



ACAMONTA



Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg
25. Jahrgang 2018

Editorial

Ihre Geschichte und Tradition manifestieren die enge Verbindung zwischen der Stadt und „ihrer“ Bergakademie Freiberg. Mit dem Blick auf den Slogan „Stadt im Silberrausch“ (Silberfund vor 850 Jahren) für das Stadtjubiläum (Erwähnung des Namens vor 800 Jahren) liefern dazu – mit dem Fokus auf unterschiedlichen Aspekten – die Beiträge von Cramer (Wiederaufleben des Bergbaus in Sachsen), Jäckel (vom Silber zum Silicium) und Richter (Silberfund) Zeugnisse mit aktuellen und historischen Bezügen. In engem Kontext hierzu stehen mehrere Beiträge zur Geo-Forschungssäule im Profil unserer Ressourcen-Universität und des HIF mit dem Blick auf Ergebnisse von Projekten und Initiativen zu Fragen im aktuellen und zum Bergbau der Zukunft sowie der Nutzung von relevanten Ressourcen. Dies wird unter anderem belegt durch Projekte zu einer innovativen Bohrtechnologie – basierend auf der Nutzung von Elektroimpulsen (Reich) –, zum Gruben-Einsatz von Robotern im Bergwerk (Jung) und hierzu passenden Sensoren (Joseph), neue Prospektierung von Erzvorkommen in der Freiburger Region (Gutzmer) sowie Untersuchungen zu Möglichkeiten der Erzförderung vom Meeresboden (Blue Mining, Steinbach/Mischo). Sehr originell und zukunftssträchtig für die Materialforschung erscheinen Versuche zur Nutzung der extremen Biomineralisation unter thermophilen Situationen im Meer (Organic Templating, Ehrlich).

Hinzu kommen hochaktuelle Ergebnisse zu den Forschungsprofilssäulen Energie und Umwelt wie die Optimierung der AdBlue-SCR-Technik bei Diesel-Kraftfahrzeugen und die Entwicklung Kohle/Plastik-Kohlenstoff-basierter Technologien zur energetischen und chemischen Roh- bzw. Altstoff-Nutzung (Meyer). Ganz im Sinne der Kreation von neuen Methoden für das effektive Recycling von strategischen Selten-Erd-Metallen wird auch ein (von Polmann et al. verfolgter) biologie-basierter Ansatz vorgestellt.

Forschung an unserer Universität wurde seit ihrer Gründungszeit durch eine Vielzahl von Stiftungen ermöglicht. Über Zuwendungen, Stipendien und Preise erhält auch noch heute

eine Reihe von Projekten eine individuelle Förderung. Von der großen Stiftungsbereitschaft für die TU Bergakademie Freiberg zeugen Stiftungsbeiträge von Unternehmen und Privatpersonen.

Die Krüger-Stiftung, deren 10-jähriges Jubiläum wir im vergangenen Jahr feiern durften (Groll), unterstützt neben Forschungsvorhaben – den Krügerkollegs – insbesondere auch den wissenschaftlichen Nachwuchs (Rogler, Deutschlandstipendiaten) und bietet mit dem Krügerhaus eine Heimstatt für die „Mineralogische Sammlung Deutschland“, deren ständige Erweiterung nur durch das Engagement zahlreicher privater Stifter möglich ist (Massanek et al.). Frau Dr. Krüger (als Privatperson) sei darüber hinaus – als Mitherausgeberin seit diesem Jahr – herzlich für ihre Unterstützung der ACAMONTA gedankt.

Die TU Bergakademie Freiberg gilt als weltoffener Studienort. Seit ihrer Gründung zieht sie zahlreiche ausländische Studierende an (Drebenstedt, Lange, Schönfelder, Mayer etc.), die sicherlich mit Alexander von Humboldt, dessen 250. Geburtstag die Universität im nächsten Jahr mit mehreren Veranstaltungen begehen wird, übereinstimmen werden, „*der einen wichtigen Teil seiner Bildung und die Richtung seiner Bestrebungen ... der trefflichen Anstalt der Freiburger Bergakademie ... schuldig war*“.¹

Das Redaktionskollegium dankt allen Autoren, die diese Ausgabe der ACAMONTA mit Beiträgen unterstützt haben!

Gerhard Roewer, Annett Wulkow Moreira da Silva

¹ Brief von Alexander von Humboldt an das *Fest-Comité der Feier von Werners großem Andenken zu Freiberg vom 17. September 1850 aus Sanscouci*. Abgedruckt in: Gedrängte Darstellung des Wernerfestes am 24., 25. und 26. Septbr. 1850 in Freiberg, S. 8–9. Gerlach'sche Buchdruckerei zu Freiberg. o. J. Enthalten in UAF OBA 37, Bl. 160R-161 (Originalbrief verloren)

Geleitwort des Rektors 4

Ressourcenuniversität TU Bergakademie Freiberg

Das Neue Berggeschrey – Vom Silberfund in Freiberg zum Erzbergbau mit Weltrang (B. Cramer) 5

Neues Wissen zur Metallogeneese im Freiburger Revier: 850 Jahre nach dem Silberfund – und (k)ein bisschen klüger? (M. Burisch, M. E. Bauer, M. Frenzel, A. Hartmann, C. Kehrer, J. Ostendorf, Th. Seifert, J. Gutzmer) 8

Minerale der Tiefsee als zukünftige Rohstoffquelle (V. Steinbach, C. Rühlemann) 13

Tiefseebergbau in Halsbrücke? Entwicklung und Betrieb des BLUE MINING Strömungsversuchsstandes an der TU Bergakademie Freiberg (T. Müller, H. Mischo) 15

Regionaler Klimawandel Sachsen – und mehr (J. Matschullat, A. Routschek, D. Rübhelke) 18

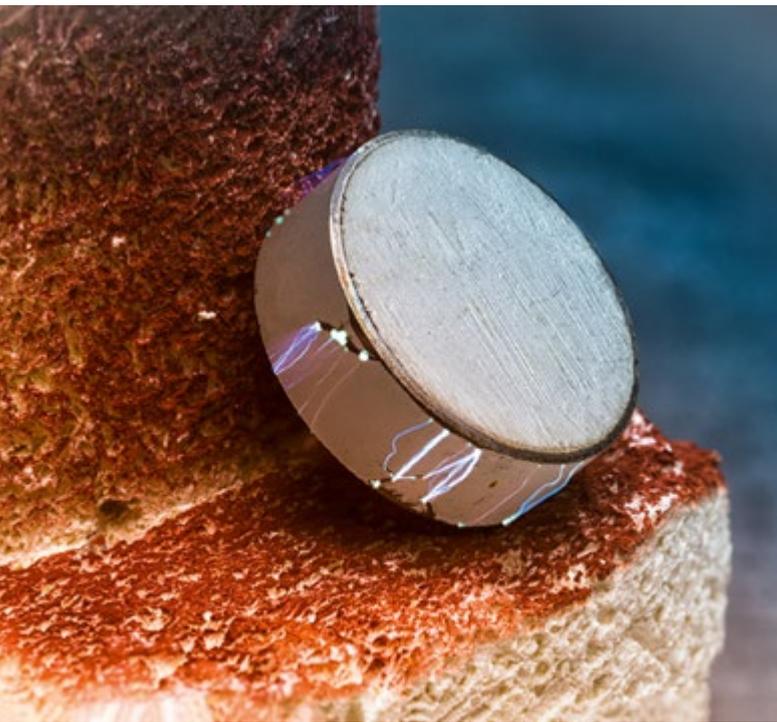


Foto: Sven Jachalle

Beschichteter Lithiumniobatkristall, der beim Abkühlen elektrische Überschläge erzeugt

Stiftungen

Peter und Erika Krüger – Unternehmer und Stifter – Rede des Stiftungsvorstandes Prof. Klaus Michael Groll zur Feier des 10-jährigen Jubiläums der Dr. Erich-Krüger-Stiftung 22

Stifterin Dr. Erika Krüger fördert das Studienbotschafter-Programm der Universität (S. Schellbach) 24

Stiften für die Wissenschaft – Schenkungen an die Geowissenschaftlichen Sammlungen nehmen zu (A. Massanek, B. Seidel-Bachmann, G. Unland, G. Heide) 25

Forschung an der TU Bergakademie Freiberg

Vom Silber über einen Umweg zum Silicium (G. Jäckel) 28

50 Jahre Geotechnik-Ausbildung an der TU Bergakademie Freiberg (H. Konietzky, Ch. Butscher, Th. Nagel) 34

Das Elektro-Impuls-Bohren – eine elfjährige Erfolgsgeschichte (F. Lehmann, E. Anders, M. Voigt) 38

Roboter und Internet der Dinge zur Umgebungsdatenerfassung unter Tage (R. Lösch, St. Grehl, F. Güth, F. Günther, N. Rezaei-Abadchi, B. Jung) 41

Prinzipien der Extremen Biomimetik (H. Ehrlich) 46

Geochemische Analytik – die Forensik der Geowissenschaftler (J. Matschullat, A. Käbner, A. Pleßow, M. Tichomirowa) 50

Herstellung von Nanoteilchen im Kolben und in mikrofluidischen Systemen (N. Lumme, Ch. Oestreich, Y. Joseph) 56

Scharfe Sensoren für saure Lösungen – pH-Messungen in Bergbauwässern (Th. Ihling, F. Güth, P. Arki, Y. Joseph) 58

Peptide für die spezifische Interaktion mit Mineralen (F. L. Lederer, R. Braun, K. Pollmann) 60

Silber – Gestern, Heute und Morgen (A. Dressler, M. Stelter) 63

Kurzzeittempern mit Blitzlampen (C. Cherkouk, B. Abendroth, C. Funke, Th. Lemser, D. C. Meyer) 65

Aluminium-Ionen-Feststoffbatterien: Verbundprojekt R2R-Battery (D. C. Meyer, T. Leisegang, C. Cherkouk, C. Funke, J. Hanzig, Th. Köhler, Th. Lemser, H. Stöcker, M. Zschornak) 68

Strom aus Wärme: Das Freiburger Zentrum für Pyroelektrizität (H. Stöcker, E. Mehner, S. Jachalke, Th. Köhler, D. C. Meyer) 70

Optimierung der AdBlue-SCR-Technik bei Diesel-Kraftfahrzeugen (S. Füger, E. Eßer, A. Roppertz, S. Kureti, Ch. Hasse, S. Gierth, U. Hofmann, O. Boblest, G. Zikoridse) 72

Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft für eine nachhaltige Gesellschaft (D. Klinger, B. Meyer) 77

Mergers und Acquisitions aus rechts- und wirtschaftswissenschaftlicher Sicht (A. Horsch, J. Stumpf-Wollersheim) 81

GEOSax – Geophysikalische Explorationsmethoden zur Erkundung von Erzvorkommen im Erzgebirge (O. Hellwig, M. Scheunert, K. Spitzer) 83

rECOMine – Regionales Netzwerkprojekt für ressourcenorientierte Umwelttechnologien (J. Grigoleit, P. Büttner, A. Hesse, U. Peuker, J. Gutzmer) 85

Netzwerkprojekt Leichtbau-Allianz Sachsen (R. Kawalla, J. Bachmann, J. Grigoleit) 88

Drittmittelforschung am Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) der TU Bergakademie Freiberg (H. Albrecht) 90

Universität aktuell

Verbesserung der Studienbedingungen an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg – Neubau eines Hörsaalgebäudes im Schloßplatzquartier (J. Then) 94

Studienerfolgskonzept und Weiterentwicklung der Studiengänge (S. Rogler) 96

Weiterentwicklung strategischer Konzepte an der TU Bergakademie Freiberg (S. Rogler) 98

Maschinenhaus-Transferhochschule (M. Kröger) 99

Virtuelles Praktikum Rektifikation Industrie 4.0 (Michael Kraft, Martin Bertau) 100

Baggersimulator – Nutzung in Lehre und Forschung (C. Drebenstedt, T. Shepel) 101

Deutschlandstipendium – eine Chance für engagierte Studierende (S. Rogler) 103

Erfahrungen einer Deutschlandstipendiatin: Katharina Dressler – Umformtechnik 104

Erfahrungen eines Deutschlandstipendiaten: Max Stirl – Wirtschaftsingenieurwesen 105

Über den Tellerrand Freibergs geschaut – nach Russland (J. Dittmann) 106

Leuchtturmprojekt zur Überführung von Studienabbrechern in eine Berufsausbildung gestartet (K. Wopat) 107

Akademische Ausbildung für den Bergbausektor Afghanistans (C. Drebenstedt) 108

Das Projekt „Internationale Studenten in Schulen“ (T. Mayer) 119
 Stipendienprogramme am Internationalen Universitätszentrum
 (I. Lange) 120
 Barbara-Unterstützungsfonds für Migranten-Studierende
 (H.-J. Kretzschmar) 123
 Integration an der Universität – Studieren nach Flucht
 und Vertreibung (K. Schönfelder, S. Preißler) 123
 Interkulturelles Wochenende (K. Schönfelder)..... 123
 Menschenblindheit (Kolumne von E. Stützer) 124
 Neue Karrierewege für Nachwuchswissenschaftler an der
 TU Bergakademie Freiberg (E. Weißmantel, S. Kühne, K. Lorenz) 124
 Montanportal – das neue Fachinformationssystem für Wissenschaft-
 lerinnen und Wissenschaftler (D. Kuhnert, B. Wagenbreth)..... 125
 Neue Impulse für Kooperationen mit der TU Clausthal
 (J. Grigoleit, U. A. Peuker, R. Kawalla) 126
 Das ERP-Kompetenzzentrum Sächsischer Hochschulen
 stellt sich vor..... 127
 100 Jahre Forschungs- und Lehrbergwerk – Entdecker unter Tage 127
 Das Grubenrettungswesen an der TU Bergakademie Freiberg
 (H. Mischo, S. Pötzsch) 128
 EIT RawMaterials – Regional Center Freiberg (W. Zank) 130
 Mitlaufgelegenheit Freiberg (S. Benkert, C. Skovgaard-Sörensen)..... 131
 Die AG Sammlungen an der TU Bergakademie Freiberg
 und das Ausstellungsprojekt „Edle Motive –
 Universitätssammlungen im Silberschein (A. Benz) 132
 Ein vergessenes Stück Geschichte? (S. Ebert)..... 133
 Neuerscheinung 2018: „INDUSTRIEarchäologie“ 133
 Humboldtjahr 2019 134
 Freiberg vor, im und nach dem Nationalsozialismus (N. Pohl) 134

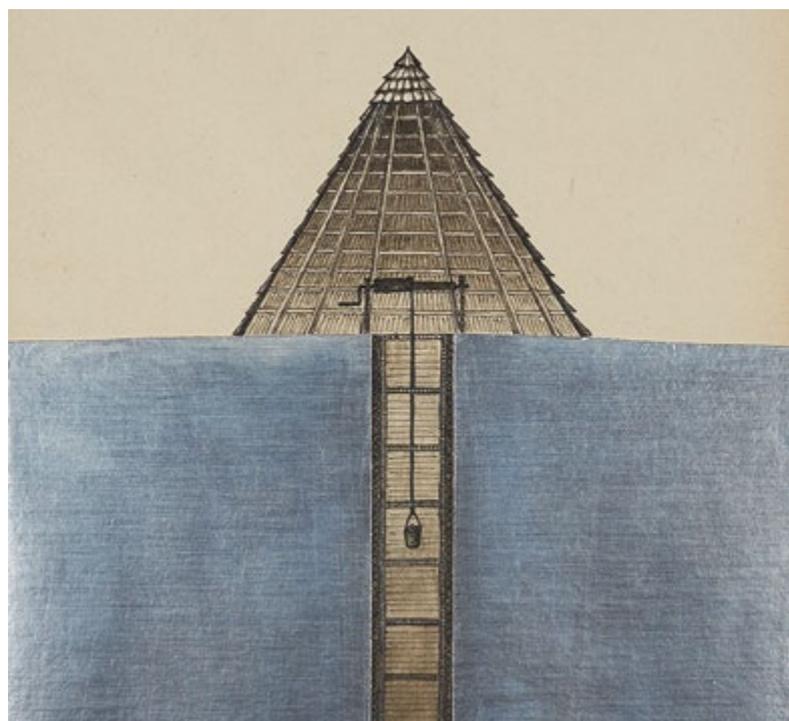
Aus dem Vereinsleben

Aus dem Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2017
 (H.-J. Kretzschmar) 135
 850 Jahre Silberrausch in Freiberg in
 Seiffener Holzkunst gespiegelt (H.-J. Kretzschmar)..... 137
 Stammtische, neue Software und Fledermäuse – Jahresrückblick
 des Freiburger Alumni Netzwerks (S. Preißler, C. Bornkamp) 139
 Interview mit Peter Eckert 141
 The distribution of Gallium, Germanium and Indium
 in conventional and non-conventional resources (M. Frenzel)..... 141
 Optimierung des statischen Modells des Elektrolichtbogenofens
 (EAF) im Stahlwerk Riesa (M. Groll) 143
 Ein Flussdelta als Archiv der Evolution – Asiens älteste
 Insektenfauna zeigt Wege der Fossilwerdung (S. Trümper)..... 147
 Vermessung des Altbergbaugebiets Schneeberger Revier
 in Südtirol 149
 Ausfahrt West der AG Grubenwehr an der TU Bergakademie Freiberg
 (L. Manthey) 150
 Exkursion der Freiburger Verfahrenstechniker zur AICHEMIA 2018
 und zur Evonik Technology & Infrastructure GmbH Hanau
 (R. Seyfarth, L. Lange, R. Pfeufer, S. Herrmann, A. Seelhorst) 151
 Fachexkursion zur Hochschule Neubrandenburg (K.-H. Löbel)..... 152
 Lavadom am Fuß des Vulkans Chachani (Peru) (A. Lun) 153
 Summer School im Reich der Mitte (L. Walter, L. Franiel)..... 155
 SEISMIX 2018 in Polen (I. Storch)..... 156
 SOMP 2018 in China (G. Barakos) 156

Historie

Chronik 2019 (R. Volkmer) 157
 Jubiläen im Jahr 2018 in Freiberg (U. Richter) 158
 Unser Julius Weisbach war der Erste (D. Stoyan) 162

Der Freiburger Professor und der Bergakademist im Lichte
 der Uniformvorschriften des sächsischen Bergstaates (Teil 1)
 (K. Neumann) 163
 Die Geschichte einer verbotenen Fahne (D. Slaby, A. Trillhose) 166
 Der Medailleur Friedrich Wilhelm Hörnlein und die
 Bergakademie Freiberg (U. Becker) 170
 25 Jahre TU Bergakademie Freiberg (D. Stoyan)..... 175
 Der Bergwerksanteil Johann Sebastian Bachs – Schlüssel für musik-
 wissenschaftliche Forschungen über seine Familie (E. Spree)..... 176
 Buchrezension: Michail Vasil’evič Lomonosov: Schriften zur
 Geologie und zum Berg- und Hüttenwesen (1742–1765)
 (M. Schippan) 180
 Zum 75. Todestag von Friedrich Ludwig Wilhelm Kolbeck,
 dem anerkannten Diagnostiker auf dem Gebiet der Mineralogie
 und Geologie (G. Grabow) 181
 Bergbauhistorie im Bild bei Michael Merkel 181



Michael Merkel: Im Cynwald, Zeichnung

Personalia

Ehrendoktorwürde für Prof. Hans-Jürgen Kretzschmar 182
 Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Grabow zum 90. Geburtstag
 (Rüdiger Schwarze, Ingo Riehl, Rhena Wulf) 182
 Neue Professoren berufen 183
 Geburtstage unserer Vereinsmitglieder 183
 Nachruf Prof. Dr. Günter Blobel (Hans-Joachim Möller) 186
 Nachruf auf Prof. Heinrich Schubert (1926–2018)
 (Klaus Husemann) 187
 Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder 187
 Autorenverzeichnis und Impressum 188



2018 ist in Freiberg ein Jahr der Jubiläen: Vor 850 Jahren wurde das erste Silbererz gefunden, die Stadt selbst blickt auf eine 800-jährige Geschichte zurück. Wir von der Bergakademie haben uns an den besonderen Moment vor 25 Jahren erinnert, als wir vom Freistaat den Titel „Technische Universität“ verliehen bekommen haben. In diesem Zusammenhang wurde ich gefragt, wie ich mir die TU Bergakademie Freiberg in 25 Jahren vorstellen kann. Eine kühne Frage, die man nicht so ohne Weiteres beantworten kann. Doch die aktuellen Tendenzen und Entwicklungen an unserer traditionsreichen Alma Mater Freibergensis erlauben es, eine Prognose zu wagen. Unsere Ressourcenuniversität hat nämlich einige gute Lösungen für entscheidende Probleme und Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu bieten. Das Stichwort heißt Kreislaufwirtschaft und stand auch im Mittelpunkt unseres diesjährigen BHT Universitätsforums. Auch in diesem Heft werden einige interessante Ansätze vorgestellt. Exemplarisch möchte ich nur auf das Umwelt-Verbundprojekt „rECOMine“ verweisen. Mit Hilfe des Projekts „rECOMine – Ressourcenorientierte Umwelttechnologien für das 21. Jahrhundert“ des EIT RawMaterials – Regional Center Freiberg sollen die Kompetenzen im Bereich der Umwelttechnologien innerhalb der Montanregion Erzgebirge gebündelt werden. Dafür wollen die Partner gemeinsam Lösungen entwickeln, um bestehende Altlasten gleichzeitig als Rohstoffquelle nutzen zu können. Auf längere Sicht sollen die im regionalen Kontext entstandenen Lösungen dann am Weltmarkt etabliert werden.

Auch Klimawandel und Energiewende sind wichtige gesellschaftliche Kernthemen, mit denen sich die Freiburger Wissenschaftler beschäftigen. Hierfür haben sie ein jahrhundertealtes Fundament der Beschäftigung mit den natürlichen Ressourcen unserer Erde an der Bergakademie. Wer aus solchen akademischen Ressourcen schöpfen kann, kommt schon mal auf originellere und weitreichendere Ideen als andere.

Die erneute Platzierung unserer Hochschule auf einem der vordersten Plätze im QS World University Ranking 2018 (weltweit Platz vier im Bereich Bergbau) ist ein Zeichen für die internationale Wertschätzung der Freiburger Bergakademie. Auch die vielfältigen internationalen Beziehungen, die unsere Institution weltweit pflegt, und die hohe Zahl ausländischer Studierender (inzwischen ein Viertel) spricht für sich. Gerade unsere elf internationalen Masterstudiengänge erfreuen sich großer Beliebtheit. Mit unseren Wissenschaftskontakten in Krisenländern wie der Ukraine, dem Irak oder Afghanistan oder in Ländern mit starkem wirtschaftlichem Entwicklungspotenzial, wie z. B. der Mongolei, leisten wir als Universität auch einen wichtigen Beitrag zu einer friedenssichernden Außenpolitik unseres Landes. Dessen sollten wir uns stets ausreichend bewusst sein.

Daher beteiligen wir uns auch ganz selbstverständlich an der bundesweiten Aktion der Hochschulrektorenkonferenz „Weltoffene Hochschulen – Gegen Fremdenfeindlichkeit“. Die HRK-Mitglieder reagieren damit auf rassistisch motivierte verbale und physische Gewalt in Deutschland und auf Abschottungstendenzen in etlichen Staaten Europas und der übrigen Welt, darunter den USA. Auch in Freiberg gibt es hierzu unterschiedliche Meinungen. Doch nur eine Hochschule, die international denkt und handelt, ist zukunftsfähig. Ein internationaler Campus und die internationale Mobilität von Lehrenden und Lernenden sind daher essenzielle Grundlagen für qualitativ hochwertiges Lehren, Lernen und Forschen.

Ich freue mich, dass es uns immer wieder gelingt, eine solche Atmosphäre an der TU Bergakademie zu schaffen und mit Leben zu erfüllen.

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

Das Neue Berggeschrey

Vom Silberfund in Freiberg zum Erzbergbau mit Weltrang

Bernhard Cramer¹

Im Jahr 2018 begeht die Stadt Freiberg das Jubiläumsjahr „Silberrausch“ anlässlich der urkundlichen Ersterwähnung des Ortsnamens Freiberg vor 800 Jahren und des ersten Silberfundes im heutigen Stadtgebiet vor 850 Jahren. Dieser Silberfund im Jahre 1168 in der damaligen Siedlung Christiansdorf gilt heute als Startpunkt der dynamischen Entwicklung der Stadt Freiberg und des Erzbergbaus in der Region insgesamt. Seither sind Wirtschaft, Kultur, Wissenschaft und die Gesellschaft Sachsens eng an die Entwicklung des Erzbergbaus gebunden.

In den nachfolgenden Jahrhunderten erlebte der Bergbau in der Region eine wechselvolle Geschichte: Immer wieder beschleunigt und ausgebaut durch Neufunde, durch steigenden oder wechselnden Rohstoffbedarf, durch staatliche Förderung und Kontrolle oder durch technologische Innovationsschübe wurde der sächsische Bergbau phasenweise auch gebremst oder unterbrochen durch politische oder wirtschaftliche Krisen, Kriege oder bergbautechnische Probleme. So erlebte der Erzbergbau in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts mit einer rasanten Entwicklung im oberen Erzgebirge ein zweites wichtiges Berggeschrey.

Das so benannte „Dritte Berggeschrey“ begann nach dem 2. Weltkrieg mit dem extensiven Bergbau auf Uranerz durch die Sowjetische Aktiengesellschaft (SAG), später Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft (SDAG) Wismut. Im Zuge der Autarkiebestrebungen der DDR ging in Sachsen außerdem Bergbau auf verschiedene Buntmetallerze, wie z. B. Blei, Zink, Zinn, Wolfram sowie Fluss- und Schwerspat um. Damit wurde in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts der Staatsbergbau auf Uran, Erz, Braun- und Steinkohle ein bestimmendes wirtschaftliches Element in weiten Teilen Sachsens. In dieser Zeit wurde Erkundungs- und Gewinnungsbergbau in einer nie dagewesenen Intensität betrieben. Bis heute rangiert die DDR bei der Urangewinnung mit rund 216.000 t im Weltmaßstab auf Rang drei der Produktionsländer. Mit rund 115.000 t Uran stammt mehr als die Hälfte davon aus sächsischen Lagerstätten.

Mit der Wiedervereinigung brachen weite Bereiche dieses Bergbaus zusammen. Schließlich wurde mit der Einstellung der letzten verbliebenen Zinn-Bergwerke 1991 in Ehrenfriedersdorf und 1992 in Altenberg und der beiden letzten Spatgruben 1991 in Brunndöbra und Schönbrunn die Jahrhunderte währende Kontinuität des Erz- und Spatbergbaus in Sachsen unterbrochen. Damit war gerade im Erzgebirge die Landschaft durch die offenen gelassenen Bergwerke, durch Halden und andere bergbauliche Hinterlassenschaften geprägt. So konzentrierten sich die



Foto: Thomas Kruse/Photographisches

untertägigen Arbeiten im Erzgebirge in den nachfolgenden zwei Jahrzehnten auf die Sanierung der nicht ordnungsgemäß abgeschlossenen Abbautätigkeiten und auf die Abwehr von Gefahren aus dem Altbergbau. Der heimische Bergbau auf Erz und Spat war für die Wirtschaft als Option zur Sicherung der Rohstoffe aus dem Blickfeld geraten.

Die Wiederbelebung des Erz- und Spatbergbaus

Mit dem Erliegen des Erz- und Spatbergbaus nach der Wiedervereinigung waren die Lagerstätten im Erzgebirge, im Vogtland und im Lausitzer Bergland bei weitem nicht erschöpft. Hochwertige Erzvorkommen wie die Kupferschiefer der

Lausitz (Spieth, 2016) oder die Seltenen-Erden-Lagerstätte bei Delitzsch (Krüger et al., 2013) sind bis heute unverritz. Vor der Wiedervereinigung waren die Geologie und die Lagerstätten in ganz Sachsen, speziell im Erzgebirge, sehr aufwändig und präzise untersucht worden (Kleeberg et al., 2017). Im Ergebnis waren viele Lagerstätten exakt erfasst und Vorräte bewertet. Zusätzlich gelten bis heute Teile des Erzgebirges, hier insbesondere auch der tiefere Untergrund, als sehr höffig und nach wie vor als noch nicht ausreichend oder gar nicht erkundet. Der Freistaat Sachsen verfügt somit auch aktuell noch über beachtliche Vorräte an Spaten und Erzen. So wird das Erzgebirge beispielsweise als eine der weltweit höffigsten Regionen für Indium angesehen (Seifert & Sandmann, 2006).

Mit Beginn des 21. Jahrhunderts zeigte sich weltweit ein rasantes Wirtschaftswachstum. Getrieben durch technologische Entwicklungen wie die zunehmende Digitalisierung und neue Wege der Energieumwandlung und des Energietransports wächst der Bedarf an Metallrohstoffen und werden auch bislang technisch noch wenig eingesetzte Metalle zunehmend wichtig und nachgefragt. Gleichzeitig sind aber nicht ausreichend Bergbaukapazitäten am Markt, die in der Lage sind, den neuen und steigenden Metallbedarf durch bergbauliche Gewinnung und Aufbereitung abzudecken. In Folge war ab 2003 weltweit ein rasanter Preisanstieg bei einer Vielzahl international gehandelter mineralischer Rohstoffe zu verzeichnen. Mit diesen finanziellen Anreizen flammte das Interesse explorierender Unternehmen auch an den Erz- und Spatvorkommen in Sachsen neu auf. Bereits 2006 ging im Sächsischen Oberbergamt ein erster Antrag auf die Erkundung einer Erzlagerstätte, hier die Lagerstätte Pöhla-Globenstein, ein. In den Jahren danach hat Sachsen einen regelrechten Ansturm auf seine Erz- und Spatlagerstätten erlebt.

Die seit 2006 neu erteilten Bergbauberechtigungen auf Erze und Spate überdecken mit dem westlichen und mittleren Erzgebirge, mit dem Vogtland, einem Teil des Lausitzer Berglandes

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

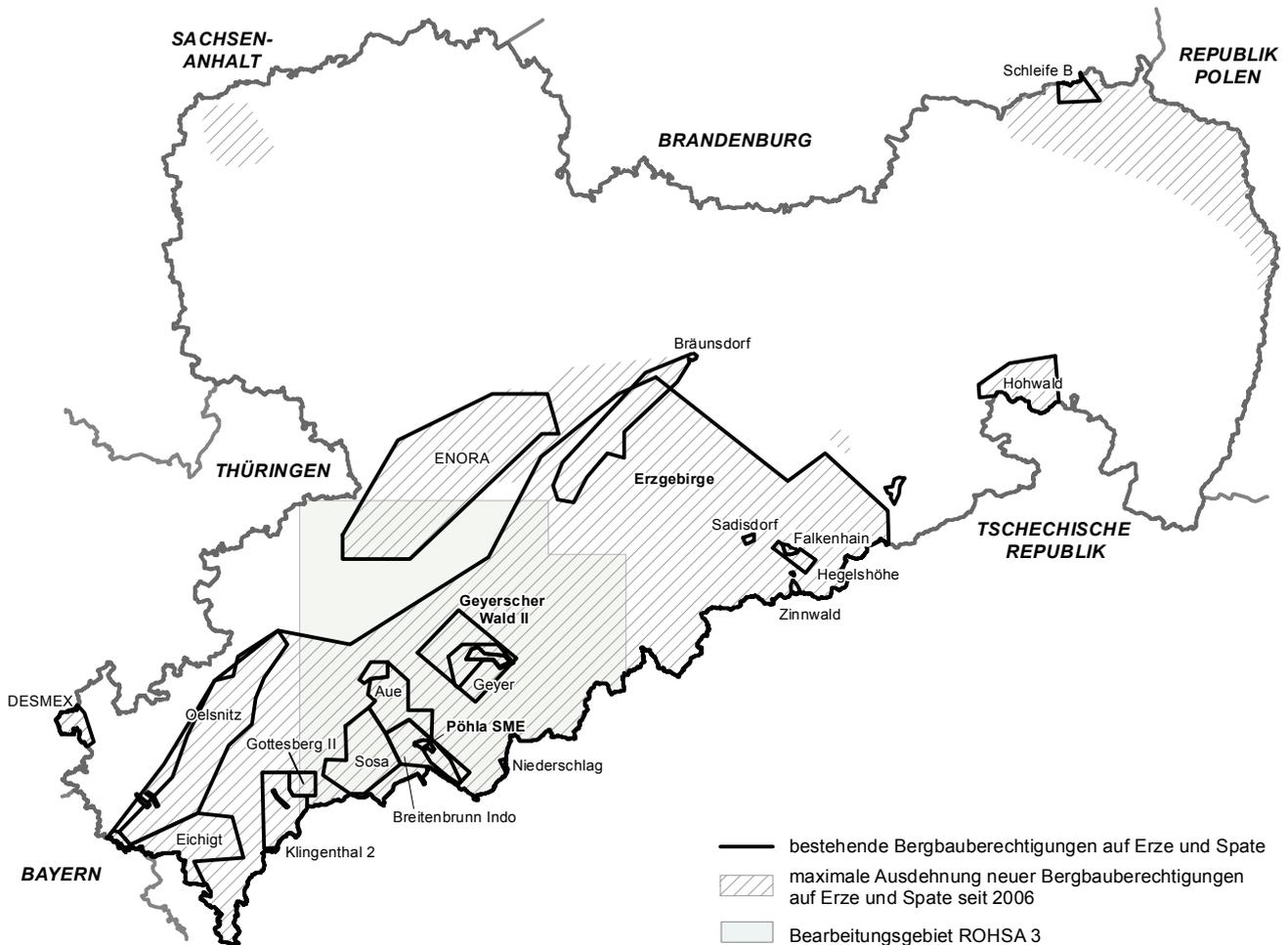


Abbildung 1: Aktuelle Berechtsamskarte für Bergbauvorhaben Erze und Spate sowie maximale Ausdehnung der neuen Bergbauberechtigungen im Freistaat Sachsen seit 2006. Dargestellt ist zudem die Begrenzung des aktuellen Bearbeitungsfeldes des Projekts ROHSA 3. Stand der Berechtsamskarte und des Projekts ROHSA 01.07.2018.

und den Gebieten um die Seltene-Erden-Lagerstätte Delitzsch sowie die Kupferschiefervorkommen der Lausitz mehr als ein Drittel der Fläche des Freistaates Sachsen (Abb. 1). Im Erzgebirge konzentriert sich die Aktivität der Bergbauunternehmer im Zuge der neuen Projekte bisher insbesondere auf Vorkommen von Zinn, Wolfram, Flussspat und Lithium (Cramer, 2018).

Insgesamt wurden in den letzten zwölf Jahren 46 Erlaubnisse zur Aufsuchung von Bodenschätzen und vier Bewilligungen zur Aufsuchung und Gewinnung erteilt sowie ein Bergwerkseigentum verliehen. Die Erlaubnis gewährt das ausschließliche Recht zur Aufsuchung (§ 7 BBergG) und die Bewilligung das ausschließliche Recht zur Gewinnung der Bodenschätze und damit zur Errichtung und zum Betrieb der erforderlichen bergbaulichen Anlagen (§ 8 BBergG). Das Bergwerkseigentum nach § 9 BBergG gewährt die gleichen Rechte wie die Bewilligung und eröffnet zudem die unabhängig vom Grundeigentum grundstücksgleiche Beleihungsfähigkeit. Mit einer gültigen Bergbauberechtigung unterliegen die Vorhaben den weiteren Regelungen des Bundesberggesetzes und unterstehen im Freistaat Sachsen der Aufsicht des Oberbergamts in Freiberg.

Die enge Verknüpfung des weltweiten Metallbedarfs mit dem wiederauflebenden bergbaulichen Interesse an den sächsischen Lagerstätten zeigt sich an der signifikanten Korrelation der jährlich in Sachsen erteilten Bergbauberechtigungen auf Erz- und Spatvorkommen mit den Weltmarktpreisen für Metallrohstoffe.

Abbildung 2 bietet einen Eindruck dieses Zusammenhanges, wobei hier als Maß für die Preise an den internationalen Metallmärkten der BGR-Preisindex MPI für metallische Rohstoffe (BGR, 2007) dargestellt ist. In Jahren steigender und sehr hoher Preise wie 2007, 2011, 2012 und 2017 erteilte das Sächsische Oberbergamt mit jeweils sieben bzw. neun Bergbauberechtigungen die bislang höchste Anzahl seit der Wiedervereinigung. Als 2008 und zwischen 2013 und 2016 die Weltmarktpreise vieler Metallrohstoffe massiv einbrachen, ergingen in Sachsen auch signifikant weniger Anträge auf Berechtsamserteilung (Abb. 2). Die dennoch anhaltende Aktivität der explorierenden Bergbauunternehmen auch in Jahren geringerer finanzieller Attraktivität weist auf die Verstetigung dieser als „Neues Berggeschrey“ benannten Phase im Erz- und Spatbergbau Sachsens hin.

Im Ergebnis der Dynamik aus Genehmigung, Finanzierung und kontinuierlicher Prüfung der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit der Vorhaben erreichen die Erkundungsprojekte in Sachsen sehr unterschiedliche Stadien. So wurden durch die Unternehmer nach anfänglichen Aktivitäten zahlreiche der seit 2006 erteilten Berechtigungen über die Jahre wieder zurückgegeben, vom Oberbergamt widerrufen oder liefen fristgerecht aus, wenn der Unternehmer keine Basis für eine Weiterführung der Aufsuchungsarbeiten sah. Andere Projekte haben sich erfolgreich entwickelt und schreiten in der Erkundung voran. In vielen Vorhaben änderten sich zudem die Rechtsverhältnisse

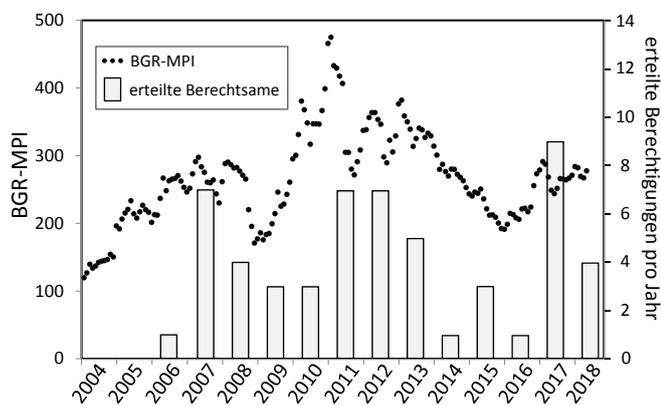


Abbildung 2: Vergleich der jährlichen Anzahl der erteilten Bergbauberechtigungen für Erz- und Spatbergbau im Freistaat Sachsen sowie des BGR-Preisindex MPI für metallische Rohstoffe (BGR, 2007) als Maß für die Entwicklung auf den internationalen Metallmärkten (BGR, 2018) von 2000 bis Mitte 2018 (Cramer, 2018).

der Erkundungsträger durch Neugründung und Umfirmierung genauso wie durch Übertragung und Verkauf der Gesellschaftsanteile. Im Wechselspiel der Neuerteilung, der Verlängerung und des Erlöschens hatten in den vergangenen Jahren durchgehend zwischen 15 und 20 neue Bergbauberechtigungen Bestand.

Bis heute sind mit den Vorhaben Pöhla (SME) der Saxony Minerals & Exploration AG und Zinnwald der Deutschen Lithium GmbH zwei der seit 2006 neu begonnenen Projekte sehr weit entwickelt worden. Im Feld Pöhla-SME hält die Saxony Minerals & Exploration-SME-AG seit 2012 eine bergrechtliche Bewilligung (Abb. 1). Auf Basis eines Hauptbetriebsplans „Erkundungsbergbau Pöhla“ wird aktuell ein Schacht zur Gewinnung von Großproben aus der Lagerstätte für großtechnische Aufbereitungsversuche abgeteuft. Im Lithium-Vorhaben Zinnwald erhielt die SolarWorld Solicium GmbH 2011 und 2012 die bergrechtlichen Erlaubnisse für die Felder Zinnwald und Zinnwald-Nord. In den Folgejahren wurden anhand von Bohrungen sowie Erz-Beprobungen und -Untersuchungen intensive Erkundungsarbeiten durchgeführt. Im Ergebnis dieser Arbeiten erteilte das Sächsische Oberbergamt der Deutschen Lithium GmbH als Nachfolgeunternehmen der Solarworld Solicium am 12. Oktober 2017 die bergrechtliche Bewilligung für das Feld Zinnwald. Aktuell wird die Einreichung des Rahmenbetriebsplans für das Bergbauvorhaben vorbereitet.

Mit der Flussspatgrube in Niederschlag der Erzgebirgischen Fluss- und Schwerspatwerke GmbH hat sich ein erstes neues Bergwerk als Gewinnungsbetrieb etabliert. Die Erzgebirgische Fluss- und Schwerspatwerke GmbH (EFS) hat im Bewilligungsfeld der Uranerz-Baryt-Fluorit-Lagerstätte Niederschlag im November 2013 das erste neue Bergwerk zur Gewinnung von Flussspat und Schwerspat inklusive der mechanischen Aufbereitung untertage eröffnet. Am Standort der Nickelhütte Aue wurde dazu die Nassaufbereitung eingerichtet. Seit 2015 läuft die Gewinnung und Aufbereitung im Regelbetrieb mit einer Produktion von rund 20.000 bis 25.000 t Säurespat pro Jahr.

Die Sächsische Rohstoffstrategie

Die sächsische Staatsregierung hat 2012 eine Rohstoffstrategie für den Freistaat Sachsen beschlossen, mit der die Entwicklung hin zu einem neuen Erz- und Spatbergbau aktiv unterstützt wird. Mit dem Titel „Rohstoffwirtschaft – eine Chance für den Freistaat Sachsen“ sind hier konkrete Handlungsstränge in acht

Leitlinien und Zielen festgelegt (SMWA, 2012). Als primäres Ziel definiert diese Strategie, dass Sachsen auch zukünftig Bergbauland bleibt. Dazu sollen die Rahmenbedingungen für den heimischen Bergbau so gestaltet werden, dass ein wirtschaftlicher Abbau nachhaltig gewährleistet ist.

Eine wesentliche Grundlage für die erfolgreiche Neuerschließung eines Bergbaureviere ist die Verfügbarkeit von Daten zur Geologie, zu den Lagerstätten, den Rohstoffen und zum Bergbau. Im Ergebnis ihrer neuen Explorationstätigkeiten hatten Bergbauunternehmen und Investoren bereits frühzeitig auf die sehr gute Qualität und das Potenzial der vorhandenen Daten und Informationen zu den Erzlagerstätten als wichtiges Kriterium für ein unternehmerisches Engagement bei der Rohstofferkundung in Sachsen hingewiesen. Nach der Wiedervereinigung waren allerdings viele Archive aus DDR-Beständen nicht zentral zusammengeführt worden. Die Datenbereitstellung für den neuen Erz- und Spatbergbau war so nicht effizient geregelt. Zudem stand die Befürchtung im Raum, dass wichtige Informationen unwiederbringlich verloren gehen. In Konsequenz wurde im Rahmen der Sächsischen Rohstoffstrategie das Projekt ROHSA 3 initiiert. Ziel von ROHSA 3 ist es, sächsische Rohstoffinformationen, die deutschlandweit in verschiedenen Archiven vorhanden sind, möglichst umfassend zu erschließen und den Bergbauunternehmen und der Wissenschaft online verfügbar zu machen. Dazu sollen die Daten und Unterlagen recherchiert, physisch gesichert, fachlich aufgearbeitet und digitalisiert werden, um einen zeitgemäßen Zugang zu Daten und Informationen zu ermöglichen. Durch die damit gegebenen Möglichkeiten der Neubewertung der Rohstoffhoffigkeit und der Identifikation von sinnvollen Prospektionsgebieten sollen so potenzielle Investoren für den Wiedereinstieg in den Erz- und Spatbergbau gewonnen und unterstützt werden (Kleeberg et al., 2018).

Im Projekt ROHSA 3 wurde bislang das Zentrale Erzgebirge mit einem Gebiet von insgesamt 2840 km² bearbeitet (Abb. 1). In den kommenden Jahren werden die Lagerstättendaten auf der gesamten Fläche des Freistaates Sachsen aufgenommen.

Literatur

- Cramer, B. (2018): Neuer Sächsischer Erz- und Spatbergbau im 21. Jahrhundert: EDGG, 260: 77-86.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR (2007): Bundesrepublik Deutschland Rohstoffsituation 2006. - Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Band XXXVI, 224 S.: 32 Abb., 95 Tab.; Hannover.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR (2018): https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Produkte/MPI/mpl_inhalt.html;jsessionid=6349E323898E924EAB2FADBCFOCAC23F2_cid321?nn=1542306
- Kleeberg, K., Franke, D. & B. Cramer (2017): Sächsische Rohstoffdaten – Schätze für die Bergbauindustrie. - Bergbau, 10/2017: 465-468.
- Kleeberg, K., Cramer, B. & D. Franke (2018): Projekt ROHSA 3.- AT Mineral Processing, Vol. 59, 01-02/2018: 60-64.
- Krüger, J. C., R. L. Romer & H. Kämpf (2013): Late Cretaceous ultramafic lamprophyres and carbonatites from the Delitzsch Complex, Germany.- Chemical Geology, 353: 140-150.
- Seifert, T. & D. Sandmann (2006): Mineralogy and geochemistry of indium-bearing polymetallic vein-type deposits: Implications for host minerals from Freiberg district, Eastern Erzgebirge, Germany. - Ore Geology Reviews, 28: 1-31.
- Spieth, V. (2016): Copper-Silver-Gold deposits: Germany's world class potential in the 21st century.- World of Metallurgy - ERZMETALL 69/1: 38-49.
- Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, SMWA (2012): http://www.bergbau.sachsen.de/download/2017_12_06_SMWA_BR_Rohstoffstrategie_dt_WEB.pdf

Neues Wissen zur Metallogeneese im Freiburger Revier: 850 Jahre nach dem Silberfund – und (k)ein bisschen klüger?

Mathias Burisch¹, Matthias E. Bauer¹, Max Frenzel^{1,2}, Anthea Hartmann¹, Christin Kehrer³,
Jörg Ostendorf¹, Thomas Seifert¹ und Jens Gutzmer^{1,2}

Einleitung

Im Jahr 2018 feiert die Stadt Freiberg das 850. Jubiläum des ersten Silberfundes im Jahre 1168. Dieses Ereignis gilt als Auslöser für den intensiven Bergbau im Freiburger Distrikt, der von 1168 bis 1969 andauerte. Trotz des langanhaltenden Silberabbaus ist das Ressourcenpotenzial des Freiburger Distrikts keineswegs erschöpft, da die meisten Bergbaubetriebe nicht aufgrund der Erzvorräte, sondern aus technischen, ökonomischen oder auch politischen Faktoren eingestellt wurden. Die aktuelle Explorationstätigkeit der Firma Globex Mining Inc. in den nördlichen Randgebieten verdeutlicht dieses Potenzial (<http://www.globexmining.com>).

Neben dem Bergbau und der damit verbundenen sozio-ökonomischen Bedeutung für die Region war der Silberbergbau maßgeblicher Grund für die Gründung der TU Bergakademie Freiberg (TU BAF) im Jahr 1765. Auch die Entstehung der Lagerstättenforschung als wissenschaftliche Fachrichtung ist letztlich eine Konsequenz des ersten Silberfundes. Speziell in Bezug auf die Lagerstättenforschung im Freiburger Distrikt sind Werner (1791), Breithaupt (1849), von Cotta (1850), Müller (1901) und Baumann (1965) zu nennen, wobei von Cotta (1850) das weltweit erste Buch zur Lagerstättenforschung als Fach- und Lehrbuch verfasste. Ohne die Leistung dieser Vorreiter schmälern zu wollen, sind deren Arbeiten überwiegend beschreibend, was dem damaligen Kenntnisstand und den begrenzten analytischen Möglichkeiten entsprach. Gerade weil viele der Bergwerke heute nicht mehr für die Beprobung zugänglich sind, bilden diese beschreibenden Arbeiten dennoch ein essenzielles Fundament des Wissens für moderne Forschungsprojekte. Ziel aktueller Forschungsarbeiten ist es,

die geologischen Bildungsbedingungen (Druck, Temperatur, Zusammensetzung der erzbildenden hydrothermalen Lösungen), die Bildungsprozesse (Quelle, Transport und Ausfällung) und die absolute Alter der jeweiligen Mineralisationsphasen genauer zu bestimmen. Es sind eben diese Kenntnisse, die dazu dienen, genetische Modelle für den Freiburger Distrikt zu entwickeln. Letztere sind die Grundlage für eine erfolgreiche Neubewertung und Neuerkundung von Ressourcen (McCuaig et al., 2010; Occhipinti et al., 2016).

Die Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie der TU Bergakademie Freiberg und das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie haben mehrere gemeinsame Forschungsprojekte ins Leben gerufen, die die eklatanten Wissenslücken zur Genese des Freiburger Distrikts schließen sollen. Mit sorgfältig angelegten Studien und modernen Analyseverfahren soll das Verständnis der Entstehung der Freiburger Gänge auf einen aktuellen Forschungsstand gebracht werden. Konkret wird dabei ein starker Fokus auf die Analyse von Flüssigkeitseinschlüssen, Haupt- und Spurenelementanalysen von Erzmineralen und die Altersbestimmung von Erz- und Begleitmineralen (radiogene Isotopenanalysen) gelegt.

Geologie

Die Freiburger Graugneise sind die dominante Lithologie im Freiburger Distrikt (*Abb. 1*) und bilden eine ca. 35 × 30 km große elliptische Struktur, die als Freiburger Gneiskuppel bezeichnet wird. Aufgrund ihres Mineralgehalts kann diese in zwei Einheiten unterteilt werden. Die untere Graugneisstufe bildet den Kern der Gneiskuppel und ist aus Meta-Granodioriten hervorgegangen (Tichomirowa et al., 2012), wohingegen Gesteine der oberen Gneisstufe, die in den äußeren Bereichen der Gneiskuppel vorkommen (*Abb. 1*), aus Metasedimenten entstanden sind (Tichomirowa et al., 2012). Der Übergang zwischen den beiden Einheiten ist graduell. Mittel- bis grobkörnige Biotit-Plagioklas Gneise sind typisch für die untere Gneisstufe. Im Gegensatz dazu

führen die Gesteine der oberen Gneisstufe zusätzlich Muskovit und enthalten insgesamt einen höheren Anteil an Glimmern (Baumann, 1965). Im Süden und im Westen werden die Graugneise scharf von Rotgneisen abgegrenzt. Im Nordwesten, Norden und Osten werden die Graugneise von Phylliten und Glimmerschiefern umhüllt. Weiterhin werden die Gesteine der Freiburger Gneiskuppel durch syn- und post-kollisionale Magmatite (Granite, Rhyolithe, und Lamporphyre) intrudiert bzw. durchschlagen (Baumann et al., 2000; Seifert, 2008). Unzählige Störungen durchsetzen die Gneiskuppe, von denen mehr als 1.000 als hydrothermale Erzgänge ausgebildet sind (Müller, 1901).

Charakteristik und Verbreitung verschiedener Mineralisationstypen im Freiburger Distrikt

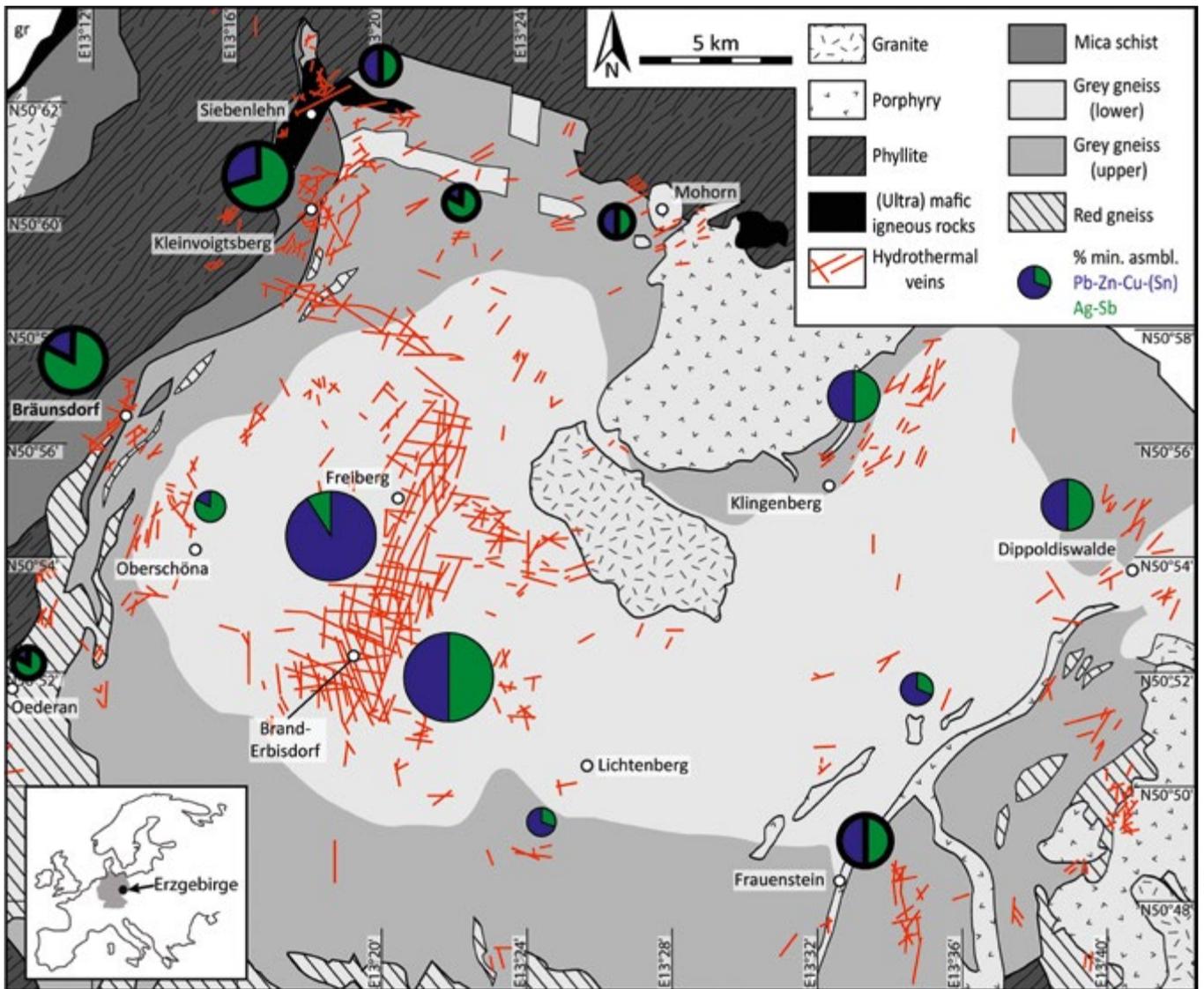
Die relevanten Mineralisationen im Freiburger Distrikt sind durch hydrothermale Prozesse entstanden. Das bedeutet, dass die ausgefallenen Wertelemente in heißen, wässrigen Fluiden transportiert wurden und – durch Änderungen der physikalisch-chemischen Bedingungen – vorwiegend auf Störungen abgeschieden wurden (hydrothermale Ganglagerstätten). Die Abscheidung erfolgte in aufeinanderfolgenden Phasen, wobei jede dieser hydrothermalen Phasen zu einer anderen, charakteristischen Mineralogie auf den Gängen geführt hat (= Paragenese) – diese wurde im Freiburger Distrikt als „Gangformationen“ bezeichnet. In diesem Beitrag verwenden wir den besser passenden Begriff Paragenese, der 1849 von Breithaupt eingeführt wurde. Breithaupt (1849), Müller (1901) und Baumann (1958, 1965) haben insgesamt sieben dieser Gangparagenesen anhand von petrographischen Untersuchungen definiert. Im Folgenden soll lediglich näher auf die Paragenesen eingegangen werden, die aus wirtschaftlicher Sicht relevant waren (und wieder werden könnten!).

Die älteste wirtschaftlich signifikante Gangparagenese wurde bereits von Müller (1901) als Kiesig-blendige-Bleierz-Paragenese (kb) bezeichnet und besteht aus mehreren Abfolgen von Zn-Pb-Cu-Fe-Sulfiden, die

1 Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie, TU Bergakademie Freiberg, Brennhaushausgasse 14, 09599 Freiberg

2 Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Helmholtz Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, Chemnitz Straße 40, 09599 Freiberg

3 Geowissenschaftliche Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg, Brennhaushausgasse 14, 09599 Freiberg



Quelle: Burisch et al., 2018 und enthaltene Referenzen

Abbildung 1: Geologische Übersichtskarte des Freiburger Silberdistrikts mit den wichtigsten hydrothermalen Gängen (rote Linien). Die relativen Häufigkeiten von Pb-Zn-Cu-(Sn)-Gängen (kb; blau) und Ag-Sb-Gängen (eb; grün) sind als Kreisdiagramm dargestellt. Das Auftreten eigenständiger Sb-Sulfide ist mit einer dicken Umrandungslinie der Kreisdiagramme gekennzeichnet.

vorrangig von Quarz als Gangart begleitet werden (Abb. 2; Baumann et al., 2000; Seifert und Sandmann, 2006; Bauer et al., 2018). Darauf folgt die Edle-Braunspat-Paragenese, die sich durch einen sehr hohen Silbergehalt auszeichnet. Neben den Pb-Zn-Cu-Sulfiden treten in dieser Gangparagenese die wirtschaftlich wichtigen Ag-Sb-Sulfide/Solfosalze (Abb. 2; Freibergit, Miargyrit, Pyrrargyrit und viele weitere) und vereinzelt Stibnit sowie untergeordnet weitere Sb-Sulfide auf. Als dominante Gangart kommen im starken Kontrast zur paragenetisch älteren kb-Paragenese verschiedene Karbonate vor.

Als jüngste der wirtschaftlich signifikanten Gangparagenesen ist die Fluorit-Baryt-Paragenese (fba) zu nennen. Wieder treten Zn-Pb-Cu-Sulfide auf (Abb. 2). Jedoch kommen diese mit multiplen Abfolgen von Baryt und Fluorit vor, was die Gänge deutlich in ihrer Erscheinung von den älteren Paragenesen unterscheidet.

Zusätzlich zur relativen Altersbeziehung der

Gangparagenesen gibt es Unterschiede in der räumlichen Verteilung der jeweiligen Gangparagenesen innerhalb des Freiburger Distrikts. So tritt die älteste kb-Paragenese bevorzugt auf N-S streichenden Gängen im zentralen Teil des Distrikts auf (Freiberg). Die paragenetisch jüngere eb-Paragenese tritt bevorzugt im südlichen Teil des Zentraldistrikts (Brand-Erbisdorf) und in den äußeren Sektoren (Bräunsdorf, Kleinvoigtsberg etc.) – meistens zusammen mit der kb-Paragenese – auf (Baumann et al., 2000; Burisch et al., 2018). Eine generelle Zunahme der kb-Paragenese innerhalb dieser Gänge mit zunehmender Teufe wurde von Müller (1901) und Baumann (1965) berichtet. Die fba-Paragenese kommt vorzugsweise auf WNW-ESE verlaufenden Störungen vor.

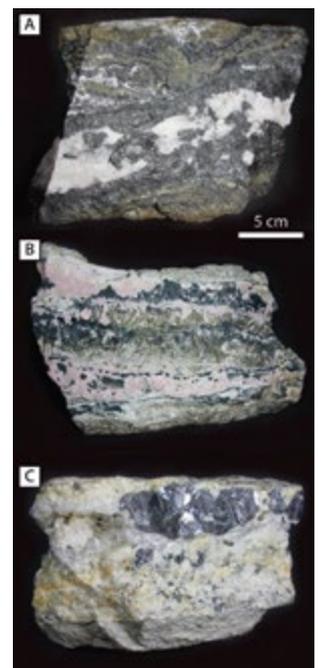


Abbildung 2:
A) Polymetallische-Quarz-Paragenese (kb). **B)** Silber-Sb-Karbonat-Paragenese (eb). **C)** Fluorit-Baryt-Paragenese (fba)

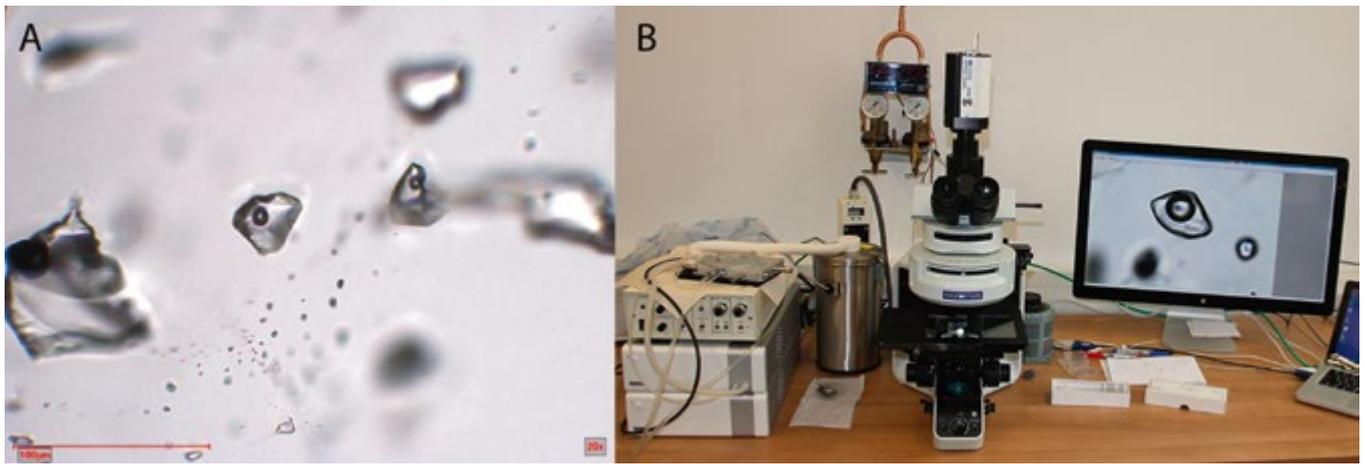


Abbildung 3: A) Flüssigkeitseinschlüsse in Quarz B) Heiz-Kühltischmikroskop Linkham THMSG 600 an der Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie der TU BAF

Vor allem im Bereich Halsbrücke tritt diese Gangparagenese besonders dominant auf. In allen Paragenesen, aber hauptsächlich in der eb-Paragenese, kann durch nachträgliche hydrothermale Umlagerungen von Ag-haltigen Sulfiden blech- und lockenförmiges gediegenes Silber entstehen (Burisch et al., 2017).

