstelle erwerbbar. Damit liegt über die wechselvolle Geschichte des VFF erstmalig eine geschlossene Dokumentation vor.

Der Förderverein der Bergakademie Freiberg wurde am 03.12.1921 gegründet, um die Bergakademie in der Notlage nach dem Ersten Weltkrieg materiell und ideell zu unterstützen. Nach 1918, als sich die gewohnten Gesellschaftsstrukturen in der jungen, machtarmen Weimarer Republik auflösten, war Selbsthilfe an den deutschen Hochschulen erforderlich, die sich für Deutschland in der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaften und für Freiberg in der „Gesellschaft der Freunde der Bergakademie“ manifestierte. Allerdings war diese organisierte Unterstützung nicht ganz neu, weil vorherige Stiftungen wie beispielsweise die „Stipendienkasse“ (1702) oder die „Braunkohlenstiftung“ (1918) ähnliche Förderziele verfolgten.

Die Vereinsgründung Zeit der Weimarer Republik 1921-1933



Abb. 1: Aufruf zur Gründung einer akademischen Fördergesellschaft an der Bergakademie Freiberg (UAF, GF 21)

„In immer steigendem Maße erschweren es die Teuerungsverhältnisse allen Hochschulen und so auch der Bergakademie Freiberg, die ihren obliegenden Aufgaben der Forschung und Lehre zu erfüllen und eine genügende Anzahl wissenschaftlich und praktisch auf der Höhe stehender junger Männer herauszubilden, wie sie die Industrie in Zukunft mehr denn je braucht!“

Mit diesem Satz beginnt am 27. April 1921 der Aufruf zur Gründung einer akademischen Fördergesellschaft an der Bergakademie Freiberg. Diesen Gründungsauftrag unterzeichneten das Professorenkollegium der Bergakademie und zahlreiche Industrievertreter.

Infolgedessen konnte die Vereinsgründung mit gleichzeitiger Genehmigung der Satzung der „Gesellschaft der Freunde der Bergakademie Freiberg e.V.“ (GSF) am 3. Dezember 1921 in der Aula vorgenommen werden. Die Satzung bestimmte u.a. den Zweck der GSF, „die Bergakademie und ihre Studierenden bei Erfüllung ihrer Aufgaben auf den Gebieten der Forschung und Lehre zu beraten und zu unterstützen und eine enge und dauernde Verbindung zwischen der Hochschule, ihren ehemaligen Angehörigen und den ihr nahestehenden Kreisen herzustellen.“

Nach Beendigung der Hyperinflation und der Währungsreform am 1.11.1923 konnten in den sechs Jahren von 1924 bis 1929 den Studierenden und Instituten etwa 100 Tausend Reichsmark (nach Kaufkraftschätzung etwa 500 T €) bereitgestellt werden. Dabei betrug der Mitgliedsbeitrag für Personen 100 RM/a (ca. 500 €), für Firmen 500 RM/a (ca. 2.500 €). Durch diese hohen Beiträge finden sich keine Studierenden in der Mitgliedschaft. Sie wurden jedoch im Verwaltungsrat und in der Mitgliederversammlung mit beratender Stimme gehört. Der Verein hatte am 1. Juni 1922 518 Mitglieder, 1924 erreichte er einen Höchststand von 713 Mitgliedern, 1929 sank die Mitgliederzahl auf 644, wobei am 13.11.1931 nur noch 26 Personen an

der Mitgliederversammlung teilnahmen. Die GSF wurde von einem Vorstand (z. B. Prof. Treptow 1921-1930, Prof. Kögler 1930-1933 als Geschäftsführer) und einem 30-köpfigen Verwaltungsbeirat geführt, die in den Hauptversammlungen gewählt und kontrolliert wurden. Im Jahr 1931 übernahm die GSF die Herausgeberschaft der „Blätter der Bergakademie Freiberg“ als Zentrales Mitteilungsorgan der Hochschule, als Deckblatt in Abbildung 2 gezeigt.



Abb. 2: Titelblatt der ersten Ausgabe der „Blätter der Bergakademie Freiberg“ 1929

In den Jahren der Weimarer Republik hat sich die GSF zielgerichtet und satzungsgemäß entwickelt. Es wurde ein Netzwerk von Förderern gebildet und die Bergakademie wirksam ideell wie finanziell unterstützt.

Die Zeit des Dritten Reiches Die GSF im Nationalsozialismus 1933-1945

Treue zur Republik gemäß dem Eid der Beamten auf die Verfassung oder ein Wechsel mit wehenden Fahnen in das Lager des nationalsozialistischen Siegers? Für die GSF beantwortete sich diese Frage zwischen zwei regulären Mit-

gliederversammlungen 1932 und 1933 von selbst. Anpassung war durch Abwarten möglich. Die nationalsozialistische Herrschaft hatte sich mit der Gleichschaltung aller Organisationen bis zur GSF-Versammlung am 13.11.1933 unweigerlich etabliert. An diesen Tagen führte der Rektor Friedrich Schumacher, stellvertretender GSF-Vorsitzender, aus: „Neben dem Dienst am neuen Staate wird dem Rektor das Verhältnis zur studierenden Jugend ganz besonders am Herzen liegen. Mit aller Macht drängt die Jugend heute nach oben ... Als Freunde wollen wir jeder nach seinen Kräften in Zukunft am neuen Staate mit bauen helfen.“

Die breite Mehrheit der GSF-Mitglieder übertrug ihre Unterstützung, Zustimmung, abwartende Haltung oder innere Resignation aus dem Alltag auch auf das GSF-Vereinsleben. Der Geschäftsführer der GSF Prof. Franz Kögler schließt den Geschäftsbericht 1932/33 noch mit dem Gruß eines „Herzlichen Glückauf!“. 1934 hieß es bereits „Mit Glückauf und Heil Hitler“. Die Ausweitung der Finanzkrise des Dritten Reiches führte 1935 zur Aberkennung der vollen GSF-Gemeinnützigkeit und damit zur bezweckten Steuerzahlung an den Fiskus. Infolgedessen mussten 5-10 % des Jahresbudgets an den Staat abgeführt werden. Die Geschäftstätigkeit der GSF zur Unterstützung der Wissenschafts-Förderung an der Bergakademie und zur Mitgliederbetreuung verlief „fast routinemäßig“ weiter: Das Vereinsvermögen wuchs in den Jahren 1933-1943 von 66 T RM auf 94 T RM an. 1944 erreichte es 204 T RM durch eine Sonderspende der Deutschen Industrie, die aber nicht mehr umsetzbar war. Die Einnahmen und Ausgaben bewegten sich zwischen 22 und 16 T RM jährlich. Der letzte ordentliche Geschäftsbericht wurde 1939/40 der letzten Hauptversammlung vorgelegt. Danach wurden nur noch tabellarische Jahresbilanzen aufgestellt, so die Auswirkungen des Weltkrieges aufzeigend.

Die Mitgliederzahl fiel von 1933 (615) bis 1937 auf 540, um bis 1941 auf 565 anzusteigen, danach aber wieder bis 1945 auf 507 abzufallen. Diese Schlusszahl spricht aber nicht für ein Erlöschen der GSF in Kriegszeiten. Die meisten Mitglieder rekrutierte die Gesellschaft aus dem mitteldeutschen Raum, speziell aus den Kohlengebieten, mit Schwerpunkt Freiberg und Zwickau; Repräsentanten

von Rhein-Ruhr und Bayern waren selten. Ausländische Mitglieder kamen aus Europa, Amerika und Asien. Darunter war als ein hervorragendes Mitglied Dr. Moritz Hochschild als großzügiger Unterstützer der Bergakademie zu nennen. Er, der Student und Promovend in Freiberg, Erzbergbau-Unternehmer in Südamerika („Zinnbaron“ von Bolivien), Humanist und Weltbürger, gilt als der „Schindler“ von Südamerika, da er etwa 9.000 Juden die Emigration aus Europa nach Bolivien ermöglichte und nach dem Krieg ein einheitliches Europa förderte. Auch dafür wurde ihm 1961 das Bundesverdienstkreuz Deutschlands verliehen.

In den studentischen Verbindungen und Korps sahen die Nazis bis 1935 die letzten legalen Schlupfwinkel für ein unbeeinflussbares Gesellschaftsleben. Dieser „Widerstand“ brach jedoch 1936 zusammen. Die Burschenschaften und Corps mussten ihre Corps-Häuser verkaufen. Im Fall des Hauses der Saxo Borussia sprang die GSF ein und erwarb dieses Haus als „Weisbach-Haus“ (Abb. 3) gemäß Geschäftsbericht 1936/37, um es als akademische Begegnungsstätte zu erhalten.



Abb. 3: Weisbachhaus in Freiberg, Leipziger Straße. Während der DDR-Zeit nutzte die Bergakademie das Gebäude für verschiedene Zwecke.

Die Führung der GSF mit Vorstand und Verwaltungsrat blieb auch im Dritten Reich in der Struktur unverändert. Sechs Ehrenmitgliedschaften wurden ausgesprochen. Auch die „Blätter der Bergakademie Freiberg“ wurden weiter herausgegeben und sogar ins Feld geschickt zur Freude der „Frontsoldaten“.

Der GSF-Vorstand stellte im Geschäftsbericht 1939/40 für die „Zeit nach dem Kriege“ die nächste Hauptversammlung zusammen mit der nachzuholenden 175-Jahr-Feier der Bergakademie in Aussicht: „Hoffen wir, dass wir beide

Veranstaltungen nach siegreicher Beendigung des Krieges in einem neuen, fest gegründeten Deutschland in unserer alten Bergstadt Freiberg begehen können.“

Die GSF setzte ihre Entwicklung nach dem Krieg glücklicherweise in der Gesellschaftsform einer parlamentarischen Demokratie als eine Vereinigung (VAF) und danach folgend wieder als Verein (VFF) erfolgreich fort.

Nachkriegszeit bis Wiedervereinigung Deutschlands

Das Interregnum: Die Vereinigung Alter Freiberg Berg- und Hüttenleute der Bergakademie Freiberg 1951-1996

Die GSF war im August 1945 auf Befehl der sowjetischen Besatzungsmacht aufgelöst und enteignet worden. Von 1949 bis 1990 bestand in der sowjetischen Besatzungszone und der DDR aus politisch-ideologischen Gründen keine Möglichkeit zur Weiterexistenz der GSF. Zumindest in Teilen springt nun dankenswerterweise die in Essen 1950/51 gegründete „Vereinigung der Alten Freiberg Berg- und Hüttenleute der Bergakademie Freiberg/ Sa.“ (VAF) in die Kontinuität des bisherigen Vereins ein.

Nach Kriegsende lebten viele GSF-Mitglieder in den westdeutschen Besatzungszonen. Am 16. Dezember 1949 rief der ehemalige Freiberg Student Gerhard Philipp, Geschäftsführer des Untermeyersverbandes des Aachener Steinkohlenbergbaus, einige „Alte Freiberg“ zusammen mit der Idee, den VAF gewissermaßen als Ersatz für die aufgelöste GSF „zur Pflege der Tradition und des Geselligkeitsgefühls wie auch von Geselligkeit und Wissenschaft“ zu gründen. Die Idee „stieß auf einhellige begeisterte Zustimmung“. Am 1. April 1950 fand eine erste Versammlung Freiberg Absolventen in Essen statt, die „11 Herren“ zur organisatorischen Vorbereitung der VAF-Gründung auswählte. Über 100 „Alte Freiberg“ (aus über 400 Adressen ehemaliger Freiberg Studenten) trafen sich am 14.04.1950 in Essen zum „1. Tag Alter Freiberg“ mit „ihrem einmütigen Willen zum Zusammenschluss“. Die VAF-Gründung wurde am 24.11.1951 abgeschlossen beim „2. Treffen Alter Freiberg“, auf dem die Satzung der „Vereinigung Alte Berg- und Hüttenleute der Bergakademie Freiberg/Sa.“ beschlossen und ein Vorstand sowie ein Beirat gewählt wurden.

VAF-Mitglied konnten „alle ehemaligen Studierenden, Professoren, Ehrensenatoren, Assistenten und Doktoranden des Berg- und Hüttenfaches sowie angrenzender Fachrichtungen der Bergakademie Freiberg“ werden.

Dem VAF-Vorstand gehörten Walter Lippe (Vorsitzender bis 1963), Gerhard Philipp (Kassenwart bis 1957) und Reiner Ahren (Schriftwart bis 1958) an, alle ehemaligen Korporationsstudenten der Bergakademie Freiberg. Der Vorsitz wurde in der Folgezeit von R. Meyer (bis 1983), D. Zimmermann (bis 1987) und C.-H. Meyer (bis 1996) übernommen. Weitere Vorstandsmitglieder waren E. Krippner (bis 1980), C. Straßburger (bis 1996), G. Philipp (bis 1966), und M. Hampel (bis 1996). Die ersten 32 Jahre des VAF wurden von der Vorkriegsgeneration gestaltet, der im Generationswechsel bis zur VAF-Auflösung 1996 die Nachkriegsgeneration folgte.

Von den insgesamt 450 angeschriebenen Alten Freibergern im Westen Deutschlands traten 340 der VAF bei (Beiträge: 5 DM/a bis 1971, 10 DM/a bis 1979, 20 DM/a bis 1996). Die Mitgliederzahl reduzierte sich altersbedingt kontinuierlich bis zur Auflösung (1990: 143, 1996: 100).

Die VAF war in den über vier Jahrzehnten ihres Bestehens stets bemüht, die enge Verbindung zur Bergakademie in Freiberg zu erhalten, was unter der strikter werdenden Teilung Deutschlands und des Kalten Krieges in Europa nicht einfach war.

Ab 1951 wurden die Berg- und Hüttenmännischen Tage (BHT) privat besucht. Persönliche Kontakte wurden zu den Professoren Fritzsche, Weigel, Schumacher und Kegel gepflegt. Exkursionen aus Freiberg wurden bis 1957 gern empfangen und begleitet. 1961 kurz vor dem Mauerbau nahm Prof. Wrana in Vertretung des verhinderten Rektors an der 10-Jahres-Feier des VAF teil. Zur 200-Jahrfeier der Bergakademie im November 1965 reisten 65 VAF-Mitglieder, die sich dahingehend geäußert hatten: „... dass möglichst viele Alte Freiberg an der 200-Jahr-Feier teilnehmen sollten, um den Bewohnern Mitteldeutschlands eine moralische Stütze zu geben“. Der VAF-Vorstand überbrachte offiziell in der Rektor-Gratulationscour die Grüße und ein Gastgeschenk. Eine analoge 200-Jahrfeier wurde später am 19. März 1966 in Essen durchgeführt. Zur 25-Jahrfeier des VAF konnte leider

kein Bergakademievertreter begrüßt werden, die politischen Verhältnisse hatten sich negativ entwickelt. Das änderte sich 1986 zur 800-Jahrfeier Freibergs, als eine 31-köpfige VAF Besuchergruppe eine Woche in Freiberg weilte und begeistert zurückkehrte. Das letzte Jubiläum fand in Bochum im März 1991 zum 40-jährigen Bestehen der VAF statt. Leider nahm daran kein Vertreter der Bergakademie teil, weil im wiedergegründeten Verein VFF noch Vorstandsänderungen liefen und an der Bergakademie Entlassungen und Neuberufungen von Professoren anhielten. Allerdings beteiligte sich Prof. Wagenbreth persönlich mit dem Vortrag „Der Bergbau im Erzgebirge und die Bergakademie Freiberg“ an der Feier und beantwortete in intensiven Gesprächen die vielen Fragen zur Situation der Bergakademie im vereinigten Deutschland.

Die Alten Freiberg, zu denen in den 80er Jahren immerhin etwa 100 „junge“ Freiberg gestoßen waren, konnten nun frei, ungehindert ihre alma mater Bergakademie kontaktieren und zum wiedergegründeten Verein VFF in Freiberg Verbindung aufnehmen. Der VAF-Vorstand nahm frühzeitig Kontakt zum VFF-Vorstand auf und entsandte seinen Kassenwart Prof. Straßburger bis 1994 in den gewählten VFF-Vorstand. Gleichzeitig empfahl der VAF-Vorstand seinen Mitgliedern die persönliche Mitgliedschaft im „neuen“ VFF. Die VAF selbst trat 1991 als kooperatives Mitglied dem VFF bei: „Bewusst oder auch unbewusst hatte die VAF die Statthalterrolle für den in der DDR aufgelösten Verein der Freunde und Förderer der Bergakademie Freiberg/Sa. übernommen gehabt. Diese Aufgabe war nun erfüllt.“

Es lag nun nahe, über die Auflösung der VAF nachzudenken. In der letzten VAF-Mitgliederversammlung am 27. Juli 1996 wurde die Auflösung der VAF zum Jahresende 1996 beschlossen. Der daran teilnehmende VFF-Geschäftsführer Prof. Flemming würdigte dankend die Arbeit des VAF über die letzten 40 Jahre, mit der der Ruf der Bergakademie hochgehalten wurde, was aus politischen Gründen in Freiberg selbst nicht geschehen konnte. Etwa 40 VAF-Mitglieder waren dem VFF beigetreten, somit auch die Vereinskontinuität der Freunde der Bergakademie Freiberg während. Der „Montangeist“ der „Alten VAF“ wirkt weiter im wiedergegründeten VFF.

Wiedergründung im vereinigten Deutschland Zeit von der Wiedergründung 1990 bis heute 2021

Während der friedlichen Revolution und in den ersten Monaten des Jahres 1990 mit der beginnenden kompletten Reorganisation an den ostdeutschen Universitäten waren Gedanken an eine Wiedergründung des im August 1945 verbotenen Fördervereins der Bergakademie Freiberg zunächst nicht gegenwärtig. Jedoch kamen bald diesbezüglich Anregungen von der Partneruniversität TU Clausthal in das Freiburger Rektorat, die während der 225-Jahrfeier der Bergakademie im Juni 1990 vertieft wurden. Schließlich wurde am 25. Juli 1990 eine Vereinssatzung durch sieben Gründungsmitglieder unter Prof. Werner Arnolds Leitung beschlossen und der Verein „Freunde und Förderer der Bergakademie Freiberg e.V.“ (VFF) mit Schreiben vom 1. August 1990 beim Finanzamt angemeldet. Die Gründungsversammlung des VFF erfolgte im Rahmen des BHT am 13. November 1990 im Agricola-Saal der Universitätsbibliothek (Abb. 4).



Abb. 4: Blick in die Mitgliederversammlung am 13. November 1990

Am 8. Februar 1991, dann schon mit 168 Vereinsmitgliedern, war die Vorstandsbildung unter dem Vorsitz von Prof. Arnold abgeschlossen. Die Vereinssatzung formulierte die VFF-Hauptziele:

- Förderung von Wissenschaft und Forschung sowie des traditionellen Brauchtums, welche die Verbindung zur alma mater fribergensis stärken soll
- Förderung von wissenschaftlichen Veranstaltungen, speziellen Lehrprojekten und Unterstützung der Studierenden der Bergakademie Freiberg
- Förderung der Beziehungen zwischen der Montanindustrie Deutschlands und der Bergakademie Freiberg.

Auf dieser Satzungsbasis stellte sich

der Vereinsvorstand die konkreten Aufgaben

- Schneller Vermögensaufbau für die Förderziele
- Intensive Mitgliederwerbung
- Nahtloser Übergang der VAF in den VFF
- Bildung von Förderkreisen/Fachgruppen unter dem VFF-Dach
- Preisvergaben an Studierende und Lehrkräfte für hervorragende Leistungen
- Herausgabe einer jährlichen Vereinszeitschrift (ACAMONTA)

Darüber hinaus wurden die jährlichen Jahresmitgliederversammlungen mit anschließender Barabarafeier auf die erste Adventwoche festgelegt. Die rasche Mitgliederentwicklung manifestiert sich in den Hauptzahlen: 500 in 1994, 1000 in 2005, 1500 in 2020. Darin zeigt sich die „Familie Bergakademie“, selten weisen andere Universitäten ähnliche Zahlen auf.

Auf der Basis eines schnellen Vereinsaufbaus gelang eine vielseitige finanzielle Förderung von Studierenden und Instituten. Insgesamt wurden in den 30 Jahren seit VFF-Wiedergründung 2,5 Mio. € direkt aus dem VFF-Vermögen, 6,5 Mio. € indirekt aus den verwalteten Zweckprojekten, also summarisch 9 Mio. € für Lehre und Forschung bereitgestellt.

Neben diesem Normaletat gestaltete der VFF temporäre Sonderfonds für aktuelle Vereins- und Universitätsaufgaben wie z.B.

- Barabarafonds für Migrant-Studierende (50 T €) ab 2015
- Corona-Hilfsfonds für notleidende Studierende (125 T €) ab 2020
- Studierende-Leistungsfonds und Deutschlandstipendium (30 T €) ab 2014
- Alumnibetreuung im TU-Auftrag (600 T €) ab 2013-2020.

Für solche Spezialfonds ist die Flexibilität und Schnelligkeit der VFF-Arbeit besonders nützlich. Gleiches gilt auch für die Entwicklung und das Management von persönlichen Stiftungen. Die TU Bergakademie Freiberg ist seit Abraham Gottlob Werner auch ein Mineralogisches Zentrum der Welt. Das begeistert auch Stifter, die ihren Nachlass darauf richten. Dank einer Erbschaft von Herrn Günter Heinisch aus Hof konnte der VFF die „Günter Heinisch-Stiftung des Fördervereins VFF für die

Geowissenschaftlichen Sammlungen in Freiberg“ mit einem Startkapital von 1,5 Mio. € gründen und ausbauen (Abb. 5).

Die mineralogischen Sammlungen der TU Bergakademie erfreuen sich einer jährlichen Förderung aus dieser Stiftung.



Abb. 5: Stifter Günter Heinisch (r.) und Andreas Massanek in Gemeinschaft

Der VFF setzt mit der Herausgabe der Jahreszeitschrift ACAMONTA als ein Jahreskompendium der TU Bergakademie die Tradition der „Blätter der Bergakademie Freiberg“ fort. Dank der hervorragenden Arbeit eines Redaktionsteams, früher unter Leitung des unvergessenen Prof. Roewer, jetzt der aktiven Frau Wulkow, erfreut sich diese Zeitschrift hoher Wertschätzung. Mitherausgeber sind die TU Bergakademie und das VFF-Ehrenmitglied Frau Dr. Erika Krüger, eine großzügige Stifterin und Spenderin, die sich an manchen Sonderfonds gebend beteiligt.

Der VFF hat sich seit 1997 an der Alumni-Betreuung der Universität beteiligt, besonders stark in den Jahren 2013 bis 2020 im TU-Auftrag. Zwei Alumni-Beauftragte, Frau Stefanie Preißler und Frau Dr. Constance Bornkamp, leisteten diese Arbeit mit den Hauptaufgaben:

- Entwicklung und Betreuung einer Software-basierten Alumni-Datenbank (4.400 Nutzer)
- Gründung und Belebung des „Freiberger Alumni Netzwerks“ (FAN)
- Alumni-Gruppenbetreuung in Freiberg im Rahmen von Absolvententreffen (500 Personen jährlich) sowie Goldenen/Diamantenen Diplomen und Promotionen (200 Personen jährlich) (Abb. 6)
- Zahlreiche Alumni-Veranstal-

tungen wie Stammtische, Nacht der Wissenschaft, Einzelkontakte, Infoblatt TUBALUM.

Diese Alumni-Arbeit ist für jede Universität wichtig, um einerseits die „alten“ Absolventen als Freunde und Förderer zu erhalten, andererseits „junge“ Studierende auf Empfehlung der „Alten“ zu gewinnen.



Abb. 6: Goldene Diplome für eine Gruppe Geologen 2017 im Audimax

Mit dem hohen Traditionspotenzial der TU Bergakademie Freiberg als welt-offenes technisches Bildungsinstitut ergibt sich für den VFF auch ein hoher Anspruch an die Traditionspflege. Die vielfältigen Aktivitäten sind nur stichwortartig zusammengefasst:

- Barabarafeiern mit Ehrenarschleider-Verleihungen (Abb. 7)
- Pflege und Restaurierung historischer Professorengräber auf dem Donatsfriedhof
- Einrichtung des Freiburger Gelehrtenweges mit Denkmal-Errichtungen sowie des holzkünstlerischen Gelehrtenzuges der Manufaktur Werner aus Seiffen
- Ankauf von wertvollen Archivalien z.B. historisches Gästebuch der Bergakademie mit Eintrag J. W. v. Goethe
- Beteiligung an montanhistorischen Ausstellungen
- Aufstellung einer St. Barbara-Statue im Silber-Gewand im Foyer des Rektorats zur 250-Jahrfeier der TU Bergakademie (Abb. 8)



Abb. 7: Vergabe des Ehrenarschleiders 2019 an Professor Helmuth Albrecht für seine Verdienste um das UNESCO-Welterbe



Abb. 8: Die silberne St. Barbara Statue im Foyer des Universitätshauptgebäudes, Akademiestraße 6

- Der VFF blickt dankbar und sorgenfrei auf die 30 Jahre seit Wiedergründung 1990/91 und auf die 100 Jahre seit Erstgründung 1921 zurück. In Vertrauen auf die treuen Vereinsmitglieder als Freunde und Förderer der TU Bergakademie sehen wir zuversichtlich in das zweite Jahrhundert mit den wesentlichen Aufgaben:
- Finanzierung der Studierenden, Institute und der Universität
- Plattformen und Netzwerke für Projekte der Lehre und Forschung
- Ausbau des Stiftungswesens
- Menschliche Begegnungen von Freunden und Förderern

Glück auf!

Mit Web-GIS gewürdigt – Julius Weisbach (1806-1871)

Konrad Grossehelweg

Seine Lehrbücher prägten die Ausbildung in der technischen Mechanik des 19. Jahrhunderts. Mit dem Projekt „Catch-Ing.“ erinnern der Verein Deutscher Ingenieure und die TU Bergakademie Freiberg nun in fortschrittlichster Weise an das erste Ehrenmitglied des VDI.

Am 24. Februar 2021 jährte sich der Todestag von Julius Ludwig Weisbach zum 150. Mal. Der Professor für angewandte Mathematik, Bergmaschinenlehre und Markscheidekunst war einer der führenden deutschen Ingenieure im 19. Jahrhundert und gehört zu den bekanntesten und einflussreichsten Wissenschaftlern der heutigen Technischen Universität Bergakademie Freiberg. Seine Lehrbücher wurden in mehrere Sprachen übersetzt. Er erhielt 1860 als erste Persönlichkeit überhaupt die Würde eines Ehrenmitglieds des Vereins Deutscher Ingenieure zugesprochen.

Das großzügig durch den VDI geförderte Projekt „Catch-Ing. Mit Web-GIS auf den Spuren des ersten Ehrenmitglieds des VDI, Julius Ludwig Weisbach (1806-1871)“ macht Leben und Werk Weisbachs an authentischen Orten sichtbar und erschließt es so für breite Interessentengruppen. Die Darstellungsform einer interaktiven Karte als Web-GIS-Anwendung bietet eine neue Möglichkeit, Begeisterung für die Geschichte von Maschinenbau, Vermessungswesen und Hydraulik zu wecken. Die digitale Kartenanwendung auf Basis der Auswertung historischer Quellen verweist auf die Lebensstationen Weis-



bachs. Zusätzlich erfolgt eine Darstellung des wissenschaftlichen Wirkens des Mathematikers und Ingenieurs in seiner ganzen fachlichen Breite.

Neben wichtigen Erkenntnissen auf den Gebieten der Hydraulik umfassten Weisbachs Arbeiten Verbesserungen in der Markscheidekunst, die Weiterentwicklung der Bergmaschinen- und der Maschinenlehre sowie der angewandten Mathematik. Durch diese Aktivitäten trug Weisbach maßgeblich zur frühindustriellen Mathematisierung des Ingenieurwesens bei.

Wie läuft das Wasser aus der Leitung, wann läuft es überhaupt? Die Darcy-Weisbach-Gleichung ist das Resultat der Arbeiten Weisbachs auf dem Gebiet der

Hydraulik. Die Kustodie der TU Bergakademie Freiberg präsentiert die originalen Messinstrumente im Weisbach-Zimmer des nach ihm benannten Institutsgebäudes.

Durch die Kombination eines Theodoliten mit Nivellierinstrumenten verbesserte Weisbach die zeitgenössische Markscheidekunst. Der sogenannte „Rothschönberger Stolln“, das Jahrhundertprojekt des sächsischen Bergbaus, dessen Bau 1844 begann und dessen Fertigstellung 1877 Weisbach nicht mehr erlebte, diente ihm vielfach als praktische Referenz. Seine theoretischen Arbeiten und seine praktischen Erfahrungen prädestinierten Weisbach dazu, die europäische Gradmessung im damaligen Königreich Sachsen zu koordinieren und sich an den Vermessungen auch selbst zu

beteiligen.

Mehrere Lehrbücher Weisbachs verbinden Mathematik und Mechanik als

Kontakt

Konrad Grossehelweg, M.Sc.,
Konrad.Grossehelweg@iwtg-tu-freiberg.de

Link zur Webseite

<https://tu-freiberg.de/fakult6/technikgeschichte-und-industriearchaeologie/history-to-go/catching-auf-den-spuren-von-julius>

QR-Code zur Webseite



physikalische Grundlagendisziplinen mit dem Ingenieurwesen. Die angewandte Mathematik entwickelte er im Hinblick auf verbesserte dreidimensionale Abbildungen weiter.

Bekanntester Schüler Weisbachs dürfte Gustav Anton Zeuner sein, nachmalig Direktor des Eidgenössischen Polytechnikums in Zürich, der heutigen ETH Zürich. Weisbach war Onkel von Clemens Alexander Winkler, des Entdeckers des chemischen Elements Germanium.

Im Projekt des Instituts für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte der TU Bergakademie Freiberg wird unter anderem Weisbachs gutachterliche Tätigkeit im Auf-

trag der sächsischen Montanverwaltung mit historischen Bildern und Zeichnungen sowie beigegebenen Erläuterungen durch den Gebrauch der interaktiven Web-GIS-Karte sichtbar. Weisbachs Arbeit an einem konkreten Ort wird dabei, sofern vorhanden, unterlegt, durch einen zeitgenössischen Riss der Grube, durch Übertageaufnahmen der heutigen Situation und gegebenenfalls mit Untertageaufnahmen des Grubengebäudes. Der Bildbestand sowie historische Unterlagen sind durch Archivrecherchen, Bibliotheksarbeit und die Abfrage von Bildmaterial in Museumsbeständen sowie gegebenenfalls durch wissenschaftlich ausgewiesene Lokalhistoriker ermittelt und zusammengeführt. Hinzu

kommen die aus der Arbeit Weisbachs überlieferten Artefakte in der Sammlung markscheiderischer Instrumente und in der Weisbach-Sammlung der TU Bergakademie Freiberg, die die Objekte seiner Experimente zur Hydraulik bewahrt. Einer der Höhepunkte der Präsentation ist die Vorführung des historischen Maschinenmodells der auf der „Alten Mordgrube“ errichteten Wassersäulenmaschine, das sich heute im Universitätsmuseum der TU Bergakademie Freiberg befindet.

Literatur

Kuna, Meinhard; Pohl, Norman (Hrsg.): Julius L. Weisbach (1806-1871). Gedenkschrift zu seinem 200. Geburtstag. Freiberg 2006 (Freiberger Forschungshefte Reihe D 222).

Alfred Wilhelm Stelzner und die Stelzner-Büste

Götz P. Rosetz

Im vergangenen Jahr nahm die Freiburger Denkmalschutzbehörde unter der Leitung von Dr. U. Richter ein kleines, der TU Bergakademie Freiberg gehörendes Kunstwerk, die Stelzner-Büste, in die Denkmaltopographie (1) auf. Diese Tatsache und der 180. Geburtstag von Alfred Stelzner sollen Anlass sein, mal wieder an dessen verdienstvolles Wirken und auch an die Geschichte der Büste zu erinnern. Erstmals wurde ein Bild der Büste von der damaligen Leiterin der Geowissenschaftlichen Sammlungen, Frau Karin Rank, im Jahr 2005 (2) veröffentlicht, stand doch diese Büste in der Lagerstätten-Sammlung im Werner-Bau (Abb. 1). Als umfangreiche Brandschutzmaßnahmen im Werner-Bau anstanden, übernahm im Oktober 2011 die Kustodie der TU dieses kostbare Kunstwerk und verwahrt es seitdem sorgsam im Depot. Prof. Heide, Direktor des Mineralogischen Instituts und der Geowissenschaftlichen Sammlungen, bemüht sich um die Aufstellung der Büste im Werner-Bau, um sie so der Öffentlichkeit präsentieren zu können.

Stelzner gehört zweifellos in die Reihe der großen Geowissenschaftler des 19. Jahrhunderts an der Bergakademie Freiberg. Zu seinem 100. Geburtstag (1940) würdigte Prof. Schumacher, einer seiner späteren Nachfolger, sein Wirken (3), und auch zu seinem 175. Geburtstag erschien eine kurze Lebensdarstellung mit einer Würdigung von Prof. Grabow in dieser Zeitschrift (4). Nicht nur in Deutschland,



Abb. 1: Marmorbüste Stelzners von Johannes Schilling (1897); Foto von W. Rabich aus Wissenschaft vor Ort 2005, S. 147

sondern auch in Argentinien sind die Leistungen Dr. „Alfredo“ Stelzners nicht vergessen. Nach ihm wurde am 7. April 1971 das Museum für Mineralogie und Geologie, das Stelzner 1871 gegründet hatte, Museo de Mineralogía y Geología „Dr. Alfredo Stelzner“ benannt (5), und ein in der Borlagerstätte von Playa Lake im Nordwesten Argentiniens im Jahr 2007 entdecktes Mineral (IMA 2007-050) erhielt den Namen Stelzners und heißt Al-

fredstelznerit (6).

Als Sohn eines höheren Beamten 1840 in Dresden geboren, brachte Stelzner mit dem Besuch der Kreuzschule und der damaligen polytechnischen Schule in Dresden sowie einem bergmännischen Sommerkurs in Freiberg beste Voraussetzungen für ein erfolgreiches Studium an der Königlichen Bergakademie mit. Er begann sein Studium im Oktober 1859 (Matrikel 2115) zusammen mit 60 Studenten, darunter 10 Ausländer aus fernen Staaten: den USA, Russland, Norwegen, Chile, Frankreich, England, Schottland und aus der Schweiz (7). Der Kontakt mit seinen ausländischen Kommilitonen mag seinen Horizont erweitert und zu seiner Weltoffenheit beigetragen haben. Zielstrebig studierte er bei Bernhard von Cotta, Friedrich Reich und August Breithaupt und schloss sein Bergbaustudium im Jahr 1864 mit einer Staatsexamensarbeit ab. Eine besondere Auszeichnung für den Absolventen war die Wahl des geologischen Teils seiner Arbeit zum ersten Heft einer Schriftenreihe des Oberbergamts: *Beiträge zur geognostischen Kenntnis des Erzgebirges (1865)*. Der Titel von Stelzners Arbeit lautet: „Die Granite von Geyer und Ehrenfriedersdorf sowie die Zinnerzlagstätte von Geyer“ (8). Seiner Neigung entsprechend, hatte er sich während des Studiums mit besonderer Intensität der Geologie und Mineralogie gewidmet. Der Geologieprofessor Bernhard von Cotta bezeichnete ihn als seinen besten Schüler



Foto von B. Fitzke, Petrologische Sammlung der TU Bergakademie Freiberg

Abb. 2: Dünnschliffkollektion von Stelzner, Altai-Gesteine, Kolyvan 1869

und förderte ihn, wo er nur konnte. So empfahl ihn von Cotta auch dem ersten Direktor der kaiserlich-königlichen geologischen Reichsanstalt in Wien, Prof. Wilhelm von Haidinger (studierte 1817 bei Mohs in Freiberg), für ein Volontariat. Diese Tätigkeit führte Stelzner mit großem Erfolg aus. Er kartierte die Umgebung von Scheibbs in Niederösterreich im Sommer 1864 und veröffentlichte seine Ergebnisse im Jahrbuch der geologischen Reichsanstalt Wien 1865 (9). Haidinger war von der Arbeit, dem Wissen und dem Auftreten Stelznerns angetan und schenkte ihm ein Bild mit der Widmung: „Seinem hochverehrten Freunde Herrn Alfred Stelzner in treuer Erinnerung, Wien 10.11.1864“. Dieses Bild befindet sich im Deutschen Bergbau-Museum in Bochum. Nach seinem Volontariat bestellte das Sächsische Oberbergamt den „Bergwerkscandidaten“ Alfred Wilhelm Stelzner zum 1. September 1866 als Inspektor der Königlichen Bergakademie Freiberg ein und legte seine Aufgaben und das Salär fest (10). Umfangreiche Aufgaben waren zu bewältigen. Alle Sammlungen und die Bibliothek (Entlastung für Prof. Moritz F. Gätzschmann) waren ihm unterstellt; er musste die mineralogischen Übungen an der Bergakademie (Entlastung für Prof. Albin Weisbach) durchführen und außerdem das Lehrgebiet Mineralogie an der Bergschule leiten. Mit außergewöhnlichem Arbeitseifer aber auch großer Zielstrebigkeit ging Stelzner ans Werk. In den Jahren als Inspektor vertiefte er sich in den reichhaltigen geowissenschaftlichen Teil der Bibliothek, begann mit der Neuordnung der Geographischen Sammlung von Cotta, befasste sich mit mikroskopischen-petrographischen Untersuchungen und speziellen mineralogischen Themen. Am 2. November 1870 schreibt Stelzner an die Direktion der Königlichen Bergakademie und bittet um seine Entlassung als Akade-

mie-Inspektor. Er begründet seinen Wunsch mit dem Hinweis auf eine briefliche Anfrage seitens des Herrn Dr. Burmeister aus Buenos Aires bezüglich der Übernahme eines Lehrstuhles für Mineralogie und Geognosie an einer zu gründenden Fakultät für Naturwissenschaften der Universität Córdoba in Argentinien. Er habe zugesagt weil er findet, dass es für ihn im Gegensatz zu

seiner jetzigen Tätigkeit besonders reizvoll sein könne, in unbekanntem Gebirgs-welten Forschungsreisen zu unternehmen und Probenmaterial zu gewinnen (Stelzner ist 30 Jahre alt!). Da der Schriftverkehr nach Südamerika mehrere Wochen dauert, bat Stelzner schon vor dem Erhalt der Berufungsurkunde um die Entlassung zum Jahresende 1870 (10). In seinen Jahren als Inspektor hatte sich Stelzner vorwiegend mit Petrologie und Mineralogie beschäftigt. Es sind dies Arbeiten über Gesteine vom Cap Verde (1867) und den „Garbenschiefer“ (1869). Vor allem aber die Untersuchung an Gesteinen des Altai, die sein Lehrer von Cotta mitgebracht hatte bzw. die von Cotta vom Direktor der Steinschleiferei Kolyvan 1869 geschenkt bekommen hatte, nahm ihn stark in Anspruch. Er fertigte Dünnschliffe an, die noch heute zur Verfügung stehen und auch untersucht werden (Abb. 2). Seine petrographischen Untersuchungen sind Teil der Monographie von Cottas über den Altai (11). Auf mineralogischem Gebiet sind es Arbeiten über „Flüssigkeitseinschlüsse in Mineralen und Gesteinen“ (1869), „Die eigentümliche Krystalstructure des Labradors“, „Pegmatolithes und Korundes“ (1870), „Vorkommen von Edelsteinen in der sächsischen Schweiz“ (1870) und nicht zuletzt seine Dissertation „Quarz mit Trapezoederflächen. Eine paragenetische Studie“ von Dr. Alfred Stelzner im Neuen

Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie 1871 veröffentlicht. Der am 7. November 1870 vom Staatspräsidenten Argentinien, Domingo Faustino Sarmiento, abgesandte Brief mit der Ernennungsurkunde (5) erreichte Stelzner offensichtlich im Januar 1870. Er konnte seine Reisevorbereitungen treffen und sich schließlich am 20. Februar 1871 im englischen Liverpool zur Atlantiküberquerung einschiffen. Nach einem Monat, am 21. März, ging er in Montevideo (Uruguay) an Land und traf dann am 6. April in Córdoba ein. Eine rund zweimonatige strapaziöse Reise von der Silberstadt in Sachsen in die Mitte des Silberlandes (spanisch: Argentina) nach Córdoba ging zu Ende. Erstaunt musste Stelzner feststellen, dass die vom Gründungsdekan Prof. Dr. Burmeister am 16. Mai 1870 eröffnete naturwissenschaftliche Fakultät der Universidad Nacional de Córdoba noch nicht arbeitsfähig war. Erst zwei der berufenen Professoren waren angereist: Dr. Hermann Max Siewert, ein Chemiker aus Halle, und Dr. Paul Günther Lorentz, ein Botaniker aus München. Mit beiden freundete sich Stelzner schnell an und arbeitete mit ihnen während seiner Zeit in Córdoba zusammen. Stelzner machte das Beste aus dieser Situation; er begann sofort mit dem Aufbau einer geowissenschaftlichen Sammlung, die er als Voraussetzung für den Unterricht in Mineralogie und Geologie ansah. Das war die Geburtsstunde für das heutige nach ihm benannte Museum. Zugleich begann er mit Forschungsreisen, zunächst allein in die Sierra von Córdoba, aber bald unternahm er gemeinsam mit dem Botaniker Lorentz mehrmonatige Forschungsreisen in die Gebirge von Tucuman und Catamarca. Von den überaus anstrengenden Reisen in kaum erschlossenes Gebiet brachten die beiden Forscher viel Material mit. Stelzner gliederte es in seine Sammlung ein, Lorentz schickte das meiste nach Deutschland. Am 15. Oktober 1871 wurde die erste argentinische Industrie-Ausstellung eröffnet, und Stelzner be-



Foto: B. Fitzke, Lagerstätten-Sammlung der TU Bergakademie Freiberg



Abb. 3: Erstbeschreibung Famatinit, Originalmaterial von Stelzner 1872

nen ereilte ihn der frühe Tod. Am 25. Februar 1895, also mit nur 55 Jahren, starb Stelzner während einer Kur in Wiesbaden an Nierenversagen, bis zuletzt auf Heilung hoffend. Bis zur letzten Stunde hatte ihn seine jüngere Schwester hingebungsvoll gepflegt. Sie war es auch, die in Freiberg den Junggesellenhaushalt in seinem Sinne als ein gastfreies, freundliches Heim in der Turnerstraße 2 führte. Seinem Wunsch entsprechend, wurde er in Freiberg auf dem Donatsfriedhof in der Nähe seines verehrten Lehrers Bernhard von Cotta mit großen bergmännischen Ehren bestattet. Die k.u. k. geologische Reichsanstalt Wien, widmete „dem hochverehrten Gelehrten und nahestehenden Fachmann“ einen Nekrolog (17); einen bewegenden Nachruf schrieb auch sein Assistent Dr. Bergeat (18). Dieser wurde von der Bergakademie beauftragt, Stelzners Lehraufgaben in den Fächern Geologie und Lagerstättenlehre im Sommersemester 1895 zu übernehmen. Als Nachfolger für Stelzner wurde von der Landesregierung in Dresden allerdings Dr. Richard Beck berufen und nicht Dr. Alfred Bergeat, wie man in Freiberg damals gehofft hatte. Die Geschwister Stelzners übergaben alle Aufzeichnungen sowie die Manuskripte Stelzners an Bergeat. Sein älterer Bruder, Medizinalrat Dr. Oskar Stelzner, und vor allem sein Freund, der Chemiker Dr. Arnulf Schertel, später Prof. für Hüttenkunde, baten Bergeat das Werk des Verstorbenen zu vollenden. Dr. Bergeat, nach seiner Habilitation in München inzwischen Professor an der Bergakademie Clausthal, erfüllte diesen Wunsch und brachte den ersten Band „Die Lagerstätten“ im Jahr 1904 im Felix Verlag, Leipzig, heraus. Eine gewisse Tragik liegt darin, dass die Bittsteller das Erscheinen des Werks nicht erleben konnten und Prof. Beck als Nachfolger von Stelzner bereits im Jahr 1900 eine große Monographie über Lagerstätten veröffentlichte, die weltweit als erstes Buch über Lagerstättenlehre in mehrere Sprachen übersetzt wurde und Beck berühmt machte. Die vielen Freunde und Verehrer Stelzners empfanden die Beerdigung am 2. März 1895 auf dem Donatsfriedhof als nicht ganz ausreichende Würdigung des früh Verstorbenen. Ein kleiner Kreis fand sich zusammen, der über eine weitere Ehrung nachdachte und zu dem Beschluss kam, eine Büste anfertigen zu lassen und in einer Feierstunde diese Büste der Königlichen Bergakademie Freiberg zu übergeben. Dem kleinen Kreis, Ausschuss

genannt, gehörten sein Freund Bergbauprofessor E. Treptow, Bergschuldirektor K. Weiss, Stollenfaktor E. Fuchs, Oberdirektor H. Fischer sowie Student E. Dorn an. Der Ausschuss sammelte für das Vorhaben Geld von Freunden und Verehrern Stelzners. Als Künstler, dem sie den Auftrag anbieten wollten, wählten sie den damals bedeutendsten Bildhauer Sachsens, den Geheimen Hofrat Prof. Johannes Schilling (19) aus. Dass Schilling sich dieser Bitte nicht verschloss, mag wohl auch damit zusammenhängen, dass dessen Schwiegersohn, Dr. Erwin Pappritz, wenige Jahre zuvor (1892) in Freiberg zum ordentlichen Professor für Mathematik berufen worden war. Schilling war für seine monumentalen Werke bereits international berühmt geworden, davon in Dresden: der Theaterplatz mit der Panther-Quadriga und dem Reiterstandbild König Johann, der Aufgang zu den Brühlschen Terrassen (Jahreszeiten) und die Rietschel-Büste. Sein absolut größtes Werk ist aber das Niederwalddenkmal am Rhein bei Rüdesheim. Seine Tochter Clara, die spätere Frau Pappritz, saß ihm Modell für die Germania (18). Als Modell für die Marmorbüste Stelzners musste Schilling mit einer Photographie vorlieb nehmen. Am 15. Juli 1896 schrieb der Ausschuss an die Direktion der Königlichen Bergakademie einen Brief (19), in dem er die Übergabe der Büste im Rahmen einer Stelzner-Feier am 23. Oktober 1897 vorschlug. Am Sonnabend, dem 23. Oktober 1896, fand diese Feier statt (Abb. 5), und die Büste Stelzners, aus bestem Carrara-Marmor, wurde an die Bergakademie übergeben; es folgten Reden des Akademie-Direktors Prof. Winkler und des Nachfolgers Stelzners, Prof. Beck. Die Studenten organisierten eine Kranzniederlegung. Der Ausschuss legte Rechenschaft über seine Tätigkeit ab und löste sich danach auf, nicht ohne zuvor die Restgelder, etwa 2000 M, als Zuschuss zum Kapital der Bernhard von Cotta-Stiftung übergeben zu haben und zu bitten, den Stiftungsnamen um Alfred Stelzner zu erweitern; denn aus dem Nachlass Stelzners flossen 8000 M ebenfalls in diesen Fond. Das Finanzministerium in Dresden genehmigte die Namensweiterung. Seit dem 16. August 1897 gibt es die Bernhard von Cotta-Alfred Stelzner-Stiftung an der Bergakademie. Stelzner, ein Pionier der Lagerstättenlehre, starb viel zu früh. Zu Lebzeiten blieben große Ehrungen aus, lediglich die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina nahm ihn im Jahre 1879 als Mitglied auf. Seine bedeutenden

Leistungen wurden erst nach seinem Tode gewürdigt.