Methodik

Die letzten vertieften Betrachtungen zur Architektur und Genese der Gänge im Freiburger Distrikt liefern die Arbeiten von Baumann (1958 und 1965) – Arbeiten, die den Stand des Wissens kurz vor der letzten Schließung des aktiven Bergbaus im Jahr 1969 dokumentieren. Seit dieser Zeit hat sich das Verständnis lagerstättenbildender Prozesse grundsätzlich verändert, und es stehen analytische Werkzeuge zur Verfügung, die tiefere Einblicke in diese Prozesse geben können. Im Rahmen aktueller Forschungsarbeiten kommt eine Reihe dieser Methoden zum Einsatz.

Fluideinschlussuntersuchungen

Flüssigkeitseinschlüsse (FE) sind zu meist winzig kleine (ca. 0.005 bis 0.2 mm), im Wirtsmaterial eingeschlossene Mengen eines Flüssigkeits-Gas-Gemischs, welches während der Bildung des Wirtsmaterials vorgeherrscht hat (Abb. 3A). Der Salzgehalt (Salinität) und die Bildungstemperatur dieser Einschlüsse – und damit ihres Wirtsmaterials – können mittels Mikrothermometrie unter dem Lichtmikroskop genau bestimmt werden. Besonders eignen sich hierfür transparente Wirtsmaterialien wie Quarz, Calcit und Fluorit. Die Verwendung einer Infrarotkamera (IR) ermöglicht heutzutage sogar die Analyse von FE in (semi)-opaken Mineralen wie Sphalerit, Stibnit, Kassiterit, Proustite und mehr. Zu diesem Zweck betreibt die Professur für

Lagerstättenlehre und Petrologie ein Heiz-Kühltischmikroskop mit IR Einheit (Abb. 3B). Dieses wurde mit Mitteln des Biohydrometallurgischen Zentrums für strategische Elemente (BHMZ) angeschafft. Das BHMZ ist ein durch die Dr. Erich-Krüger-Stiftung gefördertes Forschungskolleg.

Radiometrische Altersdatierungen

Das Prinzip der Altersbestimmung von Geomaterialien basiert auf dem Zerfall von radioaktiven Nukliden. So zerfällt zum Beispiel ^{87}Rb unter der Aussendung von beta-Teilchen mit einer Zerfallskonstante von $1,3972 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ zu ^{87}Sr . Für die Ermittlung des Alters von geologischen Proben muss also deren genaue Isotopenzusammensetzung bestimmt werden. Dies geschieht nach der nasschemischen Probenbearbeitung in einem Reinraumlabor mithilfe massenspektrometrischer Messungen. Solche Analysen sind am isotopengeochemischen Labor der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover im Rahmen einer Promotion an der TU BAF durchgeführt worden. Hierbei sind Rb-Sr-Alter für Sphalerit der verschiedenen Erzparagenesen des Freiburger Zentralreviers ermittelt worden (Ostendorf et al., 2018).

Mineralchemie

Die Mineralchemie von Sphalerit im Freiburger Distrikt wird im Rahmen verschiedener aktueller Forschungsarbeiten mittels Elektronenstrahlmikrosonde (EMP, am Helmholtz Institut Freiberg für Ressourcentechnologie) und Laserablation – gekoppelt mit induktiv gekoppelter Plasma Massenspektrometrie (LA-ICP-MS, in verschiedenen externen Laboren) – bestimmt (siehe z. B. Bauer et al., 2018). Hierbei wird ein kleines Volumen des zu analysierenden Minerals mit einem

Laser abgetragen. Darauf folgend wird das abgetragene Material in Plasma umgewandelt (Elemente in ionisierter Form). Die im Plasma enthaltenen, ionisierten Elemente werden nach ihrem spezifischen Masse-/Ladungsverhältnis und Energie-/Ladungsverhältnis aufgetrennt, um die jeweiligen Konzentrationen zeitaufgelöst zu bestimmen. Die Methode zeichnet sich durch eine sehr geringe Nachweisgrenze aus. Im Rahmen dieser Publikation wird nur auf die Konzentrationen von In, Ge und Ga in den Sphaleriten der verschiedenen Gangparagenesen des Freiburger Distrikts eingegangen. Alle drei Elemente können grundsätzlich in Sphalerit eingebaut werden und sind unerlässlich für Hochtechnologie-Anwendungen (Seifert und Sandmann, 2006; Frenzel et al., 2017).

Aktuelle Ergebnisse

Für Sphalerit der kb- und eb-Paragenese konnte ein gemeinsames Rb-Sr-Alter von 276 ± 16 Millionen Jahre (Ma) ermittelt werden. Sphalerit der fba-Paragenese ist deutlich jünger, es wurde ein Rb-Sr-Alter von 121 ± 4 Ma bestimmt (Abb. 4).

Flüssigkeitseinschlüsse (FE) in Mineralen der kb- (Sphalerit und Quarz), eb- (Antimonit und Quarz) und fba- (Sphalerit, Fluorit und Quarz) Paragenese konnten mikrothermometrisch analysiert werden. Fluideinschlüsse in Mineralen der kb-Paragenese zeigen niedrige Salinitäten (1 bis 6 % eq. w(NaCl)) und relativ hohe Homogenisierungstemperaturen (T_h) zwischen 325 und 275 °C. In den Quarzen der kb-Paragenese treten co-genetische Gruppen von FE mit sehr wechselhaften Flüssigkeits-/Gasverhältnissen auf. Fluide der eb-Paragenese weisen ebenfalls niedrige Salinitäten (1 bis 5 % eq. w(NaCl)) auf und haben T_h -Werte zwischen 300 und 180 °C. Im Gegensatz zu denen mit der

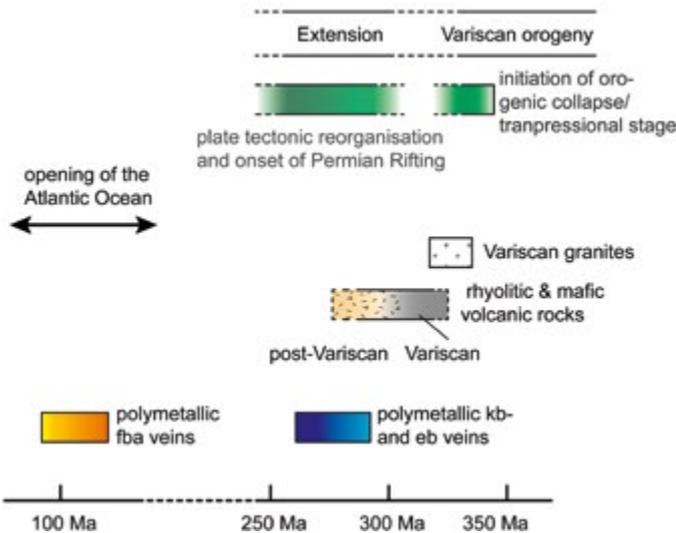


Abbildung 4: Geochronologische Entwicklung des Freiburger Distrikts

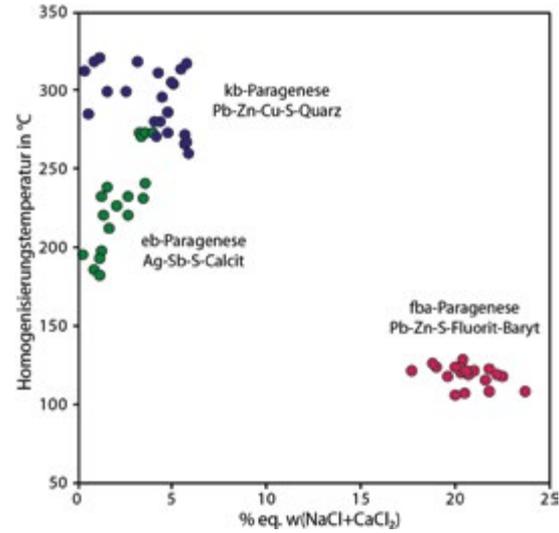
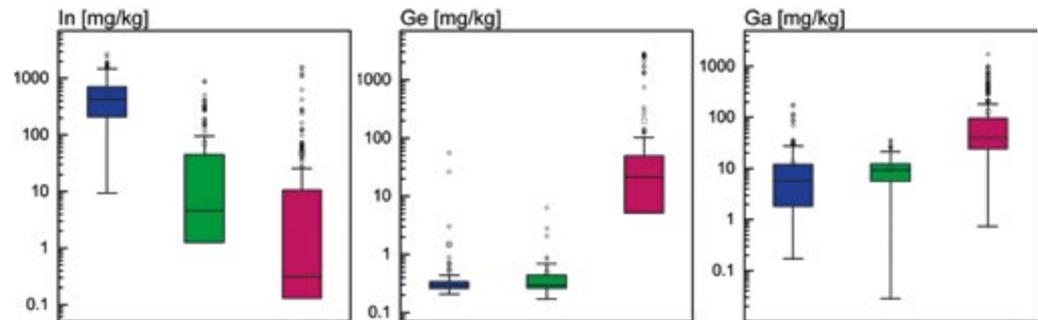


Abbildung 5: Salinität und Homogenisierungstemperatur der gemessenen Flüssigkeitseinschlüsse (Flüssigkeitseinschluss-Vergesellschaftungen; insgesamt 605 Einzelmessungen) der kb- (blau), eb- (grün) und fba-Paragenese (rot)

Abbildung 6: Boxplot für Spurenelementkonzentrationen von In, Ge und Ga in den Sphaleriten der kb- (blau), eb- (grün) und fba-Paragenesen (rot) in logarithmischer Darstellung. Die farbigen Kästen entsprechen dem Konzentrationsbereich der mittleren 50% der Gesamtdaten (Interquartilsabstand IQR) mit der zentralen schwarzen Linie als Gesamtdurchschnitt. Die von den Kästen ausgehenden Antennen entsprechen dem 1.5-fachen des IQR. Extreme Ausreißer sind als separate Punkte dargestellt.



kb- und eb- haben die mit der fba-Paragenese assoziierten Fluide hohe Salinitäten (17 bis 24 % eq. w(NaCl+CaCl₂)) und deutlich niedrigere Th-Werte zwischen 90 und 120 °C.

Sphalerite aus dem gleichen Probenmaterial wurden auf die enthaltenen Mengen an Spurenelementen analysiert. Die Gehalte der Spurenelemente In, Ga und Ge sind innerhalb der verschiedenen paragenetischen Sphaleritgenerationen sehr variabel, weshalb im folgenden Durchschnittswerte verwendet werden. Die paragenetisch ältesten Sphalerite der kb-Paragenese weisen die höchsten durchschnittlichen Indium-Gehalte von ~400 mg/kg auf. Die Sphalerite der eb- und der fba-Paragenesen enthalten dagegen sehr viel niedrigere Durchschnittsgehalte von ~4.5 mg/kg bzw. < 1 mg/kg. Die Konzentrationen von Germanium in Sphalerit dagegen verteilen sich völlig anders, mit Durchschnittsgehalten von < 1 mg/kg für die kb- und eb- und einer Durchschnittskonzentration von 20 mg/kg in der fba-Paragenese. Ähnlich dem Germanium verhält sich das Gallium,

das einen Durchschnitt von 6 mg/kg für kb-Sphalerite, 9 mg/kg für eb-Sphalerite und 40 mg/kg für fba-Sphalerite erreicht (Abb. 6).

Bedeutung der Ergebnisse

Die Rb-Sr Altersdaten der kb- und eb-Paragenese zeigen, dass beide Gangparagenesen zeitlich – und damit wahrscheinlich auch genetisch – sehr eng miteinander verknüpft sind. Das Alter von 276 ± 16 Ma assoziiert das erzbildende Hydrothermalsystem des Freiburger Distrikts mit einer im Perm stattfindenden Phase aktiver Tektonik und damit assoziiertem regional weit verbreitetem Magmatismus (Abb. 4; Ostendorf et al., 2018). Die deutlichen Unterschiede in den Mineralvergesellschaftungen lassen darauf schließen, dass diese beiden Mineralisationsphasen mit relativ raschen Änderungen der physikalisch-chemischen Bedingungen des gleichen Hydrothermalsystems einhergehen. Fluideinschlussdaten (FE) für die kb- und eb-Paragenese bestätigen eindrucksvoll die magmatisch-hydrothermale Affiliation.

Die FE zeigen durchweg niedrige Salinitäten (Abb. 5), variable Temperaturen von 320 bis 180 °C (Abb. 5) und Anzeichen für eine Phasenseparation im Zentralsdrikt. Letzteres lässt sich interpretieren als Beleg für ein Aufkochen (engl. *Boiling*) des erzbildenden Fluids. Daraus lässt sich ableiten, dass Abkühlung durch starke geothermische Gradienten der wichtigste Prozess ist, der zur Bildung der kb-Erze geführt hat. Dies ist sehr typisch für magmatisch-hydrothermale Ganglagerstätten (Epithermal-Lagerstätten; Simmons et al., 2005) und passt sehr gut in das geotektonische System des Erzgebirges während des Perms. Das Fehlen von Phasenseparation innerhalb der FE in den Randbereichen (Bräunsdorf) und die mineralogischen Beschreibungen von Müller (1901) lassen vermuten, dass die Abscheidung des Silbers nicht nur an eng begrenzten „Boilinghorizonten“ stattgefunden hat, sondern sich über eine große Tiefe erstrecken könnte.

Im Gegensatz dazu haben die Erze der fba-Paragenese ein radiometrisches Alter

von 121 ± 4 Ma, welches mit der Öffnung des Nordatlantik, der damit verbundenen tektonischen Extension und der Zirkulation hochsalinärer und niedrig temperierter hydrothermaler Fluide in der mittleren Kreide in Verbindung steht. Die fba-Paragenese könnte damit einen ähnlichen Ursprung wie viele andere Fluorit-Baryt-Vorkommen in Europa haben (z.B. Lüders et al., 1993; Boiron et al., 2010; Burisch et al., 2016; Walter et al., 2016). In der Tat weisen die FE in den Mineralien der fba-Paragenese sehr hohe Salinitäten und niedrige Bildungstemperaturen auf (Abb. 5).

Eine systematische Variation der Na/Ca Verhältnisse und der Salinität der Fluide deutet auf eine Mischung zweier chemisch unterschiedlicher Fluide als wesentlichen Teilprozess im Ausfällungsmechanismus hin. Auch dies ist in gutem Einklang mit den genetischen Modellen vergleichbarer Fluorit-Baryt-Lagerstätten aus dem Schwarzwald oder dem Harz (Lüders et al., 1993; Staude et al., 2011; Bons et al., 2014; Burisch et al., 2018).

Der direkte Vergleich der Spurenelementkonzentration von Sphaleriten mit den jeweils vorherrschenden Fluidbedingungen ermöglicht es, das Verhalten von In, Ge und Ga in unterschiedlichen Hydrothermalsystemen innerhalb des Freiburger Distrikts zu untersuchen. Sphalerit, der mit hoch-temperierten Fluiden assoziiert ist (kb), weist generell höhere Gehalte an Indium auf (Seifert und Sandmann, 2006; Bauer et al., 2018). Obwohl die niedrig-temperierten fba-Fluide sehr hohe Chlorgehalte zeigen, die grundsätzlich den Transport von Indium als Chloro-Komplex begünstigen (Seward et al., 2000), enthalten diese nur wenig In. Mit der allgemeinen Abkühlung des Hydrothermalsystems (vgl. eb- und fba-Paragenese) scheinen auch die durchschnittlichen Indiumgehalte systematisch abzunehmen, was vermuten lässt, dass die hohe Temperatur eines Hydrothermalsystems eine wichtigere Grundvoraussetzung für hohe In-Gehalte als die Salinität darstellt. Die Anreicherung von Ge in der fba-Paragenese im Gegensatz zur kb- und eb-Paragenese deutet darauf hin, dass sich Ge grundlegend anders im Vergleich zu In in hydrothermalen Lösungen verhält. Offensichtlich ist die Temperatur für die Anreicherung von Ge von geringer Relevanz, wohingegen hohe Salinitäten der Fluide die Anreicherung von Ge begünstigen. Gleiches trifft, wenn auch nicht so deutlich ausgeprägt, für Ga zu.

Fazit und Perspektive

Die vorläufigen Ergebnisse der vorgestellten Studien zeigen wie wenig wir über den Freiburger Distrikt aus modernen petrologischen Gesichtspunkten tatsächlich wissen. Auch wenn durch die jüngsten Studien das Verständnis bereits signifikant verbessert wurde, sind viele relevante Aspekte, wie zum Beispiel die Spurenelementkonzentrationen anderer Sulfide und der Erzfluide, die genaue Fluidquelle oder die zu erwartende Teufenerstreckung noch völlig unklar. Immerhin verdeutlichen die aktuellen Ergebnisse das immense wissenschaftliche und wirtschaftliche Potenzial des polystadialen und polymetallischen Freiburger Distrikts. Insbesondere die permischen Mineralisationsstadien (kb- und eb-Gangparagenesen) sind von Interesse, da es sich zweifellos um eines der größten magmatisch-hydrothermalen Gangsysteme Europas handelt, dessen wahres Explorationspotenzial bisher nur in Teilen erfasst worden ist.

Um das System besser verstehen zu können, nahm im August 2018 an der Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie der TU Bergakademie Freiberg eine ESF-Nachwuchsforschergruppe zum Thema „Mineral Systems Analysis“ die Arbeit auf. Im Rahmen dieser Gruppe wird sich eine Dissertation mit der Entstehung der Freiburger Silber-Gänge beschäftigen. Hierbei soll vor allem die Analyse von FE- und Spurenelementen in Sulfiden (Arsenopyrit, Fahlerz etc.) von gut dokumentierten Proben aus verschiedenen Tiefenniveaus im Fokus stehen. Die im Zuge dieses Projekts gewonnenen Daten sollen in enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in der Exploration evaluiert und veröffentlicht werden.

Danksagung: Die Forschung wurde mit Mitteln des Freiburger Biohydrometallurgischen Zentrums für strategische Elemente und mit Unterstützung durch das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie ermöglicht. Wir danken Dr. Uwe Lehmann und Henrik Kaufmann für Anregungen und kritische Fragen. Frau Sabine Gilbricht und Herrn Dr. Krause möchten wir herzlich für die Unterstützung im Labor danken. Auch bei Andreas Bartzsch, Roland Würkert und Michael Stoll möchten wir uns für die schnelle und exzellente Präparation der Proben bedanken.

Referenzen

- Bauer, M., Burisch, M., Ostendorf, J., Krause, J., Frenzel, M., Seifert, T. and Gutzmer, J. (2018)
- 4 https://tu-freiberg.de/mineral_systems_analysis

Trace element geochemistry of sphalerite in contrasting hydrothermal fluid systems of the Freiberg district, Germany: insights from LA-ICP-MS analysis, near-infrared light microthermometry of sphalerite-hosted fluid inclusions and sulfur isotope geochemistry. *Mineralium Deposita*.

- Baumann, L. (1958) Tektonik und Genesis der Erzlagerstätte von Freiberg (Zentralteil). *Freiburger Forschungshefte C 46*, Akad.-Verl., Berlin. 208 Seiten.
- Baumann, L. (1965) Die Erzlagerstätten der Freiburger Randgebiete. *Freiburger Forschungshefte C 188*, 1-216.
- Baumann, L., Kuschka, E. and Seifert, T. (2000) Lagerstätten des Erzgebirges, 1 ed. Enke im Thieme-Verlag, Stuttgart. 300 Seiten.
- Boiron, M. C., Cathelineau, M. and Richard, A. (2010) Fluid flows and metal deposition near basement/cover unconformity: lessons and analogies from Pb-Zn-F-Ba systems for the understanding of Proterozoic U deposits. *Geofluids 10*, 270-292.
- Bons, P.D., Fusswinkel, T., Gomez-Rivas, E., Markl, G., Wagner, T. and Walter, B. (2014) Fluid mixing from below in unconformity-related hydrothermal ore deposits. *Geology 42*, 1035-1038.
- Breithaupt, J.F.A. (1849) Die Paragenese der Mineralien: Mineralogisch, geognostisch und chemisch beleuchtet, mit besonderer Rücksicht auf Bergbau. Engelhardt, Freiberg. 312 Seiten.
- Burisch, M., Walter, B. F., Wälle, M. and Markl, G. (2016) Tracing fluid migration pathways in the root zone below unconformity-related hydrothermal veins: Insights from trace element systematics of individual fluid inclusions. *Chemical Geology 429*, 44-50.
- Burisch, M., Gerdes, A., Walter, B. F., Neumann, U., Fettel, M. and Markl, G. (2017) Methane and the origin of five-element veins: mineralogy, age, fluid inclusion chemistry and ore forming processes in the Odenwald, SW Germany. *Ore Geology Reviews 81*, 42-61.
- Burisch, M., Walter, B. F., Gerdes, A., Lanz, M. and Markl, G. (2018) Late-stage anhydrite-gypsum-siderite-dolomite-calcite assemblages record the transition from a deep to a shallow hydrothermal system in the Schwarzwald mining district, SW Germany. *Geochimica et Cosmochimica Acta 223*, 259-278.
- Burisch, M., Hartmann, A., Bach, W., Krolow, P., Krause, J. and Gutzmer, J. (2018) Genesis of hydrothermal silver-antimony-sulfide veins of the Bräunsdorf sector as part of the classic Freiberg silver mining district, Germany. *Mineralium Deposita*; doi: 10.1007/s00126-018-0842-0
- Frenzel, M., Mikolajczak, C., Reuter, M.A. and Gutzmer, J. (2017) Quantifying the relative availability of high-tech by-product metals - The cases of gallium, germanium and indium. *Resources Policy 52*, 327-335.
- Lüders, V., Gerler, J., Hein, U. and Reutel, C. (1993) Chemical and thermal development of ore-forming solutions in the Harz Mountains: a summary of fluid inclusion studies. *Monogr Ser Miner Depos 30*, 117-132.
- McCuaig, T. C., Beresford, S. and Hronsky, J. (2010) Translating the mineral systems approach into an effective exploration targeting system. *Ore Geology Reviews 38*, 128-138.
- Müller, H. (1901) Die Erzgänge des Freiburger Bergrevieres. W. Engelmann. 336 Seiten.
- Occhipinti, S. A., Metelka, V., Lindsay, M. D., Hollis, J. A., Aitken, A. R., Tyler, I. M., Miller,

- J. M. and McCuaig, T. C. (2016) Multicommodity mineral systems analysis highlighting mineral prospectivity in the Halls Creek Orogen. *Ore Geology Reviews* 72, 86–113.
- Ostendorf, J., Henjes-Kunst, F., Seifert, T. and Gutzmer, J. (2018) Age and genesis of polymetallic veins in the Freiberg district, Erzgebirge, Germany: Constraints from radiogenic isotopes. *Mineralium Deposita*.
 - Seifert, T. (2008) Metallogeny and Petrogenesis of Lamprophyres in the Mid-European Variscides – Post-Collisional Magmatism and Its Relationship to Late-Variscan Ore Forming Processes (Bohemian Massif). IOS Press BV, Amsterdam, Netherlands. 303 Seiten.
 - Seifert, T. and Sandmann, D. (2006) Mineralogy and geochemistry of indium-bearing polymetallic vein-type deposits: Implications for host minerals from the Freiberg district, Eastern Erzgebirge, Germany. *Ore Geology Reviews*, 28: 1–31
 - Seward, T., Henderson, C. and Charnock, J. (2000) Indium (III) chloride complexing and solvation in hydrothermal solutions to 350 C: an EXAFS study. *Chemical Geology* 167, 117–127.
 - Simmons, S. F., White, N. C. and John, D. A. (2005) Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. *Economic Geology* 100, 485–522.
 - Staude, S., Göb, S., Pfaff, K., Ströbele, F., Premo, W. R. and Markl, G. (2011) Deciphering fluid sources of hydrothermal systems: a combined Sr- and S-isotope study on barite (Schwarzwald, SW Germany). *Chemical Geology* 286, 1–20.
 - Tichomirowa, M., Sergeev, S., Berger, H.-J. and Leonhardt, D. (2012) Inferring protoliths of high-grade metamorphic gneisses of the Erzgebirge using zirconology, geochemistry and comparison with lower-grade rocks from Lusatia (Saxothuringia, Germany). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 164, 375–396.
 - von Cotta, B. (1850) Gangstudien, oder, Beiträge zur Kenntniss der erzgänge. 1. Band. Verlag von JG Engelhardt. 441 Seiten.
 - Walter, B. F., Burisch, M. and Markl, G. (2016) Long-term chemical evolution and modification of continental basement brines – a field study from the Schwarzwald, SW Germany. *Geofluids* 16, 604–623.
 - Werner, A. G. (1791) Neue Theorie von der Entstehung der Gänge. gedruckt und verlegt in der Gerlachischen Buchdruckerei. 256 Seiten.

Minerale der Tiefsee als zukünftige Rohstoffquelle

Volker Steinbach¹, Carsten Rühlemann²

Für die Umsetzung der Energiewende sowie für zahlreiche moderne elektronische Hightech-Produkte benötigt man Metalle wie Kupfer, Nickel, Kobalt oder Indium. Die dafür relevanten mineralischen Rohstoffe werden heute noch ausschließlich an Land gewonnen. Um den global wachsenden Rohstoffbedarf zu decken, wendet sich das Interesse nun auch den Vorkommen in der Tiefsee zu.

Manganknollen, kobaltreiche Eisen-Mangankrusten und Massivsulfide gelten als potenzielle Rohstoffquellen der Zukunft. Deutschland hat als führendes Industrieland einen hohen Rohstoffbedarf. Insbesondere im Hinblick auf Metallrohstoffe ist die Industrie jedoch nahezu vollständig von Importen aus Drittländern abhängig. Daher ist es nur folgerichtig, dass sich Deutschland aktiv an der Erkundung dieser marinen Erzvorkommen in zwei Lizenzgebieten im Ostpazifik und im südwestlichen Indik beteiligt. Diese Explorationsarbeiten können einen wichtigen Beitrag zur zukünftigen Rohstoffversorgung unseres Landes leisten. Für die deutsche Industrie bieten sie außerdem die Chance, mit ihren technisch hochwertigen Technologien internationale Maßstäbe bei der umweltverträglichen Gewinnung mariner Rohstoffe zu setzen.

1 Dr. Volker Steinbach; Vizepräsident, Abteilungsleiter Energierohstoffe, Mineralische Rohstoffe; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
2 Dr. Carsten Rühlemann; Arbeitsbereichsleiter Marine Geologie, Tiefseebergbau; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Die potenziellen Auswirkungen eines Eingriffs in das Ökosystem der Tiefsee und die Wirksamkeit von Maßnahmen, die zu einer deutlichen Minderung dieser Auswirkungen führen können, müssen zuvor detailliert untersucht werden.

Die unter dem Begriff „marine mineralische Rohstoffe“ zusammengefassten Erzvorkommen in der Tiefsee, also den Ozeanbereichen unterhalb von 1000 m Wassertiefe, umfassen Manganknollen, kobaltreiche Eisen-Mangankrusten und Massivsulfide. Manganknollen sind schwarzbraune, rundliche Konkretionen mit Durchmessern zwischen 1 und 15 cm, die lose auf dem Meeresboden liegen (Abb. 1). Sie bilden sich vor allem in den sedimentbedeckten Tiefseeebenen der Ozeane in 4000 bis 6000 m Wassertiefe durch die Ausfällung von Mangan- und Eisenoxiden sowie zahlreichen Neben- und Spurenmetallen aus dem Meerwasser und dem Porenwasser des Sediments. Das wichtigste Vorkommen befindet sich in internationalen Gewässern des Pazifiks, in dem fünf Millionen Quadratkilometer großen Manganknollengürtel zwischen Hawaii und Mexiko. Wirtschaftlich interessant sind die Knollen in dieser Region vor allem wegen ihrer vergleichsweise hohen Konzentrationen an Nickel, Kupfer und Kobalt, die mit insgesamt 2,5 bis 3 Gewichtsprozent enthalten sind, zusätzlich zum Manganengehalt von etwa 30 %.

Kobaltreiche Eisen-Mangankrusten sind harte Überzüge aus Eisen- und

Manganoxiden (Abb. 2), die sich auf den sedimentfreien Hängen untermeerischer Vulkane (Seamounts) abscheiden. Sie enthalten Kobalt, Titan, Molybdän, Zirkon, Tellur, Wismut, Niob, Wolfram, die Selten-Erd-Metalle sowie Platin. Neben Kobalt wird der Gewinnung von Tellur aus den Eisen-Mangankrusten das größte wirtschaftliche Potenzial beigemessen. Etwa 66 % der heute bekannten potenziellen Krustenlagerstätten befinden sich im Pazifik, rund 23 % im Atlantik und nur 11 % im Indik. Im Gegensatz zu den Manganknollen befindet sich nur rund die Hälfte der Mangankrustenvorkommen in internationalen Gewässern und die andere Hälfte innerhalb der ausschließlichen Wirtschaftszonen verschiedener Küstenstaaten.

Massivsulfide sind Ausfällungsprodukte heißer hydrothermaler Lösungen infolge der Vermischung mit kaltem Meerwasser und sind an tektonische Schwächezonen der ozeanischen Kruste gebunden. Aus den Hochtemperaturlösungen fallen Metall-Schwefelverbindungen aus (Abb. 3), die lokale Lagerstätten von einigen hundert Metern Durchmesser und einigen Zehner Metern Mächtigkeit bilden können. Von wirtschaftlichem Interesse sind neben den hohen Buntmetallgehalten an Kupfer, Zink und Blei besonders die Edelmetalle Gold und Silber sowie Spurenmetalle wie Indium, Tellur, Germanium, Wismut, Kobalt und Selen.

Anders als an Land unterliegen Rohstoffe und ihre Gewinnung auf See außerhalb der nationalen Hoheitsgebiete internationalem Recht und der Kontrolle der Weltgemeinschaft. Den Rahmen liefert das 1994 in Kraft getretene Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen. Es regelt Zugang, Beantragung, zukünftige Gewinnung und Schutz der Rohstoffe.

Wichtigstes Organ ist die 1994 geschaffene Internationale Meeresbodenbehörde (IMB), die Lizenzen für die Erkundung des Meeresbodens nach mineralischen Rohstoffen erteilt. Seit 2002 hat die IMB insgesamt 27 Lizenzen mit einer Laufzeit von 15 Jahren vergeben, 17 für die Exploration von Manganknollen, vier für die Erkundung von Mangankrusten und sechs für die Exploration von Massivsulfiden. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) exploriert im Auftrag der Bundesregierung seit Juli 2006 ein Lizenzgebiet für Manganknollen im Pazifik und seit Mai 2015 in einem weiteren Lizenzgebiet Sulfidvorkommen im südwestlichen Indischen Ozean.

Die wirtschaftliche Nutzung der Tiefsee rückt also in den Fokus und könnte mittelfristig eine größere Bedeutung erlangen. Vor allem aufgrund einer starken ökonomischen Entwicklung Chinas und anderer BRIC-Staaten wird auch bei möglichen kurzfristigen Schwankungen eine weiter steigende Nachfrage von Metallrohstoffen erwartet, die in den kommenden Jahren vermutlich zu höheren Preisen führen wird. Vor allem für die Manganknollen werden derzeit die Bedingungen für einen Abbau geprüft. Als ein Eckpunkt für ein Abbauszenario wird die Gewinnung von 2 Millionen Tonnen Knollen pro Jahr auf einer Fläche von 100 bis 200 km² über einen Zeitraum von 20 Jahren angesehen. Für das Frühjahr 2019 plant die belgische Firma DEMEGSR, im deutschen und im belgischen Lizenzgebiet zunächst einzelne Kollektorkomponenten für den zukünftigen Abbau von Manganknollen zu testen. Ein internationales unabhängiges Forscherkonsortium aus zehn europäischen Ländern wird die damit verbundenen Umweltauswirkungen untersuchen. Anspruchsvoll ist auch die metallurgische Aufbereitung dieses sehr feinkörnigen, komplex zusammengesetzten Gesteins. Da dieses Segment der Prozesskette mehr als 50 % der Investitions- und Betriebskosten erfordert, ist aus ökonomischer Sicht ein auf die Besonderheiten dieses Rohstoffs angepasstes Verfahren zur metallurgischen Aufbereitung von entscheidender Bedeutung für die Nutzung von Manganknollen als Rohstoffquelle. Die Universität Aachen entwickelt deshalb im Auftrag der BGR ein *Zero Waste-Verfahren*, bei dem die Knollen vollständig verwertet werden.

Fazit: Einen Tiefseebergbau gibt es bisher noch nicht, er stellt aber ein wirtschaftlich attraktives Zukunftsfeld dar. Die zu erschließenden Tiefseelagerstätten können die landgebundenen Lagerstätten jedoch nur ergänzen, nicht ersetzen. Der Umfang mariner Rohstoffvorkommen erscheint sowohl hinsichtlich der Metallanreicherungen als auch des Erschließungsaufwands mit dem vieler Landlagerstätten vergleichbar und in Einzelfällen auch überlegen, insbesondere bezüglich verbreiteter Nutzungskonflikte an Land. Neben den rein rohstoffbezogenen Qualitäten bietet ein zu entwickelnder Tiefseebergbau herausragende Chancen für die Wirtschaft eines exportorientierten Hochtechnologielandes wie

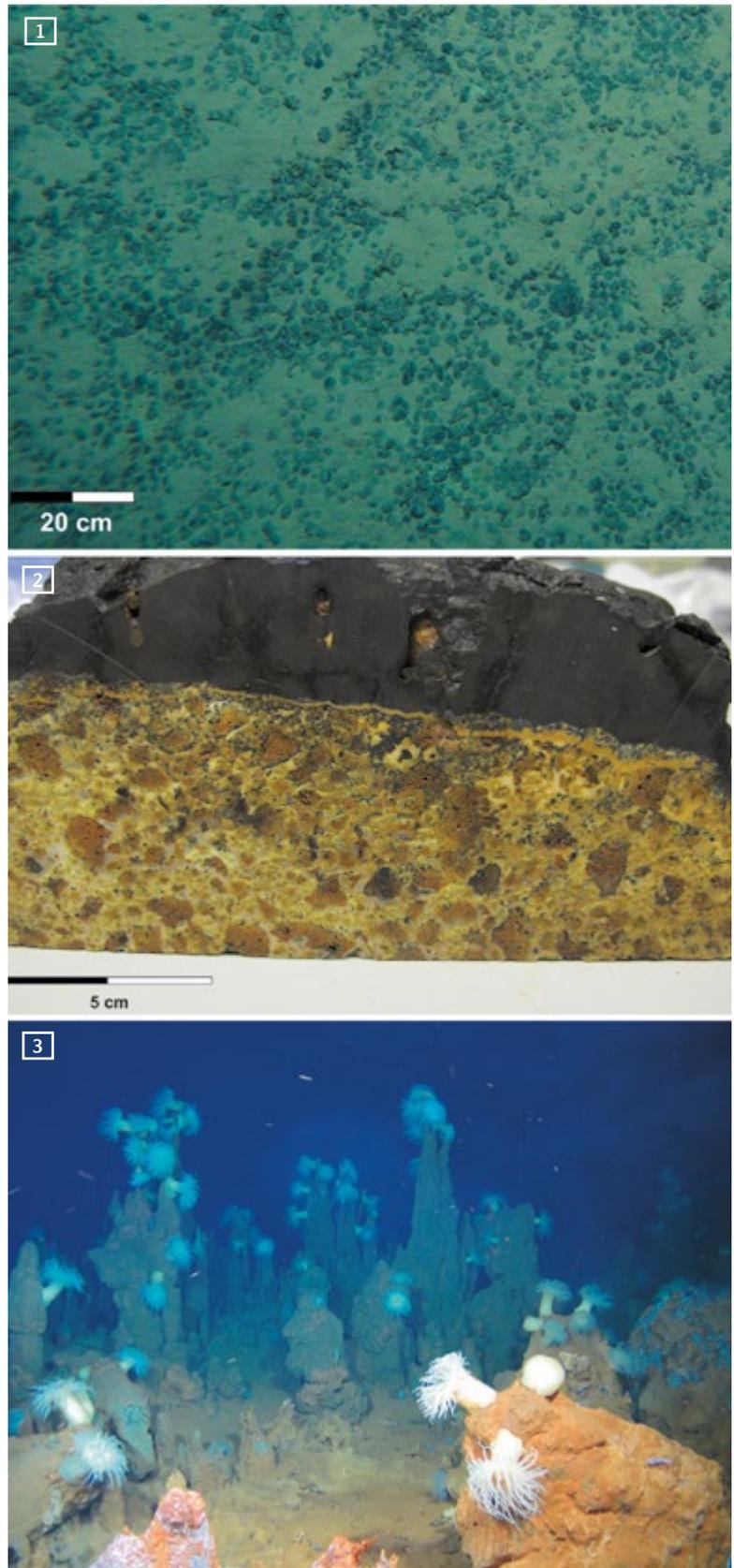


Abb. 1 (oben): Meeresboden im deutschen Lizenzgebiet im Pazifik mit dichter Belegung von Manganknollen. Abb. 2 (Mitte): Schwarze, 5–7 cm dicke kobaltreiche Eisen-Mangankruste auf verwittertem Vulkangestein von der Louisville-Seebergkette im Südwestpazifik. Abb. 3 (unten): Inaktive Metallsulfidschlote mit Seeanemonen aus dem deutschen Lizenzgebiet im Indischen Ozean

Deutschland. In Zeiten einer politisch unruhigen Welt ist es eine besondere Qualität, dass ein Großteil des Meeres hinsichtlich der Nutzung einheitlichen Regeln mit internationaler Kontrolle unterliegt.

Tiefseebergbau in Halsbrücke?

Entwicklung und Betrieb des BLUE MINING Strömungsversuchsstandes an der TU Bergakademie Freiberg

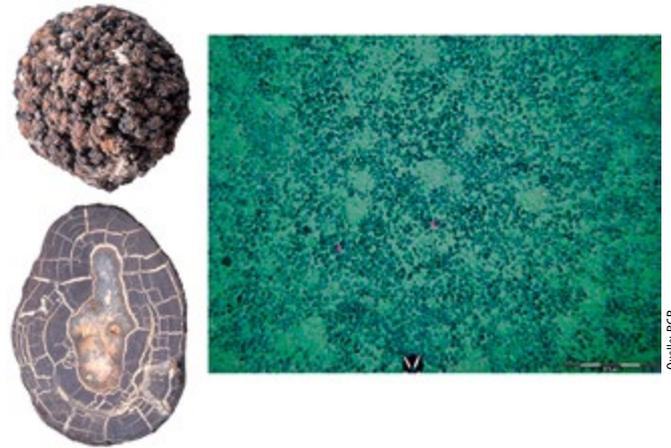
Toni Müller¹, Helmut Mischo²

Bereits in den 1970er- und -80er-Jahren wurden in verschiedenen Forschungsprojekten die Möglichkeiten zum Abbau von Rohstoffvorkommen auf dem Meeresboden erforscht. Dabei wurden in mehreren Testprojekten erfolgreich Methoden zum Abbau aus großen Tiefen bis zu 5.000 m Wassertiefe erprobt. So wurden beispielsweise mittels Airliftverfahren im Testbetrieb bis zu 70 t/h Manganknollen (*Manganese Nodules*, MnN) aus großer Wassertiefe gefördert. Aufgrund der damaligen Situation auf dem Weltmarkt und des mangelnden rechtlichen Rahmens rückten diese Vorkommen allerdings wieder in weite Ferne und weiterführende Projekte wurden gestoppt. Mit der Einrichtung der Internationalen Meeresbodenbehörde (International Seabed Authority, ISA) wurden dann Mitte der 1990er-Jahre die rechtlichen Rahmenbedingungen geschaffen, und 2006 schloss die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) einen Vertrag zur Erkundung der Manganknollenlagerstätten im zentralen Pazifik ab.

Manganknollen bestehen aus Verbindungen von Mangan und Eisen, enthalten aber auch Kupfer, Zink, Nickel und Kobalt. Anwendung findet Kobalt u. a. in Lithium-Kobaltoxid-Akkumulatoren, die eine hohe Energiedichte aufweisen, und in Smartphones und Elektroautos verbaut werden.

Deutschland ist mit seinen Vorkommen an Steinen und Erden, Braunkohle sowie Kali und Steinsalz per se ein rohstoffreiches Land, allerdings ist die deutsche Industrie stark abhängig von Rohstoffimporten (Lithium, Germanium, Kobalt, Tantal, Elemente der schweren seltenen Erden) und damit den Schwankungen des Weltmarkts ausgesetzt. Seit der Rohstoffkrise 2008 liegt die Aufmerksamkeit wieder verstärkt auf der Rohstoffsicherung, etwa durch Maßnahmen der Substitution kritischer Elemente, Recycling, oder der geplanten Erschließung neuer Vorkommen. Vor diesem Hintergrund ist auch

Abbildung 1: Manganknollen in Aufsicht und Schnitt und Manganknollenfeld am Grund des Pazifik



der Tiefseebergbau erneut in den Fokus gerückt, wobei auch die Europäische Kommission für Maritime Angelegenheiten den Meeresbergbau und seine potenziellen Folgen für die Umwelt betrachtet. Im Rahmen der langfristigen Strategie „Blaues Wachstum“ verfolgt die EU Pläne für ein nachhaltiges Wachstum und Entwicklung in allen maritimen Wirtschaftszweigen von der Fischerei und den Aquakulturen über den Tourismus und die Energiegewinnung bis hin zum Meeresbergbau und zur Erforschung der Tiefsee. In diesem Zusammenhang erfolgte die Förderung des BLUE MINING-Projekts zur Entwicklung neuer Technologien für einen nachhaltigen Tiefseebergbau.

Am Forschungsprojekt BLUE MINING im 7. EU-Rahmenprogramm waren zwischen 2014 und 2018 insgesamt 19 Forschungs- und Industriepartner aus verschiedenen Mitgliedsländern beteiligt. Der Fokus des Projekts ruhte hauptsächlich auf den Methoden der Lagerstätten erkundung und Bergbauplanung sowie auf der Fördertechnik, der vertikalen Förderung aus der Tiefe und dem Transport Schiff-zu-Schiff. So wurden auf zwei Forschungsfahrten, durchgeführt vom GEOMAR (Forschungsschiff Meteor) und dem National Oceanography Centre in Southampton (Forschungsschiff James Cook), am mittelatlantischen Rücken Methoden der Lagerstätten erkundung getestet. Ausgeführt wurden diese Untersuchungen im Hydrothermalfeld der transatlantischen Geotraverse (*Trans-Atlantic Geotraverse hydrothermal field*, TAG).

Im Zuge der Untersuchungen für vertikale Transportsysteme (*Vertical Transport*

Systems, VTS) zur Förderung von Rohstoffen vom Meeresboden zur Wasseroberfläche, die den Schwerpunkt der Arbeiten an der TU Bergakademie Freiberg bildeten, wurden zunächst in zwei Fallstudien der potenzielle Einsatz kontinuierlicher Fördersysteme analysiert und die berechneten Resultate miteinander verglichen: die Förderung von Massivsulfidieren (*Seafloor Massive Sulfides*, SMS) aus bis zu 1.600 m Wassertiefe und die von Manganknollen aus bis zu 5.000 m Wassertiefe. Die Grundlage für diese Berechnungen bildeten die Kennwerte für bekannte Lagerstätten, wie etwa die des deutschen Lizenzgebiets der Clarion-Clipperton Zone (CCZ) im Zentralpazifik für die MnN-Studie. Daneben spielten allerdings auch wirtschaftliche Faktoren, wie die angepeilte resultierende Produktionsrate von 400 t/h, eine wesentliche Rolle zur Auslegung der Fördersysteme. Insbesondere wurden zwei kontinuierliche VTS näher betrachtet, das Airliftverfahren und Pumpensysteme aus Zentrifugalpumpen wie sie derzeit im Offshore-Bereich industriell eingesetzt werden.

Basierend auf den Ergebnissen der Fallstudien und vorangegangener Forschungsarbeiten wurden daraufhin Konzepte für einen Versuchsstand erarbeitet, in dem spezielle Effekte bei vertikalen Rohrströmungen untersucht werden sollten. Ein Schwerpunkt lag dabei auf der Untersuchung der Sinkgeschwindigkeiten und der Wandreibungen in Strömungsmedien für unterschiedliche Kornfraktionen und auf

1 Dipl.-Ing. Toni Müller
Tel. 03731 39-2943

Toni.Mueller@mabb.tu-freiberg.de

2 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Helmut Mischo, Pr.Eng.
Tel. 03731 39-2044
Helmut.Mischo@mabb.tu-freiberg.de

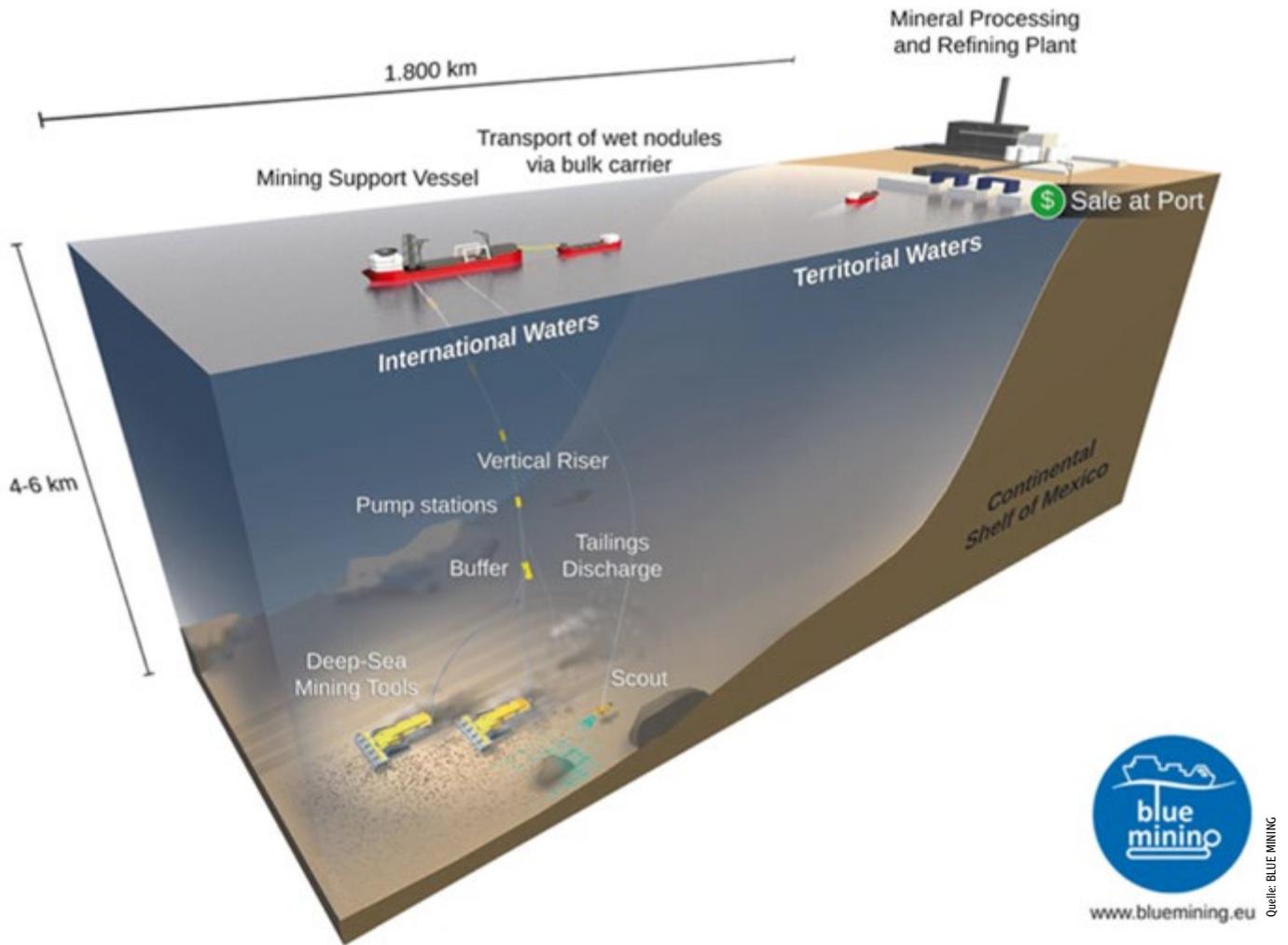


Abbildung 2: Konzeptzeichnung der technologischen Kette für den Tiefseebergbau

den damit verbundenen Strömungseffekten wie dem Stopfen-Effekt und der Akkumulation von Dichtewellen. Erkenntnisse und Berechnungsmodelle aus vorangegangenen Untersuchungen an kleinmaßstäblichen Laborversuchsständen sollten dabei unter realitätsnäheren Bedingungen und Größenverhältnissen validiert sowie neue Erkenntnisse zur Implementierung von VTS für den Tiefseebergbau gewonnen werden. Als Standort für diesen Großversuchsstand wurde das 8. Lichtloch des Rothschnöberger Stollns in Halsbrücke gewählt.

Der daraufhin für das Projekt installierte strömungstechnische Versuchsstand hatte folgende Komponenten und Eigenschaften:

- geschlossener Strömungskreislauf mit Steig- und Falleitung im Schacht (Förderhöhe 136 m)
- Durchmesser der Rohrleitungen DN= 150 mm, Rohrmaterial Polyethylen
- Probenmaterial für die Versuche Sand (0/2 mm) und Kies (8/16 mm)
- Antrieb durch eine 55 kW Zentrifugal-

galpumpe, Strömungsgeschwindigkeit bis zu 5 m/s

- Ausstattung der Steig- und Falleitung mit Sensoren zur Überwachung des Strömungsregimes:
 - Konzentrationsmessgerät zur Ermittlung des Feststoffvolumenanteils in der Strömung
 - induktives Durchflussmessgerät
 - Hochgeschwindigkeitskamera zur Aufnahme des Strömungsbilds
 - Drucksensoren in regelmäßigen Abständen zur Überwachung des Druckverlaufs während des Förderprozesses
 - Temperatursensoren
- eine speziell ausgelegte Anlage zur Probenvorbereitung und Probenmaterialaufbereitung

Planungen und Vorbereitungen inklusive des bergbehördlichen Antragsverfahrens erfolgten ab dem Jahre 2016, der Aufbau des Versuchsstandes und die Durchführung der Versuche im Frühjahr und Sommer 2017. *Abbildung 3* gibt einen Überblick über die übertägigen und untertägigen

Anlagen. *Abbildung 4* zeigt einen Blick in den Schacht auf die eingebaute Steigleitung. Ausgelegt wurde der Versuchsstand als temporäre Anlage, wobei die Versuche innerhalb der Projektlaufzeit zu erfolgen hatten. Für diesen Zweck wurde eine kompakte und mobile Anlage zur Probenvor- und -aufbereitung entwickelt, die in einem 20-Fuß-Standardcontainer untergebracht war. Diese Anlage wurde im Nahbereich des Schachtes und der Pumpe positioniert und hatte folgende Aufgaben:

- Bereitstellung von Wasser für die einzelnen Versuche
- Bereitstellung von Reservewasser zum Ausspülen der Anlage
- Bereitstellung von Probenmaterial (Kies und/oder Sand) zur Injektion in den Strömungskreislauf
- Separation von Probenmaterial aus dem Strömungskreislauf nach erfolgten Versuchen
- Sedimentation von Feinanteilen

Für die Installation, den Betrieb und den Rückbau der Anlage konnte eine Schachtwinde MPW 25 aus dem Bestand der Wis-

mit GmbH erworben werden, die durch die ARGE 8. Lichtloch (Schachtbau Nordhausen und Bergsicherung Sachsen), die auch die Montage- und Demontearbeiten des Versuchsstands unter Tage durchführten, temporär auf dem 8. Lichtloch installiert wurde. Während des eigentlichen Versuchsbetriebs erfolgte die bergmännische Betreuung der Förderanlage durch Mitarbeiter des Forschungs- und Lehrbergwerks.

Der Versuchsablauf war wie folgt gewählt:

1. Vorbereitung und Befüllung der Vorratsbehälter und Tanks mit dem Wasser für die Versuche und den benötigten Sedimenten
2. Befüllung des Leitungssystems mit Wasser und Wassertests (Testung und Kalibrierung der Sensoren) und Testlauf (ausschließlich mit Wasser im Kreislauf) zur späteren Ermittlung der Rohrreibungswerte und Einstellung des Konzentrationsmessgeräts
3. Injektion der Sedimente und Durchführung der eigentlichen feststoffbeladenen Versuche, wobei Versuche mit unterschiedlicher Komponenten-Zusammensetzung erprobt wurden (etwa eine Mischung Sand und Kies 50:50 oder Versuchsdurchläufe mit ausschließlich Kies)
4. Beendigung der Versuche mit der Separation der Sedimente und dem Durchspülen der Anlage

Jeder Versuchsdurchlauf hatte eine Dauer von mehreren Stunden, wobei für die einzelnen Wassertests und Tests mit Feststoffbeladung jeweils 75 Minuten angesetzt waren, insofern der Förderprozess nicht vorzeitig beendet werden musste. Aufgrund der notwendigen Vorbereitungen und Nacharbeiten vor jedem Test konnte somit pro Tag ein Versuch mit Feststoffförderung realisiert werden. Es wurden zahlreiche Versuche gefahren. Dabei ist es gelungen, die gewünschten Effekte zu erzeugen, diese messtechnisch aufzunehmen und zu untersuchen – bis hin zur Blockade des Förderstroms durch Stopfeneffekte. Im Anschluss an die erfolgreich abgeschlossene Versuchsphase wurde die Anlage absprachegemäß zurückgebaut.

Als Hauptergebnis bleiben die weitgefächerten Erfahrungen, die sowohl mit der Entwicklung und Gestaltung des Versuchsstands und seiner Einzelelemente sowie bei der Durchführung und messtechnischen Verfolgung der Versuche gewonnen werden konnten. Die daraus



Quelle: Luz Weidner

Abbildung 3: Übertägige Versuchsanlagen mit Anschluss an das untertägige Leitungssystem

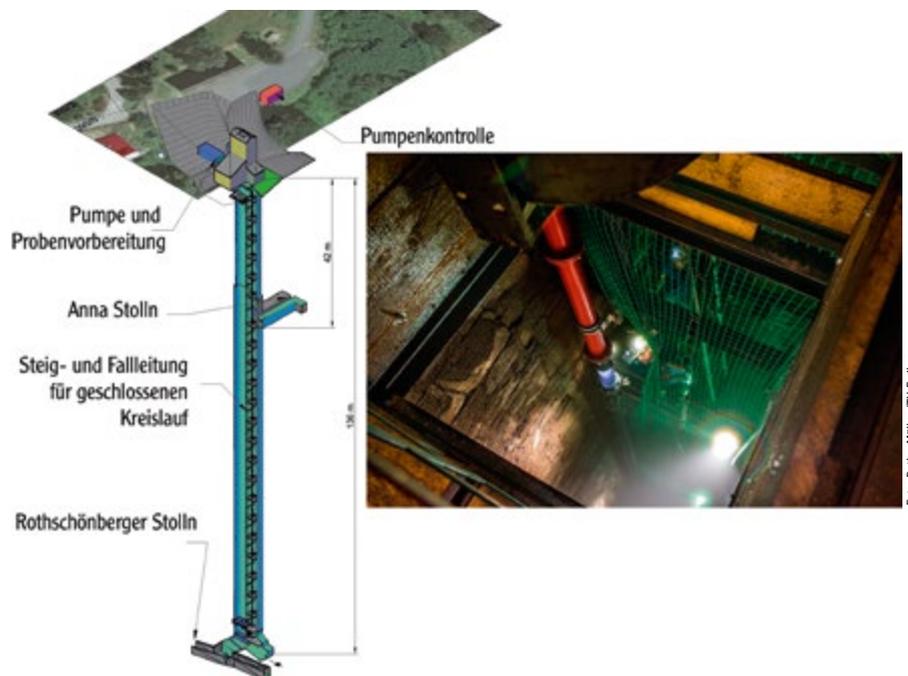


Foto: Detlev Müller/TU Freiberg

Abbildung 4: 3D-Schnittmodell des Schachts und Fotoaufnahme in den Schacht (zu sehen: oberer Abschnitt der Steigleitung)

gewonnenen Erkenntnisse wurden bereits in mehreren Fachvorträgen auf deutschen und internationalen Konferenzen und in Fachpublikationen vorgestellt. Sie sind zwischenzeitlich bereits in die weitere Entwicklung von Tiefsee-VTS eingeflossen.

Anerkennung

Dieses Projekt und die damit verbundenen Forschungstätigkeiten erhielten Mittel aus dem 7. EU-Forschungsrahmenprogramm Grant Agreement Number 604500. Die Voruntersuchungen und Versuche wurden durch die Projektpartner Royal IHC (Niederlande) und TU Bergakademie Freiberg

(Institut für Bergbau und Spezialtiefbau und Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau) durchgeführt. Die beteiligten Projektpartner danken im Besonderen der Firma Gerodur MPM aus Neustadt in Sachsen, die die PE-Rohre für die Versuche zur Verfügung stellte, der Gemeinde Halsbrücke für die stetige und vertrauensvolle Zusammenarbeit, dem sächsischen Oberbergamt für intensive Begleitung im Genehmigungsprozess sowie der ARGE 8. Lichtloch und dem Forschungs- und Lehrbergwerk der TU Bergakademie Freiberg für die tatkräftige und konstruktive Unterstützung.

Regionaler Klimawandel Sachsen – und mehr

Jörg Matschullat¹, Anne Routschek¹, Dirk Rübhelke¹

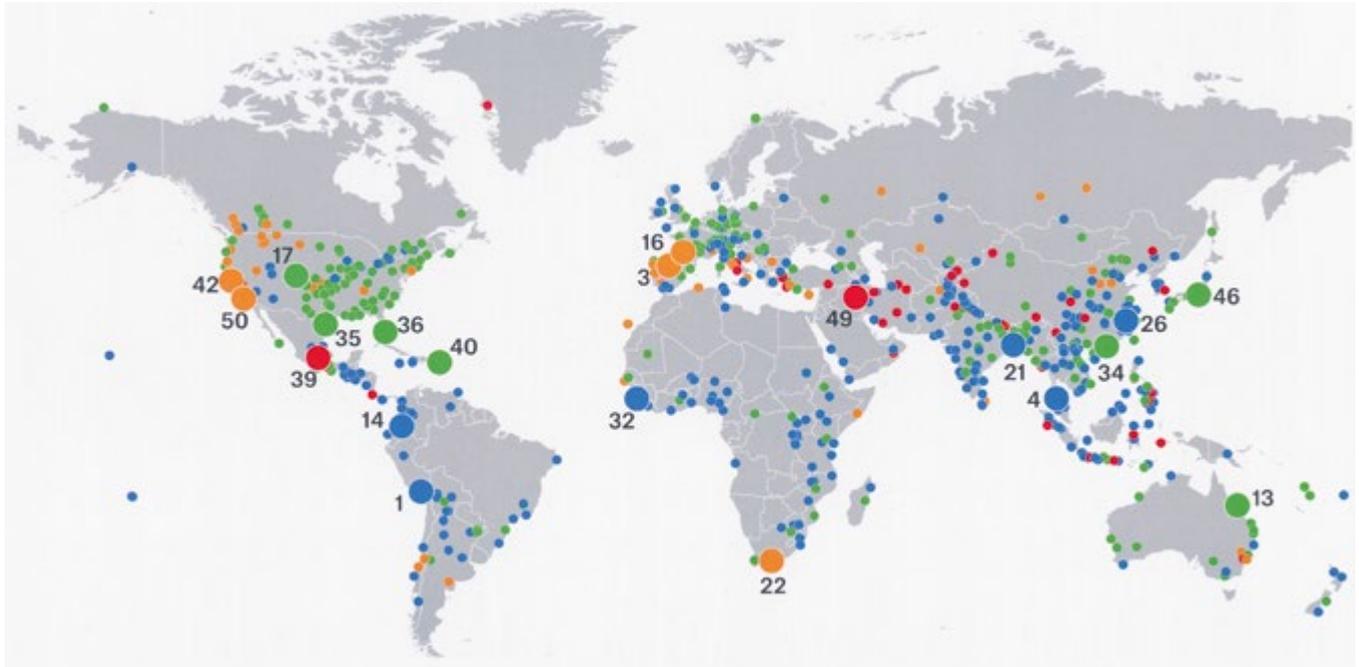


Abbildung 1: Schäden 2017 weltweit (MunichRe 2018). Ereignistyp: Gelb = klimatologisch (Extremtemperatur, Dürre); Grün = meteorologisch (Stürme); Blau = Hydrologisch (Überschwemmungen); Rot = Geophysikalisch (Erdbeben, Vulkanismus, Tsunami)

Überflutungen, Bergstürze durch Permafrost-Verluste, ausdauernde Dürren, Wirbelstürme, Gewitter, Starkregen, Hagelschlag, Hitzewellen sowie die Verschiebung jahreszeitentypischer Witterung – Stichworte, die auch bei uns in Deutschland und in Sachsen Resonanz erzeugen – und hinter denen oft erhebliche Schäden stehen (MunichRe 2018; Abb. 1). Es erscheint zunächst unwichtig, ob und zu welchen Anteilen wir Menschen an dem zu beobachtenden Klimawandel aktiv beteiligt sind. Wesentlich ist, dass sich die klimatischen Verhältnisse weltweit ändern. Dabei sind mit solchen Verhältnissen hier nicht, wie man vielleicht auch annehmen könnte, der Wandel im Diskussionsklima, in politischer Debatte und die Flüchtlingspolitik in Sachsen angesprochen, sondern Prozesse, von denen wir noch lange reden werden, wenn diese sozialpolitischen Themen längst in tiefer Vergangenheit liegen werden. Wichtig erscheint auch, sich als Bürger und Laie zu Fragen physikalischen Klimawandels nicht von Bauernfängern, Brandstiftern und Scharlatanen vereinnahmen oder verunsichern zu lassen (Matschullat 2010).

Engagement im Freistaat Sachsen

Der Freistaat Sachsen hat sich früher als andere Bundesländer bereits seit Ende der 1990er-Jahre sehr aktiv dem Thema Regionaler Klimawandel gewidmet

(Abb. 2). Es war das erste Bundesland, das eine regionale Klimamodellierung in Auftrag gab und damit auch zur Entwicklung der stochastischen Klimamodelle² beitrug und beiträgt (SMUL 2005, 2008, 2016). Insgesamt ist die fachliche Szene zum Thema Klimawandel in Sachsen jedoch klein. Neben einer Fachgruppe im Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Pillnitz ist vor allem der Lehrstuhl für Meteorologie an der TU Dresden zu nennen (Leitung Prof. Dr. Christian Bernhofer). Die TU Bergakademie Freiberg leistet nicht ganz unwesentliche Beiträge mit Arbeitsgruppen im Interdisziplinären Ökologischen Zentrum (Arbeitsgruppen Bodenkunde, Geoökologie und Geochemie, Rohstoffökonomik). Neben Einzelprojekten – z. B. „Niederschlagsveränderungen in Sachsen von 1901 bis 2100“ oder „Einfluss des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser“ (Routschek 2012) sowie zu Gewitter und Blitzschlagsrisiken im Freistaat (Schucknecht u. Matschullat 2014) – gehören auch mehrere große Verbundprojekte wie EmTAL (Management von Talsperren-Einzugsgebieten zur Umsetzung der EU-Wasserrahmen-Richtlinie) und REGKLAM (Anpassung an den regionalen Klimawandel für die

Modellregion Dresden) dazu. EmTAL trug wesentlich dazu bei, Landesregierung und Landestalsperrenverwaltung nach dem Schock des Elbehochwassers im August 2002 auch für klimawandelbezogene Risiken zu sensibilisieren. So wurde die gesamte Planung für Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken neu durchdacht und wesentlich auf der Basis der Projektergebnisse zukunftsfähig umgestaltet. Die landwirtschaftliche Praxis bekam weitere Anregungen, um den Verlust fruchtbaren Bodens maximal verringern zu können, und die Forstwirtschaft erhielt neue Argumente für den Waldumbau. REGKLAM³ produzierte noch deutlich komplexere Analysen und entwickelte sehr konkrete Maßnahmen zur Anpassung aller wesentlichen Branchen und Lebensbereiche an den zu erwartenden Klimawandel der Region bis zum Ende des Jahrhunderts (z. B. Hänsel et al. 2013, 2015).

Seit August 2008 besteht das Klimanetzwerk Sachsen⁴, eine Denkfabrik des Freistaates. Die vom Umweltminister berufenen Mitglieder, Sprecher ist aktuell Prof. Jörg Matschullat, tragen hinter den Kulissen Informationen zusammen und erarbeiten Empfehlungen für die Landes-

1 Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum

2 hier WEREX bzw. WETTREG

3 <http://www.regklam.de/ueber-regklam/>

4 <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/17848.htm>

regierung. Getragen wird das Netzwerk von den fachlichen Behördenleitern (BfUL, Landestalsperrenverwaltung, LfULG, Sachsenforst), den genannten universitären Partnern sowie der sächsischen Energieagentur SAENA. Ergebnisse und Empfehlungen werden regelmäßig dem Umweltministerium und der Staatskanzlei zugearbeitet.

Annaberger Klimatage

Gemeinsam mit weiteren Partnern⁵ werden seit 2001 regelmäßig die Annaberger Klimatage organisiert. Sie haben sich als wesentliche Schnittstelle für die Kommunikation regionaler Klimafragen etabliert und locken mit ausgewählten eingeladenen Vorträgen und deren Diskussion Fachleute und Entscheider aus Deutschland sowie den benachbarten Ländern an (DWD 2016). Erst kürzlich fand die Veranstaltung zum elften Mal statt. Im Netz finden Interessierte die Vorträge und Diskussionen in je einer englisch- und deutschsprachigen Version dokumentiert⁶. In diesem Jahr bekannten sich einige Landesinstitutionen dazu, dass sie die Konsequenzen des sich bereits seit den 1950er-Jahren andeutenden Wandels zunehmend spüren und auf diese reagieren müssen.

Klimawandel in Sachsen bis heute

Klimaschwankungen gab es schon immer in der Geschichte unseres Planeten. Doch macht es einen Unterschied, ob eine Bevölkerung aus einigen Millionen Menschen besteht, die zudem recht naturnah und sehr wenig technisiert leben, oder ob es um sehr komplexe Gesellschaften von bald neun Milliarden Menschen geht, deren technische Infrastrukturen durchaus angreifbar sind, auch von Naturkatastrophen, und deren Wohlergehen davon abhängt, dass nicht allein energetische und materielle Ressourcen möglichst störungsfrei zur Verfügung stehen. Die Verwundbarkeit der Stromversorgung in Europa durch Wetterextreme behandeln

5 Sächsische Landesstiftung Natur und Umwelt sowie Erzgebirgskreis und Stadt Annaberg-Buchholz

6 <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/22721.htm>

die Studien von Rübhelke und Vögele (2013) sowie Van Vliet et al. (2013). Klimawandelbedingte Extreme nehmen zu und stören weltweit diese Versorgung und weitere Gewissheiten.

Brechen wir dieses „Raster“ auf Sachsen hinunter, lässt sich feststellen, dass die Jahresdurchschnittstemperaturen im Vergleich zur Referenzperiode (Klimanormale 1961–1990) deutlich gestiegen sind (+ 0,5 bis 1,1 K gegenüber der Klimanormale 1961 bis 1990), die Jahresniederschlagsmengen dagegen nahezu gleich blieben (+ 1 bis 15 %). Also Entwarnung?

Der Temperaturanstieg ist bei uns mit einer deutlichen Veränderung der Niederschlagsmuster verbunden. Es regnet weniger gleichmäßig und zunehmend öfter stehen längere Trockenphasen sehr in-

mit invasiven Arten und experimentieren mit neuen Fruchtfolgen – die Blütezeit vieler Pflanzen beginnt früher und wird anfälliger gegenüber Spätfrösten. Diese Reihe an Beispielen ließe sich fortsetzen (Bernhofer et al. 2009).

Zukünftiger Klimawandel in Sachsen

Aussagen zum zukünftigen Verhalten der Witterung unter Randbedingungen von Klimawandel lassen sich nur auf der Basis von intensiven empirischen Analysen sowie tiefem physikalischem Verständnis von Thermodynamik und Fluidmechanik mit Hilfe numerisch-dynamischer oder auch stochastischer Modellierung näherungsweise gewinnen. Dabei werden diese Aussagen mit der Länge des Zeitfensters in die Zukunft ungenauer;

Unsicherheiten steigen. Obwohl dies auch für Projektionen wirtschaftlicher und demografischer Entwicklung gilt, wird von manchen Zeitgenossen den Aussagen von Klimaprojektionen vergleichsweise mehr Skepsis entgegen gebracht. Dabei wird meist übersehen, dass die Datengrundlagen und das Wissen um die Physik der Atmosphäre in vielen Fällen deutlich besser entwickelt sind als bei vielen sozioökonomischen (und politischen)



Abbildung 2: Der Königstein im Klimawandel

intensiven Niederschlägen gegenüber. Das ist nicht allein für die Bodenerosion ein Thema. Der Waldumbau in Sachsen, um die Forstbestände widerstandsfähiger zu machen, geht schleppend voran und wird teurer als veranschlagt, weil die zunehmenden Trockenphasen die Baumvegetation erheblich stressen. Zudem vermehren sich Borkenkäfer über Gebühr, und unsere Abneigung gegen Wölfe führt zu deutlich überhöhten Schalenwildbeständen, die jeglichen Jungwuchs vernichten, sofern Neupflanzungen nicht kostspielig eingezäunt werden. Die Talsperrenwirtschaft spürt die Erwärmung nicht minder. Altgemeinschaften (Primärproduzenten) verändern sich und mit ihnen die Wasserchemie. Neue Herausforderungen für die Wasseraufbereitung und höhere Kosten für uns Verbraucher sind die Folge. Landwirtschaft und Naturschutz kämpfen

Fragestellungen.

Vor dem Hintergrund der bereits beobachteten Veränderungen in unserem Raum liegt eine gute Grundlage vor, die es erlaubt, modellierte Zukunftsprojektionen kritisch zu analysieren. Daraus folgt, dass sich der bisher beobachtete Temperaturtrend fortsetzen wird. Bis zum Ende des Jahrhunderts rechnen wir mit einem Plus von + 2,5 bis 3,5 Grad Celsius. Dabei erwärmen sich die Winterhalbjahre stärker als die Sommerhalbjahre. Einem sinkenden Heizbedarf im Winter steht zukünftig ein höherer Kühlbedarf im Sommerhalbjahr gegenüber; der Sommer 2018 war diesbezüglich ein Vorgriff auf zukünftig „normale“ Verhältnisse. Starkniederschläge und Trockenheiten nehmen mit großer Wahrscheinlichkeit weiter zu. Ähnliches gilt analog für Gewitter und Hagelschlag, für Windstürme und Orkane, Hitzewellen

Zeitscheibe	1961–1990 Messung	1991–2010 Messung	2021–2050 Modelle	2071–2100 Modelle
	Mittelwert	Änderung	mittl. Änderung (Spannweite)	mittl. Änderung (Spannweite)
Mittlere Jahrestemperatur (°C)	8,3	+0,6	+1,1 (+0,6 bis +1,4)	+2,9 (+1,4 bis +3,5)
Temperatur Sommerhalbjahr (°C)	13,9	+0,8	+0,9 (+0,5 bis +1,3)	+2,6 (+1,1 bis +3,2)
Temperatur Winterhalbjahr (°C)	2,6	+0,5	+1,1 (+0,7 bis +1,5)	+3,2 (+1,7 bis +3,6)
Anzahl Sommertage (max. Temperatur > 25°C)	31,4	+9,1	+11,3 (+6,3 bis +20,0)	+30, (+13,1 bis +48,7)
Anzahl heiße Tage (max. Temperatur > 30°C)	5,4	+3,4	+3,9 (+1,8 bis +9,1)	+13,5 (+3,5 bis +24,6)
Anzahl Tropennächte (min. Temperatur > 20°C)	0,7	+0,5	+1,1 (+0,2 bis +2,0)	+4,4 (+0,5 bis +9,0)
Anzahl Eistage (max. Temperatur < 0°C)	32,5	-5,6	-8,6 (-13,2 bis -4,7)	-19,1 (-26,1 bis -12,9)
Anzahl Frosttage (min. Temperatur < 0°C)	91,5	-0,3	-17,3 (-23,5 bis -11,7)	-44,5 (-53,4 bis -26,7)
Heizgradtage (K d/a, Maß f. Wärmeenergiebedarf während Heizperiode)	3882	-254	-342 (-463 bis -181)	-930 (-1098 bis -478)
Kühlgradtage (K d/a, Maß f. Kühlenergiebedarf im Sommer)	41	+19	+30 (+15 bis +60)	+104 (+31 bis +156)
Mittlerer Jahresniederschlag (mm)	793	+45	-20 (-77 bis +48)	-43 (-99 bis +16)
Niederschlag Sommerhalbjahr (mm, April-September)	439	+17	-21 (-54 bis +10)	-52 (-71 bis -29)
Niederschlag Winterhalbjahr (mm, Oktober-März)	354	+28	+0 (-26 bis +35)	+11 (-30 bis +49)
Anzahl trockener Tage im Sommer- hbj. (Niederschlag geringer 1mm)	125	+1	+3 (0 bis +7)	+8 (+0 bis +12)
Tage mit starkem Niederschlag (Niederschlag > 20mm)	3,6	+0,5	-0,1 (-0,7 bis +0,2)	-0,2 (-0,6 bis +0,3)
Potenzielle Verdunstung (mm, max. mögliche Verdunstung)	607	+34	+34 (+8 bis +92)	+71 (+28 bis +124)
Klimatische Wasserbilanz (mm, Niederschlag.- pot. Verdunstung)	188	+13	-63 (-180 bis +40)	-120 (-248 bis -12)
Strahlung (Globalstrahlung in kWh/m ²)	1053	+33	+31 (-17 bis +102)	+57 (-9 bis +135)
Dauer thermische Vegetations- periode (Anzahl der Tage)	201	+7	+10 (-1 bis +16)	+41 (+19 bis +59)

Abbildung 3: Klimabeobachtung und Projektion in Sachsen (Modellregion Dresden), belastbare Signale sind fett gedruckt (aus Bernhofer et al. 2012)

und Überflutungen. Gerade die ungleiche Verteilung von Niederschlägen führt zu noch stärkerem Stress für die Vegetation (Wachstumsperiode von März bis Mai) und zu wachsenden Herausforderungen – vor allem in Wasser- und Landwirtschaft (Bernhofer et al. 2012; Hänsel et al. 2013, 2015; Abb. 3). Als sicher gilt inzwischen, dass unsere Gesellschaft ohne massive Anstrengungen der Anpassung mit erheblichen Zusatzkosten zu rechnen hat (Frommer et al. 2011; SMUL 2016). Dies

gilt nicht allein in der Leipziger Tieflandsbucht, sondern mit anderen Schwerpunkten auch im Oberen Erzgebirge.

Das größere Bild

Selbst ein kleines Land wie Deutschland ist hinreichend geografisch differenziert, um sehr heterogene Reaktionen einzelner Teilregionen auf Klimawandel zu zeigen (Brasseur et al. 2017). Dazu kommen sozioökonomische und politische Variabilitäten, die bereits heute zu

deutlich differenzierten Reaktionen einzelner Teilregionen führen. Obwohl viel großräumigere physikalische Prozesse darüber entscheiden, wie sich grundsätzlich die klimatologische Situation z. B. in Mitteleuropa weiter entwickeln wird, müssen Entscheidungen zur Anpassung auf kleinregionaler und lokaler Ebene getroffen und durchgesetzt werden. Das kann bereits heute vor dem Hintergrund der Beobachtungen mit hinreichender Genauigkeit geschehen.

Davon unabhängig ist der Wunsch, eben diese physikalischen Prozesse noch erheblich viel besser zu verstehen. Eine wesentliche Beobachtung aus unserem Raum bezieht sich auf die Phänomenologie von Großwetterlagen. Das sind Witterungsbedingungen, die für mindestens drei bis vier Tage, manchmal auch für Wochen, persistieren können. Durch diese Dauerhaftigkeit, die in unseren Breiten nicht typisch ist, können sich extreme Verhältnisse besonders stark entwickeln. So waren die Elbehochwässer 2002 und 2013 sowie die großen Trockenheiten 2003 und 2010 (und auch 2018) in unserem Raum eindeutig die Folge einer Kombination persistierender Großwetterlagen mit einer geografischen Lage, die unseren Raum massiv getroffen hat. Deshalb ist es ein Ziel der aktuellen Klimaforschung, an dessen Realisierung auch wir beteiligt sind, unter dem Fortschreiben von Beobachtungen und deren Interpretation neue Modelle anzutreiben, die geeignet sind, das zukünftige Auftreten von Extremereignissen, die klimawandelbedingt sind, „vorherzusagen“. Dabei wird es nicht darum gehen, beispielsweise die Witterung am 25. Juli 2038 anzugeben, sondern darum, mit welcher Wahrscheinlichkeit und zu welcher Zeit im Jahr welche Art von Extremereignis mit welcher Intensität und Häufigkeit auftreten wird. Möglich wird diese große Studie durch eine Förderung unseres Projekts C.A.F.E. durch die Europäische Kommission im Rahmen eines Internationalen Marie Skłodowska-Curie-Trainingsnetzwerks (ITN) von Horizon 2020. Das Akronym C.A.F.E. steht

dabei für *Climate Advanced Forecasting of Extremes* und verbindet 14 europäische sowie eine uruguayische Gruppe für die kommenden fünf Jahre miteinander. Dabei sind neben Universitäten auch Max-Planck-Institute, das Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK), das Europäische Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) in Redding, der französische Meteorologische Dienst (Meteo France) und die Münchner Rückversicherung (MunichRe) eingebunden. Der Erfolg dieser internationalen Doktorandenschule, bei der neben dem IÖZ auch die Grafa intensiv mitwirkt, wird mit darüber entscheiden, wie sich Europa auf künftige Extreme im Klimawandel einstellen kann.

Publikationen

- Bernhofer C, Matschullat J, Bobeth A (Hrsg, 2009) Das Klima in der REGKLAM-Modellregion. REGKLAM Publikationsreihe 1: 117 S. (ISBN 978-3-941216-22-8)
- Bernhofer C, Matschullat J, Bobeth A (Hrsg, 2012) Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. REGKLAM Publikationsreihe 2: 112 S. (ISBN 978-3-941216-71-6)
- Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg, 2017) Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Open, 348 S. (ISBN 978-3-662-50396-6)
- DWD (Hrsg, 2016) 10. Annaberger Klimatage 2016. Tagungsband mit Beiträgen anlässlich der Gründung der Wetterwarte Fichtelberg vor 100 Jahren. Annalen der Meteorologie 49: 146 S. (ISBN 978-3-88148-489-3)
- Frommer B, Buchholz F, Böhm HR (Hrsg, 2011) Anpassung an den Klimawandel – regional umsetzen! Ansätze zur Climate Adaptation Governance unter der Lupe. Oekom Verlag München; 275 S. (ISBN 978-3-86581-261-2)

- Hänsel S, Ullrich K, Sommer T, Benning R, Prange N, Matschullat J (Hrsg, 2013) Regionaler Wasserhaushalt im Wandel. Klimawirkungen und Anpassungsoptionen in der Modellregion Dresden. REGKLAM Publikationsreihe 5: 192 S. (ISBN 978-3-944101-14-9)
- Hänsel S, Schucknecht A, Böttcher F, Bernhofer C, Matschullat J (2015) Niederschlagsveränderungen in Sachsen von 1901 bis 2100: Starkniederschlags- und Trockenheitstrends. DWD (Hrsg), Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes (Berichte des DWD; 246 S.).
- Matschullat J (2010) Klimawandel – Klimaschwindel? Eine orientierende Handreichung. Selbstverlag (https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Klimawandel_Klimaschwindel_web.pdf)
- MunichRe (Hrsg, 2018) Ein Jahr der Stürme. TOPICS GEO Naturkatastrophen 2017. Analysen, Bewertungen, Positionen. München 64 S.
- Routschek, A (2012) Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. LfULG-Schriftenreihe 29, 2012, S. 139. (<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15510>)
- Rübhelke D, Vögele S (2013) Short-term distributional consequences of climate change impacts on the power sector: who gains and who loses? Climatic Change 116, 2: 191-206
- Schucknecht A, Matschullat J (2014) BLITSN. Raum-zeitliches Blitzaufkommen im Freistaat Sachsen – Ursachen, Phänomene, Risiken. In: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg) Schriftenreihe, Heft 12/2014: 64 S. ISSN 1867-2868
- SMUL (Hrsg, 2005) Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick 2005). 111 S.
- SMUL (Hrsg, 2008) Sachsen im Klimawandel – eine Analyse. 211 S. (ISBN 3-932627-16-4)
- SMUL (Hrsg, 2016) Klimawandel in Sachsen – wir passen uns an! 143 S.
- Van Vliet MT, Vögele S, Rübhelke D (2013) Water constraints on European power supply under climate change: impacts on electricity prices. Environmental Research Letters 8, 3: 035010



Ausgetrockneter Sumpf im Trockensommer 2018

BfL/INT

Peter und Erika Krüger – Unternehmer und Stifter

Rede des Stiftungsvorstands Prof. Klaus Michael Groll¹ zur Feier des 10-jährigen Jubiläums der Dr. Erich Krüger-Stiftung am 5. Dezember 2017 in Freiberg

*Sehr geehrte Frau Dr. Krüger,
sehr geehrter Herr Staatsminister,
Magnifizenz,
sehr geehrte Herren Lütke-Uhlenbrock, Professor Melzer
und Professor Schlömann,
meine sehr verehrten Damen und Herren,
die Sie sich alle um dieses Land, diese Alma mater und
die Dr. Erich-Krüger-Stiftung so verdient machen bzw.
an alledem mit so viel Herzblut Anteil nehmen!*

Es mag Sie vielleicht überraschen, aber das Thema „Peter und Erika Krüger – Unternehmer und Stifter“ führt uns zu einer Frage, mit der sich nicht nur Philosophen und Theologen seit Jahrtausenden beschäftigen, vielleicht sogar der schwierigsten Frage überhaupt, nämlich: Beherrschen wir selbst, das heißt, beherrscht unser Wille unser Handeln, oder ist eines jeden Schicksal von dem Wirken einer höheren Macht gelenkt, ist es durch sie bestimmt oder gar vorbestimmt? Also: freier Wille oder Prädestination, Determination? Betrachtet man den Fall Krüger näher (und Juristen denken ja immer in Fällen), so kann man sich trotz der klaren Vorstellungen beider Eheleute, trotz ihres äußerst zielgerichteten, geduldigen und unermüdlichen Planens und Schaffens des Eindrucks nicht erwehren, dass von Beginn an alles so kommen sollte, wie es kam. Wir können uns das Ganze als einen Kreis vorstellen, der sich nach einem langen Weg geschlossen hat. Spätestens in der Nachbetrachtung drängt sich der Eindruck auf, dass alles auf sehr wundersame Weise einem höheren Beschluss gefolgt sein könnte. Warum ist dies so?

Der Anfangsfunke ist's, aus dem die lebendigen Flammen schlagen, jene Flammen, die wir heute feiern. Und worin besteht dieser Funke? In der Geburt, aber einer ganz besonderen Geburt. Denn Peter Krügers Wiege stand in keinem anderen Ort als genau hier: in Freiberg. Sehr viele in diesem Saal werden es vermutlich nicht sein, die das von sich sagen können. Dann, Ende der Vierziger Jahre, nach einer Feinmechanikerlehre hier in der Silbermannstraße 2, beginnt er, treu wie er war, an der hiesigen TU ein Bergbaustudium. Aber: Man will ihn nicht. Er ist kein Arbeiter- oder Bauernkind. Sein Vater ist Dozent an eben dieser Uni. Das Furchtbare geschieht: Peter Krüger wird rausgeschmissen, steht auf der Straße. Doch nun zurück zu dem sich schließenden Kreis: Fünfeinhalb Jahrzehnte später (!)

gründet Peter Krüger im alles passioniert mittragenden Einvernehmen mit seiner Frau Erika eine Stiftung und schenkt der TU Freiberg (die Uni, die ihn damals exmatrikulierte) ein Immobilienvermögen im Wert eines dreistelligen Millionenbetrags. Dreistellig beginnt bei Hundert! Das ist damit die größte private Stiftung, die je einer deutschen staatlichen Hochschule gemacht wurde! Und was wurde bisher an die TU ausgeschüttet? Über 13 Millionen Euro! Plus satzungsgemäße Sonderaufwendungen, die der TU zugute kommen. Es klingt wie ein Märchen und ist doch wunderbare, kaum glaubliche Realität. Und nochmals: Liegt nicht bei einer solchen Geschichte, die so wie beschrieben beginnt und dann in eine solche Tat mündet, der Gedanke an eine höhermächtige Regie nahe? Wer würde nicht den Zauber spüren, den ein solches außergewöhnliches Geschehen umweht?

Nun müssen wir jedoch einen Blick werfen auf die Zeit, die zwischen dem ersten Punkt auf diesem Kreis (Geburt in Freiberg, Exmatrikulation) und seinem Schließen (Gründung der Stiftung) liegt, sonst können wir das Ganze nicht verstehen. Unendlich viel ist natürlich geschehen. Nach dem Rauswurf geht Peter Krüger nach Karlsruhe, wo er in kürzestmöglicher Zeit mit vorzüglichem Ergebnis sein Elektrotechnikstudium abschließt. Doch nach der Katastrophe des II. Weltkriegs, die noch spürbar nachklingt, droht neues Unheil, kontinentübergreifendes Unheil: Der Korea-Krieg. Peter Krüger verläßt Europa und geht nach Kanada, wo er sich sicherer glaubt. Auch dort muss man Geld verdienen, um zu leben. Peter Krüger montiert Cockpits und installiert Antennen. Aber sind das nicht Tätigkeiten mit geradezu allegorischem Charakter, Bilder mit Symbolkraft? Cockpit: Das bedeutet Führung, Verantwortung. Antennen bedeuten Kommunikation, immer bereites Senden

und Empfangen, wach für Signale auf den unterschiedlichsten Frequenzen.

Doch nach einigen Jahren ertönt dann doch der Ruf der Heimat. Peter Krüger erhält das Angebot, in Essen die Firma Peiniger, eine Firma für Anstrich und Bautenschutz, zu übernehmen. Sie steht kurz vor dem Konkurs. Peter Krüger greift zu. Wenn wir uns nun ein Bild von seinen Unternehmerqualitäten machen wollen, dann müssen wir wissen, dass er diese heruntergekommene, unbedeutende Firma in rund 15 Jahren zum größten Industrieanstrichunternehmen Europas mit 2000 Angestellten und Aufträgen aus allen möglichen Regionen der Welt (zum Beispiel ein Atomkraftwerk in Argentinien) entwickelt. Nach Cockpit und Antennen ist nun Farbe das beherrschende Thema.

Aber das war, was Farbe betrifft, eigentlich noch gar nichts.



Frau Dr. Erika Krüger während der Feier zum 10-jährigen Jubiläum der Dr. Erich-Krüger-Stiftung

¹ Prof. Dr. Klaus Michael Groll
Gründungspräsident des Deutschen Forums für Erbrecht
Vorstand der Dr. Erich-Krüger-Stiftung

Richtig Farbe kommt erst in Peter Krügers Leben, als er 1971 seine Frau Erika heiratet. Wer, der sie kennt, würde das nicht, um in der einschlägigen Fachterminologie zu bleiben, „dick unterstreichen“?

Als man das Aufbauwerk als abgeschlossen ansieht, wird die Firma Peiniger verkauft. – „Auch die Pause gehört zur Musik“, lehrt uns Stefan Zweig, und in der Tat folgt eine schöpferische Pause, bis ... ja, bis Peter Krüger eines Tages über den Münchner Viktualienmarkt schlendert. Da trifft sein Blick eine Schlange, eine Menschenschlange vor einem Stand. Wurst und Schinken. „So ein Andrang: Das muss ja wohl schmecken“, denkt er, um jedoch gleich zu folgern: „Aber schlecht organisiert, wenn der Kunde so lange warten muss.“ Es (wir sind wieder beim ES) durchfährt Peter Krüger wie ein Blitz: „Das mache ich besser!“ Schnell begeistert er seine Frau, spielt mit Bande, indem er nicht den Inhaber des Standes, sondern dessen Lieferanten, einen Metzgermeister aus Memmingen, anspricht und fragt, ob er sich vorstellen könne, dass der Inhaber ihm, Peter Krüger, wohl sein Know how verkaufen würde. Die Antwort des Meisters: „Ich weiß zwar nicht, was ‚Know how‘ ist, aber das verkauft der sofort!“ Ich kürze ab: Man gründet eine Gesellschaft, Inhaber Behr ist noch eine Zeitlang Mitgesellschafter, mutiert zum Berater und wird am Ende ausgezahlt. Wenn ich Ihnen den – fraglos genialen – Namen der Firma nenne, den man inzwischen gefunden hatte, dann wissen Sie, wovon ich spreche, und Sie bekommen eine Vorstellung von dieser zweiten Erfolgsgeschichte: Schlemmermeyer. Nicht nur wurde das Sortiment erheblich erweitert, nicht nur die Qualität gesteigert, nicht nur verkürzte sich dank besserer Organisation die Länge der Schlange, nein: Nach einigen Jahren fanden sich in ganz Deutschland 36 solcher Schlemmermeyer-Delikatessen-Läden, natürlich, wer die Krügers kennt: immer in 1a-Lagen. Eine fantastische unternehmerische Leistung!

Wenn es am schönsten ist, soll man aufhören. Eine alte Weisheit. Schlemmermeyer wurde 1989 verkauft, und es folgte wieder eine schöpferische Pause. Allerdings nur kurz, denn das Kind im Manne erwachte, der Spieltrieb. Eines Tages erzählte mir Peter Krüger mit einem Augenzwinkern, dass er nun Monopoly spiele. Bevor ich beginnen konnte, mich zu wundern, fügte er hinzu: „Aber 1:1 – und nur Schloßallee“. Die Dimension war schnell zu erkennen, man kannte Krügers ja schließlich schon ein paar Jahre. Sie hatten ein neues Kapitel eröffnet: den Erwerb, den Bau, die Restauration, ja, man kann auch sagen: die Veredelung von Immobilien, wobei der Fall der Mauer das Ganze entscheidend beflügelte. Und in der Tat in Ost und West ausschließlich Toplagen. Ich erwähne nur die Ihnen vermutlich bekannten Objekte in Leipzig (Messepalast oder das Haus Marquette, wo zum Beispiel Hugendubel zu finden ist) sowie diejenigen in Dresden, Bremen, Dortmund, Essen, Augsburg und Ulm. Filetstücke!

Aber von wegen „Spiel“: Alle Objekte mussten ja erst zu solchen ertragreichen Immobilienperlen gemacht werden. Alle drei Kapitel (Peiniger, Schlemmermeyer, Immobilien) erforderten Intellekt, hohe Sachkenntnis, so viel Mut, Geduld, Augenmaß und Zielstrebigkeit. Die Eheleute Krüger: ein sich auf vollkommene Weise ergänzendes, erfolgreiches Team, wobei Frau Dr. Krüger aber auch von genügend Enttäuschungen und schlaflosen Nächten berichten kann, nicht zuletzt von vielen entbehrungsreichen Trennungen: Peter Krüger permanent an all den Fronten vor Ort, Erika Krüger immer wieder dabei, aber eben auch oft daheim, vor allem im Büro. Und es gehört nicht

viel Vorstellungskraft dazu, sich auszumalen, welche Probleme (besonders im Osten) mit Planern, Genehmigungsbehörden und Bauhandwerkern zu bewältigen waren, um solche Gebäude, ja man kann sagen Gebäudekomplexe, die vielfach verfallen oder nur noch rudimentär vorhanden gewesen waren, hinzustellen. Ich erinnere auch an die schwierigen Verhandlungen mit Voreigentümern. Das Haus Marquette zum Beispiel: Das war ursprünglich eine Reihe von kleinen Grundstücken, mit zum Teil im Ausland lebenden, schwer erreichbaren, aber auch hartnäckigen Eigentümern. Das alles musste bewältigt werden. Es hätte nie gelingen können ohne enorme Durchsetzungskraft, ohne Druck, ja gewaltigen Hoch...Druck. Und nun wissen Sie endlich auch, warum das erste Projekt der Dr. Erich Krüger Stiftung gar kein anderes sein konnte als das härtestes Material suchende FHP, das Freiburger Hochdruck-Programm! Denn ein solches, liebe Erika, wart auch Ihr! Und Du bist es immer noch! Wo FHP draufsteht, ist Krüger drin!

Nun werden Sie vielleicht fragen: Bestehen denn etwa auch persönliche Bezüge vom zweiten Förderprojekt, dem BHMZ, dem Biohydrometallurgischen Zentrum, zu den Stiftern? Selbstverständlich! Lange bevor die Stiftung ein Thema war, wusste ich um die große Liebe der Krügers zur Natur, zu Leben in allem Natürlichen, also zur Biologie, ich kannte ihre Sorge für die Umwelt, ihr Verantwortungsgefühl für unsere Lebensräume, für die Zukunft, ihren Sinn dafür, sparsam mit den begrenzten Ressourcen umzugehen. Darüber hatten wir oft gesprochen.

Beziehungsreich auch der Begriff „Hydro“. Wasser: Für Krügers schon früh ein bedeutsames Element. Nicht, dass im Hause Krüger nur Wasser getrunken würde, nein, Gott sei Dank nicht (ich erinnere mich an fröhlichste Feste), aber man lebte und lebt in Oberbayern am Wasser, an einem See, und ist – wahrlich nicht immer ungefährlich – viele Jahre gemeinsam über die Weltmeere gesegelt. Und bitte verzeihen Sie: Aber dass man bei unserem biohydrometallurgischen Förderprojekt, wo kleine, freche, hungrige Bakterien emsig Indium und Germanium aus dem Erz herausknabbern, nicht zuletzt an Loriots legendäre Steinlaus denkt, ist vielleicht erlaubt. Und der Bezug? Frau Dr. Krüger lebt in Ammerland, der Gemeinde, in der auch Victor von Bülow Jahrzehnte nur einen Steinwurf entfernt wohnte. Ich komme wieder auf den Kreis zurück. Bei unseren beiden bisherigen Förderprojekten, FHP und BHMZ, deren Inhalte bereits an anderer Stelle wiederholt ausführlich gewürdigt wurden und wozu wir heute von Herrn Professor Schlömann auch noch etwas hören werden, hat sich also etwas, das offenbar sein sollte, auf wundersame Weise vollendet.

Als wenn dies alles nicht schon beeindruckend genug wäre, nein, auf der Grundlage des gemeinsam Geschaffenen hat Frau Dr. Krüger ihrem Mann und sich mit hohem finanziellen Aufwand aus eigenen Mitteln noch ein weiteres Denkmal gesetzt: das Krügerhaus. Wunderbar fügt es sich in das Ensemble am Schloßplatz ein. Nur wer die Entwicklung des Baus verfolgt oder wenigstens das Buch über das Haus angeschaut hat, kann ermessen, was hier geschehen ist. Aus einer verfallenen Ruine, einem alten Amtshaus, wurde ein glanzvolles Schmuckstück, ein Anziehungspunkt für die ganze Region. Im Innern faszinierende Minerale speziell aus Deutschland, in wertvollen Vitrinen anschaulich und informativ präsentiert, interessant für Wissenschaftler, Studenten, Sammler, aber auch für jeden Laien. Zudem eine entspannende Atmosphäre in edlen Räumen. Es hat etwas Erhabenes, ja, es schafft Demut, diese Wunder der Natur in Stille zu betrachten, Balsam für die Seele, ein Hauch

von Wellness. In der Kunst ist das Schöne heute vielfach auf der Strecke geblieben, hier in der Mineralogischen Sammlung Deutschland zeigt uns die Natur, was Schönheit wirklich ist: die herrlichen Silberlocken, Pyromorphite, Fluorite. Nur die allerschönsten Minerale vermisste ich noch: die Krügerite. Doch man wird sie finden. Einfach ist das allerdings nicht, denn sie wachsen trotz wunderbarer Leuchtkraft unbeobachtet ganz still und leise in verborgensten Tiefen. Bescheidenheit, Diskretion, Zurückhaltung, die rechte Form, das rechte Maß, das zählt zu ihren wesentlichen Eigenschaften. Denken Sie nur an den Namen der Stiftung. Es ist nicht der eigene, es ist der des Vaters und Schwiegervaters. Selbst im engeren persönlichen Umfeld war niemandem auch nur im geringsten bewusst, was sich Peter und Erika Krüger erarbeitet hatten. 1984, auf einer Abendveranstaltung, bei der wir Krügers kennenlernten, war Peter Krüger der Tischherr meiner Frau. Auf ihre Frage, womit er sich beruflich beschäftige, antwortete er knapp: „Ich habe einen Wurststand auf dem Viktualienmarkt“. Erstaunlich, dass er nicht von einem Bauchladen sprach!

Ich komme zum letzten Kapitel, dem Chile-Haus. Auch hier schließt sich ein Kreis, auch hier vollendet sich etwas, das schon lange im Wesen, schon in der frühen Biographie von Peter und Erika Krüger wurzelte. Es ist die fruchtbare, segensreiche Verbindung von zweierlei: Erika Krüger wurde in Prien am Chiemsee geboren, Peter Krüger, wie erwähnt, in Freiberg. Man darf wohl, ohne jemandem zu nahe zu treten, in beiden Fällen von Provinz sprechen. In ihr jedoch kann sich, wie Thomas Mann zu Recht betont, auf ideale Weise das Individualmenschliche, also lebendige Wärme bilden, anders als im anonymen Geflecht der Großstadt. Diese, des eigenen Ursprungs bewusste Lebensphilosophie, dieses Individualmenschliche sowie das daraus erwachsende soziale Pflichtgefühl sind nun zum einen die Quelle für die zahlreichen Stipendien, die Frau Dr. Krüger zugunsten von Studenten ebenfalls aus eigenen Mitteln finanziert, zudem aber auch der tiefere Grund dafür, warum sich Krügers mit ihrem unvergleichlichen Stifterengagement speziell für das Land Sachsen, speziell für die Region Freiberg und eben für diese TU, so steht es ausdrücklich in der Stiftungssatzung, entschieden haben.

Aber es gibt neben der Heimatverbundenheit und dem daraus fließenden Individual-Menschlichen, wie erwähnt, noch den zweiten Strang: „Wer stets zu Hause bleibt, hat nur Witz (also Geist) fürs Haus“, meinte der größte englische Dramatiker. Anders Peter und Erika Krüger. Sie sind weitgereist, darum weltoffen und gegenüber dem neuen Anderen aufgeschlossen. Dieser geweitete Horizont, das Wissen darum, dass die Welt viele Sprachen spricht, diese internationale, weltumspannende Orientierung bilden den Humus für die Schaffung des Chile Hauses. Und erinnert uns das nicht auch ein wenig an das Klassische Weimar? Manifestation des Weltbürgerlichen in der Provinz. Weltgewandtheit einerseits und Bekenntnis zur Heimat andererseits. Unsere Stifter zeigen, dass das kein Widerspruch sein muss.

Meine sehr verehrten Damen und Herren, es war einer unserer Großen, Student in diesem Hause, der Frühromantiker Friedrich von Hardenberg, genannt Novalis, welcher einen wichtigen Wesenszug seiner Landsleute beschrieb, wenn er sagte – und damit möchte ich schließen –: „Deutschheit ist Kosmopolitismus mit der kräftigsten Individualität gemischt.“

Oh welche Freude hätte er doch an Erika und Peter Krüger gehabt! So, wie wir alle!



Foto: Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg

Stifterin Dr. Erika Krüger fördert das Studienbotschafter-Programm der Universität

Das Studienbotschafterprogramm ist eine wichtige Säule im Informations- und Beratungsangebot der Universität. Studienbotschafter sind engagierte Studierende aller Fachrichtungen, die ihr Heimatgymnasium besuchen und dort Vorträge für Schüler und angehende Abiturienten halten. Dabei bringen sie ihre eigenen Erfahrungen bei der Studienentscheidung und vom Studium mit ein, wodurch die Präsentation auf Augenhöhe und lebensnah erfolgt.

Für eine Tätigkeit als Studienbotschafter möchten wir im Wintersemester 2018/19 noch mehr Studierende gewinnen und die Aktivitäten der Botschafter erweitern. Studienbotschafter sollen auch als Ansprechpartner bei Fragen der Schüler und bei Campustagen vor Ort sein. Unsere Stifterin, Frau Dr. Erika Krüger, möchte mit ihrem Engagement die Tätigkeit der TU-Botschafter fördern. Mit Unterstützung von Frau Dr. Krüger werden die Studierenden zukünftig auch als TU-Botschafter entsprechend ausgestattet. Hierfür gilt Frau Dr. Krüger unser ausdrücklicher Dank.

Neben einer finanziellen Aufwandsentschädigung für die Fahrt ins Heimatgymnasium erhalten die Studierenden zukünftig auch eine Ausstattung mit einem neuen Uni-T-Shirt, einer College- oder Wind-/Regenjacke und dazu die neueste Uni-Tasche mit Informationsmaterialien und Collegeblöcken für die Schüler.

Das Studienbotschafterprogramm wird von der Zentralen Studienberatung koordiniert und betreut. In einem Workshop werden die Studierenden für ihren Schultermin fit gemacht.

■ Sabine Schellbach

Stiften für die Wissenschaft

Schenkungen an die Geowissenschaftlichen Sammlungen nehmen zu

Andreas Massanek, Birgit Seidel-Bachmann, Georg Unland, Gerhard Heide

Das Stiften und Schenken von geowissenschaftlichen Objekten oder auch von finanziellen Zuwendungen hat an der Bergakademie Freiberg eine sehr lange Tradition. Schon die Gründer der Institution, der sächsische Generalbergkommissar Friedrich Anton von Heynitz (1725–1802) und der Oberberghauptmann Friedrich Wilhelm von Oppel (1720–1769), haben private Sammlungsbestände zur Verfügung gestellt, damit bereits die ersten Studenten eine praxisnahe Ausbildung erhalten konnten. Nur wenige Monate nach der Gründung der Bergakademie im November 1765 – im Jahr 1767 – nahm die Niederlage verkäuflicher Mineralien ihren Betrieb auf. Gewinne aus dem Verkauf von Mineralen und Fossilien sollten der Bergakademie zukommen und hier insbesondere dem Aufbau der Sammlungen dienen. Dadurch konnten hin und wieder Ankäufe getätigt werden, aber für eine gezielte Entwicklung der Sammlungen reichte das bei Weitem nicht aus. So waren Schenkungen von Professoren, Studenten und Absolventen bei den jeweils

verantwortlichen Kustoden der Sammlungen stets willkommen. Häufig finden sich Vermerke auf den Schenkungen, normalerweise auf den alten Etiketten, die z. B. von Friedrich August Breithaupt (1791–1873), Albin Julius Weisbach (1833–1901) oder Friedrich Kolbeck (1860–1943) geschrieben worden sind. Meistens handelte es sich um Neufunde in Bergwerken, die oft auch von hohem wissenschaftlichen Interesse waren. Beispielsweise bekam Albin Weisbach im Jahr 1871 vom Bergverwalter Otto Richard Tröger (1838–1917) eine Reihe von farbenprächtigen Mineralstufen zur Bestimmung überreicht, die bei einem Anbruch auf dem Walpurgis Flachen in der Grube Weißer Hirsch in Schneeberg-Neustädtel gefunden worden sind. Weisbach gelang es in der Folgezeit, aus diesem Material die fünf neuen Uransekundärminerale Trögerit, Uranosphäerit, Uranospinit, Walpurgin und Zeunerit zu beschreiben, was dieser Entdeckung den Namen „Jahrhundertfund“ einbrachte. Solche „Zufälle“ prägten die Entwicklung

der Sammlungen, da es für gezielte Ankäufe zu keiner Zeit ein dafür notwendiges Budget gegeben hatte. Während der Zeit des Nationalsozialismus stagnierte diese Entwicklung aufgrund des Zusammenbruchs der internationalen Beziehungen völlig. Das änderte sich erst wieder Mitte der 1950er-Jahre. Damals wurde die Mineralien-Niederlage als Verkaufseinrichtung geschlossen und ihre Bestände kamen an die Sammlungen. Nun wurde unter Hans-Jürgen Rösler (1920–2009) ein internati-



Dr. Christin Kehrer bei der Bestückung der Vitrinen für die Sonderausstellung „Naturwerksteine“. Mehr als 800 solcher Gesteinsplatten wurden der Petrologischen Sammlung durch Dr. Hans-Joachim Bellmann aus Markkleeberg übergeben.

onales Tauschsystem aufgebaut, das es den Kustoden ermöglichte, die wichtigsten Neufunde und Mineralentdeckungen auch zu Zeiten geschlossener Grenzen für die Freiburger Sammlungen zu bekommen.

Am 30. Juni 2004, vor 14 Jahren also, änderte sich das auf einen Schlag. An diesem Tag wurde ein Dauerleihvertrag mit der kurz vorher gegründeten Pohl-Ströher-Mineralien-Stiftung unterzeichnet. Die Stifterin, Frau Dr. Erika Pohl-Ströher, hatte mehr als 60 Jahre ihres Lebens Minerale aus aller Welt nach ästhetischen Gesichtspunkten gesammelt und einen großen Teil ihrer Kollektion in diese Stiftung überführt. Zur Unterbringung dieser phantastischen Objekte wurde das marode Schloss Freudenstein saniert und darin eine moderne Ausstellung unter dem Namen „terra mineralia“ aufgebaut. Diese wurde im Oktober 2008 eröffnet und konnte in mittlerweile zehn Jahren knapp 1 Mio. Besucher empfangen. Auch dank einer Vielzahl von museumspädagogischen Angeboten entwickelte sich

die Ausstellung zu einem international beachteten Besuchermagneten.

„Magnet“ ist das richtige Stichwort auch für die weitere Entwicklung, denn durch das Bekanntwerden der Ausstellung „terra mineralia“ ist auch das Ansehen der TU Bergakademie Freiberg und der universitätseigenen Geowissenschaftlichen Sammlungen stark gestiegen. Das brachte weitere Stiftungen auf den Weg, die Anzahl der Schenkungsangebote nahm zu. So wurde im April 2008 die Stiftung „Mineralogische Sammlung Deutschland“ gegründet. Stiftungszweck ist die Sammlung von aus wissenschaftlicher, ästhetischer oder historischer Sicht bedeutsamen Mineralen sowie sonstiger geowissenschaftlich relevanter Exponate mit dem Ziel, das mineralogische Kulturgut Deutschlands bei gleichzeitiger Nutzung für Forschungs- und Lehraufgaben zu sichern und zu bewahren.

Erster Stifter war der damalige Rektor der TU Bergakademie, Prof. Georg Unland, der drei Stufen aus seiner privaten Sammlung zur

Verfügung stellte: Baryt mit Chalkopyrit aus Dreislar im Sauerland, Strontianit aus dem Münsterland und Goethit als Brauner Glaskopf aus dem Siegerland. Der Gründung dieser Stiftung folgte ein Aufruf über die Fachpresse an private Sammler und Hobbyforscher, Stufen aus ihren Sammlungen zuzustiften und damit die neue Ausstellung mitzugestalten. Die Reaktion darauf war überwältigend. Bis zur Eröffnung der Deutschland-Sammlung im Krügerhaus im Oktober 2012 hatten 36 Personen 122 Stufen mit einem Gesamtwert von über 100.000 Euro in die Stiftung eingebracht. Unter den Stiftern waren ehemalige Bergleute aus dem Erzgebirge, aber auch Sammler und Wissenschaftler aus ganz Deutschland. Der erste, der dem Aufruf folgte, war Karl Fichter aus Esslingen bei Stuttgart, der eine schöne, igelförmige Calcitstufe aus dem Graphitbergwerk Kropfmühl bei Passau spendete. Eine spektakuläre grüne Pyromorphitstufe aus Bad Ems, die der Wuppertaler Zahnarzt Dr. Jürgen Storch zur Verfügung

stellte, dürfte wohl eines der wertvollsten Exponate der Sammlung sein. Viele der Stifter sind emotional stark mit der Bergakademie verbunden. Einer von ihnen ist Peter Eienkel aus Leipzig, der in Freiberg Werkstoffwissenschaft studiert hatte. Sein Hobby ist die Kristallographie. Er übergab sieben vergoldete Kristallmodelle, die alle das gleiche Volumen haben und die er in seiner Werkstatt selbst gefertigt hatte. Ein weiteres Beispiel ist Dr. Klaus Eimcke aus Hamburg. Der ehemalige Leiter der Forschungsabteilung beim Kupferproduzenten Aurubis war ein Schulfreund von Peter Krüger. Sie wollten gemeinsam ein Studium an der Bergakademie in Freiberg aufnehmen, das ihnen aber damals verwehrt wurde. Beide gingen in den westlichen Teil Deutschlands und verloren sich später aus den Augen. Die Familie Eimcke fand es großartig, was Dr. Peter Krüger und seine Frau Dr. Erika Krüger in Freiberg vollbracht haben. Deshalb stifteten sie für die neue Ausstellung einige schöne Stufen aus dem Freiburger Revier sowie Konfirmationsschmuck, gefertigt aus Halsbacher Korallenachat.

Mit dem Namen Krüger schließt sich hier der Kreis, denn durch die Aktivitäten der Dr. Erich-Krüger-Stiftung konnten die zuvor genannten Stiftungen unter einem Dach vereinigt werden. Neben der Unterstützung der Forschung an der TU Bergakademie Freiberg ermöglichte die Dr. Erich-Krüger-Stiftung nun auch die Einrichtung der Ausstellung „Mineralogische Sammlung Deutschland“. Frau Dr. Erika Krüger ließ dazu nach dem Tod ihres Mannes 2007 das ehemalige „Amtshaus“ neben dem Schloss Freudenstein mit erheblichen privaten Mitteln sanieren und begleitete aktiv die Einrichtung der Ausstellung. Obwohl sie selber nie Minerale gesammelt hatte, war sie von der fertigen Ausstellung so begeistert, dass sie später sogar selber zu einer Mineral-Stifterin wurde. Eine exzellente Galenitstufe aus Neudorf im Harz und eine Großstufe von Fluorit aus der neu aufgefahrenen Flussspat-Baryt-Lagerstätte Niederschlag im Erzgebirge bezeugen das!

Seit der Eröffnung der Ausstellung im

Krügerhaus sind weitere 56 Stifter dazugekommen, so dass die Stiftung heute insgesamt 412 Stufen mit einem Wert von ca. 300.000 Euro umfasst. Unter den Stiftern sind auch „Wiederholungstäter“. Dazu gehört z. B. die Familie Grobelny aus Wolfenbüttel, die regelmäßig Pakete mit aktuellen Funden aus dem Harz und dem Flechtinger Höhenzug nach Freiberg sendet. Auch der leider schon verstorbene ehemalige Bergmann Hans Gulich aus St. Blasien im Schwarzwald kam jährlich in die Ausstellung und brachte



Fluorit auf Celestine, White Rock Quarry, Clay Center, Ottawa Co., Ohio, USA. 9 × 7 cm. Gestiftet von Günther Ertle aus Schopfheim.

immer neue Stufen mit. Er hatte bereits bei der Überführung der Pohl-Ströher-Mineraliensammlung aus der Schweiz nach Freiberg geholfen, indem er mehr als 600 Transportkisten besorgte. Ebenfalls aus dem Schwarzwald stammt Günther Ertle aus Schopfheim, ein bereits langjähriges Mitglied bei den Freunden und Förderern der TU Bergakademie Freiberg e. V. Er lud den Direktor der Geowissenschaftlichen Sammlungen und den Kustos der Mineralogischen Sammlungen ein, aus seiner Fluorit-Sammlung zehn Stufen für die Ausstellung im Krügerhaus auszuwählen. Hansjörg Eugster aus Amriswil in der Schweiz ist der erste ausländische Stifter, er stellte uns z. B. Achat und Amethyst aus dem pfälzischen Waldhambach zur Verfügung. Einer der umfangreichsten

Zuwächse der Stiftung „Mineralogische Sammlung Deutschland“ ist dem Geologen Thomas Beyer aus Geithain zu verdanken, der 2017 eine Sammlung von 67 Anschliffen von Achat, Amethyst und verkieselten Hölzern übergeben hat, die alle aus der Kiesgrube Nobitz bei Altenburg stammen. Diese Sammlung ist bereits auf großes wissenschaftliches Interesse gestoßen. Die verkieselten Hölzer werden nach Abschluss der Inventarisierungsarbeiten an das Naturkundemuseum Chemnitz zur Bearbeitung ausgeliehen.

Neben den zahlreichen Sammlern, die Objekte stifteten, konnten noch fast 70 Personen und neun Museen zur Ausleihe von Objekten begeistert werden. Die Anzahl dieser Personen ist aber rückläufig, da sich mittlerweile einige von ihnen dafür entschieden haben, ihre Leihgaben in Zustiftungen umzuwandeln.

Im August 2013 bahnte sich eine weitere Stiftung an, an die bis zu diesem Zeitpunkt noch gar nicht zu denken war. Der Leiter der Finanzabteilung eines großen Porzellanherstellers, Günter Heinisch aus Hof, war in besagtem Monat verstorben. Er war ein begeisterter Mineralsammler und Naturfreund. Oft hatte er die Mineralogische Sammlung der TU Bergakademie im Wernerbau besucht. Er war begeistert von den Aktivitäten der Mitarbeiter der

Geowissenschaftlichen Sammlungen und begann schon in der 90er-Jahren, diese finanziell mit kleineren Beträgen – jeweils kurz vor Weihnachten – zu unterstützen. 2004 versprach er bei einem Treffen anlässlich der Münchener Mineralientage, als die Freiburger mit einer Aufsehen erregenden Sonderausstellung auf die Pohl-Ströher-Mineralienstiftung und die in Vorbereitung befindliche Sanierung von Schloss Freudenstein sowie die Entstehung der Ausstellung „terra mineralia“ aufmerksam machten, die Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie in seinem Testament zu bedenken. Aber niemand rechnete damit, dass der Verein der Freunde und Förderer (VFF) der TU Bergakademie Freiberg mit Wertpapieren im Umfang von mehr als

Foto: Andreas Masanek

1,5 Millionen Euro bedacht werden würde. Der Vorstand des VFF beschloss, die „Günter Heinisch-Stiftung des Fördervereins VFF für die Geowissenschaftlichen Sammlungen in Freiberg“ zu gründen. Damit ist eine dauerhafte, jährliche finanzielle Förderung der Sammlungen möglich, um den gemeinnützigen Stiftungszielen zu entsprechen. Solche Ziele sind die wissenschaftliche Betreuung und Erweiterung der Sammlungen sowie die Förderung von Forschungsvorhaben und öffentlichen Bildungsangeboten. Bisher konnten mit Hilfe dieser Stiftung drei wertvolle Mineralstufen erworben werden: Gold aus Russland, Plumbogummit aus China und Silber aus Schneeberg im Erzgebirge. Ein umfangreiches wissenschaftliches Projekt über sächsische Typminerale, das in diesem Jahr mit einer Buchpublikation seinen Abschluss finden wird, konnte ebenfalls mit Hilfe der Heinisch-Stiftung realisiert werden. Auch konnte auf dieser Basis die Probendokumentation in den Sammlungen durch die Anschaffung einer modernen Fotoausrüstung verbessert werden.

Zum Wirken der vier genannten Stiftungen für die Geowissenschaftlichen Sammlungen kommt noch eine ganze Reihe großartiger Leistungen von Einzelpersonen hinzu, die, ohne Stifter zu sein, den Sammlungen mit Tatkraft zur Seite stehen oder durch großzügige Schenkungen zum weiteren Ausbau einzelner Teilgebiete beitragen. Stellvertretend seien hierfür nur zwei Persönlichkeiten genannt: Siegfried Flach aus Damme und Dr. Hans-Joachim Bellmann aus Markkleeberg. Herr Flach ist Ehrenbürger der TU Bergakademie Freiberg und hat die Sammlungen über Jahrzehnte hinweg unterstützt. Neben seiner umfangreichen Mineralsammlung von erzgebirgischen Lagerstätten erwarb er weitere Sammlungen, um sie dann der Freiburger Universität zu schenken. Dazu gehörten die Kollektion des WISMUT-Mineralogen Ulrich Lipp aus Schneeberg und eine Sammlung aus Zwickau, die unter anderem den längsten je in Deutschland gefundenen Aquamarinkristall in Edelsteinqualität beinhaltet.

Über Siegfried Flach und die hier erwähnten Sammlungsschenkungen wurde schon in der letzten Ausgabe der ACAMONTA ausführlich berichtet. Aber auch in diesem Jahr erwarb er wieder eine Sammlung. Etwa 500 Stufen aus dem Mansfelder Kupferschieferrevier haben ihre Reise nach Freiberg angetreten. Diese Proben sind eine wertvolle Ergänzung der Bestände der hiesigen Lagerstätten-Sammlung. Einige dieser Stufen werden Eingang in die Ausstellung im Krügerhaus finden.



Realgar auf Arsen, Gang Nelson I, -720m-Sohle, Strecke 8012, unterhalb Durchschuss zur 675m-Sohle, Schacht 366, Aue-Alberoda, Erzgebirge, Sachsen, 6 x 5 cm. Gestiftet von Siegfried Flach aus Damme.

Seit Mai 2004 erhalten die Geowissenschaftlichen Sammlungen regelmäßig polierte Gesteinsplatten von dem pensionierten Geologen Dr. Bellmann, der an der Bergakademie Freiberg und der Martin-Luther-Universität Halle/Wittenberg studiert und bei Prof. Hans Jürgen Rösler promoviert hat. So befinden sich mittlerweile mehr als 800 derartige Platten im Bestand der Petrologischen Sammlung. Es sind unterschiedliche Formate in dieser Naturstein-Platten-Sammlung vertreten, wobei 24 x 15 x 2 cm die häufigste Größe ist. Die jeweils zugehörige Liste enthält die Gesteinsbezeichnung, die Naturwerkstein- bzw. die Natursteinbezeichnung, das Herkunftsland und den Herkunftsort, die geologische Formation sowie Anmerkungen zur Größe der Platte. Die Sammlung umfasst Gesteine aus aller Welt, vorrangig aus Deutschland, Brasilien, Indien

und Italien. Die Anteile der Magmatite, Sedimentite und Metamorphite sind in etwa gleich groß. Am 22. August wurde eine Sonderausstellung in den Geowissenschaftlichen Sammlungen eröffnet, die die Naturwerkstein- und Naturstein-Platten von Herrn Dr. Bellmann zeigt. Der Aufbau der Ausstellung wurde durch die Günter Heinisch-Stiftung unterstützt.

Eine ganz andere Form des Stiftens oder Schenkens ist die ehrenamtliche Tätigkeit für die Geowissenschaftlichen Sammlungen. Aus der Vielzahl unentgeltlich Mitwirkender sei hier der Mineraloge Götz Rosetz genannt.

Das Sächsische Ministerium für Wissenschaft und Kunst zeichnete ihn am 1. Oktober 2018 für seine „verdienstvolle ehrenamtliche Arbeit zur Förderung des sächsischen Museumswesens“ aus. Wissenschaftliche Erkenntnisse, erarbeitet von Bürgerwissenschaftlern, sind für eine Universität unschätzbar.

Dank der „terra mineralia“ ist das Freiburger Schloss Freudenstein vor nunmehr zehn Jahren nach umfassender Sanierung wieder zu neuem Leben erwacht. Auch im Jahr 2018, dem „Freiberg im Silberrausch“-Jahr, erfreuen das Schloss und das Krüger-Haus mit ihren Ausstellungen die Bürger und die Besucher unserer Stadt.

Mit der Übergabe ihrer einzigartigen Sammlung als

Dauerleihgabe an die TU Bergakademie Freiberg durch Frau Dr. Erika Pohl-Ströher vor über einem Jahrzehnt hat die Freiburger Universität Bergakademie nicht nur eine der bedeutendsten, wertvollsten und ästhetisch schönsten Mineraliensammlungen der Welt erhalten. Die Übergabe dieser Sammlung an die Freiburger Universität war zugleich die bedeutende Fortsetzung der langjährigen Stiftungstradition, die es an der Bergakademie von Anfang an gab, und sie läutete ein neues Kapitel auf dem Gebiet der Mineral-Stiftungen überhaupt ein.

Die Minerale aus aller Welt, deren großartige Vielfalt, unendliche Schönheit und wunderbare Ästhetik verzaubern nun schon seit zehn Jahren jeden Besucher – und es ist schön, dass – dank uns freundlich geneigter, zahlreicher Stifter – ständig neue Kostbarkeiten hinzukommen.

Foto: Andreas Müssener

Vom Silber über einen Umweg zum Silicium

Die Grundlegung der Fabrikation von Elektronik-Werkstoffen in Freiberg durch das FNE Forschungsinstitut für Nichteisenmetalle Freiberg

Gottfried Jäckel

Früher konnte formuliert werden: „... in Meiben die Freiberge weisen unerschöpfte Silberadern auf.“ [1] Silberrausch 2018 in Freiberg? Als Marketingtitel gut geeignet – allein, es ist Vergangenheit. Silberbergbau in Freiberg? Es war einmal und endete mit der Schließung der Gruben in Brand-Erbisdorf 1966 und Freiberg 1968. Geblieben war bzw. ist die Silberrückgewinnung aus metallurgischen Zwischenprodukten und Sekundärmaterialien bis zur Wende durch das ehemalige Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“ in der Größenordnung von 70 Jahrestonnen und die Fortsetzung in Halsbrücker Unternehmen bis in die Gegenwart. Vom Silber zum Silicium – das ist Freibergs Gegenwart und aller Wahrscheinlichkeit nach auch längerfristige Zukunft, eingeschlossen das matt silbrig glänzende Galliumarsenid. Warum – so muss man sich seit Jahren fragen – findet sich im Zentrum von Freiberg kein würdiger Hinweis auf die den Weltmarkt mitbestimmenden, in Freiberg ansässigen Betriebe der Halbleiterfertigung? In Freiberg wurden und werden hohe wissenschaftlich-technische Leistungen in dieser Branche erbracht und damit zahlreiche Beschäftigungsverhältnisse begründet. Vom Beginn dieses Weges zur Freiburger Halbleiterfertigung in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts soll im Folgenden berichtet werden.

Von den Anfängen

Ein Blick zurück auf die End-1940er-Jahre lässt bei der voranstehend genannten Aufgabenstellung insbesondere auf zwei sehr unterschiedliche Aspekte verweisen: die Wiedereingangssetzung der Wirtschaft nach den schrecklichen Kriegsereignissen einerseits und die Entdeckung des Transistors andererseits.