Für die vielfältige Unterstützung möchte ich mich ganz herzlich bei der Leiterin des Archivs der TU Bergakademie, Frau Wulkow Moreira da Silva, und bei der Leiterin der Lagerstätten- und Petrologischen Sammlung, Frau Dr. Kehrer, bedanken.

Quellen

- 1 Yves Hoffmann und Uwe Richter: Denkmaltopographie der Bundesrepublik, Stadt Freiberg, Bd. IV, Imhof Verlag 2020
- 2 Wissenschaft vor Ort; Bilder zu Geschichte und Gegenwart der TU Bergakademie Freiberg, TU Bergakademie Freiberg 2005
- 3 Schumacher, Friedrich: Zum 100. Geburtstag von Alfred Wilhelm Stelzner in: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bd. 92, 1940, S. 599-600
- 4 Grabow, Gerd. Zum 175. Geburtstag Alfred Wilhelm Stelzner, eines verdienstvollen Wissenschaftlers auf dem Gebiet der Geologie und Lagerstättenlehre in Acamonta 22. Jahrgang, 2015, S. 153
- 5 Hebe Dina Gay: Datos Historicos. Museo de Mineralogía y Geología „Alfredo Stelzner“; Universidad Nacional de Córdoba 1996
- 6 Galliski u.a.: Alfredstelznerit; a new species of calciumborate hydrate from the Santa Rosa Mine, Salta, northwestern Argentina in: Canadian Mineralogist, Bd. 48, 2010, S. 123-128
- 7 Festschrift zum hundertjährigen Jubiläum der Königl. Sächs. Bergakademie zu Freiberg am 30. Juli 1866, Druck der königl. Hofbuchdruckerei von C.C. Meinhold und Söhne, Dresden
- 8 Stelzner, A.: Die Granite von Geyer und Ehrenfriedersdorf sowie die Zinnerzlagertätte von Geyer, in: Beiträge zur geognostischen Kenntnis des Erzgebirges, Oberbergamt Freiberg 1865
- 9 Stelzner, A.: Die Umgebung von Scheibbs in Niederösterreich, auf Grund einer im Sommer 1864 durchgeführten Untersuchung zusammengestellt, in: Jahrbuch des geologischen Reichsamtes, Wien 1865
- 10 Universitätsarchiv der TU Bergakademie Freiberg, OBA 084, Akte: Die Bestellung des Akademie Inspektors 1866-1873
- 11 Cotta, B.; Stelzner, A.W.; Geinitz, H.B.; u.a.: Der Altai: Sein geologischer Bau und seine Erzlagertätten, Verlag J.J. Weber Leipzig 1871
- 12 Stelzner, A.: Bemerkungen über die nutzbaren Minerale der Argentinischen Republik, in: Berg- und Huettenmaennische Zeitung, Bd. 31, 1872, Nr. 1, S. 1-6
- 13 Stelzner, A.: Mineralogische Beobachtungen im Gebiet der Argentinischen Republik. Mit chemischen Beiträgen von Dr. Max Siewert in: Tschermaks mineralogische Mitteilungen, Heft IV, Jahrg. 1873, S. 239-242
- 14 Stelzner, A.: Zur Erinnerung an Dr. Paul Günther Lorentz, in: Botanisches Centralblatt, Bd. 9, 1883, S. 450-468
- 15 Beiträge zur Geologie und Paläontologie der Argentinischen Republik, Teil 1: Geologie von Alfred Stelzner, Verlag von Theodor Fischer Cassel und Berlin 1885
- 16 Stelzner, Alfred W.: Über Franckheit, ein neues Erz aus Bolivien in: Neues Jahrbuch für Mineralogie, Bd. 2, 1893, S. 114-124
- 17 Verhandlungen der k.u.k. geologischen Reichsanstalt Wien, Heft 4, S. 114-115, Wien 1895
- 18 Bergeat, Alfred: Alfred Wilhelm Stelzner in: Zeitschrift für praktische Geologie, Jahrgang 1895, S. 221-224
- 19 Stephan, Bärbel: Sächsische Bildhauerkunst, Johannes Schilling 1828-1910, Berlin Verlag für Bauwesen, 1996
- 20 Universitätsarchiv der TU Bergakademie Freiberg, HBK B29, Band 1, Akte: Stiftung Cotta

Buchvorstellung

Das sächsische Kobalt- und Blaufarbenwesen

Geschichte, Technologien und Denkmale

Mike Haustein



Abb. 1: Mike Haustein: Das sächsische Kobalt- und Blaufarbenwesen. Geschichte, Technologien und Denkmale. Mitteldeutscher Verlag Halle 2020, 320 Seiten, 220 x 275mm, 235 Farb- u. s/w-Abbildungen, Preis: 30,-Euro, ISBN 978-3-96311-438-0

Aufbauend auf den reichen Kobaltvorkommen des Westerzgebirges entwickelte sich mit dem sächsischen Blaufarbenwerkskonsortium ein Syndikat, das im 17. und 18. Jahrhundert den Weltmarkt der Blaufarbenwaren beherrschte. Dabei wurde ein frühes Normensystem für Kobaltpigmente etabliert, das so erfolgreich war, dass es später sogar von allen ausländischen Konkurrenten übernommen wurde. Seit ihrer Gründung im Jahre 1765 waren die Interaktionen der Bergakademie Freiberg mit den Blaufarbenwerken besonders intensiv. Fast alle Führungskräfte der Farbfabriken Niederpfannenstiel, Oberschlema, Zschopenthal und Schindlerswerk erhielten hier ihre Ausbildung. Clemens Winkler, der von 1873 bis 1902 die Professur für Chemie an der Bergakademie inne hatte und hier 1886 das Germanium entdeckte, wirkte vorher 10 Jahre als Hüttenmeister im Blaufarbenwerk Niederpfannenstiel. Der intensive Austausch zwischen Hochschule und Industrie brachte eine Vielzahl von Innovationen, wie z. B. die ersten Nickel- und Kobaltgussmetalle oder die erste Rauchgasentschwefelungsanlage hervor und trug ganz wesentlich zum Überleben des Industriezweiges bis heute bei. Mit einer über fast vier Jahrhunderte währenden

Geschichte repräsentiert die Nickelhütte Aue als ehemaliges Niederpfannenstieler Blaufarbenwerk das traditionsreiche sächsische Hüttenwesen. Die einstige Bedeutung des Blaufarbenwesens wird durch die Aufnahme von Schindlerswerk in die Welterbeliste der UNESCO im Rahmen der Montanregion Erzgebirge gewürdigt.

Das Buch erhebt den Anspruch, das vorhandene Wissen über das sächsische Blaufarbenwesen zu bündeln und zu bewahren. Der Tatsache, dass das Kobaltblau bereits in der Antike Verwendung fand, wird dadurch Rechnung getragen, dass der aktuelle archäologische Forschungsstand ausgewertet wird. Auch heikle Thesen, wie die mitunter diskutierte Belieferung vorgeschichtlicher Montanzentren des Mittelmeerraumes mit Kobaltroh-

stoffen aus dem Erzgebirge, werden dabei nicht ausgespart. Der Fokus des Buches aber liegt auf der Darstellung der jüngeren Geschichte seit der Wiederentdeckung des Kobaltblaus im frühen 16. Jahrhundert. So wird der Bogen von den Anfängen der Kobaltglasherstellung in Schneeberg über die Blaufarbenwerksära, die Krisen- und Innovationsperiode im 19. Jahrhundert, die Zeit der SAG Wismut und der DDR bis in die Gegenwart gespannt. Technikgeschichtlich besonders hervorzuheben ist die detailgetreue Rekonstruktion der Herstellungsprozesse der als „blaue Farbe“ bezeichneten kobalthaltigen Pigmente. Durch reiche Illustrationen sind die Schilderungen auch für den Laien leicht nachzuvollziehen.

Die Darstellungen basieren fast ausschließlich auf primären Quellen. Die Auswertung des Aktenmaterials aus Staats-, Privat- und Werksarchiven brachte eine Vielzahl neuer Erkenntnisse zu Tage. Fragen, wie es abseits aller Legenden wirklich zur Wiedererfindung des Kobaltblaus im Erzgebirge kam und wie sich ein sächsisches Farb-

monopol herausbilden konnte, obwohl die erste Farbmühle gar nicht auf kursächsischem Boden errichtet wurde, können nun beantwortet werden. Wie die sächsischen Blaufarbenwerke, anders als alle ausländischen Konkurrenten, die Krise zu Mitte des 19. Jahrhunderts überstanden und sogar gestärkt daraus hervorgingen, ist ein lehrreiches Beispiel für den Umgang mit Ausnahmesituationen. Nicht zuletzt erlauben die überlieferten Berichte von Zeitzeugen einen lebendigen Einblick in das Leben und den Alltag der Blaufarbenwerker. So wird u.a. erstmals die Praxis der Werksschulen beleuchtet.

Interessant ist auch die weitere Entwicklung in den Nachfolgeunternehmen Nickelhütte Aue und Ultramarinfabrik Schindlerswerk nach dem Ende des zweiten Weltkrieges. Während man in Aue mit der Beschlagnahme des Werkes durch die Uraufbereitung der Wismut zu kämpfen hatte und sich mit der Einrichtung einer neuen Hütte bei St. Egidien scheinbar das eigene Grab schaufeln musste, konnte im abgelegenen Muldental ein bedeutendes Montandenkmal die Zeiten fast unbeschadet überdauern. Ein umfassender und reich bebildeter Katalog aller noch vorhandenen Baudenkmale des sächsischen Blaufarbenwesens soll dem interessierten Besucher als Exkursionsführer dienen.



Abb. 2: Beispielhaft zeugen die reichen kobaltblauen Innendekorationen in der Kirche von Almancil/Portugal aus dem 17. Jahrhundert noch heute davon, wie bedeutend der Export von sächsischem Kobaltblau einst war.

Kontakt

Dr. habil. Mike Haustein
 Nickelhütte Aue GmbH und
 Förderverein Schindlers Blaufarbenwerk e.V.
 Niederpfannenstiel 11
 08280 Aue/Sa.
www.förderverein-schindlers-blaufarbenwerk.de

„(..) eine Art von Mittelpunkt chemischer Kentniße in Sachsen.“

Zum Bau des für Wilhelm August Lampadius errichteten Laboratoriums vor 225 Jahren

Norman Pohl

Sollte er seine Laborarbeit im Britischen Innenministerium verrichten? Diese Frage stellte sich für Wilhelm August Lampadius nach seiner Berufung an die Bergakademie Freiberg nicht wirklich, wäre doch wohl kaum einer der englischen Sprache mächtigen Zeitgenossen auf die Idee verfallen, einen Arbeitsplatz zu Hause als „Home office“ zu bezeichnen. Doch eben diese Situation, nämlich in seinen Privaträumen für die chemische Lehre experimentieren zu müssen, schien Lampadius veränderungsbedürftig, und zwar mit äußerster Dringlichkeit. Und deshalb ging Lampadius Ende März 1795 daran, dem „E. kurfürstlich hochverordneten Oberbergamt“ das Wesen und die Praxis der Chemie zu erläutern:

„Da die ausübende Chemie eine Wissenschaft ist, welche, wenn sie mit Nutzen getrieben werden, eine Menge Arbeiten erfordert, so ist das erste und dringendste Bedürfnis für einen Chemiker, ein gut eingerichtetes {sic!} mit allen nöthigen Hilfsmitteln versehener Arbeitsort.“¹

Lampadius betonte, dieser Satz ließe sich „vorzüglich (...) da anwenden, wo es darauf ankommt, durch practischen Unterricht junge Leute mit dieser Wissenschaft bekannt zu machen. Hierzu wird nicht sowohl der faßlichste und deutlichste Unterricht, als auch die anschaulichsten Experimente erfordert. Sollen diese dasjenige leisten, was man von ihnen fordern kann, so müßten [38 RS] sie mit der größten Reinlichkeit, Genauigkeit und nicht zu sehr im Kleinen ausgestattet werden, auch muß jeder Zuschauer seine Wißbegierde befriedigen können, und mithin der Arbeitsort nicht zu enge seyn.“²

Eine Störung des hüttenmännischen Betriebs, um der Ausbildung zweckdienliche Experimente gleich vor Ort durchzuführen, sozusagen im passenden Ambiente, schien nicht zukunftsweisend. Und ohne das „höchst notwendige“ Laboratorium sah Lampadius sowohl den Erfolg seiner Arbeit überhaupt wie auch seine Gesundheit gefährdet. Vom Grund-

satz her war das Oberbergamt Lampadius' Auffassungen bereits beigetreten, denn die Veranlassung zu dem von ihm vorgelegten Schriftstück war – „zu meiner großen Freude“³ – der „gnädige[n] Befehl, den Plan eines solchen Laboratorii einzureichen (...)“⁴. Schon, aber nur hier sah sich Lampadius vor Schwierigkeiten gestellt und bat um die Hinzuziehung einer zeichnerisch bewanderteren Person, „hielt es aber für [seine] schuldige Pflicht, nur das Unentbehrlichste anzuführen; da mich auf der einen Seite die Nothwendigkeit des Gebäudes, auf der anderen aber die Furcht eines zu großen Anschlags zurückhielt.“⁵

Hier sei gleich und nochmals der Falschbehauptung entgegen getreten, damit habe es sich um das erste Chemielabor an einer Hochschule weltweit gehandelt. Darauf kann die Philipps-Universität in Marburg Anspruch erheben, und alchemistische Laboratorien bestanden schon seit der Zeit der griechischen Naturphilosophie, auch wenn über deren Aufbau keine weiteren Nachrichten vorliegen. Andreas Libavius⁶ gab 1606 die Beschreibung eines nie gebauten Laboratoriums: „ein frei stehendes Gebäude mit drei Stockwerken, Kellerräumen und einem geräumigen Dachboden. (...) im Erdgeschoss das Laboratorium mit zahlreichen Öfen,

3 Lampadius hatte neben großer Freude nach eigenen, wiederholten Bekundungen viel Vergnügen an seiner Tätigkeit. Weiterführend vgl. Pohl, Norman: Wilhelm August Lampadius, das Vergnügen und die Chemie an der Bergakademie Freiberg: Ausdifferenzierung einer Naturwissenschaft oder individuelle Selbstverwirklichung?, in: Walter, Hans-Henning (Hrsg.): Wilhelm August Lampadius 1772-1842. Chemiker, Erfinder, Fachschriftsteller und Hüttenmann. Tagung vom 11. bis 14. April 2012 in Freiberg in Sachsen. Freiberg 2013, S. 387-402.

4 wie Fußnote 1., pag. 39 VS.

5 Ebd., pag. 39 RS.

6 * nach 1555 in Halle / Saale, † 1606 Coburg, unter anderem Professor der Universität Jena, Stadtarzt und Schulinspektor in Rothenburg ob der Tauber, Rektor des Gymnasiums Casimirianum in Coburg, Mitbegründer der modernen Chemie, vor allem durch sein Werk *Alchemia* (1597). Müller, Wolfgang: Libavius, in: Pötsch, Winfried R.; Fischer, Annelore; Müller, Wolfgang; unter Mitarbeit von Cassebaum, Heinz: Lexikon bedeutender Chemiker. Leipzig 1988, S. 270-271. Libavius behandelte in der *Alchemia* Arbeitsmethoden und Apparate getrennt vom Wissen um die Herstellung und die Eigenschaften der Substanzen.

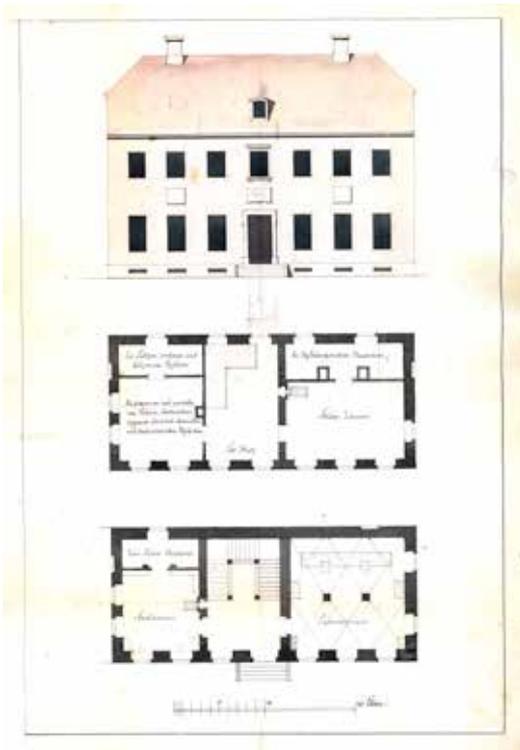
ferner Chemikalienraum, Geräteraum, Vorbereitungsraum, Brennholzlager, Abort und Laborantenschlafraum, im Keller Vorratsräume und im ersten und zweiten Stock Wohn- und Schlafräume und Küche für den Chemiker und seine Familie, Studierzimmer und Bibliothek.“⁷

Die „Furcht eines zu großen Anschlags“, also als übermäßig erscheinender Kosten, bewirkte wohl, dass Lampadius einen zwar angemessenen, aber bescheideneren Rahmen wählte, ungeachtet dessen, ob ihm die Studie von Libavius bekannt war oder nicht. Ein Dilemma bestand demnach auch bei diesem Projekt offenkundig darin, bei ehrlicher Kosten-schätzung ungeachtet aller Plausibilität der Begründung eine Ablehnung des Projekts zu riskieren, andererseits aber auf notwendig erscheinende Bestandteile eher im Vorhinein zu verzichten und so gegebenenfalls nachträgliche Kostensteigerungen sehend in Kauf zu nehmen. Lampadius argumentierte, wie auch in allen seinen nachfolgenden wissenschaftlichen Schriften, redlich. Er versuchte aber, in seinem Vorschlag zur Lokalisierung des Gebäudes den im Vergleich zu Libavius' Plänen und andernorts realisierter Laboratorien ins Auge fallenden Verzicht wenigstens teilweise auszugleichen. Geschickt plädierte er dabei auch an die Bequemlichkeit der Mitglieder der „Genehmigungsbehörde“:

„2.) Wenn aber das Laboratorium bey der Akademie angelegt würde, so könnten a) wegen seiner Nähe auch in vorkom-

7 Vgl. Weyer, Jost: Geschichte der Chemie. Band 1 – Altertum, Mittelalter, 16. bis 18. Jahrhundert. Berlin 2018, Kap. 12.14: Chemische Laboratorien = Band 1, S. 386-390, Zitat S. 386 f., mit Verweis auf Meitzner, Bettina: Die Gerätschaft der chymischen Kunst. Der Traktat „De sceuastica artis“ des Andreas Libavius von 1606. Übersetzung, Kommentierung und Wiederabdruck. Diss. Uni Hamburg 1994, Stuttgart 1995 (Boethius 34), S. 56-72 (deutsche Übersetzung), S. 92-99 (lateinischer Text). Zu Marburg Weyer, ebd., S. 387 f., mit Verweis auf die seit 1615 bekannte, regelmäßige Labortätigkeit, behandelt bei Ganzenmüller, Wilhelm: Das chemische Laboratorium der Universität Marburg im Jahre 1615, in: *Angewandte Chemie* 54 (1941), S. 215-217, abgedruckt in: *Beiträge zur Geschichte der Technologie und der Alchemie*. Weinheim 1956, S. 314-322. Zur weiteren Entwicklung in Leiden, Utrecht oder der ehemaligen Nürnbergischen Universität in Altdorf. Weyer, ebd.

1 UAF OBA 540, Wilhelm August Lampadius an Oberbergamt, 27. März 1795, pag. 38 VS – pag. 40 RS, hier 38 VS. UAF: Universitätsarchiv der TU Bergakademie Freiberg. OBA Oberbergamt
2 Ebd.



Bauzeichnung für das metallurgische Laboratorium (TU BAF, UAF, OBA 540, pag. 133)

menden Fällen Herren des Oberbergamts und andere Personen, bey wichtigen Versuchen gegenwärtig seyn, b) wären alle Hilfsmittel zur Erleichterung der Chemie, als [40 RS] Mineralienniederlage, Bibliothek u. s. w. in der Nähe, und c) könnte das ehemalige Henkelsche Laboratorium zu verschiedenen Versuchen über das Hüttenwesen, die vielleicht von mir oder auch anderen fremden Personen, denen ein solcher Auftrag gegeben wäre, angewendet werden.“⁸ Er sei aber mit jedweder Entscheidung zufrieden.

In der Diskussion um einen Umbau des noch vorhandenen Henkelschen Laboratoriums sah Lampadius in der Entfernung von den Gebäuden der Akademie andererseits einen Vorteil, was sich nur aus den immer noch kursierenden Bedenken hinsichtlich der von einem chemischen Laboratorium ausgehenden Gefahren bei Explosion und Brand erklären läßt, die aber Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier als hochrangiges Mitglied des Oberbergamtes und späterer Vize- und nachfolgend Berghauptmann wohl vertrat.

Abraham Gottlob Werner unterstützte Lampadius,⁹ wobei er auf sein zuvor eingereichtes „ohnmaasgebliches Gut-

achten“ verwies, das „schon für die Henkelsche Zeit nur nothdürftlich eingerichtet[e]“ Laboratorium sowohl nach dessen Lage wie auch nach den vorhandenen Räumlichkeiten rundheraus verwarf und ergänzend auf die Notwendigkeit verwies, dass zu einem Laboratorium auch eine Ausstattung gehöre, ein „chemischer Apparat“. Werner sparte nicht mit Superlativen, das neue chemische Laboratorium wäre „dermahlen das einziche in seiner Art in Sachsen“, er betonte, „daß die Anlage deßelben wohl für mehr als ein Jahrhundert sein dürfte, - und daß von seiner vollkommenen Einrichtung der Anfang einer neuen Periode der Chemie in Sachsen abhängen wird“, es sei Voraussetzung für „eine Art von Mittelpunkt chemischer Kentniße in Sachsen“.¹⁰ Und Werner fuhr mit der rhetorischen Frage fort: „(...) welcher Ort ist aber zu einem Mittelpunkte

schicklicher als Freiberg, wo schon jetzt für das bergmännische chemische Fabrikwesen, theoretisch und praktisch gearbeitet wird?“ Mit einer umfangreichen Aufzählung über das chemische Fabrikwesen außerhalb des Bergbaus rundete Werner seine Argumentation gleichsam ab.

Lampadius wiederum unterbreitete nachfolgend die spezifizierten Anforderungen an die Ausstattung des chemischen Apparates wie an den Bau des Laboratoriums selbst. Die wiederum von Charpentier gewünschte eingeschossige Ausführung verwarf er ebenso wie Werner, der nur unnötige Kosten in einer späteren Erweiterung sah, wenn wegen einer schon jetzt absehbaren, später erforderlichen Aufstockung dann das Dach abgenommen und wieder aufgesetzt werden müsste.

Die Diskussion um die Ausführung des Gebäudes zog sich noch bis in das Frühjahr des nächsten Jahres hin. Die in den Akten zum Zeitpunkt Februar 1796 überlieferte Bauzeichnung zeigt dann den sorgfältig erwogenen Plan für ein für die damalige Zeit tatsächlich modernes Laborgebäude. Rechts des Eingangs im Erdgeschoß sollte danach das eigentliche Laboratorium seinen Platz finden, links des Eingangs ein Auditorium mit angeschlos-

¹⁰ Ebd., pag. 43 VS, pag. 44 VS/RS. Hervorhebung so im Original.

senem Apparat, also ein Hörsaal mit einem Nebenglass zur zwischenzeitlichen Aufbewahrung der für die Vorlesung benötigten Chemikalien und Gerätschaften. Im ersten Obergeschoß war am Ende der Treppe ein „Löt-Platz“ vorgesehen, also ein Ort, an dem Proben mit der Methode der Lötrohrprobierkunde durchgeführt werden konnten. Der Raum über dem Laboratorium teilte sich in ein größeres „Solvirzimmer“ und einen kleineren Raum, der für die Aufbewahrung jener „Reagentien“, also Chemikalien, vorgesehen war, die als Lösungsmittel (Solvirmittel) selbst oder zu deren Zubereitung dienen sollten. Der Raum über dem Auditorium sollte ein Chemikalienzimmer für Salze in irdenen und hölzernen Behältnissen fassen und ein weiteres Zimmer für Behältnisse aus Glas oder Porzellan, einen elektrischen Apparat - gemeint ist wahrscheinlich eine Ladungssäule und keine Elektrisiermaschine - und die Ausstattung für elektrochemische wie hydrostatische Versuche. Den Plan vom Februar 1796 ergänzte ein Grundriß vom Juni 1796.¹¹

Lampadius und Werners an auswärtige, wohl auch schwedische Vorbilder angelehnten Vorschläge fanden also Akzeptanz, und so stand mit dem 1797 fertiggestellten Laboratoriumsgebäude im Hinterhof des bergakademischen Hauptgebäudes schließlich eine moderne Ausbildungsstätte als integraler Bestandteil des montanwissenschaftlichen Bildungskanons zur Verfügung.

Wie bereits gezeigt, handelte es sich bei dem Lampadius'schen Laboratorium um das erste Chemielabor an der Bergakademie. Das viel gerühmte Labor Henckels, in welchem Lomonossow als Student der Marburger Universität zu Gast war, von Werner wie von Lampadius aber übereinstimmend als zu dürftig ausgeführt charakterisiert, entstand und bestand deutlich vor der Bergakademie, und Christlieb Ehregott Gellert, Lampadius' Vorgänger, experimentierte und lehrte zunächst in der Küche seiner Wohnung und nachfolgend in einem eigens errichteten Gartenhaus im rückwärtigen Bereich des Gebäudes Waisenhausstraße 10, in dem sich seine Wohnung befand. Universitäten andernorts zogen teilweise erst sehr viel später mit entsprechenden Einrichtungen nach, so Jena und Leipzig.

An dem Freiburger Laboratorium ging die Zeit nicht spurlos vorüber. Schon vor Ablauf der von Werner postulierten „nächsten hundert Jahre“ kam es zu we-

¹¹ UAF OBA 540, pag. 133 und pag. 151.

⁸ wie Fußnote 1, pag. 40 VS - 40 RS.

⁹ Nachfolgend UAF OBA 540, Abraham Gottlob Werner an Oberbergamt, pag. 41 - 50, hier pag. 41 VS.

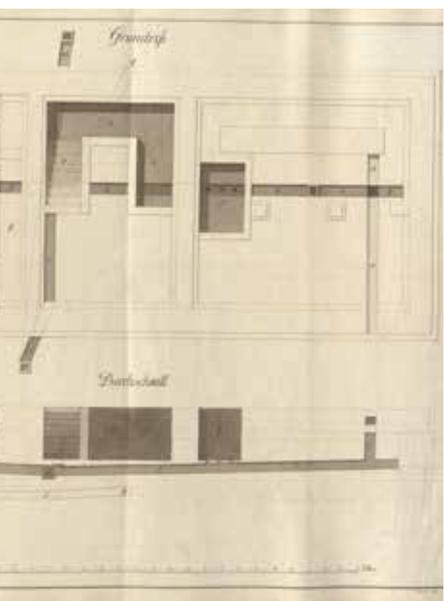
sentlichen Veränderungen. Die neuen Räumlichkeiten in der Brennhausgasse, sukzessive erweitert und ergänzt, dienten ab den 1830er Jahren der chemischen Ausbildung und Forschung. Das Lampadiuslabor wurde 1861 aufgestockt.¹² Sein heutiges Aussehen erhielt der „Mittelbau“ nach dem letzten Umbau 2005. Zuvor war das Gebäude mit dem in seiner Nachbarschaft errichteten elektrotechnischen Laboratorium verbunden worden, dessen Verbindung wiederum zu der an der Nonnengasse gelegenen Gebäudezeile im Zuge des Umbaus 2002 bis 2005 aber wieder abgerissen wurde und der heutigen Freitreppe Platz machte.

Um den Grundsatz, dass praktische Arbeit ohne eine zugrunde liegende Theorie keine interpretierbaren Beobachtungen liefert, chemiehistorisch einzubetten, lohnt es, sich noch kurz den Entwicklungsstand der theoretischen wie der praktischen anorganischen Chemie zu Lampadius' Zeiten zu vergegenwärtigen. Das von Lothar Meyer und Dmitri Mendelejew propagierte Periodensystem der Elemente lag noch in weiter Ferne. Wenige Jahre vor der Berufung Lampadius' nach Freiberg postulierten französische Wissenschaftler eine neue chemische Nomenklatur.¹³ Mit dem *Traité élémentaire de chimie* war es 1789 Antoine Laurent de Lavoisier, der die materiell unterlegten Prinzipien des oxygens und des nitrogens formulierte, der Vorsicht halber aber noch einen Licht- und einen Wärmestoff beibehielt, dessen Identität mit dem bis dahin postulierten Phlogiston er als möglich ansah. Alexander von Humboldt beispielsweise war noch in seiner Freiburger Studienzeit von dem neuen System beeindruckt und angetan, und Lampadius gehörte zu den ersten Vertretern der

Lavoisier'schen Theorie in Deutschland,¹⁴ die die „deutsche Theorie“ des Phlogistons überwand, der andernorts noch viele, vor allem deutsche Chemiker bis zu ihrem Tode anhängen. Thomas S. Kuhn wählte in seiner wegweisenden Schrift „Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen“ die Ablösung der Phlogistontheorie als eines seiner Überlegungen fundierendes Beispiel.¹⁵ Wer aber dem *Traité* folgte, folgte zugleich der *Méthode*!

Erst etwa ein Vierteljahrhundert nach der Übernahme der Freiburger Professur durch Lampadius begannen sich die Vorschläge von Jöns Jacob Berzelius durchzusetzen, die chemischen Elemente mit einer aus dem altgriechischen oder lateinischen als tote Sprachen abgeleiteten Bezeichnung zu versehen und ein charakteristisches Buchstabenkürzel für deren Verwendung in der sich neu herausbildenden chemischen Fach- und Zeichensprache, vor allem zur Charakterisierung von chemischen Reaktionen, einzusetzen.¹⁶

Ungeachtet des neuen Laboratoriums experimentierte Lampadius für sich weiterhin zu Hause. Claus Priesner wies überzeugend darauf hin, dass die vielfach gefeierte „erste kontinentaleuropäische Straßenbeleuchtung in der Fischergasse“ wohl weniger dem Drang geschuldet war, der Freiburger Bürgerschaft ein Licht aufgehen zu lassen, sondern dass der ge-



Grundriß des metallurgischen Laboratoriums (TU BAF, UAF, OBA 540, pag. 151)

wählte Versuchsaufbau eine sichere Abführung und nachfolgende Verbrennung der in Lampadius Wohnzimmer bei seinen Experimenten entstehenden Abgase vorsah. „Nebenbei“ – modern als „dual use effect“ zu bezeichnen – heizte diese Anlage auch noch seine Wohnung.¹⁷ Lampadius sollte sich in seinen Untersuchungen also nicht nur auf das Anorganische beschränken. Die Fülle der an ihn gerichteten Aufträge dürfte wahrscheinlich in einer Akte im Sächsischen Hauptstaatsarchiv Dresden zusammengefasst sein.¹⁸

In den 48 Jahren des Wirkens von Wilhelm August Lampadius an der Bergakademie Freiberg, von 1794 bis zu seinem Tode 1842, entstand so tatsächlich „eine Art von Mittelpunkt chemischer Kentniße in Sachsen“. Ein modernes Gebäude bedarf aber eben auch einer zweckmäßigen Ausstattung und nicht zuletzt dauerhaft finanzierten Personals, um die mit ihm verbundenen Absichten zu realisieren. Und diejenigen, die für den Erfolg ihrer Arbeit eine gewisse Ausstattung fordern, dürften wahrscheinlich doch besser über deren Zweckmäßigkeit im Bilde sein als die im Zweifel eher auf haushälterisches Wirtschaften erpichten Geldgeber.

17 Priesner, Claus: Wilhelm August Lampadius und die Entwicklung der Gasbeleuchtung, in: Walter, Lampadius, S. 491-514. Tatsächlich experimentierte Lampadius anfänglich wohl noch in dem Henckelschen Laboratorium. Ebd., S. 502 f.
18 Vgl. dazu Sächsisches Hauptstaatsarchiv Dresden, bis 26. März 2013 verzeichnet unter Bestand 10078 Landes-Ökonomie-, Manufaktur- und Kommerzien-Deputation, Nr. 1178, Titel: Professor für Chemie und Hüttenkunde in Freiberg Wilhelm August Lampadius, tatsächlich abgelegt im Bestand 10736 Ministerium des Innern, Nr. 22911. Die Akte beginnt 1805 und endet 1842.

12 Seifert, Alfred: Wilhelm August Lampadius, ein Vorgänger Liebig's. Ein Beitrag zur Geschichte des chemischen Hochschulunterrichtes. Berlin 1933, S. 43. Seifert verzichtet leider auf umfängliche Quellennachweise, bietet aber eine ausführliche Schilderung der Laboratoriumsräume, die ohne Kenntnis der hier mehrfach zitierten Akte nicht gegeben werden konnte.

13 Guyton de Morveau, Louis Bernard; Lavoisier, Antoine Laurent; Berthollet, Claude Louis; Fourcroy, Antoine François: *Méthode de nomenclature chimique*. Paris 1787. Dt. Ausgabe, besorgt von Karl Freyherr von Meidinger, Wien 1793, unter dem Titel *Méthode der chemischen Nomenklatur für das antiphlogistische System*, von Hrn. de Morveau, Lavoisier, Berthollét und de Fourcroy. Nebst einem neuen Systeme der dieser Nomenklatur angemessenen chemischen Zeichen, von Herrn Hassenfratz und Adet. Neuausgabe Hildesheim, New York 1978.

14 Zur Anfangszeit der Lavoisierschen Theorie vgl. auch Engel, Michael: *Antiphlogistiker in Berlin 1789-1793. Versuch der Rekonstruktion einer Scientific community im Theorienstreit*, in: ders. (Hrsg.): *Von der Phlogistik zur modernen Chemie. Vorträge des Symposiums aus Anlaß des 250. Geburtstages von Martin Heinrich Klaproth*. Technische Universität Berlin, 29. November 1993. Berlin 1994, S. 168-259, sowie Stolz, Rüdiger: *Über eine bislang unbekannte Mitschrift der ersten chemischen Vorlesungen Martin Heinrich Klaproth's aus dem Jahre 1789*, in: ebd., S. 80-92.

15 Kuhn, Thomas S.: *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. 9. Aufl., Frankfurt am Main 1988, S. 82-85 und passim.

16 Vgl. Weyer, Geschichte, Band 1, Kapitel 19.

Ernst Friedrich von Schlotheim

Ein Leben für die Rätsel der Vorzeit

Peter Hauschild

Ernst Friedrich von Schlotheim ist einer der großen Wegbereiter der paläontologischen Forschung des frühen 19. Jahrhunderts. Besondere Verdienste erwarb er sich dabei durch seine intensive Auseinandersetzung mit der fossilen Pflanzenwelt, die ihn zum Begründer der wissenschaftlichen Paläobotanik machte.¹

Ernst Friedrich von Schlotheim wurde am 2. April 1764 im thüringischen Allmenhausen bei Schlotheim geboren. Sein Vater war der herzoglich-gothaische Beamte Ernst Ludwig von Schlotheim, seine Mutter Friederike eine geborene von Stangen. Nach mehrjährigem Unterricht bei Hauslehrern wechselte er 1779 auf das Gothaer Gymnasium Ernestinum, das er bis 1782 besuchte. Nach Beendigung der schulischen Ausbildung studierte er anschließend zwei Jahre Jura in Göttingen, um sich auf eine Tätigkeit im herzoglichen Staatsdienst vorzubereiten (die er später tatsächlich auch aufnahm). Gleichzeitig hörte er hier Vorlesungen zur Naturgeschichte bei Johann Friedrich Blumenbach (1752-1840).² Zu dieser Zeit fing er bereits an, eine Sammlung von Versteinerungen anzulegen. 1791 begann Schlotheim ein weiteres Studium, diesmal an der Bergakademie Freiberg,



Fossiler baumartiger Schachtelhalm aus dem Unterperm, *Annularia stellata* SCHLOTHEIM, der Senckenberg Naturhistorischen Sammlungen Dresden, Sektion Paläobotanik. (Peter Hauschild)

wo er als Selbstzahler unter der Matrikelnummer 358 eingeschrieben wurde.³ Er hörte unter anderem Vorlesungen zu Oryktognosie (Mineralogie) bei Abraham Gottlob Werner und zum Bergmaschinenwesen. Zu seinen Mitstudenten gehörten Alexander von Humboldt (1769-1859) und Leopold von Buch (1774-1853), die beide ebenso wesentlich die Erkenntnisse in den Naturwissenschaften ihrer Epoche beförderten. 1792 beendete er sein Studium. Praktische Anwendung fand sein in Freiberg erworbenes Wissen bei seinen Besuchen als Beamter in Bergwerken und Gewerbebetrieben, zum Beispiel 1792 im Harz und 1793 im mitteldeutschen Kupferschieferabbaugebiet. Eine seiner wichtigsten Aufgaben im späteren Staatsdienst war die Kontrolle des regionalen Berg-, Hütten- und Schmelzwesens. Das Schmelzwerk Luisenthal konnte unter seiner Leitung zu einem Betrieb mit überregionaler Bedeutung ausgebaut werden. Zusätzlich zu den Aufgaben im Montanwesen oblag ihm ebenfalls ab 1822 als Oberaufseher die Zuständigkeit für die herzoglichen Sammlungen, die herzogliche Bibliothek und das Münzkabinett. 1798 ehelichte er Christiane von Helms (1766-1825), mit der er drei Kinder hatte. Ab 1805 war von Schlotheim dirigierender Rat und von 1817 bis 1828 Präsident

³ Vgl. Universitätsarchiv Freiberg, Akte OBA 185, ebenfalls bei Carl Schiffner: Aus dem Leben alter Freiburger Bergstudenten. Band 1. Freiberg 1935, S. 18.

des Kammerkollegiums in Gotha. Bereits seit 1823 war er Mitglied der Leopoldina und seit 1827 Ehrenmitglied der Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1828 wurde Schlotheim schließlich zum Oberhofmarschall ernannt. Im selben Jahr erlitt er allerdings einen Schlaganfall mit so schwerwiegenden Folgen, dass er sich aus dem Arbeitsleben zurückziehen musste. Infolge seiner sich verschlechternden Gesundheit durch weitere Schlaganfälle starb von Schlotheim am 28. März 1832 in Gotha.

Schlotheims Bedeutung für die Gegenwart beruht vor allem auf seinen Forschungen zur Paläobotanik. Schon früh nutzte er dafür Thüringens reiche Fossilfundstätten als Grundlage für seine privaten Untersuchungen von Petrefakten.⁴ So befasste er sich intensiv mit den fossilen Pflanzen aus dem Rotliegenden, wie sie im Steinkohlenabbau im Gebiet Manebach-Kammerberg im Thüringer Wald seit der Mitte des 18. Jahrhunderts aufgefunden wurden. Nebenbei sammelte er ebenso ausgiebig tierische Fossilien, vorwiegend aus dem Muschelkalk, sowie Minerale und Meteoriten.⁵ Seine Erkenntnisse veröffentlichte er in Arbeiten zu Mineralen, fossilen Pflanzen und Tieren,

⁴ Petrefakten war die im 18. und frühen 19. Jahrhundert gebräuchliche Bezeichnung für Fossilien. Letzterer Begriff war zwar schon seit Georgius Agricola in der Mitte des 16. Jahrhunderts bekannt, jedoch allumfänglicher gebraucht für alles, was sich beim Graben finden lässt, vgl. hierzu Günter Krumbiegel: Tiere und Pflanzen der Vorzeit, Leipzig, Jena, Berlin 1989, S. 9 ff.

⁵ Seine umfangreiche Sammlung von Fossilien kaufte nach dem Tod von Schlotheims der preußische Staat durch die Vermittlung Alexander von Humboldts auf. Die Sammlung befindet sich heute im Museum für Naturkunde Berlin (vgl. Museum für Naturkunde, Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung an der Humboldt-Universität zu Berlin (Hrsg.): Museum für Naturkunde. Die Ausstellungen. Berlin 2012, S. 140). Im Museum der Natur in Gotha haben sich die Teile der Meteoritensammlung erhalten.

¹ Vgl. zur Biografie von Schlotheim auch die älteren Veröffentlichungen von M. Oschmann: Ernst Friedrich von Schlotheim. Das Leben eines großen Paläontologen. In: Bergakademie 16 (1964), S. 444-448 und Wolfgang Zimmermann: Ernst Friedrich von Schlotheim 1764 - 1832. Zum 150. Todestag des Begründers der wissenschaftlichen Paläobotanik. In: Museum der Natur. Abhandlungen und Berichte des Museums der Natur Gotha, Heft 11. Gotha 1982 sowie Gottfried Zirnstein: Schlotheim, Ernst Friedrich Freiherr von. In: Neue Deutsche Biographie 23 (2007), S. 109-110 [Online-Version] <https://www.deutsche-biographie.de/pnd117330485.html#ndbcontent>.

² Blumenthal war Professor für Medizin und befasste sich nebenbei im Rahmen seiner Forschung und Lehre mit Inhalten, die heute der Paläontologie bzw. Anthropologie zugerechnet werden können.

unter anderem im Buch „Beschreibung merkwürdiger Kräuter-Abdrücke und Pflanzen-Versteinerungen. Ein Beitrag zur Flora der Vorwelt“, das 1804 erschien. Aus den Untersuchungen der Fossilien seiner umfangreichen Sammlung leitete er etliche, wenn auch vorsichtig formulierte, Schlussfolgerungen ab, wohl da er sich des lückenhaften zeitgenössischen Wissensstands bewusst war. Nichtsdestotrotz war von Schlotheim seinen Zeitgenossen eine wichtige Quelle neuen Wissens. So sprach zum Beispiel auch Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), der an der Naturgeschichte ebenso interessiert war wie an Lyrik und Prosa, mit ihm über Fossilien. Schlotheim nutzte ab 1820 binominale Artnamen für die Benennung der Fossilien von ausgestorbenen Tier- und Pflanzenarten in Übereinstimmung mit der von Carl von Linné (1707-1787) geschaffenen Nomenklatur. Zu seinen wichtigsten Leistungen zählte die Erkenntnis der Schichtgebundenheit zahlreicher fossiler Arten.⁶ Mit der Feststellung, dass zeitgleiche Schichten teils fossilreich,

⁶ Diese wurde unabhängig von Schlotheim auch von anderen Wissenschaftlern wie William Smith (1769-1839) beobachtet, der daraus die Leitfossilmethode entwickelte und dieser maßgeblich mit zum Durchbruch verhalf.

teils fossilreicher sind, nahm Schlotheim die Idee des Faziesbegriffs vorweg. Aus Merkmalen von Pflanzenfossilien schloss er auf ein zu deren Lebenszeit wärmeres Klima und zog unter anderem aus der Art der Einbettung und der Nachbargesteine Schlüsse bezüglich deren früherer Lebensumstände. Er stand der zu seiner Zeit diskutierten Theorie Georges Cuviers (1769-1832), in der immer wieder plötzlich auftretende Katastrophen für die Auslöschung und Neuentstehung von Arten eine Rolle spielen sollten, teilweise kritisch gegenüber und deutete auch die Möglichkeit einer Umbildung der früheren Arten in die heutigen an. So nahm er an, dass bestimmte Arten möglicherweise über vergangene lange Zeiträume durch klimatische Ursachen und sonstige Umstände so verändert worden sind, dass die gegenwärtigen Arten in den versteinerten Vorformen nicht ohne weiteres wieder erkennbar sind. Hier deutet sich eine gewisse Vorstellung von Evolution an – und Schlotheim wird daher heute als einer der Vordenker der Evolutionstheorie gewürdigt. Jedoch wurde schon vor Veröffentlichung der Theorien von Charles Darwin (1809-1882) die Möglichkeit von Umbildungen innerhalb einer Art oder Gattung akzeptiert bzw. für möglich ge-

halten. Das galt jedoch noch nicht für die gesamte Organismenwelt wie später in der Evolutionstheorie.

Bis heute sind paläobotanische Fossilienfunde für das Verständnis der Entwicklung des Lebens auf der Erde und für die Erkenntnis zu geoökologischen Zusammenhängen über lange Zeiträume von großer Bedeutung. Themen wie die Entstehung und Evolution von Pflanzen in der Erdgeschichte, deren Systematik, Ökologie und Stratigraphie sowie die Fossilisation pflanzlicher Organismen durch sedimentäre und vulkanische Prozesse spielen dabei eine große Rolle – auch im Rahmen der heutigen Forschung und Lehre an der TU Bergakademie Freiberg.⁷ Die Grundlagen dafür legte vor über 200 Jahren deren Alumnus Ernst Friedrich von Schlotheim.

⁷ So zum Beispiel durch Prof. Dr. Ronny Rössler, Honorarprofessor für Paläobotanik an der TU Bergakademie Freiberg und Direktor des Museums für Naturkunde Chemnitz, mit entsprechenden thematischen Vorlesungen im Rahmen des Curriculums, vgl. TU Bergakademie Freiberg: Studium generale. Sommersemester 2021. Freiberg 2021, S. 33 und nicht zuletzt durch die umfangreichen Exponate in der Paläontologischen Sammlung, deren Teile im Humboldt-Bau der TU Bergakademie Freiberg ausgestellt sind.

Der Freiburger Radiumkongress am 27. Mai 1921 Geburtsstunde einer neuen physikalischen Einheit oder Pflingstausflug des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie?

Norman Pohl

Ein Lehrstück in oral history: Der so genannte Freiburger Radiumkongress, besser anzusprechen als Tagung, spielte in der mündlich tradierten, bergakademischen Erinnerungskultur der 1990er und frühen 2000er Jahre im Hinblick auf die Selbstvergewisserung, schon vor 1993 einer Technischen Universität entsprochen zu haben, eine nicht unwesentliche Rolle. So hieß es sinngemäß von vielen Seiten: „Wenn die Bergakademie nicht schon eine Universität gewesen wäre, so wären „die“ – gemeint waren Otto Hahn, Hans Geiger und Lise Meitner – doch gar nicht nach Freiberg gekommen.“ Vielleicht doch? Ohne Bezug auf diese Aussage, aber im Sinne einer verschriftlichten oral history folgerichtig, findet sich ein Beitrag von Werner Stolz, von 1978 bis 2000 ordentli-

cher Professor für Angewandte Physik an der Bergakademie, im Band „Bergakademische Geschichten“, der 2015 im Rahmen der Freiburger Jubiläumsfeierlichkeiten erschien.¹ Der Konzeption des Bandes entsprechend sind die Beiträge weitgehend ohne Quellennachweis gehalten, was im Kern auf eine geradezu fruchtlose Doppelarbeit hinausläuft, sie im Nachhinein damit versehen zu müssen, um einer der seit über 200 Jahren bestehenden wissenschaftlichen Kernforderungen von Barthold Georg Niebuhr zu genügen. Niebuhr, der als ordentliches Mitglied der Berliner Akademie der Wissenschaften an der 1810 gerade gegründeten Berliner Universität über römische Geschichte vortrug, arbeitete als grundlegendes Prinzip der Geschichtswissenschaft im Unterschied

zur Literatur den Anspruch heraus, „überlieferte Fakten nur dort als historisch echt [anzuerkennen], wo diese auf eine zweifelsfreie Quelle zurückgeführt werden konnten.“²

Hauptsächlich benutzte Quelle für den nachfolgenden Beitrag ist der von Paul Ludewig verfasste Bericht über die Ergebnisse der Freiburger Tagung.³ Kritisch betrachtet, entspricht Ludewigs Artikel einem Protokoll, in Teilen aber auch einem Zeitzeugenbericht, der seinerseits anhand anderer Quellen zu verifizieren wäre.⁴

Die vorgetragenen Überlegungen sollen den wissenschaftlichen Ertrag der Freiburger Zusammenkunft im Mai 1921, am Freitag nach Pfingsten, keineswegs schmälern, andererseits aber doch einigen anderen Begleitumständen mehr Auf-

merksamkeit als bisher zuwenden. Nach einer kurzen Diskussion über den „Rang“ der Bergakademie, der Zeitumstände im Jahr 1921 und der bekannten Attraktivität von Freiberg als Reiseziel soll noch der Prozess des Entstehens und Vergessens der physikalischen Einheit „Eman“ hinterfragt werden. Der Beitrag endet mit einigen spekulativen Erwägungen zu weiteren Hintergründen der Freiburger Zusammenkunft, deren Verifizierung künftiger Forschung vorbehalten bleibt.

Der „Rang“ der Bergakademie Freiberg

1920 erhielt die Bergakademie Freiberg das Recht zuerkannt, selbstständig und nicht mehr gleichsam in Vormundschaft der TH Dresden Promotionsverfahren durchzuführen.⁵ Die Erinnerung an eine lange Reihe bedeutender Absolventen und Professoren, hier sind für alle Alexander von Humboldt und Julius Ludwig Weisbach zu nennen,⁶ oder auch an das Wirken von Adolf Ledebur waren noch frisch,⁷ die Entdeckung der Elemente Indium und Germanium und weitere wissenschaftliche Leistungen beantworteten die Frage nach dem Rang der Bergakademie Freiberg eigentlich von selbst, wäre sie denn zu Beginn des 20. Jahrhunderts gestellt worden.⁸ Zweifel konnten somit erst danach entstanden sein, aber dies sind andere Geschichten.

o tempora, o mores

Die Zeitumstände Anfang der 1920er Jahre waren in Deutschland nach dem Ersten Weltkrieg nichts mehr als schwierig. Das Land war politisch instabil. Die Folgen des sogenannten „Kapp-Putsches“ vom März 1920 beschäftigten den Freistaat Sachsen noch bis in den Juni hinein.⁹ Als wirtschaftliche und soziale Folgen des Ersten Weltkrieges benennt Groß Arbeitslosigkeit, soziales Elend und Verarmung, eine zunächst schleichende und ab Februar 1921, nach der Festsetzung der deutschen Reparationsleistungen, beschleunigte Geldentwertung sowie eine durch die Zeit der Weimarer Republik zunehmende politische Radikalisierung. Die Freiburger Zusammenkunft fällt somit, rückblickend betrachtet, in die Zeit einer beginnenden politischen Krise, die sich mit den Morden an Matthias Erzberger (†26. Aug. 1921) und Walter Rathenau (†24. Juni 1922), der Ruhrgebietsbesetzung und der Hyperinflation des Jahres 1923 zuspitzen sollte.

Freiberg als Tagungsort

Aus wissenschaftlicher Sicht war Freiberg mit der Bergakademie und dem 1913 gegründeten Radium-Institut, dem Oberbergamt sowie der neuen mineralogisch-geologischen Ausstellung im 1916 eingeweihten Werner-Bau ein attraktiver Tagungsort. Für die überschaubare Zahl der Teilnehmer waren hinreichende Unterbringungsmöglichkeiten vorhanden. Tagungen kam in einer Zeit ohne Internet und ohne Telefonkonferenzschaltungen ein im Vergleich zur heutigen Situation noch höherer Stellenwert im wissenschaftlichen Austausch zu.

Freiberg und das Erzgebirge verfügten schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts über eine Vielzahl touristischer Anziehungspunkte. Die Goldene Pforte des Freiburger Doms war durch einen schützenden Vorbau seit 1902 den zersetzenden Wirkungen der Freiburger Hüttenabgase entzogen, in Annaberg-Buchholz lockte die Annenkirche und in Schneeberg St. Wolfgang, in Freiberg zudem die Silbermann-Orgeln. Die geplante Umsetzung des Frohnauer Hammers in das neu gegründete Museum für Meisterwerke der Naturwissenschaften und der Technik nach München war gescheitert, viele Zeugnisse der Montangeschichte boten Wissenswertes an: heute sind potenzielle Ziele für Reisende in der Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří einfach auszuwählen,¹⁰ viele von ihnen bestanden schon vor 100 Jahren. Auch die sächsische Bäderlandschaft war bereits ausgeprägt,¹¹ und mit der unter der Federführung von Carl Wilhelm Anton Schiffner zwischen 1908 und 1912 entstandenen verbündigen Dokumentation war auch das Kurmittel Radioaktivität erschlossen, wenn auch noch nicht in jedem Bad durch repräsentative Bauten zur Geltung gebracht.

In der Reihe „Woerl's Reisehandbücher“ erschien vor der Jahrhundertwende ein „Führer durch Freiberg i.S. und Umgebung mit einem Stadtplan“. Heinrich Gerlach publizierte 1898 in zweiter Auflage eine „Kleine Chronik von Freiberg als Führer durch Sachsens Berghauptstadt und Beitrag zur Heimatkunde“, Friedrich Kolbeck und Paul Berberich erläuterten 1916 „Das Mineralogische Museum der Königlichen Bergakademie zu Freiberg als Führer durch das Reich der Steine“, Konrad Knebel widmete 1906 60 Seiten einem „Führer durch die Sammlung für Altertum, Kunst und Volkskunde des Freiburger Altertumsvereins im König-Albert-Museum“. Professoren der Bergakademie

wiesen an verschiedenen Stellen auf Freiburger Attraktionen hin.

Mithin war ein attraktives Rahmenprogramm möglich, wie auch die leider nicht näher belegte Angabe von Stoyan zum der Zusammenkunft vorausgehenden Bierabend im Hotel Sächsischer Hof zeigt.¹² Dass der Beleg für die Nach-Tagungs-Exkursion nach Oberschlema erbracht werden konnte, ist Dr. Oliver Titzmann aus Bad Schlema zu danken.

Das Eman: Ziel der Tagung, heute eine veraltete Einheit

Die Freiburger Tagung führte zwei Gruppen zusammen: Wissenschaftler und Baddirektoren:

Wissenschaftler - Lise Meitner ist hier stets mitzudenken -, die zweckmäßige Messverfahren und physikalische Einheiten mit Bezug zu und abgeleitet aus international anerkannten und gültigen Standards festzulegen im Stande waren.

Badedirektoren, die die Anwendung der Festlegungen später in der Praxis zu verantworten hatten und daher auf eine Vorgehensweise achten mussten, die auch ohne akademische Vorausbildung praktikabel war und die fehlerfreie und nachvollziehbare Messwerte lieferte.

Die Kurorte nutzten unterschiedliche Messverfahren und Referenzsysteme, deren Ergebnisse daher so meist nicht miteinander vergleichbar waren. Vielleicht, um mit einer möglichst hohen, als heilkräftig angesehenen Dosis eines neuen Kurmittels werben zu können? Ziel der Tagung war daher eine Vereinheitlichung der Messverfahren, immerhin mit Bezug zu den relevanten Entwicklungen der Physik, aber dennoch auf einem, physikalisch betrachtet, eher randständigen Gebiet.

de generatione et de corruptione - Über Werden und Vergehen, ist eine für die chemische Theorie grundlegende Schrift des Aristoteles überschrieben. Für manche physikalische Einheit ist diese Umschreibung in ihrer Historisierung gleichfalls anwendbar. Ausführlich befasst sich damit die wissenschaftshistorische Disziplin der Metrologie, und in einem ersten Zugriff sind die von Kurzweil gegebenen Definitionen für die Einheiten Mache, Curie und Eman vorzustellen.¹³

Mache „Mache-Einheit (ME)“

Veraltet! Einheit in der Bäderkunde für den Gehalt an Radiumemanation (= Radon) in der Luft und im Wasser (Heilquellen), benannt nach dem österreichischen Phy-

siker HEINRICH MACHE (1876-1954), gemessen als den durch Radioaktivität in einer Ionisationskammer erzeugten Sättigungsstrom 0,001 esu:

1 ME = 3,64 * 10⁻¹⁰ Curie/Liter.¹⁴

Curie

„2) Radiologischer Kongress 1910: Das Curie als ‚Radoneinheit‘:

1 Curie (c) = die Aktivität derjenigen Menge Radon, die in einem abgeschlossenen Raum mit 1 Gramm Radium im radioaktiven Gleichgewicht steht. Grundlegende Messgröße war die Masse des Radiums, d. h. ein Curie entsprach ursprünglich der Radioaktivität von einem Gramm Radium-226.¹⁵

Das „Alte Curie“ von 1930 erweiterte die Definition auf beliebige Zerfallsprodukte, das inzwischen ebenfalls, seit 1964, veraltete „Neue Curie“ war schließlich nach

Marie und Pierre Curie benannt, ab 1964 nicht mehr im SI-System erfasst und durch den Umrechnungsfaktor 1 Curie = 3,7*10¹⁰ Becquerel definiert und somit seit 1975 ersetzt.

Eman (E, eman, Em)

„1) Veraltet! Einheit der Konzentration von Radium in Luft oder Lösung, entsprechend der Emanation von 10⁻¹⁰ Curie/Liter in Wasser:

1 E = 0,275 Mache-Einheiten = 2,7 Becquerel/Liter = 3700 s⁻¹m⁻³

2) Früher in der Bäderheilkunde verwendete, heute ungesetzliche Einheit zur Angabe der radiologischen Konzentration von Quellwasser und -gasen (v.a. Radon). Durch die Einheit Becquerel = s⁻¹ ersetzt.¹⁶

Bemerkungen zu den vertretenen Kurorten

Teplitz konnte schon Alexander von Humboldt, Novalis (Teplitzer Fragmente!), Goethe und Beethoven¹⁷ erfreuen, Bad Gastein war als Thermalbad seit dem 14. Jahrhundert bekannt.

Von Interesse ist aber das Verhältnis der weiteren sächsischen wie tschechoslowakischen, vormals böhmischen Kurorte zueinander.¹⁸ So ist eine Konkurrenzsituation um das neue Kurmittel Radioaktivität beziehungsweise Radiumemanation (= Radon) zu konstatieren. Von den in Brambach gefundenen Wässern wollten die benachbart gelegenen Badeorte profitieren, Franzensbad im Böhmisches, Bad Elster

Ort	Institution	Vertreter
Charlottenburg Berlin-Dahlem	Physikalisch-Technische Reichsanstalt Kaiser-Wilhelm-Institut [für Chemie], Radium-Abteilung	* Hans Geiger * Otto Hahn * Lise Meitner
Wien Berlin	Radium-Institut Physikalisch-chemisches Institut	* Stefan Meyer * W[illy] Marckwald ²³ * K[urt] Bennewitz * Paul Ludewig
Freiberg Freiberg	Bergakademie Freiberg, Radium-Institut Sächsisches Oberbergamt	[*] [Albert Borchers]
Dresden Dresden	Ministerium der Finanzen des Freistaates Sachsen Physikalisches Institut	nicht genannt H[arry] Dember
Erlangen	Radiochemisches Institut	* F[erdinand] Henrich
Prag	Physikalisches Institut	* J[osef] Tuma
Wiesbaden	Laboratorium Fresenius	L. Fresenius
Brambach	Badeort, Badedirektor/-direktion	Diefenbach, Hoffmann
Bad Elster	Badeort, Badedirektor/-direktion	von Alberti
Bad Gastein	Badeort, Badedirektor/-direktion	H. Kostrawa
St. Joachimsthal	Badeort, Badedirektor/-direktion	K. Hummel, A. Stauch
Karlsbad	Badeort, Badedirektor/-direktion	R. Kampe, H. Lang
Kreuznach	Badeort, Badedirektor/-direktion	E. Neumann
Oberschlema	Badeort, Badedirektor/-direktion	Vogelgesang
Teplitz	Badeort, Badedirektor/-direktion	A. Kolarz

als etabliertes Staatsbad des Königreichs Sachsen, und Oberschlema erlangte, Brambach nacheifernd, doch nach einigen Jahren den Status eines Kurbades. Um zu verhindern, dass die existenten, grenznahen Quellen durch Grabungen unmittelbar auf der anderen Seite der Staatsgrenze gefährdet würden, kam es schließlich zu vertraglichen Regelungen, die die zu Brambach konkurrierenden Kurorte auch am neuen Kurmittel partizipieren ließen. Bis heute sind, ungeachtet aller gegen die Wirksamkeit von Radonbadekuren vorgebrachten Einwände, massive Bestrebungen im Gang, um weiterhin in eine medizinisch-strahlende Zukunft zu investieren.¹⁹

Lise Meitner und die Herren Kongress-teilnehmer

Nachfolgend ist von geringerem Interesse, welchen Lebensweg die Teilnehmer später einschlugen und welche wissenschaftlichen Leistungen sie noch erbringen sollten. Wichtig sind vielmehr die Positionen und Funktionen, die sie zum Zeitpunkt der Freiburger Tagung bekleideten. Auf Vollständigkeit der Aufzählung muss hier aber verzichtet werden.

In seinem Bericht erwähnte Ludewig die lokalen Freiburger und Dresdner Vertreter nicht namentlich, sondern gab nur das Sächsische Finanzministerium, das Oberbergamt und die Bergakademie als Institutionen an, gefolgt von der Aufzählung weiterer teilnehmender Institute und der Repräsentanten verschiedener Badeorte.

Mit „*“ gekennzeichnete Personen (Tabelle) sind auf der als ikonographisch anzusehenden Aufnahme zu sehen. Nicht als Teilnehmer der Tagung von Ludewig benannt, gleichwohl mit im Bild, ist der Badearzt von Oberschlema, Dr. Walther Mittenzwey. Es blieb dem geschätzten Kollegen Oliver Titzmann vorbehalten, auf Grund seiner Ortskenntnis das „Hotel Fremdenhof“ in Oberschlema als jenes Gebäude zu identifizieren, dessen Eingangstreppe dem Bildarrangement diente.²⁰

Mit dem Ministerium der Finanzen des Freistaates Sachsen war das der Bergakademie Freiberg vorgesetzte sächsische Landesministerium vertreten, mit dem Sächsischen Oberbergamt jene Institution, für die das Radium-Institut der Bergakademie „in allen wissenschaftlichen Radiumangelegenheiten“ (Ludewig) in erster Linie, aber nicht nur beratend tätig sein sollte.

Albert Borchers sollte ab 1924 bis zu seinem Tode 1929 Sächsischer Berghauptmann werden. Er war seit 1891 in Diensten der sächsischen Montanbehörden und amtierte seit dem 1. April 1920 als Oberbergamtsrat.²¹ Obwohl von Ludewig als Teilnehmer nicht namentlich genannt, kann mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass in ihm der Vertreter des Oberbergamtes auf der Tagung zu sehen ist.

Kurt Bennewitz war vor dem Ersten Weltkrieg Assistent bei Willy Marckwald am Physikalisch-chemischen Institut der



Mittenzwey, Hahn, Ludwig, Borchers
Geiger, Hahn, Meitner, Marckwald, Tuma

Teilnehmer des Radiumkongresses bei einem Ausflug nach Schlema. Von links nach rechts: Geiger, Hahn, Meitner, Marckwald, Tuma, oben: Mittenzwey, Henrich, Ludewig, Borchers (TU BAF, UAF, 9937/3)

Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin und kehrte wohl nach Ende des Krieges an das Institut zurück, wo er 1924 habilitierte.²² Marckwald orientierte sich in seinen wissenschaftlichen Arbeiten am II. Chemischen Institut der Berliner Universität, ab 1905 unter Walther Nernst zunehmend auf Fragen der physikalischen Chemie und der Radiochemie. Otto Hahn war zeitgleich am I. Chemischen Institut tätig, bevor er auf eine zunächst zeitlich befristete Anstellung in die radiochemische Abteilung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie in Berlin-Dahlem wechselte.²³

Harry Dember war zum Zeitpunkt der Freiburger Tagung außerordentlicher Professor für Physik an der TH Dresden und kurz zuvor von einer 1914 gestarteten Forschungs Expedition nach Teneriffa nach fünfjährigem kriegsbedingten Zwangsaufenthalt nach Dresden zurückgekehrt.²⁴

Stefan Meyer leitete von Beginn an „faktisch“ und seit 1920 als ordentlicher Professor auch offiziell das Wiener Radium-Institut und gilt heute als Pionier der Erforschung der Radioaktivität. Seit 1910 amtierte Meyer als Sekretär der internationalen Radiumstandardkommission und folgte Ernest Rutherford 1937 im Amt als deren Präsident nach. Zu Otto Hahn und Lise Meitner unterhielt er zeitlebens ein freundschaftliches Verhältnis.²⁵ Stefan Meyer führte zusammen mit Heinrich Mache seit 1904, also vier Jahre vor Schiffner, Weidig und Friedrich für das Königreich Sachsen, die Untersuchungen von Heil-

quellen Österreichs auf Radioaktivität durch. Mache galt danach als Pionier der Radiumemanationstherapie wie der Radiumemanationsbestimmung, obwohl sein wissenschaftliches Werk sich anderen Gebieten zuwandte.²⁶ Auf Vorschläge Meyers geht die Verleihung zahlreicher Nobelpreise für Physik mit zurück.

Ferdinand Henrich lebte von 1871 bis 1945, war zum Zeitpunkt der Freiburger Tagung seit 1912 außerordentlicher

Professor für Chemie an der Universität Erlangen²⁷ und publizierte 1918 im Springer-Verlag die Monographie Chemie und Chemische Technologie radioaktiver Stoffe.

Josef Tuma war zunächst am Physikalischen Institut der Universität Wien unter der Leitung von Viktor von Lang tätig, bevor er 1902 einen Ruf an die k.u.k. deutsche Technische Hochschule in Prag als außerordentlicher Professor für Physik erhielt.²⁸

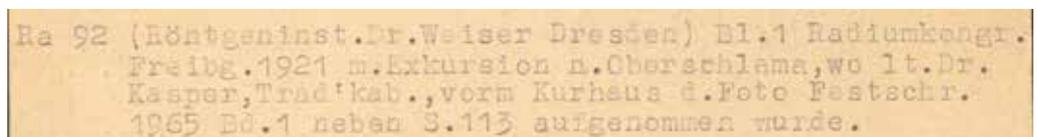
Anmerkungen zu Lise Meitner, Hans Geiger und Otto Hahn erscheinen hier entbehrlich und können der Neuen deutschen Biographie entnommen werden. Angemerkt sei aber noch, dass Otto Hahn, der eigentlich nur seine Kenntnisse der englischen Sprache verbessern wollte, als ein der organischen Chemie zugewandter Chemiker 1904 zunächst eine Arbeitsstelle bei William Ramsay am University College in London und ab September 1905 in Kanada bei Ernest Rutherford am Physikalischen Institut der McGill University erhielt.²⁹

Im Verhältnis zu anderen Erlebnissen in seinem ereignisreichen Leben scheint der Freiburger Aufenthalt für Otto Hahn aber nur eine untergeordnete, vielleicht rückblickend auch gar keine Rolle gespielt zu haben. In der 1969 erweiterten Neuauflage seiner Lebenserinnerungen erwäh-

te er mehrere, zusammen mit seiner Frau durchgeführte - kleine - Ferienreisen, so wohl im Sommer 1920 nach Schweigmatt „in den südlichsten Teil des Schwarzwald“ und „im Frühjahr 1921 eine Skitour ... nach St. Christoph am Arlberg in Österreich“. Nachfolgend berichtete Hahn noch über einen 60 Tage währenden, am 1. August 1921 beginnenden Krankenhausaufenthalt.³⁰

Wichtig erscheint aber ein anderer Hinweis Hahns auf einen Kongreß in Holland im Jahr 1922, mit „je zwei bis drei Vertreter(n)“ aus sechs Ländern, in dem er die wissenschaftspolitische Situation nach dem Ersten Weltkrieg charakterisierte: „Deutschland war in dieser Zeit auf internationaler Ebene noch ziemlich isoliert; aber es machten sich zunehmend Stimmen laut, die eine Art ‚Internationale‘ der Wissenschaft forderten.“³¹ Galten die in Freiberg anwesenden tschechoslowakischen Vertreter aus Prag, Teplitz, Karlsbad und St. Joachimsthal sowie die Repräsentanten Österreichs aus Wien und Bad Gastein Hahn als erweiterter deutscher Kulturkreis aus Kaiserreich und k.-u.-k.-Monarchie?

Die späteren Karrieren der Teilnehmer lassen die Freiburger Zusammenkunft geradezu als eine Veranstaltung des wissenschaftlichen Nachwuchses erscheinen. Es darf jedoch nicht aus dem Blickfeld geraten, dass vor 100 Jahren in einem frühen Abschnitt der Karriere zumeist die risikobehaftete Beschäftigung mit aktuellen Forschungsfragen abseits des wissenschaftlichen „mainstreams“ spätere Erfolge versprach, da sich die Ordinarien an den Universitäten - und auch an den Technischen Hochschulen - die Bearbeitung etablierter, aber gleichwohl ertragreicher Forschungsfelder vorbehalten. Dennoch gehörte es zum „guten Ton“ der Nachwuchsförderung, dass etablierte Wissenschaftler auch Jüngeren die Teilnahme an Tagungen gleichsam als „Eintrittskarte“ in die „scientific community“ und damit den Aufbau eigener Netzwerke ermöglichten. Die Zusammenschau der seinerzeit aktuell erreichten Karrierestufen der Teilnehmer zeigt jedoch, dass der seinerzeit bedeutendste Teilnehmer der Freiburger Tagung Stefan Meyer gewesen sein dürfte. Gleichwohl ist Hahns Mitgliedschaft im „Internationalen Komitee“ zu beachten, Meyer



Ausschnitt aus einer Karteikarte des Universitätsarchivs Freiberg mit Informationen zum Radiumkongress

gebührte jedoch der „Seniorrang“.

Es ist hier nicht am Platz, die gesamte Entwicklung der Radioaktivitätsforschung nachzuvollziehen, jedoch durchaus darauf zu verweisen, dass die Freiburger Tagung in dem Internationalen Kongress für Radiologie und Elektrizität vom 13. bis 15. September 1910 in Brüssel einen Vorläufer hatte.³² Die Teilnehmer des Brüsseler Kongresses bildeten ein Komitee mit „Mme. Curie, Debieerne, Rutherford, Soddy, Hahn, Geitel, Meyer, Schweidler, Eve, and Boltwood, um Vorschläge für eine Vereinheitlichung von Messverfahren auszuarbeiten und einen internationalen Radium-Standard festzusetzen.“³³ Marie Curie erklärte sich bereit, einen Referenzstandard zu erarbeiten; die physikalische Einheit zur Kennzeichnung der Meßwerte sollte dann Curie lauten, „in honour of the late Prof. Curie“, also in Erinnerung an Pierre Curie. Nach vollendeter Fertigstellung sollte das Standardpräparat unter Kontrolle des internationalen Komitees in Paris aufbewahrt werden. Die Kosten, so die Hoffnung von Rutherford, Boltwood und des Kongresses, wären als internationale Gemeinschaftsarbeit von den Regierungen verschiedener Länder aufzubringen.

Die Freiburger Tagung legitimierte sich in der Fokussierung auf Themen der Balneologie durch die Teilnahme von Meyer und Hahn als Mitgliedern des in Brüssel 1910 gebildeten Internationalen Komitees. Um es zu wiederholen: ihr Ziel war eine Vereinheitlichung der Messverfahren, immerhin mit Bezug zu den relevanten Entwicklungen der Physik, aber dennoch auf einem, physikalisch betrachtet, eher randständigen Gebiet. Dass das Curie als Einheit bestätigt wurde, ist aber damit gleichzusetzen, als wäre erneut die Gültigkeit von Meter, Kilogramm und Sekunde bekräftigt worden – in Zeiten der Rückkehr, 2021, zu Pfund und Unze in Großbritannien vielleicht aber doch nicht ganz unerheblich.

Resümee und Spekulation

100 Jahre Eman, 100 Jahre Radiumkongress“ in Freiberg – ein Kongress in Wien tanzt, in Freiberg braucht er ein Ergebnis! Und so schuf die Zusammenkunft zu Pfingsten 1921 das Eman als für die praktische Anwendung in Badeorten handhabbare Größe.

Seit 1913 ausgestattet mit einem Radiuminstitut an der Bergakademie, Sitz der für Sachsen verantwortlichen zentralen Montanverwaltung, nämlich dem Oberbergamt, mit den benötigten Übernach-

tungsmöglichkeiten, versehen zudem mit einer hinreichenden Anzahl touristischer Attraktionen und doch in gewisser Weise abgeschieden vom allgemeinen Rummel, bot Freiberg ideale Voraussetzungen zum wissenschaftlichen, wie auch zum persönlichen Austausch. Und wer mochte, konnte – auf dem Heimweg? – eine kleine „Bade-reise“ anschließen. Ob dabei auch „Schlemmas Wunder wirkende Wässer“ verkostet wurden? Jedenfalls spricht der Kleidungsstil von Otto Hahn in Anlehnung an Berliner Pfingstausflügler für eine Einordnung als „post congress-tour“.

Spekulativ ist, ob folgende Themen zur Sprache kamen:

- die von Hahn oben erwähnte „wissenschaftliche Internationale“, um Deutschland und Österreich wieder in die Gemeinschaft der Staaten nach dem Ersten Weltkrieg zurückzuführen,
- verbesserte Bezugsmöglichkeiten für Radium und Radiumpräparate für die vertretenen wissenschaftlichen Institute,
- die künftige wissenschaftliche Ausrichtung der Institute, um Arbeitsbereiche gegeneinander abzugrenzen oder auch
- die Zukunft Oberschlemas als Kurort.

Hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit wissenschaftlicher Ergebnisse gilt auch für die Geschichtswissenschaft im Zeitalter der Pflicht zur Dokumentation der Messwerte, den Anspruch des Niebuhr'schen Vorgehens einer Geschichtenerzählung auf oral history-Niveau vorzuziehen. Das Scheinargument einer leichteren Lesbarkeit der Geschichten spricht lediglich dem Publikum die Urteilsfähigkeit ab und ist im Sinne einer nachhaltigen, also dauerhaften, die erlangten Ergebnisse sichern und absichernden Arbeitsweise zu verwerfen. Niemand käme im Hinblick auf natur- und ingenieurwissenschaftliche Publikationen auf die Idee, auf die Darstellung von Aufbau und Durchführung von Versuchen zu verzichten und lediglich Messwerte zu präsentieren. Es hieße, vergleichbar für die Balneologie, in Zustände vor der Freiburger Tagung vom Mai 1921 zurückzufallen.

Nachtrag

Der Beitrag war abgeschlossen und eingereicht. Es war aber noch die Bildvorlage für den Satz in der Druckerei zu ergänzen. Der Karteikartenbestand des Universitätsarchivs gibt Auskunft darüber, wo sich das

gesuchte Objekt im Archiv befindet und enthält darüber hinaus noch manch nützliche Information: „Radiumkongr. Freiberg.1921 m.Exkursion n.Oberschlema,wo lt. Dr. Kasper,Trad'kab.,vorm Kurhaus d.Foto Festschr. 1965 Bd.1 neben S. 133 aufgenommen wurde.“ Womit sich erneut ein Grundgesetz historischen Arbeitens bestätigt: der erste Gang führt immer in die Bibliothek, der zweite Gang erst ins Archiv. Modern ergänzt: „(...) und dann erst kommt das Internet.“ Der Erläuterungstext „Als Teilnehmer am Radiumkongress Mai 1921 in Freiberg“ ist nunmehr klargestellt. Und: „Marchwald“ heißt Marckwald.³⁴

1 Stolz, Werner: Vom Radium“fieber“ zum Radiuminstitut der Bergakademie, in: Stoyan, Dietrich (Hrsg.): Bergakademische Geschichten. Aus der Historie der Bergakademie Freiberg erzählt anlässlich des 250. Jahrestages ihrer Gründung. Freiberg 2015, S. 179-184. Zu Stolz vgl. ebd., Autorenverzeichnis, S. 463.

2 So in der Formulierung von Dahlheim, Werner: Geschichte der römischen Kaiserzeit. 2. Aufl., München 1989, S. 144. Zu Niebuhr vgl. Walther, Gerrit: Niebuhr, Barthold Georg, in: Neue deutsche Biographie (NDB), Band 19, Nauwack-Pagel, S. 219-221 = <https://daten.digital-sammlungen.de/0001/bsb00016337/images/index.html?id=00016337&groesser=&fip=eayawewqvztsxsvdngenssenxvdeaya&no=3&seite=233>, letzter Zugriff 28. September 2021.

3 Ludewig, Paul: Die Freiburger Beschlüsse zur Vereinheitlichung der Meßweise radioaktiver Quellen, in: Strahlentherapie 13 (1921), S. 163-173.

4 Nicht zuletzt verschriftlichte oral history stellen die gerne als erster Zugriff genutzten biographischen Angaben in „Schiffner I-V“ dar, die allerdings stets der Überprüfung anhand der Unterlagen des Universitätsarchivs bedürfen. Vgl. dazu Pohl, Norman: Im „Schiffner“ nachgeschlagen, in: Zeitschrift des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg 16 (2009), S. 138.

5 Die Beiträge des unter den einschränkenden Bedingungen der Corona-Pandemie abgehaltenen „Festkolloquiums“ des vergangenen Jahres zum Thema 100 Jahre selbstständiges Promotionsrecht der TU Bergakademie Freiberg werden demnächst erscheinen. Das Rahmenprogramm fiel im Vergleich zur Tagung vom Mai 1921 deutlich dürftiger aus.

6 Für Literatur zu Alexander von Humboldt vgl. Pohl, Norman: Alexander von Humboldt – Nachlesen, in: ACAMONTA. Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg 26 (2019), S. 162-163. Gekürzte Fassung. Vollständiger Beitrag: <https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/humboldt-jubilaum-32743/pohl-humboldt-nachlesen.pdf>. Zu Weisbach vgl. die Würdigung in digitaler Form (Catch-Ing. Auf den Spuren von Julius Weisbach) aus Anlass des 150. Todestages: <https://tu-freiberg.de/fakult6/technikgeschichte-und-industriearchaeologie/history-to-go/catching-auf-den-spuren-von-julius>, letzter Zugriff 28. September 2021.

7 Vgl. Krebs, Stefan: Technikwissenschaft als soziale Praxis. Über Macht und Autonomie der Aachener Eisenhüttenkunde 1870-1914. Stuttgart 2009 (Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, Beihefte 204).

8 Im Überblick, aber ebenfalls literarisch gehalten: Rektor der Technischen Universität Bergakademie Freiberg (Hrsg.): Wissenschaft vor Ort. Bilder zu Geschichte und Gegenwart der TU Bergakademie Freiberg. Freiberg 2007. Aus neuerer Zeit, gleichsam die Feierperiode zur 250jährigen Geschichte der TU Bergakademie Freiberg beschließend Albrecht, Helmut: Die Bergakademie Freiberg. Eine Hochschulgeschichte im Spiegel ihrer Jubiläen 1765 bis 2015. Freiberg 2016.

9 Groß, Reiner: Geschichte Sachsens. 4. Aufl., Leipzig 2007, S. 258 f., zu den nachfolgenden Aspekten S. 262 f. und S. 266 f.

10 <https://www.montanregion-erzgebirge.de/>, letzter Zugriff 27. September 2021.

11 Dazu Fuchsloch, Norman: „Kur“-Sachsen. Zur Geschichte der Bäder in Sachsen und ihrem Verhältnis zum Montanwesen, in: Ohlig, Christoph (Hrsg.): Wasserhistorische Forschungen Schwerpunkt Montanbereich. In memoriam Dr.-Ing. Martin Schmidt. Siegburg 2003 (Schriften der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft 3), S. 93-150.

12 Stoyan, Dietrich: Anmerkung des Herausgebers = Fußnote 3 in Stolz, Radium“fieber“, S. 182.

13 Kurzweil, Peter: Das Verein Einheiten-Lexikon. Begriffe, Formeln und Konstanten aus Naturwissenschaften, Technik und Medizin. 2. Aufl., Braunschweig/Wiesbaden 2000. Für eine weitergehend Beschäftigung mit dem Bereich der Metrologie sei auf die Arbeiten beispielsweise von Harald Witthöft verwiesen.

14 Kurzweil, Einheiten-Lexikon, S. 253.

15 Kurzweil, Einheiten-Lexikon, S. 87.

16 Kurzweil, Einheiten-Lexikon, S. 128.

17 Auch wenn das Treffen beider am 19. Juli 1812 wohl eher enttäuschend verlief. <https://www.br-klassik.de/themen/klassik-entdecken/beethoven-und-goethe-treffen-sich-was-heute-geschah-1812-100.html>, letzter Zugriff 29. September 2021.

18 Nachfolgende Überlegungen greifen zurück auf Fuchsloch, „Kur“-Sachsen.

19 Vgl. die Titelgeschichte von Hommel, Frank: Radon-Bad will Nummer eins in Europa werden. Ein neues Zentrum für Radon-Therapien in Bad Brambach soll Schmerzpatienten helfen – und die Folgen von Corona für die Sächsischen Staatsbäder vergessen machen, in: Freie Presse – Freiburger Zeitung, vom Mittwoch, dem 1. September 2021, S. 1, sowie ders.; Mann, Uwe: Das Haus, in dem die Linderung zu Hause ist, ebd., S. 2.

20 Titzmann, Oliver: Hoher Besuch in Oberschlema, in: Gemeindeanzeiger Bad Schlema (2011), Nr. 9, vom Mittwoch, dem 31. August 2011, S. 11. Die Erwähnung von Mittwoch im Beitrag von Zehmisch, Heinz: Zur Entdeckung und Nutzung der sächsischen Radonquellen, in: Ärzteblatt Sachsen (2016), Heft 3, S. 121-124, ebnete den Weg zur Darstellung Titzmanns. Weiterführend zur Geschichte von Oberschlema, Schlema und Bad Schlema Titzmann, Oliver: Radiumbad Oberschlema. Die Geschichte eines Kurortes. Schlema 1995, sowie ders.: Uranbergbau contra Radiumbad. Die Auswirkungen des Uranbergbaus der SAG Wismut auf die Gemeinde Radiumbad Oberschlema (1946-1955). Diss. Uni Leipzig 2002, Schlema 2003.

21 Roch: Nachruf für Berghauptmann Borchers, in: Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen in Sachsen. Statistik vom Jahre 1928; Grubenübersichten nach dem Stande im Mai 1929, Jg. 103 (1929), S. 3-8 = https://web.archive.org/web/20131109123240/http://tu-freiberg.de/ze/ub/el-hibl/bj_sachsen/1929.pdf, letzter Zugriff 29. September 2021.

22 Kurt Gustav David Bennewitz (* 2. Januar 1886 in Magdeburg; † 28. November 1964 in Uckerodorf): [https://de.wikipedia.org/wiki/Kurt_Bennewitz_\(Chemiker\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kurt_Bennewitz_(Chemiker)), letzter Zugriff 28. September 2021, andere gedruckte Quellen nicht verfügbar.

23 Willy Marckwald (* 5. Dezember 1864 in Jakobskirch, Niederschlesien (poln. Jakubów); † 1942 in Rolândia, Brasilien): https://de.wikipedia.org/wiki/Willy_Marckwald, letzter Zugriff 28. September 2021, andere gedruckte Quelle nicht verfügbar. Zur Geschichte Dahlems, dem „deutschen Oxford“, instruktiv Engel, Michael: Geschichte Dahlems. Berlin (West) 1984.

24 Voss, Waltraud; Dember, Harry, in: Petschel, Dorit (Bearb.);

Die Professoren der TU Dresden 1828-2003, Köln, Weimar, Wien 2003 (175 Jahre TU Dresden) 3, S. 152-154. * 11.7.1882 in Leimbach; † 22.3.1943 in New Brunswick, New Jersey.

25 * 27.4.1872 in Wien; † 29.12.1949 in Bad Ischl – vgl. Rechenberg, Helmut; Meyer, Stefan, in: Neue deutsche Biographie (NDB), Band 17, Melander – Moller, Berlin 1994, S. 321-322 = <https://daten.digital-sammlungen.de/0001/bsb00016335/images/index.html?id=00016335&groesser=&fp=eavaevqvzt&sydlengrsenxdsydeava&no=2&seite=338>, letzter Zugriff 28. September 2021.

26 * 27.4.1876 in Prag; † 1.9.1954 in Wien – vgl. Rechenberg, Helmut; Mache, Heinrich, in: Neue deutsche Biographie (NDB), Band 15, Locherer – Maltza(h)n, Berlin 1987 S. 611-612 = <https://daten.digital-sammlungen.de/0001/bsb00016333/images/index.html?id=00016333&groesser=&fp=eavaevqvzt&sydlengrsenxdsydeava&no=6&seite=626>, letzter Zugriff 28. September 2021. Mache war von 1925 bis 1926 Rektor der TH Wien.

27 Ferdinand Henrich, Autorangaben im online-Katlog der Deutschen Nationalbibliothek, <https://portal.dnb.de/opac/opacPresentation?cqlMode=true&reset=true&referrerPosition=24&referrerResultId=per%3D%22Henrich%2C%22+AND+per%3D%22Ferdinand%22+AND+Catalog%3Ddnb%26any&query=idn%3D116717513>, letzter Zugriff 28. September 2021. Wachter, Clemens (Bearb.), unter Mitarb. v. Ley, Astrid u. Mayr, Josef: Die Professoren und Dozenten der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen 1743-1960. Teil 3: Philosophische Fakultät. Naturwissenschaftliche Fakultät. Erlangen 2009, S. 87-88 = URN: <urn:nbn:de:bvb:29-opus-20886>, letzter Zugriff 28. September 2021.

28 Meyenn, Karl von (Hrsg.): Eine Entdeckung von ganz außergewöhnlicher Tragweite. Schrödingers Briefwechsel zur Wellenmechanik und zum Katzenparadoxon. Band 1. Berlin, Heidelberg 2011, S. 7, Fußnote 15 = <https://books.google.de/book?id=QmW0v9KOKkC&pg=PA7&pg=PA7&dq=Tuma+Physikalisches+Institut+Prag&source=bl&ots=iVfhoUcoz4&sig=ACfU3UOd15661rV6E1Ye34tmUV4IqAzz&hl=de&sa=X&ved=2ahUKUwJ06M-EzKLzAhXqQvEDHa0FBHo06AF6BaGCEAM#v=onepage&q=Tu>

[ma%20Physikalisches%20Institut%20Prag&f=false](https://www.physik.uni-stuttgart.de/gnt/dokumente/dokumente_Hentschel/Dpg38-39.pdf), letzter Zugriff 28. September 2021. Arbeiten Tumas zur Radioaktivität sind hier nicht erkennbar, weder im online-Katalog der Deutschen Nationalbibliothek noch in Stark, Franz (Hrsg.), u. Mitw. v. Gintl, Wilhelm u. Grünwald, Anton: Die k. k. Deutsche Technische Hochschule in Prag 1806-1906. Festschrift zur Hundertjahrfeier. Prag 1906, S. 386 = <https://ia800300.us.archive.org/12/items/diekdeutschetec00prag/diekdeutschetec00prag.pdf>, letzter Zugriff 28. September 2021. Das Österreichische Biographische Lexikon war am 28. September 2021 nicht aufrufbar, gab im sichtbaren Eintrag aber die Lebensdaten 1866-1938 an, verbunden mit einem Hinweis auf ein ab der Berufung nach Prag erweitertes Arbeitsgebiet. Der von Klaus Hentschel erstellte Vergleich der Mitgliederlisten der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 1938/1939 gibt für Tuma das Arbeitsgebiet „angewandte Elektrizität“ an. https://www.hi.uni-stuttgart.de/gnt/dokumente/dokumente_Hentschel/Dpg38-39.pdf, letzter Zugriff 28. September 2021.