Die Beseitigung der Kriegsschäden und die Wiedereingangssetzung der Wirtschaft nach den wesentlich vom deutschen Osten zu erbringenden Reparationsleistungen verlangten vehement die industrielle Ausrichtung NE-metallurgischer Forschung und die Vorbereitung neuer Technologien und Produkte für das Betreiben der traditionellen Standorte der Nichteisen-Metallurgie, insbesondere im Raum Eisleben und im Erzgebirge mit dem Zentrum in Freiberg. Dabei galt als Prämisse, weitgehend die einheimischen Rohstoffe zu nutzen. Ausgehend von der

Jahrhunderte alten Erkenntnis der Technikgeschichte, dass ohne Produkte der Nichteisen-Metallurgie die Gestaltung und die ständige Weiterentwicklung der Volkswirtschaft schlechthin nicht vorstellbar ist, wurde am 19. Februar 1949 noch vor der Staatsbildung der DDR für die heute östlichen Bundesländer das Forschungsinstitut für Nichteisen-Metalle in Freiberg (Kurzbezeichnung „FINEM“, später „FNE“) gegründet. Vorläufereinrichtung war das „Technische Büro Metallurgie“, das im Auftrag der sowjetischen Besatzungsmacht von 1947 bis 1949 in Freiberg tätig war. Erster Direktor des neuen Instituts war Prof. Dr. Dr. Otto Emicke (1891–1970), der auch langjährig der Bergakademie Freiberg angehörte. [2]

Die örtliche Nähe der Bergakademie Freiberg als der ältesten montanwissenschaftlichen Hochschule der Welt sollte sich dabei für das FNE stets als ein begünstigender Umstand erweisen. Leitende Mitarbeiter des Instituts hielten Vorlesungen an der Bergakademie, gemeinsame Projekte wurden bearbeitet, der wissenschaftliche Erfahrungsaustausch wurde gepflegt, Großgeräte wurden gemeinsam betrieben, viele Absolventen der Bergakademie, insbesondere aus den Fachrichtungen Metallurgie, Metallkunde, Chemie und Ingenieurökonomie, nahmen eine Tätigkeit im FNE auf, zahlreiche Dissertationen von FNE-Mitarbeitern erfolgten extern an der Bergakademie, vor und nach der Wende wurden Kooperationsverträge abgeschlossen. Doch zurück zur Historie.

Die ersten Themen des neu aufzubauenden Instituts waren zeitgemäß dem Wiederbeleben der NE-metallurgischen Produktionsstätten gewidmet – die Themen lagen sozusagen auf der Straße. Aber gleichzeitig wurde der Blick auf perspektivisch wichtige Projekte gerichtet (z. B. wurde bereits 1950 ein

erster Forschungsbericht zur Lithium-Gewinnung aus Zinnwalder Erzen und Haldenbeständen vorgelegt, ohne von dem heutigen Lithiumbedarf für Batterien zu wissen).

Andererseits blieb im FNE nicht unbekannt, dass in den europafernen Vereinigten Staaten von Amerika Ende der 1940er-Jahre der weltweit erste Transistor vorgestellt wurde. Wie es der Wissenschaftsentwicklung so eigen ist – nicht etwa auf Basis des Massenwerkstoffs Silicium, dem mit zweitgrößter Häufigkeit auf der Erde vorkommenden Element, aus dem heute mehr als 90% aller Halbleiterbauteile bestehen, sondern vielmehr unter Verwendung des Germaniums, das bis dahin bes-

ser untersucht war und anfangs die mutmaßlich besseren Eigenschaften für mikroelektronische Anwendungen versprach. Gesucht war zunächst der Effekt. Für die später folgende massenhafte Anwendung in der Leistungselektronik, verbunden mit der Ablösung der voluminösen Röhrentechnik und der Miniaturisierung elektronischer Bauteile, war die Zeit damals nicht reif und die Vorkommenshäufigkeit des Germa-

niums, die in der Regel mit $6,00 \cdot 10^{-4}$ % (prozentualer Massenanteil der Erdhülle, d. h. der Erdkruste/Ozeane bis 16 km Tiefe) angegeben wird, nicht geeignet.

Die Gründung des VEB Spurenmetalle Freiberg

Die forschungsseitige Beschäftigung mit der Hochreinigung von Metallen zwecks Nutzung als Halbleiterwerkstoffe – wesentlich in Verantwortung der damaligen FNE-Hauptabteilungsleiter Dr. Ludwig Müller und Dr. Siegfried Ziegenbalg (später Honorarprofessor der Bergakademie) – führte sehr schnell zu der Erkenntnis, dass ihre produktionsmäßige Herstellung in einem eigenständigen Betrieb erfolgen muss. Es war Prof. Dr.



Prof. Dr. Dr. Otto Emicke,
Direktor des FNE 1949–1956

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. eh. Werner Lange, 1913–1992

Die Technische Universität Bergakademie Freiberg und GfE Fremat GmbH Freiberg (vormals FNE Freiberg) veranstalteten aus Anlass seines 100. Geburtstages am 18. Juli 2013 ein Ehrenkolloquium.

- 1947–1949 Direktor des Instituts für Metallhüttenkunde der Bergakademie Freiberg
- 1955–1962 Direktor des Instituts für Anwendung radioaktiver Isotope der Technischen Hochschule Dresden
- **1956–1978 Direktor des Forschungsinstituts für Nichteisen-Metalle Freiberg**
- 1962–1966 Direktor des Instituts für Metallkunde und Materialprüfung der Bergakademie Freiberg
- 1983 Ehrenpromotion zum Dr.-Ing. ehrenhalber durch die Bergakademie Freiberg
- langjährig leitendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Berlin und im DDR-Forschungsrat
- Namensgeber BHT „Berg- und Hüttenmännischer Tag“ der Bergakademie Freiberg



Werner Lange, der seit 1956 die Leitung des FNE übernommen hatte und der diese Anregung nicht nur formulierte, sondern sich nachhaltig für deren Realisierung einsetzte. Aus dem ersten Jahresbericht des VEB Spurenmetalle Freiberg – später mit dem Zusatz „Wissenschaftlicher Industriebetrieb“ - in Muldenhütten 1957 [3]: „*Der steigende Bedarf an Metallen höchsten Reinheitsgrades für die Halbleitertechnik hat es notwendig gemacht, im Einvernehmen mit der Staatlichen Plankommission und dem Ministerium der Finanzen den jüngsten, aber sehr wichtigen Betrieb der HV NE-Metallindustrie, den VEB Spurenmetalle Freiberg in Muldenhütten am 1.4.1957 zu gründen. (Gesetzblatt der DDR Teil II Nr. 6 vom 08.01.1957) Aufgabe des Betriebes ist es, die in der DDR vorhandenen heimischen Rohstoffe für die Herstellung von Metallen hohen Reinheitsgrades entsprechend den Forschungsergebnissen des Forschungsinstitutes für NE-Metalle, Freiberg zu verarbeiten. Die Produktion der Elemente Indium, Germanium, Mangan, Zink, Silicium, Lithium, Beryllium, Niob, Tantal, Scandium, Thallium und Cadmium soll dazu beitragen, den Bedarf der DDR und zum Teil den der befreundeten Länder zu decken. Darüber hinaus gibt uns die Verarbeitung der Rückstände in unserer Republik die Möglichkeit, uns etappenweise vom kapitalistischen Markt freizumachen und sie darüber hinaus für friedliche Zwecke der Anwendung der Atomenergie und zur Einführung der modernen Funk- und Nachrichtentechnik anzuwenden.*“ [4]

Parallel zu den Reinstmetall-Forschungskapazitäten des FNE wurde im neuen Betrieb (abgekürzt auch SMF oder

im Jargon „Spume“ genannt) eine eigene Forschungsabteilung aufgebaut.

Der Umweg – das Germanium

Die Bereitstellung des Germaniums und später anderer benötigter Basismaterialien für die Entwicklung der Halbleitertechnik stellte eine riesige Herausforderung für Forschung und Produktion der Nichteisenmetallurgie dar. Natürlich wusste man im sächsischen Freiberg, um welchen Stoff es sich handelt: Schließlich hatte der Bergakademie-Professor Clemens Winkler 1886 den existenziellen Nachweis für den von Dmitri Mendelejew 1871 an zutreffender Stelle im Periodensystem der Elemente vorhergesagten und Eka-Silicium benannten Stoff erbracht.

In Ost und West begann die Suche nach den Germanium-Metallmengen für den erwarteten stark steigenden Bedarf in der Mikroelektronik. Es gibt kein ergiebiges Germanium-Mineral, kein Germanium-Bergwerk. Germanium kommt nur als Spurenelement in Erzen und metallurgischen Zwischen- und Abprodukten vor. So standen in Ostdeutschland vordergründig Kohleflugaschen, Flugstäube der Zinkerzverarbeitung und Bleischachtofenflugstaub als Nachfolgeprodukt aus der Verhüttung von Mansfelder Kupferschiefer zur Auswahl. Als technisch und ökonomisch aussichtsreich erwies sich der Bleischachtofenflugstaub. Dies zumindest war ein wichtiges Zwischenergebnis eines ersten Arbeitsschwerpunkts im FNE seit 1950. Der Ermittlung des geeigneten Produktvorlaufs schlossen sich Projekte zur Gewinnungstechnologie mit entsprechenden Reinheitsgraden des Produkts an. Diese Aussagen sind in einem Abschlussbericht des FNE von 1954 zum Forschungsauftrag Spurenelementgewinnung enthalten, wesentlich verfasst von Dr.-Ing. Willy Schreiter, der an der Bergakademie damals auch Vorlesungen zur Hochreinigung von Metallen hielt.

Mitte der 1950er-Jahre wird die Aufgabenstellung dahingehend erweitert, dass die Darstellungstechnologie für die Überleitung in den zu gründenden „VEB Spurenmetalle Freiberg“ (SMF) vorzubereiten ist. In Kurzfassung war 1958 folgende Technologie vorgesehen:

- Anreicherung des Ge durch Verwälzen Ge-haltiger Zwischen- und Abprodukte



Institutsansicht Lessingstraße (1960er-Jahre)

- nassmetallurgische Gewinnung von Ge-Sulfid und Überführung in Ge-Oxid
- Destillation mittels Salzsäure als Ge-Tetrachlorid, wobei der Angriff auf die Destillationsapparatur aus Glas zu beachten war
- Reinigung durch Hydrolyse zu Ge-Oxid

Nach verfahrenstechnischer Weiterentwicklung im FNE wurde in den 1960er-Jahren die Produktionstechnologie modifiziert:

- Laugung des Mansfelder Bleischacht-ofenflugstaubs mit Schwefelsäure
- selektive Adsorption des Ge an mit Tannin vorbeladenem Ionenaustauscherharz
- selektive Elution des Ge als Tetrachlorid mit Salzsäure
- destillative Reinigung des Ge-Tetrachlorids
- Hydrolyse zu Ge-Oxid

In einer vom FNE in der Nickelhütte Aue errichteten und betreuten Produktionsanlage (wesentlicher Akteur war Dr. Eberhard Scheffler) wurde Germaniumdioxid in erforderlicher Menge und Reinheit erzeugt. Von anfangs ca. 100 kg/a wurde die Germaniumoxid-Produktion auf ca. 500 kg im Jahre 1960 gesteigert. Die Weiterverarbeitung zum metallischen Germanium 5N (d. h. 99,999 %) erfolgte bei SMF anfangs durch horizontales Zonenschmelzen unter Schutzgas, später nach dem Czochralski-Verfahren durch Ziehen aus dem Quarztiegel so lange, bis Germanium durch Silicium als Halbleiterwerkstoff weitgehend verdrängt wurde.

Kontaktierungs- und Dotierungsmetalle

Sehr schnell stellte sich bei der Beschäftigung mit dem Germanium heraus, dass im Gitter des Germaniumkristalls durch den gezielten Einbau anderer Elemente ganz bestimmte für die Anwendung in elektronischen Bauelementen gewünschte Eigenschaften erreicht werden können. Es mussten deshalb Metalle für die Kontaktierung und Dotierung (sogenannte KoDo-Metalle) mit Reinheiten im Bereich von 5N bis 6N bereitgestellt werden. Als aussichtsreiches Verfahren dazu erwies sich die Destillation unter Vakuumbedingungen. Schon 1951 wurde im FNE ein grundlegender Forschungsbericht zur Gewinnung von Reinstmetallen im Vakuum vorgelegt. Anfangs im FNE, später in koordinierter Zusammenarbeit mit dem beim VEB Spurenmetalle Freiberg entstehenden

Bereich Forschung und Entwicklung wurden verschiedenste Technologien zur Hochreinigung – damals auch Fein- und Feinstreinigung genannt – von Cadmium, Gallium, Indium, Thallium, Zink, Arsen, Antimon, Wismut, Eisen, Kupfer, Selen und Tellur entwickelt und in der Produktion bei SMF eingesetzt.

Auf die Hochreinigung zweier Metalle, die in der weiteren Entwicklung bis zur Gegenwart große wirtschaftliche Bedeutung erlangten, sei im Folgenden näher eingegangen:

Gallium

Das bei Zimmertemperatur flüssige Gallium ähnelt chemisch dem Aluminium und wurde 1875 von dem Franzosen Le-coq de Boisbaudran nach Mendelejewscher Voraussage von 1871 („Eka-Aluminium“) entdeckt. Als Nachbarlement zum Aluminium findet sich Gallium hauptsächlich in Mineralien, die Vorlauf für die Gewinnung des Massenmetalls Aluminium sind (z. B. Bauxit, Ton) sowie in Zwischen- und Abprodukten der Aluminiumherstellung, jedoch u.a. auch in sulfidischen Zinkerzen, dem Mansfelder Kupferschiefer, angereichert in Muffelrückständen der Zinkweiß-Produktion sowie in Kohleflugaschen von Gaswerken. DDR-Standorte für die Aluminium-Gewinnung waren Bitterfeld und Lauta. Vordergründig bot sich für die Gallium-Produktion als Ausgangsmaterial die Anodenlegierung der Bitterfelder Reinst-Aluminium-Gewinnung an, in der Ga auf rund 2.500 g/t angereichert war. Zur weiteren Aufbereitung wurden alternativ zwei Wege beschritten:

- nach Zerkleinerung der Legierung, deren Auflösung in Natronlauge, Eindampfen der Lösung, elektrolytische Ga-Abscheidung
- Anodenlegierung in Salzsäure lösen, daraus Ga-Chlorid durch Lösungsmittel extrahieren, elektrolytische Ga-Abscheidung

In einem entsprechenden F/E-Bericht des FNE aus dem Jahre 1958 ist formuliert: „*Es ist mit Sicherheit anzunehmen, dass bei der rasch fortschreitenden Weiterentwicklung der Technik auch Gallium im technischen Maßstab in der DDR hergestellt werden muß.*“ [5]

Indium

Indium wurde wie Germanium in Freiberg entdeckt: 1863 von den Bergakademieprofessoren Reich und Richter in der Freiburger Zinkblende. Auf eben dieses Mineral greift ein 1958 vorgelegter

Technologievorschlag des FNE zurück, der für die Reinst-Indium-Gewinnung als Vorlauf das Zinkbleioxid vom Verwälzen der Rückstände von Laugen der Freiburger Zinkblenderöstkonzentrate nutzt. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen [6]:

- Anreicherung von Indium in einem zink/blei/indiumhaltigen Mischoxid
- anschließend nassmetallurgische Aufarbeitung des Mischoxids nach einem kombinierten Ammoniak-Natronlauge-Verfahren
- Elektrolyse zur In-Gewinnung
- Abtrennung von Verunreinigungen mittels Ionenaustausch
- Amalgamelektrolyse von Elektrolyt zu Reinst-Indium

Nach dieser Technologie wurde eine entsprechende Anlage für den VEB Spurenmetalle konzipiert und dort errichtet. Das benötigte Personal wurde durch das FNE eingearbeitet.

Die Breite des damaligen Anspruchsdenkens wird dadurch verdeutlicht, dass auch das indiumhaltige Werkblei der Hütte Muldenhütten Gegenstand der Untersuchungen war. Das FNE hat dazu eine produktionsreife Technologie für die Indium-Gewinnung in Hüttenqualität entwickelt (dazu auch externe Promotion 1965 von Gerhard Haake an der Bergakademie zum Dr.-Ing.). Die Nutzung erfolgte nur deshalb nicht, weil es Umstellungen in der primären Bleitechnologie gab.

Indium wurde vom FNE unter der Verantwortung von Dr. Dieter Löwe [7] jahrelang in Hüttenqualität für den DDR-Bedarf kampagnenweise produziert.



Indium-Barren des FNE aus der Zeit 1960–1965

Die Produktionsmengen pro Jahr lagen zwischen 500–700 kg. Die Hochreinigung für Halbleiteranforderungen erfolgte durch horizontales Zonenschmelzen nach einer vom FNE entwickelten Technologie bei SMF.

Wichtige Begleitfelder

An dieser Stelle muss unbedingt auf drei wichtige, ständige Begleitfelder der Hochreinigung von Metallen und ihrer industriellen Nutzung hingewiesen werden: die Analytik, die Messtechnik und den Anlagenbau.

Analytik

Hüttenmäßig und im Metallhandel wurden Reinheiten bis 3N mit analytischen Methoden weitgehend beherrscht. Beim Nachweis höherer Reinheiten musste Neuland betreten werden. (Zur Verdeutlichung: 5N, d. h. 99,999 % Inhalt des jeweiligen Metalls, d. h. 0,001 % Fremdanteil, wobei die Art des Fremdanteils noch offen sein kann.) Die entsprechende Reinheit konnte nicht nur behauptet, sondern musste reproduzierbar nachgewiesen werden. Die Ausarbeitung neuer analytischer Methoden zur Kontrolle von Prozessen sowie Zwischen- und Endprodukten der Hochreinigung von Metallen wurde dringend erforderlich. Das FNE nutzte dazu die Spektralphotometrie und die Atomabsorptionsspektroskopie nach nasschemischer Anreicherung (6–7N) sowie ferner spektralanalytische Verfahren, Aktivierungsanalysen mittels Isotopentechnik und Festkörpermassenspektrometrie.

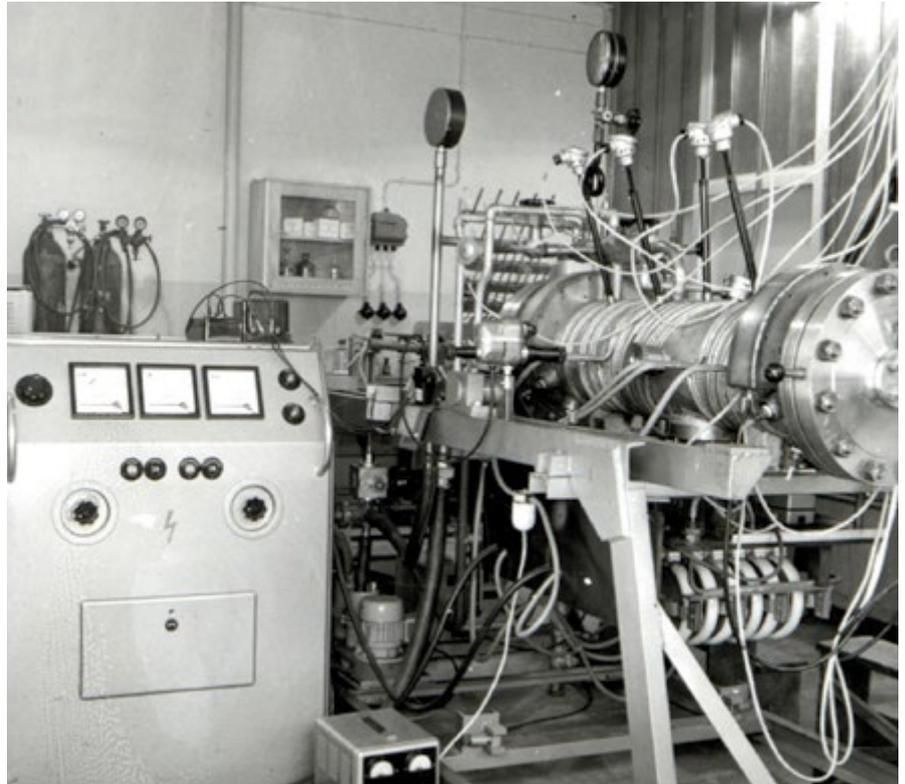
Messtechnik

Als Thema mit zunehmendem Gewicht erwies sich die physikalische Messtechnik an Halbleiterwerkstoffen. FNE hat für diesen Zweck u. a. ein sogenanntes Tieftemperaturtechnikum (TTT) errichtet, das gemeinsam mit der Bergakademie Freiberg betrieben wurde. Das FNE führte dort physikalische Messungen bei tiefen Temperaturen an Ge, Si und an halbleitenden Verbindungen (z. B. an GaP und GaAs) durch. Als Kühlmittel dienten flüssiger Stickstoff und flüssiger Wasserstoff, so dass im Bereich zwischen -15 K und Raumtemperatur die physikalischen Eigenschaften der Halbleiter-Materialien in Abhängigkeit von den technologischen Verfahrensparametern bestimmt werden konnten. Dazu wurde spezielle Messtechnik aufgebaut, z. B.

- Widerstands-Messplätze als Vier-spitzenmessplätze zur Ermittlung des spezifischen elektrischen Widerstands
- Hall-Effekt-Messplätze zur Bestimmung der Halbleitereigenschaften bei tiefen Temperaturen. Aus der Hallspannung konnten neben dem Leitungstyp die Ladungsträgerdichte und die -beweglichkeit an n- und p-leitenden Halbleitermaterialien bestimmt werden.

Anlagenbau

Jede produktionsmäßig anzuwendende Technologie verlangt spezifische Apparate und Anlagen, wenn sie den Labormaßstab



Syntheseanlage aus den 1960er-Jahren für die frühere Herstellung von $A^{III}B^V$ -Verbindungen

verlässt. Apparaturen für die Hochreinigung von Metallen waren in der DDR käuflich nicht erwerbbar – zu neuartig waren die gestellten Anforderungen, zu langsam die sich entwickelnde Planwirtschaft. Es blieb nur der Weg über den Eigenbau. Als günstiger Umstand erwies sich, dass das industriell orientierte Forschungsinstitut für NE-Metalle über erfahrene Techniker und Konstrukteure verfügte, um die benötigten Apparaturen zu entwickeln und zu bauen. Besondere Aufmerksamkeit galt dabei der Auswahl der einzusetzenden Werkstoffe, die gegenüber dem zu behandelnden Stoff mit hoher Reinheit chemisch inert sein mussten. Bevorzugt wurde in den Destillationskolonnen Quarzglas verwendet. Obenstehendes Bild zeigt als Beispiel eine Syntheseanlage, die in den 1960er-Jahren vom FNE konstruiert und gebaut sowie bis 1990 bei SMF betrieben wurde.

Verbindungshalbleiter

Die Hochreinigung der für die Kontaktierung und Dotierung benötigten Metalle war gleichzeitig die Voraussetzung für die Zuwendung zu einem weiteren neuen Tätigkeitsfeld, den sogenannten Verbindungshalbleitern. Darunter sind Verbindungen vom Typ $A^{III}B^V$ (z. B. GaAs, InP, GaP, InSb, GaSb), vom Typ $A^{II}B^{VI}$ (z. B. CdS, PbS, PbSe, CdTe, ZnS), vom Typ $A^{IV}B^{IV}$ (z. B. SiC, SiGe_x) sowie bestimmte Oxide

(Cu_2O) und – seit der Entdeckung 1990 – bestimmte Polymere (Polyacetylen) mit halbleitenden Eigenschaften zu verstehen. Verbindungshalbleiter besitzen den großen Vorteil gegenüber Silicium, dass ihre Elektronenbeweglichkeit um ein Vielfaches größer ist (zwingend erforderlich für die drahtlose Datenübertragung) und dass eine strahlende Rekombination der Elektronen mit den Löchern erfolgt (Nutzung für optoelektronische Anwendungen).

Eine besondere Rolle sollte das Galliumarsenid als Konkurrent und/oder Ergänzung zum Silicium spielen: vor 100 Jahren nicht bekannt, vor 80 Jahren relativ unbeachtet erstmals hergestellt, vor 50 Jahren umfassend in seinen elektrischen Eigenschaften beschrieben.

Erstes Freiburger GaAs

Mit dem bei Ga und As erreichten Entwicklungsstand gelang es in den 1960er-Jahren, erste Kleinstmengen von halbleitertauglichem Galliumarsenid in den technischen Labors des Forschungsinstituts für Nichteisen-Metalle herzustellen. [8]

Ausgehend von den Reinstoffen Ga bzw. In und As bzw. P wurde in der abgebildeten Anlage die Synthese durchgeführt. Dabei wurde der P bzw. das As in eine Quarzglasampulle eingebracht, dem In bzw. Ga in einem Graphitboot zugefügt wurde. Anschließend wurde die

Ampulle evakuiert, abgeschmolzen und in die Syntheseanlage mit drei Heizzonen überführt. In der ersten Heizzone erfolgte die Verdampfung von As bzw. P in der Ampulle. Der Dampf reagierte im Bereich der zweiten HF-Heizzone mit dem flüssigen Ga bzw. In zu einer nichtstöchiometrischen GaAs-, GaP- bzw. InP-Schmelze. Im Verlauf einer langsamen Bewegung der Ampulle durch das Ofensystem kristallisiert aus der unstöchiometrischen Halbleiterschmelze der polykristalline stöchiometrische III-V-Halbleiter. Dieses Produkt war das Ausgangsmaterial für die anschließende Einkristallzüchtung nach dem LEC- bzw. HB-Verfahren. Das in den 1960er-Jahren entwickelte Verfahrensprinzip für die Synthese wurde bis 1990 bei Spurenmetalle Freiberg im 1 kg-Maßstab für GaP und InP betrieben. Für GaAs setzte sich ab Mitte der 1980er-Jahre die Direktsynthese durch, die gegenüber dem hier dargestellten Prinzip 50-fache Produktivität aufweist.

Diese damaligen Arbeiten hatten Einstiegs- und Orientierungscharakter und bildeten den Ausgangspunkt für die anschließend im VEB Spurenmetalle aufgenommene GaAs-Produktion. Sie waren die Vorstufe zu den modernen Technologien der Freiburger Gegenwart: Direktsynthese beim GaAs, Einkristallwachstum beim GaAs über LEC-Puller (*Liquid Encapsulated Czochralski* = aus flüssiger Schmelze arbeitend) und VGF-Öfen (*Vertical Gradient Freeze* = vertikal gerichtete Erstarrung).

Silicium

Die Eignung des Germaniums als Halbleiterwerkstoff war in den 1950er- und 1960er-Jahren in breitem Maße nachgewiesen worden. Wie bereits dargelegt, stand aber einer sich abzeichnenden umfassenden Nutzung für elektronische Zwecke die geringe Ge-Verfügbarkeit – nicht nur in der DDR, sondern im Weltmaßstab – gegenüber. Es ist durchaus als äußerst glücklicher Umstand der Natur zu bezeichnen, dass ein unmittelbares Nachbarlement im PSE, das Silicium, gleichfalls halbleitende Eigenschaften besitzt, aber eine ungleich größere Vorkommenshäufigkeit mit 25,8% (prozentualer Massenanteil der Erdhülle, d.h. der Erdkruste/Ozeane bis 16 km Tiefe) aufweist.

Im Vergleich zum Germanium ermöglicht Silicium höhere elektrische Widerstände und höhere Arbeitstemperaturen und vor allem: Silicium ist kein Spurenelement! [9] Rohstoffbilanzierer sprechen von praktisch endloser Verfügbarkeit.

Jedoch kommt Silicium in der Natur nur in gebundener Form, zumeist mit Sauerstoff, vor und kann sowohl metallischen als auch nichtmetallischen Charakter annehmen. Aufwändige Gewinnungs- und Reinigungsprozesse sind vom Siliciumoxid bis zum Siliciummetall mit Reinheit von 6N erforderlich. Neue, tiegelfreie Kristallzüchtungsverfahren wurden erforderlich, um Silicium als Elektronikwerkstoff nutzen zu können.

Vorweg zu den Ausführungen über die Silicium-Aktivitäten des Forschungsinstituts für NE-Metalle ist festzuhalten, dass das FNE mit zwei Problematiken nicht befasst war: Dies betrifft einerseits die Entwicklung der Darstellungstechnologie für die Gewinnung von elementarem Si und andererseits die später folgende Nutzung des Si für solare Anwendungen.

Das industrielle Darstellungsverfahren für Halbleiter-Silicium aus der Gasphase, das sogenannte Trichlorsilan-Verfahren (auch als Siemens-Verfahren bezeichnet), wurde im damaligen Institut für Metallphysik und Reinststoffe Dresden (IMR) unter der Leitung von Prof. Dr. E. Rexer (wesentlicher Akteur war Dr. Wolf) in Zusammenarbeit mit der Forschungsabteilung des VEB Spurenmetalle entwickelt. Dies führte zum Eigenbau einer ersten Abscheidungsapparatur als 3-Brücken-Anlage in zweifacher Ausfertigung. Vom FNE wurde Mitte der 1960er-Jahre gemeinsam mit dem IMR eine sogenannte 9-Brücken-Apparatur entwickelt, die die Technologiebasis für die Si-Produktion bei SMF bis zur Wende bildete. Der Übergang von der bisherigen 3-Brücken-Anlage zur 9-Brücken-Anlage ermöglichte in den Folgejahren eine wesentliche Leistungssteigerung in der industriellen Produktion von polykristallinem Silicium.

Weiterhin war FNE insbesondere bei der Einkristallzüchtung (EKZ) tätig. Zum Komplex Übergang Ge/Si wurden vom FNE in dieser Zeit folgende Leistungen erbracht:

- Technologie-Entwicklung zur physikalischen Hochreinigung von Germanium durch horizontales Zonenschmelzen und Einkristallzüchtung mit dem horizontalen Bridgeman-Verfahren sowie Überleitung zu SMF
- Technologie-Entwicklung zur EKZ von Silicium durch das Zonenfloating-Verfahren, Erarbeitung der 28-mm-Technologie und Überleitung in die Produktion des SMF 1967 (der Übergang von \varnothing 22 mm auf

\varnothing 28 mm ermöglichte eine wesentliche Leistungssteigerung in der Produktion)

- Erarbeitung einer Technologie zur EKZ von antimondotiertem Germanium und Silicium nach dem Czochralski-Verfahren

In dem für diese Aufgaben 1965/66 im FNE errichteten Reinstmetall-Technikum standen u. a. sechs Zonenfloating-Anlagen, eine Czochralski-Anlage von Leybold und eine Anlage für das horizontale Bridgeman-Verfahren zur Verfügung.

Umsetzung der Reinstmetallforschung

In den 1960er-Jahren wurden in der DDR einschneidende Wirtschaftsreformen durchgeführt. Unter anderem ging es um die Auflösung der Vereinigungen volkseigener Betriebe (VVB) und die branchenmäßig ausgerichtete Bildung großer Industriekombinate. In diesem Zusammenhang wurde entschieden, den VEB Spurenmetalle Freiberg per 1. Januar 1969 aus dem Bereich Metallurgie (VVB NE-Metallindustrie) auszugliedern und dem Bereich Elektrotechnik/Elektronik (VVB Bauelemente und Vakuumtechnik/Kombinat Mikroelektronik Erfurt) zuzuordnen. Das wiederum hatte zur Folge, dass FNE schwerpunktmäßig seine Aktivitäten auf dem Gebiet der Reinstmetalle beendete und diese in den VEB Spurenmetalle überleitete. Im Zeitraum September/November 1968 erfolgte die Umsetzung von 28 Mitarbeitern der Forschungsabteilung Reinstmetalle vom FNE Forschungsinstitut für Nichteisen-Metalle zum VEB Spurenmetalle Freiberg.

Zum Schluss

Dank und Anerkennung all denen, die an unterschiedlicher Stelle und in verschiedenster Weise diesen Weg vom Silber über das Germanium und die KoDo-Metalle zum Silicium und Galliumarsenid mitgestaltet haben! Stellvertretend für die zahlreich beteiligten Akteure seien Dipl.-Ing. Manfred Richter für das Elektronik-Silicium, Prof. Peter Woditsch für das Solar-Silicium und Dr. Tilo Flade für das Galliumarsenid genannt, die sich insbesondere nach der Wende für die Fortführung der Halbleiterfertigung in Freiberg engagierten. Von Silicium und Galliumarsenid zehren die Stadt Freiberg und das Umland noch heute in beträchtlichem Maße. Und weil Silicium als zweithäufigstes Element kaum Materialbeschaffungsprobleme bereiten wird

VEB Spurenmetalle Freiberg: Von der Gründung bis zur Privatisierung

1957	Gründung des VEB Spurenmetalle Freiberg
1959	Hauptproduktion auf Germaniumbasis
1960/61	Beginn der Silicium-Entwicklungsarbeit
1963	Produktionsstart von Silicium-Einkristallen und Silicium-Wafern
1968–1970	Konzentration der Waferfertigung in Muldenhütten
1971/72	Konzentration der Kristallzüchtung im Kompaktbau Brand-Erbisdorf
1972–1974	Neubau für Mechanische Kristallbearbeitung in Muldenhütten
1977–1981	Neubau Poly-Werk in Muldenhütten
1981	Neubau des Werkes SIS \geq 100 in Freiberg
1982	Produktionsbeginn GaAs und GaP
1986	Inbetriebnahme 1. Ausbaustufe
1986–1989	Konzentration der Einkristall- und Waferfertigung im neuen Freiburger Werk
1990	30. Juni: Umwandlung des VEB SMF zur Freiburger Elektronikwerkstoffe Produktions- und Vertriebsgesellschaft mbH
1991/92	Überlebenskampf, Personalabbau, Produktbereinigung, Neustrukturierung mit Solar-Si, Elektronik-Si, GaAs
1992–1994	Zuordnung zur Horst-Plaschna-Management GmbH&Co.KG
Aug. 1994	1. Teilprivatisierung: Bayer Solar GmbH Freiberg
Aug. 1995	Ausgliederung der GaAs-Aktivitäten und Privatisierung: Freiburger Compound Materials GmbH
01.10.1995	Übernahme der „Rest-FEW“ GmbH durch die Wacker Chemitronic GmbH

und die Sonne als kostenlose Energiequelle auch weiterhin zur Verfügung steht, erscheint dieser Freiburger Weg summarisch auch tragfähig für die Zukunft. Wer mehr über die weitere Entwicklung der Freiburger Halbleiterwerkstoffe wissen möchte als in der obigen Aufzählung [10] angeführt ist, sei auf die angegebenen Literaturstellen verwiesen.

P.S.: Wahrlich, man sollte ein geeignetes Schauobjekt vom neuen Freiburger Silber, dem Silicium, im Stadtzentrum installieren. Man muss ja nicht gleich „silicon hills“ dazuschreiben.

Anmerkungen

- 1 Enea Silvio Piccolomini (später Papst Pius II.): Germania – Lob und Preis Deutschlands. 1457.

In: Wieland, R.: Das Buch der Deutschland-Reisen. Propyläen – Ullstein Buchverlage. Berlin 2017. S. 60.

- 2 Prof. Dr.-Ing. Dr. mont. Otto Emicke an der Bergakademie Freiberg: 1942/47 Direktor des Instituts für Metallformung; 1953/57 Direktor des Instituts für Verformung; Ehrensenator der Bergakademie 1961.
- 3 Bericht mit Fotos über die Entwicklung des VEB Spurenmetalle Freiberg in Muldenhütten 1957 der HV NE-Metallindustrie des Ministeriums für Berg- und Hüttenwesen (heute unter Signatur A 2119 im Sächsischen Bergarchiv Freiberg 40141 Forschungsinstitut für Nichteisenmetalle registriert).
- 4 Die DDR hatte den Ehrgeiz, eigenständig Atommacht zu werden und Flugzeuge zu bauen. Beide Entwicklungen wurden 1961 durch Moskau gestoppt.
- 5 Forschungsbericht des FNE: FE 115a/b Zwi-

schensbericht über Ge-Ga-Gewinnung vom 28.02.1958, S. 50.

- 6 Forschungsbericht des FNE: FE 94 Abschlussbericht zur Reinst-Indium-Gewinnung vom 01.08.1958.
- 7 Dr. Dieter Löwe: 1957-1964 am Chemischen Institut der Bergakademie Freiberg, 1964-1992 am FNE.
- 8 Projektverantwortlicher: Dr. Wolfgang Muschner, Mitarbeit von Dipl.-Phys. Werner Geil; Promotion W. Muschner 1972 an der Humboldt-Universität zu Berlin: „Ein Beitrag zur Untersuchung der Realstruktur von einkristallinem Galliumphosphid“.
- 9 Mit der Namensgebung „Spurenmetalle“ verbindet sich ein bestimmter Anachronismus, denn für die Nutzung als Halbleiterwerkstoff wurden nicht nur Spurenmetalle eingesetzt. Zutreffender wäre die Bezeichnung „Reinstmetalle“ gewesen. Das war auch den damaligen Verantwortlichen bekannt, aber man blieb beim ursprünglich vergebenen Namen.
- 10 Prüger, U.: Festschrift „Vom Silber zum Silizium – 50 Jahre Elektronikwerkstoffe aus Freiberg“. a.a.O., S. 49.

Literatur

- Prüger, U.: Festschrift „Vom Silber zum Silizium – 50 Jahre Elektronikwerkstoffe aus Freiberg“. Herausgeber: Stadt Freiberg gemeinsam mit: Siltronic AG, DeutscheSolar AG, FCM GmbH, FNE GmbH, TU Bergakademie Freiberg, Wirtschaftsförderung Sachsen. Verlag: c/o Kommunikation Schnell GmbH. Dresden 2007.
- Jäckel, G., Scheffler, E., Jacobi, G., Weinert, B.: Von den Vorbereitungen im FNE Forschungsinstitut für Nichteisen-Metalle Freiberg für den Aufbau einer künftigen Halbleiterfertigung in Freiberg und der Zusammenarbeit mit dem VEB Spurenmetalle Freiberg. In: Festschrift „Vom Silber zum Silizium – 50 Jahre Elektronikwerkstoffe aus Freiberg“.
- Löchtermann, E.: Halbleiterforschung in Freiberg. In: Festschrift „Vom Silber zum Silizium – 50 Jahre Elektronikwerkstoffe aus Freiberg“.
- Jäckel, G. (als Autor und Herausgeber): Das FNE in der Neuzeit 1990-2007. Freiberg 2009.
- Jäckel, G. u. a.: Werner Lange 18.07.1913-09.12.1992. Ehrenkolloquium am 18. Juli 2013. Interne Dokument. mit Vorträgen. Freiberg 2013.



Der Eingangsbereich des Siltronic-Geländes, Aufnahme 2018

Foto: Gottfried Jäckel

50 Jahre Geotechnik-Ausbildung an der TU Bergakademie Freiberg

Heinz Konietzky, Christoph Butscher, Thomas Nagel¹

Vor nunmehr 50 Jahren wurde die geotechnische Ausbildung an der Bergakademie Freiberg konzipiert und aufgenommen. Das Ausbildungskonzept basiert im Kern auf den Fachgebieten Fels- und Bodenmechanik, ergänzt durch die Ingenieurgeologie als Bindeglied zur Geologie/Mineralogie, und auf Elementen des Bauingenieurwesens. Der Freiburger Geotechniker besitzt damit das Rüstzeug für einen vielfältigen Einsatz im Bauwesen, im Bergbau, in der Energie- und Wasserwirtschaft, in der Abfallwirtschaft, im Flächenrecycling, im Verkehrswegebau sowie in diversen Projekten des Natur- und Umweltschutzes bis hin zur Sanierung von historischen Gebäuden und Denkmälern.

Bisher haben ca. 1.000 Studenten das Studium in dieser Fachrichtung erfolgreich abgeschlossen. Die Nachfrage nach Geotechnik-Absolventen aus Freiberg seitens der Industrie, der Behörden und der Forschungseinrichtungen übersteigt stets die Zahl der Absolventen, was u. a. auch für ein solides Lehrkonzept und eine Ausbildung auf hohem Niveau spricht.



Abb. 1: Tag der offenen Tür im gesteinsmechanischen Labor zur Nacht der Wissenschaft 2018

Lehrstuhl Felsmechanik

Die Lehre auf dem Gebiet der Felsmechanik beinhaltet – neben den geomechanischen Grundlagen sowie den felsmechanischen Laborpraktika – den Fels- und Hohlraumbau in seiner gesamten Breite.

¹ Prof. Dr. habil. Heinz Konietzky, Lehrstuhl Felsmechanik, Institut für Geotechnik
 Prof. Dr. Christoph Butscher, Lehrstuhl Ingenieurgeologie, Institut für Geotechnik
 Prof. Dr. Thomas Nagel, Lehrstuhl Bodenmechanik, Institut für Geotechnik

Besondere Berücksichtigung erfährt der Einsatz numerischer Berechnungsmethoden zur Lösung geomechanischer Aufgabenstellungen. Die Forschung im Bereich Fels- und Gebirgsmechanik konzentriert sich methodisch auf die Anwendung und Weiterentwicklung numerischer Simulationstechniken sowie auf gesteinsmechanische Laborversuche. Die Arbeiten sind jeweils etwa hälftig der Grundlagen- und angewandten Forschung zuzuordnen, wobei letztere gemeinsam mit einer Vielzahl von Firmen und Behörden des In- und Auslands durchgeführt wird. In Bezug auf die praktische Anwendung stehen Probleme des Bergbaus und der Endlagerung von radioaktiven und chemisch-toxischen Stoffen im Mittelpunkt.

Die nun schon seit einigen Jahren konstant hohe Anzahl an wissenschaftlichen Mitarbeitern erlaubt es, eine Vielzahl an unterschiedlichen Themen jeweils in kleinen Arbeitsgruppen intensiv zu bearbeiten. Die inhaltlichen Schwerpunkte der letzten Jahre lagen auf folgenden Arbeitsgebieten:

- Tiefengeothermie: Induzierte Seismizität, Stimulation von Riss- und Klüftstrukturen und Triggerung von hydraulischen Frac-Prozessen (u. a. auch Multi-Frac-Systeme)
- Subkritisches Risswachstum und Lebensdauerprognose für Gesteine



- unter Lasteinwirkung
- Simulation der Rissausbreitung in Gesteinen mittels Voronoi-basierter Diskrete Elemente Modelle
- Statische und dynamische Groß-Scherversuche zur Untersuchung des Kluffverhaltens unter komplexen Belastungen
- Aufbau und Simulation des Verhaltens von Gesteinen unter detaillierter Berücksichtigung der Mikrostruktur,
- Simulation von Schneid- und Bohrprozessen mittels diskontinuumsmechanischer Verfahren

Neben der Fortführung dieser Arbeiten sind seit kurzem auch neue Themen in Bearbeitung, wie z. B.:

- Bewertung der Barriere-Integrität bei Aktivitäten im tiefen Untergrund
- Thermisch induzierte Rissausbreitung in Gesteinskulpturen unter Brand- und Sonneneinwirkung
- Verhalten von Beton und Gestein unter zyklischer Belastung
- Arbeiten zur CO₂-Sequestrierung
- Hydro-mechanisch gekoppeltes Verhalten von Klüften (experimentell und numerisch mittels hochauflösender CFD-Verfahren)
- Entwicklung und Implementierung neuer Materialgesetze für Gesteinsmatrix und Klüfte
- SSiC-Kanister-Konzept für hochradioaktiven Abfall

Besonderer Wert wurde auf die stetige Erweiterung und Erneuerung des gesteinsmechanischen Labors gelegt. Der Maschinenpark erlaubt es, uni-, bi-, und triaxiale hydro-thermo-mechanisch gekoppelte Versuche im statischen oder dynamischen

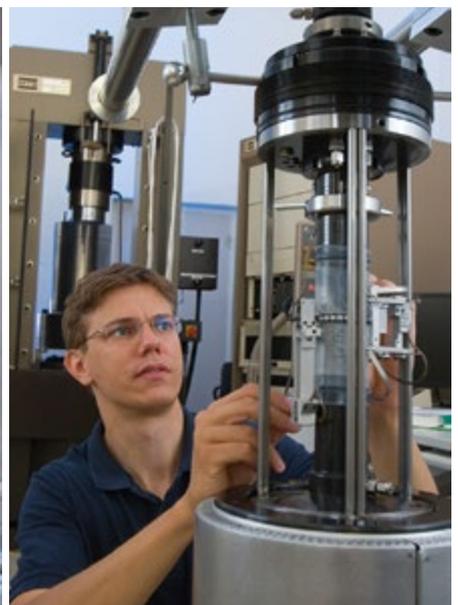


Abb. 2: Arbeiten an servo-gesteuerter Prüftechnik im gesteinsmechanischen Labor



Abb. 3: Spezielle Spaltzugversuche zur Ermittlung der Bruchzähigkeit K_{II} (Laborversuche und äquivalente numerische DEM-Simulationen auf Kornniveau)

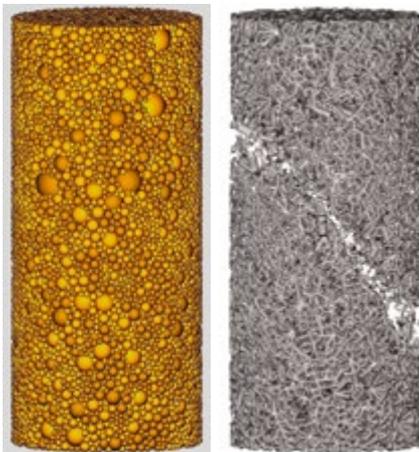
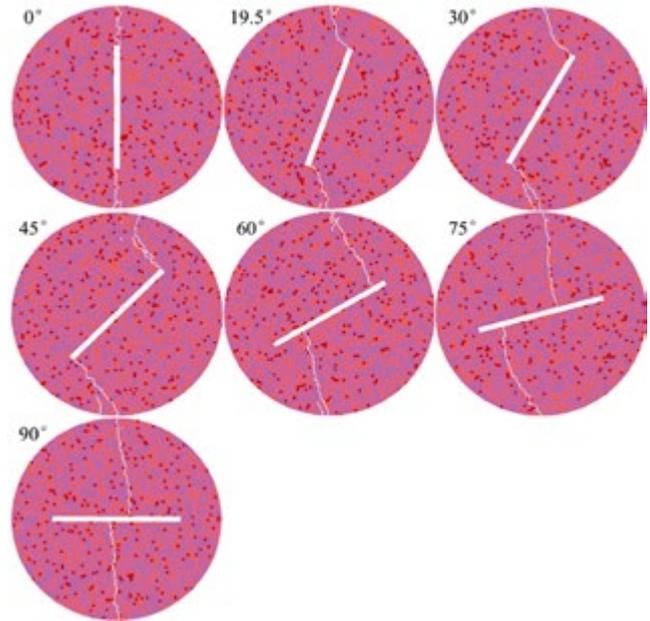


Abb. 4: Partikelbasierte numerische Modelle zur Simulation von Sandstein

Modus durchzuführen. Neben klassischer Sensorik stehen auch spezielle Geräte für Ultraschallmessverfahren, für die akustische Emissionsanalyse und für spezielle optische Verfahren zur Verfügung.

Lehrstuhl Ingenieurgeologie

Der Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Umweltgeotechnik bietet Lehre im Bachelor-Studiengang Geologie/Mineralogie, in den Master-Studiengängen Geowissenschaften, Geophysik und Geoökologie sowie in den Diplom-Studiengängen Geotechnik und Bergbau sowie Markscheidewesen und Angewandte Geodäsie an. Ingenieurgeologische Inhalte werden insbesondere in folgenden Themenbereichen vermittelt:

- Grundlagen der Ingenieurgeologie und ingenieurgeologische Prozesse
- Anwendungen der Ingenieurgeologie und regionale Ingenieurgeologie

- Umweltgeotechnik (Altlasten, Deponiebau, Altbau)
- Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Ingenieurgeologie hatten in den letzten Jahren Schwerpunkte in drei unterschiedlichen Themengebieten:
- **Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Baugrund, Bauwerken und Baumaterialien:** Beispiele beinhalten die Sanierung des Klosters Osek in der Tschechischen Republik (Projekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt), Küstenhänge in Cap Manuel (Dakar, Senegal), Tiefengeothermie (BMU-Projekt Allgäu 2.0; Abb. 5) sowie Windkraftanlagen im Offshore-Bereich der Ostsee.
 - **Injektionstechnik:** Verschiedene Projekte befassten und befassen sich mit der Baugrundvergütung durch Feinstbindemittel, chemische Injektionsmittel – darunter neue Injektionsmittel auf Silikatbasis (Abb. 6). Dabei wurden mehrere Forschungs- und Entwicklungsprojekte zusammen mit der Firma BAUER bearbeitet. Außerdem wurden zahlreiche Projekte zur Sanierung von Talsperren realisiert.
 - **Umweltgeotechnik:** In Forschungsarbeiten wurden beispielsweise das Transport-, Förder- und Lagerungsverhalten von Kraftwerksaschen und Steinkohlen sowie innovative In-situ-Dekontaminationsverfahren bei der Sanierung von Altlasten untersucht. Seit dem 1. August 2017 ist der Lehrstuhl Ingenieurgeologie und Umweltgeotechnik neu besetzt. Dadurch kamen weitere Schwerpunktfelder in der Forschung hinzu:

- **Gebirgsquellen:** Wasserzufluss zu Anhydrit führenden Tonsteinen führt häufig zum Gebirgsquellen und kann dadurch schwerwiegende Schäden an Gebäuden und an der Infrastruktur verursachen. In verschiedenen Projekten werden die Grundwasserzirkulation und geochemische Reaktionen in Quellzonen und das daraus abzuleitende geomechanische Verhalten untersucht.
 - **Georisiken:** Der Lehrstuhl Ingenieurgeologie untersucht geogene Gefahren durch Massenbewegungen sowie durch Karsterscheinungen (z. B. im Tunnelbau).
 - **3D-Ingenieurgeologie:** Dabei werden geologische 3D-Modelle entwickelt und angewendet als strukturelle Grundlage für die numerische Simulation ingenieurgeologischer Prozesse und deren Nutzung für geotechnische Anwendungen (Abb. 7).
 - **Georeservoire:** Aktuelle Projekte befassen sich mit der Reaktionskinetik in Reservoirgesteinen sowie mit der Sicherheit von Untergrundspeichern bei zyklischer Belastung.
- Besonders intensiv wird zurzeit am Aufbau eines Labors für Versuchstechnik zum Studium für Prozesse zum Ton- und Gesteinsquellen gearbeitet. Im geplanten „Quell-Labor“ sollen zukünftig nicht nur die Quelleigenschaften von Gesteinen durch genormte Quellversuche ermittelt werden. Ein Schwerpunkt befasst sich mit der Weiterentwicklung der Versuchstechnik mit dem Ziel, hydraulisch-mechanisch-chemisch gekoppelte Prozesse beim Quellvorgang quantitativ zu erfassen.



Abb. 5: Gesteinsprobenahme (BMU-Geothermieprojekt Allgäu 2.0) (links oben und unten)

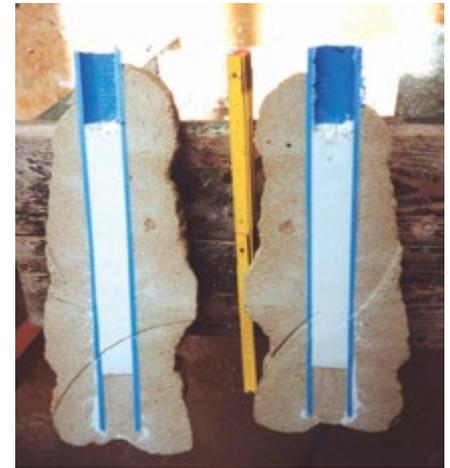


Abb. 6: Dichtkörper nach einer Injektion von Feinstzement in Sand

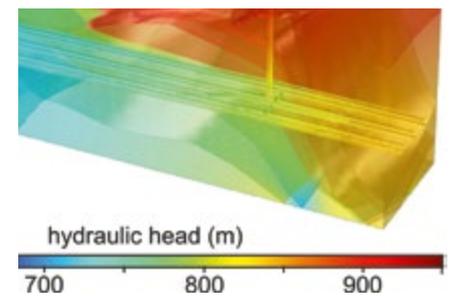


Abb. 7: Numerische 3D-Simulation des Entwässerungsverhaltens eines Tunnelbauwerks in Abhängigkeit von der Bauausführung der Tunnelndrainage

Lehrstuhl Bodenmechanik

Die Lehre auf dem Gebiet der Bodenmechanik erstreckt sich von der praktischen Ausbildung zu den bodenmechanischen Untersuchungsmethoden über grundlegende und weiterführende Gebiete der Bodenmechanik bis hin zu ihren speziellen Anwendungen im Grundbau und Spezialtiefbau, in der Bodendynamik und Grundbaudynamik sowie in der Feldversuchstechnik und zum Lösen messtechnischer Aufgaben in der Geotechnik.

Die Bodenmechanik-Ausbildung stützt sich stark auf offene Softwarelösungen im Bereich der numerischen Simulation.

Eine wichtige Rolle spielt das dem Lehrstuhl angegliederte bodenmechanische Laboratorium, das sowohl in der studentischen Ausbildung als auch in der wissenschaftlichen Forschung eingesetzt wird.

Obwohl das wissenschaftliche Tätigkeitsprofil des Lehrstuhls mit der bergbaulichen Geotechnik historisch unverkennbar verbunden ist, wurden in neuerer Zeit zunehmend auch weitere Arbeitsgebiete in der wissenschaftlichen Forschung aufgegriffen:

- **Verbundverhalten von Geokunststoffen und Böden sowie Dimensionierung von Bauwerken unter Berücksichtigung moderner Bauweisen mit Geokunststoffanwendung.** In umfangreichen Experimenten und theoretischen Arbeiten ist es gelungen, sowohl das Interaktionsverhalten von gitterartigen Bewehrungselementen in grobkörnigen Böden als auch die bisher wenig bekannte Wechselwirkung von Geotextilien und feinkörnigen Böden zu klären.
- **Untersuchungen zum Standsicherheitsverhalten von wassergesättigten, locker gelagerten, grobkörnigen Sedimenten (Bodenverflü-**

sigung, Setzungsfließen). Mit innovativen mechanischen Modellen des zu erwartenden typischen Materialverhaltens von annähernd wassergesättigten grobkörnigen Lockergesteinen ist es gelungen, ein modernes rechnerisches Nachweiskonzept gegen die potenzielle Gefahr einer Bodenverflüssigung vorzulegen. Außerdem wird an alternativen Bewertungsmethoden der Standsicherheit auf bergbaulich beanspruchten Gebieten gearbeitet, die sich unmittelbar auf statistisch ausgewertete Feldmessungen stützen und sich einfacher erdstatischer Berechnungsmethoden bedienen. Zur konservativen Abwendung der Gefahr einer Bodenverflüssigung über große Gebiete wurden unterschiedliche Sanierungsmethoden wissenschaftlich untersucht und innovative Konzepte für technisch sichere und wirtschaftlich vorteilhafte Sanierungsverfahren erarbeitet.

Im Zuge der Neubesetzung der Professur zum 1. September 2018 (Prof. Nagel) werden weitere Schwerpunkte schrittweise das Forschungs- und Lehrprofil des Lehrstuhls ergänzen.

- Stark gekoppelte thermische, hydraulische, mechanische und chemische bzw. biologische Prozesse sind im Zuge verstärkter Untergrundnutzung von steigender umweltgeotechnischer sowie regulatorischer Relevanz. Deren konsistente Erfassung und Beschreibung erfordern ein erweitertes Methodenspektrum sowohl hinsichtlich der experimentellen Versuchstechnik, als auch aus Sicht von Modellierung und Simulation. Je nach

Anwendung stehen Langzeitdynamiken (bspw. Lagerung toxischer oder radioaktiver Abfälle, (De)kontaminationsprozesse, Renaturierung und Sanierung) oder zyklische Effekte auf kurzen Zeitskalen im Vordergrund (bspw. bei der Speicherung erneuerbarer Energien im Untergrund).

- Prozesse an Grenzflächen und Interfaces beinhalten die Wechselwirkung natürlicher mit technischen Systemen, wie bspw. Bauwerk-Boden oder Maschine-Boden-Interaktionen. Diese sind aufgrund erhöhter Prozessdynamik oft entscheidend für die Bewertung geotechnischer Anlagen und Verfahren, wie bspw. in Multi-barrieresystemen.

- Die in der Lehre bereits verfolgten Open-source-Konzepte werden deutlich erweitert: In der Forschung wird eine eigene Open-source-Entwicklung etabliert.
- Im Rahmen dieser Entwicklungen werden neue Arten gemischter Lagrange-Euler-Verfahren entwickelt, die in besonderer Weise für die Anwendung auf Lockergesteine und granulare Medien in Mehrphasenumgebungen geeignet sind. Damit lassen sich große Deformationen, ungesättigtes Bodenverhalten, Grenzflächen, Strukturversagen und Boden-Struktur-Interaktionen deutlich besser erfassen als das mit herkömmlichen Methoden der Fall ist.

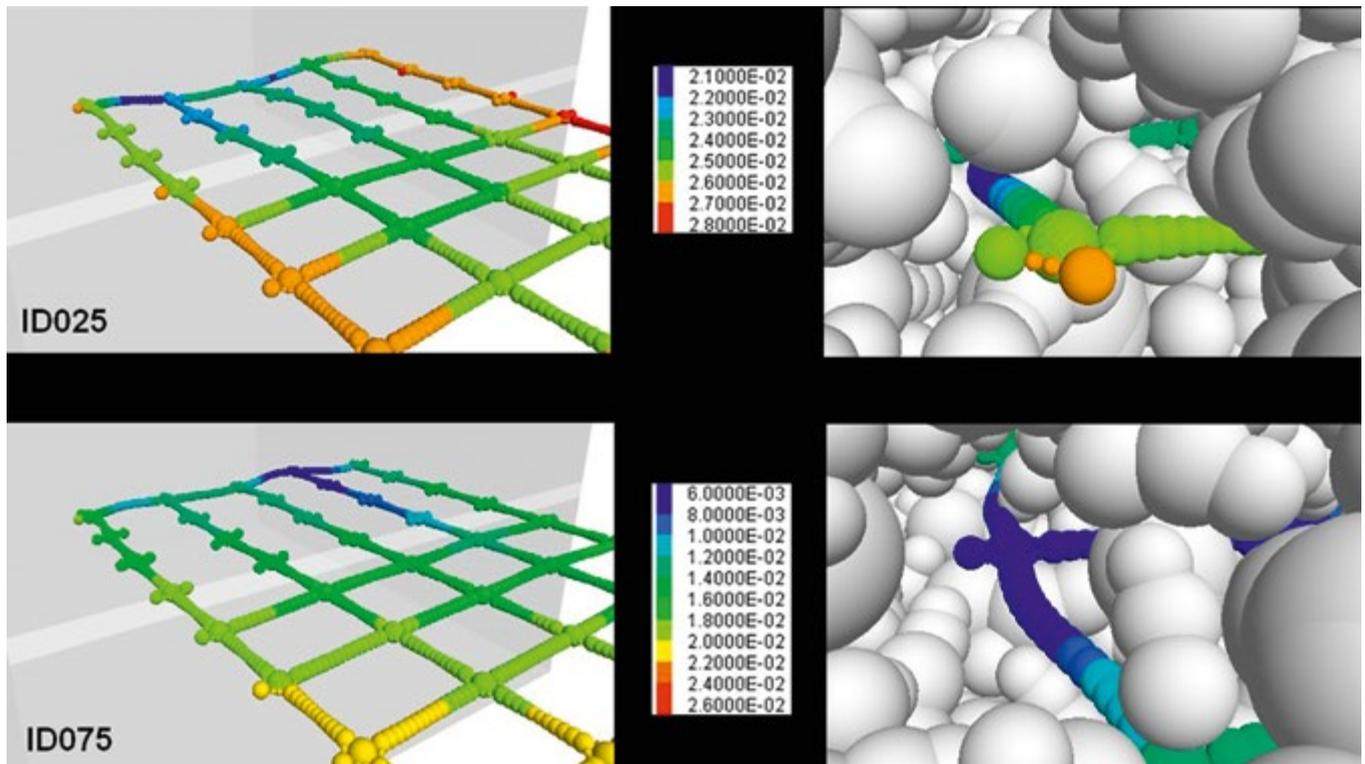


Abb. 8: Numerische Simulation der Interaktion Geogitter/Schotter

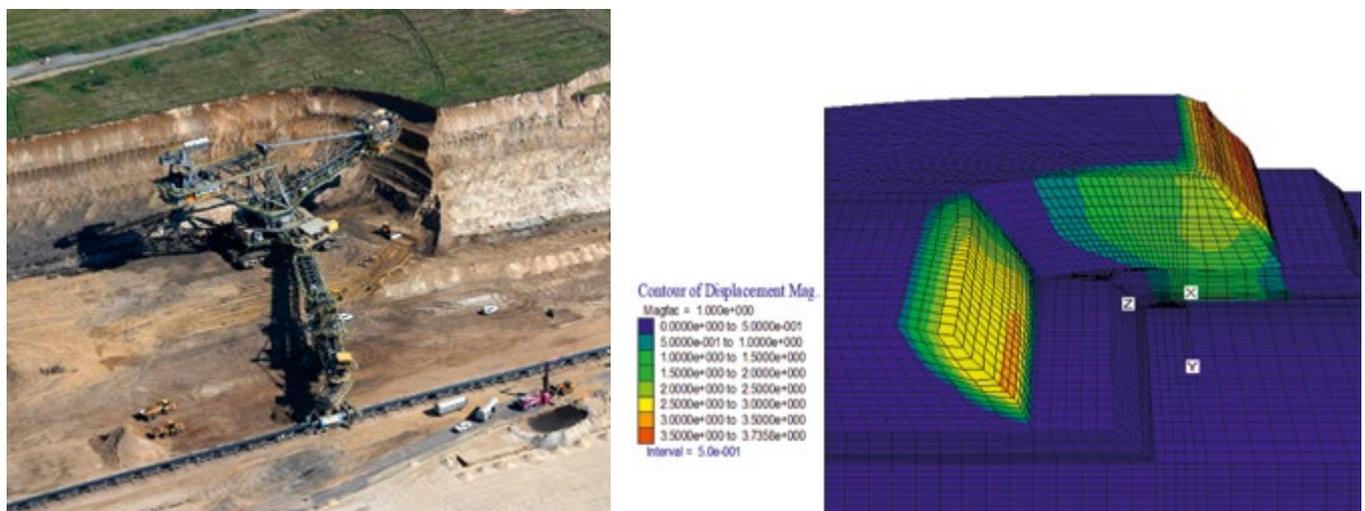


Abb. 9: Vorschneitböschung in einem Braunkohletagebau: numerische Standsicherheits- und Deformationsberechnungen

Das Elektro-Impuls-Bohren – eine elfjährige Erfolgsgeschichte

Franziska Lehmann¹, Erik Anders², Matthias Voigt²

Wer von Mitte August bis Mitte Oktober des Jahres 2017 über den Campus der TU Bergakademie Freiberg gelaufen ist, konnte im Bereich der Gustav-Zeuner-Straße einen etwa zwölf Meter hohen Bohrturm entdecken. Doch was hatte es damit auf sich?