29 Hahn, Otto: Mein Leben. München, Zürich 1968. Erweiterte Neuauflage, der 5. Aufl. München, Zürich 1969 folgend als 6. Aufl., München, Zürich 1986, S. 277 f. Hahn entdeckte in dieser Zeit in London das „Radiothorium“ und in Kanada das „Radioactinium“ und das „Thorium C“.

30 Hahn, S. 134-135.

31 Hahn, Leben, S. 137, 136.

32 Vgl. dazu Boltwood, Bertram B.: The International Congress of Radiology and Electricity, Brussels, September 13-15, 1910, in: Science, N.S. Vol. XXXII, No. 831, December 2, 1910, p. 788-791, sowie Rutherford, Ernest: Radium Standards and Nomenclature, in: Nature, No. 2136, Vol. 84, October 6, 1910, p. 430-431.

33 Rutherford, Radium, p. 430.

34 Erläuterungstext zur oberen Abbildung vor S. 113, in: Rektor und Senat der Bergakademie Freiberg (Hrsg.): Bergakademie Freiberg. Festschrift zu ihrer Zweihundertjahrfeier am 13. November 1965. Band 1: Geschichte der Bergakademie. Leipzig 1965.

70 Jahre Klubhaus „Alte Mensa“

Thomas Schmalz

Schon beim Verfassen der Überschrift wird es problematisch, denn vor 70 Jahren war es nicht die „Alte Mensa“, sondern quasi die „Neue Mensa“, wenn man das so sagen will. Denn in der Petersstraße, die zur damaligen Zeit August-Bebel-Straße hieß, wurden die Bergakademiker verköstigt: im Erdgeschoss die Professorenschaft mit Tischbedienung, im Saal die Studenten – mit Selbstbedienung.

Schon im Mai 1946 begann in diesem Haus die Mensaversorgung, genau genommen am Freitag, dem 03.05. Es gab Hackbraten mit Kartoffeln und Gemüse. Die Versorgung lief von Freitag bis Mittwoch, Donnerstag blieb die Küche kalt. Der Student berappte 0,50 Mark pro Essen und musste für jede Woche Lebensmittelmarken abgeben – über 25 g Fett, 100 g Fleisch, 75 g Nahrungsmittel und 150 g Brot. Die Bergakademie zahlte zu jedem Essen 0,85 Mark dazu und lieferte neben Kohlen auch noch zusätzlich Kartoffeln und weitere Lebensmittel. Zur Mittagsversorgung diente das Haus bis Anfang 1976, als diese Aufgabe dann die „Neue Mensa“ übernahm. Aber das ist eine andere Geschichte ...

Als Klubhaus der Bergakademie begann das Gebäude sein Dasein am 01.06.1951. Die damaligen gesellschaftlichen Institutionen (FDJ, SED, CDU, DSF, Kulturbund, die HSG Wissenschaft und die

Redaktion der Zeitung „Hochschulstadt“) bezogen ihr Domizil im Vorderhaus. Ein paar Gästezimmer des ehemaligen Hotels wurden für Besucher der Bergakademie vorgehalten. Die Speiseversorgung wurde weiterhin garantiert, aber im Saal fanden nun auch Abendveranstaltungen statt. Dass es hierbei recht schnell zu gegenseitigen Beeinträchtigungen kam, ist leicht nachvollziehbar. Deshalb wurde schon im Jahr 1952 die Überlegung laut, dass das Haus nicht beiden Ansprüchen gerecht werden könne.

Dennoch wurde mehr als zwei Jahrzehnte lang dieses zweigleisige System gefahren. Und der Festsaal der Bergakademie wurde schon am 14. Mai 1952 mit hohem Besuch geehrt, DDR-Präsident Wilhelm Pieck zu Gast war. Unabhängig von dieser und vielen anderen Hochschul- gab es hier unzählige Kulturveranstaltungen: Diavorträge, Konzerte, Vorträge, Kabarett und natürlich auch Tanz – sowie den legendären Hochschulfasching.

Mit der Eröffnung der Neuen Mensa an der Agricolastraße gehörte das Haus dann ganz der Kultur. In das Erdgeschoss, wo vorher die Wissenschaftler speisten, zog nun der Studentenclub ein. In den 80er Jahren dann erinnerte man sich der beiden Keller unter dem Studentenclub, die fast in Vergessenheit geraten waren. Unendlich



viele Stunden investierten die Studenten, um jeden einzelnen der dort verbauten Feldsteine freizulegen und die Lehmritzen dazwischen mit Mörtel zu verfugen. Die ersten, die mit dieser Arbeit begannen, erlebten die Einweihung der Kellerkneipe gar nicht mehr als Studenten mit. Aber irgendwann war es soweit und selbst dem „Neuen Deutschland“ eine Notiz wert. Der Studentenclub (rechtlich getragen von der FDJ) organisierte während der Vorlesungszeit eine 6-Tage-Kulturwoche. Manche eingeladenen Bands bzw. Künstler waren so berühmt, dass man wegen des Publikumsansturms auf größere Häuser ausweichen musste, z. B. beim Konzert von „Silly“ im Mai 1989, das im „Tivoli“ stattfand. Zahlreiche Größen haben sich die Klinke in die Hand gegeben, der Freiburger Studentenclub wurde in einer Riege genannt mit dem Bärenzwinger in Dresden und der Moritzbastei in Leipzig.

Mit der Wende stellte sich die Frage,



was aus dem Haus werden sollte. Da es in den Siebzigern ordnungsgemäß von der damaligen Besitzerin abgekauft worden war, hatten Restitutionsansprüche keine Grundlage. Insofern war das Haus sicher. Unheil drohte jedoch von anderer Seite: Im bundesdeutschen Recht kannte man in der Hochschullandschaft keine Clubhäuser; dementsprechend gab es für so etwas auch keine Finanzierung.

Glücklicherweise war im sächsischen Wissenschaftsministerium mit der (Wieder)Gründung der Studentenwerke ein kluger Mann befasst, der in den Osten gekommen war, um beim Aufbau zu helfen und Fehler zu vermeiden, die im Westen gemacht worden waren. Hauptsächlich ihm ist es zu verdanken, dass das im Juli 1991 gegründete Studentenwerk Freiberg die Erlaubnis erhielt, das Gebäude weiter zu bewirtschaften. Jetzt hieß es „Studentenhaus“, da es in der Bundesrepublik in den 70er Jahren den „Kieler Studentenhausplan“ gab, der forderte, dass an allen Hochschulstandorten Orte zur kulturellen Betätigung der Studierenden geschaffen werden sollten (was allerdings kaum über das Modellprojekt Kiel selbst und „Boskop“, die „Bochumer Studentenkooperative“ hinausging).

Da das Haus Unmengen an Geld verschlang und sein Allgemeinzustand nicht übermäßig gut war, wurden vom Freistaat Sachsen Mittel zu seiner Sanierung bewilligt. Zuerst wurde die Heizung von

Kohle auf Gas umgestellt. Damit konnten die Heizer eingespart werden, die in rollender Woche hier gearbeitet hatten, da sich im Objekt auch drei Wohnungen befanden, die nicht separat beheizt werden konnten. Außerdem wurde das Dach des Vorderhauses saniert, um weitere Schädigungen des Dachstuhls zu unterbinden. In einer zweiten Sanierungsphase sollte alles außer dem Saal auf den neuesten Stand gebracht werden. Dem Festsaal war die dritte Sanierungsstufe vorbehalten.

Die Organisatoren der Kulturveranstaltungen hatten mittlerweile einen Verein gegründet, um die beiden Etagen im Vorderhaus zu betreiben; der Saal und die Gastronomie wurden vom Studentenwerk bewirtschaftet.

Dann kam der 03.08.1994. In den Nachmittagsstunden legte eine Frau aus Rache an den Behörden (ihr wurde die Sozialhilfe verweigert, da sie nicht in Freiberg gemeldet war) Feuer an mehreren Stellen in der Stadt, so auch im Saal der „Alten Mensa“. Die Feuerwehren konnten ein Überspringen der Flammen auf die anliegenden Gebäude verhindern, der Saal jedoch brannte vollständig aus. Das ganze Ausmaß des Schadens sah man erst am nächsten Tag.



Und wieder stellte sich die Frage, was aus dem Gebäude werden sollte. Das Studentenwerk konnte aus eigener Kraft keine Sanierung durchführen; es war zu jener Zeit wichtiger, die Wohnheime auf Vordermann zu bringen. So wurde der Saal vorerst mit einem Notdach versehen; Trockenbauwände schotteten ihn vom Rest des Hauses ab.

Hilfe kam von der Bergakademie in der Person von Dr. Harald Kohlstock, der sich vehement für den Wiederaufbau des brandgeschädigten Gebäudeteils als Festsaal der Bergakademie einsetzte und schließlich auch die notwendigen Gelder beschaffte. 2001 konnten die ersten Veranstaltungen im nun von der TU bewirtschafteten „Hinterhaus“ der „Alten Mensa“ stattfinden. Aber das nächste Unheil ließ nicht lange auf sich warten.

Einer Hausbesitzerin auf der gegenüber-

liegenden Straßenseite war das bunte Treiben der Studierenden schon seit langer Zeit ein Dorn im Auge, und nach Jahren einer schier endlosen Spirale aus Gesprächen, gegenseitigen Vorwürfen, Versuchen der Einigung und erneutem Streit klagte sie gegen die empfundene Lärmbelästigung und bekam Recht. Der Klubbetrieb sollt nach Entscheid des Oberlandesgerichtes derart eingeschränkt werden, dass ein wirtschaftlicher Betrieb nicht mehr möglich gewesen wäre. Die Mitglieder des Vereins hatten daraufhin keine Lust mehr, die stadtpolitische Frage, ob studentisches Leben in die Freiburger Innenstadt gehöre oder nicht, auf ihrem Rücken austragen zu lassen. Im Juni 2006, mit Ende des Sommersemesters, stellte der Verein einen Insolvenzantrag und seinen Betrieb ein. Es wurde ruhig in den beiden Etagen im Vorderhaus.



Das Studentenwerk übernahm die traditionsreichsten AGs des Vereins (Kino, Fasching und Jazz) und führte sie weiter. Und nachdem die rechthabende Anwohnerin ihr Haus verkauft hatte und weggezogen war, konnte auch in den Studentenclub wieder Leben einziehen. Allerdings musste in puncto Organisation bei Null begonnen werden: die früheren Kulturmacher waren in alle Winde zerstreut, da sie zumeist mittlerweile ihr Studium beendet hatten.

Nach einer Interimszeit des „Alte Mensa e.V.“ gründete sich im September 2010 der „Klubhaus e.V.“ und nahm seine Tätigkeit mit Beginn des Wintersemesters auf. Seitdem veranstaltet er an dieser geschichtsträchtigen Stelle Kultur für die und mit der Studentenschaft.

Sicherlich hätte es zum 70-jährigen Bestehen des „Klubhauses“ eine ordentliche Sause gegeben, aber wegen der pandemiebedingten Einschränkungen des öffentlichen Lebens war das nicht denkbar. Ebenso hätte man die erste urkundliche Erwähnung des Hauses am 20.03.1561 feiern können. Es handelt sich dabei um die Aufteilung des Erbes des Gaststättenbetreibers Hans Stumpf unter seine Nachkommen. Aber das ist eine andere Geschichte ...

Der Aufbau der russischen Bergverwaltung und der „Fall“ des Oberberghauptmanns Curt Alexander von Schönberg

Friedrich Naumann

Als Peter der Große (1672–1725) begann, das Fenster zum Westen weit aufzustoßen und das Zarenreich in das „Konzert der europäischen Mächte“ eintrat, erfuhr das Land eine ihm bis dahin unbekannte Dynamik des Aufbruchs. Verbunden war diese mit dem massenhaften „Import“ von Wissenschaft und Technik, aber auch der Aufnahme vielfältiger kooperativer Beziehungen. Als besondere Herausforderung zeigte sich dabei der Aufbau der Rohstoffwirtschaft, waren doch bislang Bergbau und Hüttenwesen kaum entwickelt. Diese Situation rechtfertigte den Blick in hochentwickelte Regionen und weckte entsprechende Begehrlichkeiten. Sachsen als diesbezüglicher Topstandort und bereit für mannigfaltigen Technologietransfer kam hierbei eine besondere Rolle zu und erwies sich schließlich als Katalysator bei der Entwicklung des russischen Montanwesens.

Die ersten Maßnahmen richteten sich auf den Aufbau einer geregelten Verwaltungsorganisation. Hierfür gründete man am 24. August 1700 in Moskau ein Amt für Erzgewinnung mit dem Ziel, die Münzstätten mit den notwendigen Metallen – Gold, Silber und Kupfer – zu versorgen. Außerdem traf man Festlegungen für die Abgabe des „Zehnten“ und das freie Recht zu Suche und Erkundung von mineralischen Rohstoffen. Zu dieser Zeit trat auch der aus Schneeberg in Sachsen stammende Johann Blüher in russische Dienste, wobei man ihn zunächst auf Erkundungsreisen schickte. Nach sächsischem Vorbild empfahl er auch spezifische Regularien für die Bergbauangelegenheiten, woraufhin man 1719 ein spezielles Berg-Kollegium schuf. Es bestand aus einem Berghauptmann, einem Oberbergmeister und einem Oberzehntner und wurde zunächst von Vasilij Nikitič Tatiščev geleitet, der als namhafter Vertreter der „Frühaufklärung“ in Russland galt und durch eine Reise nach Dresden auch das sächsische Bergwesen kennengelernt hatte. Dementsprechend richtete man in den Regionen auch Bergämter ein, besetzt mit einem Berggeschworenen, zwei Markscheidern, einem leitenden

Mechaniker, einem Oberbergprobierer, zwei Bergmeistern und einem Unterwaldmeister. Die vergebenen Rangbezeichnungen wurden fast ausschließlich aus dem Deutschen übernommen – z.B. Bergmeister/ *Бергмейстер*, Markscheider/ *Марксшейдер*, Oberberghauptmann/ *Обербергшайтман*, Steiger/ *Штейгер*.

Nach dem Tode Peter I. blieben die vorgesehenen Maßnahmen lediglich „geschriebene Buchstaben“, da der Staatskörper nicht gut genug funktionierte. Erst die 1730 zur Herrschaft gelangte Kaiserin Anna Ivanovna (1693–1740) mühte sich um Reformen und damit auch um die Neuordnung des Berg- und Hüttenwesens nach sächsischem Vorbild. Als ihre wichtigste Entscheidung galt die Gewinnung des kursächsischen Oberberghauptmanns Curt Alexander von Schönberg (1703–1761) für den russischen Staatsdienst.

In ihrem Ersuchen an den sächsischen Hof bat sie, „man möge ihr einen Cavalier oder sonst einen angesehenen Mann, dem sie durch Ertheilung eines Characters unter der hiesigen Nation eine größere Autorität geben könnte, anhersenden, der in Bergwerkssachen genugsam Wissenschaft und Erfahrung hätte, um das hiesige Reichsbergwesen und die davon geschickten Rapports und Erze zu untersuchen. Am allerliebsten würde man sehn, wenn ein solcher selbst eine Reise durch das Reich thun und die schon angelegten Werke oder gefundenen Anbrüche persönlich visitiren wollte. Ihro Majestät die Kaiserin wollten, dafern sich ein solcher Mann finde, in dessen Belieben stellen, wie viel und was für andere Bergarbeiter er zu einer dergleichen Untersuchung annehmen und unter seinem Commando anher bringen wolle. Er solle alle Zeit nach Gefallen wieder zurück nach Sachsen zu reisen die Freiheit haben, und da er selbst Conditiones aufschreibe und sie am besten, wenn er erst selbst anher komme, machen könne, so geben Ihro Maj. die Kaiserin zum voraus und überhaupt ihr Wort, daß ihm und seinen Leuten einer der genereusesten und austräglichsten Accords gemacht werden

solle.“¹

Die Verantwortung dafür übertrug sie dem russischen Vizepräsidenten des Kollegiums für Auswärtige Angelegenheiten Heinrich Johann Friedrich Graf Ostermann, und überbracht wurde das Schreiben durch den königlich-polnischen und kursächsischen *Envoyé Extraordinaire* zu St. Petersburg, Karl Moritz Graf Lynar. Der sächsische König August III. (1696–1763), um gute Beziehungen zu seinen russischen Nachbarn bemüht, folgte schließlich der Empfehlung seines Ministers Heinrich Graf von Brühl und erteilte seine Zustimmung. Die Wahl fiel insofern auf Schönberg, da dieser als „Mann von umfassendem Wissen im Bergfache und vorzüglicher Befähigung“ galt. Durch ein *Rescript* an die Geheimen Räte vom 13. Juni 1732 war er zum Viceberghauptmann, durch ein weiteres vom 23. September 1732 zum Berghauptmann und per *Rescript* vom 31. Oktober 1733 zum Oberberghauptmann ernannt worden. Eine erstaunlich steile Karriere, die auch mit beachtenswerten Diäten verbunden war: 1.800 Thaler Gehalt zuzüglich 3 Fass Landwein (1 Fass entsprach ca. 404 Liter) und 3 Stück Wild – gerechnet pro Jahr.

Für die geplante Reise nach Russland zeigte er sich keinesfalls bescheiden und forderte 12.000 Rubel für sich und seine Begleiter für die Hinreise, ein Gehalt von 1.200 Rubel monatlich und 8.000 Rubel für die Rückreise.² Nach zähen Verhandlungen mit dem russischen Oberkammerherrn Ernst Johann Graf von Bühren, genannt Biron, – ein Günstling der Kaiserin – einigte man sich schließlich auf einen Reisekostenzuschuss in Höhe von 10.000 Thalern, zu bestreiten aus der sächsischen Rentenkammer.

1 Acten des Sächs. Haupt-Staatsarchivs (Geheimes Cabinet): Die von dem russisch-kayserlichen Hofe aus Sachsen verlangten Künstler etc. 1698. Wie der Oberberghauptmann Schönberg auf einige Zeit in russisch-kayserliche Dienste vberlassen, in selbigen arretirt und wieder auf freien Fuß gestellet worden 1735–1745. Loc. 3076.

2 Der Wert des ab 1704 geprägte Silberrubels im Raugewicht von ca. 28 g (Feingewicht ca. 25 g) entsprach in etwa dem des Reichsthalers.

Und am 16. August 1736 vermeldete der sächsische Gesandte Rochus Graf von Lynar: „Endlich hat der Herr Oberberghauptmann von Schönberg die Ausfertigung seines Accords erhalten.“ Es sei noch erwähnt, dass in einem von Brühl gegengezeichneten Dekret an Schönberg dieser angewiesen wurde, „vornehmlich die Propalation [Offenlegung] derjenigen Umstände, welche etwan zur Gewinnung der Kobalte und Errichtung der Blaufarbenwerke in Rußland Anlaß geben könnten, sorgfältigst zu verhüten und von dergleichen auch vor seine Person niemand die geringste Eröffnung zu geben hat.“³ Auch im sächsischen Erzgebirge galt die Blaufarbenproduktion als strenges Geheimnis, um den Export der als Smalte bekannten blauen Farbe nicht zu gefährden.

Begleitet von 15 Bergbeamten, Berg- und Hüttenleuten traf Schönberg am 31. Mai 1736 in St. Petersburg ein. Für die Übernahme des Generaldirektoriums über das gesamte russische Bergwesen wurde als jährliches Gehalt 6.000 Rubel – zuzüglich „freier Equipage und Wohnung“ – vereinbart. Da Ostermann erhebliche Bedenken äußerte, einigte man sich schließlich auf 3.000 Rubel, bestritt aber die andere Hälfte aus der „geheimen Chatulle von Ihro Kaiserlichen Majestät“.

Nachdem unter dem 4. September 1736 ein erster Ukas⁴ mit der Bestimmung erlassen wurde, dass ihm alle Gouvernements über potentielle Erzvorkommen zu berichten hätten und dafür reiche Belohnung in Aussicht stellte, begann Schönberg – im Russischen nannte man ihn „Schemberg“ (Курт Александр фон Шёнберг) – seine Arbeit. Ihm zur Seite standen der Aktuar Karl Gottlieb Voigt und Wilhelm Blankenhagen, ein ehemaliger kriegsgefangener Schwede. Gleichzeitig gründete man ein neues Kollegium und arbeitete einen Organisationsplan aus. Der Absicht Schönbergs, im bevorstehenden Winter per Schlitten zur Inspektion ins Landesinnere zu reisen und darüber zu rapportieren, standen jedoch zahlreiche behördliche Hindernisse entgegen. Aus offiziellen Kreisen war zu vernehmen, „daß die Langsamkeit, womit man hier

in Ertheilung der Schönberg nöthigen *ordres* fortfahre, die Ursache sei“. In diesem Sinne hatte Schönberg „unendliche Klagen“ zu führen, zumal Ostermann „seinem Werke von Anfang an zuwider gewesen“ und auch Biron „bei den jetzigen Kriegstrubeln mit andern Sachen sehr überhäuft“ war und deshalb „Geduld und Warten“ empfahl.

Dieser Zustand wurde schließlich auch in dem *Species Facti* genannten Dokument beklagt, das die gesamte Arbeit Schönbergs am Ende seines Einsatzes aus russischer Sicht bewertete. Hier heißt es in der Gegendarstellung, dass „es über drey Monathe dauerte, ehe dem von Schoemberg auf sein inständiges Anhalten ein einziger Berg Rath und einige *Copisten*, die weiter nichts als die Schreiberey verstunden, zugegeben wurden. An Berg Werck erfahrenen Leuthen, deren Hülfe und Rath er sich bedienen können, war ein solcher Mangel, daß man wie die damahls im Cabinet geführte Acten ausweisen müßen, deshalb nicht einen einzigen in Vorschlag zu bringen wußte.“⁵

Im Sommer 1737 nahm Schönbergs Plan, nach Archangelsk und zu den Bäreninseln zu reisen, um dort Silbergruben zu besichtigen und ein Hüttenwerk anzulegen, endlich Gestalt an. Im Ergebnis dieser Reise erwirkte er einen kaiserlichen Erlass, wonach die Bergwerke der Krone gegen Erstattung der darauf verwendeten Kosten freigegeben wurden. Das ermöglichte ihm, neue aufge-



Abb. 1: Denkmal am Berg Blagodat zur Erinnerung an den Wogulen Stepan Čumpin, der hier 1730 verbrannt wurde.

fundene Kupfergruben in Lappland wie auch die Eisenwerke am Berg Blagodat bei Kuscha zu übernehmen.

5 Der in Rußland in unglückliche Umstände geratene Oberberghauptmann von Schoenberg. Sächsisches Hauptstaatsarchiv, 10025 Geheimes Konsilium, Teil 2, Loc. 05184/16.



Abb. 2: Tagebau (Tiefe 400 m) anstelle des ehemaligen Berges Blagodat

Die Lagerstätte am Ostrand des Urals wurde 1730 von dem Wogulen Stepan Čumpin entdeckt, der später für den Verrat des Fundes an die Russen ermordet wurde.⁶

Die Pläne erfuhren durch den russischen Gesandten am Dresdner Hof Hermann Carl von Keyserlingk insofern Unterstützung, als dieser weitere 66 sächsische Berg- und Hüttenleute für Russland gewinnen konnte. Schönberg wusste seine Unternehmungen auch dadurch zu befördern, indem er mangelnde finanzielle Ausstattung durch die Gründung einer Gewerkschaft bzw. den Verkauf von Kuxen zu kompensieren versuchte. Das Vorhaben erheischte allerdings wenig Zuspruch, allein die Kaiserin sowie Biron und dessen Brüder beteiligten sich mit 50.000 Rubel. In die Geschäfte wurde auch der Kaufmann Herrmann Meyer einbezogen. Einen weiteren *Contract* schloss Schönberg mit den englischen Kaufleuten Schiffner und Wolf, die gegen ein sog. Abstandsquantum in Höhe von 20.000 Rubel gegenüber der Regierung sämtliche sibirische und olonetzische Eisenwerke auf fünf Jahre betreiben durften. Auch für den Handel mit Tran (Fischöl), hauptsächlich aus Archangelsk, verschaffte er sich ein zehnjähriges Privilegium.

Am 31. Mai 1738 wurde eine Kommission mit der Aufgabe benannt, die Einführung eines neuen Bergreglements vorzubereiten, um die Beziehungen zwischen staatlichen und privaten Unternehmen neu zu regeln. Trotz mehrerer Beratungen konnte jedoch keine Einigung erzielt werden, da die „Conditiones, welche sich der H^r. General-Berg-Direktor bei Übernehmung der Bergwerke ausbedungen“, keine Akzeptanz fanden – mit dem Ergebnis, dass die Kommission am 15. Februar 1739 auf-

6 Die *Wogulen* sind ein zu den ugrischen Finnen gehöriges Jägervolk, das hauptsächlich im nördlichen Ural sesshaft war.

3 Von Brühl gegengezeichnetes Dekret an Schönberg, Warschau, 17. April 1736. Sächsisches Staatsarchiv, Bergarchiv Freiberg. Oberbergamt Freiberg, Nr. 2324. Bl. 14–15 r.

4 *Ukas* bezeichnet einen Erlass des Zaren bzw. Kaisers.

gelöst wurde. Unter den Schönbergischen Forderungen hieß es beispielsweise: Alle Mitglieder der Schönbergischen Familie und die „ausländischen Personen, die mir zu diesem Berg- und Hüttenwesen nötig sein werden“, sollen „von allen gegenwärtigen und künftigen Anlagen, Abgaben und Zoll examiniert und davon auch alle auf den lappländischen Werken gefertigten Metalle sowohl als die zu dieser Werke Betrieb und Unterhalt erforderlichen Viktualien und Materialien befreit sein“.

Sein Bestreben war also darauf gerichtet, zum ausschließlichen Beherrscher der russischen Montanindustrie zu werden, wofür ihm jedes Mittel recht schien. Trotz aller Einwendungen wurde am 3. März 1739 das neue Bergreglement verkündet; gleichzeitig erhielt Schönberg die von ihm begehrten Werke am Berg Blagodat sowie die Silber- und Kupferwerke in Lappland. Auch konnte er die Salzindustrie und den Walfang übernehmen und sich am Export von Eisen beteiligen. Eine speziell gegründete „Berg-Gesellschaft“, an der sich auch die Kaiserin, Ernst Johann von Biron und dessen Bruder Gustav beteiligten und der Schönberg als Direktor vorstand, machte ihn so zum alleinigen Beherrscher des russischen Berg- und Hüttenwesens und damit zu einem unvorstellbar reichen und einflussreichen Mann; verschiedene Quellen sprechen von einem Millionenvermögen.⁷

Im März 1740 erhielt er aus Dresden von Graf Brühl die Aufforderung, auf sein Amt nach Sachsen zurückzukehren, der er jedoch nicht nachkam. Vielmehr schrieb er zurück: „I. K. G. die Großfürstin würdigt mich und meine Familie mehrerer Gnade als ich zu rühmen vermag, und hat noch vor wenig Tagen an dem Namensfeste Ihre Maj. des Kaisers geruhet, mir ein öffentliches Merkmal davon zu ertheilen und mich mit dem Alexanderorden zu bekleiden.“

Gemeint war der *Kaiserliche Orden des Heiligen und Rechtgläubigen Großfürsten Alexander Newski*; und Grund für die Auszeichnung war, dass er bei der Errichtung verschiedener Berg- und Hüttenwerke durchaus erfolgreich agiert hatte und die in ihn gesetzten Erwartungen bezüglich der Reformierung der Organisation des Berg- und Hüttenwesens zu erfüllen wusste.

Allerdings änderten sich unter der 1741 durch einen Staatsstreich zur Macht gelangten Kaiserin Elisabeth

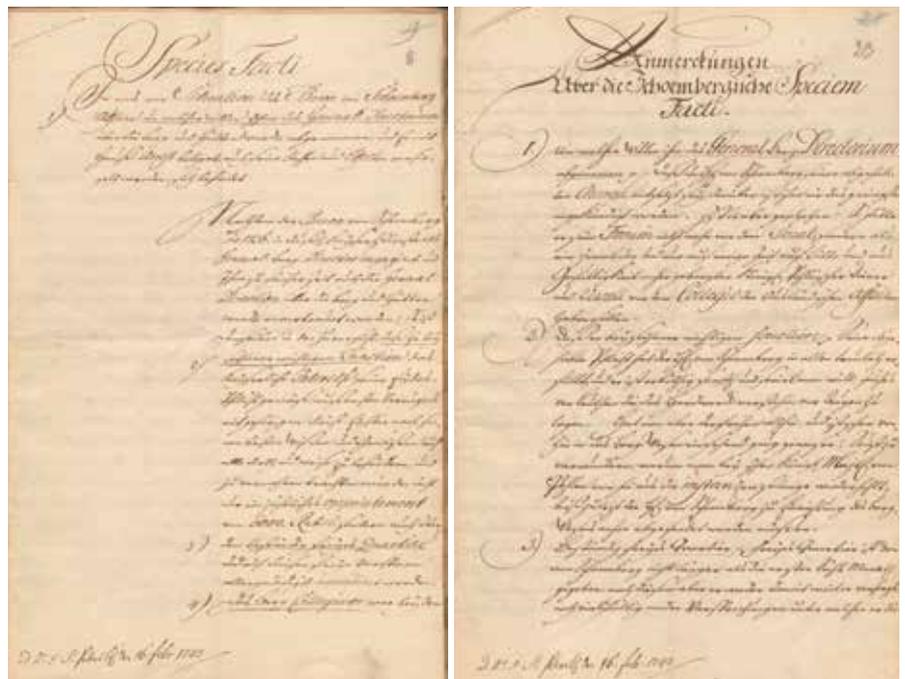


Abb. 3: Die erste Seite des Species facti / Die Entgegnung des Legationssekretärs J. S. von Pezold

(1709–1761/62) die Bedingungen für den „Baron“, obwohl sie zunächst beide Hände über ihn hielt und ihn nach Kräften unterstützte. Ihre Gunst währte jedoch nicht ewig, da er in die amourösen Fesseln der zweiten Gemahlin des Kaiserlichen Leibarztes Jean Armand de L’Estocq geriet. Allerdings galt sie als Deutsche niederer Herkunft, „war hässlich, unreinlich und dem Trunk ergeben“, so G. A. W. Helbig in seiner Schrift *Russische Günstlinge*. Schönberg hingegen beschreibt er als „einen der schönsten Männer seiner Zeit“ und erklärte damit die Gründe für die Eifersucht der Kaiserin und ihren Entschluss, ihn zu verhaften: „Diese Kaiserin, die nie wußte, was sie tat, unterschrieb Schönbergs Haftbefehl, ohne es zu ahnen. Als sie aus dem Senat in das Vorzimmer trat, sah sie Schönberg, ging auf ihn zu und drückte ihm die Hand; und der Unglückliche küßte diese Hand, die eben sein Unglück unterzeichnet hatte.“

Vorangegangen waren zahlreiche undurchsichtige Intrigen im Zusammenhang mit Veränderungen in den Regierungsgeschäften und der Vorwurf der Gesetzesverletzung, nachdem man ihn aufgefordert hatte, Gelder für das sog. Kroneisen wie auch an die englischen Kaufleute zu zahlen. So lautete der Vorwurf: „Es beträgt sich demnach die ganze Summa, welche Er Baron Schoemberg an reinen Capital der Krohne wirklich schuldig ist, auf ^{276.742} Rubl. ^{881/2} Cop. wenn

aber in denen *Ukasen* angesetzte *Procenta* davon /: außer vor die Summen derer Zahlungs Termin noch nicht aus ist / gleichfalls entrichtet werden sollen, so werden selbige ^{31.65} Rubl. ausmachen, und die Krohne von Ihme überhaupt an Capital und Interessen ^{308.427} Rubl. ⁸⁸ ½ Cop. zu fordern haben, vor welche gantze Summe Er weder Bürgen hat, noch hieführo stellen kann.“

Dabei hatte man ihm nicht nur das Tranprivilegium entzogen, auch seine Bergwerke wurden beschlagnahmt. Selbst die Intervention einflussreicher Persönlichkeiten am Hofe – Feldmarschall Vasilij M. Dolgorukov, der französische Gesandte Marquis de La Chétardie, der englische Gesandte Weichs, auch de L’Estocq und andere Freunde – fanden kein Gehör. Nachdem auch die Anhörung vor der Senatsversammlung am 6. Juli 1742 ohne Ergebnis blieb, forderte man Schönberg schließlich auf, Degen und Orden abzugeben und sich unter starker Bewachung von vier Soldaten in sein Haus zu begeben. De L’Estocqs Versuch, die Kaiserin umzustimmen, beantwortete diese mit der Bemerkung, „daß Jeder nach den Gesetzen und Gebräuchen des Landes, wo er lebe und diene, gerichtet werden müsse“. Ein Ukas vom 22. Dezember 1742 verfügte schließlich die Überstellung von Schönberg und Meyer von Moskau, wo sie arretiert worden waren, nach St. Petersburg. Gemäß einem Urteil des Senats drohte nun Schönberg,

7 ЦГАДА, Москва, Ф.19. ед. хр. 77. 14, 121-122.

8 Helbig, Georg Adolf Wilhelm: *Russische Günstlinge*. Tübingen 1809, S. 194, 195.

9 Der in Rußland in unglückliche Umstände, a.a.O.

auf Lebenszeit nach Sibirien verbannt zu werden, Meyer hingegen die öffentliche Auspeitschung mit der Knute. Zu gleicher Zeit verhaftete man auch die Bergleute in Schönbergs Werken und hielt sie in St. Petersburg in strengem Arrest.

Mit der von der Kaiserin anbefohlenen, *Species Facti* genannten Stellungnahme vom 16. Februar 1743 im Umfang von 57 großformatigen Blättern, die Keyserlingk dem sächsischen Ministerium übergab, versuchte man, sich für diese Entscheidungen zu rechtfertigen. Dabei sprach man dezidiert von des „Baron Schoembergs *irregulären* Wirthschafft“ und beklagte, „daß sich der Baron Schoemberg um die Aufnahme des Berg Wesens sehr wenig bekümmert, und daß selbiges von 1736 an, da er die *Disposition* darüber bekommen, gegen die vorigen Jahre, an statt eines verhofften Zuwachses und Nutzens immer weiter in Verfall gerathen, und der Krohne um die Helfte weniger eingebracht“.

In diesem Sinne war das Dokument voller Vorwürfe, die man an Einzelheiten zu beweisen suchte. Der sächsische Legationssekretär in Russland Johann Sigismund von Pezold schlug daraufhin vor, man möge bei Gelegenheit des Friedensfestes „die Sache durch eine Begnadigung und Abolition [Aufhebung]“ und damit die schreiende Ungerechtigkeit beenden. Mit dezidierten „Anmerckungen

über die Schoembergische *Speciem Facti*“ versuchte er, die erhobenen Vorwürfe zu entkräften und machte zudem eine Gegenrechnung auf, nach der Schönberg noch 87.226 Rubel zu fordern hatte. Auch über dessen Arbeit stellte er Zeugnisse aus: „Diejenigen welche in dem Berg-*Collegio* sitzen, geben den von Schoenberg ein gantz ander Zeugnüß, und versichern, daß in selbigem die Sachen nie in mehr Ordnung gewesen, als seit dem er die *Direction* geführt.“

Mit Hilfe des sächsischen Gesandten Nikolaus Willibald Graf von Gersdorff konnte nach Mitteilung vom 27. Juli 1744 endlich die Begnadigung Schönbergs vermeldet werden; eine Entschädigung für die finanziellen Verluste sowie die fast zweijährige Kerkerhaft blieben jedoch aus. Eine Depesche vom 16. Januar 1745 verkündete schließlich die Abreise in die Heimat, wo er wieder in seine frühere Stellung als Oberberghauptmann eintrat. Seine Hoffnung, die erlittenen Verluste, zumindest einen Teil des entgangenen Vermögens, vergütet zu bekommen, erfüllte sich jedoch ebenso wenig wie die in den folgenden Jahren diesbezüglich angestrebten Bemühungen der sächsischen Regierung. Da sein Gesundheitszustand (er verstarb 1761) jedoch keine erneute Reise nach Russland erlaubte, blieb es der Familie vorbehalten, die Ansprüche einzufordern, aber auch dies war

letztendlich erfolglos.¹⁰

Zweifelsohne hat Schönberg in den Jahren seines aktiven Wirkens nicht nur daran gedacht, sich in unvorstellbarem Maße zu bereichern, sondern auch Verdienste hinsichtlich des Aufbaus einer funktionierenden russischen Bergverwaltung nach sächsischem Vorbild nachzuweisen. Über die genauen Umstände seines Bruchs mit der Krone lässt sich aus heutiger Sicht nur mutmaßen, und vielleicht sollte man August Ludwig von Schlözer, der von 1761 bis 1770 in Russland tätig war und sich vor allem um die russische Geschichte verdient machte, das Wort leihen; er schreibt mit Bezug auf den „sächsischen Berg-Director, Namens *Schönberg*: Ich will diese Geschichte nicht weiter ausfüren, weil sie für manchen nicht behaglich zu lesen seyn dürfte.“¹¹

Anmerkung

Ausführliches zum Thema ist zu finden unter <https://www-user.tu-chemnitz.de/~fna/Bergverwaltung.pdf>

Bildnachweis

1, 2 Friedrich Nauman (Expedition DAMU 2002)

3 Sächs. Haupt-Staatsarchiv (10025 Geheimes Konsilium, Loc. 05184/16)

10 Alle Zitate und Fakten in: Weber, Karl von: Der Oberberghauptmann Curt Alexander Schönberg in Rußland 1736 flg. In: Archiv für die Sächsische Geschichte, Achter Band, Leipzig 1870, S. 303-316.

11 Schlözer, August Ludwig: Münz-, Geld-, und Bergwerks-Geschichte des Russischen Kaiserthums. Göttingen 1797, S. 111.

Gedenken zum 80. Jahrestag des Überfalls Deutschlands auf die Sowjetunion

Birgit Seidel-Bachmann

Am 22. Juni 2021 jährte sich zum 80. Mal der Überfall Deutschlands auf die Sowjetunion. Der Russische Stammtisch unserer Universität nahm dies zum Anlass für eine kleine, aber sehr bewegende Gedenkveranstaltung. Nach einer kurzen Gedenkrede legten die Mitglieder des Russischen Stammtisches und weitere Gäste Blumen am Denkmal auf dem sowjetischen Soldatenfriedhof in Freiberg nieder.

Anschließend wurde über ein Projekt berichtet, das zwar bereits vor einiger Zeit am Studentenwerk Freiberg lief und durch die Robert-Bosch-Stiftung gefördert wurde, dessen Ergebnisse aber zeitlos sind. In diesem Projekt ging es darum, mehr über die auf dem sowjetischen Friedhof in Freiberg Bestatteten zu er-



Denkmal auf dem sowjetischen Soldatenfriedhof

fahren und ggf. Angehörige ausfindig zu machen. Das war natürlich ein sehr schwieriges Vorhaben, aber es ist tatsächlich geglückt, mit Nachfahren mehrerer hier begrabener Sowjetsoldaten in Kontakt zu treten. Unter anderem konnten durch unermüdliche Recherchearbeiten Angehörige von Herrn Wassilij Michailowitsch Melnikow ermittelt werden. Seine Nachfahren hatten bis dahin nichts vom Verbleib ihres Verwandten gewusst. Nachdem es dem Studentenwerk Freiberg gelungen war, Kontakt zu dieser Familie aufzunehmen und Materialien sowie Fotos an sie zu schicken, richtete die Tochter des gefallenen Soldaten, Alevtina Wassiljewna Melnikowa, einen sehr berührenden Dankbrief an das Studentenwerk.

Im Rahmen der kleinen Gedenkveranstaltung begaben sich dann die Anwesenden gemeinsam an das Grab von Herrn Melnikow. Dort wurde im Namen des Studentenwerks Freiberg ein Trauerstrauß niedergelegt. Eine Muttersprachlerin verlas den Dankesbrief der Tochter von Herrn Melnikow, der simultan ins Deutsche übersetzt wurde. Das war für die Anwesenden sehr bewegend und berührend und hat der Veranstaltung etwas Konkretes, Persönliches gegeben. Alle Teilnehmer verweilten dann noch einige Zeit am Grab von Herrn Melnikow und redeten über die so grausame

Geschichte, über das Projekt des Studentenwerks und das, was allen in diesem Zusammenhang durch den Kopf ging.

Im Anschluss daran wurde auf dem Sowjetischen Soldatenfriedhof noch ein kurzes Video mit einem MDR-Beitrag aus der Reihe „Hier ab vier“ über das Rechercheprojekt des Studentenwerks gezeigt. Das war sehr passend, weil darin u.a. einige Fragen beantwortet wurden, die die Mitglieder und Gäste des Russischen Stammtisches zuvor über das Projekt gestellt hatten.

Die Anwesenden haben dann noch eine Weile zusammengestanden und

über Historisches und Aktuelles diskutiert. Dies war insofern besonders spannend, als verschiedene Nationalitäten unter den Anwesenden vertreten waren. Insgesamt war es ein würdiger Abend, der die Anwesenden zum Nachdenken angeregt hat und allen noch lange in Erinnerung bleiben wird.

An dieser Stelle soll nicht unerwähnt bleiben, dass der Russische Stammtisch in den vorangegangenen Jahren mehrmals Pflegearbeiten auf dem sowjetischen Soldatenfriedhof übernommen sowie den Zaun neu gestrichen hatte.

Getrenntes und Gemeinsames im deutschen Markscheidewesen vom Kriegsende 1944/1945 bis zur deutschen Wiedervereinigung am 3. Oktober 1990

Karl-Heinz Heyne

Vorwort

Seit dem Kriegsende im Jahre 1945 ist die Entwicklung des Markscheidewesens in Deutschland nicht mehr einheitlich verlaufen. Trotzdem waren stets Bestrebungen vorhanden, die gemeinsamen Grundlagen zu bewahren und weiter zu entwickeln. Deshalb gelang es im Zuge der Wiedervereinigung, die Einheit im Deutschen Markscheidewesen recht bald zu vollenden.

Weil über die Entwicklungen des deutschen Markscheidewesens im sowjetisch besetzten Gebiet, der späteren DDR, bisher zu wenig bekannt ist und weil über die gemeinsamen Bestrebungen in der Zeit seit 1945 bis zur Wiedervereinigung kaum Informationen vorliegen, erscheint es nun an der Zeit, hierüber zu berichten, solange Zeitzeugen noch zur Verfügung stehen. Während die Entwicklungen des Markscheidewesens in Westdeutschland als bekannt vorausgesetzt werden können, bedürfen die genannten Aspekte für Ostdeutschland noch einer Publikation. Deshalb berichten in dem nachstehenden Aufsatz die Kollegen Karl-Heinz Heyne, Joachim Leonhardt und Helmut Kratzsch über ihre Erfahrungen zum Markscheidewesen im östlichen und westlichen einschließlich berlinerischen Nachkriegsdeutschland.

Das deutsche Markscheidewesen in der Zeit von 1944/1945 bis 1949

Für die Zeit von 1944/1945 bis 1949 wird der Artikel über die Bergakademie

Freiberg aus den Hochschulnachrichten 1944-1949 der „Mitteilungen aus dem Markscheidewesen“ übernommen¹:

Freiberg. Bergakademie.

Abgesehen von einer nur wenige Wochen dauernden Unterbrechung im Sommer 1945 konnte das Institut seinen Forschungsbetrieb bis Ende 1946 aufrechterhalten. Anfang 1947 verließ Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Müller freiwillig Freiberg. Die Übertragung des Lehrstuhls an Herrn Prof. Lüdemann brachte nicht die erhoffte Klärung. Am 1. September 1949 übernahm Herr Prof. Dr. Karl Neubert die Leitung des Markscheideweseninstituts. Wir hoffen, dass die jahrzehntealten Freundschaftsbande mit dem ältesten Lehrstuhl unseres Fachgebiets bald wieder aufleben werden.

Der Berufsstand des Markscheiders in der ehemaligen DDR

Die erste gesetzliche Grundlage nach dem zweiten Weltkrieg für den Berufsstand des Markscheiders in der ehemaligen DDR war die „Verordnung über die Prüfung und die Zulassung der Markscheider“ vom 20. September 1951 (GBI. der DDR Nr. 116 vom 29. September 1951) mit der Ersten Durchführungsbestimmung vom 13. März 1953 (GBI. der DDR Nr. 37 vom 23. März 1953) und der Zweiten Durchführungsbestimmung vom 20. September 1955 (GBI. der DDR Nr. 80 Teil I vom 29. September 1955).

Der bedeutendste Unterschied zwi-

schen der Ersten und Zweiten Durchführungsbestimmung war die geforderte einjährige (1. DB) bzw. mindestens zweijährige (2. DB) markscheiderische Probezeit. Danach umfasste die Ausbildung der heute ca. 90-jährigen Markscheider-„Ost“

- a) eine praktische bergmännische und markscheiderische Lehrzeit, die in der Regel ein Jahr - 300 Schichten - dauerte,
- b) das Hochschulstudium in der Fachrichtung Markscheidewesen an der Bergakademie Freiberg, das mit der Diplom-Hauptprüfung abschloss,
- c) eine mindestens zweijährige markscheiderische Probezeit, die mit der Abgabe der Probearbeit endete.

Die markscheiderische Probezeit gliederte sich in

- neunzehn Monate Ausbildung in Markscheidereien. Davon mussten mindestens acht Monate auf den Tiefbau entfallen, drei Monate blieben der Anfertigung der Probearbeit vorbehalten,
- drei Monate geologische Ausbildung bei einem Betrieb der geologischen Forschung und Erkundung,
- zwei Monate Ausbildung bei der Obersten Bergbehörde oder einer Bergbehörde.

Die markscheiderische Probezeit des Anwärters sollte dazu dienen, die durch das Hochschulstudium erworbenen

Kenntnisse für die spätere fachliche Tätigkeit zu vertiefen und nach der praktischen Seite zu erweitern, sodass der Anwärter mit Erfolg eine selbständige verantwortliche Stellung einnehmen konnte. Während der Ausbildung in den Markscheidereien war der Anwärter mit allen vorkommenden Arbeiten zu beschäftigen und mit den Verwaltungsarbeiten einer Markscheiderlei vertraut zu machen. Die Ausbildung bei einem Betrieb der geologischen Forschung und Erkundung sollte den Anwärter in dessen Aufgabengebiet einführen, um später eine vorteilhafte Zusammenarbeit zwischen Markscheider und Geologen zu gewährleisten. Die Ausbildung bei der Obersten Bergbehörde oder einer Bergbehörde hatte zum Ziel, den Anwärter mit den amtlichen Karten und Risswerken vertraut zu machen und ihn zu Verwaltungsarbeiten, soweit sie markscheiderische Angelegenheiten betreffen, heranzuziehen.

Während der Ausbildungszeit bei den Markscheidereien hatte der Anwärter jeweils nach Ablauf von sechs Monaten eine schriftliche Arbeit aus dem Gebiete seiner Tätigkeit abzuliefern. Während seiner Ausbildung bei einem Betrieb der geologischen Forschung und Erkundung und der Obersten Bergbehörde oder einer Bergbehörde hatte der Anwärter je eine Arbeit anzufertigen. Spätestens nach zwanzig Monaten markscheiderischer Probezeit hatte sich der Anwärter bei der Obersten Bergbehörde zur Ablegung der Abschlussprüfung zu melden. Wurde er zur Prüfung zugelassen, so war er von dem Prüfungsausschuss schriftlich und mündlich zu prüfen. Die ordentlichen Mitglieder des Prüfungsausschusses waren

- der Leiter der Obersten Bergbehörde als Vorsitzender,
- ein Markscheider für Tiefbaufragen,
- ein Markscheider für Tagebaufragen,
- ein Mitglied für Fragen der Verwaltung und des Rechtes,
- ein vom damaligen Zentralvorstand der Industriegewerkschaft zu benennendes Mitglied.

Im Rahmen der schriftlichen Prüfung hatte der Anwärter eine Probearbeit anzufertigen, deren Aufgabe aus dem Tätigkeitsbereich des praktischen Markscheiders zu entnehmen war. Mit ihrer Lösung sollte der Anwärter nachweisen, dass er imstande war, die gewonnenen markscheiderischen Kenntnisse auf praktische Aufgaben des Bergbaus anzuwenden.

Dabei konnte es sich um die Bearbeitung bergbaulicher, geologischer, lagerstättenkundlicher oder sonstiger Aufgaben des Bergbaus handeln, deren Lösung sich auf markscheiderischer Grundlage aufbaut, ferner um die Durchführung von Messungen und deren Auswertung zur Feststellung bergbaulicher Einwirkungen.

Aufgrund der bestandenen Prüfung hatte der Vorsitzende des Prüfungsausschusses dem Anwärter den Befähigungsnachweis zu erteilen, verantwortlich Markscheiderarbeiten ausführen zu können. Die Oberste Bergbehörde hatte dem Anwärter eine Urkunde über die Zulassung als Markscheider auszustellen mit der Berechtigung, markscheiderische Arbeiten innerhalb der ehemaligen DDR auszuführen.

Mit dem Erlass der „Anordnung über die Ausbildung, Prüfung und Zulassung der Markscheider“ vom 02. Mai 1962 (GBl. der DDR Nr. 29 Teil II vom 12. Mai 1962), der „Anordnung Nr. 2 über die Ausbildung, Prüfung und Zulassung der Markscheider“ vom 22. Juni 1970 (GBl. der DDR Nr. 60 Teil II vom 15. Juli 1970) und der „Anordnung über die Tätigkeit, den Einsatz und die Zulassung der Markscheider - Markscheideranordnung“ vom 19.10.1973 (GBl. der DDR Nr. 50 Teil II vom 06.11.1973) wurde eine neue Ära des markscheiderischen Berufsstandes in der ehemaligen DDR eingeleitet.

Während in der damaligen Bundesrepublik Deutschland in den siebziger Jahren der höhere Staatsdienst im Markscheidefach eingeführt wurde (im Lande Nordrhein-Westfalen z. B. mit der „Verordnung über die Ausbildung und Prüfung für den höheren Staatsdienst im Markscheidefach“ vom 22. April 1975 (GV. NW. S. 392)) und damit der Berufsstand des Markscheiders eine Aufwertung erfuhr, wurde in der damaligen DDR die markscheiderische Probezeit auf ein Minimum reduziert, die Meldarbeiten und Probearbeit abgeschafft und die mündliche Prüfung auf ein Prüfungsgespräch reduziert (siehe auch ¹, Vergleich der Ausbildungsgänge). Allein vorschlagsberechtigt für die Aufnahme in die markscheiderische Probezeit waren ab 1962 in der ehemaligen DDR nur der zuständige Betrieb oder die zuständige Dienststelle. Eine Zurücknahme der Zulassung als Markscheider war möglich, wenn dieser schuldhaft in schwerer Weise seine Berufspflichten oder die „Interessen der sozialistischen Staats- und Gesellschaftsordnung“ verletzte.

Bemühungen zur Erhaltung eines Markscheidewesens in Deutschland

Im Endprodukt markscheiderischer Arbeit, dem Risswerk, findet seine öffentlich-rechtliche Zuständigkeit ihren bleibenden Ausdruck. Die Risswerke auf beiden Seiten der früheren „Zonengrenze“ - in der ehemaligen DDR als „Staatsgrenze West“ bezeichnet - haben ihren grundsätzlich gleichen Charakter beibehalten. Deshalb konnte nach der Wiedervereinigung an das vorhandene, organisch Gewachsene angeknüpft werden, ohne dass grundsätzliche Schwierigkeiten zu überwinden waren. So waren die Markscheidereien in der DDR in den 1950er Jahren schon bestrebt, die nur in Westdeutschland zum Bestandteil der Markscheiderordnungen erklärte DIN 21900 „Richtlinien für Herstellung und Ausgestaltung des bergmännischen Risswerks“ möglichst anzuwenden.

Abgesehen von dem endgültigen Verlust der nach 1945 polnisch oder sowjetisch verwalteten Ostgebiete des Deutschen Reichs, welche schon 1945 nicht unter die Zuständigkeit des Alliierten Kontrollrates für Deutschland gestellt wurden, war es das ungeschriebene Bestreben und Tun einiger weniger Kollegen, die Entwicklungen im Markscheidewesen vom Kriegsende 1945 bis zur Wiedervereinigung im Jahre 1990 so zu gestalten, dass sich die Trennung Deutschlands in mehrere Teile möglichst nicht auswirken sollte.

Die gesamtdeutschen Bestrebungen von Dr. Karl Neubert, früher o. Professor für Markscheidewesen und Bergschadenkunde an der Bergakademie Freiberg, auf markscheiderischem Gebiet können durch einige, aber sicherlich nicht vollständige Fakten wiedergegeben werden:

1. Aufrechterhaltene Mitgliedschaft im (west-)deutschen Markscheiderverein, wo er in Bezirksgruppen auch fachliche Vorträge gehalten hat.
2. Mitgliedschaft und Mitarbeit, z.B. an Normen zu Lagerstättenarchiven, im ständigen Arbeitsausschuss Markscheidewesen im Normenausschuss Bergbau (FABERG).
3. Bestrebungen, in Deutschland einheitliche Risswerke zu erhalten. Dieses geschah z. B. dadurch,
 - a) er intensiv an dem Standardwerk von Niemczyk, insbesondere am Band III, 2. Halbband, mitarbeitete

- und hierbei die Gegebenheiten der DDR einbrachte
- b) er für einen Auftrag durch das Amt für Standardisierung der DDR „Bergmännisches Risswerk DIN 21900“ sorgte und
 - c) im Abschlussbericht hierzu im Jahre 1956 der Hoffnung Ausdruck gegeben wurde, dass durch das Amt für Standardisierung der DDR unverzüglich Schritte unternommen werden, um „unsere Interessen zu wahren und damit die Einheit im deutschen markscheiderischen Risswerk zu gewährleisten“
 - d) eine markscheiderische Probearbeit an seinen damaligen Assistenten Dr. Leonhardt mit der Zielvorstellung vergeben wurde, bei der Erstellung einheitlicher Risswerke in Deutschland die DDR-spezifischen Gegebenheiten zu berücksichtigen.
4. Gegenseitige Besuche von Studenten des Markscheidewesens von der TU Clausthal und der Bergakademie Freiberg für die Dauer von etwa 1 Woche/Jahr (bis zum Bau der „Mauer“)
 5. Korreferent bei einer Promotion an der TU Clausthal, einige Jahre

nach dem Mauerbau.

Die Wiedervereinigung Deutschlands und des deutschen Markscheidewesens

Am 3. Oktober 1990 begann in Deutschland – auch für das deutsche Markscheidewesen – eine neue Ära. Politische und wirtschaftliche Schwierigkeiten bahnten sich an. Die Schwierigkeiten bei der Wiedervereinigung des deutschen Markscheidewesens – wenn es überhaupt welche gab – waren erheblich geringer. Die Markscheider „Ost“ wurden unmittelbar nach der Wiedervereinigung – wenn sie es wünschten – vom Deutschen Markscheider-Verein e.V. aufgenommen. In seinem Grußwort zur Wissenschaftlichen Tagung des DMV in Limburg a.d. Lahn begrüßte der damalige Vorsitzende des DMV, Herr Markscheider Dipl.-Ing. Siegfried Szelag, die Markscheider der neuen Bundesländer mit den folgenden ergreifenden Worten: „Was wir vor zwei Jahren in Saarbrücken nicht zu träumen gewagt hatten, ist Wirklichkeit geworden: Dank der deutschen Einheit haben nunmehr alle deutschen Markscheider im Deutschen Markscheider-Verein ihre berufsständische Heimat gefunden. So gilt mein besonders herzlicher Gruß allen Tagungsteilnehmern aus den östlichen

Ländern unserer Bundesrepublik.“²

In der Zeit seit der Wende fand eine Vielzahl von Begegnungen privater und offizieller Art von Markscheidern „Ost“ und „West“ statt; viele neue Bekanntschaften wurden gemacht sowie alte Freundschaften erneuert. Dabei ist die herzliche Bereitschaft der Markscheider „West“ zu verspüren, ihre östlichen Kollegen als gleichberechtigte Partner in die Gemeinschaft der deutschen Markscheider wieder aufzunehmen. Die von Dr. Konrad Adenauer am 13. Februar 1960 gesprochenen Worte „Wir müssen den 17 Millionen Menschen in der Zone von hier aus zurufen, dass wir sie nicht vergessen, dass wir mit ihnen fühlen, dass wir mit ihnen leiden, dass wir alles tun, um sie wieder zu uns zu bekommen und in die Freiheit zu bringen“³ haben sich nun auch bei den deutschen Markscheidern voll erfüllt!

Quellen

- 1 Aus: Mitteilungen aus dem Markscheidewesen, 56. Jahrgang, 1949 (Jahresheft) S. 128-130.
- 2 Tagungsbegleitheft zur Wissenschaftlichen Tagung des Deutschen Markscheider-Vereins e. V. vom 5.-8. Juni 1991 in Limburg a. d. Lahn.
- 3 Ansprache von Dr. Konrad Adenauer anlässlich der Feierstunde zum zehnjährigen Bestehen der Vereinigung der Opfer des Stalinismus am 13. Februar 1960 in Königswinter.

Der Freiburger Professor und der Bergakademist im Lichte der Uniformvorschriften des sächsischen Bergstaats (Teil 3)

Knut Neumann

Es war der Oberberghauptmann Siegmund August Wolfgang Freiherr von Herder, der am 20. Februar 1830 die Uniformbestimmungen für alle Berg- und Hüttenleute Sachsens überarbeiten ließ. Im „Reglement für das Tragen der Parade- und Interims-Uniform der Bergwerksdiener im Königreich Sachsen“ wurden in seinem Auftrag die seit 1768 gültigen, danach teilweise unter modischen Gesichtspunkten veränderten Vorschriften, erneut festgeschrieben. In diesem Schriftstück ist natürlich auch die Beschreibung der Kleidungen für die Professoren, Lehrer und Studenten der Freiburger Bergakademie enthalten. Von den Lehrkräften standen viele im sächsischen Bergstaat in einem höheren Rang als der eigentliche Professor und trugen damit natürlich die Uniform ih-

res entsprechenden Ranges. Aus einer Liste der „Anstellung der Professoren an der Königl. Bergakademie“ aus dem Jahr 1824 ist ersichtlich, dass von vielen Lehrern nur folgende den Titel eines Professors trugen:

- Bergkommissionsrat Professor von Buße,
- Bergkommissionsrat Professor Wilhelm August Lampadius,
- Kommissionsrat Professor Carl Kühn,
- Professor für Mathematik Daniel Friedrich Hecht.

Da von den genannten alle außer Prof. Hecht eine höhere Position innerhalb des Bergstaats innehatten, trug nur er die Uniform des Professors. Als Professor war er in die dritte Rangklasse, die Lehrer und der Akademieinspektor

in die vierte und die Bergakademisten in die siebente eingeordnet. Der Freiburger Verleger Georg Ernst Rost hatte im Auftrag des Oberbergamts 1831 eine Mappe mit kolorierten Kupferstichen erstellt. In dieser wurde für jede der elf Rangklassen mindestens ein Vertreter abgebildet. Dabei ließ er die Beamten, Offizianten und einfachen Gewerke aus den unterschiedlichen sächsischen Revieren darstellen. Für die dritte Klasse ist es der Johannegeorgenstädter Bergmeister, der in der vorgeschriebenen Uniform in der Mappe zu sehen ist. Der Freiburger Professor trägt die gleiche Uniform (siehe dazu auch Teil 2 der Ausführungen zu den Uniformvorschriften im Heft Acamonta von 2020, Seite 182). Da er aber zum Oberbergamt Freiberg gehört, sind sämtliche Metallteile der



Abb. 1: Uniform des Lehrers oder Akademieinspektors, IV. Klasse, hier ist von Rost der Marienberger Markscheider aus der gleichen Klasse dargestellt. Als Freiburger müsste er die rote Weste tragen.



Abb. 2: Mitglieder der HFBHK in der Uniform der Benefizianten nach den Vorschriften von 1830, mit der Bergstadtkönigin im Jahr 2009 auf der Halde der Reichen Zeche. Foto: Archiv HFBHK, René Jungnickel



Abb. 3: Bergakademisten um 1830 aus dem Freiburger, Johannegeorgenstädter und Altenberger Revier

Uniform, wie Knöpfe, Fransen, Bouillons, Litzen und das Blatt des Steigerhäckchens golden und die Weste ist aus rotem Stoff. Dies ist auch beim Lehrer und dem Akademieinspektor so. Für den Akademisten hat Rost einen Benefizianten ausgewählt, der zum Freiburger Bergrevier gehört. Die Revierzugehörigkeit ist an den Farben erkennbar.

In engem Zusammenhang mit dem Reglement von 1830 steht auch eine neue Rangordnung für die Beschäftigten im Bergstaat, die ebenfalls zu dieser Zeit bekannt gemacht wurde. Die vom Oberbergamt ausgefertigten Vorschriften gingen an alle untergeordneten Ämter und verfolgten das Ziel, dass sich jeder Beschäftigte im sächsischen Montanwesen mit der vorgeschriebenen Parade- und Interims-Uniform ausrüstet und diese entsprechend der Rangzugehörigkeit auch trägt. Darauf musste extra hingewiesen werden, da es in der Vergangenheit immer wieder zu Abweichungen bis zum Nichtbefolgen der Vorschriften zum Tragen der Uniform gekommen war.

Mit diesem Uniformreglement gingen auch Bestrebungen der Bergakademie einher, neue Regelungen für die Uniformen der Bergwerks- und Hüttenkandidaten und Studenten im Jahr 1831 festzuschreiben. Vor allem die Frage der Paradeuniform der „Bergwerks-Candidaten“, die ihre Ausbildung an der Bergakademie abgeschlossen hatten und noch keine Festanstellung und damit keine Einordnung in die Rangfolge des Bergstaats besaßen, konnte von den Verantwortlichen der Akademie bisher nicht zur vollen Zufriedenheit geklärt werden. Nach erfolgreichem Studienabschluss konnte der studentische Kittel, wenn er noch gut erhalten war, an neue Studenten weiterverkauft werden. Wenn dies nicht gelang, verschwand er im Schrank. Der Absolvent erhielt automatisch den Rang eines Obersteigers und musste natürlich nun die entsprechende Uniform erwerben. Ohne Festanstellung musste er sich also für eine mitunter kurze Zeit eine neue Uniform zulegen. Dies betraf nicht nur die Parade- sondern auch die Interimsuniform. Für die Interimsuniform gab es noch Zustimmung durch die Verantwortlichen an der Akademie, da diese recht einfach in eine Paradeuniform der Offizianten umgewandelt werden konnte. Probleme bereitete aber die eigentliche Paradeuniform, die der Uniform der Obersteiger ent-

sprach. Diese hatte ausgedient, sobald eine Festeinstellung und Zuordnung in eine andere Rangklasse erfolgte. Nun mussten – je nach Einstellung als Offiziant oder Beamter – die entsprechenden Uniformen zugelegt werden. Dies ging oft nur mit der Aufnahme eines Kredits oder durch den Ratenkauf in einer der in Freiberg und Annaberg vorhandenen Uniformkammern einher.

Da von Herder nicht gewillt war, von seinen Festlegungen abzuweichen, wurde den „bergakademischen Herren Lehrer[n]“ mit Schreiben vom 31. Dezember 1831 in einem „Uniformreglement“ für das königliche Oberhüttenamt und die Bergämter mitgeteilt, wie diese Uniform der Berg- und Hüttenkandidaten auszusehen hat. Die Uniform wurde dabei in eine Interims- und eine Paradeuniform unterteilt.

Die Interimsuniform bestand aus einem schwarzen Frack mit halb erhabenen Metallknöpfen und roten Vorstößen an den Endnähten. Dazu wurden schwarze Pantalons oder weiße „Beinkleider“ getragen. Die Kopfbedeckung war ein dreieckiger Hut. Vorgeschrieben war außerdem das Tragen eines Säbels mit schwarzer Lederscheide und gelben Beschlagen.

Die Paradeuniform der Freiburger Bergwerkskandidaten bestand aus einem grünen Schachthut mit Tresseneinfassung, vorn einem goldenen Wappenschild und auf der linken Seite mit einer weiß/grünen Bandschleife. Darüber war ein gelb-schwarzer Federstutz angebracht. Die Puffjacke war völlig in schwarz gehalten. Das auf der Schulter liegende Capuchon war von weißem Taft und mit goldener Spitze besetzt. Unter der Jacke wurde eine rote Weste getragen, die mit 1 ½ Zoll breiter goldener Tresse abgesetzt war. Der rote Koppelgurt war mit einer 1 Zoll breiten Tresse eingefasst. Das Leder, die Tscher-



Abb. 4: André Hermsdorf, Mitglied der HFBHK, in der Paradeuniform eines Freiburger Bergwerkskandidaten nach der Vorschrift von 1830

Foto: Krut Neumann



Foto: Knut Neumann

Abb. 5: Uwe Nitsche, Mitglied der HFBHK, in der Paradeuniform des Freiburger Hüttenkandidatennach den vom Oberberghauptmann von Herder festgelegten Vorschriften

pertasche und die Kniebügel bestanden aus schwarzem Leder. Die Gamaschen waren wie auch die Kniebundhosen von weißer Leinwand.

Das Steigerhäckchen hatte einen gelben Helm.

Der Hüttenkandidat trug eine silbergraue Puffjacke mit dergleichen Schulterfransen, mit schwarzem Capuchon. Der schwarze Schachthut hatte einen schwarzen, unten gelb abgesetzten Federstutz. Kniebügel und die Tscherpertasche fielen bei ihm weg, dagegen wurden ihm als Hüttenmann ein Arschleder zugestanden.

Damit unterschieden sich die Kandidaten vom Knappschaftsältesten, der in der gleichen Rangklasse angesiedelt ist, vor allem durch den gelb/schwarzen Federstutz. Dieser war beim Ältesten durchgängig schwarz.

Zum selben Zeitpunkt erschien im „Reglement für das Tragen der bergmännischen Kleidung“ ein Uniformreglement für die Extraner, die „auf eigene Kosten auf der Bergakademie studierenden In- und Ausländer“. Obwohl diese Gruppe der Akademisten vom Tragen einer entsprechenden Uniform ausgenommen war, musste es unter diesen doch Studenten gegeben haben, die durch ihre Kleidung zeigen wollten, dass sie an der Bergakademie studierten. So griff auch hier das Oberbergamt steuernd ein. Die gewöhnliche Kleidung bestand nach diesem Reglement aus einem Bergkittel von schwarzem Stoff, mit stehendem Kragen, Achselbändern und Aufschlägen aus schwarzem Samt. Die silberfarbenen Metallknöpfe trugen die Berginsignien Schlägel und Eisen. Der schwarze, auf der Schulter aufliegende Kragen war mit einer 1/2 Zoll breiten silbernen Tresse eingefasst, die Achselbänder mit silbernen Fransen besetzt. Ein Bergleder mit weißem Schloss, schwarze Pantalons,

schwarze Mütze mit einer silbernen Tresse und die schwarze Halsbinde vervollständigten die Kleidung. Zur Parade wurde statt der Mütze ein Schachthut von schwarzem Taft mit silberner Tresseneinfassung, vorn Schlägel und Eisen und auf der linken Seite die grün/weiße Nationalkokarde, getragen. Der über der Kokarde angeordnete, schwarze, hängende Federstutz war oben von gelber Farbe. Unter dem Hut trug der Akademist eine weiße Fahrkappe (Kapuze). Eine Tscherpertasche von schwarzem Leder mit zwei Tscherpern, weiße Pantalons, dergleichen Gamaschen und ein Steigerhäckchen gehörten weiterhin zur Ausrüstung. In der Vorschrift der Paradekleidung wird aufgeführt, dass diese der bisher getragenen entspricht. Es muss also schon vor 1831 den externen Studenten und Ausländern das Tragen einer vordefinierten Uniform gestattet worden sein.

Dass es immer wieder zu Problemen kam, wenn es um das Tragen der entsprechend vorgeschriebenen Uniformen ging, zeigt die umfangreiche Korrespondenz zwischen dem Oberbergamt und den untergeordneten Behörden: So auch in einem Schreiben vom 6. April 1838, in dem 135 Ober-, Unter- und Steiger, Schichtmeister und Lehenträger des Bergamtes Freiberg durch die höchste sächsische Bergbehörde auf den „Gebrauch der bergmännischen Kleidung“ aufmerksam gemacht werden. Es ging dabei vor allem um das nicht mehr ordnungsgemäße Tragen der vorgeschriebenen bergmännischen Kleidung und um „einen respectwidriges Betragen von Bergarbeitern gegen ihre Vorgesetzten“. Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass die Tragevorschriften „innerhalb des Dienstes auch bei feierlichen Gelegenheiten“ einzuhalten sind. Letzteres betrifft den „Besuch des Gottesdienstes, Kindtaufen, Hochzeiten, Begräbnisse, pp“. Die Untergebenen waren anzuweisen, sich gegenüber Bergbeamten, Offizianten und den vorgesetzten Obersteigern, Untersteigern und Gänghäuern „dienstgehorsam“ zu verhalten. Wenn sich Vorgesetzte und Untergebene in Uniform oder bergmännischer Tracht begegnen, hat der Untergebene die Kopfbedeckung abzunehmen und mit „Glück auf“ zu grüßen. In der Grube kann er beim Gruß die Kopfbedeckung auflassen. Verstoßen die Untergebenen gegen die zwei oben genannten Punkte, müssen sie mit Lohninbußen rechnen.

Diese Festlegungen galten natürlich auch für alle Beschäftigten und Benefizianten der Bergakademie.

Nach dem Tod des Oberberghauptmanns von Herder (†29.01.1838) setzten Bestrebungen hinsichtlich einer Veränderung der Uniform der sächsischen Berg- und Hüttenleute ein. In einem Vorschlag vom 23. Mai 1838, der auf die Ablösung der aktuellen, veralteten und unmodischen Uniform durch eine preiswertere Bekleidung abzielte, wurde auch auf die Kosten einer Beamtenuniform hingewiesen. Diese betragen für Puffjacke, Weste, Leder, Koppel = 90 Taler. Dazu kamen Capuchon, Paradehosen, Schachthut, Säbel mit Portepee, Degen, Uniformstiefel, Interimsfrack, dreieckiger Hut, Epauletten und Überrock. Das ergab eine Gesamtsumme für Parade- und Interimsuniform von insgesamt 199 Talern.

Weitere Vorschläge zur Vereinfachung der Kleidung folgten in den nächsten Monaten. Dabei wird aber immer noch zwischen den einzelnen Uniformarten - Interimsuniform, wirkliche Paradeuniform und gewöhnliche Paradeuniform unterschieden.



Abb. 6: Entwurf einer Beamtenuniform mit brauner Weste und Hose (18. Juli 1838): Der Rock ist oben geschlossen, goldene Bouillonfransen direkt unter der Puffe und zweite Beamtenuniform mit roter Weste, Dreispitz und Kurzschwert

Am 1. Februar 1840 erfolgte eine nochmalige Präzisierung der Uniform für die Kandidaten durch das Oberbergamt, die an das Oberhüttenamt und alle Bergämter zur Kenntnis und Umsetzung übergeben wird. Der Grund für die wiederholte Bekanntgabe lag in

den ständig wiederkehrenden Anfragen der Ämter, denen noch immer nicht in jedem Fall der Inhalt der Vorschrift klar war. Da sie die Einhaltung kontrollieren sollten, wollten sie für alle Fälle Klarheit. Um den gleichen Wissenstand zur Uniformierung der Kandidaten auch an der Bergakademie zu haben, wurden auch die Lehrer an diesem Tag über die Regelungen informiert.

Im Jahr 1842 wurde endlich dem Wunsch vieler Berg- und Hüttenbeamten nach einer Vereinfachung der Uniformierung stattgegeben. Der Nachfolger des Oberberghauptmanns von Herder, Friedrich Constantin von Beust, setzte nun eine neue, kostengünstigere und modernere Uniform im „*Reglement für die Dienstkleidung der bei dem Berg- und Hüttenwesen im Königlichen Sachsen angestellten Bergwerks-, Staats- und Gewerkschaftlichen Diener*“ durch. Dies betraf aber nur die Beamten und Offizianten der Klassen eins bis sieben. Im Jahr 1853 erfolgte eine Erweiterung auf neun Klassen.

Die Vereinfachung lag vor allem im Wegfall der Prunkweste, der vielen Verzierungen und damit der mit Gold oder Silber versehenen Posamenten. Auch die Jacke erhielt nun einen modernen, frackartigen Schnitt.



Abb. 7 Mitglieder des Vorstandes der HFBHK in Uniformen nach den Vorschriften von 1842/1853, Foto: Mike Förster

Am 15. Juli 1842 stellte der Freiberger G. E. Rost den Antrag an das Oberbergamt, auch von den neuen Uniformen Abbildungen erstellen zu dürfen. Dieser Bittstellung wurde am 28. Juli 1842 stattgegeben. Daraufhin ließ Rost weitere Bilder, darunter auch das eines Bergbeamten in Winteruniform, schaffen.

Mit der Herausgabe der neuen Uniformvorschrift erfolgte auch eine Einordnung der Berg- und Hüttenleute in eine neue Rangordnung: Für die Professoren (III.), den Bergakademieinspektor und die bergakademischen Lehrer (beide IV.) bleibt es aber die gleiche Zuordnung wie

in den vorherigen Ordnungen. In Klasse VIII sind die „*Bergakademieaufwärter*“, also die Absolventen der Akademie, und in Klasse IX die Akademisten eingeordnet.

Um die neuen Bestimmungen umzusetzen, wurden die Lehrer der Bergakademie, die Herren Professoren Breithaupt, Reich, Naumann, Lehmann, Kersten, Weisbach, Gätzschmann, Plattner, Cotta, Markscheider Leschner, Architekt Heuchler und der Administrator der Niederlage von käuflichen Mineralien Amanuensis Buchwald am 19. April 1843 informiert, wobei ihnen 13 Exemplare des Regulativs von 1842 übergeben wurden. Das Oberbergamt wusste um die Probleme bei der Umsetzung der Vorschriften zum Uniformtragen und versah das Schreiben an die Akademie mit folgenden Hinweisen:

1. *„Änderungen an der Uniform werden nicht geduldet und bestraft.*
2. *Die Uniform darf nur tragen, wem dies gestattet, die Mütze der Dienstuniform dürfen aber alle Bergwerksdiener tragen (auch die Arbeiter).*
3. *Die Uniformvorschriften sind bis 1843 umzusetzen.*
4. *Neben der Farbe rabenschwarz ist für alte Uniformen auch kohlschwarz noch zugelassen.*
5. *Staatsdiener, die in die private Wirtschaft wechseln, behalten die Auszeichnungen für Staatsdiener (Krone auf den Knöpfen) bei.*
6. *Der Kragen darf nur rot vorgestossen, nicht gefüttert sein.*
7. *Im Freien bleibt die Kopfbedeckung beim Gruß auf dem Kopf und es wird mit der Hand bzw. dem Steigerhäckchen begrüßt – Berührung an der Kopfbedeckung. In geschlossenen Räumen ist die Kopfbedeckung immer abzunehmen bzw. erst nach Befehl. Ist die Kopfbedeckung abgenommen, ist diese im linken Arm zu tragen.“*

Drei Jahre nach Gründung der Bergakademie war es vor allem der Oberberghauptmann Friedrich Anton von Heynitz gewesen, der auf „*Hinweis*“ des Prinzen Xaver für die sächsischen Berg- und Hüttenleute das Tragen von Uniformen anwies. Dies betraf auch die Akademisten der Bergakademie, damals aber nur die Benefikanten. Der Aufbau und die Bestandteile der Kleidung wurden bis auf wenige Änderungen, z. B. das Tragen



Abb. 8: Eduard Heuchler zeichnete zur Untersetzung der Vorschrift von 1842 den Beamten in Parade-, Halbparade und Dienstuniform (von rechts).

Abb. 9: Vereinsmitglied Rainer Mudrak der HFBHK in der Uniform eines Professors nach den Vorschriften von 1842/1853



Foto: Knut Neumann

von Stiefeln im Winter, Jahrzehnte lang beibehalten. Ende des Jahres 1848, am 4. November, unterbreiten acht Studenten der Bergakademie den Antrag, den „*bergakademischen Paradekittel*“ gegen einen einfachen Kittel zu tauschen. Der Vorschlag der Studenten beruhte auf einem finanziellen Problem, das allgemeiner Art zu sein schien. Denn auch das Finanzministerium äußerte sich in einem Schreiben an das Oberbergamt vom 15. Oktober 1849 zur Uniformierung der Bergakademisten. Es wurde vorgeschlagen, dass die „*wirklichen Akademisten*“, die Benefikanten zukünftig einen einfachen schwarzen Kittel ohne alle Abzeichen tragen sollten. Einige Lehrer der Bergakademie trugen diesen Vorschlag mit, andere fanden die Puffjacke angemessener und unterbreiteten daher am 30. Juni 1850 einen Gegenvorschlag.

Die Bestrebungen hin zu einem einfachen Kittel finden sich auch in einem Brief von Friedrich Adolph Steller „*Angelegenheiten der Bergakademie*“ an das Oberbergamt vom 30. Oktober 1851. Er machte große Bedenken geltend, die Puffjacke weiter zu nutzen. Der Hauptgrund für ihn war, „*daß die zum Theil noch sehr jugendlichen Bergakademisten*



Abb. 10: Entwurf für eine Paradeuniform des Akademisten (Puffjacke)

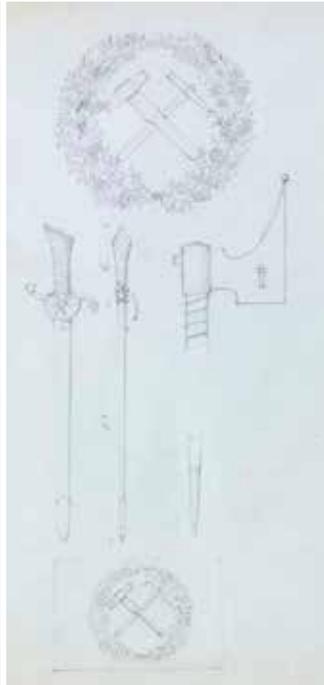


Abb. 11: Bestandteile zum Paradeuniformentwurf



Abb. 12: Abbildung eines Bergakademisten nach den Vorschriften von 1859.

Dieselbe ist in verschiedenen Graden zu tragen. Man unterscheidet:

- I. Parade und
- II. Halbparade.

§3 Die Parade-Kleidung

der wirklichen Akademisten besteht, wie beiliegende Zeichnung angibt:

α) In schwarzem Kittel von Thibet mit gelben Schlägel und Eisenknöpfen, stehendem und liegendem Kragen von schwarzem Samtmanchester, wobei der liegende Kragen ausgebogen am Rand mit einer goldenen Treße von 1 Zoll Breite besetzt

ist. Beide Kragen werden von einander durch eine goldene Schnur die vorn in einer Arabeske endet, getrennt. Ebenso bestehen die Achselstreifen, die Patten am Oberarm und die Handaufschläge aus schwarzem Samtmanchester und sind, sowie die Knopfreihen auf der Brust und den Aermeln mit Goldschnur besetzt. Unter der Patte am Oberarm befindet sich eine Armtour aus schwarzseidenen, schwachen Bouillons. Zum Kittel ist ein Saffianbergleder mit gelbem, 3 Zoll langen, 2 Zoll hohen Schloß auf dem die versilberten Berg- oder Hütteninsignien im Rautenkranz befindlich sind, zu tragen.

- β) In fliegender Fahrkappe und einem grünen, 7 Zoll hohen Schachthute von Plüsch mit einem Stutz von hängenden Federn, Kokarde an der Seite und vorn 3 Zoll hohem versilbertem Schlägel und Eisen.
- γ) In weißen Pantalons mit dergleichen Gamaschen und
- δ) in einer Steigerhacke.

§4 Die Halbparade derselben besteht,

- α) in einem Kittel, wie oben mit Bergleder und
- β) in schwarzen oder dunkelgrauen Pantalons sowie
- γ) einer schwarzen Mütze nach böh-

in der körperlichen Entwicklungsperiode stehen, und daß daher die meisten von ihnen genöthigt sein würden, sich während ihrer vierjährigen Studienzeit mehrmals Puffjacken machen zu lassen“. Er schlägt weiterhin vor, dass der rote Kragen „welcher jetzt nicht mehr sehr beliebt ist, in Wegfall zu bringen wäre.“

Durch solche Hinweise und Äußerungen nahm man zunehmend Abstand von der Puffjacke für den Akademisten. Nach weiteren Diskussionen und Abstimmungen sowie Einreichungen von Stellungnahmen und Gutachten wurde am 3. Dezember 1854 ein neues „Reglement für die bergmännische Tracht der auf der Bergakademie studierenden“ vorgestellt und in den folgenden Jahren weiter diskutiert. „Die Kleidung der damaligen Bergstudenten war fast ausschließlich der aus schwarzem Tibet oder Tuch gefertigte Bergmannskittel, der auf Bällen mit Leder getragen wurde. Gegen Ende der fünfziger Jahre mußte diese kleidsame Tracht dem Gehrock oder Jackett weichen, bzw. auf Bällen dem Frack. Die Mütze war, sofern nicht Verbindungsmütze, eine breitdecklige schwarze Tuchmütze mit rotem Vorstoß und weißem Schlegel und Eisen, seltener wird ein niedriger Hut getragen. In der mündlichen Prüfung mußte man im Kittel mit Leder erscheinen, während die Professoren und Oberbergamtsleute in vollem Wachs - goldgestickte Puffjacken mit hohem Kragen und schwerem Schleppsäbel - kamen, zuhörten, die schriftlichen Arbeiten unter Gähnen durchlasen und sich

darüber unterhielten.“

Es sollte aber noch 5 Jahre dauern, bis man sich endgültig von der Puffjacke für die Akademisten verabschiedete. Sie sei für die „jugendlichen Männer insofern allerdings nicht recht passend“. Auch der „wenig geliebte rothe Kragen“, auf der Uniform für die Bergakademisten sollte wegfallen. Ein weiterer Aspekt waren die Kosten, die beim Kittel natürlich geringer sind. Am 18. Juni 1859 wurde der schon seit Jahren diskutierte Entwurf umgesetzt und er erscheint als „Regulativ für die bergmännische Kleidung der auf der Bergakademie zu Freiberg studierenden“.

Interessant ist dabei, dass statt der früheren Bezeichnungen Habit, Uniform und Tracht nun das Wort Kleidung gewählt wird und dass nun alle Akademisten die gleiche Bekleidung tragen dürfen, denn das Regulativ gilt auch für In- und Ausländer, die auf eigene Kosten studieren.

§1 Verpflichtung und Berechtigung zum Tragen der bergmännischen Kleidung

Von den Studierenden sind die wirklichen Akademisten verpflichtet und die Extraner sowie die auf eigene Kosten Studierenden berechtigt, folgende bergmännische Kleidung in den nachstehend unter §5 angegebenen Fällen zu tragen.

§2 Grade im Tragen der bergmännischen Kleidung

mischem Schnitt und einfachem Goldschnurenbesatz mit Pompon und Agraffe von Goldschnur und darin befindlichem Schlägel und Eisen.

§5 Bestimmungen über das Tragen derselben

Die Paradekleidung wird getragen:

- a) *bei bergmännischen Paraden und Aufzügen und*
- β) *wenn es besonders angesagt wird, Die Halbparade ist zu tragen:*
 - a) *bei den bergacademischen Prüfungen,*
 - b) *beim Erscheinen vor dem Königlichen Oberbergamt,*
 - c) *bei bergmännischen und anderen festlichen Gelegenheiten, sowie*
 - d) *wenn der Studierende in Angelegenheiten die sich auf seine bergacademischen Studien pp. beziehen, vor Bergbehörden, den bergacademischen Lehrern, Grubenvorständen pp. freiwillig oder auf Veranlassung zu erscheinen hat. Jedoch beliebt es demselben bei den unter d genannten Fällen, auch nachgelassen, im einfachen schwarzen Kittel mit Bergleder zu erscheinen.“*

Am 11. Juli 1859 genehmigte das Finanzministerium das im Entwurf vorgelegte Regulativ für die bergmännische Kleidung der auf der Bergakademie Studierenden und legte fest, dass es vom nächsten Lehrjahr an einzuführen sei. Das Oberbergamt wurde aufgefordert, das hierfür Erforderliche zu verfügen.

Wie es zum Ende des 19. Jahrhunderts um das Tragen der Uniform unter den Studenten der Bergakademie bestellt war, zeigt ein Antrag des „Ausschusses der Studierenden“ an die Direktion der Akademie vom 18. Juli 1884. Der Ausschuss bittet „um Anschaffung vieler Berg-Parade-Costüms, welche, als Eigenthum der Akademie, den Vertretern der Studentenschaft bei festlichen Anlässen zur Benutzung überlassen“ werden sollen. „Der Ausschuss gestattet sich als Begründung seiner Bitte hinzuzufügen, daß die Beschaffung oben erwähnten Costüms ein Bedürfnis geworden, iedem bei den, in letzter Zeit stattgefundenen studentischen Aufzügen sich ein vollständiger Mangel von solchen herausstellte, und dieselben nur mit größter Mühe teilweise zur Stelle geschafft werden konnten.“ Damit verkommt die Standeskleidung immer mehr zu einem Kostüm, wel-

ches nur noch Repräsentationszwecken dient. Der Student sieht keinen Grund mehr, seinen Stand in der Kleidung zum Ausdruck zu bringen. Erst am 14. November erhielt der Ausschuss ein ablehnendes Schreiben, in dem darauf aufmerksam gemacht wird, dass es immer noch ein gültiges *Regulativ für die bergmännische Kleidung der Studierenden an der Bergakademie*“ gibt. Die Verordnung des Finanzministeriums vom 11. Juli 1859, die mit dem vormaligen Oberbergamt und den Lehrern der Bergakademie abgestimmt wurde, sei immer noch gültig. Wenn die Studierenden eine Änderung der Uniform wünschten, müssten sie einen Antrag an die Direktion der Bergakademie stellen und diesen an das Finanzministerium weiterleiten.