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projekts wird in einer Kooperation zwischen dem Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau der TU Bergakademie Freiberg und der Stiftungsprofessur für Baumaschinen der TU Dresden sowie sechs Partnern aus der Industrie ein neues Bohrverfahren zur Hartgesteinszerstörung entwickelt.

Diese neue Technik beruht auf der Nutzung des sogenannten Elektro-Impuls-Verfahrens (EIV). Innerhalb einer Sekunde werden etwa 25 Hochspannungsentladungen („Blitze“) mit einer Spannung von 500.000 Volt erzeugt und „sprengen“ das Gestein an der Bohrlochsohle. Da dieses Verfahren im Gegensatz zu konventionellen Bohrmethoden berührungsfrei und ohne bewegliche Teile im Bereich des Bohrkopfs arbeitet, entfällt der ständige teure Aus- und Wiedereinbau des größtenteils mehrere Kilometer langen Bohrgestänges zum Auswechseln stumpfer Meißel. Damit können Bohrungen im

Hartgestein deutlich billiger abgeteuft werden. Einsparungen von bis zu 30 Prozent sind denkbar.

Bereits die Tatsache der um ein Vielfaches reduzierten Bohrkosten bietet der Anwendung des neuen Verfahrens im Bereich der Tiefengeothermie ein enormes Potenzial. Denn bisher verhinderten die hohen Kosten bei der Erstellung zweier tiefer Bohrungen den breiten Durchbruch auf dem Energiemarkt. Mit dem neuen Bohrverfahren sollen die Kosten für tiefe Geothermalbohrungen im Hartgestein, wie es beispielsweise im sächsischen Erzgebirge vorliegt, so weit gesenkt werden, dass die Nutzung von Erdwärme zur umweltfreundlichen Erzeugung von Wärme und Strom wirtschaftlich wird. Dies kann einen großen Schritt innerhalb der Energiewende bedeuten.

Durch den Einsatz des Elektro-Impuls-Verfahrens treten völlig andere Gesteinslösemechanismen auf, und es müssen auch völlig andere Komponenten im Bohrstrang verwendet werden. Infolge des hohen Neuheitsgrads und der Komplexität dieses Bohrverfahrens war es nicht möglich, ein komplettes Bohrsystem auf einmal zu entwickeln. Es benötigt mehrere Entwicklungsschritte, um zum einen die Physik hinter dem Verfahren zu verstehen und zum anderen die richtigen Komponenten zu entwickeln und diese zu einem komplexen System zusammenzuführen. Dies

geschah in insgesamt drei Forschungsprojekten über einen Zeitraum von elf Jahren.

Das Elektro-Impuls-Verfahren

Der gesteinszerstörende Effekt des EIV beruht auf elektrischen Hochspannungsentladungen, die durch das Gestein geleitet werden. Zwei Elektroden stehen in loseem Kontakt mit der Bohrlochsohle und sind von einer möglichst wenig leitfähigen Bohrspülung umgeben. Bei einer genügend kurzen Anstiegszeit von unter 120 ns (Bsp. Granit-Wasser; Werte sind gesteins- und bohrfluidabhängig) der elektrischen Spannung ist die Durchschlagfestigkeit der Bohrspülung höher als die des Gesteins, weshalb die Spannungsimpulse („Blitze“) zwischen den zwei Elektroden durch das Gestein geleitet werden.

Infolge der schlagartigen Temperatur- und Druckerhöhung im Durchschlagkanal wird die Zugfestigkeit des Gesteins überwunden. Da diese nur ca. ein Zehntel der Druckfestigkeit beträgt, wird beim Einsatz des EIV unter normalen Bedingungen nur eine sehr geringe spezifische Energie von 100 bis 200 J/cm³ für die Gesteinszerstörung benötigt, wohingegen für das drehende Bohren (Rotary-Bohren) eine spezifische Energie von 600 bis 950 J/cm³ erforderlich ist. *Abbildung 1* stellt den Wirkmechanismus des EIV schematisch dar.

Das Elektro-Impuls-Verfahren selbst ist

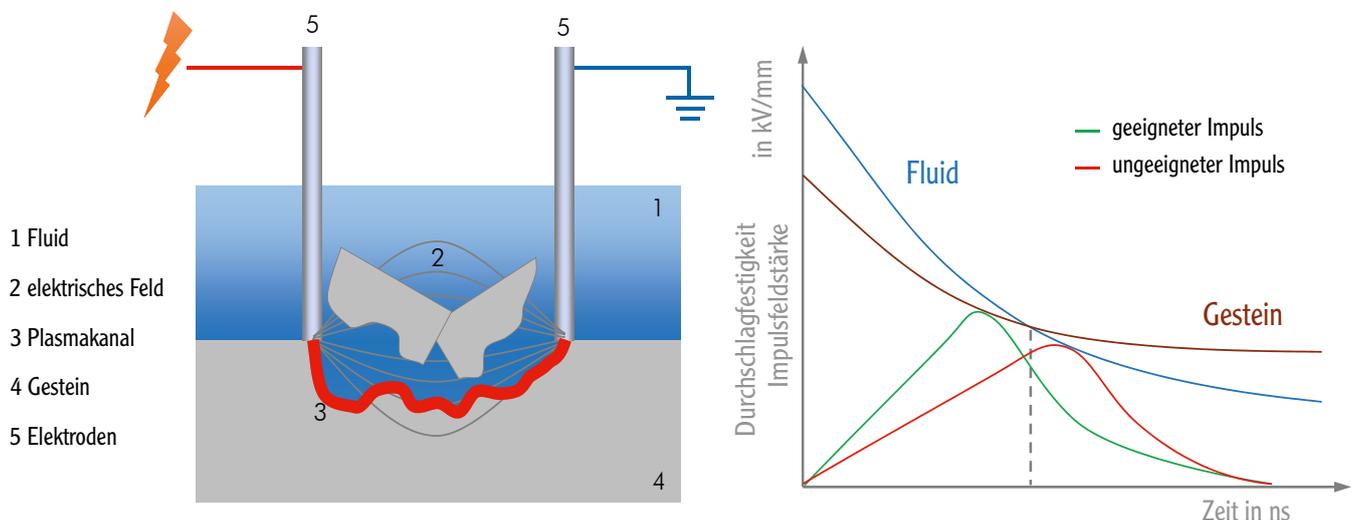


Abbildung 1: Wirkmechanismus des Elektro-Impuls-Verfahrens

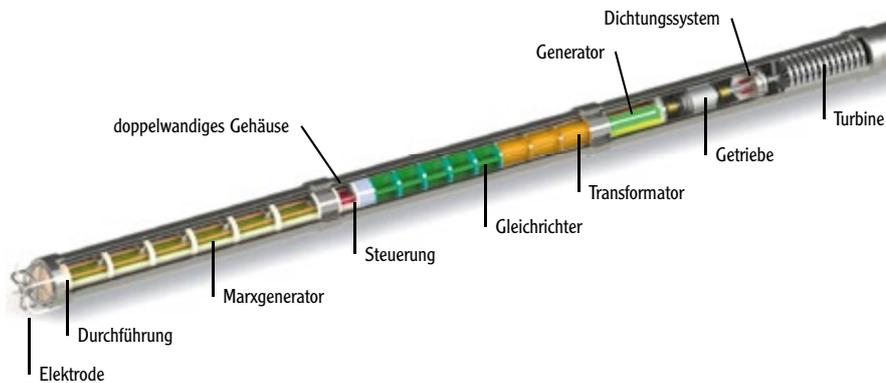


Abbildung 2: EIV-Bohrsystem DEISY

keine neue Entwicklung. Erste Forschungen und Veröffentlichungen finden sich bereits in den 50er/60er Jahren des letzten Jahrhunderts. Zufällig entdeckt, wurde es zunächst allgemein zur Gesteinszerstörung verwendet. So war es unter anderem das Ziel, Erze energiesparend aufzubereiten. Die ersten Ansätze, das EIV in der Tiefbohrtechnik einzusetzen, finden sich dann in den 1990er-Jahren. Diverse Forschungseinrichtungen in mehreren Ländern forschten an verschiedenen Ansätzen eines EIV-Bohrsystems. Allerdings schaffte es keines dieser Systeme zur Marktreife.

Die Entwicklungsgeschichte des EIV-Bohrsystems

Die Forschungsarbeiten begannen mit einer Machbarkeitsstudie „Studie für ein Vortriebssystem zur Herstellung von tiefen Geothermiebohrungen im Festgestein mittels Elektroimpulsverfahren“ in der Zeit vom 15. Mai 2007 bis zum 31. Januar 2009. In dieser Machbarkeitsstudie wurde untersucht, wie sich die hohen Temperaturen und Drücke, die zwangsläufig in einer tiefen Bohrung vorliegen, auf das Elektro-Impuls-Verfahren auswirken. Die Ergebnisse der durchgeführten Versuche waren insgesamt sehr vielversprechend. Eine erhöhte Temperatur wirkt sich demnach positiv auf das Gesteinslöseverhalten aus. Druck hat sich in den Versuchen zunächst negativ in puncto auf die gelöste Gesteinsmenge ausgewirkt. Allerdings konnte dieser Nachteil durch die Verwendung von schnelleren Impulsen in späteren Versuchen aufgehoben werden. Dasselbe gilt für das Vorhandensein von Flüssigkeit in den Poren des Gesteins. Auch dieser eigentlich negative Einfluss kann durch ausreichend schnelle Impulse deutlich verringert werden.

Parallel zu den Grundlagenversuchen wurde ein Konzept entwickelt, wie das

Bohrsystem selbst aussehen soll. Dieses wurde in den folgenden Jahren stetig weiterentwickelt. Der aktuelle Aufbau ist in *Abbildung 2* dargestellt. Der Name des Bohrsystems ist DEISY (Deep Drilling with Electric Impulse Drilling System).

Der wichtigste Aspekt bei der gesamten Entwicklung war, dass das Bohrsystem kompatibel mit der konventionellen Tiefbohrtechnik sein muss. Das heißt, alle Komponenten müssen so ausgelegt sein, dass sie in einen herkömmlichen Bohrstrang integriert werden können. Außerdem sollen keine wesentlichen Veränderungen an der Bohranlage erforderlich sein. Das Bohrsystem besteht aus Elektrode, Impulsspannungsgenerator („Marxgenerator“), Gleichrichter, Transformator, Generator, Getriebe und Turbine. Mit diesem Aufbau ist es möglich, die elektrische Energie im Bohrloch zu erzeugen, so dass kein Kabel zum Stromtransport benötigt wird.

Die Entwicklung des Bohrsystems in einem Entwicklungsschritt ist sehr aufwändig und wirft viele Fragestellungen auf, die nur sehr schwer gleichzeitig zu beantworten sind. Deswegen wurde

entschieden, im nächsten Projekt „Entwicklung und Erprobung eines EIV-Bohrkopfes für Tiefengeothermie“ (1. Oktober 2010 bis 30. April 2014) zunächst den Bohrkopf, bestehend aus Elektrode und Marxgenerator, zu entwickeln, aufzubauen und zu testen. Einen für das Bohrloch tauglichen Marxgenerator zu bauen, stellt – aus technologischer Sicht – eine der größten Herausforderungen dar. Da es sich dabei aber um den wichtigsten Teil des Bohrsystems handelt, sollte zunächst nachgewiesen werden, dass deren Meisterung möglich ist, bevor die weiteren Komponenten des Bohrsystems entwickelt werden.

Die Erprobung der Komponenten erfolgte an einem eigens dafür eingerichteten Versuchsstand an der TU Dresden. Die Versuche wurden unter bohrlochähnlichen Bedingungen (Druck bis zu 20 bar, Temperaturen bis zu 150 °C) und mit umlaufender Spülung (ölbasiert) durchgeführt (*Abbildung 3*). Eine gesteinszerstörende Wirkung konnte nachgewiesen werden. Es wurde ein Bohrloch mit guter Qualität mit einem Durchmesser von 12¼" (310 mm) erzeugt. Aus den Versuchen konnte eine Prognose für den Bohrprozessfortschritt von mindestens 1 m/h bei einer Standzeit von bis zu 350 h abgeleitet werden.

Im dritten Projekt „Entwicklung und In-Situ-Erprobung eines EIV-Bohrsystems (ISEB)“ (1. Januar 2015 bis 30. Juni 2018) wurden sowohl die Elektrode als auch der Marxgenerator insoweit überarbeitet, dass diese auch in wasserbasierter Spülung eingesetzt werden können. Die anderen Komponenten des Bohrsystems – Hochspannungsdurchführung, Transformator, Gleichrichter, Getriebe, Dichtungssystem – wurden entwickelt und je ein Prototyp aufgebaut. Die Bauteile



Abbildung 3: Versuchsstand und Versuchsergebnis



Abbildung 4: EIV-Bohranlage E-RIG auf dem Campus der TU Bergakademie Freiberg

wurden so konzipiert, dass sie zuverlässig miteinander verbunden werden können, wobei die elektrische Leitung und die Isolierung gleichermaßen gewährleistet werden müssen. Die Komponenten wurden bisher einzeln positiv auf ihre Temperaturtauglichkeit und Lebensdauer hin getestet. Ein Gesamttest des Bohrsystems steht zum aktuellen Zeitpunkt noch aus.

Bei der Entwicklung der Komponenten wurde auch die Grundlagenforschung vorangetrieben. So konnte die Funktionsfähigkeit des EIV-Systems unter realen Bohrlochbedingungen nachgewiesen werden. Dazu wurden Versuche in einem Autoklaven bei 200 °C und 500 bar mit verschiedenen Bohrspülungen und Gesteinsarten durchgeführt.

Der Höhepunkt der 3,5-jährigen Projektlaufzeit war ein In-situ-Test des Gesamtsystems in einer flachen Probebohrung in Hartgestein im Herbst 2017 auf dem Campus der TU Bergakademie Freiberg.

Feldtest auf dem Campus der TU Bergakademie Freiberg

Die Gesamtdauer des Feldtests betrug neun Wochen. In der ersten Woche wurde der Bohrplatz nach den Anforderungen vorbereitet und eingezäunt. Der erste Bohrlochabschnitt wurde konventionell erstellt und durch ein zementiertes Standrohr abgesichert. Der Aufbau der von Wissenschaftlern der TU Dresden selbst konstruierten und gefertigten Bohranlage

(Abbildung 4) über dem bereits vorhandenen Bohrloch nahm die ersten drei Wochen in Anspruch.

In der vierten und fünften Woche wurden zuerst die Bohranlage selbst und das erste Segment mit dem Marxgenerator in Betrieb genommen. Es konnte Bohrklein aus der Formation gelöst und durch die Spülung (Leitungswasser) aus dem Bohrloch gefördert werden. Ein technischer Defekt unterbrach dann die Tests. Der Ausbau, die Reparatur des Defekts und der Einbau des Marx-Generators benötigten zwei Tage. Die Tests wurden fortgesetzt, bis ein weiterer Defekt auftrat und das erneute Ausbauen erforderlich machte. Infolge dieser technischen Probleme und wetterbedingter Unterbrechungen konnte insgesamt nur an sieben Tagen getestet werden. Es wurden insgesamt acht Zentimeter gebohrt. In der neunten Woche wurde die Bohranlage vollständig abgebaut und die Wiese, auf der sich der Bohrplatz befand, wiederhergestellt.

Sowohl die Bohranlage selbst als auch der Prototyp des Marxgenerators konnten erfolgreich in Betrieb genommen werden. Die Bohranlage funktionierte ohne Probleme. Beim Marxgenerator traten verschiedene technische Probleme auf. Allerdings konnten die Fehlerursachen festgestellt werden. Derzeit werden die Fehler an der TU Dresden behoben, so dass diese beim nächsten Einsatz nicht wieder auftreten sollten.

Die erreichte Bohrtiefe ist alles in allem nicht zufriedenstellend. Es können so keine Aussagen über Bohrgeschwindigkeiten, spezifische Energien und Standzeiten getroffen werden, was das ursprüngliche Ziel



Abbildung 5: EIV-Bohranlage E-RIG auf dem Gelände von Homilius Bohren und Umwelttechnik in Naundorf

der Versuche war. Die Durchführung eines weiteren Feldtestes ist demnach zwingend erforderlich.

Fortführung der Arbeiten

Der Prototyp des EIV-Bohrsystems befindet sich derzeit an der TU Dresden und wird dort überarbeitet. Die Bohranlage konnte in der Zwischenzeit auf dem Firmengelände der Firma Homilius Bohren und Umwelttechnik in Bobritzsch wieder aufgebaut werden. Die Firma hat sich bereit erklärt, ihr Gelände weiter zur Verfügung zu stellen, so dass dort ein neuer Versuch über einen längeren Zeitraum möglich sein wird und somit auch auf technische Probleme besser reagiert werden kann. Ziel wird es sein, im vor Ort anliegendem Gneis mindestens einen Meter am Stück zu bohren, um so die Bohrgeschwindigkeit und die spezifische Energie zu ermitteln.

Bei einem erfolgreichen Abschluss dieses zweiten Feldtestes ist es geplant, beim BMWi eine neue Projektphase zu beantragen. In dieser sollen der Prototyp weiterentwickelt und Fragen, wie bspw.



Abbildung 6: EIV-Team: (v.l.) Matthias Voigt, Erik Anders, Franziska Lehmann

die Richtungssteuerung oder Rotation, beantwortet werden. Außerdem soll ein weiterer Feldtest mit einer größeren Bohrtiefe angestrebt werden.

Fazit

In einem Zeitraum von elf Jahren wurden von einem dreiköpfigen Team der TU Dresden und der TU Bergakademie Freiberg (Abbildung 6) drei Forschungsprojekte sehr erfolgreich und mit positivem Ergebnis durchgeführt. Dabei konnte das

Verständnis zur Physik des Elektro-Impuls-Verfahrens wesentlich vorangetrieben werden. Erkenntnisse aus alten Publikationen wurden sowohl widerlegt als auch vertieft. Das gewonnene Grundverständnis ermöglichte es den Wissenschaftlern, ein Bohrsystem aufzubauen, das großes Potenzial besitzt, eines Tages tatsächlich in der Tiefbohrtechnik eingesetzt zu werden. Viele Hürden wurden bereits überwunden. Mit dem Feldtest eines bohrlochtauglichen Prototyps konnte zum ersten Mal weltweit ein EIV-Bohrsystem erfolgreich in einem Bohrloch unter Verwendung von wasserbasierter Spülung eingesetzt werden.

Die Forschung selbst soll in mindestens einer weiteren Projektphase fortgesetzt werden. Aus heutiger Sicht wird von einer weiteren Entwicklungszeit von ca. acht Jahren bis zur Realisierung eines für die Tiefbohrtechnik geeigneten Bohrsystems ausgegangen. Dazu sind sicherlich noch viele weitere Hürden zu nehmen. Das EIV-Team ist nach wie vor hoch motiviert und optimistisch, dass auch diese dann genommen werden können.

Roboter und Internet der Dinge zur Umgebungsdatenerfassung unter Tage

Robert Lösch¹, Steve Grehl¹, Frederic Güth², Franziska Günther³, Nasrin Rezaei-Abadchi⁴, Bernhard Jung¹

Einleitung

Im Freiberg des Jahres 1792 ging Alexander von Humboldt unter Tage, um die dortige Flora zu erforschen. Mehr als 200 Jahre später folgte der nach ihm benannte Roboter „Alex“ (Abb. 1), um ebenfalls im Forschungs- und Lehrbergwerk (FLB) Umweltdaten zu erfassen. Alex stammt aus dem 2016 beendeten Projekt „Mining-RoX“, das 3D-Rekonstruktion und geolokalisierte Sensordatenvisualisierung des Bergwerks durch mobile Roboter erforschte. Ende des 19. Jahrhunderts lehrte Julius Weisbach an der TU Bergakademie Freiberg und verbesserte die damals praktizierte Markscheidekunst. Der auch aus



Abb. 1: Mit dem Projekt Mining-RoX entstand der Forschungsroboter „Alex“. Dieser erkundet das hiesige Forschungs- und Lehrbergwerk und liefert dabei Daten für die detailgetreue 3D-Rekonstruktion.

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



Abb. 2: Julius verfügt über einen Greifarm samt 3-Finger-Hand, was die Handhabung verschiedener Geräte ermöglicht, wie zum Beispiel das Absetzen mitgebrachter Sensorboxen oder einer Wasserprobenentnahmestation.

„Mining-RoX“ stammende und nach Weisbach benannte Roboter „Julius“ (Abb. 2) ist jetzt Hauptakteur im Projekt „ARIDuA“ (Autonome Roboter und Internet der Dinge in untertägigen Anlagen). Diese interdisziplinäre und ESF-geförderte Nachwuchsforschergruppe hat sich zum Ziel gesetzt, das Zusammenspiel zwischen der Robotik und dem Internet der Dinge zu erforschen. Dabei steht gezielt die Anwendung im untertägigen Bergbau im Mittelpunkt. Die Gruppe besteht aus Doktoranden von fünf Instituten und vier Fakultäten der TU Bergakademie Freiberg. Als Entwicklungs- und Erprobungsumgebung für das Projekt dient das Forschungs- und Lehrbergwerk der Bergakademie.

Das „Internet der Dinge“ basiert auf der Fähigkeit von Geräten oder „Dingen“ mit dem Internet oder untereinander zu kommunizieren. Oft spielen Sensoren eine große Rolle, deren Daten aufgenommen, übertragen und ausgewertet werden. Ein Fitnessband, das die Anzahl der gelaufenen Schritte an das Smartphone sendet, gehört beispielsweise dazu, aber auch der Drucker, der feststellt, dass die Druckerpatrone fast leer ist und selbstständig eine neue Patrone im Internet bestellt.

Im Bergwerk kann eine Füllstandsanzeige von Druckerpatronen aber kaum von Nutzen sein. Wie also soll das Internet der Dinge im Forschungs- und Lehrbergwerk

aussehen? Von großem Interesse sind unter Tage vor allem Informationen über die Umgebungsbedingungen. Um diese zu erfassen, werden verschiedene Sensoren zur Überwachung eingesetzt. Diese können sich dabei auf dem Roboter befinden oder fest in der Umgebung angebracht sein. In ARIDuA wird des Weiteren untersucht, wie Sensornetze durch den Roboter selbst in der untertägigen Umgebung aufgebaut werden können. Dazu wurden spezielle Sensorboxen entwickelt. Diese können verschiedene Sensoren enthalten und die Energieversorgung gewährleisten. Deren äußere Gestaltung wurde auf die Handhabung durch den Roboter optimiert. Solch eine Sensorbox kann ihre Informationen dann kabellos an eine Basisstation weiterleiten, ähnlich wie der außen angebrachte Sensor einer Wetterstation. Gibt es nun mehrere dieser Sensorboxen, so können sie untereinander kommunizieren und bauen so ein unterirdisches und unsichtbares Sensornetzwerk auf, das „Internet der Dinge“ unter Tage.

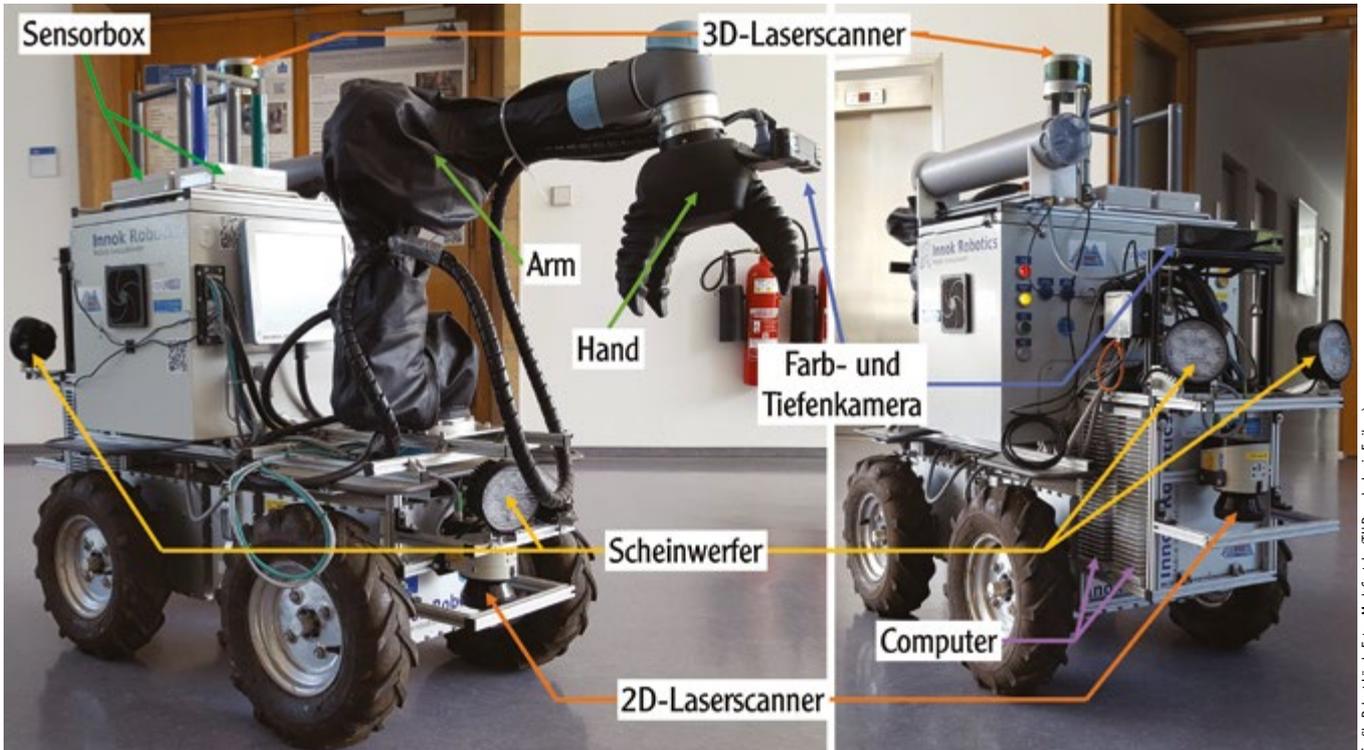
Wozu genau sollte man nun aber Roboter oder ein kabelloses Sensornetzwerk unter Tage nutzen wollen? Bergwerke und andere untertägige Anlagen sind komplexe Systeme, in denen sowohl Menschen als auch Maschinen unter besonderen Umgebungsbedingungen arbeiten. Die Überwachung verschiedener Parameter

soll dazu beitragen, dieses System transparenter zu gestalten, die Sicherheit für das Personal zu verbessern und Betriebsprozesse zu optimieren. Mithilfe des Internets der Dinge kann die Datenübertragung und -nutzung wesentlich verbessert werden. Durch den Einsatz von Internet-Infrastrukturen, die z. T. durch Roboter selbst aufgebaut werden, können gemessene Umgebungs- und Prozessparameter in Echtzeit an die Leitwarte über Tage kommuniziert werden.

Aufgaben und Möglichkeiten

Aufgaben des Internets der Dinge in untertägigen Anlagen können zunächst die Nachverfolgungen von Geräten und Personen sein. Produktionsprozesse informieren sich so über den Standort von Mensch und Maschine. In Gefahrensituationen gewinnt dieses Wissen eine besondere Bedeutung. Dazu muss ein Datennetzwerk aufgebaut werden, um die gesammelten Daten zu übertragen. Über dieses Netzwerk können weiterhin Maschinendaten wie Füllstände und Wartungszustände direkt über Tage oder an andere Maschinen gesendet werden. Die Überwachung von Umgebungsbedingungen, z. B. die Gasgehalte, die Temperatur oder die Wasserqualität, ermöglicht es, Gefahrensituationen in untertägigen Anlagen frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden.

Aufgaben in untertägigen Anlagen unterliegen oft einem höheren Gefährdungspotenzial – Dunkelheit, Steinfall, gefährliche Gase oder plötzlich eindringende Wässer sind beispielhaft zu nennen. Insbesondere zur Erkundung von Altbergbau, in Gefahrensituationen wie Bränden oder aber auch zur Kontrolle selten befahrener Bereiche müssen sich Bergleute einem erhöhten Risiko aussetzen. Der Einsatz von Robotern zur Erkundung und Erstbefahrung in untertägigen Anlagen kann dabei das Risiko für das menschliche Leben reduzieren. Neben dem selbstständigen Fahren zum Zielort, möglichst autonom, kann ein solcher Roboter Karten erstellen, Foto- und Videoaufzeichnungen liefern oder Zustandsinformationen und Umgebungsparameter, wie den Gehalt an gefährlichen Gasen, bestimmen. Weitere Einsatzfelder sind eine automatisierte geologische Erkundung oder die Unterstützung von Grubenwehreinsätzen mit dem Roboter. Der Transport von Ausrüstung und die Ausführung von Arbeitsaufgaben gehören ebenfalls zum möglichen Aufgabenspektrum.



Grafik: Robert Lösch, Fotos: Mark Sasuba (TU Bergakademie Freiberg)

Abb. 3: Forschungsroboter „Julius“ ist mit einer Vielzahl von Sensoren, Aktoren und Geräten ausgerüstet. Wichtig ist dabei das Lichtsystem, was unter Tage erst die Arbeit mit den Kameras ermöglicht. So kann der Roboter Objekte identifizieren und anschließend mit seinem Arm und der Hand greifen.

Die Nutzung der Synergieeffekte von Robotik und Internet der Dinge im Bergbau maximiert die Einsatzmöglichkeiten beider Technologien. Der Roboter selbst ist zum einen auf ein Datennetzwerk zur Übertragung von Daten – z. B. seines Standorts und von Kamerabildern – angewiesen. Zum anderen kann der Roboter in nicht instrumentierten Bereichen, wie in der Altbergbauerkundung, eine Internet-der-Dinge-Infrastruktur installieren, um Gefahrenpotenziale frühzeitig zu erkennen. Der Roboter muss in der Lage sein, Sensorboxen oder auch eine andere Internet-der-Dinge-Infrastruktur zu installieren, zu warten und zu deinstallieren, um in diesen Umgebungen autonom zu agieren und Daten zu generieren. Die mit dem Internet der Dinge verbundenen Sensoren können wiederum dem Roboter Informationen zu seiner Umgebung zur Optimierung von Orientierung und Bewegungsabläufen liefern.

ARIDuA fokussiert sich dabei auf die Datenakquise mittels Sensorboxen, die Roboternavigation und die Interaktion zwischen beiden. Zur Veranschaulichung soll folgende Vorstellung dienen: Im Bergwerk sind in einer abgelegenen Strecke Sensorboxen verteilt, die miteinander und mit einer Leitwarte kommunizieren. Eine der Boxen meldet eine Störung. Daraufhin soll Julius automatisch zur entsprechenden Position fahren und die Sensorbox austauschen.

Autonomes Fahren unter Tage

Zu Zeiten, in denen Automobilhersteller sowie viele Universitäten und Unternehmen das „autonome Fahren“ erforschen, sollte Julius ohne Probleme selbstständig zur defekten Sensorbox fahren können. Allerdings sind die Bedingungen im Straßenverkehr mit denen in einem Bergwerk kaum vergleichbar. Im Gegensatz zu klar strukturierten Straßen, detailliertem Kartenmaterial und Umgebungsbedingungen, bei denen höchstens starker Regen, Schnee oder Nebel Schwierigkeiten bereiten, sieht es unter Tage anders aus. Grundsätzlich ist es dort komplett dunkel. Im FLB herrscht zudem eine sehr hohe Luftfeuchtigkeit, was eine entsprechende Abdichtung der elektronischen Komponenten von Roboter und Sensoren erfordert. Für die Navigation steht dem Roboter zunächst auch keine für ihn aufbereitete digitale Karte zur Verfügung. GPS-Signale, die eine Lokalisierung des Roboters ermöglichen würden, dringen nicht bis ins Bergwerk vor. Zusätzlich zu all diesen Herausforderungen ist der Untergrund selten so eben wie eine Straße. Beispielsweise sind die Schienen der Grubenbahn für bereifte Fahrzeuge wie Julius eher hinderlich.

Die Aufgabe der Nachwuchsforscher ist es, das, was heute oft schon über Tage funktioniert, unter Tage zu bringen. Der Roboter soll – trotz fehlendem

Kartenmaterial und GPS, unebenem Untergrund und Dunkelheit – in der Lage sein, sich selbstständig fortzubewegen. Dafür ist er mit verschiedenster Sensorik ausgestattet (Abb. 3). Genauso wie ein PKW bei Dunkelheit auf Licht angewiesen ist, verfügt der Roboter über je zwei LED-Scheinwerfer an Vorder- und Rückseite. Er erhält seine Sehfähigkeit durch eine Farb- und Tiefenkamera sowie mehrere Laserscanner. Dank der Beleuchtung gelingt es der Farbkamera, nützliche Bilder zu liefern. Die Tiefenkamera ist dagegen aber in der Lage, auch bei Dunkelheit zu sehen und 3D-Informationen zu gewinnen. Knapp über dem Boden sind vorn und hinten Laserscanner angebracht, die Laserlicht in einer horizontalen Ebene aussenden und die Reflektionen wieder aufnehmen. Je länger es dauert, eine Reflektion zu empfangen, desto weiter ist ein Hindernis entfernt. Nach demselben Prinzip arbeitet ein 3D-Laserscanner auf Julius' Kopf. Er scannt mehrere Schichten rund um den Roboter und erzeugt so eine dreidimensionale Punktwolke, mit der Julius' Software Hindernisse oder die Stöße (bergm. für Wände) erkennt.

Um selbstständig fahren zu können, muss eine Karte des unterirdischen Streckennetzes angefertigt werden. Dafür wird Julius zunächst durch einen Nachwuchsforscher ferngesteuert, während die Sensordaten gespeichert und zu einer



Abb. 4: Verlinkung zum Video:
<https://youtu.be/0qryoXi2ZN8>

Karte verarbeitet werden. In dieser Karte kann sich der Roboter anschließend lokalisieren und, sobald er eine Zielvorgabe hat, seinen Pfad dorthin planen. Er ist außerdem in der Lage, Hindernisse in seiner unmittelbaren Nähe zu erkennen. Um diese zu umfahren, plant er einen lokalen Pfad, der ihn sicher ans Ziel führt (Video verlinkt in *Abb. 4*). In unserem Beispiel der defekten Sensorbox bekommt Julius also die Lage der Box vorgegeben und plant einen Pfad von seiner aktuellen Position dorthin. Dann versucht er, entlang des Pfades zu fahren und etwaigen Hindernissen auszuweichen. Dies funktioniert momentan besonders gut in Bergwerksbereichen, die gut ausgeleuchtet sind, keine Schienen oder sogar einen ebenen Untergrund aufweisen. Zukünftige Forschung wird Bereiche adressieren, die nicht über solche Vorzüge verfügen.

Vernetzte Sensoren

Die Sensorboxen, zu denen Julius fahren soll, befinden sich in einem abgelegenen Gebiet des FLB. Daher und wegen

der beschriebenen Bedingungen im Bergwerk, stellt sich die Frage, wie die von den Sensorboxen aufgezeichneten Daten zu Entscheidungsträgern gelangen, die zum Beispiel über Tage von der Grubenwarte informiert werden. In gewöhnlichen Umgebungen, wie Büros oder Industrieanlagen, werden dafür kabelgebundene oder auch kabellose Netzwerklösungen genutzt. Allerdings stoßen diese Technologien in untertägigen Anlagen schnell an ihre Grenzen. Insbesondere in kleineren Bergwerken ist keine flächendeckende Infrastruktur vorhanden. Hier bieten batteriebetriebene und kabellose Systeme eine praktikable Lösungsmöglichkeit. Die engen Querschnitte, Verzweigungen und die unregelmäßige Beschaffenheit der Stöße erschweren allerdings die Ausbreitung der für die Datenübertragung nötigen Funkwellen. Dadurch ist deren Reichweite gering, und viele Netzwerkkonzepte, die eine direkte Verbindung zwischen Sender und Empfänger voraussetzen, sind in ihrem Einsatz stark eingeschränkt.

ARIDuA nutzt deshalb alternative Kommunikationsprotokolle, die in der Lage sind, jeden einzelnen Sensor gleichzeitig zu einer Art Verstärker zu machen und somit Daten weiterzureichen. Dadurch spannen die Sensoren untereinander ein engmaschiges Netz auf, welches die Messdaten von Sensor zu Sensor zu einem zentralen Punkt weiterleitet. Die dafür benötigte Technik wird mit den Sensoren und Batterien zur Spannungsversorgung in robusten Boxen verbaut (*Abb. 5*).

Neben der kompakten Bauform, die auch den Transport und die Installation des gesamten Systems durch den Roboter ermöglicht, bietet diese Lösung einen Schutz der empfindlichen Elektronik gegen die rauen Bedingungen im FLB. Ein modularer Aufbau ermöglicht die Bestückung verschiedener Boxen mit unterschiedlichen Sensoren, abgestimmt auf den jeweiligen Anwendungsfall. Die Herstellung dieser Sensoren erfolgte dabei meist mit Methoden der Halbleiterfertigung. Diese sog. mikroelektromechanischen Systeme benötigen besonders wenig Energie und zeichnen sich durch sehr kleine Abmessungen aus. Diese Sensoren nehmen bislang – neben Temperatur, Luftfeuchte und -druck – auch Informationen von Lagesensoren auf. Damit kann neben den Umgebungsbedingungen auch die Orientierung der Box bestimmt werden, was beim Ausbringen und bei der Aufnahme der Boxen durch den Roboter hilfreich ist. Aktuelle Arbeiten konzentrieren sich vor allem auf das Design der Boxen und die Integration von Gassensoren für die Überwachung der untertägigen Atmosphäre. Des Weiteren arbeiten die Nachwuchsforscher an den Datenschnittstellen zum Roboter und zu dem Funknetzwerk, um das Internet der Dinge auch im FLB Wirklichkeit werden zu lassen.

Julius greift ein

Ist Julius erfolgreich angekommen und hat die defekte Sensorbox identifiziert, muss er eine neue Sensorbox, die er mit



Abb. 5: Von links nach rechts sind verschiedene Stufen der Sensorboxentwicklung zu sehen. Neben dem Innenleben spielen auch die Geometrie und insbesondere der Griff eine wichtige Rolle. Das ARIDuA-Projekt evaluiert verschiedene Varianten. Zwei Kandidaten sind hier zu sehen. In der mittleren Abbildung sind die einzelnen Funktionseinheiten Elektronik- und Kommunikationsmodul (schwarz), Sensoren (blau) und Energieversorgung (rot) exemplarisch hervorgehoben.

sich führt, absetzen und die defekte aufnehmen. Da in den Sensorboxen Mess- und Kommunikationstechnik verbaut ist, sind beim Absetzen einige Rahmenbedingungen zu beachten:

- Sensoren zur Messung der Luftqualität dürfen nicht nach unten (in Richtung Sohle) ausgerichtet sein
- Antennen strahlen in Kugelform ab und sollten möglichst weit in die Strecke zeigen
- Der Griff zur Wiederaufnahme der Sensorbox ist frei zugänglich für den Roboter zu platzieren.

Dies stellt einige Anforderungen an die Konstruktion der Box, aber auch an die Planungsalgorithmen des Roboters. Im Folgenden steht die Betrachtung der Planung des Absetzens für den in *Abb. 5* (rechts) zu sehenden Prototypen im Vordergrund.

Auf den ersten Blick wirkt die Aufgabe simpel, die Schwierigkeit erwächst durch die unstrukturierte Umgebung des Bergwerks, typische Unsicherheiten in den Sensordaten und in der Heterogenität des Gesamtsystems Roboter. Jeder Brillenträger weiß, dass eine richtige Kalibrierung der Wahrnehmung entscheidend für einen sicheren Umgang mit der Umgebung ist. Für den Roboter ist das ähnlich. Am Handknöchel des Roboterarmes ist eine Farb- und Tiefenkamera als optischer Sensor für den Greifvorgang angebracht. Dessen Beobachtungen müssen entsprechend der aktuellen Position des Roboters, der Stellung des Armes und der daraus resultierenden Perspektive in ein ganzheitliches Modell überführt werden. Dazu muss die Transformation (Translation und Rotation) zwischen Kamera und Roboterarm exakt bekannt sein, was in der Praxis allerdings nur annähernd der Fall ist. Entsprechend sind alle Ergebnisse der Kamera mit einer Ungenauigkeit behaftet. Für das Absetzen der Sensorbox scannt der Roboter zunächst seine Umgebung und trägt die Tiefeninformation der Kamera in eine dreidimensionale Karte ein. Diese Datenstruktur repräsentiert die Umgebung und bildet zusammen mit einem dreidimensionalen, virtuellen Modell des Roboters als auch der Sensorbox die Grundlage für den Planungsalgorithmus.

Die neue Sensorbox befindet sich auf einer Ablagefläche auf dem Roboter, und ihre Pose (Position und Orientierung) ist im Vorhinein bekannt. Entsprechend ist eine Gelenkwinkelkonfiguration für den Arm programmiert, die diesen nahe vor der Sensorbox platziert. Derartiges Vorwissen vereinfacht den Planungsprozess,

der versucht, die IST-Stellung der Gelenkwinkel mit einer SOLL-Stellung kollisionsfrei zusammenzuführen. Nach dem erfolgreichen Anfahren der Sensorbox auf dem Roboter schließt Julius seine Hand um den Griff der Box und hebt diese an. Ab diesem Zeitpunkt betrachtet der Algorithmus die Station als Erweiterung des Armes und bildet die Kinematik des Arms auf die Sensorbox ab. Das ist notwendig, um Kollisionen mit der Umgebung zu verhindern. Im nächsten Schritt identifiziert ein Algorithmus eine geeignete Ablagestelle für die Box auf der Sohle (bergm. für Boden). Alternativ zur Planung per Algorithmus gibt es hier die Möglichkeit der Teleoperation durch den Bergmann. Das folgt der Denkweise, komplexe Entscheidungen dem Menschen zu überlassen, während der Roboter wiederkehrende Abläufe automatisiert. Nachdem die Ablageposition bekannt ist, ermittelt eine inverse Kinematik die notwendigen Gelenkwinkelstellungen und gibt diese an den Planungsalgorithmus weiter. Nach erfolgreichem Planen und Absetzen öffnet der Roboter seine Hand und interpretiert die Sensorbox von hier an als Bestandteil der Umgebung. Nach dem Absetzen der intakten Sensorbox vom Roboter auf den Boden, greift dieser die defekte Box und setzt sie auf die Ablagefläche auf dem Roboter ab. Der Planungsalgorithmus bleibt derselbe, nur sind Start- und Ziel-Pose vertauscht. Nach getaner Arbeit kehrt der Arm in eine Transportstellung zurück, und Julius ist bereit für die nächste Aufgabe.

Daten, Daten, Daten

Beim Betrieb des Sensornetzes werden fortlaufend Daten erhoben, die sich über die Zeit zu sehr großen Datenmengen summieren. Im Angesicht dieser großen, aber vor allem unstrukturierten Datenmengen ist der Mensch allein kaum in der Lage, relevante Informationen herauszufiltern und entsprechend zu nutzen. Dieser Herausforderung kann mit Techniken des sog. *Data Minings* begegnet werden. Data Mining heißt wörtlich so viel wie Daten abzubauen, meint aber eher das Analysieren von Daten, um Wissen zu generieren. Typische Methoden des Data Minings sind Clusteranalysen und Klassifikationsalgorithmen.

Eine Clusteranalyse analysiert die Daten aufgrund ähnlicher Eigenschaften und gruppiert diese entsprechend. Dadurch werden Zusammenhänge ersichtlich, und es entstehen vorher unbekannte Klassen. Sind jedoch die Klassen und die

Klassenzugehörigkeit der Daten bekannt, so konzentriert sich die Analyse darauf, welche Eigenschaften für die Klassenzugehörigkeit relevant sind.

Mit diesen und anderen Methoden können die anfallenden Daten analysiert und, falls nötig, für den Menschen aufbereitet werden. Dieses generierte Wissen steht dann zur Verfügung, um schneller und bessere Entscheidungen zu treffen, die der Planung eines Bergwerks zur Hilfe kommen. Die intelligente Auswertung gewonnener Sensordaten könnte außerdem automatisierte Regelungen von Prozessen ermöglichen. Ein Beispiel wäre eine automatisierte Lüftersteuerung zur Bewetterung (bergm. für Luftzuführung) des Bergwerks anhand gemessener Daten von im Internet der Dinge befindlichen Sensoren.

Zusammenfassung

Bergwerke sind heute wohl komplexer als je zuvor, aber immer noch gefährliche Arbeitsumgebungen. Seit den Zeiten von Humboldt und Weisbach hat viel Technik in den Bergbau Einzug gehalten. Zukünftig werden Roboter wie Alex und Julius die Arbeit der Bergleute unterstützen, erleichtern und sicherer machen. An der TU Bergakademie Freiberg forscht ein interdisziplinäres Team an dieser Thematik. Das Projekt ARIDuA läuft bis Juni 2020 und zielt darauf, ebenso wie damals die Arbeiten von Julius Weisbach, neue Technologien in den Bergbau einzuführen.

Weiterführende Literatur

- Buhl, C., Donner, M., Ferber, M., Grehl, S., Herrmann, M., Jung, B., & Poschmann, P. (2015). Mobile Roboter für Mapping und Monitoring im Bergbau. *Proceedings of the 16. Geokinematischer Tag*, 41-53.
- Grehl, S., Sastuba, M., Donner, M., Ferber, M., Schreiter, F., Mischo, H., & Jung, B. (2015). Towards virtualization of underground mines using mobile robots – from 3D scans to virtual mines. *23rd International Symposium on Mine Planning & Equipment Selection*, (S. 711-722). Johannesburg.
- Grehl, S., Mischo, H., & Jung, B. (Februar 2017). Research perspective-mobile robots in underground mining. *AusIMM Bulletin*, 44-47.
- Güth, F., Wolf, F., Grehl, S., Lösch, R., Varga, S., Abadchi, N. R., Joseph, Y. (2018). Autonomous Robots and the Internet of Things in Underground Mining. *Proceedings of the 12th Smart Systems Integration Conference 2018* (S. 215-222). Dresden: Mesago Messe Frankfurt GmbH.
- Lösch, R., Grehl, S., Donner, M., Buhl, C., & Jung, B. (2004). Design of an Autonomous Robot for Mapping, Navigation, and Manipulation in Underground Mines. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (S. 1407-1412). Madrid

Prinzipien der Extremen Biomimetik

Hermann Ehrlich¹

Einleitung

Die Ursprünge extremer Biomineralisation lassen sich bis zu den ersten Einzellern zurückverfolgen, die sich unter den widrigen Bedingungen der Urozeane entwickelten. Die biologisch induzierte und kontrollierte Mineralisation förderte die Bildung von schützenden Strukturen gegen thermische und chemische Beanspruchungen sowie gegen ultraviolette Strahlung. Jene Bedingungen begünstigten die Anpassung einzigartiger extremophiler und polyextremophiler Biomineralisierer, die bis heute zu finden sind. Psychrophile, thermophile, anaerobe, alkalophile, acidophile und halophile Bedingungen sowie erzwungene Biomineralisation treten in Umgebungen mit sehr hoher – auch toxischer – Metallionenkonzentration auf. In den meisten Fällen bleiben die Mechanismen dieser außergewöhnlichen biomineralogischen Phänomene ungeklärt. Dennoch liefert die extreme Biomineralisation entscheidende Informationen zur Weiterentwicklung der extremen Biomimetik. Dieser spannende Bereich der aktuellen Forschung könnte der nächste Schritt zur Entwicklung einer neuen Generation von Verbundwerkstoffen sein, der das sog. *Organic-templating* unter biologisch extremen Laborbedingungen verwendet. Folgend wird ein Einblick in die Herausforderungen, Lösungen und zukünftigen Entwicklungen der Extremen Biomimetik im Hinblick auf die bioinspirierte Materialchemie und die angewandten Werkstoffwissenschaften gegeben.

Extreme Biomineralisation

Das Phänomen der Biomineralisation muss entstanden sein nachdem die ersten Einzeller in den Urozeanen erschienen. Unter den typischen Bedingungen der präbiotischen Chemie trat die Fähigkeit zur Kontrolle von Kristallisationskeimbildung und Anordnung weniger Nanometer großer Objekte zu anspruchsvollen Strukturen schon früher auf. Die Bildung der ersten zellähnlichen Struktur fand vermutlich beim Kontakt mit Sedimentgestein statt, möglicherweise als Ergebnis subaerischer Verwitterung an der Oberfläche der Urkontinente vor 4 Milliarden Jahren [1]. Wahrscheinlich verbreiteten

sich diese einfachen Strukturen und erreichten so neue Lebensräume. Die neuen physikalischen und chemischen Umgebungsbedingungen führten zur Anpassung dieser Strukturen. Vermutlich waren hydrothermale Tiefseequellen einer der dafür vorteilhaftesten Bereiche [1].

Aktuelle vielversprechende Untersuchungen bringen die hydrothermale Synthese sowie die hydrothermale Chemie in Verbindung mit der Entstehung des Lebens und den dabei vorliegenden Umweltbedingungen. Erstaunlicherweise wird die extreme Biomineralisation, die eine der ältesten natürlich auftretenden Phänomene zu sein scheint, hier wenig berücksichtigt.

Unter welchen extremen Bedingungen finden wir Biomineralisierer heute? Extreme Umgebungen zeichnen sich laut Definition durch Bedingungen aus, die weit außerhalb der Grenzen liegen, in denen die meisten Lebewesen problemlos leben können. Wesentliche Faktoren für diese Bedingungen können sein: der pH-Wert, der Luftdruck, die Temperatur, der Salzgehalt, die Strahlung, die Trockenheit und der Sauerstoffgehalt [2]. Hydrothermale Tiefseequellen, geothermale Gewässer und terrestrische heiße Quellen sind in diese Definition eingeschlossen aufgrund ihres sauren oder basischen pH-Wertes, ihres hohen hydrostatischen Druckes, der hohen Temperaturen, des Auftretens giftiger Verbindungen, einer reduzierenden Atmosphäre und durch das fehlende Licht. Trotz der widrigen Bedingungen ist eine Vielzahl verschiedener thermophiler und hyperthermophiler Organismen, wie die Biomineralisierer, an diesen besonderen Orten weit verbreitet.

Folgendes kann heutzutage definiert werden:

Acidophile Biomineralisation: Die Bildung verschiedener Biominerale durch Organismen, die sich an sehr saure (pH = 1.0–1.5) Umgebungen angepasst haben.

Alkalophile Biomineralisation: Die Bildung verschiedener Biominerale von Organismen, die unter sehr basischen (pH=11-12) Bedingungen leben.

Anaerobe Biomineralisation: Der Prozess, bei dem Biominerale unter anaeroben Bedingungen gebildet werden.

Erzwungene Biomineralisation: Die Biomineralisation, die aufgrund der giftigen

Konzentrationen an Metallionen abläuft. Die Bildung von biomineralischen Strukturen (Schalen, Schichten etc.) soll dabei das Überleben der Extremophilen gewährleisten. Biominerale, die durch erzwungene Biomineralisation gebildet werden, können die Zellen somit vor Schwermetallvergiftung und UV-Strahlung schützen.

Halophile Biomineralisation: Der Bildungsprozess von Biomineralen durch unter salzigen und hypersalinen Umgebungen lebende Organismen.

Hydrothermale Biomineralisation: Der Prozess zur Bildung von Biomineralen durch im Wasser bei Temperaturen um 100 °C lebende Organismen.

Hydrothermale Kalzifikation: Die kontrollierte Bildung verschiedener calciumhaltiger Biominerale durch Lebewesen, die in Hydrothermalquellen, Thermalwässern und heißen Quellen vorhanden sind.

Hydrothermale Verkieselung: Die kontrollierte Bildung unterschiedlicher siliziumhaltiger Biominerale durch Lebewesen, die in Hydrothermalquellen, Thermalwässern und heißen Quellen auftreten.

Folglich verändern die extremen Biomineralisierer ihr lokales Umfeld, um passende physikochemische Bedingungen für die Ausfällung anorganischer Verbindungen zu schaffen [3]. Ihr Überleben ist somit abhängig von der Herstellung einzigartiger Biominerale unter giftigen Metallionenkonzentrationen und der Anpassung an extreme Umweltverhältnisse wie zum Beispiel anaerob-saure und warm-basische Bedingungen. Das Vorkommen von seltenen Biomineralen (*siehe Tabelle 1*) befruchtet unser Verständnis für den Ursprung und die Entwicklung von Leben unter extremen Umweltbedingungen. Des Weiteren liefert es Informationen über die möglichen Mechanismen der Bildung von Biomineralen und über ihre strukturelle Vielfalt. Biominerale, die unter verschiedenen Umgebungs- und extremen Umweltbedingungen entstanden sind, ermöglichen es zudem, den Zusammenhang zwischen physikochemischen und molekularen Daten herzustellen.

Extreme Biomimetik

Für Lebewesen stellt die Biomineralisation einen effektiven Ansatz dar, um die biologische Belastbarkeit und den Schutz gegen vielfältige externe Schädigung zu

¹ Institut für Elektronik- und Sensormaterialien, Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie

Tabelle 1: Ausgewählte Biominerale als Beispiele für die extreme Biomineralisation

Biomaterial	Chemische Formel	Herkunft
Alamosit	PbSiO ₃	Entgiftungsmechanismus gegen Blei-Ionen von <i>Bacillus</i> sp. KK1
Bioscorodit	FeAsO ₄ ·2H ₂ O	Gebildet bei pH 1,2 und 70 °C durch <i>Acidianus suljdivorans</i> und <i>Sulfolobales</i> spp.
Chernikovit	H ₂ (UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ ·8H ₂ O	Entgiftungsmechanismus gegen Uran-Ionen durch das Cyanobakterium <i>Anabaena torulosa</i>
Eskaloit	Cr ₂ O ₃	Biomineralisation als Reaktion von <i>Schwanniomycetes occidentalis</i> auf giftiges Cr(VI) bei 50 °C
Greigit	Fe ₃ S ₄	Gebildet durch die thermophile Schnecke <i>Chrysomallon squamiferum</i>
Hydrocerussit	(Pb ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂)	Entgiftungsmechanismus gegen Blei-Ionen durch <i>Paecilomyces javanicus</i>
Kutnahorit	(Ca(Mn ²⁺ ,Mg,Fe ²⁺)(CO ₃) ₂)	Gebildet durch halophile <i>Idiomarina</i> sp.
Ni-struvit	Ni(NH ₄)(PO ₄)·6H ₂ O	Gebildet durch <i>Streptomyces acidiscabies</i>
Orpiment	As ₂ S ₃	Anaerobe Biomineralisation von <i>Shewanella</i> sp. und <i>Desulfosporosinus auripigmenti</i>
Otavit	CdCO ₃	Entgiftungsmechanismus gegen Cadmium-Ionen durch den Pilz <i>Neurospora crassa</i>
Plumbonacrit	(Pb ₁₀ (CO ₃) ₆ O(OH) ₆)	Entgiftungsmechanismus gegen Blei-Ionen durch <i>Paecilomyces javanicus</i>
Pyrit	FeS ₂	Gebildet durch die thermophile <i>Chrysomallon squamiferum</i>
Pyromorphit	Pb ₃ (PO ₄) ₃ Cl	Entgiftungsmechanismus gegen Blei-Ionen durch <i>Paecilomyces javanicus</i>
Realgar	AsS	Anaerobe, moderat thermophile, arsenreduzierende Bakterien, die eng verwandt sind mit <i>Caloramator</i> und <i>Thermobrachium</i>
Sphalerit/Wurzit	(Zn _{0,88} Fe _{0,12})S	Gebildet durch den thermophilen Wurm <i>Alvinella pompejana</i>
Telluriumhaltige Biominerale	Te(O)	Entgiftungsmechanismus gegen Tellurium-Ionen unter anaeroben Bedingungen durch <i>Sulfurospirillum barnesii</i>

Abb.1: Schematische Darstellung der extremen Biomineralisation und der extremen Biomimetik im fachübergreifenden System mit Blick in die Zukunft



erreichen [4]. Daher ist das Wissen, das aus dem Studium der extremen Biomineralisation erhalten wird, eine treibende Kraft für den aktuellen Fortschritt in der extremen Biomimetik. Die extreme Biomineralisation und die extreme Biomimetik sind wissenschaftliche Spezialgebiete. Sie fördern die Untersuchung natürlicher und künstlicher Phänomene, die „außerhalb der menschlichen Komfortzone“ auftreten. Insbesondere die extreme Biomimetik entwickelt sich zu einem wichtigen Konzept für die moderne bioinspirierte Materialchemie. Hoch spezialisierte Biomineralisierer können zur Biofabrikation von Nanopartikeln und Nanomaterialien sowie zur Entwicklung von Biobeton und Biomineralen eingesetzt werden (Abb. 1).

Die skelettartigen Strukturen Extremophiler sind ein Beispiel für solche Biokomposite, die thermisch und chemisch sehr resistente Biopolymere besitzen. Diese spezialisierten Templates sind unter extremen Umgebungsbedingungen entscheidend: Ausgewählte organische Gerüste liefern somit einzigartige Umgebungen zur Metallkoordinierung. Diese fördern Biomineralisationsprozesse in vitro. Daher ist es unser Ziel, eine Verbindung zwischen der extremen Biomimetik und der bioinspirierten Werkstoffchemie zu schaffen. Das grundlegende Prinzip ist es, die chemisch und thermisch stabilen und regenerativen Biopolymere für die Entwicklung der nächsten Generation von bioinspirierten Verbundwerkstoffen

zu nutzen. Die Teilchengröße und die Eigenschaften der neuartigen Verbundwerkstoffe werden deren Anwendung im Falle von Belastungen unter den extremen Einflüssen in der modernen Industrie ermöglichen – den Einsatz im Industriemaßstab. Die einzigartige Hitzebeständigkeit und die Fähigkeit zur Metallkomplexierung von Biopolymeren, wie im Fall von Polysacchariden (Cellulose, Chitin und Chitosan) und Proteinen (Spongin und natürliches Seidenfibroin), bieten neue zukunftsweisende Möglichkeiten in diesem Bereich. So erhält die Wissenschaftsgemeinschaft einen Blick auf die Anwendung dieser strukturellen Biopolymere in der hydrothermalen Synthese, die auf dem Konzept der extremen Biomimetik beruht. Die Biomineralisationsprozesse in heißen Quellen und in Hydrothermalquellen inspirierten zu aktuellen Untersuchungen. Diese zeigten, dass sich besonders strukturelle Biopolymere wie Chitin [5] und Spongin [6] als hitzebeständige dreidimensionale organische Gerüste für die Kristallkeimbildung und das Wachstum einer Vielfalt neuartiger Verbundwerkstoffe eignen. Dazu zählen im Nanometerbereich organisierte SiO_2 -, Fe_2O_3 -, ZnO -, ZrO_2 -, GeO_2 -, TiO_2 -, MnO_2 - und mehrphasiges $\text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$ -haltige Verbundwerkstoffe [7–12].

Die extreme Biomimetik erlangte erhebliche Aufmerksamkeit durch die Entwicklung neuartiger dreidimensionaler Verbundwerkstoffe, die eine hierarchische Gliederung aufweisen. Hierzu werden nachwachsende, natürlich vorkommende und ungiftige organische Gerüste – im Zentimeter- bis Metermaßstab – eingesetzt (Abb. 2).

Das hergestellte Gerüst ähnelt in Form und Größe dem eiweiß- und sponginhaltigen dreidimensionalen Skelett verschiedener mariner Hornkieselschwämme. Diese Schwämme sind seit der Antike als Badeschwämme bekannt und heute noch als solche kommerziell erhältlich. Trotz eines jährlichen Marktvolumens von 20 Millionen US\$ [6] und der weltweiten Aquakultur dieser Schwämme beschränkt sich ihre Anwendung leider hauptsächlich auf kosmetische Zwecke. Die Struktur des kollagenähnlichen Spongins besteht aus Nanofasern, die mehrschichtige einzelne Fasern mit einem Durchmesser von bis zu $100\ \mu\text{m}$ bilden. Diese Fasern fügen sich zu einem komplexen dreidimensionalen hierarchischen Netzwerk zusammen, das eine große Mikroporosität aufweist und einzigartige strukturelle und

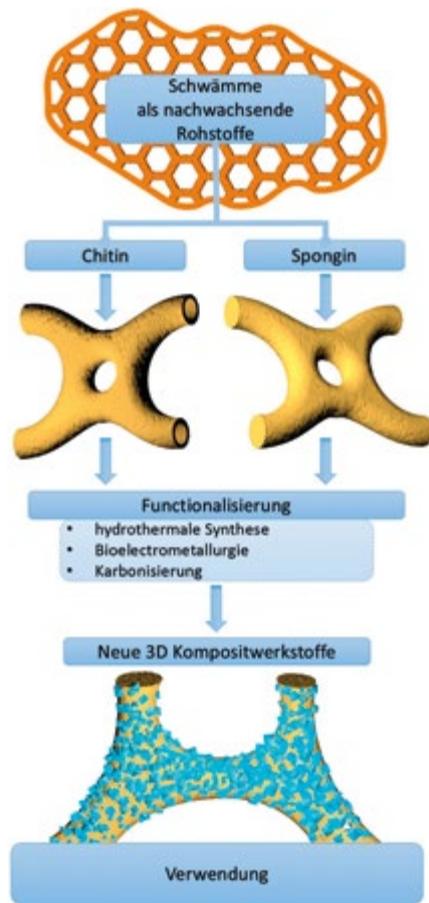


Abb. 2: Schematische Darstellung unserer Strategie „Extreme Biomimetik“: vom Schwamm zum nanostrukturierten metalloxidhaltigem Kompositwerkstoff

mechanische Eigenschaften besitzt [6]. Spongin ist stabil bei hohen Temperaturen bis zu $360\ ^\circ\text{C}$ und bei einem saurem pH-Wert herab bis zu 1,5. Daher werden neuerdings sponginhaltige Gerüste in der hydrothermalen Synthese eingesetzt, um neuartige metalloxidhaltige Verbundwerkstoffe mit vielversprechenden elektrochemischen und katalytischen Eigenschaften herzustellen [10]. Vorläufige Experimente zur Karbonisierung von Spongingerüsten bei $650\ ^\circ\text{C}$ haben wir bereits erfolgreich durchgeführt. Dabei behielt das karbonisierte Spongin seine natürliche gerüstartige Struktur bei und wies eine ausreichende mechanische Stabilität auf, um chemisch funktionalisiert werden zu können. Dabei war es das Ziel, einen neuen funktionsfähigen, zentimetergroßen manganoxidhaltigen Superkondensator zu entwickeln [11] (Abb. 3).