Dass es auch noch nach 1900 Probleme bei der Umsetzung der Kleidungs Vorschriften der Akademisten gab, zeigt eine Diskussion zur Kopfbedeckung. Am 22. April 1914 hatte der Ausschuss des Verbandes für den Bergkittel das Tragen einer neuen Kopfbedeckung beschlossen. Dadurch sollte der „Bergkittel unter den Studierenden wieder mehr Eingang“ finden. Man will auch erreichen, dass *„diese Mütze auch von ehemaligen, jetzt in der Praxis stehenden Angehörigen der Bergakademie zum Bergkittel getragen wird“*.

gen des sächs. Berg- und Hüttenleute in ihren neusten Staatstracht“, Literatur- und Kunst-Comtior, Zwickau, 1927, letzte Seite

- 6 BergAFG, (Landes-) Bergamt Freiberg, 40024, 09-070, Die Rangordnung des Bergstaates, ingleichen das Reglement für das Tragen der Parade- und Interims-Uniform, 1830, Bl. 1-21
- 7 TU BAF, UAF, OBA 16 „Die Verbesserung hiesiger Bergakademie betreffend“, 1829, Bl. 181-183
- 8 Betrifft auch die Hüttenindustrie
- 9 Wie Anm. 7, Bl. 196-198
- 10 Wie Anm. 7, Bl. 198-199
- 11 BergAFG, 40010-1 Bergamt Freiberg, 702 „Die Anschaffung und Tragung der Parade-Bergkleidung bei öffentlichen feierlichen Vorfällen und Ausrechnungstagen ...“, 1768, Bl. 211-222
- 12 Wie Anm. 11, Bl. 157-161
- 13 Wie Anm. 11, Bl. 161-163
- 14 Wie Anm. 11, Bl. 164-169
- 15 Wie Anm. 11, Bl. 169-181a
- 16 Wie Anm. 11, Bl. 182-193
- 17 TU BAF, UAF, OBA 17 „Die Verbesserung hiesiger Bergakademie betreffend“, 1839, Bl. 25-27
- 18 Wie Anm. 17, Bl. 27
- 19 BergAFG, 40089, RWA, 444 „Rangordnung und Dienstkleidung der bei dem Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen angestellten Bergwerksdiener“, 1678, Bl. 44-53
- 20 Fritzsche, Karl-Ewald: „Die Kleidung des erzgebirgischen Bergmanns im Urteil des 19. Jahrhunderts“, in Deutsches Jahrbuch für Volkskunde, Bd. 12/T2, Berlin, 1966, S. 288-311, Tafel 18
- 21 Wie Anm. 11, Bl. 283-290
- 22 Kalender für den Sächsischen Berg- und Hütten-Mann auf das Jahr 1843, Königl. Bergakademie zu Freiberg, Dresden, B.G. Teubner'sche Buchdruckerei, S. 130-135
- 23 Amanuensis: Veraltete Bezeichnung für einen Sekretär oder Schreibgehilfen
- 24 TU BAF, UAF, BAJ 3 „Die Bergakademie im allgemeinen betrfd.“, 1839-1843, Bl. 233-245
- 25 TU BAF, UAF, OBA 18 „Die Verbesserung der hiesigen Bergakademie betr.“, 1847, Bl. 21
- 26 Wie Anm. 25, Bl. 71-75
- 27 Begünstigter
- 28 Wie Anm. 25, Bl. 215-216
- 29 Wie Anm. 25, Bl. 207-212
- 30 Wie Anm. 25, Bl. 213-214
- 31 TU BAF, UAF, OBA 19 „Die Verbesserung der hiesigen Bergakademie betr.“, 1851, Bl. 107-111
- 32 Wie Anm. 31, Bl. 128-130
- 33 Wie Anm. 31, Bl. 176
- 34 Wie Anm. 31, Bl. 176
- 35 TU BAF, UAF, OBA 20 „Die Verbesserung der hiesigen Bergakademie betr.“, 1853, Bl. 42-46
- 36 TU BAF, UAF, Zb 120, „Das Corps Franconia in Freiberg 1838-1910“, Breitkopf & Härtel, Leipzig, 1910, S. 40 (Originalbuch Wissenschaftlicher Altbestand, 81/40, 1588)
- 37 TU BAF, UAF, OBA 22 „Die Verbesserung der hiesigen Bergakademie betr.“, 1859, Bl. 27-32
- 38 Wie Anm. 37, Bl. 32
- 39 Wie Anm. 31, Bl. 230
- 40 TU BAF, UAF, DIR 7 „Die Verbesserung der Bergakademie betreffend“, 1882, Bl. 189
- 41 Wie Anm. 40, Bl. 229-230
- 42 Wie Anm. 6, Bl. 10-11

1 BergAFG, OHA, 40035, 1008 „Das höchst gnädigst approbirte Regulativ die Parade Berg-Kleidung für die Hütten-Bediente betr., Anno 1768“, 1768, Bl. 98-118

2 TU BAF, UAF, OBA 63 „Die Anstellung der Professoren der Mathematik, Physik und Bergmaschinenlehre bei der hiesigen Königlichen Bergakademie betr., 1816, Bl. 85b

3 Rost, Georg Ernst: „Trachten der Berg- und Hüttenleute im Königreiche Sachsen. Nach dem neuesten Reglement mit landschaftlichen Umgebungen aus den verschiedenen Bergamtsrevieren nach der Natur gezeichnet, in Kupfer gestochen und treu colorirt“, Freiberg, 1831

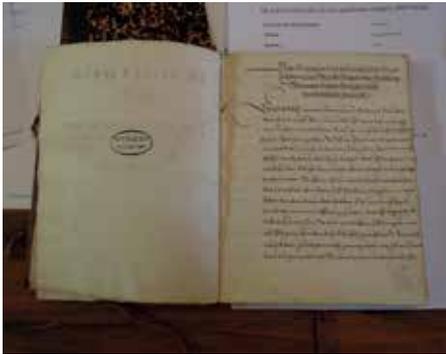
4 HFBHK: Abkürzung für den Namen des Vereins Historische Freiberger Berg- und Hüttenknappschaft e.V.

5 „Geschichte und Beschreibung des sächsischen Bergbaus, Mit 22 colorirten Abbildun-

Alchemie, Montanistik und Naturphilosophie in Freiberg

Zu den geisteswissenschaftlichen Horizonten und Perspektiven der Forschung in Mittelsachsen

Witalij Morosow



Handschrift der Abhandlung „De natura rerum“, 1571 mit dem Stempel „Werners Nachlass“, Universitätsbibliothek in Freiberg



Witalij Morosow in der Andreas-Möller-Bibliothek



Porträt des Paracelsus in „De viribus membrorum spirituum“, Straßburg 1572 (Andreas-Möller-Bibliothek)

Die Universitätsstadt Freiberg, die verschiedene Perspektiven und Bildungsoptionen für Mineralogen, Chemiker, Techniker und Ingenieure bietet, gehört zu den signifikanten Orten Mittelsachsens, deren ideenhistorisches Potential im geisteswissenschaftlichen Sinne des Wortes noch nicht genügend erforscht und damit noch erst einzuschätzen ist. Die Spuren des Interesses an Fragen der Philosophie sowie der Theologie in der mittelalterlichen Stadt sind noch nicht in ihrer ganzen Vielfalt untersucht. Spätestens seit der Frühen Neuzeit wurden in der Silberstadt diverse Schriften von Verfassern verbreitet, die als Autoritäten in den *artes mechanicae* bekannt waren, die in ihren Reflexionen über die Naturkunde – u.a. über die Stellung der Kunst der Alchemie – diskutierten. Die Schriften von Alchemisten und ihren Kritikern waren nicht nur mit Blick auf Probleme der *res metallica* in der Bergbaukunde von Bedeutung, sondern wiesen die aufmerksamen Leser:innen auf diverse naturphilosophische, medizinische, theologische und soziologische Fragen hin, die die intellektuellen Landschaften im Sachsen der Frühen Neuzeit konzeptuell fundiert und bereichert haben, weshalb heute über die Spezifik des frühen Paracelsismus in Sachsen zu sprechen ist.

Während meines – unter anderem vom Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg unterstützten – Forschungsaufenthalts in Freiberg ist es mir gelungen, seltene Handschriften und Frühdrucke mit authentischen und pseudepigraphischen Abhandlungen des helvetischen Arztes und Alchemisten Theophrastus Paracelsus kennenzulernen,

sowie diverse Schriften von Paracelsus-Interpreten wie Adam von Bodenstein (1528–1577), Michael Toxities (1514–1581), Jacob Theodor (auch: Jacob Ditter/Diether; 1522–1590) und Leonhard Thurneysser zum Thurn (1531–1596), die heute für die Forschung an der Andreas-Möller-Gymnasiumsbibliothek sowie an der Georgius-Agricola-Universitätsbibliothek in Freiberg zugänglich sind, zu untersuchen.

Die Beschäftigung mit der Geschichte der Alchemie und des frühen Paracelsismus im sächsischen Kulturraum lässt sich in die Alchemie- und Paracelsus-Forschung einordnen und ist insbesondere mit Blick auf die Entwicklung neuer Formen der Naturtheologie und der Theosophie in Sachsen sowie auf die Überlieferungsgeschichte der alchemistischen Folianten in Europa von besonderem Interesse. Der Forschung sind mehrere Alchemisten bekannt, die in sächsischen Städten wie Dresden, Leipzig, Chemnitz, Meißen, Görlitz, u.a. tätig waren. Die Quellen aus dem Raum Freiberg sind für weiterführende Untersuchungen zur lokalen Geschichte der deutschen alchemistischen Naturkunde im sächsischen Kulturraum wertvoll. Durch ihr Studium kann Licht auf einige vergessene Namen geworfen werden, die für die Geschichte der alchemistisch-naturkundlichen Netzwerke in Deutschland von Interesse sind. So befindet sich z.B. in der Andreas-Möller-Bibliothek ein Exemplar der Abhandlung des Paracelsus *Chirurgia Magna* (Straßburg 1573) aus dem Besitz eines gewissen Joachim Ludwig, über dessen Herkunft und Leben momentan kaum etwas bekannt ist. Dieses Exemplar der

Chirurgia Magna enthält diverse Notizen, dank derer es möglich ist, den genauen Kreis von Fragen zu umreißen, die für den frühneuzeitlichen Leser dieses Bandes von Bedeutung waren. Eine systematische Untersuchung von alchemistischen Abhandlungen aus dem mittelsächsischen Kulturraum dürfte fruchtbringend für die Wissenschafts- und Alchemiegeschichte sein; die Quellen aus Freiberg und nahegelegenen Städten stellen in diesem Zusammenhang einen kleinen, aber dennoch wichtigen Baustein dar.

Im Rahmen meines Projekts untersuchte ich im Speziellen das Problem der Überlieferung von alchemistischen Schriften und Ideen in Deutschland, ihren Einfluss bei der Entstehung von Konzeptionen über das Wesen des Unterirdischen und ihre Wirkungen in alchemistischen Narrativen. Ich konzentrierte mich dabei auf die intellektuellen Bewegungen an der Bergakademie Freiberg zur Zeit des Wirkens von Abraham Gottlob Werner (1749–1817). Offensichtlich wurde dabei, dass Intellektuelle wie Novalis (1772–1801) und Franz von Baader (1765–1841), die in Freiberg studierten und zu Werners Schülern zählten, in ihren philosophisch-theologischen sowie literarischen Experimenten verschiedene alchemistische Theorien und Konzepte uminterpretierten, mit denen sie schon in ihrer Freiburger Periode vertraut geworden waren.

Um meine Forschungsergebnisse zu untersetzen, analysierte ich die Freiburger Sujets und Narrative hinsichtlich der Alchemie-Rezeption in den naturphilosophischen Kontexten des wissenschaftlichen Lebens in der Silber-

stadt. Ich konnte reichhaltiges Material sammeln, das die Ausgangsbasis für weiterführende Studien zur Alchemie-Rezeption bei Novalis und anderen Paracelsus-Interpreten in Sachsen bilden wird.

Die Verwirklichung des Projekts an der TU Bergakademie Freiberg wäre ohne die Hilfe mehrerer Kollegen und Freunde unmöglich gewesen, die für mich exzellente Forschungsbedingungen und den Zugang zu Quellen und Literatur in Archiven und Bibliotheken organisiert haben. Dafür bin ich vor allem Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer, Frau Angela

Kugler-Kiebling und Frau Annett Wulkow herzlich dankbar, die alles dafür getan haben, um sogar während der Pandemiezeit den Forschungsprozess an der Universität auf höchstem Niveau aktiv zu halten. Mein besonderer Dank gilt auch Dr. Volker Bannies, mit dessen Unterstützung es für mich im Herbst 2020 möglich geworden war, einige seltene Frühdrucke von alchemistischen Abhandlungen aus der Andreas-Möller-Bibliothek einer Untersuchung zu unterziehen.

Ich bin von der Atmosphäre der Stadt Freiberg einfach begeistert und freue

mich sehr, dass es mir gelungen ist, nicht nur in den Archiven der Stadt zu arbeiten, sondern auch viele Freunde, Kollegen und Gesprächspartner unter den Einwohnern zu finden, dank derer ich aus ganz neuen und unerwarteten Perspektiven auf mein eigenes Forschungsfeld blicken konnte. Die unschätzbare Erfahrung des Arbeitens in Freiberg möchte ich mit Blick auf meine weiteren Studien zur Geschichte der Alchemie nutzen und mit meinen weiteren Studien zur Geschichte des intellektuellen Lebens in Sachsen dem interessierten Publikum bekannt machen.

Zum 160. Todestag von Christian Friedrich Brendel

Ein bedeutender Maschinenbauer des Bergbaus und Hüttenwesens im 19. Jahrhundert

Gerd Grabow

Christian Friedrich Brendel war ein hervorragender Maschinenbauer, ein Konstrukteur und Projektant für den Einsatz der unterschiedlichsten Wirkprinzipien von Anlagensystemen im Bergbau und der Hüttenindustrie im 19. Jahrhundert. Mit seinen Maschinen für den Freiburger Bergbau vollzog er den Aufschluss der Erzgänge in großen Teufen und damit eine dritte Blütezeit im Montanwesen. Mit den von ihm konstruierten Maschinen und mit vielfältigen konstruktiven Details sicherte sich Brendel einen bleibenden Platz in der Geschichte des Maschinenbaus (Abb. 1).

Christian Friedrich Brendel wurde am 26. Dezember 1776 in Neustädtel bei Schneeberg geboren. Von seinem siebten Lebensjahr an zeigte er eine große Neigung und Befähigung für das Maschinenwesen. Im Jahr 1790 entschloss er sich, Bergmann zu werden und wurde Zimmerling auf dem Marx Semmler Stollen bei Schneeberg. Nebenbei nahm er Unterricht in Mathematik und Zeichnen. Später wurde er bei der Gangarbeit eingesetzt. Auch hier erregte er durch seinen Wissensdurst und seine Kenntnisse bald die Aufmerksamkeit seiner Vorgesetzten. Ab dem Jahr 1797 besuchte er die Bergakademie in Freiberg. Hier nahmen sich seiner besonders die Professoren von Tebra und Werner an. Die Kosten für das Studium bestritt Brendel aus dem Lohn für nebenbei geleistete Bergmannsarbeit. Am 2. Oktober 1802 wurde er Obersteiger auf dem Thelersberger Stollen.

Aber bereits am 22. Oktober 1802

erging auf Betreiben von Tebras eine Anweisung, nach welcher Brendel nach einem genau ausgearbeiteten Plan eine Studienreise zum Studium von Maschinen in den Harz, nach Hannover, Westfalen, Holland und England und zurück über Belgien und Frankfurt am Main auszuführen hatte. Die Dauer war auf neun Monate berechnet, verlängerte sich aber infolge mannigfacher Störungen auf zwei Jahre und zwei Monate bis zum Jahr 1805.

Unmittelbar nach seiner Rückkehr wurde er zu den Salinen Dürrenberg, Artern, Käsen und Kötzschau gesandt, um das dortige Maschinenwesen in Ordnung zu bringen. In Dürrenberg baute er sodann die erste rechts und links gesteuerte Dampfmaschine auf, die zerlegbar und transportabel war. Ihre Eisenteile lieferte die Firma Lauchhammer. Sie wurde im Jahr 1808 fertig und besaß einen Balancier und ein waagerechtes Schwungrad. Die Dampfmaschine wurde zum Heben von Sole verwendet.

Brendel wurde im Jahr 1811 zum sächsischen Kunstmeister ernannt, trat dieses Amt aber erst im Jahr 1814 nach seiner Rückkehr nach Freiberg an.

Im Jahr 1817 wurde er zum Maschinendirektor ernannt. In den folgenden Jahren führte er die Wassersäulenmaschinen im sächsischen Bergbau ein. Zwischen den Jahren 1819 und 1821 baute er Dampfmaschinen beim königlichen Steinkohlenbergwerk Döhlen und in Burgk, eine dritte über dem 6. Luftloch des Elbstollens und im Jahr 1826 eine solche zum Wasserheben auf dem



Abb. 1: Christian Friedrich Brendel (1776-1861)

Steinkohlenbergwerk in Oberhohndorf bei Zwickau.

Eines der geschichtlich bedeutendsten Werke deutscher Maschinenbaukunst ist das in den Jahren 1830 und 1831 gebaute Hochofengebläse mit Wasserantrieb, das vom Freiburger Maschinendirektor Christian Friedrich Brendel konstruiert wurde.

Brendel war beim Entwurf neue Wege gegangen, so dass es galt, beim Bau viele unvorhergesehene Schwierigkeiten zu überwinden.

Abbildung 2 zeigt das Modell des Schwarzenberg-Gebläses mit Wasserantrieb im Maßstab 1:10 von Prof. Grabow, dem Autor des Beitrags.

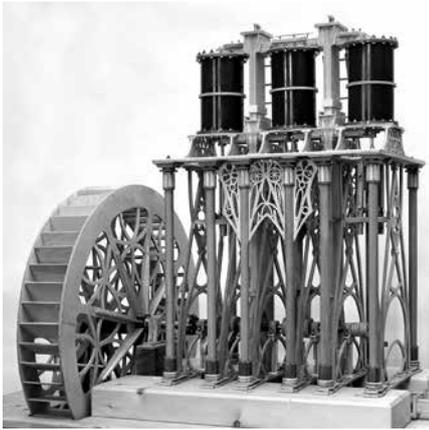


Abb. 2.: Modell des Schwarzenberg-Gebläses mit Wasserradantrieb im Maßstab 1:10 von Prof. Grabow

Brendel hat auch maßgeblich an dem im August und September 1831 von Professor Reich ausgeführten Fallversuchen im „Dreibrüderschacht“ zur Feststellung der Erdrotation teilgenommen und war ferner Sachverständiger bei der in den

Jahren 1842 bis 1844 ausgeführten Vergrößerung des Dörnthaler Teichs. Groß ist die Zahl seiner Gutachten und seiner Verbesserungen an Maschinenteilen. Mit dem Ingenieur Lampadius zusammen probierte er eine neue Kunstschmiere aus. Schließlich hat er auch die erste Eisenbahn Deutschlands erbaut und zwar im Jahr 1829 von der Halde des Kunst- und Treibeschachts „Alte Mordgrube“ bis zur neuen Poch- und Stoßherdwäsche.

Im Jahr 1842 erhielt Brendel den sächsischen Verdienstorden, 1846 wurde er zum Bergrat ernannt und im Jahr 1851 trat er in den Ruhestand. Bis ins hohe Alter war er eine stattliche Persönlichkeit, den selbst das Greisenalter nicht beugen konnte. Nach nur wenigen Tagen einer schmerzlosen Krankheit starb er im Alter von fast 85 Jahren am 20. November 1861 ruhig, fast unbemerkt, im Lehnstuhl mit den Worten: „Nun bin ich fertig“.

Mit ihm schied ein Mann, hochstehend durch die Vielseitigkeit gründlichen Wissens, durch bewährte praktische Erfahrung, hoch achtbar durch seine rastlose Tätigkeit, durch fleckenlose Rechtlichkeit; dazu ein Mann, der sich zu dieser Höhe unter dem Druck der beschränktesten Verhältnisse nur durch seine eigene geistige und moralische Kraft empogearbeitet hat.

Sein Grab ist unbekannt, wohl aber wurde durch Veranlassung des Professors Gätzschmann, den er im Jahr 1829 als Bergwerkskandidaten bei der Maschinendirektion angestellt hatte, an seinem Wohnhaus – dem Maler Soodtmannschen Haus, Burgstrasse 21 in Freiberg – eine Gedenktafel angebracht mit den Worten: Christian Friedrich Brendel, Maschinendirektor, geb. am 26. Dez. 1776, gest. am 20. Nov. 1861.

190 Jahre Schwarzenberg - Gebläse Ein Technikdenkmal auf der „Alten Elisabeth“ in Freiberg

Gerd Grabow

Einleitung

Eines der geschichtlich bedeutendsten Werke deutscher Maschinenbaukunst ist das in den Jahren 1830 und 1831 gebaute Hochofengebläse mit Wasserradantrieb der Staatlichen Sächsischen Halsbrücker Hüttenwerke. Das Gebläse wurde vom Freiburger Maschinendirektor Christian Friedrich Brendel konstruiert.

Der Bau erfolgte auf der dem Bergkommissionsrat Lattermann gehörenden vogtländischen Eisenhütte „Morgenröthe“. Im Juli 1831 wurde das Gebläse in der Antonshütte in Betrieb genommen. Es war von 1831 bis 1860 in der Antonshütte bei Schwarzenberg und von 1862 bis 1925 in der Halsbrücker Hütte bei Freiberg im Einsatz. Das Gebläse steht heute als historisches Kulturdenkmal auf der „Alten Elisabeth“ in Freiberg.

Aufbau des Gebläses

Das Hochofengebläse ist eine doppeltwirkende Kolbenmaschine mit drei vertikal angeordneten Zylindern. Es liefert einen Luftvolumenstrom von 45,5 m³/min auf einen Druck von 50 mm Hg bei einer Antriebsdrehzahl von 10,5 U/min.

Die Antriebsleistung beträgt $P=10,3\text{kW}$ und wird von einem überschlächtigen

Wasserrad über eine Kupplung auf die Kurbelwelle übertragen. Das Drehmoment wirkt von der Kurbelwelle auf die Schubstangen, und über Rollenkreuzköpfe werden die Kräfte auf die Kolben weitergeleitet. Der Kolbendurchmesser beträgt 850 mm, der Kolbenhub 1416 mm. Die Maschine hat eine Gesamtmasse von 33 t.

Auffällig sind die aus der Architektur der damaligen Zeit übernommenen neogotischen Bauformen. Der äußere Aufbau des Gebläses, das einschließlich seines Fundaments eine Höhe von 7,5 m besitzt, wirkt imposant. Das Maschinengestell mit seinen zwölf über 4,5 m hohen gußeisernen kapitellgeschmückten Säulen und seinen sechs Zwischenbogenwänden mit neogotischen Ornamenten ist besonders wuchtig (Abb. 1-2).

Eigenartig in ihrer Gegensätzlichkeit wirken die Verzierungen. Sie waren eine Besonderheit für den sich im 19. Jahrhundert entwickelnden Maschinenbau. Damit wurde zum Ausdruck gebracht, wie es die Kunstmeister verstanden haben, mit dem spröden Werkstoff Gusseisen umzugehen und das Maschinengestell zu einem starren, kastenförmigen Gebilde zu formen, das hohe Belastungen aufnehmen konnte. Mit dem Bau des

Gebläses wurde zur damaligen Zeit die Grenze der Leistungsfähigkeit der Gießereitechnik erreicht. Gusstücke von dieser Feinheit in der Formgestaltung waren bis dahin noch nicht hergestellt worden.

Brendel war bei dem Entwurf neue Wege gegangen, sodass es galt, beim Bau viele unvorhergesehene Schwierigkeiten zu überwinden. Dass auch die



Abb. 1: Schwarzenberg-Gebläse

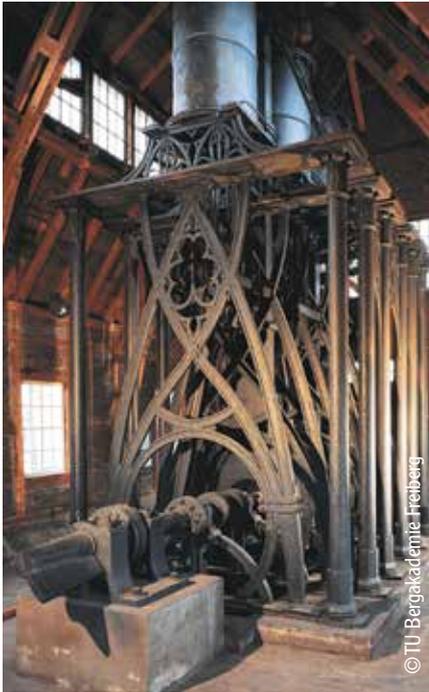


Abb. 2: Gebläse mit kapitellgeschmückten Säulen und Zwischenbogenwänden

einfachsten Konstruktionen ihren Zweck erfüllten, beweist der Umstand, dass das Gebläse annähernd 100 Jahre fast ununterbrochen in Betrieb war und den Hütten bei der Bereitstellung von Luft für die Schmelzöfen wertvolle Dienste geleistet hat.

Baugeschichte des Gebläses

In den zwanziger Jahren des 19. Jahrhunderts war der Plan entstanden, neben den bei Freiberg gelegenen Hüttenwerken Muldenhütten und Halsbrücke noch ein Werk im oberen Erzgebirge aufzubauen, um die in dieser Gegend gefundenen Erze verhütten zu können, ohne sie erst weit transportieren zu müssen. Aus diesem Grunde wurde in den Jahren 1828 bis 1831 im Schwarzwassertal zwischen Schwarzenberg und Johannegeorgenstadt die „Königliche Antonshütte“ erbaut.

Der Freiburger Maschinendirektor Brendel, der es ausgezeichnet verstand, die technischen Fortschritte für die ihm unterstellten Werke auszunützen, schlug im Jahre 1829 dem Oberhüttenamt vor, in das neu errichtete Werk sofort ein gusseisernes Zylindergebläse zu installieren. Brendel stützte sich bei seinem Vorschlag auf die guten Erfahrungen, die an einem gleichartigen Gebläse in Muldenhütten und auch an anderen Stellen z.B. an einem in Gröditz aufgestellten Zylindergebläse, gesammelt wurden. Wenn man heute nach 190 Jahren resümiert, so muss man den Weitblick des Ingenieurs Bren-

del bewundern, der die viel höheren Kosten und das damit verbundene Risiko für eine moderne Einrichtung nicht scheute.

Am 9. März 1831 erfolgte die Übernahme des Gebläses in Morgenröthe. In einem Bericht an das Oberhüttenamt sprach sich Brendel sehr lobend über die gute Arbeit bei der Herstellung der Maschine aus. Die Montage der einzelnen Maschinenteile und die Aufstellung der gesamten Maschine nahm viel Zeit in Anspruch. Am 19. Juni 1831 war es soweit. Man ließ das Gebläse zum ersten Mal mit Wasserkraft mehrere Stunden mit 5 Umdrehungen pro Minute versuchsweise laufen. Bei wenig Aufschlagwasser zeigte sich ein gleichförmiger, ruhiger Lauf der Maschine. Daraufhin entschloss man sich in Halsbrücke, am 4. Juli 1831, mit dem Betrieb der Königlichen Antonshütte offiziell zu beginnen.

Brendel hob nochmals die Güte der Maschine hervor. Mit diesem Urteil des Sachverständigen Brendel begnügte man sich, und am 07.12.1839 genehmigte das Finanzministerium für die Herstellung des Gebläses auf der Königlichen Antonshütte die Summe von 7191 Talern, 7 Neugroschen und 9 Pfennig

Betriebsgeschichte des Gebläses

Über den Betrieb des Gebläses auf der Antonshütte finden sich in den Akten nur wenige Vermerke, da die Maschine ohne nennenswerte Beanstandungen lief. Mit dem Betrieb der Königlichen Antonshütte hatte man allgemein nach ihrer Errichtung Schwierigkeiten. Der Bergbau im Obererzgebirge wurde immer weniger lohnend, und eine Grube nach der anderen wurde stillgelegt. Infolgedessen erhielt die Antonshütte bei weitem nicht mehr so viel Erz wie anfänglich. Das führte dazu, dass 1844 zeitweise eine Stillsetzung des Betriebs erfolgte. Im Jahre 1848 entschloss sich das Oberhüttenamt, die Antonshütte wieder in Betrieb zu nehmen. Damit war auch die aufgezwungene Ruhepause für das Gebläse zu Ende.

1862 erfuhr man, dass in den Hüttenwerken Halsbrücke durch Veränderungen im Produktionsprozess eine Erhöhung der Gebläseleistung für den Betrieb der Schmelzöfen erforderlich wurde. Demzufolge war es naheliegend, das Antonshütter Gebläse zu übernehmen, da sich diese Maschine langjährig bewährt hatte und die Kosten für die Neuanschaffung eines Gebläses wesentlich höher liegen würden. Am 19. März 1862 reichte der Kunstmeister Schwamkrug einen

Kostenanschlag für die Überführung des Gebläses von der Antonshütte nach Halsbrücke an das Oberhüttenamt ein. Nach nunmehr 30 Jahren erfolgte die Umsetzung des alten Gebläses nach Halsbrücke. Neben dem Antonshütter Gebläse arbeitete gleichzeitig das in den Jahren 1836 und 1837 erbaute Balanciergebläse und gab zu keinen ernststen Klagen Anlass.

Eines Tages genügten die beiden Veteranen doch nicht mehr den zunehmenden Anforderungen, die von Seiten der Hochöfen an sie gestellt wurden. Es waren nunmehr schon 50 Jahre nach der Aufstellung des Gebläses in Halsbrücke und sogar 80 Jahre nach seiner Erbauung vergangen, als am 10. März 1911 von der Halsbrücker Schmelzhütte ein Bericht über die Gebläseleistung der Hütte an das Oberhüttenamt abgegeben wurde, in dem zum Ausdruck kam, dass wegen der erhöhten Anforderungen und infolge von Veränderungen im Hüttenprozess zusätzlich ein Reserveturbogebläse eingebaut werden sollte. Trotz des Einsatzes des Kreiselgebläses vergingen noch 14 Jahre, ehe das Schwarzenberg-Gebläse im Oktober 1925 stillgelegt wurde.

Es ist das besondere Verdienst von Professor Fritzsche, dass er das Gebläse nach dem Stillsetzen in Halsbrücke, später im Jahre 1936, auf der Halde der Grube „Alte Elisabeth“ aufstellte.

Trotz des vielen, uns heute überflüssig erscheinenden Zierrates erkennt man, wie meisterhaft es die Erbauer, der Oberkunstmeister Brendel und der Eisenwerksbesitzer Lattermann (Abb. 3), verstanden haben, Zweck und Formschönheit zu vereinen, ohne dass das Gesamtbild des Schwarzenberg-Gebläses gestört wird.



Abb. 3: Eisenwerksbesitzer Heinrich Ludwig Lattermann (1776-1839)

Erinnerungen an meinen Lehrer Sigismund Otto Rolf Rösler

Detlev Dusemond



Der 30. Todestag meines verehrten Lehrers Prof. R. Rösler ist für mich Anlass, seiner zu gedenken. Leider erinnert heute in Freiberg sehr wenig an diesen fachlich versierten, national und international renommierten Wissenschaftler.

R. Rösler wurde 1929 in Radebeul geboren und machte dort 1948 sein Abitur. Noch im selben Jahr begann er in Dresden ein Pädagogikstudium für die Fächer Mathematik und Physik. 1950 wechselte er die Fachrichtung sowie den Studienort und studierte bis 1953 Angewandte Geophysik an der Bergakademie in Freiberg. Nach seiner Diplomarbeit setzte er seine Ausbildung als wissenschaftlicher Assistent bei Professor Buchheim am Institut für Theoretische Physik und Geophysik fort. Wolfgang Buchheim, selbst ein Schüler der Nobelpreisträger W. Heisenberg und P. Debye, war für R. Rösler maßgebend für seine weitere Entwicklung. 1958 promovierte Rösler mit seiner Arbeit „Die galvanisch induzierte Polarisierung an Dispersionen rotationsellipsoidischer Teilchen“. 1959 wurde er Oberassistent am Buchheim-Institut und habilitierte sich 1964 mit der Arbeit „Ein neues Auswertverfahren für radiometrische Bohrlochmessungen unter Berücksichtigung der K_2O -Bestimmung aus Messungen der natürlichen Gammastrahlung in Bohrlochern“. (Beide Arbeiten erschienen im Akademie-Verlag).

R. Rösler ist bis auf ein kurzes Intermezzo der Bergakademie Freiberg treu

geblieben. So war er für sieben Monate (1964-1965) Abteilungsleiter für Forschung und Entwicklung im VEB Geophysik Leipzig und anschließend bis August 1967 am Deutschen Brennstoffinstitut Freiberg tätig, zuerst als wissenschaftlicher Mitarbeiter und dann als Leiter der neu aufgebauten Fachgruppe Geophysik. [1]

Ich lernte R. Rösler während meines Geophysikstudiums an der Bergakademie in Freiberg (1969 bis 1973) kennen. Die ersten Vorlesungen bei ihm beeindruckten schon sehr stark. Seine Vorlesungen über Potential- und Wellentheorie waren für uns Studenten neben denen der theoretischen Physik wohl die, die uns am meisten herausforderten. Ein Grund mehr, auf unseren Lehrern aufzublicken.

Nach dem Studium hatte ich das Glück, bei ihm eine Assistentenstelle zu bekommen und ihn als Doktorvater zu haben. In dieser Zeit hatte ich Gelegenheit, ihn in seinen fachlichen und menschlichen Qualitäten aus unmittelbarer Nähe viel besser kennenzulernen.

Aus dieser Zeit stammen einige Episoden, die ihn als zurückhaltenden, national und international anerkannten und auch engagierten Chef zeigen.

Was vielleicht nicht viele wissen: Er war bereits mit jungen Jahren Mitglied der LdPD, als Schöffe und auch in der Arbeiterkontrolle gesellschaftlich tätig. Er wurde für dieses Engagement 1972 mit der Ehrennadel der Organe der Rechtspflege, 1974 mit der Ehrennadel der Nationalen Front in Silber und 1979 mit der Ehrennadel der Bergakademie Freiberg ausgezeichnet. Da auch ich während dieser Zeit in der Arbeiterkontrolle tätig war, hatten wir diesbezüglich einige wenige kurze Gespräche zu diesem Thema.

Die Zeit meines Aufenthaltes in Freiberg war durch die Hochschulreform geprägt. Anfangs war es etwas chaotisch. Wegen dieser Erfahrungen wurde nach Ende unseres Studiums 1973 wieder das 5-Jahresstudium eingeführt. Es wurden Sektionen und innerhalb dieser Wissenschaftsbereiche gegründet. Leiter dieser Bereiche waren meist jüngere Nachwuchswissenschaftler. Später musste man einsehen, dass für diese

Aufgaben kompetentere, anerkannte Wissenschaftler eingesetzt werden sollten, und so löste R. Rösler als neuer Wissenschaftsbereichsleiter für Angewandte Geophysik seinen Vorgänger ab. In dieser Position blieb er während der gesamten Zeit meines Aufenthalts in Freiberg.

Ich erinnere mich, dass in meiner Assistentenzeit monatliche Wissenschaftsbereichsbesprechungen durchgeführt wurden, bei denen entsprechend einer bestimmten Regel jedes wissenschaftliche Mitglied des Bereiches über seine erzielten Ergebnisse und seine zukünftigen Absichten berichtete. Alle hatten die Pflicht zur Teilnahme und zur Berichterstattung, sowohl etablierte Professoren als auch junge Assistenten.

Für mich bleibt für immer in Erinnerung, dass nach ihren Vorträgen alle gespannt auf R. Rösler sahen, egal, ob Professor oder junger Assistent. Es wurden immer die Ratschläge von R. Rösler beachtet. Kein Mitarbeiter versuchte sich an einer Lösung, von der Rösler meinte, dass es nichts bringt. War er andererseits der Meinung, dass ein Thema erfolgversprechend ist, wurde die Arbeit daran begonnen.

Ebenfalls in Erinnerung ist mir geblieben, dass ich ihm einmal eine Berechnung über mehrere Seiten zur Begutachtung vorlegte. Er versprach mir, diese innerhalb von 2 Tagen durchzusehen. Wie vereinbart rief er mich nach Ablauf dieser Zeit an und teilte mir mit, dass er einen Fehler entdeckt hat. Ich habe oft beobachtet, dass er die erste oder die beiden ersten Seiten intensiv las und dann die folgenden Seiten nur durchblättert. Aufmerksamer betrachtete er dann nur noch das Ergebnis. Sein Urteil war oft entweder „falsch“ oder „es könnte richtig sein“. Auf meine Frage, wie er so schnell zu einem Ergebnis kommt, sagte er mir, dass er am Anfang kontrolliert, um welches „Material“ es sich bei der Aufgabe handelt und mit welchen Werkzeugen (Operatoren) das Material bearbeitet wird. Wenn im Ergebnis etwas anderes als das durch das Werkzeug bearbeitete Material heraus-

Kontakt

detlev.dusemond@freenet.de

kommt, musste die Lösung falsch sein.

Einmal glaubte ich, in wochenlanger Arbeit die Lösung einer „unlösbaren Aufgabe“ gefunden zu haben. Mir war klar, dass irgendetwas falsch sein müsse, konnte aber den Fehler nicht finden. So übergab ich die Rechnung zur Prüfung Rösler. Es dauerte ca. 3 bis 4 Wochen bis Rösler mich anrief. Ich wusste ohne abzuheben, dass es Rösler war, und mir fiel plötzlich wie Schuppen von den Augen, wo der Fehler lag. Es war eine Tautologie. Als wir uns besprachen, mussten wir beide lachen, wie schwer wir uns getan hatten, die Tautologie zu entdecken.

Ein ähnliches Beispiel habe ich erzählt bekommen. Ein Jenaer Wissenschaftler hat 7 Jahre lang außerdienstlich an einer Dissertation gearbeitet. Er war fertig und suchte nach Gutachtern. In diesem Bemühen wurde er bei Professor Buchheim vorstellig. Buchheim verwies ihn an Rösler. Rösler versprach, sich den Entwurf anzusehen. Am nächsten Tag teilte Rösler dem Vorsprecher mit, dass die Voraussetzung für die Arbeit falsch und damit der Entwurf wertlos sei. Gleichzeitig konnte ihm Rösler den Entwurf einer neuen Voraussetzung mitteilen. Er empfahl ihm, seinen Entwurf an alle Hochschulen mit einer Fakultät für Physik oder Mathematik zu schicken mit der Bitte, den Beweis für Röslers Annahmen zu finden. Nach ca. einem halben Jahr wurde meines Wissens von der TU Dresden Röslers Annahme bewiesen und der Jenaer begann seine Dissertation umzuschreiben.

In meiner Dissertation befasste ich mich neben finiter Elementmodellierung auch mit der Deconvolution von Schwereanomalien. Beides waren Ideen von Rösler. Gleichzeitig beschäftigte ich mich noch mit der Informationstheorie. Ich stellte fest, dass die umgekehrte Aufgabe bei verschiedenartigem Herangehen an diese Aufgabe der Potentialtheorie zu lösen je nach Fachgebiet zu unterschiedlichen aber immer wesentlichen Schwierigkeiten der Nichtlinearität führte. Ich kam auf die Idee, diese Schwierigkeiten zusammenfassen und in der Form der Informationstheorie auszudrücken. Im Prinzip ergab sich, dass in den Messwerten nur eine bestimmte Informationsmenge enthalten ist und damit die gesuchten Lösungen in der Nähe der A-priori Informationen liegen müssen. Damit wäre indirekt bewiesen, dass ein unverhältnismäßig hoher

Aufwand betrieben wird, um die empirischen Lösungen nur unwesentlich zu verbessern. Rösler erklärte sich bereit, die gefundene Lösung mathematisch exakter auszudrücken und in einem gemeinsamen Brief zur Begutachtung an die TU Chemnitz zu schicken. Von dort kam einerseits eine anerkennende Antwort, gleichzeitig aber auch der Hinweis, dass es sich dabei um ein spezielles Problem handelt, das vielleicht weiter verallgemeinert werden müsste.

Bei den von mir zu lösenden Aufgaben traten sehr spezielle strukturelle Matrizen auf. Ich fand einen schnellen Algorithmus zur Lösung dieser Matrizen. R. Rösler unterstützte mich sehr kollegial bei der Veröffentlichung in einer renommierten Fachzeitschrift. Auch glaube ich, dass ich meine Delegation zum Toruner Geophysikkongress und zur Sommerschule in Akademgorodok ihm zu verdanken habe. Überall, wo ich im In- und Ausland auf Fachkollegen oder Kollegen angrenzender Fachgebiete traf, sprachen sie mit Hochachtung von Rösler und fragten immer zuerst wie es ihm gehe.

Ein anderes Beispiel seiner mich beeindruckenden Menschlichkeit wird durch folgendes Beispiel demonstriert. Da ich mich auch etwas mit Informationstheorie beschäftigte, organisierte Rösler ein Treffen bei Professor Peschel, Geophysiker an der Universität Greifswald. In diesem Zusammenhang sind mir zwei Erlebnisse im Gedächtnis geblieben. Gleich nach unserer Ankunft im Zimmer von Peschel stellte der ein Tonbandgerät mit Mikrofon auf den Tisch. Er sprach kurz einige wenige einleitende Sätze und erklärte uns, dass aus der begonnenen Diskussion eine Veröffentlichung von uns dreien werden sollte. Wir zuckten erst einmal beide zurück. So etwas hatten wir noch nicht erlebt. Es erklärte aber auch die enorme Menge an Publikationen von G. Peschel. Er brauchte das Band nur noch seiner Sekretärin zum Schreiben zu geben und damit wäre die Veröffentlichung fertig. Mit Stolz stellte er uns dann den von ihm entwickelten Prüfungsautomaten vor. Zu dieser Zeit wurden auch in der experimentellen Physik in Freiberg ähnliche Automaten mit katastrophalem Erfolg eingesetzt. Peschels Automat war etwas weiterentwickelt. Ich sollte meine Kenntnisse an dem Gerät testen. Ich bekam sehr wenige Punkte. Danach war Rösler an der Reihe. Ich glaube, dass er

nur einen Punkt mehr als ich erhielt. Wir waren uns auch in Bezug auf die Freiburger Automaten einig, dass solche Automaten ungeeignet für Prüfungen sind. In Freiberg wurden sie nach kurzer Zeit abgeschafft.

Es ist heute sehr schwierig, eine umfassende Liste der Aktivitäten und Publikationen Röslers zusammenzustellen. Sicher mit an erster Stelle stehen seine umfangreichen Lehrmaterialien, die er für die akademische Geophysikausbildung erstellt hat, und seine Autorenschaft in vielen Freiburger Forschungsheften. An etlichen Lehrmaterialien seiner Kollegen war er ebenfalls beteiligt. Viele seiner Arbeiten waren sicher auch Auftragsarbeiten für die Industrie oder andere Auftraggeber. Es ist sicher von großem Wert, hier tiefgründig und nachhaltig weiter zu eruiieren, um seine Leistungen zu erfassen. Zum Beispiel ist wenig bekannt über seine Arbeiten im Auftrag des Buchheiminstituts in Kiruna Schweden. Er hat mir zwar kurz von seinem Aufenthalt dort erzählt, ohne aber auf wissenschaftliche Schwerpunkte einzugehen.

Nachdem ich meine Tätigkeit im September 1977 bei der Wismut in Königstein aufnahm, wurde die Berechnung des Urangehaltes aus Messwerten untertage und aus Bohrlöchern von Karl-Marx-Stadt nach Königstein in das Rechenzentrum übernommen. Vorher war es noch so, dass die entsprechenden Messprotokolle mit den Kennwerten nach dem damaligen Karl-Marx-Stadt geschickt wurden, von dort erhielten wir nach einiger Zeit die berechneten Bücher mit den Urangehalten, die in der Verschlussabteilung gelagert wurden. Diese Werte wurden von unseren Zeichnerinnen gemeinsam mit den geologischen Kartierungsergebnissen auf Blockkarten eingetragen, die ebenfalls von der Verschlussabteilung verwaltet wurden. Obwohl es nicht zu meinen Aufgaben gehörte, war ich in die Übernahme involviert und konnte erstaunt feststellen, dass das Rechenprogramm von R. Rösler stammte. Von dieser Vertragsarbeit Röslers wusste in Freiberg niemand. Auch was seine internationale Reputation anbetraf, war damals in Freiberg wenig bekannt.

Nach der Wende 1994 betreute ich fast ausnahmslos alle Forschungsarbeiten, die in Bezug zu Königstein liefen und war durchschnittlich zweimal in der Woche in Chemnitz. Dort hatten wir

ein Treffen mit Professoren vom Kernforschungsinstitut Karlsruhe und einigen ihrer Assistenten. Bei einem Mittagessen kamen wir ins Gespräch. Ein Karlsruher Professor sagte uns, dass er nicht verstehen könne, dass wir Ostdeutschen unser Licht unter den Scheffel stellten, obwohl wir im Durchschnitt besser ausgebildet wären als die meisten Fachkollegen aus den alten Bundesländern. Als ich erzählte, dass ich bei R. Rösler in Freiberg promovierte hatte konnte er sich so schnell nicht beruhigen. Er zählte Rösler zu seinen besten Freunden und sprach von ihm mit Hochachtung.

R. Rösler wurde 1977 stellvertretender Sektionsdirektor für Erziehung,

Aus- und Weiterbildung. Diese Funktion hatte er bis 1978 inne. Für diese Tätigkeit war er unter anderem durch sein Pädagogikstudium in Dresden besonders geeignet.

1978 kurz nach meinem Weggang wurde R. Rösler als ordentlicher Professor für Geophysik berufen. Von September 1986 bis August 1990 war er stellvertretender Sektionsdirektor für Forschung der Sektion Geowissenschaften. Darüber hinaus war er Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates für Geowissenschaften beim Ministerium für Hoch- und Fachschulwesen der DDR.

Professor R. Rösler verstarb am 17. Juli 1991 und wurde auf dem Donats-

friedhof in Freiberg beigesetzt.

R. Röslers wissenschaftliche Leistungen sind sicher heute noch nicht allumfassend bekannt. Seine Leistungen und sein Wirken in der Erziehung und Ausbildung vieler Geophysikerjahrgänge, der Diplomanden und vor allem seiner Doktoranden können als Wissenschaftler genauso wie als Mensch kaum überbewertet werden.

Quellen

[1] Kaden, Herbert E. (Hrg.): Catalogus Professorum Fribergensis. Professoren und Lehrer der TU Bergakademie Freiberg 1765 bis 2015. Freiberg. 2015, S. 284.

Chronik 2022

1747 – 275 Jahre

- (29.11.) Johann Friedrich Freiesleben geboren, Student 1766, kurfürstlicher Markscheider, 1780/1801 Lehrer für praktische Markscheidekunst

1772 – 250 Jahre

- (02.05) Georg Philipp Friedrich von Hardenberg (Novalis) geboren, Student 1797/99, romantischer Dichter, Bergbeamter in Thüringen
- (06.08.) André Jean Marie Brochant de Villiers geboren, Student um 1795, Professor der Mineralogie und Geologie an der École des mines, Paris
- (08.08.) Wilhelm August Lampadius geboren, ab 1794 a. o. Professor für metallurgische Chemie zur Unterstützung von Gellert, ab 1795 Professor für Chemie und Hüttenkunde, Oberhüttenamtsassessor, Straße in Freiberg nach ihm benannt

1797 – 225 Jahre

- (08.02.) Ernst Rudolph Freiherr von Manteuffel geboren, Student 1813/17, Oberhüttenverwalter in Freiberg
- (30.05.) Carl Friedrich Naumann geboren, Student 1816/18, 1826/42 Professor für Kristallographie (ab 1835 mit Geognosie), danach Professor für Mineralogie und Geologie an der Universität Leipzig
- (07.08.) Christian Benjamin Sieghardt gestorben, Student 1768/69, Oberhüttenmeister in Freiberg, Bauleiter des Amalgamierwerks in Halsbrücke
- (02.11.) Balthasar Mathias Keilhau geboren, Student 1825/26, Professor für Mineralogie in Oslo, schuf die erste geologische Karte Norwegens
- (05.12.) Karl Gustav Adalbert von Weissenbach geboren, Student 1813/16, 1824 Bergmeister in Johanngeorgenstadt, 1826 Bergmeister in Freiberg, 1840 Geh. Regierungsrat in Dresden

1822 – 200 Jahre

- Gründung der Burschenschaft „Germania“, erste Burschenschaft in Freiberg (vor 1832 aufgelöst), Farben: Schwarz-Rot-Gold
- (02.04.) Heinrich Gotthilf Klötzer geboren, Student 1840/43, Markscheider in Zwickau, dort Besitzer eines Steinkohlenwerks, 1895 Errichtung einer von ihm testamentarisch verfüigten „Markscheider Klötzer-Stiftung“: Ver-

teilung der Zinsen des Stammkapitals in Höhe von 5.000 Mark als Stipendien

- (20.08.) August Heinrich Bernhard Prinz von Schönauich-Carolath geboren, Student um 1848, 1860 Oberbergat in Halle, 1864 Berghauptmann und Direktor des Oberbergamts Dortmund
- (11.11.) Moritz August Ludwig Ostückenberg geboren, 1873/99 Lehrer für Zeichnen am Freiburger Gymnasium, 1874/86 nebenamtlich Lehrer für Freihandzeichnen an der Bergakademie

1847 – 175 Jahre

- erster Student aus Afrika: Aquasie Boachi, Prinz von Aschanti, Ghana (Matr. 1637)
- Heinrich Schmidhuber (Student 1827/31) veröffentlicht die „Plötzziade“, ein humorvolles Gedicht über die Karriere des Bergakademiestudenten Plötz
- 1847/49 Wiederinbetriebnahme der Alten Elisabeth, Neubau aller Tagesanlagen
- (09.01.) Franz Theodor Merbach gestorben, Student 1827/33, Oberhüttenmeister und Oberhüttenvorsteher in Freiberg, führte hier die Erwärmung der Gebläseluft beim Hochofenschmelzen ein
- (17.02.) Karl Edwin Leuthold geboren, 1876/83 Juristischer Rat beim Bergamt Freiberg und Professor des Bergrechts und Allgemeinen Rechtskunde, 1883 Bergamtsdirektor
- (21.08.) Curt Adolph Netto geboren, Student 1864/69, Direktor von Blei- und Silbergruben in Japan, 1876 Professor für Bergbau- und Hüttenkunde an der Universität Tokio, Leiter der technischen Abteilung der Metallgesellschaft Frankfurt/Main, Vorstandsmitglied der Metallurgischen Gesellschaft (LURGI)
- (06.12.) Ernst Johann Traugott Lehmann gestorben, Student 1800/03, 1822/47 Lehrer, ab 1834 Professor für Bergrecht und bergmännischen Geschäftsstil, Oberhüttenamtsassessor

1872 – 150 Jahre

- Neues Statut: Einführung der Diplomprüfung und der Grade Diplom-Bergingenieur, Diplom-Markscheider, Diplom-Hütteningenieur, Diplom-

Maschineningenieur (nur bis 1873) und Diplom-Eisenhütteningenieur (ab 1877)

- (28.02.) Kuniichi Tawara geboren, Student 1899/1901, Professor der Eisenhüttenkunde an der Universität Tokio
- (06.06.) August Krantz gestorben, Student 1832/33, Gründer des „Rheinischen Mineralien-Kontors“ in Bonn (berühmtes Mineraliengeschäft, Firma besteht noch heute)
- (28.06.) Konrad Piatschek geboren, Student 1891/95, 1921 Ehrendoktor, 1924 Ehrensenator, Generaldirektor der Anhaltinischen Kohlewerke Halle, vermittelte 1918 die Braunkohlenstiftung an die Bergakademie
- (26.07.) Karl Kraiger geboren, Student 1890/93, 1924 Ehrendoktor, Vorstand der von ihm gegründeten Überlandzentrale Helmstedt A.G., Vizepräsident der Industrie- und Handelskammer (IHK) Braunschweig
- (03.08.) Hans Dyck geboren, Student 1895/96, Kupferhütteningenieur in Norwegen, Chile, Mexiko, der Slowakei und im Altai/Mongolei
- (09.11.) Friedrich Rittershausen geboren, 1928 Ehrendoktor, Leitung aller Essener Stahlschmelzbetriebe sowie später als Abteilungsdirektor auch Leitung aller Essener stahlverarbeitenden Betriebe

1897 – 125 Jahre

- (13.01.) Alexis Janin gestorben, Student 1865/68, Hütteningenieur u. a. in Nevada, Fachmann für das Amalgamationsverfahren
- (14.03.) Max F. W. Heberlein geboren, Student 1916/23, Hütteningenieur in England, USA, Chile und Kanada, Forschungsdirektor und Chef-Metallurgie bei der US-Metal-Refining Co., New Jersey
- (05.04.) Kurt Bührig geboren, 1957/66 Honorarprofessor für Schachtabteufen
- (26.04.) Walter Schellhas geboren, 1950/1967 erster hauptamtlicher Bibliotheksdirektor, bekannt durch historische Arbeiten zur Stadt- und Bergakademiegeschichte
- (16.10.) Julius Bruno Ehrhardt gestorben, Student 1855/57, Generaldirektor der Königin-Marien-Hütte, Cainsdorf bei Zwickau
- (25.10.) „Bernhard von Cotta – Alfred Stelzner-Stiftung“ zur finanziellen Unterstützung der Studierenden bei geologischen Reisen und Exkursionen

1922 – 100 Jahre

- (27.02.) Otto Ernst Nippold gestorben, 1879/1919 leitender Arzt des Stadtkrankenhauses Freiberg, 1879/1921 nebenamtlich Dozent für Gesundheitspflege und erste Hilfe, 1919 Verleihung des Titels Professor
- (01.03.) Friedrich Emil Heyn gestorben, Student 1886/90, 1901 o. Professor für Allgemeine mechanische Technologie an der TH Berlin, 1921 erster Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Metallforschung (KWI) in Neubabelsberg
- (22.08.) Gardner F. Williams gestorben, Student 1865/68, Bergingenieur in den USA und im Diamantbergbau von Südafrika
- (12.09.) Horst Winterhoff geboren, 1955 Dozent, ab 1967 Professor, zuletzt 1969/88 Professor für Sozialistische Betriebswirtschaft (Preise)
- (24.09.) Gerhard Ackermann geboren, 1958/88 Dozent, ab 1960 Professor für Analytische Chemie

1947 – 75 Jahre

- erster Berg- und Hüttenmännischer Tag, eine vom Studentenrat organisierte Hochschulveranstaltung, die noch den Charakter eines dies academicus hatte (ab 1949 Berg- und Hüttenmännischer Tag als eine jährliche

international anerkannte wissenschaftliche Fachtagung)

- (29.06.) Maximilian Freiherr von Schwarz gestorben, 1938/46 Professor für Metallkunde, Institutsdirektor
- (19.10.) Fritz Seidenschnur gestorben, 1921/35 Professor für Wärmewirtschaft (ab 1933 aus politischen Gründen von der Lehrtätigkeit beurlaubt, 1935 entlassen), Direktor der Wärmewirtschaftlichen Abteilung des Braunkohlen-Forschungsinstituts
- (04.11.) Theodor Döring gestorben, Student 1893/97, 1902/38 Professor für Analytische Chemie, chemische Technologie und Angewandte Chemie (ab 1909), Direktor des Instituts für Angewandte Chemie
- (19.11.) Karl Adolph Roch gestorben, Student 1888/93, Leitung der Berginspektionen in Freiberg und Oelsnitz, 1922 Oberbergamtsrat und Vorsitzender des Sächsischen Grubensicherheitsamtes sowie der Sächsischen Markscheider-Prüfungskommission.
- (10.12.) Wilhelm Bentrop gestorben, 1928 Ehrendoktor, Bergwerksdirektor Zeche Neumühl

1972 – 50 Jahre

- Hochschulvereinbarung mit der St. Ivan-Rilski-Universität für Bergbau und Geologie Sofia
- (05.04.) Walter Mannchen gestorben, 1952/71 Professor für Physikalische Chemie und Institutsdirektor
- (14.04.) Walter Hoffmann gestorben, 1923/42 Professor für Volks- und Staatswirtschaftslehre
- (03.05.) Karl Neubert gestorben, Student 1920/24, 1949/67 Professor für Markscheidekunde und Institutsdirektor

1997 – 25 Jahre

- Hochschulvereinbarungen mit den Universitäten: University of Geosciences Wuhan (China), University of Science and Technology Beijing (China), Università degli studi di Trento (Italien) und der Universität für Chemie und Technologie Prag
- Federmann-Stipendium erstmalig vergeben
- erste Ausgabe der Studentenzeitung „Wühlmaus“, erscheint bis Oktober 2016
- (04.01.) Siegfried Wolf gestorben, 1962/90 Dozent, ab 1966 Professor für Politische Ökonomie des Sozialismus
- (09.02.) Herbert Wöhlbier gestorben, 1941/45 Professor und Direktor des Instituts für Bergbaukunde und Bergwirtschaftslehre sowie Direktor der neugegründeten Abteilung für Braunkohlenbergbau des Braunkohlen-Forschungsinstituts, 1962-1964 Rektor der Bergakademie Clausthal
- (05.04.) Karl Stölzel gestorben, Student 1950/58, 1963/82 Professor für Gießereitechnik
- (16.07.) Fritz Rühs gestorben, 1958/86 Dozent, ab 1959 Professor für Allgemeine Mathematik und Institutsdirektor, ab 1969 Professor für Analysis
- (10.11.) Helmut Härtig gestorben, Student 1921/25, 1953/67 Professor für Tagebaukunde und Direktor des Instituts für Tagebaukunde, Rektor 1957-1959, 1973 Ehrensenator, 1977 Ehrenbürger von Freiberg
- (18.12.) Rudolf Forberger gestorben, 1963/75 nebenamtlich Dozent, ab 1967 Professor für Geschichte des Bergbaus und Hüttenwesens sowie ab 1971 Honorarprofessor für Wirtschaftsgeschichte

■ Roland Volkmer

Personalia

Markgraf Otto von Meißen ließ nach Silberfunden in Christiansdorf
1168 eine Burg zum Schutz des Silberbergbaus errichten.



Jutta Knittel – 1931-2020

Angela Kugler-Kießling



Wer war Jutta Knittel (geb. Bresgott), genannt Emil, die am 25. Dezember 2020 ihre letzte Schicht verfuhr und auf deren Todesanzeige die bergmännischen Insignien zu finden sind? Schlegel und Eisen für eine Frau ...

„Ich hänge am Bergbau. Er war mein Leben. Wenn man mich fragt: Was hast du gemacht, sage ich, ich war Bergmann“ ... und sie sagte es mit sichtlichem Stolz.

Genau genommen war sie diplomierete Markscheiderin mit einer Zulassung der Obersten Bergbehörde – die erste in Deutschland, ausgebildet an der Bergakademie Freiberg in den Jahren 1954-1959.

Als wir sie 2005 zum ersten Mal trafen, schilderte sie uns sehr lebendig ihren Weg vom Flüchtlingskind zur ersten Markscheiderin – einem Beruf, den sie unbedingt wollte. Wir fragten uns da-



Jutta Knittel während ihrer Zeit bei der SAG Wismut

mals, was ein junges Mädchen wohl von bergmännischem Vermessen weiß. Sie erzählte uns von einer fast unbeschwerten Kindheit im schönsten Viertel von Breslau, mit vielen Gründerzeithäusern und deren reichen Bewohnern. Sie erinnerte sich aber auch daran, dass ab 1938 immer mehr Leute aus dem Viertel verschwanden. Dass die meisten von ihnen Juden waren, das erfährt sie erst viel später. Bis September 1944 blieb Breslau von den Kriegseinwirkungen im Wesentlichen verschont.

Dann fallen auch hier die Bomben und die inzwischen 14-Jährige wird mit den Schrecken des Krieges konfrontiert. Sie erzählt von Kriegsgefangenen, die vor ihren Augen erschossen wurden, als sie, halb verhungert, der Mutter die Kartoffelschalen entreißen – und von zehn- bis zwölfjährigen Kindern, die zum Arbeits-einsatz verpflichtet wurden – unter Androhung der standrechtlichen Erschießung, wenn sie diesen nicht anträten. Auch sie hatte jetzt eine Arbeitskarte und arbeitete am Rollfeld. Täglich gab es Tiefflieger, und wo man hinblickte: Leichen, Leichen, Leichen.

1946 werden die Bresgotts (Jutta, deren Mutter und der Großvater) ausgewiesen und kommen in der Nacht zum 1. Januar 1947 in Freiberg an. Um die Familie zu unterstützen, begann Jutta zu häkeln und erhielt 1947 eine Anstellung als Häklerin bei Bruno Tautenhahn. Aber immer nur häkeln, das wollte sie nicht.

Eines Tages las sie in der Zeitung, dass die Wismut ein Bergtechnikum eingerichtet habe und Lehrgänge für Geologen, Radiometristen und Markscheider anbiete. Sie bewarb sich und war allein unter 100 Männern. Wismut – das bedeutete mehr Essen und mehr Geld. „Da gab es dann die doppelte Ration Bockwurst oder mal zwei Schnitzel ...“ Ab 1947 benötigte die Wismut deutlich mehr Arbeitskräfte. Da sich männliche Arbeitskräfte zunehmend einer Arbeitsverpflichtung entzogen – der Wirtschaftshistoriker Rainer Karlsch schätzt die Zahl der sogenannten *Wismut-Flüchtlinge* auf 50.000 – wurden jetzt auch Frauen verpflichtet.



Jutta Knittel als Studentin

Jutta Knittel meldete sich freiwillig und arbeitete von 1948-1950 als Markscheidergehilfe unter dem Decknamen Emil bei der SAG Wismut in Bärenstein. Im Februar 1951 wurde sie als Kollektorin beim geologischen Dienst angestellt. Sie beschloss, an der ABF das Abitur nachzuholen und immatrikulierte sich 1954 unter Nummer 10.264 zum Studium an der Bergakademie Freiberg. Sie war damit die erste Studentin für Markscheidewesen an der Bergakademie. Der Studienplan für die markscheiderische Ausbildung war unter der Leitung von Prof. Karl Neubert (1900-1972) in den vorangegangenen Jahren deutlich modernisiert und die mathematischen Fächer dabei in den Vordergrund gerückt worden. 1955 kam Prof. Werner Rüger von der TH Dresden nach Freiberg. Er baute die Photogrammetrie am Institut aus und beteiligte sich mit seinen Studenten – unter ihnen auch Jutta Knittel – maßgeblich an der Entwicklung der terrestrischen und Aero-Photogrammetrie für den Braunkohlentagebau. Ein weiterer wichtiger Forschungsauftraggeber war der Steinkohlenbergbau. Da der Inhaber des Lehrstuhls für Markscheidewesen, Prof. Neubert, lange Zeit Leiter der zentralen Gruppenmarkscheiderei im Zwickauer Steinkohlenrevier war, konnte Jutta noch einmal in die Rolle des Emils schlüpfen und hier ihre untertägigen Praktika absolvieren – eine Erfahrung, die

sie für ihr gesamtes Berufsleben prägt. In ihrer Diplomarbeit sollte sie sich mit den anstehenden Kohlevorräten im Abbaubereich des Karl-Liebnecht-Schachts auseinandersetzen.¹ Ziel war eine Abbauplanung mit genauem zeitlichem Ablauf. Die abbaubedingt zu erwartenden Bodenbewegungen sollten für die besonders kritischen Phasen berechnet und veranschaulicht werden. Ausgehändigt wurde ihr das Thema der Diplom-Arbeit am 16. Februar 1959 mit der Anmerkung, dass die Arbeit in doppelter Ausfertigung bis zum 16. Mai einzureichen sei. Aus den Unterlagen geht hervor, dass die Arbeit am Freitag, dem 15. Mai 1959 pünktlich eingereicht wurde. Das ist deshalb bemerkenswert, weil am 12. Mai 1959 ihr Sohn zur Welt kam. Am 17. Oktober 1959 erhielt sie die Urkunde mit dem akademischen Grad eines Diplom-Ingenieurs und nach einer Probezeit von zwei Jahren und nach Einsätzen im VEB Kaliwerk „Deutschland“ Teutschenthal, beim VEB

¹ Bresgott, Jutta: Abbauplan Karl-Liebnecht-Schacht Oelsnitz, DA 1959

Bleierzgruben „Albert Funk“, bei der Obersten Bergbehörde in Leipzig, bei der Staatlichen Geologischen Kommission der DDR und im VE Kombinat „Otto Grotewohl“ Böhlen erhielt sie die Zulassung als Markscheider der Obersten Bergbehörde mit der Berechtigung der öffentlichen Ausführung von markscheiderischen Arbeiten.

Sie hatte es geschafft! Sie ist die erste Markscheiderin Deutschlands. Erst 1967 wurde an der Bergakademie wieder eine Markscheiderin ausgebildet. In den folgenden Jahren arbeitete sie als Messtruppleiterin, als Gruppenleiterin für Kartographie und schließlich als wissenschaftliche Mitarbeiterin bei der Geologischen Forschung und Erkundung in Freiberg. Nach der Wende erhielt sie nochmal für drei Monate eine Anstellung bei der



Seminargruppe zur Exkursion 1958

GEOS Ingenieurgesellschaft mbH und wurde mit Wirkung vom 1. Oktober 1990 in den vorzeitigen Ruhestand versetzt.

Die Journalistin Dagmar Borchert und der Filmemacher Matthias Ditscherlein setzten Jutta Knittel und anderen Frauen, für die der Bergbau ihr Leben war, mit der Dokumentation *Das Glück da unten* ein beeindruckendes Denkmal. Zu finden unter https://www.youtube.com/watch?v=CM_IFoFvYQA

Neuberufungen ab Dezember 2020

Herr Dr. Michal Szucki

zum Professor für Gusswerkstoffe und Gießverfahren an der Fakultät 5 zum 01.12.2020

Herr Dr. rer. nat. Sebastian Aland

zum Professor für Numerische Mathematik an der Fakultät 1 zum 01.04.2021

Herr Dr.-Ing. Martin Gräbner

zum Professor für Energieverfahrenstechnik an der Fakultät 4 zum 01.04.2021

Herr Dr.-Ing. Christian Kupsch

zum Juniorprofessor für Mess-, Sensor- und Eingebettete Systeme an der Fakultät 4 zum 01.04.2021

Herr PD Dr. rer. nat. habil. Marcus Waurick

zum Professor für Partielle Differentialgleichungen an der Fakultät 1 zum 01.04.2021

Herr Dr. rer. nat. Ralf Hielscher

zum Professor für Analytische Methoden der Signal- und Bildverarbeitung an der Fakultät 1 zum 01.08.2021

Herr PD Dr. rer. nat. Daniel Hiller

zum Professor für Physik der Quantenmaterialien (Heisenberg-Professur) an der Fakultät 2 zum 01.08.2021

Herr PD Dr.-Ing. habil. Andreas Richter

zum Professor für Modellierung von Thermo-chemischen Konversionsprozessen an der Fakultät 4 zum 01.10.2021

Herr Dr. rer. nat. Bastian Pflöging

zum Professor für Ubiquitous Computing und Smart Systems an der Fakultät 1 zum 01.10.2021

Herr PD Dr. rer. nat. Guido Meinhold

zum Professor für Exogene Geologie/Sedimentologie an der Fakultät 3 zum 01.10.2021

Herr PD Dr. rer. pol. Marcus Wiens

zum Professor für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Innovations- und Risikomanagement an der Fakultät 6 zum 01.10.2021

Herr Dr. rer. nat. Dr.-Ing. habil. Felix Bilek

zum Honorarprofessor für Migrationsprozesse von Fluiden im Untergrund an der Fakultät 3 zum 01.04.2021

Nachruf für Altrector Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Horst Gerhardt

Dietrich Stoyan, Helmut Mischo

Am 16. Mai 2021, am Himmelfahrtstag, verstarb der Altrector Horst Gerhardt im Alter von 86 Jahren. Er war in der Reihe der Freiburger Rectoren ein ganz Besonderer: Er amtierte in zwei verschiedenen Gesellschaftssystemen – und war dabei so erfolgreich, dass es für die Bergakademie eine glückliche Fügung war, dass gerade Horst Gerhardt zur Zeit der Friedlichen Revolution ihr Rector war.

Horst Gerhardt wurde am 24. Februar 1935 in Magdala in Thüringen geboren. Er lernte seinen Vater erst mit 11 Jahren richtig kennen, als dieser aus der Kriegsgefangenschaft heimkehrte. Als hochbegabter Schüler machte er das Abitur in der Internatsschule des Landes Thüringen in Bad Liebenstein. Diese lag in der Nähe eines kleinen Erzbergbaureviers, was ihn anregte, in Freiberg Bergbau zu studieren.

Seine erste Arbeitsstelle als Diplomingenieur war das Bergbau- und Hüttenkombinat Albert Funk in Freiberg. Hier war er mit der Einführung und Weiterentwicklung neuester Technologien und Verfahren im Freiburger Bergbau betraut. Eines seiner bemerkenswerten Projekte dort war die fördertechnische Anbindung der Gruben des Brander Reviers an die Freiburger Gruben mit dem Hauptförderquerschlag auf der neunten Sohle. Nach sechs Jahren erfolgreicher Berufsarbeit in Freiberg, zu der auch eine kurze Tätigkeit als Oberassistent an der Bergakademie gehörte, ging er zum Kupferschieferbergbau im Mansfeldischen. Dort leistete er ausgezeichnete Arbeit als Bergingenieur und stieg bis zum Technischen Leiter des Werks Kupferbergbau des Mansfeld Kombinats auf. Auch im Kupferschiefer konnte sich Horst Gerhardt entscheidend in alle aktuellen technologischen Entwicklungen eines komplexen Bergbaubetriebs einbringen. Die umfangreiche technologische Weiterentwicklung und Modernisierung des Mansfelder Reviers, aber auch die Verwahrung ausgeerzter Lagerstättenteile gehörten zu seinem Aufgabenbereich. Neben seiner Berufsarbeit erwarb er 1969 den akademischen Grad Dr.-Ing. als externer Doktorand an der Bergakademie Freiberg.

1978 war für ihn ein Jahr großer Veränderungen. Dr. Horst Gerhardt sah sich vor die Wahl gestellt, in das neu eröffnete Kaliwerk Zielitz zu wechseln, in den Planungsstab für das geplante Kupferberg-

werk Spremberg einzutreten oder zurück nach Freiberg zu gehen, um den untertägigen Bergbau an der Bergakademie Freiberg mit einer Professur zu vertreten. Er entschied sich für das letztere und absolvierte eine externe Habilitation, damals Promotion B genannt, zum Dr. sc. techn. Im September des Jahres 1980 erhielt er dann den Ruf zum Professor für Bergbau-Tiefbau.

Sicher war sein Ziel damals, sich voll der Lehre und Forschung zu widmen und eine Schar von Schülern um sich zu versammeln. Das wurde ihm aber bereits 1984 erschwert, indem er Direktor der Sektion Geotechnik-Bergbau wurde – eine Funktion, die um einiges unangenehmer war als die eines heutigen Fakultätsdekanats der TU Bergakademie. Und es kam noch ganz anders! An der Bergakademie gab es natürlich Pläne für die Nachfolge des Rectors der 1980er Jahre, Hans-Heinz Emons.

Aber der zunächst als neuer Rector vorgesehene Professor war plötzlich aus kader-politischen Gründen nicht mehr akzeptabel, und so wurde kurzfristig Horst Gerhardt als neuer Kandidat aufgestellt. Nach seiner Wahl am 16. September 1988 durch den Wissenschaftlichen Rat hielt er eine Dankesrede, wie sie dort zuvor noch nie gehört worden war. Gerhardts Schlüsselsatz lautete damals: „Ich habe mich nicht in dieses Amt gedrängt, ich habe mich in meinem bisherigen Leben einer an mich herangetragenen Aufgabe aber auch nicht entzogen.“ Und so wirkte er, solange er konnte.

Dabei hatte ihn sein Charakter davor bewahrt, die Sprache der SED-Funktionäre zu übernehmen. Dank seines stattlichen Äußeren wirkte er wie ein idealer Präsident. Dies, vor allem aber sein überlegtes, diplomatisches Auftreten öffneten ihm auch in der Bundesrepublik und im Ausland alle Türen.

Seinem großen Pflichtbewusstsein entsprechend amtierte er als DDR-Rector korrekt nach den damaligen Regeln: Montags Hochschulparteileitungssitzung, dienstags Rektoratssitzung. (Er atmete auf, als die Montage ab Januar 1990 anders verliefen.) Allein der Routinebetrieb erforderte Kraft, aber es gab auch größere Vorhaben, insbesondere war die 225-Jahrfeier der Bergakademie vorzubereiten.



Und es folgten erste Schritte der Öffnung nach Westen: Es wurden Hochschulvereinbarungen mit der TU Clausthal und der RWTH Aachen abgeschlossen.

Dann kam das Jahr 1989. In dieser bewegten Zeit hielt sich Gerhardt zurück, für einen Rector ein kluges Verhalten. Seine Strategie war: Ohne Not nichts ändern, Ruhe bewahren, stets das Wohl der Bergakademie im Auge behalten, Möglichkeiten für ihre Weiterentwicklung nutzen. (Am Ende des Studiums 1959 hatten ihn die Kommilitonen seiner Seminargruppe für die Absolventenvermittlung pflichtgemäß beurteilt und nannten dabei als wichtigste Charaktereigenschaft, dass er „ruhig und ausgeglichen“ sei, Eigenschaften, die er sich bewahrt hat und die geschätzt wurden.) Als die Diskussionen in der Belegschaft der Bergakademie dann konträrer wurden, rief Gerhardt die Hochschulangehörigen etwa eine Woche nach dem Mauerfall dazu auf, Vorschläge für demokratische Veränderungen einzubringen. Also nicht er machte Vorschläge, sondern er wollte solche entgegennehmen und umsetzen. Im Dezember 1989 organisierte er ein ganztägiges Leitungsseminar, auf dem die Reformkräfte der gerade gegründeten Arbeitsgruppe „Demokratie“ wesentlich mitredeten.

Dann kam die Rectorwahl im Juli 1990. Die Versammlung des demokratisch gewählten Konzils sollte eigentlich einen Tätigkeitsbericht des Rectors entge-

genehmen und den Termin der Neuwahl eines Rektors verhandeln. Aber in einer zeitweise chaotisch verlaufenen Sitzung setzten die Reformkräfte durch, dass sofort ein neuer Rektor gewählt werden sollte. In dieser Wahl errang Horst Gerhardt einen klaren Sieg.

Im November folgte dann die Feier des 225. Jahrestags der Gründung der Bergakademie Freiberg. Man hatte die ursprünglichen, hochfliegenden Pläne begraben müssen. Dennoch aber gab es eine würdige Feier im Auditorium maximum und einen schönen Empfang in der Neuen Mensa mit Ministerpräsident Kurt Biedenkopf und Minister Hans-Joachim Meyer.

Nach diesen Ereignissen entwickelte Horst Gerhardt bewunderungswürdige Aktivitäten, da er nun als demokratisch gewählter Rektor überall ohne legitimatorischen Makel auftreten konnte. In der Zwischenzeit bis zur Gültigkeit des Einigungsvertrags leistete er als „Außenpolitiker“ der Bergakademie Freiberg das, was heute besonders gelobt wird, wenn man seine Leistungen bewertet: Ihm gelang die formelle Aufnahme der Bergakademie in das bundesdeutsche Wissenschaftssystem. Im Februar 1991 erreichte Gerhardt, dass die Bergakademie Mitglied der Westdeutschen Rektorenkonferenz wurde, als erste ostdeutsche Hochschule überhaupt. (Heute heißt die Nachfolgeorganisation HRK.) Diese Anerkennung wog damals schwer, bedeutete sie doch sowohl eine fachliche als auch eine politische Anerkennung. Es folgte die Aufnahme der BA in die Deutsche Forschungsgemeinschaft und in den Deutschen Akademischen Austauschdienst, bei welcher Gelegenheit Gerhardt in dessen Vorstand gewählt wurde. Schließlich wurde im Juni 1991 die Bergakademie durch den Wissenschaftsrat evaluiert. Das war eine komplizierte Veranstaltung, bei der besonders das moralische Stehvermögen von Gerhardt gefragt war. Es ging hier um das künftige Profil der Bergakademie Freiberg.

Damit hängt mittelbar eine weitere wichtige Leistung Gerhardts zusammen: sein persönlicher Beitrag zur Gründung des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Bergakademie Freiberg. Gewisse Wissenschaftsfunktionäre wollten die wirtschaftswissenschaftliche Ausbildung in Freiberg einstellen. Unter der Führung des sächsischen Wissenschaftsministers Hans-Joachim Meyer gelang es zum Glück, gegen diese Kräfte in Freiberg einen neuen Studiengang und die zugehö-

rige Fakultät zu gründen, wobei Gerhardt eng mit Prof. Dr. Dr. h.c. Ralf Reichwald, dem Gründungsdekan, zusammenarbeitete.

Minister Meyer achtete und schätzte also Gerhardt. Dennoch konnte er es ihm nicht ersparen, dass der Einigungsvertrag auf ihn wörtlich angewendet wurde. Er musste also als Rektor am 4. Oktober 1991 abgelöst werden, weil er schon 1988 amtiert hatte. Dass er 1990 demokratisch wiedergewählt wurde, zählte nicht. Immerhin wünschte der Minister seine „Rettung“, wie er es nannte. Gerhardt erhielt in einem mit der nun gültigen Rechtslage konformen Berufungsverfahren wieder eine Professur genau seines Fachgebiets, worauf er allerdings fast ein Jahr hatte warten müssen. Horst Gerhardt wurde also mit 57 Jahren Professor neuen Rechts. Ihm blieben noch acht Jahre erfolgreichen Wirkens als Professor an seiner Bergakademie. Nach der Emeritierung setzte er seine wissenschaftliche Arbeit fort und wirkte in zahlreichen Gremien.

Übrigens hatten die Studenten seiner Studienrichtung verkündet, dass sie zur TU Clausthal gehen würden, wenn ihr Professor nicht wiederberufen würde. Sie wussten, dass für ihn Lehre, Ausbildung und Erziehung höchste Priorität hatten. Seine Vorlesungen hatten ein hohes wissenschaftliches Niveau, sie beeindruckten durch seine Fähigkeit, bergtechnische Inhalte und Zusammenhänge im Vortrag anschaulich und lebendig zu vermitteln. All dies danken ihm heute noch viele seiner Schüler. Während seiner 20 Jahre Hochschullehrtätigkeit führte Prof. Gerhardt über 300 Studenten zum Diplom. Er war Betreuer von 17 Promotionen und drei Habilitationen, sowie Gutachter in zahlreichen weiteren Promotions- und Habilitationsverfahren.

Wissenschaftlich arbeitete Horst Gerhardt auf dem Gebiet der Gesteinszerstörung mit den Schwerpunkten Sprenglochbohren, Sprengtechnik, maschinelle Gewinnung und Streckenvortrieb. Ab 1990 mit Projekten bundesweit aktiv, orientierten sich seine Arbeiten zusätzlich auf den Sanierungsbergbau und die Nutzung untertägiger Räume für den Entsorgungsbergbau. Prof. Gerhardt machte die Ergebnisse seiner Forschungsarbeiten, seine Meinungen zur Bergbauausbildung und seine Positionen über globale Bergbauthemen in weit über 100 Veröffentlichungen und zahlreichen Vorträgen publik. Er war Mitglied im Redaktionsbeirat verschiedener Fachzeitschriften und von

1988 bis 2001 Mitglied im Internationalen Organisationskomitee der Weltbergbaukongresse.

Horst Gerhardt war maßgeblich an der Wiedergründung der Societät der Bergbaukunde/Society of Mining Professors beteiligt, deren Gründungs- und Ehrenmitglied er war. Diese Gesellschaft vereint seit 1990 die internationale Gemeinschaft der Hochschulprofessoren im Bergbau und stellt mit über 240 Mitgliedern aus 44 Ländern die inzwischen größte Fachvereinigung von Bergakademikern weltweit dar.

Auch als Rentner zeigte Horst Gerhardt sich stets herausragend interessiert und informiert an allen neuen technischen und technologischen Entwicklungen im untertägigen Bergbau, insbesondere auch an den aktuellen Herausforderungen zur Sicherstellung der Versorgung unserer Volkswirtschaft mit strategischen Rohstoffen. Sowohl die internationalen als insbesondere auch die sächsischen Bergbauprojekte auf Lithium, Indium, Seltene Erden, Kupfer und Wolfram wurden von ihm mit großem Interesse verfolgt und aufgrund seiner langjährigen Erfahrung, insbesondere zu den heimischen Lagerstätten, konnte er dabei auch wertvolle und kritische Hinweise liefern.

Die lange Reihe seiner Auszeichnungen zeigt, was für ein hervorragender Ingenieur und Hochschullehrer Horst Gerhardt war: Er war achtmal Aktivist, einmal Verdienter Aktivist, Verdienter Bergmann, Ehrendoktor der TU Miskolc, Ordentliches Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften und der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften und schließlich Ehrensensator der TU Bergakademie Freiberg.

Am 8. Juli 2021 fand ihm zu Ehren in der Alten Mensa der TU Bergakademie Freiberg eine Gedenkveranstaltung statt. Diese gestalteten – in Anwesenheit der Witwe und Hans Peter Gerhardt – Magnifizienz Klaus-Dieter Barbknecht und Fakultätsdekan Carsten Drebenstedt sowie als Gedenkredner sein Nachfolger im Rektoramt, Dietrich Stoyan, zudem der heutige Inhaber seiner Professur Helmut Mischo und sein langjähriger Assistent Dr. Jürgen Weyer.

Mit Professor Horst Gerhardt ist ein beispielhafter Bergmann, aber auch ein hochverehrter Hochschullehrer von uns gegangen. In seiner geradlinigen und aufrechten Art war er uns Vorbild und Ansporn zugleich. Wir werden ihn in unseren Reihen schmerzlich vermissen.

Nachruf für Prof. Kurt Biedenkopf

Pressestelle der TU Bergakademie Freiberg



Nachweis: Peter Granßer

Mit tiefer Trauer hat die Universität am 13. August vom Tod ihres langjährigen Hochschulratsmitglieds Prof. Kurt Biedenkopf erfahren. Als Ministerpräsident des Freistaats Sachsen trug er maßgeblich zur erfolgreichen Weiterentwicklung der TU Bergakade-

mie Freiberg seit 1990 bei.

„Mit Prof. Biedenkopf haben wir einen an Erfahrung reichen und hoch geschätzten Berater und Förderer der Universität sowie einen kompetenten Meinungsführer in Politik, Wissenschaft und Medien verloren“, erklärt Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht.

Prof. Biedenkopf war seit der politischen Wende über viele Jahre sehr eng mit der TU Bergakademie Freiberg verbunden und hat wegweisend für sie gewirkt. Nach seiner Amtszeit als sächsischer Ministerpräsident (1990-2002) wurde er am 28. Januar 2013 auf Vorschlag der TU Bergakademie Freiberg vom Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst in den Hochschulrat der Universität berufen.

„Neben seinen politischen Leistun-

gen hat Prof. Kurt Biedenkopf insbesondere die Arbeit des Hochschulrats der TU Bergakademie Freiberg in seiner Amtszeit von 2013 bis 2019 maßgeblich mit beeinflusst und sich aktiv in die Profilbildung und Verbesserung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der Universität eingebracht“, ergänzt Prof. Reinhard Schmidt, Hochschulratsvorsitzender der TU Bergakademie Freiberg. Er unterstützte die Bergakademie Freiberg beispielsweise auf dem Weg hin zur Technischen Universität und damit zum Erhalt des Promotionsrechts sowie bei der Einrichtung interdisziplinärer Studiengänge und Zentren, wie dem Interdisziplinären Ökologischen Zentrum (IÖZ).

Die Technische Universität Bergakademie Freiberg wird Prof. Biedenkopf stets in höchsten Ehren gedenken.

Ein Leben für die Brennstofftechnik Zum Gedenken an Prof. Dr.-Ing. Erhard Klose

Thomas Kuchling, Steffen Krzack, Bernd Meyer

Am 19.12.2020 verstarb im Alter von 89 Jahren unser hochverehrter, langjähriger Institutsdirektor, Herr Prof. Dr.-Ing. Erhard Klose. Er war über vier Jahrzehnte zunächst als Student, später als Wissenschaftler, Dozent und ordentlicher Professor für Brennstofftechnik Angehöriger der TU Bergakademie Freiberg.

Erhard Klose wurde am 15. Mai 1931 in Tetschen (heute Tschechische Republik) geboren. Er erlernte den Beruf eines Chemiefachwerkers und Chemielaboranten im Kombinat Gölzau und wurde 1952 zum Studium der Kohleveredlung an die Bergakademie Freiberg delegiert, das er 1957 als Diplomingenieur sehr erfolgreich beendete. Im unmittelbaren Anschluss begann er seine wissenschaftliche Laufbahn als Assistent bei Prof. Erich Rammler am Institut für Technische Brennstoffverwertung und promovierte bei ihm 1964 auf dem Gebiet der Aufklärung des Trocknungsverhaltens von Braunkohlenbriketts im Hinblick auf deren Einsatz für Verkokung und Verschmelzung. In der Zeit von



1963 bis 1965 war er als Haupttechnologe für Kohleveredlung im VEB Kombinat „Otto Grotewohl“ Böhlen tätig und kehrte anschließend als wissenschaftlicher Oberassistent an das Institut für Technische Brennstoffverwertung der Bergakademie Freiberg zurück. 1971 wurde er zum Hochschuldozenten und

1975 zum ordentlichen Professor für Brennstofftechnik berufen. 1973 übernahm er die Leitung des aus dem Institut hervorgegangenen Wissenschaftsbereichs Reaktionstechnik und Brennstofftechnik am Standort Reiche Zeche und trat damit die Nachfolge der Professoren Rammler bzw. Rademacher an. Im Zuge der Umstrukturierung der Hochschule nach der politischen Wende wurde unter der Leitung von Professor Klose der Wissenschaftsbereich in das Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen mit seiner Professur für Energieverfahrenstechnik

Kontakt

Dr.-Ing. Steffen Krzack
Professur Energieverfahrenstechnik (EVT)
Institut für Energieverfahrenstechnik und
Chemieingenieurwesen (IEC)
Reiche Zeche
Fuchsmühlenweg 9 D
09599 Freiberg
Telefon: +49 3731 39-4524
E-Mail: Steffen.Krzack@iec.tu-freiberg.de

und thermische Rückstandsbehandlung sowie der Professur für Reaktionstechnik überführt. Er leitete das Institut bis zur Berufung seines Nachfolgers, Prof. Bernd Meyer, im Jahr 1994. 1996 ging er dann in seinen wohlverdienten Ruhestand, blieb aber darüber hinaus seinem Institut eng verbunden.

Erhard Klose hat sich über die vier Jahrzehnte seines beruflichen Wirkens einen exzellenten Ruf als Hochschullehrer und Wissenschaftler erworben. Er war sowohl in der Industrie als auch in der Forschung ein vielgefragter Experte auf dem Gebiet der Kohleveredlung und angrenzenden Fachgebieten. Neben klassischen Themen zur Schwelung, Verkokung und Vergasung mit direktem Bezug zur industriellen Anwendung war zunehmend auch die Modellierung von Kohleveredlungsprozessen unter Berücksichtigung von Verfahrensabläufen und der Verfahrensgestaltung Gegenstand der Forschungsarbeiten. Beispiele dafür sind die Modellierung der Festbettdruckvergasung und der Koksbildung bei der Braunkohlenhochtemperaturverkokung. Darüber hinaus wurden an seinem Lehrstuhl Themen zur Entwicklung neuer Prinzipien für die Herstellung von Zementklinker, zur Verbesserung der Qualität von technischem Kohlenstoff und Graphitelektroden sowie zur Herstellung und Regenerierung von Kohlenstoffadsorbentien bearbeitet. Auch Themen zur thermischen Reststoffbehandlung wurden zunehmend aufgegriffen. Aus diesen Arbeiten entstanden ca. 300 Veröffentlichungen sowie 44 nationale und internationale Patente. Durch sein Wirken hat er die Energiewirtschaft und insbesondere die volkswirtschaftlich bedeutende Brennstoffveredlung im Osten

Deutschlands maßgeblich mitgestaltet. Ausdruck dafür ist u. a. seine Mitwirkung in zahlreichen wissenschaftlichen Gremien z. B.

- als Vorsitzender des Fachausschusses „Vergasung“ der Kammer der Technik der DDR von 1986 bis 1990
- als Vorstandsmitglied der wissenschaftlichen Sektion „Gas/Kohleveredlung“ der Kammer der Technik der DDR von 1987 bis 1990
- als Mitglied und stellvertretender Vorsitzender des Zentralen Arbeitskreises für Forschung und Technik „Kohleveredlung“ der DDR von 1974 bis 1984
- als Mitglied des Redaktionsbeirats der Fachzeitschrift „Energietechnik“ bzw. „Energieanwendung, Energie- und Umwelttechnik“ sowie
- als AiF-Gutachter in der Gutachtergruppe II Verfahrenstechnik.

Bis 2008 war Erhard Klose im damaligen Wissenschaftlichen Beirat der Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e.V. auf seinem Fachgebiet der thermochemischen Wandlung aktiv tätig und hat wesentlich mit dazu beigetragen, die umfangreichen Erfahrungen auf dem Gebiet der Kohleveredlung für die Entwicklung von Technologien für nachwachsende Energieträger sowie Rest- und Abfallstoffe nutzbar zu machen und dadurch Entwicklungsimpulse für dieses zukunftsreiche Gebiet zu setzen.

Seine Fachexpertise war auch international sehr gefragt. Neben Aufenthalten in verschiedenen osteuropäischen Ländern, u. a. in seiner Tätigkeit als Mitglied der Arbeitsgruppe Standar-

disierung der ständigen Kommission „Kohle“ des RGW von 1972 bis 1989 sowie an Fachinstitutionen in Österreich und der BRD war er u. a. im Auftrag der UNIDO als Gutachter und Berater in Indien und Vietnam tätig. 1974 wurde er für vier Monate als Gastdozent an die Chemisch-Technische Hochschule nach Prag eingeladen.

Für seine exzellenten wissenschaftlichen Leistungen erhielt Erhard Klose mehrere hohe Auszeichnungen. Dazu zählen u. a.

- die Agricola-Medaille (1957)
- der Wissenschaftspreis Stufe 2 der Bergakademie Freiberg (1982 im Kollektiv)
- der Wissenschaftspreis Stufe 1 der Bergakademie Freiberg (1984 und 1989 im Kollektiv)
- der Helmut-Erich-Rammler Preis (1990).

Als Hochschullehrer genoss Professor Klose ein außerordentlich hohes Ansehen bei seinen Studenten und Absolventen. Mit seiner väterlichen Autorität war er Forderer und Förderer zugleich. Neben den verschiedenen Vorlesungen betreute er zahllose Diplomanden und führte 23 Doktoranden zur Promotion. Er war Hauptgutachter für acht Habilitationsschriften.