Die einzigartigen Eigenschaften dieses biologischen eiweißhaltigen Materials trieben uns an, neue dreidimensionale karbonisierte Spongingerüste zu entwickeln. Diese halten Temperaturen bis zu $1200\ ^\circ\text{C}$ stand ohne ihren hierarchischen

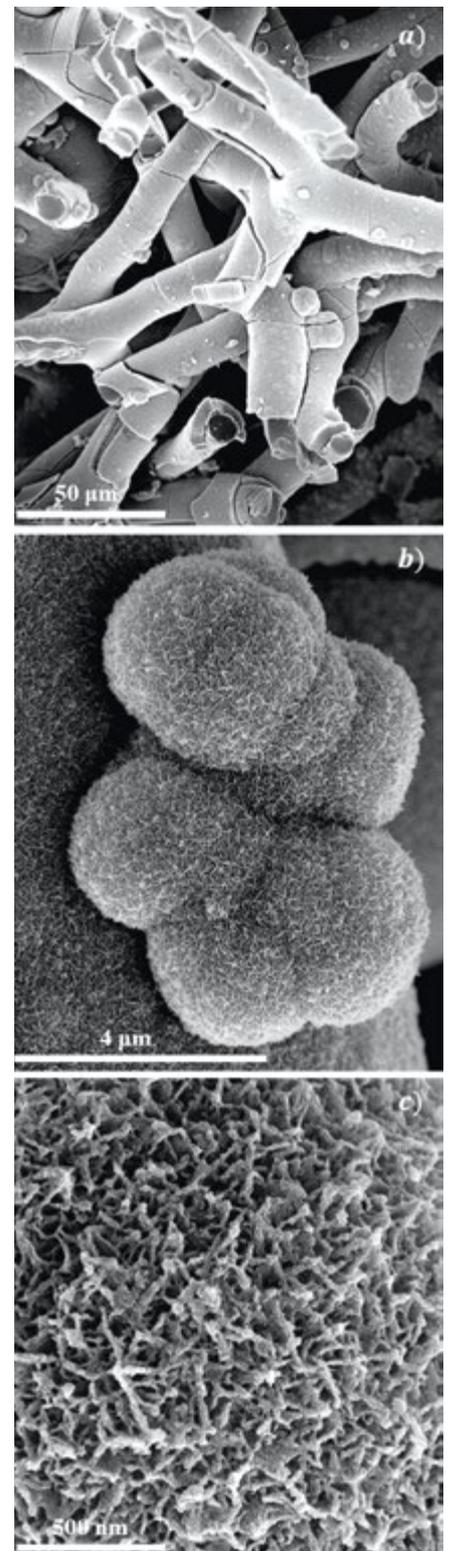


Abb. 3: Das 3D-Gerüst aus karbonisiertem Spongin lässt sich leicht umwandeln in ein Material mit nanostrukturierterm MnO -haltigen Konstrukt (a). Die Manganoxid-Schicht (b) enthält Nanokristalle (c) und ist nanoporös.

Aufbau zu verlieren. Wir vermuteten, dass Spongin bei solch hohen Temperaturen bestehen kann und seine Form und Struktur dabei intakt bleiben. Durch die Entstehung von Nanoporen sollte die spezifische Oberfläche sich vergrößern. Dies

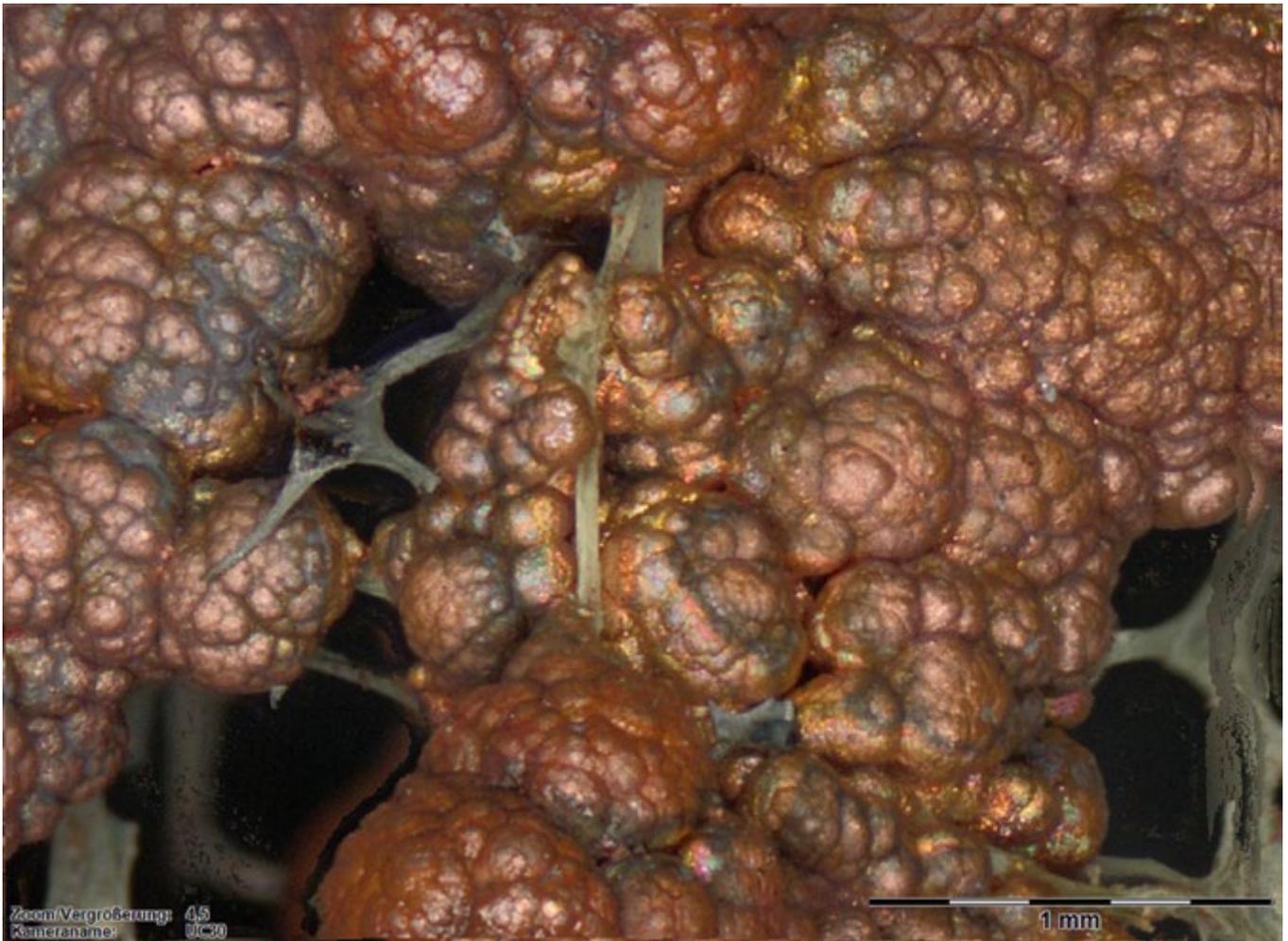


Abb.4: Stereomikroskopische Aufnahme von mit Cu- und Cu_2O metallisiertem 3D-Schwamm-Chitin-Gerüst, das hervorragende katalytische Eigenschaften in Bezug auf die Reduktion von para-Nitrophenol zeigte.

begünstigt den Einsatz dieser Gerüste als zentimetergroßen Katalysator, den man durch Beschichten der Oberfläche mit ausgewählten zweckmäßigen Metallen erhält.

Diese Informationen und die einzigartige Möglichkeit, nachwachsende marine Biopolymere als natürlich vorgefertigte, zentimetergroße Gerüste für die Entwicklung von metallhaltigen Verbundwerkstoffen zu nutzen, ermöglichen es unserer Arbeitsgruppe, in zukünftigen Projekten die folgenden Fragen zu bearbeiten:

- Bewahren die entwickelten chitin- und sponginhaltigen Verbundwerkstoffe die ursprüngliche dreidimensionale Struktur der Schwammskelette bei der Karbonisierung bei 1000 °C und höheren Temperaturen?
- Welcher Art sind die metallischen Phasen der Verbundwerkstoffe, die man über den Ansatz der extremen Biomimetik erhält?
- Wird die mechanische Festigkeit der hierarchisch aufgebauten Verbundwerkstoffe durch die nanostrukturierte Anordnung der beteiligten Metallphasen bestimmt?

Die Motivation unserer Arbeit ist es, alle experimentellen Daten zusammenzufügen, um so neuartige Möglichkeiten für die praktische Anwendung von chitin- (Abb. 4) und sponginhaltigen Werkstoffen – als neue Generation dreidimensionaler Verbundwerkstoffe – zu finden.

Literatur

- 1 Novoselov, A. A.; Serrano, P.; Pacheco, M. L. A. F.; Chaffin, M. S.; O'Malley-James, J. T.; Moreno, S. C.; Ribeiro, F. B. From Cytoplasm to Environment: The Inorganic Ingredients for the Origin of Life. *Astrobiology* 2013, 13 (3), 294-302.
- 2 Amils, R.; Ellis-Evans, C.; Hinghofer-Szalkay, H. G. *Life in Extreme Environments*; Springer: Dordrecht, 2007.
- 3 Kumari, D.; Qian, X. Y.; Pan, X.; Achal, V.; Li, Q.; Gadd, G. M. Microbially-Induced Carbonate Precipitation for Immobilization of Toxic Metals; Elsevier Ltd, 2016; Vol. 94.
- 4 Yao, S.; Jin, B.; Liu, Z.; Shao, C.; Zhao, R.; Wang, X.; Tang, R. Biom mineralization: From Material Tactics to Biological Strategy. *Adv. Mater.* 2017, 1605903, 1605903.
- 5 M. Wysokowski et al., Poriferan chitin as a versatile template for extreme biomimetics, *Polymers*. 7 (2015) 235-265.

- 6 T. Jesionowski et al., Marine spongin: naturally prefabricated 3D scaffold-based biomaterial, *Mar. Drugs*. 16 (2018) 88.
- 7 H. Ehrlich et al., Extreme biomimetics: formation of zirconium dioxide nanophase using chitinous scaffolds under hydrothermal conditions, *J. Mater. Chem. B*. 1 (2013) 5092-5099.
- 8 M. Wysokowski, et al., Extreme biomimetic approach for developing novel chitin- GeO_2 nanocomposites with photoluminescent properties, *Nano Res.* 8 (2015) 2288-2301.
- 9 M. Wysokowski et al., Extreme biomimetic approach for synthesis of nanocrystalline chitin-(Ti,Zr) O_2 multiphase composites, *Mat. Chem. Phys.* 188 (2017) 115-124.
- 10 Szatkowski et al., Immobilization of titanium(IV) oxide onto 3D spongin scaffolds of marine sponge origin according to extreme biomimetics principles for removal of C.I. Basic Blue 9, *Biomimetics*. 2 (2017) 4.
- 11 Szatkowski et al., Extreme biomimetics: A carbonized 3D spongin scaffold as a novel support for nanostructured manganese (IV) oxide and its electrochemical applications, *Nano Res.* (2018) In press. DOI:10.1007/s12274-018-2008-x.
- 12 H. Ehrlich (ed.), *Extreme Biomimetics*, Springer International Publishing, Cham, 2017.

Geochemische Analytik – die Forensik der Geowissenschaftler

Jörg Matschullat (JMT)¹, Alexandra Käbner¹, Alexander Pleßow¹, Marion Tichomirowa¹



Abbildung 1: Objekte geochemischer Analytik (Wasser und Boden, Biota, Luft)

Warum sind geochemische Labore so aufwendig und teuer? Was wird da eigentlich untersucht? Und wie „ticken“ die KollegInnen, die sich solchen Aufgaben verschrieben haben? Wem dienen sie?

Objekte geowissenschaftlicher Forschung sind meist von extremer (chemischer) Komplexität. In silikatischen, oxidischen oder auch sulfidischen und anderen, noch exotischeren Matrices (fest, flüssig, gasförmig) gilt es, mit hoher Präzision und Richtigkeit beinahe alle Elemente (und Isotope) des Periodensystems der Elemente quantitativ bestimmen zu können – und dies bei einem Höchstmaß von Heterogenität in sehr unterschiedlichen Anteilen der einzelnen Komponenten. Die Erfüllung der darin liegenden Herausforderungen erlaubt es, anspruchsvolle Hypothesen zu testen – und dem Anspruch gerecht zu werden, nicht allein Daten zu liefern, sondern Ergebnisse, die auch in absehbarer Zeit ihren Wert behalten.

Die Analytik ist eine Werkzeugkiste, ein Mittel zum Zweck. Sie dient der Prozessaufklärung, der zweifelsfreien Trennung von Einflussgrößen, die im Laufe von Jahrmilliarden oder Millionen auf Gesteine und Minerale, oder auch – meist in zeitlich jüngeren und höher aufgelösten Zusammenhängen – auf Böden, biologische Materialien oder Wässer eingewirkt haben, beziehungsweise noch einwirken (Abb. 1). Geochemische Analytik ist die

Forensik der Geowissenschaftler. Um dieser Aufgabe gerecht werden zu können ist es oft notwendig, Laborinfrastruktur und Geräte – von der Probenahme bis zur Messung – auf diese Komplexität abzustimmen und zugleich Risiken durch Kontamination und sonstige Beeinflussung von Proben von vornherein zu minimieren. Nur dann werden nicht einfach nur Daten produziert, sondern wissenschaftlich tragfähige Grundwerte, die es erlauben, tiefgründige und weitreichende Schlussfolgerungen zu ziehen.

Diese Erkenntnis zu vermitteln, und interessierte Studierende anzuleiten, die entsprechenden Methoden tatsächlich zu beherrschen, gehört zu den wichtigsten Pflichten unserer Laborteams. Wir pflegen und entwickeln damit eine äußerst anspruchsvolle Kulturtechnik, die es künftigen WissenschaftlerInnen erlaubt, von der Probenahme bis zum analytischen Ergebnis (Daten) fachlich und sachlich

angemessene und richtige Fragen stellen und beantworten zu können, Fehler zu vermeiden sowie Kosten richtig einzuschätzen. Dazu bedarf es zeit- und personalintensiven Trainings, das ein Großteil der geowissenschaftlichen Studierenden erfolgreich durchlaufen sollte (Abb. 2).

Im Lexikon der Geowissenschaften wird geowissenschaftliche Analytik so definiert: „Für geowissenschaftliche Fragestellungen wird eine Vielzahl verschiedener Methoden angewendet, um Proben (fest, flüssig oder gasförmig) bezüglich Struktur und chemischer Zusammensetzung (sowohl qualitativ als auch quantitativ) zu untersuchen. Erster Schritt bei jeder Analytik ist eine Aufbereitung der Probe mit Separation der zu untersuchenden Substanz; diese kann physikalisch erfolgen (z. B. bei Mineralseparation) oder chemisch (Aufschlussverfahren). Eine Analyse der so vorbereiteten Proben kann nach verschiedenen Methoden erfolgen“ (Martin u. Eiblmeyer 2003).



Abbildung 2: Spurenelement-Analytik-Praktikum mit Susanne Meichsner (l.) an einem Mikrowellenaufschlussgerät sowie Manuel Diercks (r.) beim Pipettieren einer Probenvorbereitungslösung

¹ Institut für Mineralogie der TU Bergakademie Freiberg



Abbildung 3 – v.l.: Proben zerkleinern und homogenisieren (Mühle, Brecher und Scheibenschwingmühle, Fa. Fritsch) sowie Gaschromatograph (SRI Instruments)

Dieser Beitrag will Ihnen exemplarisch zeigen, was die geochemische Analytik auszeichnet und was Sie in Freiberg vorfinden – dazu begeben wir uns auf eine virtuelle Reise durch unsere Labore. Im Folgenden wird anstelle des längeren Begriffs „geochemische Analytik“ der Begriff „Analytik“ verwendet.

Basis der Analytik ist die korrekte Quantifizierung des gesamten Stoffbestands, also eine präzise (und richtige!) Ermittlung der Stoffkonzentrationen in nahezu beliebigen Materialien unseres Planeten sowie extraterrestrischer Körper. So wurde das Mineralogische Institut in den späten 1960er Jahren mit der Übergabe von Mondgesteinsmaterial von einer Apollo-Mission der NASA ausgezeichnet, das in unseren Laboren erfolgreich bearbeitet werden konnte. Auch meteoritisches Material gehört zu den interessanten (und schwierigen) Studienobjekten. Doch werden nicht nur Gesteine, Erze und Schlacken bearbeitet sondern auch Böden aller Art, Pflanzenmaterial (aquatisch und terrestrisch), Wässer bis hin zu Regen- und Nebeltröpfchen, atmosphärische Gase und Stäube (Aerosole) sowie Material technischer Produkte (Abb. 1). Ziel ist es stets, den Stoffbestand so genau und richtig wie möglich zu ermitteln, um am Ende Auskunft geben zu können, woraus genau das Probenmaterial besteht. Isotopenuntersuchungen liefern zusätzliche Informationen, wie bzw. woraus bestimmte Stoffe bzw. Minerale entstanden sind und dienen daher auch als „fingerprint“-Methoden.

Eine fachlich korrekte Probenahme ist DIE wesentliche Voraussetzung für jede nachfolgende zielführende Analytik. Dabei wird eine angemessene Menge (Masse, Volumen) von Urprobenmaterial

so gewonnen, dass die jeweilige Probe repräsentativ für den zu hinterfragenden Gegenstand ist – und so, dass bei Probenahme, Transport und Lagerung keine Veränderung der gewünschten Analyte auftreten kann (Heinrichs u. Herrmann 1990).

Probenvor- und -aufbereitung. Bevor ein Material auf seine stoffliche Zusammensetzung hin erfolgreich untersucht werden kann, muss es in einen Zustand überführt werden, der den Anforderungen der analytischen Instrumente gerecht wird. Darunter fallen Trocknen, Zerkleinern, Homogenisieren und Teilen von Proben. Das ist nicht trivial, wenn man bedenkt, dass meist Proben mit Gewichten im Gramm- bis Kilogramm-Bereich genommen werden, die Analysengeräte jedoch nach allen Präparationsschritten Material nur im Mikrogramm- bis Gramm-Bereich aufnehmen können. Allein dadurch wird deutlich, welche Bedeutung einer möglichst perfekten Homogenisierung von Urproben zukommt. Andererseits ist es heute möglich, die Heterogenität der natürlichen Stoffe auch im kleinskaligen Bereich (Millimeter-Mikrometer) nachzuweisen und somit Stoffbereiche zu isolieren und analysieren, die nur bestimmte (z. B. ursprüngliche oder eben überprägte) Informationen gespeichert haben. Je kleiner die zu analysierende Substanzmenge ist, desto größer sind die Herausforderungen, diese nicht zu verunreinigen (Abb. 3).

Bei Feststoffen werden – je nach Analyseverfahren und Zusammensetzung – Aufschlussverfahren und ggf. Verdünnungs- oder Anreicherungs-schritte nötig, um Probenmaterial entweder in eine wässrige Lösung zu überführen (z. B. für induktiv gekoppelte Plasmaanregung

mit optischer Emissionspektrometrie, ICP-OES/AES, mit massenspektrometrischer Detektion, ICP-MS, oder Thermionen-Massenspektrometrie, TIMS) oder in Form von Press- oder Schmelztabletten perfekt homogenisiert vorzulegen (z. B. Röntgenfluoreszenz Analyse, RFA-Verfahren). Erst dann sind die Proben analysierbar. In unseren Laboren stehen insgesamt fünf verschiedene Aufschlussapparaturen zur Verfügung, um für die große Bandbreite an Materialien die am besten geeignete Methode auswählen zu können.

Das analytische Spektrum. Geochemiker unterscheiden zwischen Haupt-, Neben- und Spurenkomponenten im Material. Erstere dominieren den Stoffbestand im Prozentbereich und definieren die Matrix. Nebenelemente oder -komponenten treten im Bereich von 0,1 bis 1,0 Gewichts-(oder Massen-)Prozent auf, während Spurenkomponenten Konzentrationen von maximal 0,1 Gewichtsprozent zeigen; meist Konzentrationen (deutlich) unter 100 Milligramm pro Kilogramm (<0,01 Gew.-%). In der Regel sind neben Sauerstoff die Elemente Silicium, Aluminium, Eisen, Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium Hauptkomponenten, während Mangan, Titan, Schwefel, Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Wasserstoff die Nebenkomponten repräsentieren. Alle anderen etwa 80 natürlich vorkommenden Elemente sind außer bei Erzen normalerweise Spurenkomponenten (Abb. 4).

Mit keiner einzelnen Analysenmethode lässt sich dieses gesamte stoffliche Spektrum erfassen. So ist stets zu begründen, warum welche Komponente quantifiziert werden sollte. Das ergibt sich aus der Fragestellung und spiegelt sich in den Kosten der Analytik deutlich wider.



Abbildung 5:
Vom geologischen
Aufschluss bis zum
Zirkonkristall und
den chemischen
Präparationschritten

zum Beispiel Seltene Erden zu quantifizieren. Diese Elementgruppe ist nicht allein wirtschaftlich interessant, sondern ein äußerst leistungsstarker Tracer zum Nachweis geochemischer Differenzierungsprozesse. Unter zukünftig hoffentlich deutlich besseren Laborbedingungen im Neubau am Chemie-Gebäude hoffen wir ab 2022 auf deutlich niedrigere Störungen durch belastete Laborluft und damit erheblich niedrigere Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen mit unseren Maschinen (ebenfalls von Perkin Elmer, ELAN 9000 mit und ohne Reaktionszelle). Zugleich wird es dann sinnvoll sein, höher auflösende Massenspektrometer – wie ein Multikollektor-ICPMS-Gerät – anzuschaffen, deren Leistung wir bislang nicht ausspielen könnten.

Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel sind Neben- und manchmal auch Spurenbestandteile geogener Materialien. Sie werden in unseren Laboren mit einem Elementaranalysator (El Cube, Elementar) mit sehr niedrigen Bestimmungsgrenzen mittels gekoppelter Wärmeleitfähigkeits- und Infrarotdetektion quantifiziert. Diese Konfiguration wurde von uns bislang primär zur Untersuchung von Bodenproben im Rahmen geochemischer Kartierungsprojekte eingesetzt (Matschullat et al. 2018).

Standardmethoden wie Ionenchromatographie (Dionex und Metrohm) sowie UV/VIS-Spektrometrie (Analytik Jena) werden bei uns vor allem für die Quantifizierung anorganischer Hauptkomponenten in wässrigen Lösungen (Oberflächen- und Grundwässer, Grubenwässer etc.) eingesetzt.

Klimawirksame Spurengase wie Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) sind zugleich wertvolle Tracer zur indirekten Ermittlung der Gesundheit von Böden und Ökosystemen. Zudem liefern sie dringend notwendige Daten zu den globalen Kohlenstoff- und Stickstoff-Kreisläufen. Auch hier gilt, dass nur sehr präzise Daten erlauben, Prozesse und subtile Veränderungen zu erkennen, so dass

die Anforderungen an die Empfindlichkeit unseres modularen Gaschromatographen SRI 8610C deutlich höher sind als es für Standardanwendungen nötig ist (Oertel et al. 2016).

Für die Isotopengeochemie und Geochronologie stehen zwei Thermionen-Massenspektrometer (TIMS) zur Verfügung. Wir sind sehr glücklich, dass Ende Mai 2018 das älteste Gerät (Baujahr 1990) durch ein neues TIMS ersetzt wurde, mit dem schnellere und präzisere Messungen möglich sind. Eine der Fragen, die sich mit Hilfe der Isotopengeochemie beantworten lassen, ist das Alter von Gesteinen. Unser Labor nutzt dafür die „innere Uhr“ von in Gesteinen eingebauten Mineralen wie Zirkon. Obwohl diese Zirkonkörner in der Regel sehr klein sind (0,1–0,3 Millimeter lang), erhalten sie Informationen über die Jahrmilliarden lang währende Geschichte von Gesteinen.

Zunächst müssen die Zirkone aufwändig aus dem Gestein heraus präpariert werden, denn sie sind selten. Etwa 2 kg Gestein werden benötigt, um ca. 100 Mineralkörner zu erhalten (Abb. 5). Jedes Gestein durchläuft eine Entwicklungsgeschichte. So kann eine Vulkan-Lava durch Absinken in tiefere Bereiche der Erdkruste in einen Gneis umgewandelt werden, der später an die Erdoberfläche zurück „wandert“ und dort zu „Sand“ verwittert. Jeder Zirkonkristall bewahrt die Erinnerung an diese komplexe Geschichte auf eigene (individuelle) Art. Doch wozu müssen wir die komplexe Geschichte von Gesteinen kennen?

Unser Planet ist Wohnort und auch Rohstoff-Lieferant der Menschheit. Nur wenn wir seine Geschichte im Detail verstehen,

werden wir auch in Zukunft ausreichend Rohstoffe zur Verfügung haben können. Daher benötigen wir ein besseres Verständnis dafür, was für geologische Prozesse in welcher zeitlichen Reihenfolge zur Bildung von Lagerstätten geführt haben – eine wesentliche Voraussetzung zum Auffinden neuer Rohstofflager.

Methodenentwicklung in Freiberg. Die Verfügbarkeit schneller und relativ bequemer simultaner Multielementanalytik lenkt bisweilen davon ab, dass sich manche Elemente zumindest in bestimmten Proben (Matrizes) einer solchen Bestimmung beharrlich widersetzen. Die von Klemm (1980) optimierte Methode zur Analyse von Fluor in Gesteinen mit ionenselektiven Elektroden nach Sinteraufschluss erfordert viel Zeit und ist ein gutes Beispiel für sehr (zeit)aufwändige Aspekte der Analytik. Nachdem die WD-RFA inzwischen vielfach auch für das Element Fluor – trotz dessen geringer Fluoreszenzausbeute – ein ausreichendes Nachweisvermögen (Signal zu Rausch-Verhältnis) erreicht, treten probenspezifische Herausforderungen in den Vordergrund (Pleßow 2013). Aktuell prüfen wir, ob Fluor in Gesteinen mittels WD-RFA mit einer Genauigkeit quantifizierbar ist, die der Bestimmung mittels Elektroden nicht nachsteht (Kreuseler, in Vorbereitung).

In der Isotopengeochemie liegt ein Schwerpunkt in der noch präziseren Bestimmung der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopenverhältnisse, die momentan mit einer Richtigkeit von $\pm 0,00003\%$ analysiert werden können. Wir hoffen mit dem neuen TIMS-Gerät eine zehnfach bessere Präzision zu erreichen. Im Bereich der Geochronologie arbeiten wir daran, die Verschmutzung

der Kleinst-Proben (die nur in Nano-Gramm-Mengen vorliegen) zu minimieren und setzen dabei große Hoffnungen auf den Reinraum im Neubau am Chemie-Gebäude ab 2022 (Abb. 6).

Die mittels SHRIMP (links) und LA-ICP-MS (Mitte) ermittelten Altersangaben sind zwar denen der aus der hoch-auflösenden Analytik in Freiberg resultierenden ähnlich (rechts), doch die Standardabweichung der Ergebnisse zeigt, dass es für die zwei erstgenannten Verfahren ebenso wahrscheinlich ist, dass das Gestein zwischen 413 und 421 Millionen Jahre alt ist – was also einer Unsicherheit von 8 Millionen Jahren (Messfehler 1 bis 2%) entspricht. Die hochpräzise Analytik dagegen zeigt nur eine Unsicherheit von 600.000 Jahren mit einem Messfehler von 0,2%. Bei der analysierten Probe handelt es sich um ein internationales Referenzmaterial mit einem zertifizierten Alter von $416,8 \pm 0,3$ Millionen Jahre.

Was ist im Isotopenlabor Freiberg besonders? Warum nennt sich diese Datierungsmethode hochpräzise? Alternative Methoden der Altersbestimmung mit Zirkonen haben eine analytische Ungenauigkeit, die 10 Mal so groß ist wie die der hochpräzisen Datierung. In Europa gibt es diese hochauflösende Analytik nur an der ETH Zürich, der Universität Genf (beides Schweiz), beim Britischen Geologischen Dienst (BGS) sowie bei uns in Freiberg. Das Verfahren ist sehr aufwändig und erfordert viel Erfahrung. Nur mit dieser hochpräzisen Methode ist es möglich, die Abfolge zeitlich eng beieinander liegender Prozesse richtig rekonstruieren und verstehen zu können (Tichomirowa et al. 2016). Das Bild oben zeigt den direkten Vergleich der vorhandenen Methoden bei der Analyse derselben Probe: links mit SHRIMP, in der Mitte mit Laserablations-ICP-MS und rechts mit der hochpräzisen Datierung bei uns.

Qualitätskontrolle. Die erwähnten, meist sehr komplexen Matrices geowissenschaftlicher Proben mit sehr heterogener Löslichkeit der einzelnen Analyte erfordern eine deutlich aufwändigere Probenpräparation und spezielle Kalibrierung der Instrumente als zum Beispiel normale wässrige Lösungen (Oberflächenwässer) oder die Analyse von Inhaltsstoffen stets ähnlicher Matrices. Dies verlangt u. a. die regelmäßige Bestimmung von Blindwerten, das Quantifizieren von Reproduzierbarkeiten (Mehrfachbestimmungen) sowie Nachweise der Richtigkeit der Ergebnisse unter der erfolgreichen Nutzung

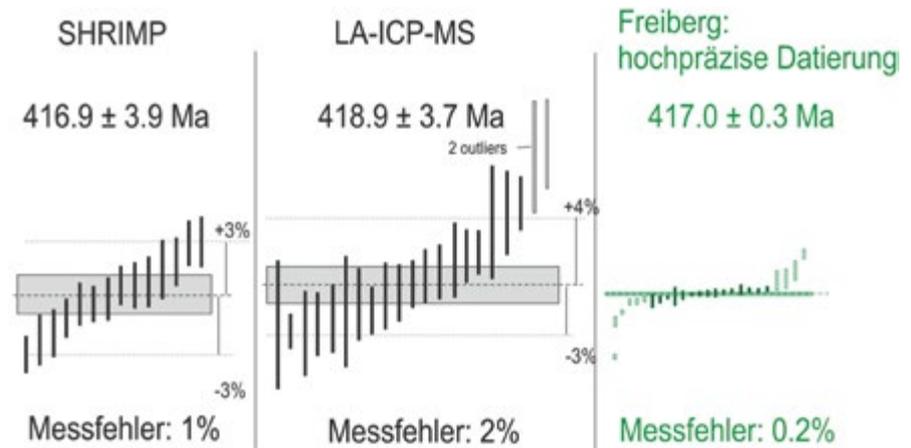


Abbildung 6: Gesteinsdatierung am Beispiel der vergleichenden Analyse eines Referenzmaterials mit drei verschiedenen Methoden, SHRIMP in Sankt Petersburg, Laserablations-ICP-MS und TIMS in Freiberg

von zertifiziertem, matrixangepassten Referenzmaterial.

Neben den Nachweis- und Bestimmungsgrenzen haben sich auch die für eine Analyse notwendigen Probenmengen zum Teil drastisch verringert. So erfordert die TX-RFA Pulvermengen von weniger als 10 Mikrogramm oder Lösungsvolumina von 1 bis 50 Mikroliter mit Nachweisgrenzen im Pikogramm-Bereich. Einerseits eröffnen sich damit viele zusätzliche Möglichkeiten, beispielsweise zur Untersuchung von Elementverteilungen. Genau dies wird jedoch zu einer großen Herausforderung, wenn bei der Dateninterpretation die Heterogenität und sehr begrenzte Repräsentativität der Analysenprobe übersehen wird. Einen sehr guten Überblick dazu bieten Heinrichs u. Hermann (1990: 63–79). Es ist kein Zufall, dass die zugrunde liegenden Arbeiten aus der Zeit stammen, in der die sich stürmisch entwickelnde instrumentelle Analytik Einzug in die Laboratorien hielt. Aus jüngerer Vergangenheit sind z. B. Arbeiten von Rasemann (2000) aus der Bergakademie zu erwähnen.

Bei einer kürzlich erfolgten Referenzprobenherstellung aus Freiburger Sulfidz im Rahmen des Biohydrometallurgischen Zentrums (BHMZ) der Krüger-Stiftung wurde in unseren Laboratorien zuletzt untersucht, ob eine normenkonforme Homogenitätsprüfung auch mit vergleichsweise hoher Messunsicherheit des Verfahrens möglich ist (Pilz et al., 2018 in Review).

Fehlerdiskussion. Geochemisch-analytische Laien stellen sich oft nicht die Frage, welche Fehler oder Unsicherheiten im gesamten analytischen Prozess auftreten, sondern wollen einfach nur

„die Daten“ haben. Dazu lässt sich eindeutig aussagen, dass sich die Qualität der Daten – nieder- oder hochwertig – bei der Probenahme im Gelände sowie bei allen Schritten im Labor entscheidet. Erfahrungsgemäß werden die größten Fehler bei der Probenahme gemacht, weil zum Beispiel nicht repräsentativ beprobt wird, weil das Material bereits beeinflusst wurde (Veränderung vor der Probenahme ohne Kenntnis des Probenehmers), weil unsachgemäß beprobt wird (Behälter, Konditionierung, Aufbewahrung, Transport) oder weil Proben gar beeinflusst werden (Kontamination, zum Beispiel durch Kontakt mit menschlicher Haut oder anderen Stoffen, die bereits die Zusammensetzung beeinflussen können). Derartige Fehler lassen sich nicht mehr ausgleichen und liegen oft in einer Größenordnung von zehn Prozent des späteren Ergebnisses (und können sogar erheblich viel höher liegen). Sofern die Urproben sachgemäß genommen, präpariert, transportiert und gelagert wurden, können auch bei der weiteren Probenvorbereitung Fehler passieren, die jedoch unter Voraussetzung ungestörter Urproben durch Wiederholung der Arbeitsschritte an einem anderen Aliquot kompensiert werden können. Insgesamt muss die gesamte Kette – von der Probenahme bis zum analytischen Ergebnis – sauber und nachvollziehbar dokumentiert werden. Allein deshalb ist es hilfreich, lange vor einer Probenahme mindestens mit dem Laborteam zu sprechen, um Fehler am Anfang der Kette gar nicht erst auftreten zu lassen. Die parallele Analyse von gleichartigem Standard-Material – analysiert und behandelt wie eine Probe – zeigt jedem Anwender klar die reale Präzision und Richtigkeit der Daten auf.



Bilder: WIT

Sophie von Fromm und Caroline Schröder bei Respirationsmessungen im Amazonasgebiet

Abschlussworte. Geochemische Analytik leistet einen wesentlichen Beitrag, um geowissenschaftliche und Umwelt-Fragestellungen zu beantworten, dazu gehörende Prozesse aufzuklären, um das System Erde und unseren Platz darin besser zu verstehen. Minerale und Gesteine, Böden und Sedimente, Gase und Aerosole, Wässer aller Art und Biota werden untersucht; damit bildet die Geochemie eine Schnittstelle zu vielen anderen Naturwissenschaften. Je höher die Auflösung in Zeit und Raum gelingt, desto genauer können die Aussagen sein, desto robuster werden die Interpretationen. Das ist anspruchsvoll, erfordert viel Erfahrung und Hingabe und ist die Basis für eine qualitativ hochwertige Ausbildung unserer Studierenden, von Doktoranden und Post-Docs, die sich uns anvertrauen. Zugleich ist es die Grundlage für unsere wissenschaftliche Arbeit und eine Triebkraft, im internationalen Wettbewerb vorne mitzuwirken.

Dass es fast immer zur Zufriedenheit der WissenschaftlerInnen klappt, liegt nicht zuletzt an der Disziplin und Hingabe unseres Laborteams mit Angelika Braun, Ulrike Fischer, Heidrun Kodym, Claudia

Malz, Elvira Rüdiger, Thurit Tschöpe, die alle einen „Orden“ verdienen.

Literatur

- Haber F (1927) Das Gold im Meerwasser. *Z Angew Chem* 40: 303–314
- Heinrichs H, Herrmann AG (1990) *Praktikum der Analytischen Geochemie*. Springer Verlag (63–79)
- Hennings S, Pleßow A (2018) Distinction and quantification of inorganic sulfur species including thiosulfate by X-ray fluorescence (WD-XRF). *X-Ray Spectrometry* 47, 2: 144–152
- Klemm W (1980) Erfahrungen beim Einsatz der LaF₃-Einkristallmembran-Elektode zur Fluorbestimmung in Silikaten. *Z Angew Geol* 26, 11: 561–565
- Kreuzeler M (2018, in Vorbereitung) *Quantitativer Fluor-Nachweis in Gesteinsmatrizes*. Masterarbeit am Institut für Mineralogie
- Martin C, Eiblmeier M (2003) *Lexikon der Geowissenschaften*. Spektrum Springer Verlag
- Matschullat J, Reimann C, Birke M, dos Santos Carvalho D, GEMAS Project Team (2018) GEMAS: CNS concentrations and C/N ratios in European agricultural soil. *Sci Total Environ* 627: 975–984
- Oertel C, Matschullat J, Zimmermann F, Zurba K, Erasmi S (2016) Greenhouse gas emissions from soils – a review. *Chem Erde – Geochem* 76, 3: 327–352; doi:10.1016/j.chemer.2016.04.002
- Pilz C, Hennings S, Pleßow A, Banica A, Eiche E, Webster T, Gasparon M, Matschullat J (in review 2018) Round robin analyses of sulfide ore

for chemical characterisation – TUBAF-KB as possible new reference material. *Geostandards Geoanal Res*

- Pleßow A (2013) X-ray induced alteration of specimens as crucial obstacle in XRF spectrometry of fluorine in rocks and soils. *X-Ray Spectrometry* 42, 1: 19–32
- Rasemann W (2000) A sampling model for heterogeneous material systems. *Erzmetall* 53, 4: 228–237
- Tauson VL, Salikhov A, Matschullat J, Smagunov NV, Bessarabova OI, Men'sikov VI, Parkhomenko IY (2001) On the possibility of analytical determination of structurally bound gold in sulfide minerals. *Geochem Internat* 39, 9: 864–872
- Tichomirowa M, Hofmann M, Schaltegger U, Sergeev S, von Quadt A, Whitehouse M (2016) The “older” and “younger” granites from the Western Erzgebirge – Comparison of different zircon dating methods. *FOG – Freiberg Online Geoscience* 46: 36–38
- Uhlig S, Möckel R, Pleßow A (2016) Quantitative analysis of sulphides and sulphates by WD-XRF: Capability and constraints. *X-Ray Spectrometry* 45, 3: 133–137
- VDEh (1989) *Handbuch für das Eisenhüttenlaboratorium*. Verlag Stahl Eisen Düsseldorf, zitiert in Ohls K (2010) *Analytische Chemie*. Wiley-VCH Weinheim: S. 420
- Wedepohl KH (1996) The importance of the pioneering work by V.M. Goldschmidt for modern geochemistry. *Naturwissenschaften* 83: 165–171

Wir stehen nicht auf dem Schlauch – Herstellung von Nanoteilchen im Kolben und in mikrofluidischen Systemen

Nadja Lumme, Christiane Oestreich, Yvonne Joseph¹

Wenn wir an chemische Synthesen denken, kommen uns augenblicklich entweder die Bilder von riesigen Chemiereaktoren in den Kopf, die in ihrer Größe an Hochhäuser erinnern, oder aber das Bild eines klassischen (vergleichsweise kleinen) Kolbens, mit dem im Labor synthetisiert wird. Ersteres verknüpfen wir mit Produkten im Tonnenmaßstab, letzteres erinnert uns eher an kleinere Volumina, vielleicht im Milliliter- bis Liter-Maßstab. Es geht aber noch kleiner.

In den letzten Jahren hat sich ein Wissenschaftsbereich entwickelt, der sich mit der Synthese verschiedenster Verbindungen in sog. mikrofluidischen, segmentierten Systemen beschäftigt. Durch einen entsprechend miniaturisierten Ansatz und spezifische Parametereinstellungen können dabei flexibel neue Materialien „auf Bestellung“ synthetisiert werden. Dabei geht es zurzeit (noch) nicht um die Produktion dieser Materialien in rauen Mengen, sondern vielmehr um einen bestimmten und gezielten Partikel Aufbau. So können die Form, die Morphologie, die Oberflächenbeschaffenheit, die stöchiometrische Zusammensetzung, die Eigenschaften und vor allem die Größe der Teilchen in einem mikrofluidischen System ganz gezielt eingestellt werden. Ein präzise einstellbarer Aufbau der Teilchen ist besonders im nanoskaligen Bereich ($\sim 10^{-9}$ m) unabdingbar, da hier die Oberflächeneigenschaften des Teilchens maßgeblich dessen Verhalten bestimmen – und nicht mehr das Volumeninnere. Das Material erhält dadurch ganz besondere Eigenschaften, die „normale“ makroskopische Materialien nicht besitzen.

Warum die Synthese im Kolben noch nicht gut genug ist

Im Jahre 1950 schlugen LaMer und Dinegar ein Modell vor, welches das Entstehen und Wachsen von Nanopartikeln kinetisch erklärt (*Abbildung 1*). Hierbei wird eine chemische Reaktion in Gang gesetzt, deren Produkt (= *Precursor*) anfängt zu nukleieren, sobald die Übersättigung erreicht ist, bei der sich stabile Keime mit

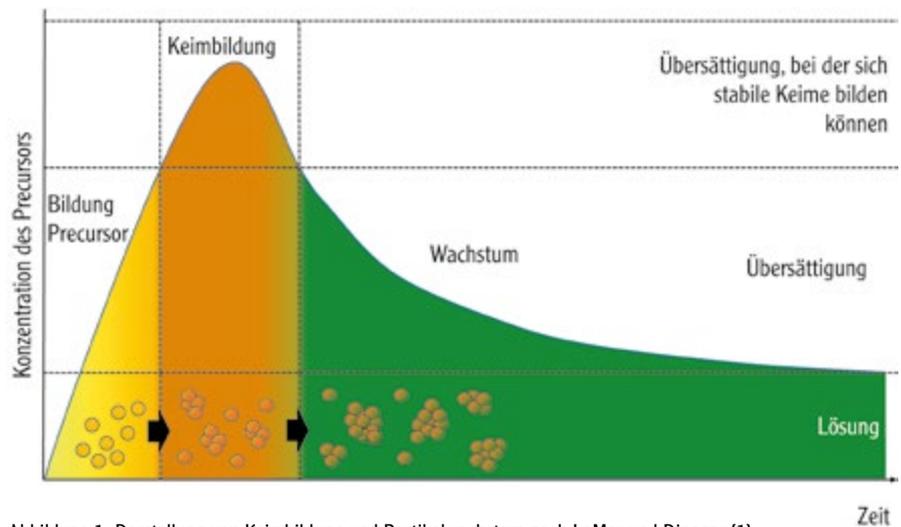


Abbildung 1: Darstellung von Keimbildung und Partikelwachstum nach LaMer und Dinegar [1]

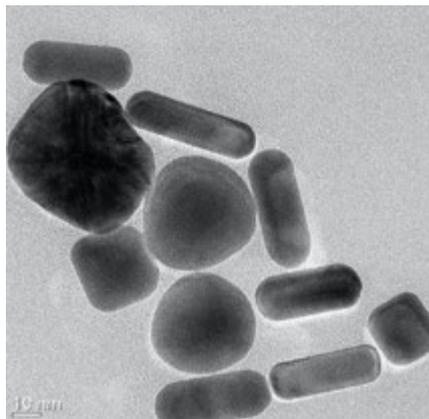


Abbildung 2: Transmissionselektronenmikroskopisches Bild von Goldnanopartikeln, im Kolben hergestellt

einem minimalen kritischen Keimradius bilden können. Wenn sich ein Keim gebildet hat, beginnt dieser sofort zu wachsen, indem weitere Precursor-Moleküle angelagert werden. Diese beiden Prozesse finden solange statt, bis genügend Precursor koordiniert wurde und die Übersättigung des Systems dadurch verloren geht, oder die Reaktion anderweitig gestoppt wird. Das Problem in diesem Gesamtprozess liegt nun darin, dass die Partikel unterschiedlich groß werden, da Nukleation und Wachstum zeitweise parallel stattfinden. Zudem können simultan auch noch Reifeprozesse auftreten. Dadurch erhält man polydisperse Partikelgrößenverteilungen,

was für praktisch alle Anwendungen von Nanomaterialien sehr nachteilig ist. Wird die Synthese im Kolben durchgeführt, so entstehen zusätzlich durch einen vergleichsweise langsamen Stoff- und Wärmeaustausch Inhomogenitäten in der Prozesshistorie eines jeden Partikels und dadurch auch möglicherweise unterschiedliche Partikelformen. Das Ergebnis einer solchen Goldnanopartikelsynthese im Kolben ist in *Abbildung 2* gezeigt. Hier sollten stäbchenförmige Partikel hergestellt werden.

Des Rätsels Lösung – mikrofluidische Systeme

In einem mikrofluidischen System hingegen können die Keimbildung und das anschließende Keimwachstum sowohl zeitlich als auch räumlich voneinander getrennt werden. Das wird möglich durch den Einsatz von winzigen, räumlich isolierten Reaktionsräumen, die als Tropfen in einem Schlauch in einer Art „Tröpfchen-Zug“ verschiedene Stationen des Syntheseprozesses passieren. In das Tröpfchen werden alle benötigten Chemikalien gegeben, die an der Synthese teilhaben sollen.

In einem Tröpfchen-Generator wird dabei zuerst das Tröpfchen generiert, das durch den Einsatz eines Zwei-Phasen-Systems stabil bleibt. Nehmen wir als Beispiel Wassertröpfchen in Öl. Die

¹ Institut für Elektronik- und Sensormaterialien

Generierung der Tröpfchen kann nach unterschiedlichen Prinzipien erfolgen, die von der Beschaffenheit des Tröpfchen-Generators, der angelegten Flüsse sowie der gewählten Medien abhängig sind.

Als einfachster Generator kann ein T-Stück dienen. In diesem trifft die wässrige Phase senkrecht auf eine kontinuierlich strömende ölige. Nun drückt die wässrige Phase durch den angelegten Fluss in den Hauptkanal und wird von dem öligen Medium stückchenweise „abgerissen“. Ort und Zeitpunkt des Abreißens werden hierbei durch ein Zusammenspiel aus Druckgradienten, Grenzflächenspannung der Medien und Scherkräften bestimmt, wodurch sich verschiedene Fließmuster ergeben. Bei den beiden wichtigsten Fließmustern bilden sich Tröpfchen aus: im „slug“ Fließmuster haben diese eine ovale Form und sind größer als die runden „droplets“, deren Fließmuster bei einer höheren Fließrate des öligen Mediums entstehen. Das Volumen eines entstehenden Tröpfchens liegt dabei im Mikro- oder Nanoliter-, teilweise sogar im Pikoliter-Bereich. Eine typische Rohr- bzw. Schlauch-Dicke liegt zwischen 200 und 1000 Mikrometern, d. h. sie ist nur etwas größer als der Durchmesser eines menschlichen Haares (~ 100 Mikrometer).

Was Tröpfchen so besonders macht

Die für die Synthese notwendigen Chemikalien werden in einem Tröpfchen gut durchmischt, denn durch die Bewegung der Tropfen in dem Schlauch ergibt sich eine Besonderheit: Alle Teilchen bewegen sich mit maximaler Geschwindigkeit, wenn das Fluid durch den Schlauch gepumpt wird. Da die Tröpfchengrenzfläche jedoch langsamer unterwegs ist als die im Inneren und auch außerhalb des Tropfens enthaltenen Teilchen, prallt jedes der Teilchen früher oder später an der nächsten Grenzfläche Wasser/Öl ab und wird zurückgeworfen. Dabei entstehen Rezirkulationszonen, wie sie in *Abbildung 3* abgebildet sind, sowohl im Wassertröpfchen als auch im Öl. Dadurch durchmischen sich die Teilchen innerhalb einer jeden Zone sehr schnell, verbleiben jedoch innerhalb ihrer jeweiligen Zone. Um nun eine Durchmischung zwischen den einzelnen Zonen innerhalb eines Tropfens herbeizuführen und somit den Stoff- bzw. Temperatureaustausch interzonal zu fördern, können Mikromixer eingesetzt werden. Dazu kann z. B. einfach der Tropfen kurzzeitig verformt werden oder der Schlauch in einer Spirale angeordnet werden, wodurch zusätzlich ansetzende

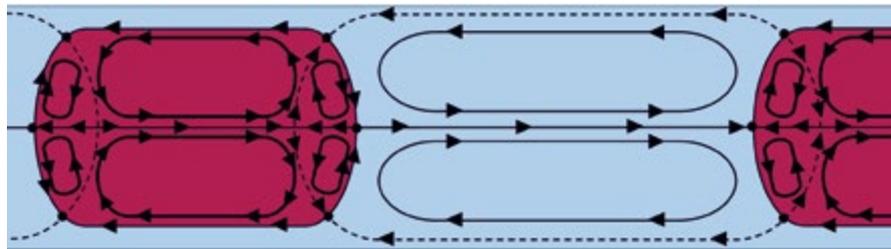


Abbildung 3: Darstellung der Rezirkulationszonen, die durch die Grenzfläche der beiden Medien hervorgerufen werden. Die Abbildung ist nach Baroud et al.[3] angefertigt worden.

Kräfte die Zonen aufbrechen können. In Summe entsteht ein stark beschleunigter Stoff- und Temperatureaustausch innerhalb des Tropfens, der für alle enthaltenen Teilchen annähernd gleich ist.

Um das gewünschte Produkt zu erhalten, benötigt man allerdings auch einige geschickt eingestellte Parameter im System. Zur Einstellung des segmentierten Fließprofils braucht es bestimmte Fließraten der Medien, die von deren Eigenschaften, der Beschaffenheit des Tröpfchengenerators und dem Schlauchdurchmesser sowie dem Schlauchmaterial abhängig sind. Durch eine geeignete Wahl der Chemikalien, der Temperatur und der Verweilzeit können dann die gewünschten Partikel synthetisiert werden.

Die Mikrofluidik – Gewinn auf ganzer Linie

Der größte Vorteil des segmentierten, mikrofluidischen Systems ist eine identische Prozesshistorie für jeden einzelnen Tropfen. Der beschleunigte Stoff- und Wärmetransport bewirkt im Zusammenspiel mit flexiblen Versuchsmodulen und geschickten Parametereinstellungen die Synthese von Materialien, die monodispersere Partikelverteilungen haben, als jene aus Kolben-Versuchen. *In-Line*-Detektoren können an jeder beliebigen Stelle zur Prozessüberwachung zwischengeschaltet werden, ein potenzielles *Up-Scaling* ist durch Parallelisierung gegeben. Aus ökonomisch-wirtschaftlicher Sicht sprechen ein reduzierter Chemikalienverbrauch und gut recycelbare Chemikalien, deutlich verkürzte Prozesszeiten (wenige Minuten gegenüber einigen Stunden im Kolben-Ansatz) und eine einfache Automatisierung für die Anwendung der Mikrofluidik.

Im Sinne der Sicherheit weist sie jedoch den wohl wichtigsten Vorteil auf: Durch ein deutlich vermindertes Reaktionsvolumen ist auch das Gefahrenpotenzial, das von reaktiven Substanzen ausgeht, deutlich vermindert. Hinzu kommt, dass ein abgeschlossenes, optimal eingestelltes

Synthese-System auch von Nicht-Chemikern bedient werden könnte.

In der Literatur sind Synthesen im mikrofluidischen System aus dem anorganischen Materialbereich bekannt, so entstanden bpsw. Kupfer-, Titandioxid- und Platin-Nanopartikel in verschiedenen Formen und Größen. Weiterhin konnten Partikeloberflächen funktionalisiert oder Partikel aus unterschiedlichen Materialien in Netzwerken oder Kern-Hülle-Strukturen sowie Janus-Partikeln² verbrüdet werden. Im organischen Chemie-Bereich werden viele Synthesen, wie beispielsweise Grignard- [2] und Diels-Alder-Reaktionen [3, 4], in mikrofluidischen Systemen angewandt, und auch für den biologisch-pharmazeutischen Bereich werden beispielsweise Antibiotika wie Ciprofloxacin oder Verbindungen zur Krebstherapie in diesen Systemen mit großem Erfolg synthetisiert.

Neben diesen schlauchbasierten Anwendungen gibt es weiterhin auch Chips, in die ein ganzes mikrofluidisches System integriert wird. Diese sind als „*Lab on a Chip*“-Systeme inzwischen einer breiten Fachwelt bekannt. Durch die gezielte Synthese von Partikeln im System soll es zukünftig möglich sein, die Selbstkontrolle (bspw. durch entstehende optische Marker) und gegebenenfalls Behandlung von chronisch kranken Patienten zu revolutionieren. Nachteilig an solchen Chips ist jedoch die Integration aller Bauteile in einem festen Material, wie beispielsweise PDMS (Polydimethylsiloxane), Glas, Edelstahl, Keramiken oder Plastiken. Dadurch wird das System aufwendig in der Planung, es sind exakte Baupläne mit integrierten Heiz- oder Kühlelementen, exakt dosierter Chemikaliengabe und Mischung vonnöten und eine Reinigung ist schwierig. Die geringe Größe und die Fixierung in dem kleinen Chip machen das Verfahren jedoch sehr anwenderfreundlich.

² Janus-Partikel weisen mindestens zwei Domänen mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften auf, z. B. gegensätzliche Ladungen.

Zur Herstellung spezifischer Nanomaterialien wird nun am Institut für Elektronik- und Sensormaterialien an der TU Bergakademie Freiberg ein vielversprechendes, mikrofluidisches System aufgebaut. Dazu gehören der Aufbau der Hardware (Pumpen, Schläuche, Interfaces, Detektoren, Verbindungsstücke und Chemikalien) sowie die umfassende Programmierung des Systems mit der Software LabView (National Instruments). Nach intensiver analytischer Überprüfung des Systems und Parameteroptimierungen wurden im Herbst des Jahres 2018 bereits erste Partikel synthetisiert. Diese sollen dann dank ihrer Homogenität in Verbindung mit ei-

ner gezielten Eigenschaftssteuerung eine deutliche Verbesserung von Sensitivität und Selektivität in sensorischen Anwendungen erbringen. Für unser Institut und die Sensorforschung im Allgemeinen ergeben sich dadurch ganz neue Möglichkeiten für die Entwicklung von spezifischen, sensorischen Schichten für die biologische und chemische Anwendung, bspw. bei der Detektion von Antibiotika und Hormonen in der Umwelt.

Literatur

- 1 M. Ford, Lab-on-a-chip detects actual food allergies, <https://arstechnica.com/science/2010/05/lab-on-a-chip-detects-actual-food-allergies> 2010.

- 2 Q. Deng, R. Shen, Z. Zhao, M. Yan, L. Zhang, Chemical Engineering Journal 2015, 262, 1168–1174. DOI: 10.1016/j.cej.2014.10.066.
- 3 D. Pauwels, B. Geboes, J. Hereijgers, D. Choukroun, K. de Wael, T. Breugelmanns, Chemical Engineering Research and Design 2017, 128, 205–213. DOI: 10.1016/j.cherd.2017.10.014.
- 4 W. He, Z. Fang, Z. Yang, D. Ji, K. Guo, RSC Adv. 2015, 5 (72), 58798–58803. DOI: 10.1039/C5RA08264A.

Danksagung: Wir danken dem Institut für Werkstoffwissenschaft für die Unterstützung bei der Anfertigung der TEM-Aufnahmen. Diese Arbeit wurde gefördert durch die EU/ESF:



Scharfe Sensoren für saure Lösungen – pH-Messungen in Bergbauwässern

Thomas Ihling, Frederic Güth, Pál Árki, Yvonne Joseph¹

pH-Sensoren? Jetzt sagen Sie: Das ist doch ein alter Hut, alles schon bestens erforscht, oder? Fest steht: Für ca. 0,3 Mrd. US-Dollar werden jährlich pH-Sensoren auf dem Weltmarkt verkauft (Stand 2016) mit einem prognostizierten Zuwachs bis 2022 auf ca. 0,7 Mrd. US-Dollar im Jahr [1]. Der weltweite Markt für chemische Sensoren insgesamt wurde 2017 auf 18,56 Mrd. US-Dollar geschätzt und soll bis 2023 einen Wert von 28,16 Mrd. US-Dollar bei einer Zuwachsrate von 7,20% im Prognosezeitraum (2018/23) erreichen [2]. Dies ist also ein Markt, in dem sehr viel Geld steckt. Wie sieht es zukünftig aus?

Es gibt zunehmend mehr Einsatzbereiche wie für *Internet of Things*- (IoT) und Industrie 4.0-Anwendungen, (beispielsweise für die Überwachung von Kühlschmierstoffen [3] oder bei der Korrosionsüberwachung), für Biotechnologiereaktoren oder für die Medizintechnik in mikrofluidischen Systemen. Aber die Technik ist doch schon altbekannt und bewährt?

Es stimmt, dass pH-Sensoren schon über 100 Jahre alt sind, jedoch sind auch moderne Versionen immer noch nicht universell einsetzbar und nicht ohne Nachteile. Die konventionelle pH-Sensorik erfolgt meist mit Universalindikatoren oder mittels pH-Glaselektroden. Für eine schnelle einmalige pH-Wert-Überprüfung reicht häufig ein Universalindikator-Teststreifen; dieser lässt jedoch keine kontinuierliche Messung über ein elektrisches Signal zu.

Der zweitbekannteste und am häufigsten eingesetzte Vertreter zur pH-Wert-Messung ist die Glaselektrode. Sie zeichnet sich durch eine längere Lebensdauer mit hoher Messgenauigkeit über einen weiten pH-Bereich aus.

Die heute eingesetzte pH-Glaselektrode entstand ursprünglich aus einem Zweielektrodenaufbau mit einer Referenzelektrode, die ein konstantes Referenzpotenzial liefert und einer Messelektrode, die ein pH-abhängiges Potenzial durch die Anlagerung von H⁺-Ionen an die pH-sensitive Glasmembran generiert. Aus der Differenzspannung zwischen Messelektrode und Referenzelektrode kann dann ein pH-Wert nach vorheriger Kalibrierung bestimmt werden. Dieser Zweielektrodenaufbau wurde dann später vereinfacht und zu einer Einstabmesskette, der heute bekannten Bauform einer pH-Elektrode, zusammengefasst. Jedoch hat auch diese Ausführung Nachteile. Sie ist zum einen mechanisch nicht sehr stabil, d. h. sie kann bei Belastung wie unter hohen Drücken oder mechanischer Belastung brechen, und sie ist nicht miniaturisierbar. Deshalb eignet sich die pH-Glaselektrode nur bedingt bzw. in Spezialformen für den Einsatz unter mechanischer Belastung wie z. B. im Lebensmittelbereich, aber eben überhaupt nicht für miniaturisierte Anwendungen. Darüber hinaus zeigt die pH-Glaselektrode einen Natriumfehler in stark alkalischen Lösungen, und hoch viskose bzw. fettige Medien können

empfindliche Bauteile innerhalb der Messkette verstopfen.

Im Erz- und Kohlebergbau stellt die Bildung von *Acid Mine Drainage* (AMD, saure Gruben-, Bergbau-, Halden- und Sickerwässer, saure Bergbauausflüsse etc.) ein großes technologisches und ökologisches Problem dar [4]. Dabei handelt es sich um saure, metallionenhaltige Wässer, die aus sulfidhaltigen Erzlagerstätten, Kohlenlagerstätten, Bergwerken und Bergbauhalden ausfließen. Diese entstehen, wenn durch die bergbauliche Tätigkeit Sauerstoff in vormals sauerstofffreie Bereiche gelangt und oxidierend auf dort lagernde Metallsulfid-Mineralen wie z. B. Pyrit einwirkt. Die Säuerung kann zu pH-Werten von unter 3 und hohen Schwermetallkonzentrationen im Wasser führen. Die Oxidation verläuft nur sehr langsam; allerdings wird die Reaktion durch Mikroorganismen katalysiert. Man kann also durch die gezielte Behandlung von Gestein mit geeigneten Mikroorganismen wertvolle Metalle aus dem Gestein herauslösen. Dieser als Biolaugung bezeichnete Prozess wird derzeit im Rahmen des „Biohydrometallurgischen Zentrums“ (BHMZ) der TU Bergakademie Freiberg untersucht.

Soweit saure Grubenwässer im Zusammenhang mit Bergbau auftreten, bedingen sie aber durch die einhergehende Umweltverschmutzung auch Bergbaufolgeschäden. Sie schädigen einerseits die Umwelt durch Kontamination mit Schwermetallen, die sich toxisch auf lebende Organismen

¹ Institut für Elektronik- und Sensormaterialien, TU Bergakademie Freiberg



Abbildung 1: Beispiel eines Austritts von sauren Bergbauwässern (links) mit einem pH-Wert von 2,6 bei der Begehung des Wilhelm Stehend Süd in der Reichen Zeche (rechts) [5]

auswirken und das Grundwasser verunreinigen können, sowie andererseits auch Bauwerke und Geräte durch ihre Korrosionswirkung (Abbildung 1). Sowohl aus Umweltaspekten als auch für die Anwendung von Biolaugung ist es also wünschenswert, den pH-Wert von Bergwerksabwässern messen und überwachen zu können. Im Bergwerk werden somit sehr robuste pH-Sensoren benötigt, die den pH-Wert dieser sauren Bergbauwässer zuverlässig messen können. Im Bergwerk herrschen darüber hinaus durch die hohe Luftfeuchtigkeit sehr schlechte Umweltbedingungen für die Elektronikbauteile infolge erhöhter Korrosionsgefahr. Daher werden zusätzlich spezielle Sensorbauformen wie der *Extended-Gate*-Feldeffektsensor (EGFET) angewandt, bei dem man den eigentlichen Sensor mit einer speziellen Verkapselung von der Auslese-Elektronik abkoppelt, um eine höhere Lebensdauer und Robustheit zu erreichen.