Wir verehren Professor Erhard Klose als hoch anerkannten Hochschullehrer und Wissenschaftler und als großartigen und uneigennütigen Menschen, der das Lehr- und Forschungsprofil des Instituts über mehr als 20 Jahre prägte, „sein“ Institut auf der Reichen Zeche erfolgreich in die gesamtdeutsche Hochschullandschaft führte und ihm stets verbunden blieb. Die TU Bergakademie Freiberg und seine Schüler verdanken ihm und seinem Wirken viel!



Nachruf auf Prof. Gerd Neuhof

Dem „Guten Geist des Hauses“

Bernd Lychatz

Gerd Neuhof spielte in den obersten Ligen, als Handballer, Wissenschaftler und selbstverständlich als Mitarbeiter und Professor am heutigen Institut für Eisen- und Stahltechnologie. Weggefährten behalten ihn als den „Guten Geist des Hauses“ in Erinnerung – Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Neuhof verstarb am 29. April 2021 im Alter von 82 Jahren.

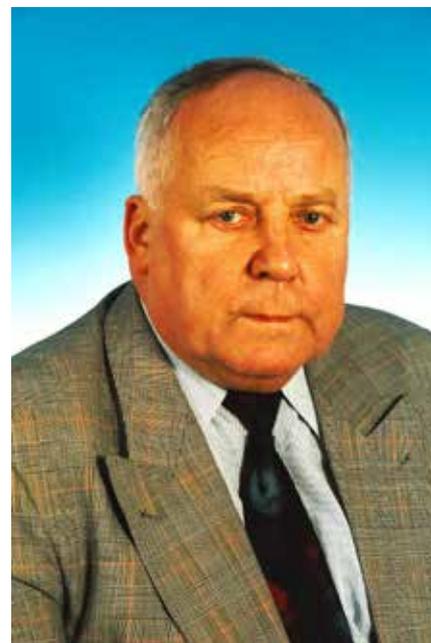
Gerd Neuhof war für viele rat- und hilfeschuchende Studierende des Instituts im Ledebur-Bau der erste Anlaufpunkt. Seine große Beliebtheit und die hohe fachliche wie pädagogische Kompetenz des Hochschullehrers veranlassten seinen Professorenkollegen Dieter Peisker, ihn anlässlich seiner Verabschiedung in den Ruhestand als „Guten Geist des Hauses“ zu ehren. Sein gutes Verhältnis zu den Studierenden mündete in der fast 40-jährigen Tätigkeit Prof. Neuhofs am Institut auch in eine Vielzahl von ihm engagiert betreuter Studien- und Diplomarbeiten. Es war für ihn selbstverständlich, die aufwändigen organisatorischen Aufgaben bei der Planung und Durchführung von Exkursionen, Praktika, Verteidigungen und Weiterbildungsveranstaltungen zu übernehmen, denn das notwendige theoretische Rüstzeug des Ingenieurs war aus seiner Sicht unbedingt mit der praktischen Erfahrung zu verknüpfen. In seinem eigenen Werdegang hatte er den Wert dieser engen Verbindung zu schätzen gelernt.

Der 1939 im oberschlesischen Bolko geborene Gerd Neuhof begann seine metallurgische Laufbahn als Facharbeiter; nach seinem Abitur in Wernigerode arbeitete er als Stahlwerker im Eisen- und Hüttenwerk Thale und schloss vor dem Antritt des Studiums der Eisenhüttenkunde an der Bergakademie Freiberg eine Facharbeiterausbildung als Siemens-Martin-Stahlwerker ab. Mit Studienbeginn betrat er den Ort, der für die kommenden vier Jahrzehnte sein berufliches Zuhause bleiben sollte. An der Bergakademie verteidigte Gerd Neuhof 1963 seine Diplomarbeit und wurde anschließend als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Hier promovierte er

zehn Jahre später und arbeitete als geschäftsführender Oberassistent bzw. geschäftsführender Mitarbeiter; seit 1991 Dr.-Ing. habil., war er ab 1997 bis zu seiner Pensionierung 2002 als außerplanmäßiger Professor für Stahlmetallurgie tätig.

Gerd Neuhofs wissenschaftliche Tätigkeit konzentrierte sich auf Fragen der stahlmetallurgischen Prozesstechnik; ihr Fokus lag auf dem Arbeitsgebiet des Konverterverfahrens zur Stahlherstellung. Seine Kenntnisse und Erfahrungen auf diesem Gebiet gab er im Lehrbuch „Stahlerzeugung“, das er gemeinsam mit Helmut Burghardt verfasste, weiter. Seine Vorlesungen zur Technologie des Konverterverfahrens zur Schlackenbildung, zur Feuerfest-Zustellung, zur Technologie des Herdofenverfahrens oder zu Speziellen Stahltechnologien überzeugten durch ihre – bei aller nötigen Wissenschaftlichkeit – aufgelockerte Form und den didaktischen Aufbau. Sein Geschick, Wissen zu vermitteln, verband Prof. Neuhof praxisnah und hilfreich mit seinen Forschungsergebnissen, kann sich Wegbegleiter Hans-Ulrich Schmidt, vor seiner Pensionierung Geschäftsführer Primary bei ArcelorMittel Eisenhüttenstadt, erinnern: „Seine Fähigkeit, metallurgisches Wissen so zu vermitteln, dass es in praktische Handlungsschritte geleitet wurde, war besonders wertvoll.“ Wertvoll beispielsweise für den Aufbau des LD-Stahlwerks in Eisenhüttenstadt, den Gerd Neuhof intensiv begleitete.

Praxisbezogenheit kennzeichnete seine gesamte akademische Schaffenszeit, so schon als junger Assistent, der gemeinsam mit Ernst Schlegel ein explosives Problem im Stahlwerk der Maxhütte Unterwellenborn zu lösen hatte. Altrector Prof. Schlegel erinnert sich an die gemeinsame fächerübergreifende Untersuchung zur Kalkversorgung des Stahlwerks, in der beide Wissenschaftler die Ursachen der „explodierenden“ Thomaskonverter aufklärten. „Die vierwöchige gemeinsame Arbeit machte Gerd Neuhof und



mich zu vertrauten Arbeitskollegen und zeigte die sehr enge Verbindung der Eisenhüttenleute und der ‚Silikater‘ an einem konkreten Beispiel“.

Während Gerd Neuhof beruflich auf kollektives Handeln orientierte, beeindruckte er im Sport mit individuellen Höchstleistungen, vor allem bei seinem Einsatz als Mittelstürmer der Handballmannschaft HSG Wissenschaft Freiberg am Anfang der 60er Jahre. „Er glänzte mit seinen Sololäufen, die zu vielen entscheidenden Toren führten, und begeisterte damit die bis zu 2000 Zuschauer auf der Akademischen Kampfbahn in Freiberg“, erinnert sich sein Mannschaftskapitän Alfred Tobies. Gerd Neuhof leistete damit einen bedeutenden Beitrag zum Aufstieg der Handballmannschaft der Hochschulsportgemeinschaft Wissenschaft in die Oberliga, die seinerzeit höchste Spielklasse des Landes.

Lange Jahre nach dem Schluss seiner Sportlaufbahn beendete er 2002 seine 44-jährige Präsenz am heutigen Institut für Eisen- und Stahltechnologie, ohne seine Zugehörigkeit zu diesem Haus jemals aufzulösen.

Weggefährten und Absolventen, ehemalige und aktive Mitarbeiter erinnern sich mit Dankbarkeit und voller Wärme an Prof. Gerd Neuhof, den „Guten Geist des Hauses“.

Nachruf auf Prof. Dr. rer. nat. habil. Heinzjoachim Franeck

Gerd Walter, Gunter Krause



Am 28. April 2021 ist Professor Dr. rer. nat. habil. Heinzjoachim Franeck in Dresden verstorben. Er ist 91 Jahre alt geworden. Sein Name ist eng mit der Neugestaltung der TU Bergakademie am Beginn der 1990er Jahre verbunden. Vielen ehemaligen Studierenden bleibt er in Erinnerung durch seine ausgezeichnete Lehre im Fach Technische Mechanik.

Heinzjoachim Franeck wurde am 10. Januar 1930 in Görlitz geboren. Dort legte er im Jahr 1948 die Abiturprüfung ab. Im Anschluss erlernte er den Beruf des Maurers. Solcherart aus der Baupraxis kommend studierte er von 1950 bis 1956 Bauingenieurwesen an der Technischen Hochschule Dresden. Bereits im dritten Studienjahr zog es ihn als Hilfsassistenten zur *Technischen Mechanik*. Diesem Fach sollte er lebenslang treu bleiben. Im letzten Studienjahr, da war er der leitende Hilfsassistent, lernte er hier Dr. Dieter Rüdiger kennen, der alsbald an die Bergakademie berufen wurde.

Als Professor Rüdiger ihm eine Assistentenstelle in Freiberg anbot, schlug Franeck die zeitgleich an der TH Dresden offerierte Stelle aus und folgte Rüdiger 1956 an das *Institut für Technische Mechanik* der Bergakademie. Diese Entscheidung empfand er lebenslang als Glückstreffer, arbeitete Rüdiger doch am „Allerneuesten vom Neuen“. Das waren damals *gekrümmte Schalen*. Rüdiger war charismatisch und der Kontakt zu ihm war eng. In den Mittagspausen waren Tischtennisturniere zur Lockerung der Gehirnwindungen angesagt. An jedem Freitagabend gab es eine Dreier-Bierrunde des Chefs mit seinem Oberassistenten Günter Kämmler (später Professor und

damit Franecks Chef) und seinem Assistenten Heinzjoachim Franeck. Professor Rüdiger hielt die Vorlesungen. Die beiden Assistenten hatten die Übungen zu betreuen, was selbstverständlich auch das Ausdenken der Aufgaben umfasste. So entstand mit der Zeit eine umfangreiche Aufgabensammlung, die alsbald als Buch herausgegeben wurde. Rüdiger verfasste in den Jahren 1959/60 eine dreibändige *Technische Mechanik*. Es war selbstverständlich, dass daran auch die Assistenten umfangreich mitarbeiteten. Daneben gab Rüdiger aber auch sehr zielgerichtete Unterstützung, damit seine beiden Assistenten zügig promovieren konnten. Bereits nach der unglaublich kurzen Zeit von 2 ½ Jahren konnte Franeck mit der Arbeit „Die Inversion der Torsionsspannungen prismatischer Stäbe in allgemeinen Koordinaten“ den Titel Dr. rer. nat. erwerben.

Nach der Promotion arbeitete Heinzjoachim Franeck an zahlreichen Aufträgen von außerhalb; heute würde man dazu Drittmittelforschung sagen. Dabei ging es unter anderem um Schalen für den Schachtbau. An der Grenze des damals – noch ohne Computer! – überhaupt Machbaren waren Berechnungen von doppelt gekrümmten Schalen. Ein weiterhin bekanntes Beispiel ist das Dach des „Teepotts“ in Warnemünde (Bauausführung 1968).

Nach dem plötzlichen Freitod des Institutsdirektors im Jahr 1964 und im Zuge der *Dritten Hochschulreform* der DDR (1967-72) mussten umfangreiche Aufgaben übernommen werden. Heinzjoachim Franeck erhielt u. a. mit Lehrauftrag die Verantwortung für die Vorlesung *Technische Mechanik III*. 1966 überarbeitete Franeck das seinerzeit legendäre Buch „Statik starrer Körper“ von Rüdiger und Kneschke grundlegend. Für das Fernstudium gab er eine Lehrbriefreihe heraus. Diese Lehrbriefe erfreuten sich auch bei den Direktstudenten außerordentlicher Beliebtheit.

Am 1. Februar 1969 wurde Franeck zum Hochschuldozenten für das Fachgebiet *Kinematik und Dynamik* berufen. Dass ihm als Parteilosem diese Anerkennung zuteil wurde, spricht für seine herausragende Qualifikation. Franeck begeisterte die Studenten selbst für die

gefürchtetsten Fachgebiete der Dynamik. Seine klaren Tafelbilder, seine treffenden Beispiele und sein umfassendes Allgemeinwissen waren Markenzeichen. Für den wissenschaftlichen Nachwuchs im eigenen Institut, aber auch für benachbarte Institute, z.B. für die Geotechnik, war er gesuchter Ratgeber, aber auch „gefürchteter“ Korrekturleser und Gutachter. Sein visionäres Verständnis für *die krummen Räume* und das dafür notwendige präzise Denken zeichneten ihn in seiner Argumentation aus.

Im Jahr 1969 konnte er sich mit der Arbeit „Beitrag zur Stabilität elastischer Schalen“ habilitieren. Bei dieser Arbeit hatte Heinzjoachim Franeck Berechnungen anzustellen, die „zu Fuß“ nicht zu bewältigen waren. Er nutzte dafür mit dem ZRA1 (Zeiss Rechenautomat) im Deutschen Brennstoffinstitut erstmalig die aufkommende digitale Rechentechnik. Das war ein Umbruch. Und dieser fiel zeitlich mit einem zweiten Umbruch zusammen, der in der umfassenden Nutzung der FEM (Methode der Finiten Elemente) bestand. Heinzjoachim Franeck und der Arbeitsgruppe Mechanik gebührt das Verdienst, sehr zeitig die Leistungsfähigkeit dieser Methode in Verbindung mit der Computertechnik erkannt zu haben. Damit wurde eine der erfolgreichsten Etappen in der Freiburger Mechanikforschung eingeleitet. In der Folge hat die Arbeitsgruppe zahlreiche praktisch nutzbare Programme erarbeitet und für die Industrie sowie für die akademische Lehre zur Verfügung gestellt. Eine dem heimlichen Ritter Schlag gleichkommende Anerkennung des Teams Kämmler-Franeck-Recke war der Auftrag aus der Bundesrepublik, die Betontechnologie für den Schachtabschluss des geplanten atomaren Endlagers Schacht Konrad mathematisch zu simulieren.

Im Jahr 1987 stellten diese Autoren das Fachbuch „Einführung in die Methode der finiten Elemente“ fertig. Dessen Verdienst liegt vor allem darin, dass es den Einstieg in diese Methode erleichterte. Für ein weiteres Buchprojekt, ein „Fachlexikon Technische Mechanik“, war das Manuskript im Herbst 1989 fertig. Nach 1990 spielte aber auf einmal die Profitabilität eine große Rolle. Der

Verlag trat vom Vertrag zurück. Franeck und die anderen Autoren hatten umsonst hunderte Stunden investiert.

Nach einem Herzinfarkt des Arbeitsgruppenleiters Prof. Kämmler im Jahr 1986 übernahm Heinzjoachim Franeck, der einige Jahre zuvor selbst einen Herzinfarkt erlitten hatte, kommissarisch dessen Aufgaben, vor allem sehr umfangreiche Lehrverpflichtungen. Eine Berufung zum Professor wurde zwar hin und her erwogen, aus „kaderpolitischen Gründen“ aber ad acta gelegt. Erst vier Jahre später, nach der friedlichen Revolution, kam es dazu. Am 15. September 1990 wurde Heinzjoachim Franeck zum außerordentlichen *Professor für Kinematik und Dynamik* ernannt sowie am 1. Juni 1992 zum *Professor für Festkörpermechanik* und wenige Tage danach zum Direktor des *Instituts für Mechanik und Maschinenelemente* berufen. Für einen Wissenschaftler mit 62 Jahren eine späte, hochverdiente Anerkennung.

Die Hochschülerneuerung nach 1990 hielt für solche menschlich und politisch integre und zugleich fachlich hervorragende Wissenschaftler ein Übermaß an Aufgaben bereit. Eben noch in der zweiten Reihe, stürzte sich Franeck mit allen Kräften in die Arbeit. Als Mitglied der Strukturgruppe des Rektors hatte er maßgeblichen Anteil an der Neuformierung der TU Bergakademie Freiberg. Am 25. Februar 1991 wurde er vom Fakultätsrat zum Dekan der *Fakultät für Technische Wissenschaften* gewählt. Er wurde Mitglied des Senats, des Konzils, des Fachbereichsrates, der Personalkommission, der Fachkommission, einer außerordentlichen Berufungskommission und etlicher anderer Gremien, wie zum Beispiel des Gründungsdirektoriums des *IHI (Internationales Hochschulinstitut)* Zittau. Vieles davon wäre der näheren Erläuterung wert. Nur so viel: Heinzjoachim Franeck hat in all diesen Funktionen und Gremien stets eine aktive Rolle

gespielt. Sein Wirken war dabei von Gerechtigkeitssinn, ruhiger Bestimmtheit, Menschlichkeit und Humor geprägt.

Zu seinem 65. Geburtstag wurde Heinzjoachim Franeck eine Ehrung mit einem Kolloquium zuteil, bei dem hoch anerkannte Fachkollegen und Schüler auftraten. Drei Jahre nach dem offiziellen Ende seiner Dienstzeit und einem stufenweisen Übergang trat Heinzjoachim Franeck im Jahr 1998 in den Ruhestand. Er widmete sich nun stärker dem Klavierspiel und dem geliebten Singen. Noch als 87-jährigen konnte man ihn bei Auftritten der *Professores Cantantes Dresdenses* und der *Kantorei der Auferstehungskirche Dresden-Plauen* als Bass erleben. Als Ruheständler verfasste er eine Autobiografie „... aus meiner Sicht“. Sie gibt informationsreich Auskunft über ein erfülltes Leben.

Wir werden sein Andenken in Ehren halten.

Nachruf für Prof. Dr. oec. habil. Dieter Slaby

Horst Brezinski

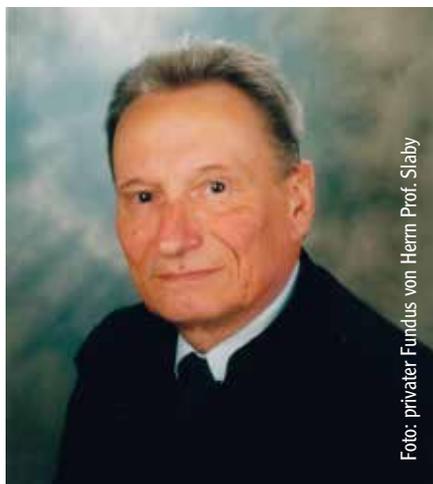


Foto: privater Fundus von Herrn Prof. Slaby

Am 22. November 2020 ist Herr Professor Dieter Slaby, langjähriger Lehrstuhlinhaber für Wirtschaftslehre der natürlichen Ressourcen und des Bergbaus an der TU Bergakademie Freiberg nach langer und schwerer Krankheit, gegen die er tapfer und mutig gekämpft hat, im Alter von 82 Jahren von uns gegangen.

Dieter Slaby stammte aus Leipzig und besuchte nach seiner Berufsausbildung zum Hauer von 1956 bis 1959 die Arbeiter- und Bauern-Fakultät (ABF) in Freiberg, an der er sein Abitur ablegte. Sein von ihm sehr geschätzter Hochschullehrer, Prof.

Dr. Günter Hollweg, Nestor der Ingenieurökonomie in der DDR, begeisterte ihn für das Studium in der Fachrichtung Ingenieurökonomie des Bergbaus an der Bergakademie Freiberg, das er anschließend an seine Zeit an der ABF auch aufnahm und 1964 abschloss. In den darauffolgenden Jahren arbeitete er am Institut für Ökonomie, Organisation und Planung des Bergbaus der Bergakademie Freiberg, an dem er mit einer Dissertation über „Bewertung typischer Bergbauinvestitionen unter besonderer Berücksichtigung verschiedener Tagebautechnologien“ 1968 promoviert wurde. Nach einer kurzen Zwischenstation zu Beginn der siebziger Jahre im Ministerium für das Hoch- und Fachschulwesen der DDR habilitierte er sich 1978 mit einer Arbeit zur „Grundmittelwirtschaft als Gegenstand der Lehre Sozialistische Betriebswirtschaft“. 1979 erfolgte seine Berufung zum Professor an der Bergakademie Freiberg. Nach der Wende wurde er erneut berufen – für das Fachgebiet der Bergwirtschaftslehre an der neu gegründeten Fakultät für Wirtschaftswissenschaften.

Seine fachliche Qualifikation wurde von den einschlägigen Institutionen vor und nach der Wende gewürdigt, u. a.

durch seine Mitgliedschaft im wissenschaftlich-technischen Rat der Ständigen Kommission Kohle des Rates für gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW), der er von 1986-1990 angehörte, sowie durch seinen Vorsitz im Beirat der Stiftung Steine-Erden-Bergbau und Umwelt von 1995-2004 und als Gründungsmitglied des Geokompetenzzentrums Freiberg e.V. Er prägte nachhaltig das Gebiet der Bergwirtschaftslehre durch die beiden gemeinsam mit seinem Kollegen und Freund von der TU Berlin, Prof. Dr. Ludwig Wilke, verfassten Lehrbücher zur „Wirtschaftslehre der mineralischen Rohstoffe und der Lagerstätten“ sowie zur „Wirtschaftslehre der Bergbauunternehmen und der Bergbaubetriebe“, die 2005 und 2006 erschienen. Seine wissenschaftlichen Leistungen beschränken sich nicht nur auf mehr als 100 Publikationen, sondern schlagen sich auch in über 45 Gutachten nieder, von denen mehr als 30 nach 1990 angefertigt wurden. Auch nach seinem Eintritt in den offiziellen Ruhestand war er weiterhin wissenschaftlich tätig, was eine Vielzahl von auch in dieser Zeit verfassten Publikationen und Gutachten belegt.

Mit Professor Dieter Slaby haben wir einen der tiefsten Kenner der Berg-

wirtschaftslehre im deutschsprachigen Raum verloren, der für seine Wissenschaft brannte und „lieferte“, statt ausgiebig über die gerade in den neunziger Jahren vielerorts anzutreffende Geringschätzung seines Fachgebiets zu lamentieren. Die Um-

brüche in unserer Gesellschaft waren für ihn nicht leicht zu verkraften. Dennoch hat er sich durch seine bescheidene Art, sein profundes Wissen, seine Kollegialität und Hilfsbereitschaft auch in der Forschungslandschaft Deutschlands nach 1990 einen

festen Platz und die Anerkennung in den einschlägigen Fachkreisen erworben. Er wird mir und vielen anderen, die mit ihm verbunden waren, als ein guter Freund und absolut integrierter Kollege in Erinnerung bleiben.

Nachruf für Ehrendoktor Dietrich von Dobeneck

Rolf Zenker

Am 21. März dieses Jahres verstarb Dr. h. c. Freiherr Dietrich von Dobeneck. Der Physiker, der sich besonders auf dem Gebiet der Elektronenstrahl-Technologien engagierte, hatte im April 2010 die Ehrendoktorwürde der TU Bergakademie Freiberg erhalten.

Am 11. März 1938 in Hannover geboren, studierte Freiherr Dietrich von Dobeneck Physik am Lehrstuhl für Plasmaphysik der Technischen Universität München. Danach wurde er engster Mitarbeiter des Physikers Dr. Karl Steigerwald und widmete sich der Grundlagen- und Anwendungsforschung der Elektronenstrahltechnologien.

1974 wagte er den Schritt in die Selbständigkeit und gründete mit zwei Mitarbeitern und zwei Maschinen seine Firma pro-beam. Er hat wesentlich dazu beigetragen, dass das physikalische Instrument Elektronenstrahl zu einem industriellen Werkzeug wurde und seither eine zunehmende Verbreitung gefunden hat, zunächst auf dem Gebiet des Schweißens und Perforierens, später auch auf dem Gebiet der Randschichtbehandlung und weiterer modernen Technologien. Seine Firma pro-beam AG & Co. KGaA

hat sich bis heute zu einem weltweit agierenden Unternehmen mit Standorten in Deutschland, den USA und China zum Marktführer entwickelt.

Sowohl bei der Entwicklung der EB-Anlagentechnik als auch bei der industriellen Umsetzung von thermischen Elektronenstrahl-Technologien hat sich Dr. h. c. Freiherr von Dobeneck große Verdienste erworben.

Neben seinen unternehmerischen Erfolgen erlangte Dr. h. c. Freiherr von Dobeneck international wissenschaftliche Anerkennung. Zahlreiche Veröffentlichungen und Patente weisen Freiherrn von Dobeneck als international anerkannten Experten auf dem Fachgebiet aus. Hierfür wurde er am 26.04.2010 mit der Ehrendoktorwürde der TU Bergakademie Freiberg geehrt.

Die letzten 15 Jahre seines aktiven Berufslebens widmete sich Dr. h. c. Freiherr Dietrich von Dobeneck der Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen von Hochschulen und Universitäten. Er gründete die Dobeneck Technologie Stiftung insbesondere zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, über die er das Institut für Werkstofftechnik



der TU Bergakademie Freiberg mit fast 1,5 Mio. € Fördermitteln für Anlagentechnik, Forschungsprojekte und die Durchführung wissenschaftlicher Veranstaltungen unterstützte.

Als Pensionär unterstützte er seine Heimatstadt Traunstein großzügig mit finanziellen Mitteln zur Wahrung des Kulturerbes dieser traditionsreichen Region. Dr. h. c. Freiherr Dietrich von Dobeneck war ein umtriebiger und begeisterter Kämpfer, sowohl als Manager und Mäzen als auch als Bergsteiger und verfolgte dies alles mit Ausdauer, Zähigkeit und Engagement.

Dr. h. c. Dietrich Freiherr von Dobeneck starb am 21. März 2021 an den Folgen einer heimtückischen Krebserkrankung in seiner Heimatstadt Traunstein.

Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder

† Dr.-Ing. habil. Herbert Mohry, Leipzig
31.01.1930-24.02.2021

† Dipl.-Ing. Peter Taffelt, Freiberg
11.12.1945-09.04.2021

† Dipl.-Ing. Dieter Seerig, Chemnitz
06.01.1942-11.04.2021

† Prof. i. R. Dr. Heinzjoachim Franek, Dresden
10.01.1930-28.04.2021

† Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Horst Gerhardt, Freiberg
24.02.1935-13.05.2021

† Doz. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Schaef, Dresden
07.04.1931-15.05.2021

† Dr. rer. nat. Klaus Heeg, Ravensburg
01.11.1929-16.05.2021

† Markscheider Dipl.-Ing. Kurt Beyer, Dresden
05.09.1920-20.10.2021

† Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Pusch, Freiberg
05.01.1940-17.11.2021

Bereits 2020 verstorben

† Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Werner Kasig, Aachen
08.06.1936-22.06.2020

† Dipl.-Geophys. Siegfried Albin, Leipzig
31.05.1933-03.09.2020

† Prof. Dr.-Ing. Erhard Klose, Freiberg
15.05.1931-19.12.2020

† Dr.-Ing. Dietrich Bartelt, Essen
04.06.1925-19.12.2020

† Berg-Ing. Alexander Hübler, Freiberg
15.12.1930-24.12.2020

Geburtstage unserer Vereinsmitglieder

60. Geburtstag

Dipl.-Ing. Gesslein, Joachim, Neustadt
Tiefbohringenieur Goldowsky, Rolf, Neuss
Dipl.-Ing. Grosser, Uwe, Spremberg
Dr. Haseneder, Roland, Freiberg
Dipl.-Geol. Homilius, Antje, Bobritzsch
Dipl.-Ing. Homilius, Wolfdieterich, Bobritzsch
Dipl.-Ing. Hupel, Heiko, Zwickau
Dipl.-Ing. Kleiner, Steffen, Halle/Saale
Dipl.-Ing.-Ökonom Kraushaar, Heiko, Spremberg
Dipl.-Ing. oec. Lange, Ingrid, Freiberg
Dr.-Ing. Löwe, Jens, Freiberg
Prof. Dr.-Ing.habil. Lucke, Ralph, Miesbach
Herr Luszas, Rolf, Körbelitz
Dipl.-Min. Massanek, Andreas, Hainichen
Dr. Mauke, Heinrich, Diepholz
Dr.-Ing. Müller, Andreas, Eisenhüttenstadt
Prof. Dr. Müller, Armin, Freiberg
Dipl.-Ing. (FH) Müller, Uwe, Niederbobritzsch
Dipl.-Ing. Nickel, Konrad, Biebrstein
Dipl.-Ing. Oelsner, Jörg, Freiberg
Dipl.-Ing. Rudolph, Andrea, Penzlin
Dipl.-Ing. Scherber, Eckbert, Hoyerswerda
Dr.-Ing. Schmidt, Gert, Halsbrücke
Dr.-Ing. Seebach, Benno, Leipzig
Dipl.-Ing. (FH) Tröger, Ralf, Brotterode-
Trusetal
Dr.-Ing. Wendt, Florian, Freiberg
Herr Westermann, Rainer, Simmerath

65. Geburtstag

Prof. Dr.-Ing. Bier, Thomas A., Freiberg
Dipl.-Ing. Byrla, Hans, Hoyerswerda
Prof. Dr. Dempe, Stephan, Brand-Erbisdorf
Dipl.-Ing. Fischer, Wolfgang, Wolmirstedt
Dr. Freymann, Klaus, Augsburg
Prof. Dr. Froitzheim, Konrad, München
Dipl.-Ing. Fuchs, Reinhard Willy, Lohsa
Prof. Dr. rer. nat. Heilmeier, Hermann,
Freiberg
Prof. Dr. Hinner, Michael B., Wietze
Markscheider Dipl.-Ing. Hoffmann, Frank,
Drebkau
Dr.-Ing. Hönig, Sabine, Reinsberg
Dipl.-Ing. Junker, Dietmar, Cottbus
Dipl.-Ing. Klocek, Gert, Cottbus
Dipl.-Ing. Kögler, Klaus-Michael, Gäufelden
Dr.-Ing. Kuchling, Thomas, Oberschöna
Lagerpusch, Angelika, Freiberg
Dipl.-Ing. Neumann, Wolfgang, Nauheim
Dipl.-Kfm. Pods, Werner, Meura
Prof. Dr. Ratschbacher, Lothar, Oberschöna
Dipl.-Ing. Roy, Frank, Cottbus
Dipl.-Ing. (FH) Schollmeyer, Thomas, Mühlhausen
Dr. rer. nat. Seidel, Jürgen, Reinsberg
Dipl.-Ing. Sonntag, Volker, Weißwasser
Prof. Dr.-Ing. Stelter, Michael, Wegfarth
Dipl.-Ing. Wehner, Gerd, Recklinghausen

70. Geburtstag

Dipl.-Ing. Aßmus, Bernd, Zeithain
Dipl.-Chem. Bochmann, Gerd, Zschorlau

Prof. Dr. Bongaerts, Jan C., Freiberg
Dipl.-Ing. oec. Doberstein, Volker, Freiberg
Dr. Eulenberger, Klaus, Freiberg
Dr.-Ing. Fischer, Stephan, Freiberg
Dipl.-Ing. Floß, Ulrich, Berlin
Dipl.-Chem. Jahnke, Hans-Joachim, Polz
Dipl.-Ing. Ök. Gisela, Jansen, Freiberg
Dipl.-Ing. Bernd, Korngiebel, Berka-Vitzeroda
Dipl.-Ing. Assessor D. M. Michaely, Horst,
Herne
Dipl.-Ing. Schaller, Andreas, Chemnitz
Dipl.-Ing. Schreiber, Bernd, Jena
Kaufmann Sens, Hans-Dietrich, Hilden
Dipl.-Ing. Sichone, Karin, Freiberg
Dr.-Ing. Thielen, Walter, Gummersbach
Prof. Dr. Voigt, Wolfgang, Weißenborn
Dipl.-Ing. Zimmermann, Wilfried, Chemnitz

75. Geburtstag

Dr.-Ing. Koi, Herbert, Halsbrücke
Dr.-Ing. Lersow, Michael, Breitenbrunn
Dipl.-Ing. Miedtank, Lutz, Taucha
Prof. Dr. Näther, Wolfgang, Dresden
Dr. rer. nat. Richter, Klaus, Freiberg
Prof. Dr. h. c. Schmidt, Reinhard, Freiberg
Dr. oec. Schreier, Frank, Moritzburg
Prof. Dr. rer. nat. habil. Spröbzig, Wolfgang,
Hartmannsdorf
Prof. Dr.-Ing. habil. Zenker, Rolf, Mittweida

80. Geburtstag

Dr.-Ing. Adam, Jochen, Dresden
Doz. Dr. sc. oec. Dobry, Ulrich, Freiberg
Dr.-Ing. Dornburg, Dieter, Freiberg
Dipl.-Geol. Dörfer, Hubertus, Freiberg
Dipl.-Kfm. Finger, Bodo, Bochum
Dipl.-Ing. Fischer, Karl-Heinz, Thoßfeld
Prof. Dr. Gminder, Rolf, Heilbronn
Prof. Dr.-Ing. habil. Heschel, Wolfgang,
Freiberg
Dr.-Ing. Höhne, Diethard, Freiberg
Dipl.-Ing. Jäpel, Gernot, Mittenwalde
Dr. rer. nat. Medicus, Günther, Torgau
Dr.-Ing. Moewes, Klaus, Altenburg
Dipl.-Ing. Reinhardt, Oskar, Eilenburg
Dr.-Ing. Rühlicke, Margarete, Freiberg
Dr. rer. nat. Runge, Werner, Freiberg
Dipl.-Ing. Staar, Manfred, Halle/Saale
Dipl.-Ing. Stachel, Günter, Freiberg
Dipl.-Ing. Stricker, Roland, Hoyerswerda
Dr.-Ing. Trommer, Dietmar, Freiberg
Dr.-Ing. Zöllner, Wolfgang, Leipzig

81. 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
Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Jurisch, Manfred, Dresden
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. Letz, Peter, Staufen im Breisgau
Dr.-Ing. Mühl, Peter, Berlin
Prof. Dr. habil. Naumann, Friedrich, Chemnitz
Prof. i.R.Dr.-Ing. habil. Naundorf, Wolfgang,
Freiberg
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. hc. Oettel, Heinrich,
Freiberg
Dipl.-Ing. Petrasch, Wolfram, 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
Prof. Dr. Woditsch, Peter, Krefeld

82. 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. Jähmig, 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. Dr. habil. 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

83. 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
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

84. Geburtstag

Dipl.-Ing. Albrecht, Fritz, Leipzig
Dr.-Ing. Denke, Christoph, Brand-Erbisdorf
Dr.-Ing. Dombrowe, Helfried, Freiberg
Prof. Dr.-Ing. Döring, Karl, Eisenhüttenstadt
Dr.-Ing. Dressel, Siegfried, Wilkau-Haßlau
Dipl.-Ing. Eger, Wolfgang, Langenfeld/Rheinland
Dr. med. habil. Freiesleben, Heiner, Lübeck
Prof. Dr.-Ing. Gatzweiler, Rimbart, Saarbrücken
Dr.-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

85. 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
Assessor d. Bergfachs Kegel, Karl-Ernst, Köln
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

86. Geburtstag

Dr. rer. nat. Gärtner, Karl-Heinz, Freiberg
Dr. Hildmann, Eckart, Fulda
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.-Ing. Winter, Siegfried, Dippoldiswalde

87. 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
PD Dr.-Ing. habil. Ulbricht, Joachim, Freiberg
Prof. i. R. Dr.-Ing. Walde, Manfred, Freiberg
Dipl.-Ing. Wiesenfeldt, Ludwig, Mülheim a. d. Ruhr

88. Geburtstag

Dr.-Ing. Denecke, Albrecht, Buchholz
Prof. em. Dr. Dr. h. c. Förster, Wolfgang, Halsbrücke
Dr.-Ing. Hahn, Manfred, Freiberg

Dr.-Ing. Harzt, Dietmar, Freiberg
Doz. Dr.-Ing. Krüger, Walter, Freiberg
Dipl.-Ing. Lemke, Heinrich, Leipzig
Prof. Dr.-Ing. habil. Piatkowiak, Norbert, Großschirma
Dr.-Ing. Rocktaeschel, Gottfried O., Dresden
Dr.-Ing. Schmidt, Tankred, Hoyerswerda

89. 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

90. Geburtstag

Prof. Dr. rer. nat. habil. Brand, Paul, Freiberg
Dr.-Ing. Göhler, Peter, Freiberg
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Marx, Claus, Owingen
Dipl.-Berging. Mertens, Volkmar, Essen-Steele
Dr.-Ing. Pforr, Herbert, Freiberg
Dipl.-Ing. Vielmuth, Alfred, Gera

91. Geburtstag

Prof. Dr.-Ing. Engshuber, Manfred, Ilmenau
Prof. Dr. Heyne, Karl-Heinz, Leipzig
Dipl.-Ing. Knickmeyer, Wilhelm, Essen
Dipl.-Ing. Meinig, Klaus, Dresden
Herr Mester, Egon, Buxtehude
Markscheider Dr.-Ing. Schulze, Günter, Bad Liebenwerda
Prof. Dr. sc. techn. Uhlig, Dieter, Altenberg
Assessor des Bergfachs Worringer, Dieter, Essen

92. Geburtstag

Dr. rer. nat. Dipl.-Geophysiker Hiersemann, Lothar, Leipzig
Prof. Dr. Dr. h. c. Kolditz, Lothar, Fürstenberg/Havel
Dipl.-Ing. Schubert, Wolfgang, Bad Elster

93. Geburtstag

Dipl.-Ing. Bannert, Horst, Neuhoft
Dr.-Ing. Klepel, Gottfried, Markkleeberg
Dr.-Ing. Severin, Gerd, Dresden

94. Geburtstag

Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Kratzsch, Helmut, Berlin

96. Geburtstag

Prof. i. R. Köhler, Johannes, Olbersdorf

97. Geburtstag

Prof. Dr. Dr. h. c. Heitfeld, Karl-Heinrich, Bad Neuenahr-Ahrweiler

Herzliche Glückwünsche und Glückauf allen Jubilaren!

- Barbara Abendroth, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Felix Baitalow, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Eve Begov, Grünes Gewölbe, Staatliche Kunstsammlungen Dresden
- Kerstin Bellmann, B.A., TU Bergakademie Freiberg
- Swanhild Bernstein, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Martin Bertau, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Michael Bestian, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Jonathan Biehl, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Thomas Bier, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Horst Brezinski, Prof. Dr., VFF
- Andreas Burgold, Dr.
- Mathias Burisch, Dr. TU Bergakademie Freiberg
- Philipp Büttner, M. Sc., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Alexandros Charitos, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Peter Czolbe, Dr., Freiberg
- Ferdinand Damaschun, Dr., Museum für Naturkunde Berlin
- André Dietrich, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Yulia Dolganova, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Carsten Drebenstedt, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Detlev Dusemond, Dr., Pirna
- Jonathan Engelhardt, Dr., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Tobias Michael Fieback, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Undine Fleischmann, TU Bergakademie Freiberg
- Daniel Franke-Laske, Dipl.-Geol., Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- Andreas Frauendorf, Rüstkammer, Staatliche Kunstsammlungen Dresden
- Max Frenzel, Dr., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Gero Frisch, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Alena Fröde, M. A., TU Bergakademie Freiberg
- Sindy Fuhrmann, J.-Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Michael Gäbelein, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Andreas Gäbler, M.Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Anna Gahlert, M. Sc., Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- Marcus Gast, M.Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Simon Genthe, Dipl.-Ing., TU Bergakademie Freiberg
- Richard Gloaguen, Dr., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Tom Göpfert, B.A., TU Bergakademie Freiberg
- Martin Gräbner, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Gerd Grabow, Prof. Dr., Freiberg
- Jens Grigoleit, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Konrad Grossehelweg, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Christin Grunenberg, Ass.jur., TU Bergakademie Freiberg
- Marie Guilcher, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Jens Gutzmer, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Sebastian Haschke M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Peter Hauschild, Dipl.-Ind. Arch., Dresden
- Mike Haustein, Dr., Hartmannsdorf
- Sabrina Hedrich, J.-Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Beata Heide, Dipl.-Krist., TU Bergakademie Freiberg
- Gerhard Heide, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Karl-Heinz Heyne, Prof. Dr., Leipzig
- Marika Hofmann, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Carl-Christoph Höhne, Dr.
- Andreas Horsch, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Steffen Hundt, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Conrad Jackisch, J.-Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Mark Jacob, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Anne-Kristin Jentzsch, M. A., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Yvonne Joseph, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Malte Junge, Dr., Mineralogische Staatssammlung München
- Aline Jünger, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Manuela Junghans, Dipl.-Geol., TU Bergakademie Freiberg
- Doreen Kaiser, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Kevin Keller, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Norman Kelly, Dr., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Ulf Kempe, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Ludwig Kohaupt, Prof. Dr., Berlin
- Philomena Konstantinidis, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Daniel Korb, M. Sc., Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- Gunter Krause, Dr.
- Hans-Jürgen Kretzschmar, Prof. Dr., VFF
- Edwin Kroke, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Steffen Krzack, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Thomas Kuchling, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Angela Kugler-Kieβling, Dipl.-Bibl.(FH), TU Bergakademie Freiberg
- Moritz Lamottke, Dipl.-Ing., TU Bergakademie Freiberg
- Maximilian Lau J.-Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Roh Pin Lee, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Theresa Lemser, Ass.jur., TU Bergakademie Freiberg
- Sandra Lorenz, Dr., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Nadja Lumme, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Bernd Lychatz, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Andreas Massanek, Dipl.-Min., TU Bergakademie Freiberg
- Jörg Matschullat, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Petra Meister, VFF
- Robert Mende, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Martin Kofi Mensah, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Bernd Meyer, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Dirk C. Meyer, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Wolfgang Michel, Prof. Dr., Magdeburg
- Helmut Mischo, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Witalij Morosow, Dr.
- Natalia Mrówka, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Friedrich Naumann, Prof. Dr., Chemnitz
- Knut Neumann, Freiberg
- Holger Orawetz, Dipl.-Ing., Qpoint Composite GmbH Dresden
- Carsten Pätzold, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Peter Paufler, Prof. Dr., Dresden
- Urs Peuker, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Denise Pfitzner, TU Bergakademie Freiberg
- Felix Plamper, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Norman Pohl, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Christian Posern, Dr.
- Elsa Qoku, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Simone Raatz, Dr., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Volker Recksiek, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Nils Reinhardt, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Rainer Richter, Grünes Gewölbe, Staatliche Kunstsammlungen Dresden
- Andrea Riedel, Dipl.-Hist., TU Bergakademie Freiberg
- Gerhard Ring, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Luisa Rischer, M. A., TU Bergakademie Freiberg
- Silvia Rogler, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Götz-Peter, Rosetz, Dipl.-Min., Freiberg
- Paul Scapan, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Sabine Schellbach, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Thomas Schlothauer, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Thomas Schmalz, Dipl.-Ing., Studentenwerk Freiberg
- Reinhard Schmidt, Prof. Dr., Freiberg
- Hans-Ferdinand Schramm, Prof., Sparkasse Mittelsachsen
- Maximilian Schwabe
- Marcus R. Schwarz, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Birgit Seidel-Bachmann, Dipl.-Slaw., TU Bergakademie Freiberg
- Christina Seifert, TU Bergakademie Freiberg
- Taras Shepel, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Martin Sobczyk, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Anja Solf-Hofbauer, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Karina Sopp, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Michael Stelter, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Hartmut Stöcker, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Ilona Stoiber
- Saskia Stopp, M.Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Thomas Storch, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Dietrich Stoyan, Prof. Dr., Freiberg
- Jutta Stumpf-Wollersheim, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Laura J. Swinkels, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Dirk Syndram, Dr., Grünes Gewölbe, Staatliche Kunstsammlungen Dresden
- Michal Szucki, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Irina Talovina, Prof., Bergbauuniversität St. Petersburg
- Jens Then, Dipl.-Ing. (FH), TU Bergakademie Freiberg
- Andre Uhlmann, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Carla Vogt, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Daniela Vogt, Dr., Quantus – Agriculture Technologies GmbH
- Roland Volkmer, Dipl.-Archiv. (FH), Freiberg
- Martin Wagner, TU Bergakademie Freiberg
- Michael Wagner, Grünes Gewölbe, Staatliche Kunstsammlungen Dresden
- Gerd Walter, Prof. Dr., Dresden
- Marcus Waurick, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Tina Weigel, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Anja Weigl, M. A., TU Bergakademie Freiberg
- Ulrike Weinhold, Dr., Grünes Gewölbe, Staatliche Kunstsammlungen Dresden
- Ellen Weißmantel, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Annett Wolf, TU Bergakademie Freiberg
- Maximilian Wormit, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Annett Wulkow Moreira da Silva, M. A., TU Bergakademie Freiberg
- Andreas Zach, Dr., Daimler Truck AG Mannheim
- Henning Zeidler, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Rolf Zenker, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Matthias Zschornak, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Sebastian Zug, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg

*Mit diesem Aquarell unseres Mitglieds Dr. Peter Czolbe
wünschen wir allen Vereinsmitgliedern,
Leserinnen und Lesern unserer ACAMONTA*



Peter Czolbe: Schüppchenberg Freiberg, Aquarell, 2015

*eine besinnliche Weihnachtszeit
und ein gesundes neues Jahr 2022!*