Unsere Forschungsarbeiten im Rahmen des Projekts „Nanolamine für die feldeffektbasierte pH-Sensorik“ und der Nachwuchsforschergruppe „Autonome Roboter und Internet der Dinge in Untertägigen Anlagen“ (ARIDuA) beschäftigen

sich daher u. a. mit kreativen Ansätzen für die Entwicklung neuartiger pH-Sensoren und/oder, um die Sensoren langzeitstabiler und robuster gegenüber chemisch aggressiven Medien zu machen. Wir wollen die Erfolge im Streben nach diesen Sensorqualitäten mit dem Einsatz der Sensoren im Forschungs- und Lehrbergwerk Reiche Zeche demonstrieren.

Für ein robustes Messsignal des Sensors ist die Struktur der sensitiven Metalloxidschicht im Sensor essenziell. Im Optimalfall ist die Schicht einkristallin, d. h. ohne vertikale Korngrenzen und zudem frei von Grenzflächendefekten am Übergang zum darunterliegenden Halbleiter. Das Fehlen von Korngrenzen sorgt dabei für chemische Stabilität gegenüber stark basischen und sauren Medien, da dadurch der Ätzangriff am Metalloxid minimiert wird. Das Fehlen von Grenzflächendefekten (und damit von elektrisch bevölkerbaren geladenen Zuständen) erlaubt ein drift- und hysterese freies Messen. Die Herstellung einkristalliner Metalloxidschichten ist jedoch nur mit großem Aufwand und/oder hohen Kosten möglich.

Die alternative Idee, die in diesem Projekt verfolgt wird, ist die Nutzung

nanometerdicker Schichtstapel aus unterschiedlichen Materialien (Abbildung 2).

Damit soll verhindert werden, dass sich vertikale Korngrenzen bis zum Substrat hin bilden. Solche Schichtstapel, auch Nanolamine genannt, bieten den zusätzlichen Vorteil, dass Schichten mit unterschiedlichen Eigenschaften wie z. B. solche mit guten sensorischen Eigenschaften, elektrischer Isolation oder chemischer Stabilität in stark saurem oder basischem Milieu zu einem Metalloxidverbund zusammengefügt werden können, der in Summe bessere Eigenschaften aufweist. Bei den Nanolaminen sind jedoch speziell designte Grenzflächen zwischen den Schichten unabdingbar, da sich trotz der vermehrten Anzahl an Grenzflächen die Zahl der Grenzflächendefekte nicht erhöhen sollte. Um dieses Ziel zu erreichen, wird aktuell am Institut für Elektronik- und Sensormaterialien an der Auffindung der optimalen Abscheideparameter unter der Verwendung verschiedener Schichtabscheideverfahren für die Nanolamine und der optimalen thermischen Nachbehandlung dieser unter verschiedenen Prozessgasatmosphären geforscht. Letztlich soll der pH-Sensor hinsichtlich seiner sensorischen Eigenschaften mit künstlich hergestellten Labor- und realen Bergbaugrubenwässer-Proben aus der Praxis getestet werden (Abbildung 3).

Es bleibt weiterhin die Suche nach dem „heiligen Gral der pH-Sensorik“, einem pH-Sensor, der eine hohe Sensitivität, hohe Selektivität, hohe Linearität, keine Hysterese, eine hohe mechanische Stabilität und eine kurze Ansprechzeit miteinander vereint sowie ohne Referenzelektrode messen kann, keiner regelmäßigen Kalibrierung bedarf und miniaturisierbar ist. In realen komplexen Messmedien spielen

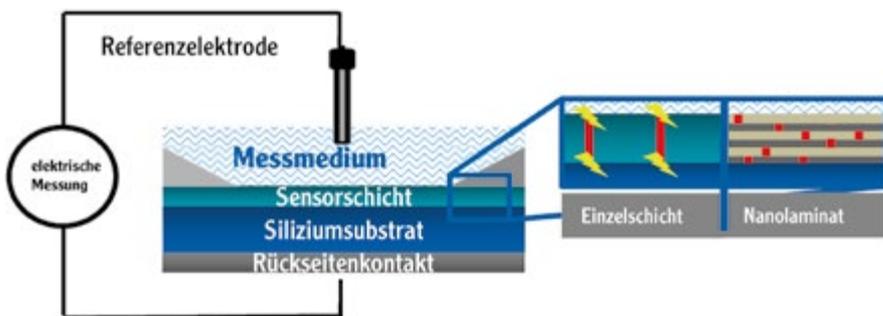


Abbildung 2: Grundaufbau eines pH-Sensors (links) und die Sensorschicht, bestehend aus Nanolaminen mit den charakteristischen Korngrenzen (rechts)

zudem noch viele weitere Parameter eine Rolle, wie z. B. die Leitfähigkeit, Viskosität, disperse Lösungsbestandteile, oder gelöste Gase usw., die die Messung beeinflussen. Für komplexe Messmedien bietet sich der Einsatz von Multisensorsystemen an, die eine intelligente Sensorsignalauswertung in Form eines „SMART-Sensors“ ermöglichen.

Literatur

- 1 Global ph sensors market research report 2017, <https://de.slideshare.net/makhijamanish/global-ph-sensors-market-research-report-2017>.
- 2 Global Chemical Sensor Market | Growth, Trends and Forecast (2018–2023), <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-chemical-sensors-market-industry-2018>.
- 3 Feldeffektbasierte pH-Sensoren für die Überwachung von Kühlschmierstoffen. Frederic Güth, Pal Arki, Yvonne Joseph, 12. Dresdner Sensor-Symposium. Dresden. 2015. DOI: 10.5162/12dss2015/4.2.
- 4 Acid Mine Drainage (AMD). Causes, treatment and case studies. A. Akcil, S. Koldas, Journal of Cleaner Production 2006, 14 (12–13), 1139–1145. DOI: 10.1016/j.jclepro.2004.09.006.
- 5 Water Quality Analysis of Reiche Zeche Mine Freiberg, Saxony, Germany. Veronika Zhite-neva, Jürgen Brune, Helmut Mischo, Jürgen Weyer, André Simon 2016.



Bild 3: Bergbau-Roboter Julius nimmt eine Bergbauwasserprobe für die pH-Messung im Forschungs- und Lehrbergwerk Reiche Zeche der TU Bergakademie Freiberg

Danksagung

Diese Arbeit wurde gefördert durch die EU/ESF:



Peptide für die spezifische Interaktion mit Mineralen

Franziska Linda Lederer, Robert Braun, Katrin Pollmann¹

Recycling ist eine wichtige Komponente der Kreislaufwirtschaft, um Ressourcen zu schonen. Auch die Biologie wird dazu zukünftig ihren Beitrag leisten. Dabei steht das Recycling von Edelmetallen und Selten-Erd-Elementen (SEE), die in Elektronikprodukten verbaut sind, im Mittelpunkt eines Forschungszweigs der Abteilung Biotechnologie am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF).

Die Wissenschaftler erforschen biologie-basierte Prozesse zum Recycling wirtschaftsstrategischer Metalle aus z. B. Smartphones oder Windturbinen. Ziel der Forschung ist es, Bioreagenzien für Flotationsverfahren – also die Aufbereitung feinsten Teilchen – zu entwickeln.

¹ Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, Abteilung Biotechnologie, Bautzner Landstrasse 400, 01328 Dresden, Deutschland
Kontaktadresse: Katrin Pollmann, k.pollmann@hzdr.de, Tel. 0351-260 2946

Die Phagen, also Viren, die Bakterien als Wirtsorganismus nutzen, liefern dabei die erforderliche Materialspezifität und Affinität, um die Metalle selektiv aus einem Materialgemisch abzutrennen und gleichzeitig den bisher notwendigen Einsatz giftiger Trennchemikalien zu reduzieren.

Selten-Erd-Metalle in Energiesparlampen

Seit dem Verbot der klassischen Glühbirnen im Jahr 2009 und der daraus erfolgten flächendeckenden Einführung der Kompaktleuchtstofflampe (KL-Lampe), häufig auch Energiesparlampe genannt, fallen jährlich ca. 175 Tonnen Leuchtpulver als Sondermüll an [1]. Grund für die besondere Handhabung der KL-Lampen ist das darin enthaltene Quecksilber. Neben diesem sind im Leuchtpulver aber auch große Mengen an Selten-Erd-Elementen wie Yttrium, Lanthan, Cer, Terbium, Europium und Gadolinium enthalten

(Binnemans et al, 2014). Zu den SEE zählen 17 (Scandium, Yttrium sowie die sog. Lanthanoide) Elemente, die global gesehen häufig vorkommen, aber in ihrer Verteilung nur in wenigen Regionen in abbaubaren Mengen zu finden sind. Ihre chemischen Eigenschaften ähneln sich sehr. Dies erschwert ihre Trennbarkeit aus Primärrohstoffquellen stark und sorgt dafür, dass ca. 200 chemische und physikalische Trennschritte erforderlich sind, um aus dem Gemisch ein reines Material für ein bestimmtes SE-Metall zu extrahieren. Die Rohstoffe für neue KL-Lampen bezieht die europäische Industrie derzeit größtenteils aus China und macht sich damit stark abhängig vom chinesischen Markt. Die Kosten für SEE-Mineralkonzentrate aus der primären Rohstoffgewinnung schwanken stark auf dem weltweiten Rohstoffmarkt. Abhängig von steigenden Kosten für die Primärrohstoffgewinnung gewinnt das Recycling

von SEE aus Elektroschrott immer mehr an Bedeutung. Das von den KL-Lampen separierte Lampenpulver enthält weitaus höhere SEE-Gehalte (10–20 wt.%) als die Ursprungsminerale mit 6–10% (Binnemans und Jones, 2014; Lin et al, 2009). Aus wirtschaftlichen Gründen recycelt die Industrie die in den KL-Lampen enthaltenen SEE bisher allerdings nicht. Geeignete, kostengünstige Recyclingstrategien müssen noch entwickelt werden, um die Wiederverwendung der SEE aus Elektroschrott wirtschaftlich sinnvoll zu gestalten (UNEP, 2013).

Peptide als Recyclingwerkzeug

Um die Anzahl der einzelnen Trennschritte zukünftig reduzieren zu können, arbeiten die Biologen des HIF an einem Verfahren, das perfekt passende SEE-Binder identifiziert. Diese sollen zukünftig in typischen mineralogischen Trennverfahren – wie der Flotation – eingesetzt werden, um einzelne Komponenten des Leuchtpulvers wie beispielsweise Lanthan aus dem Leuchtpulvergemisch zu gewinnen und zu recyceln.

Das Verfahren nennt sich *Phage Surface Display* (PSD) und spielte bisher vor allem in der Medizin zur Identifizierung von Antikörpern – u. a. für Krebszellen – eine Rolle. Forscher der Universität von British Columbia in Kanada setzen die PSD-Technologie schon seit einigen Jahren erfolgreich dazu ein, Antikörper gegen anorganisches Material zu identifizieren. Dabei ist es ihnen gelungen, Antikörper zu finden, die selektiv zwischen den der Mineralklasse der „Sulfide und Sulfosalze“ angehörenden Mineralen Chalkopyrit (CuFeS_2), Sphalerit (ZnS) und Enargit (Cu_3AsS_4) unterscheiden [2], (Curtis et al., 2011, 2017). Im Rahmen des Marie-Curie-IOF-Projekts *MinePep* wurde die PSD-Technologie mit anorganischen Materialien in der kanadischen Gruppe um Dr. Susan Curtis erlernt. Der Einsatz der PSD-Technologie für das Recycling von Elektroschrott ist seitdem nur im Biologenteam des HIF eingehender untersucht worden. Dabei stand das Leuchtpulver der KL-Lampen – und hier ganz besonders – Lanthanphosphat, dotiert mit Cer und Terbium ($\text{LaPO}_4:\text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$, LAP), sowie Cermagnesiumaluminat, dotiert mit Terbium ($\text{CeMgAl}_{11}\text{O}_{19}:\text{Tb}^{3+}$, CAT), und Bariummagnesiumaluminat, dotiert mit Europium ($\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$, BAM), im Fokus der Untersuchungen.

Die PSD-Technologie basiert auf der Verwendung einer kommerziell

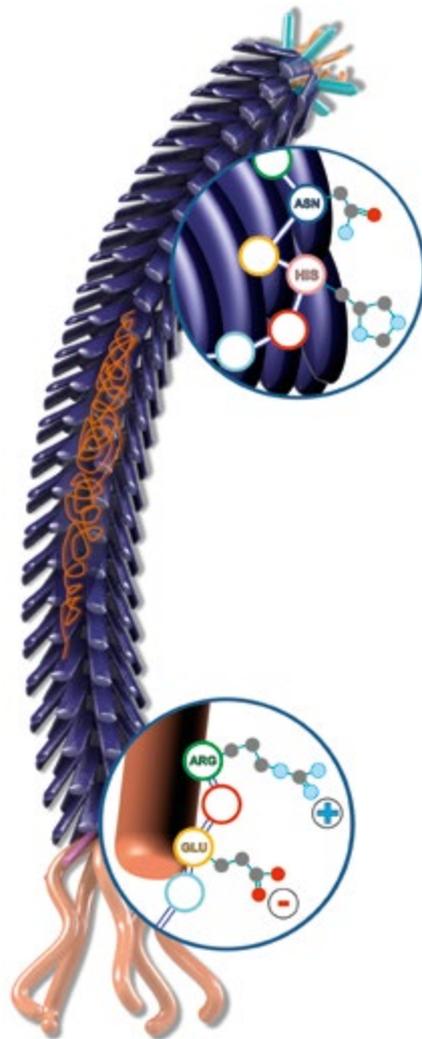


Abbildung 1: Bakteriophage fd-tet mit Haupthüllprotein pVIII (blau) und pIII (beige)

erhältlichen Bakteriophagenbibliothek. Darin enthalten sind Viren (Abb. 1), die Bakterien als Wirtsorganismen nutzen und die sich jeweils in ihrem Äußeren durch das zusätzliche Vorhandensein einer bestimmten Peptidsequenz pro Phage voneinander unterscheiden. Peptide sind kurze Eiweißstücke, die mit ihrem Zielmaterial eine Bindung eingehen. Phagenbibliotheken beinhalten bis zu 10^9 verschiedene Phagentypen, die sich durch ihre Peptide unterscheiden. Vergleichbar ist die Suche nach dem perfekt passenden Peptid für das Zielmaterial mit einem Schlüsselbund (Bakteriophagenbibliothek), mit dem der passende Schlüssel (Peptid) für ein Schloss (Zielmaterial) gesucht wird. Um ein perfekt passendes Peptid für das Zielmaterial CAT ($\text{CeMgAl}_{11}\text{O}_{19}:\text{Tb}^{3+}$) zu finden, wurde reines CAT mit einer solchen Bibliothek vermischt. Ein Großteil der darin enthaltenen Phagen konnte nicht an das CAT binden und wurde gewaschen. Ein kleiner Teil der Phagen zeigte allerdings eine erhöhte Affinität für CAT.

Diese Phagen wurden dann chemisch vom Material getrennt und vervielfältigt. Im nächsten Schritt wurden die vermehrten Bakteriophagen, die nun alle eine höhere Affinität für CAT besitzen, als Phagenbibliothek mit CAT vermischt. Durch den Einsatz von Waschlösungen mit veränderter Zusammensetzung wurden locker gebundene Phagen gewaschen. Besser bindende Phagen konnten wiederum chemisch abgetrennt und vervielfältigt werden, um dann erneut in insgesamt drei bis fünf solcher Biopanning genannten Selektionsrunden eingesetzt zu werden. Im Anschluss an diese Selektionsrunden wurden bis zu 60 einzelne Phagenklone auf die genetische Sequenz der sich auf der Phagenoberfläche unterscheidenden Peptide hin untersucht. Phagenklone mit häufig auftretenden Peptidmotiven und solche mit interessanter Aminosäurezusammensetzung wurden vervielfältigt, und jeder Phage wurde einzeln auf seine Bindungsfähigkeit an CAT hin untersucht. Auf diese Weise identifizierten die Forscher für die verschiedenen Leuchtpulverkomponenten gezielt Peptide. Die Peptide RCQYPLCS und TSTQCPSHIRACKLKR wurden als besonders gute LAP-Binder charakterisiert [3,4]. In anderen Untersuchungen wurden die Peptide NEKKCKGARCTTVT (StBa3) und ATPKCKKSCMTTQ (StBa25) als spezifische CAT-Binder identifiziert. Für die blau-leuchtende Leuchtpulverkomponente BAM wurde das Peptid ETKKCTTGPCVVVT (StBa59) als hoch spezifisch charakterisiert. Das Peptid KKQKCRDQVVTOM (StBa2) bindet sowohl CAT als auch LAP und BAM mit hoher Affinität, während es die anderen Bestandteile des Lampenpulvers wie $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ (YOX), Halophosphat (HP) und Siliciumdioxid (SiO_2) wenig oder gar nicht bindet (Abb. 2) [5]. Es konnte nachgewiesen werden, dass die hier dargestellten Peptide ihr Zielmaterial mit hoher Affinität und Spezifität binden, während diese phagen-gekoppelten Peptide wenig oder keine Affinität für die anderen Leuchtpulverbestandteile aufweisen. Zusätzlich zu den Bindeversuchen der identifizierten peptid-darstellenden Phagen mit den unterschiedlichen Leuchtpulverkomponenten, wurden die gebundenen Phagen mittels leuchtender Antikörper per Fluoreszenzmikroskopie nachgewiesen (Abb. 3). Stellvertretend für andere gute CAT-Binder wurde der Bakteriophagenklon StaBa2 im Vergleich zum Wildtyp, der keine zusätzlichen Peptide auf der Phagenhülle präsentiert, sichtbar gemacht (Abb. 3, B3).

Der Preis der Peptide und Träger sowie die Selektivität des Verfahrens bestimmen schlussendlich die Wirtschaftlichkeit. Peptide in kleinen Mengen zu erzeugen, ist sehr kostspielig. Werden diese allerdings im Tonnenmaßstab hergestellt, dann sind diese Verfahren durchaus konkurrenzfähig zu schon bestehenden Mineralverarbeitungsprozessen. Des Weiteren können geeignete biotechnologische Herstellungsmethoden dazu beitragen, die Preise zu reduzieren.

Ersetzt die Biologie nun klassische geologische Flotationsprozesse?

Die Grenzen der klassischen Flotation liegen in der Materialgröße, aber auch in der Materialkonzentration. Mineralstäube, wie sie beim Mineralbruch, aber auch beim Veraschen von Elektroprodukten vorkommen, enthalten große Mengen an Partikeln kleiner 10 µm. Diese sind aber wegen ihrer im Vergleich zu den einschlägigen Partikelgrößen veränderten Oberflächeneigenschaften nicht mehr flotierbar. Wenn sie allerdings an Peptid-Träger-Komplexe gebunden und im Stoffgemisch transportiert werden, sind diese bisher ungenutzten Stäube eine wirtschaftlich bedeutende Ressource. Derzeit werden in der klassischen Flotation diverse toxische Chemikalien als Drücker, Sammler oder Schaumstabilisatoren eingesetzt. Im besten Fall können solche peptid-basierten Trennverfahren auf toxische Komponenten verzichten.

Mit der Identifizierung von phagen-gebundenen Peptiden, die spezifisch an die Leuchtpulverkomponenten LAP, CAT und BAM binden, an die anderen Materialien im Leuchtpulver aber kaum, konnte gezeigt werden, dass die Idee zur selektiven Trennung von Mineralen durch Peptide prinzipiell realisierbar ist. Die Methode des *Phage Surface Display* auch für andere Materialien von wirtschaftlichem Interesse anzuwenden, ist Ziel zukünftiger Arbeiten. Gleichzeitig müssen die geplanten Trennverfahren entwickelt und optimiert werden.

Abbildung 4: Schritte zur heterologen Produktion von Peptiden, die durch *Phage Surface Display* identifiziert wurden. (1) *Phage Surface Display* und Überführung der genetischen Information der präsentierten Peptide in ein geeignetes Plasmid; (2) Produktion des Proteins mit einem Produktionsorganismus wie *Escherichia coli* sowie Aufreinigung des Peptids mittels geeigneter Proteinanähänge (rot und gelb).

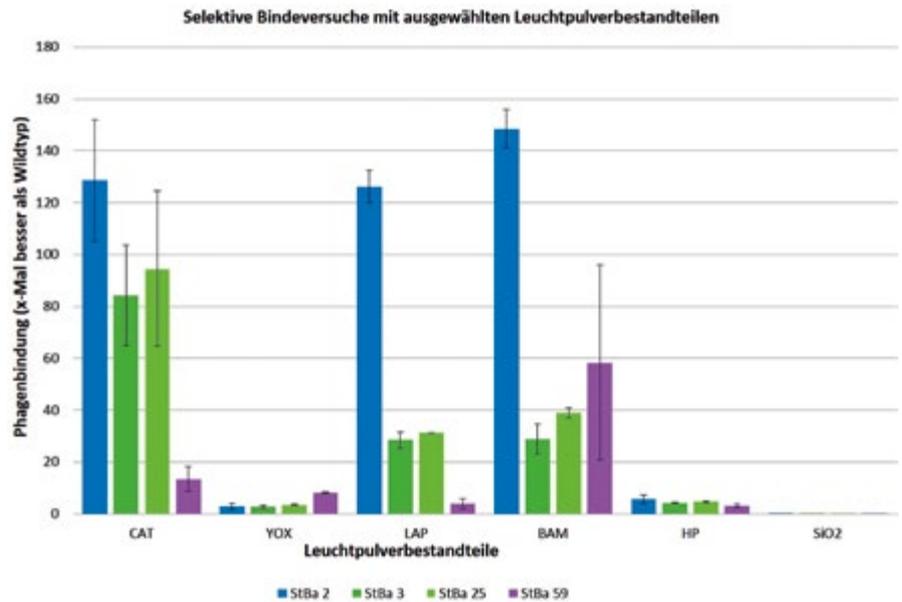


Abbildung 2: Bindeeigenschaften selektierter Phagenklone an Leuchtpulverbestandteilen. Die Phagenklonbindung ist x-mal besser als jene der Wildtypphagen. Darstellung der Mittelwerte jeder Probe aller Experimentdaten und des zugehörigen Standardfehlers, CAT = $CeMgAl_{11}O_{19} \cdot Tb^{3+}$; YOX = $Y_2O_3 \cdot Eu^{3+}$; LAP = $LaPO_4 \cdot Ce^{3+}, Tb^{3+}$; BAM = $BaMgAl_{10}O_{17} \cdot Eu^{2+}$; HP = Halophosphat; SiO_2 = Siliciumdioxid

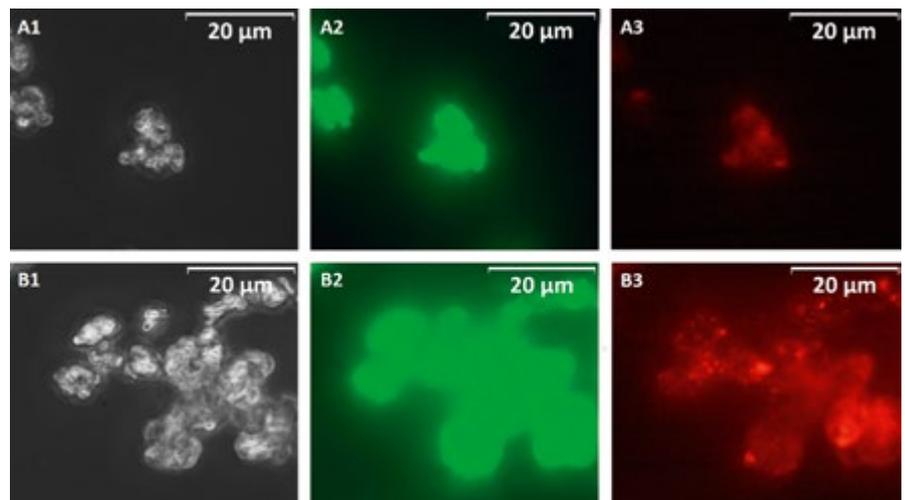
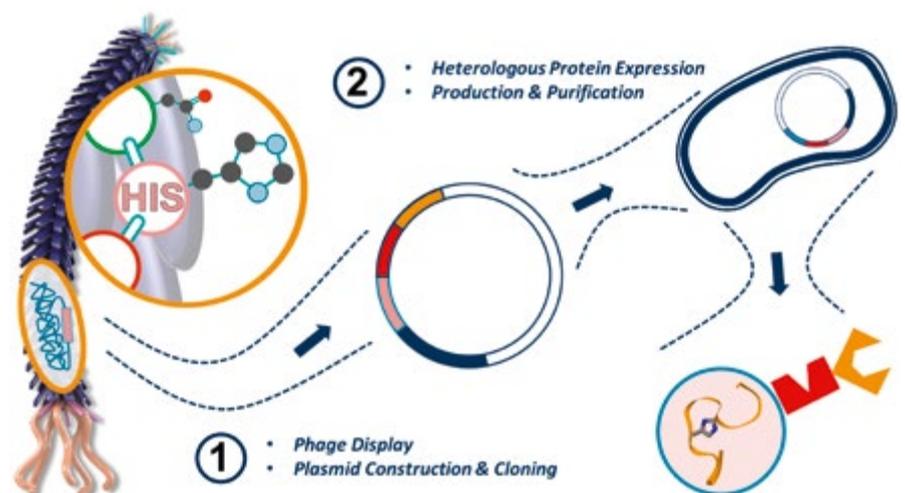


Abbildung 3: Fluoreszenz-Mikroskopie-Aufnahmen von CAT mit Wildtyp (A) und StBa2 Phagen (B).
 1 = Phasenkontrastaufnahmen von CAT-Phagen-Mix bei 10 ms
 2 = Fluoreszenzaufnahmen Filter U-MNU von CAT bei 150 ms
 3 = Fluoreszenzaufnahmen Filter U-N399010 gebundener Phagen bei 200 ms



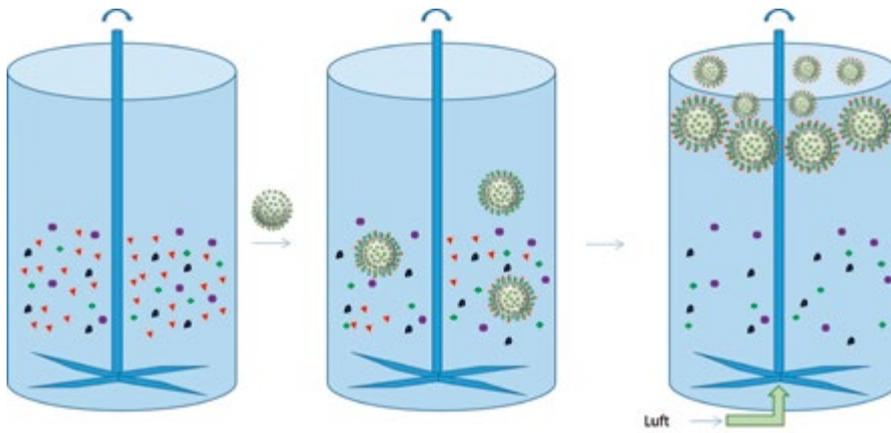


Abbildung 5: Flotationskonzept mit SEE-spezifischen Peptid-Träger-Komplexen

Dank: Dieses Projekt wurde durch ein Marie Curie International Outgoing Fellowship des EU 7. Framework Programme für Forschung, technologische Entwick-

lung und Ausführung gefördert. Wir danken Stefanie Bachmann für die Generierung der Laborergebnisse zur Identifizierung von guten CAT-Bindern.

Literatur

- 1 Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (18.04.2018). „Umsetzung des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes“
- 2 Curtis SB, Hewitt J, MacGillivray RTA, Dunbar WS. Biomining with bacteriophage: Selectivity of displayed peptides for naturally occurring sphalerite and chalcopyrite. *Biotechnology and Bioengineering* 2009;102:644–50.
- 3 Lederer FL, Curtis SB, Bachmann S, Dunbar WS, MacGillivray RTA. Identification of lanthanum-specific peptides for future recycling of rare earth elements from compact fluorescent lamps. *Biotechnology and Bioengineering* 2017;114:1016–24.
- 4 Lederer FL, Braun R, Schöne LM, Pollmann K. Peptides as alternative recycling tools - How biology supports Geosciences. *Minerals Engineering* 2018 (submitted).
- 5 Braun R, Bachmann S, Schönberger N, Matys S, Lederer F, Pollmann K. Peptides as biosorbents - Promising tools for resource recovery. *Research in Microbiology* 2018 (in press).

Silber – Gestern, Heute und Morgen

Alexander Dressler, Michael Stelter¹

Die weltweite Nachfrage nach Silber steigt stetig. Allein in den Jahren von 2007 bis 2016 hat sie sich um rund 10 % auf 31.965 t/a erhöht, wobei die physische Nachfrage nach Silber stets das Angebot überstieg. Über 60 % der weltweiten Silbernachfrage werden durch die Industrie generiert, die Silber u.a. in der Solartechnologie, als Katalysatormaterial in diversen Prozessen, in der Medizin, als Lotwerkstoff und in der Elektrotechnik einsetzt [1].

Zur Erzeugung von Silber in Handelsqualität ist ein Gehalt von mindestens 99,9 % gefragt, wobei sich die meisten Silberproduzenten die Erzeugung von Premium-Grade Silber mit 99,99 % zum Ziel gesetzt haben. Um diese Silbergehalte zu erreichen, ist in den meisten Fällen die Durchführung einer Silberrefinationselektrolyse notwendig.

Das Verfahren der elektrolytischen Silberrefination, die *Möbius-Elektrolyse*, ist nach dem Erfinder Bernhard Möbius benannt, der es Anfang der 1880er-Jahre zunächst in den Vereinigten Staaten von Amerika und 1892 in Europa einführte. Der 1851 in Hartha (Sachsen) geborene Möbius studierte u.a. an der Bergakademie Freiberg Chemie und Metallurgie und war – wie viele Metallurgen – ein echter Kosmopolit. Nach verschiedenen Aufenthalten in Hüttenwerken in Deutschland und Österreich verlegte er sein Tätigkeitsfeld in

die rohstoffreichen Regionen in Mexiko und Spanien. Anschließend emigrierte Möbius in die USA. Seinen Forschungsschwerpunkt legte er dort auf die elektrolytische Raffination von Buntmetallen, die durch die Entdeckung des elektrodynamischen Prinzips durch Siemens 1866 eine rasante Entwicklung erfuhr.

Die elektrolytische Metallrefination basiert auf dem Auflösen eines verunreinigten Metalls in einer wässrigen Lösung des Metallsalzes (Elektrolyt) durch Anlegen einer Gleichspannung. Am positiven Pol (Anode) löst sich das verunreinigte Metall auf und scheidet sich dann am negativen Pol (Kathode) gereinigt wieder ab. Im Falle von Silber sind die Hauptverunreinigungen, abhängig von der Rohstoffquelle und den vorgeschalteten Prozessen, meist Blei, Kupfer, Gold, Platin und Palladium sowie – seltener – Selen, Tellur und Bismut. Entsprechend dem Standardelektrodenpotenzial werden die unedlen Verunreinigungen gelöst und reichern sich entweder im Elektrolyten an oder verbleiben ungelöst im sog. Anodenschlamm. Dieser fällt als schwarzer, feiner Schlamm von der sich auflösenden Anode herab und wird separat aufgearbeitet [2,3].

Das verwendete Elektrolysesystem erlaubt keine kompakte Abscheidung von Silber. Daher entwickelte Möbius spezifische Besonderheiten bei der technischen Umsetzung der Silberrefinationselektrolyse. Die Anlagen zur Elektroraffination

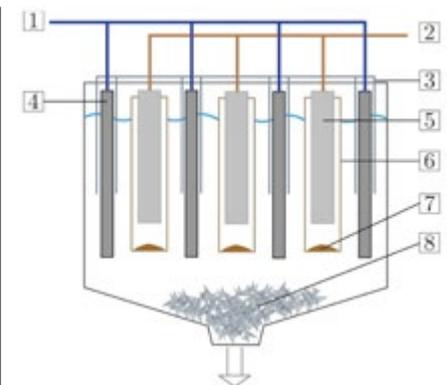


Abb. 1: Anlagenschema Möbius-Elektrolyse

- 1 Kontaktierung Kathode (-)
- 2 Kontaktierung Anode (+)
- 3 Abstreifer
- 4 Kathodenblech
- 5 Anode
- 6 Anodenschack
- 7 Anodenschlamm
- 8 Silberkristalle

von Silber arbeiten auch 120 Jahre nach ihrer Erfindung noch nach demselben Prinzip. *Abbildung 1* zeigt schematisch den Aufbau einer Möbius-Elektrolyse.

In der Elektrolysezelle befinden sich, vertikal angeordnet, je eine lösliche Silberanode (das verunreinigte Silbermaterial) und zwei Edelstahl-Kathoden, die von einer Gleichspannungsquelle versorgt werden. Der kathodische, nicht kompakte, Silberniederschlag wächst in Form von Nadeln entlang der elektrischen Feldlinien zur Anode. Die Kontaktierung von

¹ Institut für Nichteisenmetallurgie und Reinststoffe, TU Bergakademie Freiberg, Leipziger Straße 34

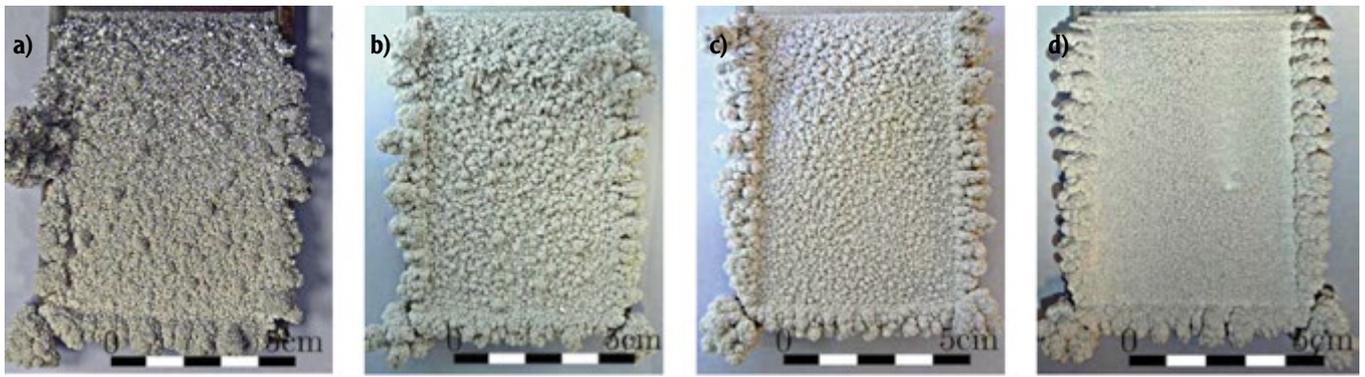


Abb. 2: a) Ag-Kathode, Elektrolyt mit 40 g/L Ag; b) Ag-Kathode, Elektrolyt mit 60 g/L Ag; c) Ag-Kathode, Elektrolyt mit 90 g/L Ag; d) Ag-Kathode, Elektrolyt mit 150 g/L Ag

Kathode und Anode durch die Silbernadeln würde bereits nach kurzer Zeit einen Kurzschluss in der Zelle verursachen. Um diesen zu vermeiden, wird der nadelige kathodische Niederschlag kontinuierlich durch bewegliche Abstreifer entfernt und fällt zum Zellboden. In modernen Anlagen werden die Kristallite täglich automatisch über einen Bodenauslass entfernt. Da neben den abgestreiften Silberkristalliten an den Kathoden auch unlöslicher Anodenschlamm herabfällt und das Kathodensilber verunreinigen würde, müssen die Anoden mit speziellen Membranen, sog. Anodensäcken, ummantelt werden, die regelmäßig gereinigt werden müssen [3].

Das Verfahren hat sich besonders in Europa fest etabliert und wurde über ein Jahrhundert hinweg kontinuierlich verbessert. Die Grundproblematik der nicht kompakten Silberabscheidung und des daraus folgenden hohen verfahrenstechnischen Aufwands blieb jedoch. Das Institut für Nichteisenmetallurgie und Reinststoffe (INEMET) untersucht derzeit im Rahmen einer Promotion ein alternatives Elektrolytssystem, das eine kompakte Silberabscheidung ermöglicht. Der apparative Aufwand kann dadurch signifikant gesenkt

Tab. 1: Vergleich der aktuellen Versuchsbedingungen zur klassischen Möbius-Elektrolyse

		Klassische Möbius-Elektrolyse	INEMET-Elektrolyse
Stromdichte	[A/m ²]	700– >1000	150–450
Badspannung	[V]	2,3–7	0,2–0,7
Elektrolyseeffizienz	[%]	> 97	> 99
Energiebedarf zur Produktion 1 t Ag	[kWh/tAg]	600–900	50–170

und der Energiebedarf der Elektrolyse um rund 70–90 % reduziert werden.

Die Untersuchungen zeigen, dass bei gleichbleibend hoher Reinheit des erzeugten Silbers, kompakte Kathoden abgeschieden werden können (Abb. 2a–d).

Dabei spielen die Elektrolytzusammensetzung, die Temperatur und das Kathodenmaterial eine entscheidende Rolle. So verbessert die Erhöhung der Silberkonzentration im Elektrolyten die Abscheidungsqualität. In weiteren Untersuchungen wird derzeit das Verhalten typischer Verunreinigungen der Silberelektrolyse gemeinsam mit Industriepartnern untersucht. Insbesondere der Wegfall der Abstreifvorrichtung und ein Elektrolytssystem mit hoher Leitfähigkeit verringern den Energiebedarf bei der Silberelektrolyse (Tab. 1). Wie eingangs

erwähnt, findet Silber nicht nur in der Schmuckindustrie und als Wertmetall, sondern auch in der modernen Industrie weitreichende Verwendung. Das INEMET beschäftigt sich, in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen, Covestro Deutschland und den Siegfried Jacob Metallwerken, im Rahmen eines vom BMBF geförderten Verbundprojekts (AgREE) auch mit der Erzeugung von Silberpulvern. Durch eine Hochstromelektrolyse werden Metallpulver erzeugt, die als Vorprodukte für die Herstellung katalytisch hochaktiver Kathoden in der Chlor-Alkali-Elektrolyse dienen. Dort senkt der Einsatz von silberhaltigen Sauerstoffverzehrkathoden den Energiebedarf um ca. 30 %. Bei einem durchschnittlichen Energiebedarf für die Chlorherstellung in Deutschland von 12 Mrd. kWh pro Jahr (2,5 % des



Abb. 3: Abstich an ISA Smelt-Pilotanlage



Abb. 4: Indium-Dendriten nach der Elektrolyse

Gesamtenergiebedarfs) ergibt sich hier ein erhebliches Einsparpotenzial [4].

Neben den beschriebenen Projekten zur Silbererzeugung und Herstellung von Industriekatalysatoren entwickelt das INEMET Verfahren zur Rückgewinnung von Metallen aus unterschiedlichen Ressourcen. Die zunehmende Miniaturisierung von Bauteilen, die verstärkte Entwicklung polymetallischer Strukturen und die zunehmend komplexere Bindung von Metallen in dem eingesetzten Ressourcenmaterial stellen dabei die größten Herausforderungen dar. In den vier Arbeitsgruppen Hydro- und Elektrometallurgie, Pyrometallurgie, Halbleiterwerkstoffe sowie dem Werkstoffrecycling werden Lösungen für die resultierenden Fragestellungen entwickelt. Dabei können auch gruppenübergreifende Projekte, die z.B. pyro- und hydrometallurgische Prozesse kombinieren, bearbeitet werden. Zwei vor kurzem abgeschlossene Promotionen

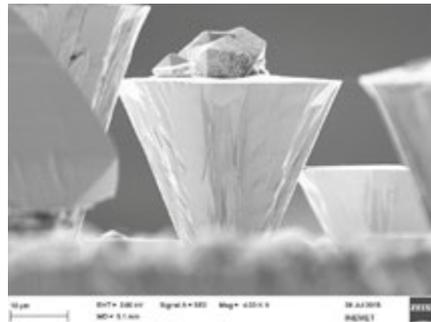


Abb. 5: GaN Abscheidung auf Saphirsubstrat

befassten sich mit der pyro- und hydrometallurgischen Verarbeitung von Indium. Zum einen wurde ein patentiertes Verfahren zur Indiumrückgewinnung aus alten Flachbildschirmen entwickelt und zum anderen konnten fundamentale Erkenntnisse zur Verbesserung der wässrigen Elektrolyse zur Abscheidung von Indium gewonnen werden. Neben der Weiterentwicklung klassischer metal-

lurgischer Verfahren beschäftigt sich eine Arbeitsgruppe ausführlich mit der Entwicklung neuer Halbleiterwerkstoffe. Hier wurde im Rahmen einer Promotion ein innovatives Verfahren zur Herstellung von Galliumnitrid mittels physikalischem Gasphasentransport von Gallium kreiert. Galliumnitrid ist ein innovativer Halbleiter für Hochfrequenztransistoren sowie Hochleistungsdioden und damit nicht mehr aus der modernen Industrie wegzudenken.

Literaturverzeichnis

- 1 Internetquelle: The Silver Institute, <https://www.silverinstitute.org/>, aufgerufen am 04.07.2018
- 2 CORNELIUS, G., Möbius, Bernhard, In: Neue Deutsche Biographie, 1994, 17, 605-606.
- 3 Becker, E. Modernisation of precious metals refining at Norddeutsche Affinerie AG. *World of Metallurgy - Erzmetall*, 2006, 59(2), 87-94.
- 4 WAGNER, N. Energieeffiziente Chlor-Alkali-Elektrolyse: Herausforderungen & Chancen, Energiespeichersymposium, Stuttgart, 2017

Kurzzeittempern mit Blitzlampen: Ein Beispiel für die flexible Elektrifizierung von Hochtemperatur-Prozessen

Charaf Cherkouk¹, Barbara Abendroth¹, Claudia Funke¹, Theresa Lemser² und Dirk C. Meyer^{1,2}

Werkstoff-Design mit Temperatur und Zeit

Das Blitzlampentempern (FLA, von engl. *Flash Lamp Annealing*) ist ein Verfahren zur Modifizierung von Materialoberflächen und angrenzenden Bereichen, ohne jedoch dabei eine Veränderung der Eigenschaften im tiefen Volumen des Werkstücks zu bewirken. Dies erreicht das FLA durch Aufheizen der Werkstückoberfläche auf Temperaturen nahe dem Schmelzpunkt bei Begrenzung der Wirkdauer auf wenige Millisekunden. Hochtemperatur-Prozesse unter Nutzung von elektrischem Strom aus erneuerbaren Quellen erlauben grundsätzlich den zeitlich flexiblen Ersatz konventioneller Energieträger für die Bereitstellung der Aktivierungsenergie und Prozesswärme.

- 1 Institut für Experimentelle Physik
Charaf.Cherkouk@physik.tu-freiberg.de
Barbara.Aabendroth@physik.tu-freiberg.de
Dirk-Carl.Meyer@physik.tu-freiberg.de
Claudia.Funke@physik.tu-freiberg.de
- 2 Zentrum für effizienten Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS)
Theresa.Lemser@zehs.tu-freiberg.de
Dirk-Carl.Meyer@zehs.tu-freiberg.de

Die Suche nach entsprechenden technologischen Ansätzen bedingt dabei zugleich in vielen Fällen besondere Anforderungen an die Prozessumgebung und führt auch zu neuen Möglichkeiten. Dieser Gedanke bildet einen wesentlichen Teil der Forschungsprogrammatik des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS), für das bis zum Jahre 2020 auf dem Campus der TU Bergakademie Freiberg (TU BAF) ein moderner Forschungsbau errichtet wird³. Insgesamt sollen die direkten und indirekten Wirkungen des elektrischen Stromes, etwa durch Strahlungsheizung, elektromagnetische Induktion oder durch die Anregung von Plasmazuständen systematisch untersucht werden, wobei die Energie-, Temperatur- und Zeiteinteilung skalenübergreifend zu betrachten sind. Die Anwendung des FLA zur Herstellung von neuartigen Si-basierten Metallanoden für Sekundärbatterien wird nachfolgend als Beispielprozess, der ebenfalls im Fokus des Anliegens des ZeHS steht, umrissen.

³ Siehe ACAMONTA, 22. Jahrgang 2015, S. 93ff.

In vielen industriellen Prozessen werden thermische Behandlungen von Rohwerkstoffen oder Werkstücken eingesetzt, um deren physikalische Eigenschaften gezielt einzustellen. Ein klassisches Beispiel der Veredlung durch eine thermische Behandlung des Werkstücks ist das Härten von Stahl. Weitere Einsatzfelder betreffen neben der Metallverarbeitung unter anderem die Technologien der Fertigung von Halbleiterbauelementen sowie von Solarzellen.

Grundsätzlich werden durch die Anhebung der thermodynamischen Zustandsgröße *Temperatur* fundamentale werkstoffphysikalische Vorgänge – wie der Ausgleich von Gradienten der chemischen Zusammensetzung, die Rekristallisation und die Festkörperphasenumwandlung – aktiviert. Basis dieser Prozesse sind Diffusionsvorgänge, die auf thermisch aktivierten Platzwechseln der atomaren Bausteine des Gefüges beruhen. Finden diese Vorgänge auf ausgedehnten Zeitskalen statt, d. h., wirkt die an eine bestimmte Temperatur gebundene Wärme über im Vergleich zur Dauer eines atomaren

Quelle: Dissertation Marcel Neubert; www.rovak-flash-lamp.com

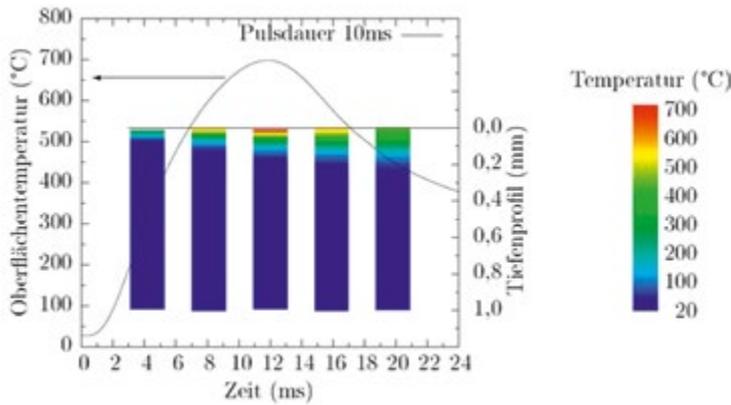


Abb. 1a: Simuliertes Temperaturtiefenprofil am Beispiel eines TiO₂:Ta beschichteten Glassubstrats während des FLA-Prozesses in Abhängigkeit von der Zeit nach dem Beginn des Pulses; Pulsdauer 10 ms, Substratdicke 1 mm; die schwarze Kurve zeigt die Oberflächentemperatur.

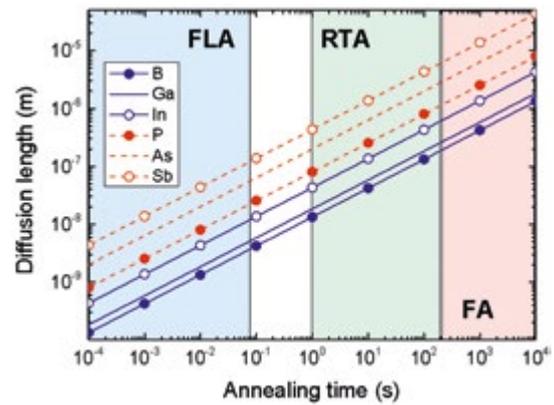


Abb. 1b: Berechnete Diffusionslängen verschiedener Dotierelemente in kristallinem Silizium als Funktion der Ausheilzeit für verschiedene Techniken mit Hilfe des FLA, RTA und Langzeit-Ofentempers (FA, von engl. Furnace Annealing).

Quelle: S. Prucnal, L. Rebholz, W. Skarupa, „Doping by flash lamp annealing“, Materials Science in Semiconductor Processing (2017), 62, 115–127

Platzwechsels lange Zeiten hinweg, kann das Gefüge dabei metastabile thermodynamische Zustände durchlaufen und in einem, der Endtemperatur zugeordneten entsprechenden Status, aufgehalten werden. Für zahlreiche Anwendungen ist das „Festhalten“ von Nichtgleichgewichtszuständen – z. B. für die Nutzung bei Raumtemperatur – notwendig. So wird beim Härten von Metallen das Werkstück von einer hohen Bearbeitungstemperatur sehr schnell auf Raumtemperatur geführt (Abschrecken), um bestimmte kristallographische Phasen und das Gefüge einzufrieren.

Durch die Kontrolle einer weiteren physikalischen Größe, nämlich der *Zeit*, wird es also möglich, die oben genannten Vorgänge zusätzlich auch räumlich zu kontrollieren.

In der Halbleiterfertigung stellt beispielsweise das Eindiffundieren von Dotierelementen oder von Wasserstoff aus der Atmosphäre Prozesse dar, bei denen eine bestimmte Fremdelementkonzentration in einer definierten Tiefe unterhalb der Oberfläche erzeugt werden soll. Erreicht wird dies durch das sog. *Schnelle Thermische Ausheilen (RTA, von engl. Rapid Thermal Annealing)*, bei dem sowohl die Temperaturhalte- als auch Abkühlzeiten auf den Bereich zwischen 1-100 s begrenzt sind.

Weitere Optionen ergeben sich, wenn der Energieeintrag auf Zeitskalen erfolgt, die in vergleichbarer Größenordnung mit denen von atomaren Bewegungen liegen. In der Forschung, etwa am Synchrotron oder am Freie-Elektronen-Laser, können Energieimpulse mit Zeiten im Bereich von 10⁻¹¹ s bis 10⁻¹⁵ s zur Anregung und Analyse genutzt werden.

Für Kurzzeittemperverfahren in technologischen Anwendungen wird die Ein-

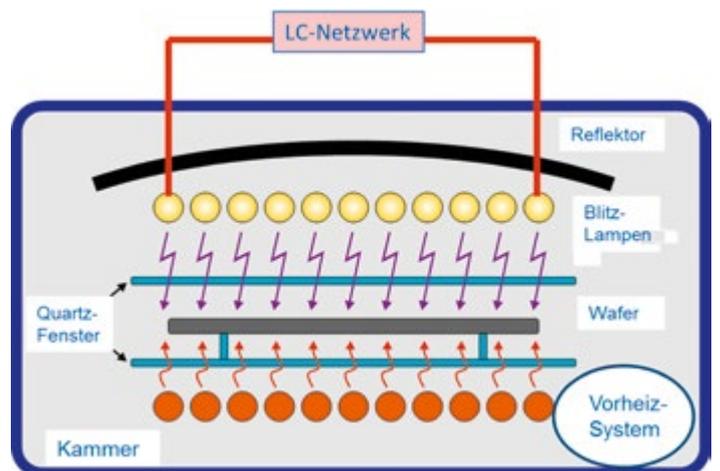
kopplung der Energie über Licht genutzt. So sind Laserimpulse in der zeitlichen Ausdehnung von 10⁻¹⁵ s erreichbar. Während Laserverfahren sehr hohe Energiedichten bereitstellen, da sie hochgradig lokal wirken, ist die FLA, die eine gleichmäßige Beleuchtung der Werkstückoberfläche innerhalb von 10⁻³ s erzeugt, ein Verfahren, das auch großflächig eingesetzt werden kann.

Korreliert man diese Zeiten mit typischen Diffusionskoeffizienten in festen Stoffen – in der Größenordnung von 10⁻⁴ bis 10⁻¹ m²/s –, folgt daraus während des Pulses eine limitierte Diffusionslänge im Bereich 10⁻¹⁰ bis 10⁻⁷ m, was – hinsichtlich des Transports – die Wirksamkeit diesbezüglich kontrollierter Prozesse räumlich stark einschränkbar macht. Der Zusammenhang zwischen Diffusionslänge und Pulsdauer ist in *Abbildung 1a* für die Diffusion verschiedener Dotierstoffe in Silizium für unterschiedliche Wärmebehandlungsverfahren gezeigt. Die räumliche Temperaturverteilung kann mittels Simulation sehr gut vorhergesagt werden (*Abb. 1b*).

Nach Verlöschen des Pulses erfolgt die Abgabe der deponierten Wärmemenge durch Wärmestrahlung und ggf. Konvektion nach außen sowie durch Wärmeleitung in das Volumen. Die beiden erstgenannten Formen der Energieabgabe erfolgen auf einer Zeitskala von bis zu 0,1 s. Mit der Wärmeleitung, die auf einer Zeitskala von unter 10⁻³ s abläuft, steht somit ein weiterer Prozess, der etwa durch Kühlung zusätzlich zeitlich beeinflusst werden kann, für die Stimulierung des Teilchentransports und von strukturellen Wandlungen im Volumen zur Verfügung. Dies gilt auch bei Überschreitung der Schmelztemperatur an der Oberfläche des Materials.

In *Abbildung 2a* ist der schematische Aufbau eines FLA-Reaktors für die flächenhafte Behandlung von Wafern gezeigt (Beispiel für eine kommerziell verfügbare Anlage für die Fertigung Rolle-zu-Rolle in *Abbildung 2b*). Herzstück ist das Xenon-Lampenfeld über dem Wafer, das durch ein induktiv-kapazitives Netzwerk (LC) elektrisch versorgt wird. Ein zweites Lampenfeld unter dem Wafer sorgt für

Abb. 2a: Schematischer Aufbau eines FLA-Reaktors



Quelle: HZDR



Abb. 2b: Eine kommerziell erhältliche FLA-Anlage der Partnerfirma ROVAK, die für die Integration in bestehende Systeme zur Realisierung von Entwicklungsapplikationen sowie von Produktionsprozessen, z. B. Rolle-zu-Rolle, genutzt werden kann.

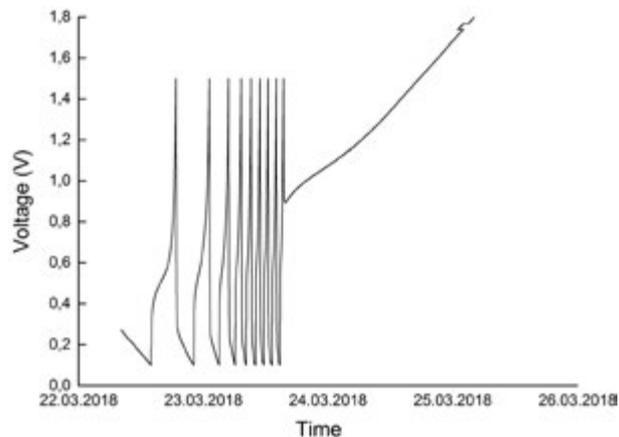
eine moderate Vorheizung, um z.B. einem Bruch infolge thermischer Spannungen vorzubeugen. Zum Schutz vor Oxidation kann der gesamte Reaktorraum mit Inertgas gefüllt oder unter Vakuumbedingungen gebracht werden.

Neuartige Silizium-basierte Metalleinlagerungselektroden für elektrochemische Energiespeicher mittels Ionenstrahlzerstäubung (Sputtern)/FLA

Silizium ist nicht nur ein wichtiger Halbleiter, aus dem 90 Prozent aller weltweit hergestellten Solarzellen gefertigt werden, es ist ebenso ein besonders aussichtsreiches Material für künftige leistungsfähige elektrochemische Energiespeicher. Für kommerzielle Lithium-Ionen-Batterien (LIB) sind bisher auf Kohlenstoff basierende Materialien, insbesondere Graphit, die am häufigsten genutzten Anodenaktivwerkstoffe. Während die Speicherkapazität des Graphits technisch ausgeschöpft erscheint, weist Silizium schon bei Raumtemperatur prinzipiell deutlich günstigere Parameter auf. Jedoch führt die mit der Einlagerung von Kationen verbundene Volumenänderung bereits nach wenigen Zyklen zur mechanischen Zerstörung der Elektrode. Die Vorteile der neuartigen, auf Silizium basierenden, Metallelektroden bestehen zum einen in der Lösung dieses Problems, zum anderen liegen die Herstellungskosten bei im Vergleich zu konventionellen Elektroden verbesserter Performance deutlich niedriger. Erreicht wird dies durch den kombinierten Einsatz von Sputtertechnologie und FLA. Die Energiedichte einer LIB kann auf Grundlage dieser Elektroden im Vergleich zum bekannten Stand der Technik um ca. 40 Prozent gesteigert werden.

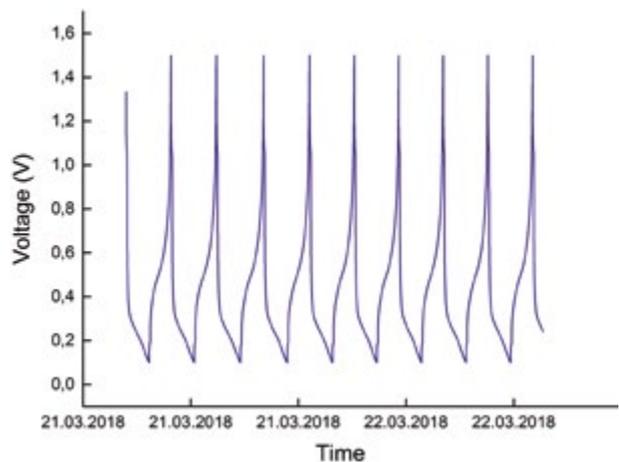
Grundlage der Untersuchungen bildet

Abb. 3a: Zeitabhängige Darstellung der elektrischen Spannungsverläufe für Lade-/Entladezyklen bei konstantem Strom von $100 \mu\text{A}$ für eine 500 nm dicke Si-Einlagerungselektrode auf Cu ohne FLA-Behandlung. Die Halbzelle zeigt eine hohe Kapazität von ca. 2 mAh , ist jedoch aufgrund von Zelldegradation nach zwei Entladezyklen nicht mehr zu gebrauchen.



Quelle: Charaf Cherkouk

Abb. 3b: Lade-/Entladezyklen bei konstantem Strom von $100 \mu\text{A}$ für eine Si-Einlagerungselektrode wie in Abb. 3a, jedoch mit FLA-Behandlung. Es ist eine wesentliche Verbesserung der Zyklenfestigkeit ablesbar (bisher insgesamt über 100 Zyklen), die Kapazität liegt im ersten Zyklus bei ca. $0,24 \text{ mAh}$ und in den folgenden Zyklen bei ca. $0,15 \text{ mAh}$, was im Vergleich zu Graphit immer noch ca. dem Doppelten entspricht.



Quelle: Charaf Cherkouk

das vom Freistaat Sachsen geförderte FuE-Verbundprojekt *SiNergy*⁴ mit einer Laufzeit bis August 2019 unter Einbeziehung der Verbundpartner Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) und Norafin Industries (Germany) GmbH unter der Leitung des Instituts für Experimentelle Physik der TU Bergakademie Freiberg. Im Unterauftrag ist zudem die ROVAK GmbH, die sowohl als Anlagenbauer als auch als Transferinteressent der Elektroden auftritt, in das Projekt integriert. Das Ziel ist die Schaffung der technologischen Voraussetzungen einer geschlossenen Prozesskette für die Batteriefertigung auf dieser Grundlage. Im Ergebnis vorlaufender Entwicklungsarbeiten und aktueller Forschung liegen funktionierende Prototypen ganzer Zellen vor.⁵ Im Rahmen von *SiNergy*

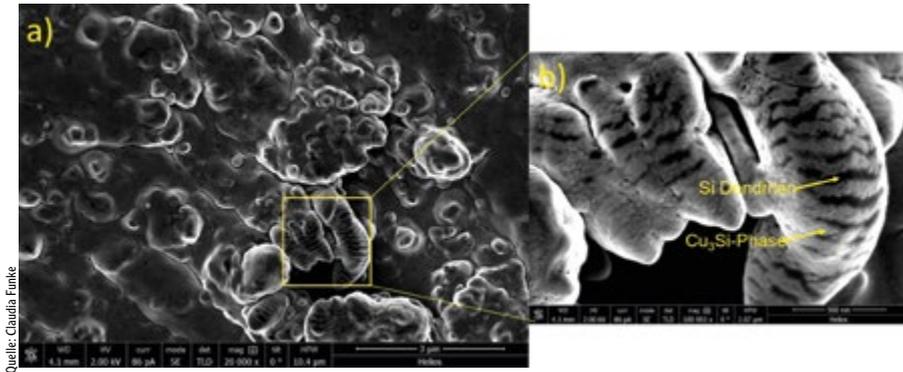
steht die Optimierung von LIB mittels der neuartigen Elektroden im Fokus; in Erweiterung dieser Untersuchungen wird derzeit auch die Einlagerung hochvalenter Ionen aktiv untersucht.

Die Herstellungstechnologie ist einfach zu umreißen: Auf einer Metallfolie (z. B. Al oder Cu) wird mittels Sputtern eine Siliziumschicht definierter Dicke erzeugt. Anschließend erfolgt eine Wärmebehandlung mittels FLA, die in Abhängigkeit von den vorhandenen Phasengleichgewichten des gewählten Metalls mit Silizium und von den Pulsparametern, Festkörperreaktionen hervorbringt, die zu den gewünschten Gefügen und Strukturen führen. Für die nachfolgende Diskussion und Darstellung werden der besseren Übersichtlichkeit halber die Symbole der chemischen Elemente verwendet.

Beispielhaft für die Performance einer Si-Elektrode auf einer Cu-Metallfolie mittels FLA wurden elektrische Messungen zunächst in einer LIB-Knopfzelle mit einer 500 nm dicken Si-Elektrode durchgeführt. Die *Abbildungen 3a und 3b* zeigen Lade-Entladezyklen vor bzw. nach der FLA-Behandlung. Die LIB weist hiernach bei 100 Zyklen eine ausgezeichnete Stabilität auf. Als weitere Metallfolie mit niedriger

4 Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushalts.

5 C. Cherkouk, T. Leisegang, D. C. Meyer, T. Orellana-Pérez, S. Pruncal, W. Skorupa (Erfinder), TU Bergakademie Freiberg (Anmelder), Verfahren zur Herstellung von auf Silizium basierenden Anoden für Sekundärbatterien, Deutsche Patentanmeldung DE102016001949 (A1), Anmeldetag: 15.02.2016



Quelle: Claudia Funke

Abb. 4: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme einer mittels FLA gefertigten Metall-Einlagerungselektrode auf Si-Basis auf einer 30 µm dünnen Cu-Folie (links). Die Vergrößerung (rechts) zeigt dendritische 3D-Nanostrukturen und eine Cu_xSi_y -Phase als intermetallisches, reversibles Einlagerungselektroden-Material.

Schmelztemperatur kann neben Cu z. B. auch Al genutzt werden. Ein mittels FLA nachbehandeltes Si-Cu-Einlagerungselektroden-Material (Wechselwirkungszeit ~1 ms) zeigt die in der Literatur für konventionelles Langzeittempern bei 400 °C (Ausheilzeit mehrere Tage) beschriebenen Si-Nano-Dendriten und eine Silizid-Phase Cu_xSi_y (Abb. 4). Es weist Strukturen mit

einer Größe unter 10 nm auf, in denen die übliche und kritische Volumenänderung des Si und die damit einhergehende mögliche Materialdegeneration infolge Einlagerung von Kationen nicht stattfinden. Hinzu kommt die erwähnte Silizid-Phase Cu_xSi_y , die nach einer ersten Einlagerung der mobilen Spezies (im Beispielfall von Na) eine stabile Phase

$\text{Cu}_x\text{Si}_y\text{Na}_z$, die als intermetallisches, reversibles Einlagerungselektroden-Material fungiert, bildet. Ferner wurde gezeigt, dass das Si-Einlagerungselektroden-Material in einer Feststoff-LIB mit Li oder Na als mobile Spezies nutzbar ist. In weiteren aktuellen Projekten wird auf die Umsetzung des Konzepts einer Feststoff-Batterie unter Einbeziehung der FLA auf der Grundlage des hochvalenten mobilen Kations Al^{3+} gezielt. Die aktuell erreichbare Kapazität des Elektrodenmaterials beträgt für Li 0,16 mAh für einen 0,03 mm dicken Stapel (symmetrisch 0,01 mm Cu-Folie, 0,0005 mm Si-Schicht, 0,01 mm Separator und 0,01 mm Gegenelektrode) auf 200 mm² Knopfzellenfläche (Elektrolyt auf Li-Salz-Basis, Separator Nafion) und damit einem Gesamtvolumen von 6 mm³ (0,026 mAh/mm³).

Wir danken herzlich Herrn Thomas Schumann vom HZDR für seine Mitarbeit bei der Herstellung der Proben mittels FLA.

Aluminium-Ionen-Feststoffbatterien: Verbundprojekt R2R-Battery

Dirk C. Meyer, Tilmann Leisegang sowie

Charaf Cherkouk, Claudia Funke, Juliane Hanzig, Thomas Köhler, Theresa Lemser, Hartmut Stöcker, Matthias Zschornack¹

Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der Produktion einer wachsenden Anzahl an Elektrofahrzeugen steigt auch die weltweite Nachfrage nach neuen Energiespeichern. Aktuell dominiert die Lithium-Ionen-Technologie als leistungsfähigstes System insbesondere den Markt der mobilen elektrochemischen Energiespeicher.

Die Verfügbarkeit von Lithium ist jedoch beschränkt, was neben einer voraussichtlichen Unmöglichkeit vollständiger Bedarfsabdeckung, perspektivisch Verteuerungen der abgeleiteten Funktionseinheiten bedingt. Strategisch sind also alternative Speicherkonzepte auf der Grundlage gut verfügbarer Rohstoffe bei zugleich erzielbaren höheren Energiedichten

¹ Institut für Experimentelle Physik
Dirk-Carl.Meyer@physik.tu-freiberg.de
Tilmann.Leisegang@physik.tu-freiberg.de
Charaf.Cherkouk@physik.tu-freiberg.de
Claudia.Funke@physik.tu-freiberg.de
Juliane.Hanzig@physik.tu-freiberg.de
Thomas.Koehler@physik.tu-freiberg.de
Hartmut.Stoecker@physik.tu-freiberg.de
Matthias.Zschornack@physik.tu-freiberg.de
ZeHS: Theresa.Lemser@zehs.tu-freiberg.de

erforderlich. Hier setzt das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit einem Gesamtvolumen von 3,7 Mio. Euro geförderte Verbundprojekt R2R-Battery „Rolle-zu-Rolle-Fertigung von Feststoffbatterien auf der Basis hochvalenter Kationen“ (FKZ 03SF0542A) an.² In diesem Verbund wird unter Leitung des Instituts für Experimentelle Physik (IEP) der TU Bergakademie Freiberg seit September 2016 ein Konzept für die Umsetzung von Aluminium-Ionen-Batterien erarbeitet. Das Projekt stellt gleichzeitig einen wichtigen Meilenstein für die Forschungsarbeiten des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) dar, denn auch im Zusammenhang mit der Nutzung von regenerativ erzeugtem Strom für Hochtemperaturprozesse ist die Zwischenspeicherung von elektrischer Energie notwendig.

Für die Auswahl geeigneter Materialien wird unter anderem auf einen im Rahmen des abgeschlossenen BMBF-

² <https://blogs.hrz.tu-freiberg.de/r2rbattery/>

Verbundprojekts CryPhysConcept (FKZ 03EK3029A) entwickelten Algorithmus zur Materialbewertung für elektrochemische Energiespeicher zurückgegriffen. Dieser würdigt neben den spezifischen Eigenschaften auch die ökonomischen und ökologischen Aspekte – insbesondere hinsichtlich der großtechnisch anzustrebenden Fertigungsmöglichkeit Rolle-zu-Rolle. Dabei kristallisierte sich Aluminium als geeignetes Material für den Elektronentransport heraus; es ist das dritthäufigste Element und das häufigste Metall in der Erdkruste, wobei die Technologiekette von der Bereitstellung bis zum Recycling vollständig entwickelt ist. Die Gewinnung von Primäraluminium aus Bauxit erfordert einen beträchtlichen Einsatz an elektrischer Energie, was aber durch die vollkommen neue Bilanzierung der einschlägigen Prozesskategorie bei Nutzung des zeitlich fluktuierenden Angebots an Überschussstrom aus erneuerbaren Quellen keinen kritischen Punkt darstellen sollte. Im Gegensatz zu Lithium ist Aluminium an Luft nicht entzündbar,



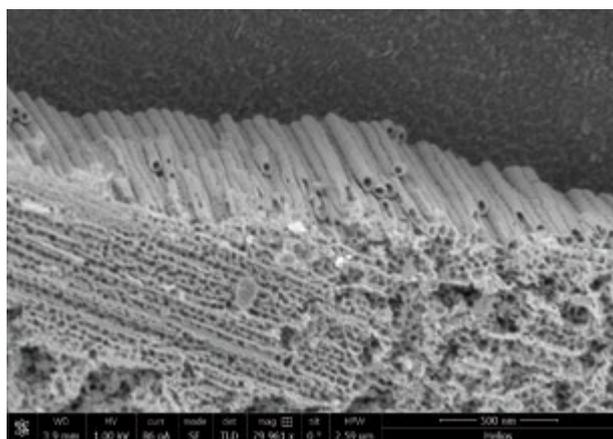
Quelle: Sven Juchalka

Abb. 1: Auf Aluminium basierende Feststoff-Batterie nach der Fertigung Rolle-zu-Rolle



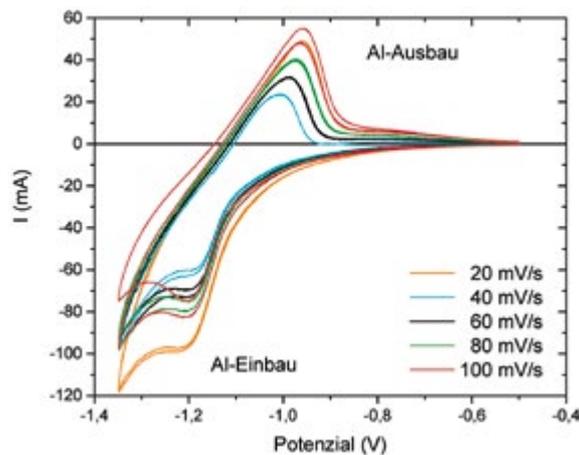
Quelle: Sven Juchalka

Abb. 2: Auf Aluminium basierende Knopfzellen-Batterien im Teststand



Quelle: Claudia Fritke

Abb. 3: Seitlicher Blick mittels Raster-Elektronenmikroskop auf TiO_2 - (Anatas)-Nanoröhren als Einlagerungselektroden für Aluminium



Quelle: Juliane Hanzig

Abb. 4: Zyklovoltammogramme der Ein- und Auslagerung von Aluminium in einer TiO_2 - (Anatas)-Nanoröhren-Elektrode (wässriger Elektrolyt; unterhalb von $-1,32$ V erfolgt die Zersetzung von Wasser).

wodurch eine deutlich höhere Sicherheit erreicht und eine leichtere Verarbeitung ermöglicht werden. Insgesamt wird erwartet, dass Aluminium-Ionen-Batterien deutlich kostengünstiger als die aktuellen kommerziellen Lithium-Systeme sein werden und volumenbezogen mehr Energie speichern können, da Aluminium als Vehikel für den Ladungstransport nicht nur ein, sondern im besten Falle bis zu drei Elektronen übertragen kann.

Im Rahmen des Projekts R2R-Battery arbeiten insgesamt neun Verbundpartner zusammen (Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg, Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik Dresden, Vowalon GmbH Treuen, Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen Freiberg, Froyt Kondensatoren und Bauelemente GmbH Freiberg, Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien Radeberg, Rovak GmbH und Cinector GmbH Mittweida).

Die Abbildungen zeigen Beispiele aus

den laufenden Arbeiten in R2R-Battery. Es werden vollständige Batterie-Zellen in verschiedenen Größen und Ausgestaltungen gehandhabt (Abb. 1 und 2). Ein Beispiel für arbeitsfähige Einlagerungselektroden für Aluminium gibt die Abbildung 3. Durch anodisches Oxidieren von Titan können so zyklisch arbeitende Einlagerungs-Elektroden mit besonders geeigneten Nanostrukturen realisiert werden. Einen Nachweis für zyklische Redoxprozesse liefert die Zyklovoltammetrie (Abb. 4), wobei die Arbeitsfähigkeit ganzer Zellen – bisher auf Grundlage wässriger Elektrolyte – ebenso nachgewiesen ist; der Fokus laufender Arbeiten liegt auf der Kombination dieser und anderer Elektroden mit Feststoff-Elektrolyten.

Wesentliche Aspekte des Vorhabens wurden u. a. auf der unter Leitung des IEP geplanten und durchgeführten Konferenz International Freiberg Conference on Electrochemical Storage Materials (ESTORM) 3, die 2017 bereits zum dritten

3 <https://blogs.hrz.tu-freiberg.de/estorm/>

Mal in Freiberg stattfand, diskutiert. Rund 30 Experten aus Forschung und Industrie aus neun Ländern stellten vor ca. 100 Teilnehmern bereits mit Fokus auf der Aluminium-Ionen-Technologie und Feststoff-Elektrolyten neue Erkenntnisse zur Ionenleitfähigkeit und zu innovativen Fertigungsverfahren vor. Feststoff-Elektrolyte und Batterien sind seit geraumer Zeit verstärkt in den Fokus der Konzepte elektrochemischer Speicher getreten. Einen weiteren Schwerpunkt des Tagungsprogramms bildeten Methoden zur Charakterisierung von Batteriematerialien, insbesondere in den Arbeitsweisen *in situ* und *operando*. Im Zusammenhang mit der Konferenzreihe folgten die Ausrichter einer Einladung des Wissenschaftsverlags De Gruyter, ein Übersichtswerk unter dem Titel *Electrochemical Storage Materials: From Crystallography to Manufacturing Technology* zu publizieren. Herausgeber sind Dirk C. Meyer, Tilmann Leisegang, Hartmut Stöcker und Matthias Zschornak vom IEP; das Erscheinen wird für Ende dieses Jahres erwartet.

Strom aus Wärme: Das Freiburger Zentrum für Pyroelektrizität

Hartmut Stöcker, Erik Mehner, Sven Jachalke, Thomas Köhler, Dirk C. Meyer¹

Die Wandlung von Abwärme in elektrische Energie besitzt ein großes Potenzial, wichtige Beiträge zur Reduzierung der CO₂- und Treibhausgasemissionen zu leisten und die bisherige Energienutzung effizienter zu gestalten. Nach Schätzungen unterschiedlicher Energieagenturen und Institutionen gehen weltweit mehr als 72 % des für die technische Nutzung gewandelten Energieaufkommens in Form von Abwärme verloren. Von dieser Abwärmemenge fallen 63 % bei Temperaturen unter 100 °C an. Diese sog. Niedertemperaturabwärme wird in die Umgebung abgegeben und bleibt ungenutzt.

Das vom Institut für Experimentelle Physik initiierte und von Dr. Hartmut Stöcker geleitete „Freiberger Zentrum für Pyroelektrizität“ (FZP) hat sich zum Ziel gesetzt, diese Niedertemperaturabwärme nutzbar zu machen. Im Fokus stehen dabei neuartige pyroelektrische Funktionsmaterialien.

Die Pyroelektrizität ist eine kristallphysikalische Eigenschaft, die ausschließlich bei Materialien mit permanentem elektrischen Dipolmoment auftritt. Bekannte Beispiele sind Bariumtitanat (BaTiO₃), Lithiumniobat (LiNbO₃) oder auch das Polymer Polyvinylidenfluorid (PVDF). Durch eine zeitliche Temperaturänderung des Materials – beispielsweise durch zugeführte Abwärme – kommt es zu einer Ladungstrennung. Dabei entsteht zwischen den gegenüberliegenden Oberflächen des Materialkörpers eine elektrische Spannung, die abgegriffen werden kann. Praktisch genutzt wird dies beispielsweise zur berührungslosen Temperaturmessung mittels Infrarotthermometern, bei Bewegungsmeldern oder in Wärmebildkameras.

Die Wissenschaftler des Instituts für Experimentelle Physik haben dazu innerhalb der vergangenen zehn Jahre wesentliches Know-how und eine breite Infrastruktur aufgebaut. Die im Rahmen verschiedener Projekte und Kooperationen gesammelten Kompetenzen zu pyroelektrischen Materialien wurden nun im FZP gebündelt.

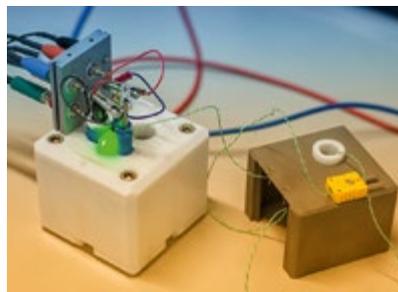
Um die Wandlung von Wärme in Elektrizität mit pyroelektrischen Materialien energieeffizient zu gestalten, sind sog. elektrische Kreisprozesse entwickelt

worden. Diese sind mit den thermischen Kreisprozessen verwandt, nutzen aber Festkörper, die elektrisch kontaktiert sind und deren Polarisationsänderung in Form von Strom und Spannung abgegriffen wird. Im Kreisprozess ändern sich periodisch die Temperatur und die elektrische Polarisation. Die erhaltene elektrische Leistung kann direkt genutzt oder gespeichert werden.

Möchte man die gewandelte Energie direkt stofflich in Form von erzeugtem Wasserstoff speichern, bietet sich die Elektrolyse direkt an der Oberfläche des pyroelektrischen Materials an. Im direkten Kontakt mit Wasser laufen die Wasserstoff- und Sauerstoffbildung an gegenüberliegenden Flächen des Pyroelektrikums ab. Dieses kann zum Beispiel in Form von Pulver vorliegen, das

durch eine Filter- oder Schwammstruktur immobilisiert ist. Die genaue Analyse der erreichbaren Ausbeuten in Abhängigkeit von den eingespeisten Temperaturniveaus ist Gegenstand aktueller Forschung.

Eine Verwertung von Restwärme zur Erzeugung von elektrischem Strom oder auch Wasserstoff wäre ein bedeutender Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz bestehender Anlagen und technischer Prozesse. Am Freiburger Zentrum für Pyroelektrizität wird das Potenzial dieses Ansatzes zusammen mit lokalen Partnern in mehreren Projekten erkundet. Ab dem Jahr 2020 wird auch das im Aufbau befindliche „Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung“ (ZeHS) die pyroelektrische Restwärmenutzung im Bereich der Grundstoffindustrie mit besonderem Akzent bearbeiten.



Elektrochemische Messzelle zum Nachweis der pyroelektrischen Wasserelektrolyse



Natürlicher pyroelektrischer Turmalinkristall

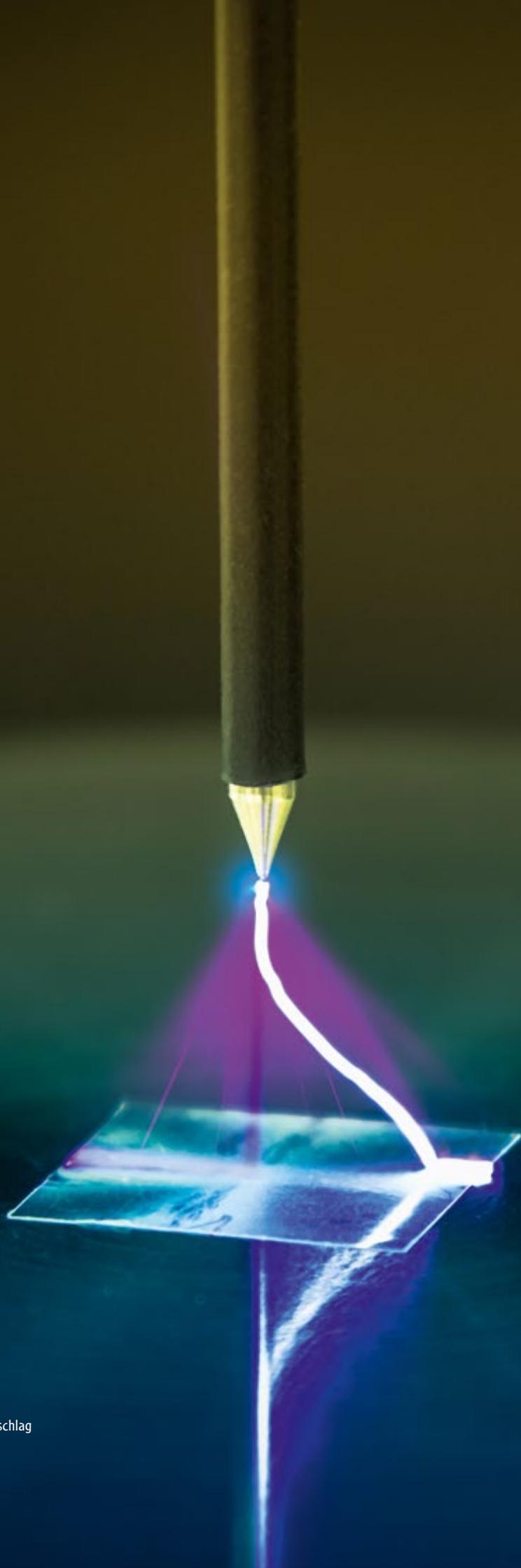


Verschiedene pyroelektrische Materialien in Form von Einkristallen und Pulvern



Demonstrator für die pyroelektrische Wasserstoffherzeugung

¹ Institut für Experimentelle Physik



Korona-Entladung und elektrischer Überschlag
bei der Polung einer PVDF-Folie

Optimierung der AdBlue-SCR-Technik bei Diesel-Kraftfahrzeugen

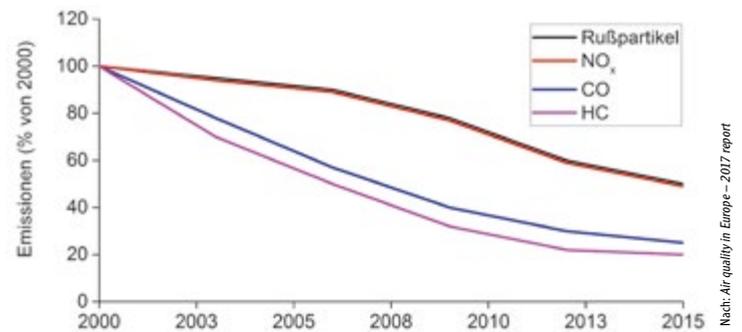
Sven Füger¹, Enno Eßer¹, Andreas Roppertz¹, Sven Kureti¹, Christian Hasse^{1,2}, Sandro Gierth^{1,2}, Uwe Hofmann³, Oliver Boblest³, Gennadi Zikoridse³

Einleitung

Im September 2015 veröffentlichte die US-amerikanische Umweltbehörde Environmental Protection Agency (EPA) eine *Notice of Violation*, nachdem eine illegale Abschaltvorrichtung in der Motorsteuerung eines VW-Dieselmotors nachgewiesen wurde. Ihre Funktion bestand darin, die Abgasnachbehandlung für die Stickoxid-Minderung (NO_x) durch selektive katalytische Reduktion (engl. *Selective Catalytic Reduction*, SCR) nur im Rahmen der Zertifizierungstests für die in den USA geltende Abgasnorm effektiv zu aktivieren. Es folgten in den darauffolgenden Jahren Rückrufaktionen, Softwareupdates, Rücktritte von in der Verantwortung stehenden Personen, Entschädigungs- und Strafzahlungen in Milliardenhöhe, Fahrverbote für Dieselfahrzeuge sowie Verhaftungen. Das Image des Dieselmotors hat darunter merklich gelitten. Dabei ist die Kreation eines sauberen Diesel-Verbrennungsmotors prinzipiell möglich. Fakt ist jedoch, dass die jahrelang forcierte Optimierung der Verbrennungsmotoren – hin zu einem geringeren Kraftstoffverbrauch und somit geringeren CO_2 -Emissionen – eine höhere Brennraumtemperatur und damit grundsätzlich auch eine erhöhte NO_x -Bildung nach sich zieht. Insgesamt betrachtet führten jedoch die effizientere Verbrennung und die Weiterentwicklung der Abgasnachbehandlungssysteme zu einem Rückgang der Emissionen bei schweren Lkw und Pkw um ca. 40% bzgl. Rußpartikel und NO_x sowie um ca. 70% hinsichtlich Kohlenmonoxid (CO) und unverbrannter Kohlenwasserstoffe (engl. *Hydrocarbons*, HC) (Abb. 1).

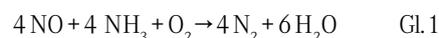
Für die Minderung des Ausstoßes an CO und HC ist bei Dieselmotoren primär der Einsatz sog. Diesel-Oxidationskatalysatoren verantwortlich, die im Wesentlichen auf der Aktivkomponente Palladium basieren. Der Rückgang der

Abb. 1: Entwicklung der Partikel-, NO_x -, CO- und HC-Emissionen von 2000 bis 2015



Nach: Air quality in Europe – 2017 report

Rußpartikelemissionen ist hingegen auf den Einsatz von Diesel-Partikelfiltern (DPF) zurückzuführen, die selbst nanopartikulären Ruß mit hoher Effizienz zurückhalten. Die Verringerung der NO_x -Emissionen steht in erster Linie in Verbindung mit der Einführung des SCR-Verfahrens bei Lkw im Jahre 2005 sowie in den darauffolgenden Jahren im Pkw-Bereich. Bei der SCR-Technik wird NO_x durch Ammoniak (NH_3) stöchiometrisch zu N_2 und H_2O umgesetzt (Gl. 1). Das hierzu erforderliche Ammoniak wird on-Board aus einer wässrigen Harnstofflösung („AdBlue®“) generiert, die in einem speziellen Tank bevorratet und bedarfsgerecht in die Abgasleitung eingedüst wird. AdBlue ist eine eutektische Mischung mit einem Harnstoffanteil von 32,5 Ma.-%. Als SCR-Katalysatoren kommen $\text{V}_2\text{O}_5/\text{WO}_3/\text{TiO}_2$ oder Cu- und Fe-dotierte Zeolithe zum Einsatz [1, 2]. Aktuelle Entwicklungen verbinden den Dieselpartikelfilter mit dem SCR-Katalysator zu einem Bauteil, um u.a. damit thermische Verluste im Abgasstrang zu minimieren und Bauraum einzusparen [3]. Aufgrund des Einbaus von Start/Stop-Systemen und bspw. hohen Stadtfahranteilen wird die Reduktionsmittel-(AdBlue)-Dosierung bei immer niedrigeren Abgastemperaturen stattfinden müssen.



Die Freisetzung des Ammoniaks aus AdBlue ist ein vielstufiger Prozess, der sich aus der Verdampfung des Wassers, der Thermolyse des Harnstoffs zu Ammoniak und Isocyanursäure (HNCO) sowie der

Hydrolyse von HNCO zu Ammoniak und Kohlendioxid zusammensetzt (Abb. 2). Je nach Betriebsbedingungen finden diese Prozesse nicht-katalysiert unmittelbar nach der Einspritzung des NO_x -Reduktionsmittels in die Abgasleitung oder katalysiert auf der Oberfläche des SCR-Katalysators statt. In welchem Maße die Zersetzung in der Gasphase oder auf der Katalysatoroberfläche stattfindet, hängt wesentlich von der Tropfengröße, der Temperatur, den Strömungsbedingungen und der Verweilzeit ab. Obwohl sich die SCR-Technologie bereits in der Serienanwendung befindet, steht sie nach wie vor im Fokus wissenschaftlich-technischer Untersuchungen. Einer der Gründe dafür ist die Problematik der unzureichenden Zersetzung des Harnstoffs bei niedrigen Abgastemperaturen (kleiner ca. 220 °C), die zur Bildung von Cyanursäure und höhermolekularen Nebenprodukten führen kann [4, 5, 6, 7]. Infolgedessen können Beläge im Abgasstrang sowie auf dem SCR-Katalysator entstehen, welche die Funktionsweise des Abgasnachbehandlungssystems erheblich beeinträchtigen. Insbesondere die Bildung hochmolekularer Nebenprodukte kann Probleme verursachen, da diese Komponenten aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften – auch durch eine kurzfristige Anhebung der Abgastemperatur – schwierig aus dem Abgasstrang zu entfernen sind [5]. Ablagerungen bewirken eine Verengung des zu durchströmenden Volumens bzw. eine geringe anströmbare Katalysatorfläche, wodurch sowohl die Effektivität der SCR-Reaktion vermindert als auch der Systemdruck empfindlich gestört wird.

- 1 Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC), TU Bergakademie Freiberg
- 2 Fachgebiet Simulation reaktiver Thermo-Fluid Systeme, TU Darmstadt
- 3 Argomotive GmbH Dresden

Trotz innovativer Konzepte, wie z. B. einer Verkleinerung der Primärtröpfchengröße durch optimiertes Düsendesign [8] oder der Vorvermischung und Zersetzung des AdBlue-Sprays vor der Zuführung in den Abgasstrang [9, 10, 11], gibt es keine universelle Lösung zur problemlosen AdBlue-Dosierung für alle dieselbetriebenen Motoren. Da aufgrund der verschiedenen Motorkonfigurationen und Leistungsprofile verschiedene Abgaszusammensetzungs- und Temperaturkennfelder abgedeckt werden müssen, sind die Systemkonfigurationen der AdBlue-Eindüsung immer auf die konkreten Bedingungen anzupassen. Vor diesem Hintergrund besteht nach wie vor ein großes Potenzial zur Entwicklung innovativer Ansätze zur Optimierung der AdBlue-Eindüsung. Die hier vorgestellten Arbeiten adressieren insbesondere die Hydrolysestufe der Harnstoffzersetzung und die verminderte Bildung temperaturbeständiger Harnstofffolgeprodukte (z. B. Biuret und Cyanursäure) durch Minimierung der Harnstoffkondensation an Oberflächen (Abb. 2).

Durch Verbesserungen der Sprayaufbereitung und der stabilen Durchmischung des AdBlue im Abgasstrang sowie der AdBlue-Aufbereitung mit Hilfe einer Titandioxid-(TiO₂)-Beschichtung an Stellen mit unvermeidbarem Tropfen-Wandkontakt (z. B. Mischer) soll die Dosierung des AdBlue bereits oberhalb von 180 °C zuverlässig möglich sein.

Eine weitere Möglichkeit der Intensivierung der NO_x-Reduktion ist die Verwendung so genannter NO_x-Speicher-Katalysatoren. Hierbei werden die Stickoxide während des Fahrbetriebs chemisorbiert. Der NO_x-Adsorber wird durch zusätzliche Kraftstoffeinspritzung („Anfetten“) zyklisch regeneriert, wobei die dabei desorbierten Stickoxide an den Edelmetallkomponenten reduziert werden. Hieraus resultiert eine kontinuierliche Reduzierung der Stickoxidemissionen. Ein Nachteil dieser Variante ist jedoch der erhöhte Kraftstoffbedarf durch die regelmäßige Speicherregeneration.

Für die NO_x-Minderung bei tiefen Temperaturen wird aktuell auch der Einsatz der H₂-deNO_x-Technik diskutiert, die sich aber noch im Forschungsstadium befindet. Da die Stickoxid-Reduktion mittels H₂ an Katalysatoren bereits bei tiefen Temperaturen und damit sehr schnell nach Motorstart möglich ist, könnte diese Technologie den NO_x-Ausstoß vor allem im Stadtbereich erheblich senken. Die H₂-deNO_x-Technik stellt dabei keinerlei Anforderungen an die

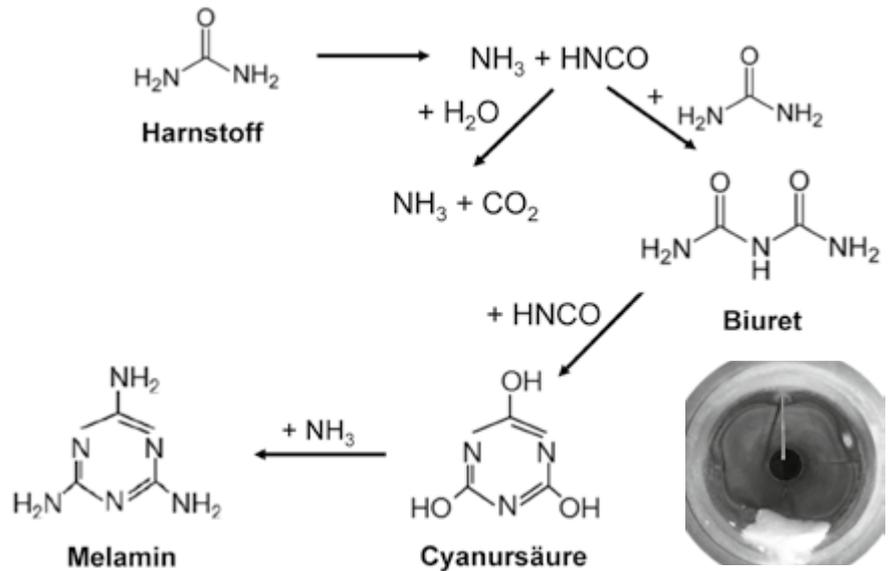


Abb. 2: Mechanismus der Harnstoff-Zersetzung (links) und Harnstoffablagerung in einer exemplarischen Abgasleitung unmittelbar vor dem SCR-Katalysator (rechts)

Reinheit des Wasserstoffs und kann daher den benötigten Wasserstoff aus verschiedensten Quellen wie z. B. Drucktanks, LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier), Elektrolyse oder On-Board-Reforming von Kraftstoff beziehen.

Konzepte zur Optimierung der AdBlue-Dosierung

Thema der vorliegenden Studie ist die Optimierung der AdBlue-Eindüsung bei tiefen Diesel-Abgastemperaturen, d. h. unterhalb von rd. 210 °C, wodurch bereits bei Stadtfahrten AdBlue in den Abgasstrang dosiert werden kann. Dadurch wird schon kurze Zeit nach Anspringen des Dieselmotors eine effiziente NO_x-Minderung mittels des SCR-Verfahrens erreicht. Zu diesem Zweck werden zunächst anhand eines Abgasleitungssystems eines exemplarischen stationären Dieselmotors (Ausgangsschaltung), das nachweislich Harnstoff-Ablagerungen aufweist, entsprechende Schwachstellen identifiziert. Anhand dieser werden fluiddynamische und reaktionstechnische Lösungsansätze – zunächst im Labormaßstab – entwickelt und getestet und schließlich am realen Motor überprüft.

Ausgangsschaltung

Die Ausgangskonfiguration ist in Abbildung 3 gezeigt. Als Bereiche präferierter Ablagerungsneigung haben sich in den

experimentellen Untersuchungen der Bereich unmittelbar nach dem Injektor (Zweistoffdüse) sowie die inneren Rohrwände im 90°-Bogen und in dem nachfolgenden Abgasrohr herausgestellt.

Des Weiteren befanden sich erhebliche Ablagerungen in einem Rezirkulationsgebiet unmittelbar vor Eintritt in den SCR-Katalysator. In den Versuchen am Motorprüfstand wurden folgende zwei repräsentative Betriebspunkte im anvisierten Temperaturbereich (T_{vSCR} – Abgastemperatur vor SCR) unter stationären Bedingungen untersucht:

- Lastpunkt 1
($\dot{m}_{\text{Abgas}} = 90 \text{ kg/h}$; T_{vSCR} = 210 °C),
- Lastpunkt 2
($\dot{m}_{\text{Abgas}} = 83 \text{ kg/h}$; T_{vSCR} = 175 °C).

Da diese Konfiguration optisch nicht zugänglich ist, wurde eine 3D-CFD-Simulation der Anordnung durchgeführt.



Abb. 3: Darstellung der Ausgangskonfiguration mit Markierung der experimentell gefundenen Feststoff-Ablagerungsstellen (rote Linien)

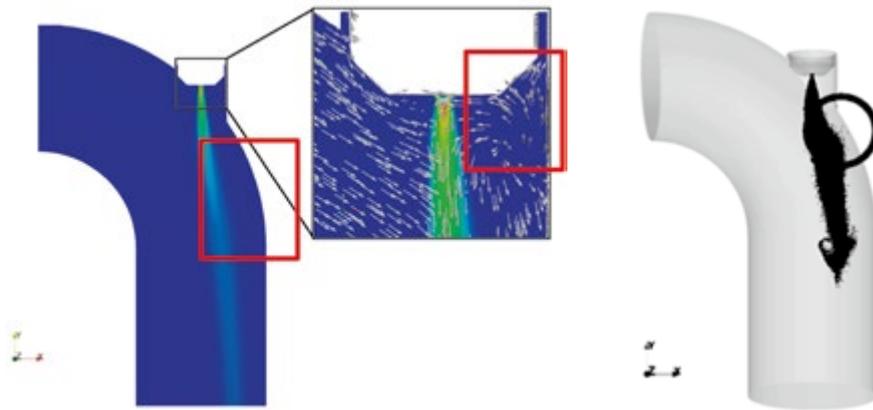


Abb. 4: Darstellung des berechneten zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsfelds ohne Tropfen (links) mit Ausschnitt des Injektor-Bereichs (Mitte) und der Sprayausbreitung (rechts) für den Motorenprüfstand mit Markierungen von Regionen tendenzieller Ablagerungsneigung (Kreise)

Das berechnete Strömungsfeld ist exemplarisch für Lastpunkt 1 in *Abbildung 4* dargestellt. Es können dabei zwei Mechanismen für die Ausbildung der Ablagerungen identifiziert werden. Zum einen ist eine Rezirkulation der Strömung hin zur Düse sichtbar, zum anderen bewirkt der Querimpuls der Strömung in dem Krümmer eine Ablenkung des Sprays hin zur Außenwand des Rohres.

Der fluiddynamische Lösungsansatz verfolgt daher die Zielstellung der Verringerung der Spray-Wand-Interaktion im Bereich des Injektors und in Bereichen stromab von diesem. Der chemische bzw. reaktionstechnische Lösungsansatz sieht eine Beschleunigung der Harnstoffhydrolyse zu den Produkten NH_3 und CO_2 durch einen Katalysator vor (*Abb. 2*). Die Selektivität verschiebt sich damit zugunsten einer ablagerungsfreien Harnstoffzersetzung. In Form einer Wandbeschichtung wird der Katalysator an den Stellen aufgebracht, an denen sich eine Spray-Wand-Interaktion nicht in jedem Lastpunkt vermeiden lässt, wie z. B. auf einer im Abgasstrang positionierten AdBlue-Mischereinheit.

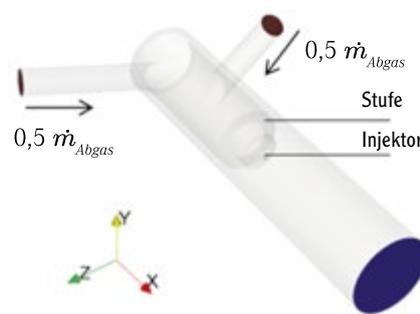


Abb. 5: Skizze des fluiddynamischen Lösungsansatzes

Lösungsansätze

Der fluiddynamische Lösungsansatz sieht eine koaxiale Anordnung der Düse mit der Abgasströmung vor (*Abb. 5*), wodurch die Strömung mit einem Drall versehen wird. Dieser wird insbesondere durch eine Zuführung des Abgasmassenstroms durch zwei Einlässe sowie einen Versatz dieser Einlässe in y -Richtung (Bezug auf Koordinatensystem, (*Abb. 5*)) erreicht.

Simulationsmethodik und Versuchs-/Prüfstands Aufbau

Die Simulationen des fluiddynamischen Lösungsansatzes erfolgen mit der

3D-CFD-Software OpenFOAM® (Version 2.4.0).

Die Gasphase wird mittels der URANS-Gleichungen auf einem ortsfesten Berechnungsgitter beschrieben. Als Schließungsansatz für die Turbulenzmodellierung wird der Wirbelviskositätsansatz verwendet. Für die Beschreibung der Wirbelviskosität wird das $k-\omega$ -SST-Modell [12] verwendet. Die flüssige Phase wird mittels Lagrange-Partikel, sog. Parcel, beschrieben. Die Kopplung beider Phasen erfolgt über Quellterme in den entsprechenden Gleichungen. Die Randbedingungen sind anhand des Lastpunktes für den Laborteststand ($\dot{m}_{\text{Abgas}} = 19 \text{ kg/h}$, $T_{\text{VSCR}} = 175 \text{ °C}$) gewählt.

Die Vergleichbarkeit der Strömungsbedingungen im Motorenprüfstand und im Labormaßstab ist über den Vergleich der Re-Zahlen am Abgaseinlass, im Ringspalt zwischen Rohrwand und Düse und im Injektorbereich validiert. Errechnete Re-Zahlenwerte an den genannten Positionen sind für den Motorenprüfstand und den Laborteststand jeweils in der gleichen Größenordnung.

Die Durchführung der Simulationen erfolgt in zwei Schritten: Im ersten Schritt wird die stationäre Lösung des Strömungsfelds unter Berücksichtigung der Sekundärströmung der Zweistoffdüse und ohne Parcel berechnet. Dies dient zum einen der Generierung einer realistischen Anfangsbedingung für die Spraysimulation. Zum anderen ermöglicht dies eine Analyse des Strömungsfelds ohne den Einfluss der Flüssigphase. Anschließend wird auf Grundlage dieses Strömungsfelds die Berechnung der Sprayausbreitung durchgeführt. Auf der Basis der Ergebnisse aus der Strömungssimulation und der Tests am Laborversuchsstand wurde ein Demonstrator für den Motorenprüfstand erstellt und in den Abgasstrang eines Pkw-Dieselmotors integriert (*Abb. 6*). Hierbei

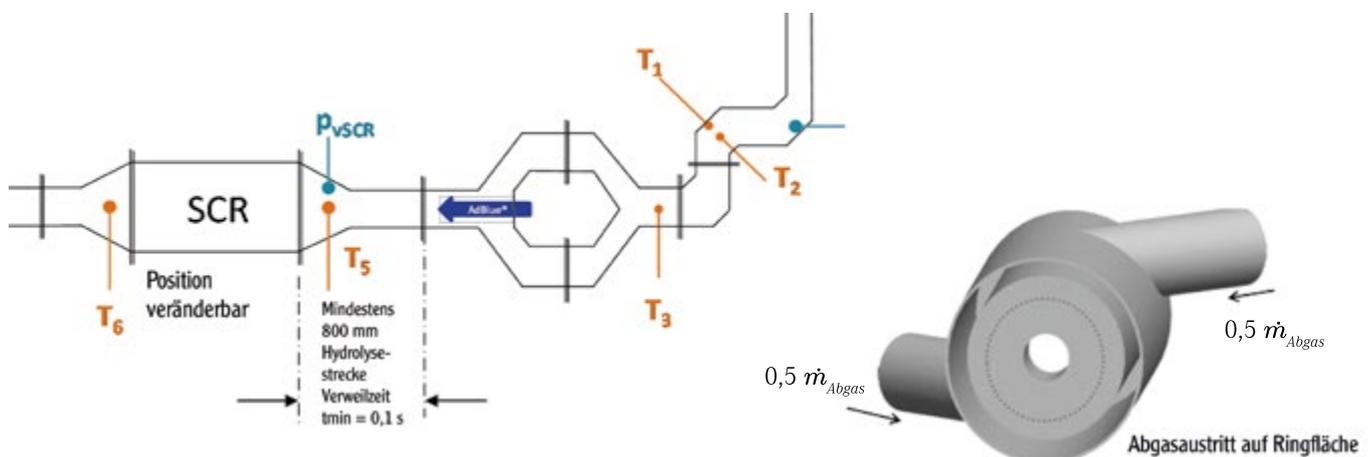


Abb. 6: Versuchsaufbau am Motorenprüfstand und 3-D-Modell des Drall-Erzeugers

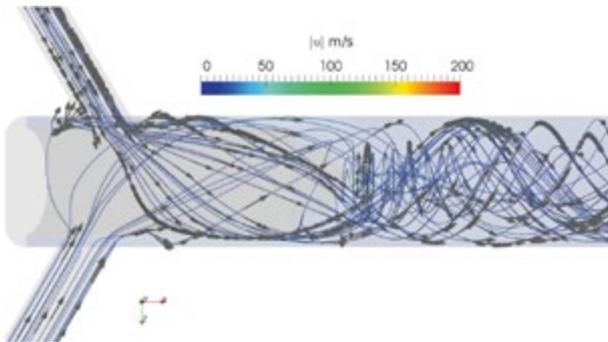


Abb. 7: Darstellung des berechneten, zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsfelds des fluiddynamischen Lösungsansatzes ohne Tropfen

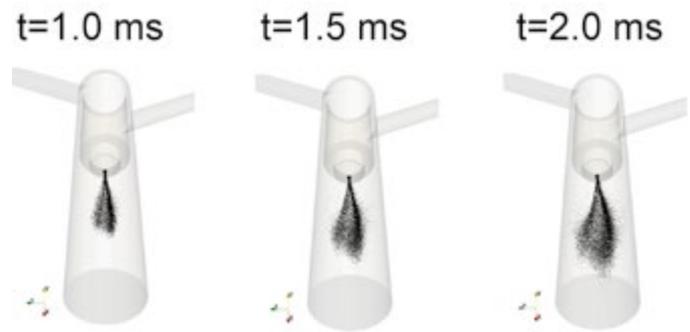


Abb. 8: Darstellung der berechneten Sprayausbreitung des fluiddynamischen Lösungsansatzes für verschiedene Zeiten nach Injektionsbeginn

erfolgt eine mittige AdBlue-Dosierung in das Drall-geführte Abgas. Zur Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit verringert sich der Rohrquerschnitt im Bereich der Zusammenführung um 35 % gegenüber dem Ausgangsquerschnitt. Dies begünstigt die Ausbildung des Dralls und trägt zur Stabilisierung des Sprays im Kern der Strömung bei.

Fluiddynamischer Lösungsansatz: Das resultierende Strömungsfeld – mit Berücksichtigung der Sekundärströmung der Zweistoffdüse und ohne Berücksichtigung des Sprays – ist in *Abbildung 7* gezeigt. Gut zu erkennen ist der großräumige Drall der Abgasströmung. Zudem kann keine Rückströmung hin zum Injektor beobachtet werden, was der Erfüllung der zweiten Zielstellung entspricht.

Das Ergebnis der Sprayausbreitung ist in *Abbildung 8* demonstriert. Es ergibt sich eine näherungsweise symmetrische Ausrichtung des Sprays. Das bedeutet, dass keine Richtung bzgl. einer angrenzenden Wand bevorzugt wird und somit die Wahrscheinlichkeit einer Spray-Wand-Interaktion in dieser Konfiguration vergleichsweise gering ist.

Unter den Bedingungen des Laborteststandes bei einer Abgastemperatur von 175 °C (vor SCR-Katalysator) ist im Injektorbereich an der Innenwand des Glasrohrs eine beginnende Tröpfchenkondensation erkennbar. Aufgrund der verdrallten Strömungsführung kann sich bei dieser Temperatur kein stabiler Kondensatfilm ausbilden, und es kommt noch zu keiner Ablagerungsbildung. Anhand dieser Beobachtung kann eine Abgastemperatur von 175 °C (vor dem SCR-Katalysator) als untere Temperaturgrenze für eine ablagerungsfreie AdBlue-Zersetzung angesehen werden. Wird die Temperatur nur um 5 K erhöht, ist keine Kondensation erkennbar.

Für den am Motorenprüfstand untersuchten Lastpunkt 2, bei einer Abgas-

temperatur von 175 °C vor SCR-Einheit, ergeben sich im Bereich in der Düse und der Düse selbst keine Ablagerungen. Das bestätigt die Simulationsergebnisse und unterstreicht damit, dass an der rück-springenden Stufe am Injektor aufgrund des erzeugten Dralls keine Rezirkulation im Abgas stattfindet. Eine ungehinderte Dosierung des Reduktionsmittels AdBlue bei konstanter Tropfengröße ist damit bei 175 °C Abgastemperatur vor SCR durchgängig möglich.

Im nachfolgenden Abgasrohr bilden sich, wie in *Abbildung 9* gezeigt, nur sehr geringe Oberflächenablagerungen. Das deutet darauf hin, dass zum einen das AdBlue-Spray – durch den erzeugten Drall – im Kern der Abgasströmung stabilisiert werden kann.

Zum anderen ist der Drall aber auch auf jede Anordnung/Anwendung anzupassen und sollte – je nach Lastpunkt und verändertem Abgasmassenstrom – variabel eingestellt werden können. Im Gegensatz zum Ausgangssetup in *Abbildung 3* ergeben sich im fluiddynamischen Lösungsansatz in *Abbildung 9* in beiden Lastpunkten durchgängig weniger bzw. keine Ablagerungen im Dosierbereich, an der inneren Rohrwand und in dem Totwassergebiet vor dem SCR-Katalysator.

Reaktionstechnischer Lösungsansatz, basierend auf dem Einsatz katalytisch aktiver TiO₂-Beschichtung des Stahlsubstrats:

Anhand thermogravimetrischer Experimente konnte im Labor gezeigt werden, dass durch Beimischung von TiO₂ zum Harnstoff die Harnstoffzersetzung bei vergleichsweise geringerer Temperatur beginnt und in einem engeren Temperaturbereich stattfindet [13]. Dies deutet auf eine verminderte Bildung thermisch beständigerer Zwischenprodukte wie Biuret und Cyanursäure hin. Zur Übertragbarkeit der Ergebnisse in die praktische Anwendung wurde untersucht, ob sich dieser Effekt auch zeigt, wenn sich AdBlue auf einem mit TiO₂ beschichteten Stahl zersetzt.

Zur Beschichtung eignen sich Stähle mit erhöhtem Aluminiumanteil (z. B. Fecralloy mit 5 % Aluminium). Die Beschichtung des Fecralloy-Substrats erfolgte durch thermische Zersetzung von flüssigem Titanetraethanolat auf der Substratoberfläche. In temperaturprogrammierten AdBlue-Zersetzungs-experimenten wurde die katalytische Aktivität der TiO₂-Schicht untersucht. Hierbei wurde AdBlue auf das beschichtete Substrat aufgetropft und in einer Atmosphäre, die 5 % H₂O und 5 % O₂ enthielt

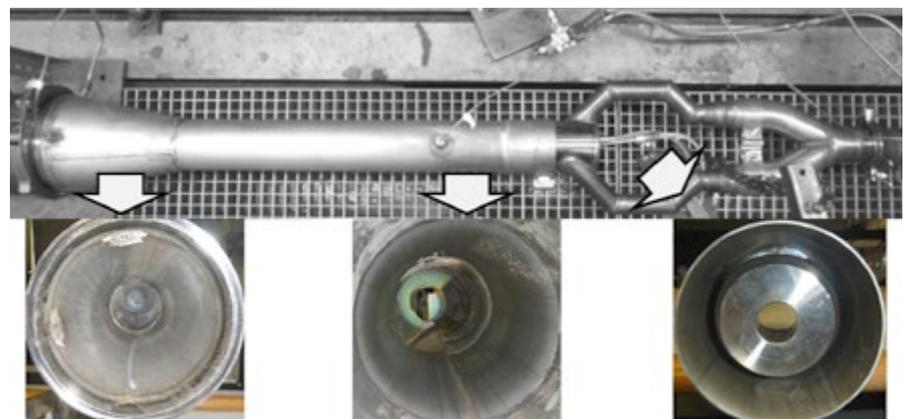


Abb. 9: Abgaszusammenführung unter 45° zur Drall-Erzeugung mit anschließender Hydrolyse-Strecke und Ablagerungsergebnissen an Dosierstelle, Abgasrohr mit Durchmesser von 88,9 mm und Diffusor

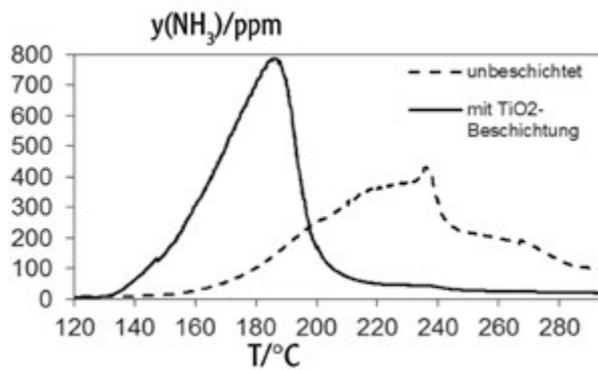


Abb. 10: NH₃-Bildung während temperaturprogrammierter AdBlue-Zersetzung auf Fecralloy mit und ohne TiO₂-Beschichtung

(N₂-Balance), erwärmt. In *Abbildung 10* ist die während der Zersetzung freiwerdende Ammoniakmenge in Abhängigkeit von der Temperatur wiedergegeben. Die Ammoniakfreisetzung ist im Vergleich zur Harnstoff-Zersetzung auf dem unbeschichteten Substrat deutlich zu tieferen Temperaturen hin verschoben.

Am Motorprüfstand erfolgte der Vergleich zweier Abgasmischer, deren Leitschaukeln einmal aus V2A-Edelstahl und weiterhin aus Fecralloy ausgeführt wurden. Der Abgasmischer mit den Leitschaukeln aus Fecralloy wurde an der TU Freiberg mit Titanetraethanolat beschichtet. Beide Mischer wurden in der Ausgangskonfiguration (*Abb. 3*) im Lastpunkt 1 gegenübergestellt. Das AdBlue wurde koaxial in einem 90°-Rohrbogen dosiert. Direkt im Anschluss befand sich der Mischer im Versuchsaufbau. Auf der beschichteten Variante des Mixers bilden sich weniger Ablagerungen auf den Leitschaukeln im Vergleich zur nicht beschichteten Variante, die erhebliche Ablagerungen auf den Leitschaukeln aufweist (*Abb. 11*).

Zusammenfassung und Ausblick

Zielstellung der vorliegenden Studie war die ablagerungsreduzierte Einspritzung

von AdBlue für Abgastemperaturen ab etwa 180 °C. Zu deren Erreichung wurden sowohl ein fluiddynamischer als auch ein reaktionstechnischer Lösungsansatz vorgestellt. Erstgenannter umfasst eine strömungsmechanische Betrachtung der Anordnung, letzterer die Beschichtung mit einem TiO₂-Katalysator. Die Eignung des fluiddynamischen Lösungsansatzes wurde anhand numerischer Simulation geprüft und am Experiment sowohl im Labormaßstab als auch im Motorenprüfstand validiert. Die Eignung des reaktionstechnischen Lösungsansatzes wurde im Labormaßstab getestet und am Motorenprüfstand umgesetzt.

Der fluiddynamische Lösungsansatz zeigt dabei – im Gegensatz zu der vorgestellten Ausgangskonfiguration bei gleichem Lastpunkt – deutlich weniger Ablagerungen im Abgasstrang. Aus strömungsmechanischer Sicht verspricht die Erzeugung eines Drall-geführten Abgasvolumenstroms das größte Potenzial, gerade im Niedrigtemperaturniveau unter 200 °C Abgastemperatur, eine sichere und ablagerungsfreie Dosierung von AdBlue zu gewährleisten.

Zur weiteren Optimierung der gewonnenen Erkenntnisse sind Systemspezifika hinsichtlich der Drallerzeugung und

kompakter Bauweise zu berücksichtigen.

Der katalytisch-reaktionstechnische Lösungsansatz verspricht ebenfalls Potenzial zum Einsatz der AdBlue-Dosierung im Tieftemperaturbereich sowohl im Labor- als auch am Motorenprüfstand. Die TiO₂-beschichteten Fecralloy-Leitschaukeln verbessern die Zersetzung des AdBlue im Vergleich zu nicht beschichteten V2A-Leitschaukeln.

In weiteren Untersuchungen werden die erarbeiteten und validierten Lösungskonzepte an einem konkreten Dieselmotor appliziert, um diese im Realbetrieb überprüfen und ggf. weiter optimieren zu können.

Danksagung: Die Autoren bedanken sich bei der Sächsischen Aufbaubank für die finanzielle Förderung des Vorhabens „Optimierung der NO_x-Minderung bei Dieselmotoren“ (OptiNOx).

Literatur

- 1 S. Shwan, J. Jansson, L. Olsson, M. Skoglundh, Kinetic modeling of H-BEA and Fe-BEA as NH₃-SCR catalysts – Effect of hydrothermal treatment, *Catalysis Today* 197 (2012) 24–37.
- 2 P. Balle, S. Geiger, D. Klukowski, M. Pignatelli, S. Wohnrau, M. Menzel, I. Zirkwa, G. Bruncklaus, S. Kureti, Study of the selective catalytic reduction of NO_x on an efficient Fe/HBEA zeolite catalyst for heavy duty diesel engines, *Applied Catalysis B* 91 (2009) 587–595.
- 3 T. Eder, M. Kemmner, P. Lückert, H. Sass, OM654 – Start einer neuen Motorenfamilie bei Mercedes-Benz, *MTZ* 3 (2016) 62–69.
- 4 M. Koebel, G. Madia, M. Elsener, Selective catalytic reduction of NO and NO₂ at low temperatures, *Catalysis Today* 73 (2002) 239–247.
- 5 V. Strots, S. Santhanam, B. Adelman, G. Griffin, Deposit formation in urea-SCR Systems, *SAE International Journal of Fuels and Lubricants* (2009) p. 7.
- 6 V. Johnson, Diesel emission control in review, *SAE International Journal of Fuels and Lubricants* (2009) p. 12.
- 7 J. Blaisdell, A. Gilb, P. Preethi, J. Sweeney, K. Viswanathan, P. Way, N. Zambon, SCR Performance Optimization Through Advancements in Aftertreatment Packaging, *Deer Conference, Deer*, 2008.
- 8 R. Breedlove, CTI deNO_x Forum, Detroit, 2008.
- 9 G. Emmerling, A. Döring, D. Rothe, SCR auf DPF beim Nutzfahrzeug – Chancen und Risiken, 6. Emission Control, Dresden, 2012.
- 10 Twintec Baumot, BNOx-System Innovative SCR Systeme der Baumot Group, available: <http://baumot.twintecbaumot.de/produkte/bnox-scr-system/>
- 11 K. De Rudder, D. Europe, Tier 4 high efficiency SCR for agricultural applications, *SAE International Journal of Fuels and Lubricants* (2012) p. 1087.
- 12 F. Menter, Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications, *AIAA-Journal* 32 (1994) 1598–1605.
- 13 I. Czekaj, O. Kröcher, Decomposition of urea in the SCR process: combination of DFT calculations and experimental results on the catalytic hydrolysis of isocyanic acid on TiO₂ and Al₂O₃, *Topics in Catalysis* 13–20 (2009) 1740–1745.

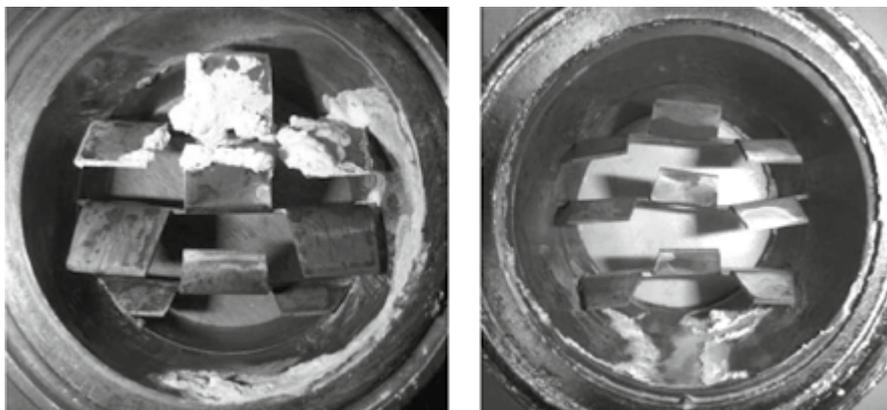


Abb. 11: Mischer-Leitschaukeln V2A-Edelstahl (links), Mischer-Leitschaukeln FeCrAlloy mit Ti-Beschichtung (rechts)

Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft für eine nachhaltige Gesellschaft

Außenstelle des Fraunhofer Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS – Geschäftsfeld Chemische Umwandlungsprozesse

Denise Klinger, Bernd Meyer¹



Einleitung

Die TU Bergakademie Freiberg erweiterte im Jahr 2017 ihre Anbindung an außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. Seit dem 1. Oktober 2017 leitet Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer, ehemaliger Rektor der TU Bergakademie Freiberg und Leiter des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC), das neu gegründete Geschäftsfeld Chemische Umwandlungsprozesse am Fraunhofer Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle (Saale). Die Arbeit innerhalb des Geschäftsfelds läuft dabei standortübergreifend zwischen den Gruppen Wasserelektrolyse (Halle) und Kohlenstoffkreislauftechnologien (Freiberg). Den Campus um die Walter-Hülse-Straße 1 in Halle und die Reiche Zeche in Freiberg trennen räumlich etwas mehr als 140 km und auch inhaltlich wird die Verknüpfung der beiden Themen erst auf den zweiten Blick sichtbar. Während die Gruppe Kohlenstoffkreislauftechnologien (KKT) unter der Leitung von Dr.-Ing. Denise Klinger Technologieentwicklung betreibt und technologiebezogene Untersuchungen verschiedener Kohlenstoffträger durchführt, ist die Gruppe Wasserelektrolyse unter Leitung von Dr. Nadine Menzel im Bereich der Materialentwicklung und -charakterisierung sowie im Feld der systemischen Betrachtungen für die Wasserstoffherzeugung aus erneuerbaren Energien zu Hause. Die Schnittstelle zwischen beiden Themengebieten liegt darin, eine nachhaltige Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft zu etablieren, die darauf basiert, kohlenstoffhaltige Abfälle in Synthesegase und in einem weiteren Schritt zu hochwertigen Produkten umzuwandeln (Konzept CarbonTrans). Die

Einkopplung von „grünem“ Wasserstoff in derartige Prozesse führt zur Minimierung der CO₂-Emissionen und somit zu einem sehr hohen Kohlenstoffeinbindungsgrad in die Produkte. Beide Gruppen vereint zudem das Ziel, diese Technologien kurz- bis mittelfristig durch Demonstrationsprojekte in den industriellen Maßstab zu überführen. Hinter diesem Ziel stehen mit der Elektrolyseplattform und dem Pilotprojekt CarbonDemonstration bereits konkrete Projekte, die beide im Chemiepark in Leuna umgesetzt werden sollen.

Im Rahmen des Konzepts CarbonTrans lassen sich die vielfältigen Aktivitäten beider Institutionen in den Bereichen Wasserstoff (Fraunhofer IMWS) und Technologieentwicklung/-bewertung für die Synthesegaserzeugung aus unterschiedlichen Kohlenstoffträgern (IEC, TU Bergakademie Freiberg) miteinander koppeln und bieten perspektivisch neue Möglichkeiten zum Ausbau der Forschungsstandorte in Freiberg und Halle.

Das Konzept CarbonTrans

CarbonTrans steht für Carbon Transition und somit für die langfristige Einbindung von Kohlenstoff in hochwertigen Produkten, anstelle der Verbrennung von Kohlenstoff zur Erzeugung von Strom und Wärme. Ziel ist es, mittelfristig Verfahren zu entwickeln, die verschiedene kohlenstoffhaltige Abfälle CO₂-emissionsarm in Chemierohstoffe umwandeln können, um einen nachhaltigen Kohlenstoffkreislauf über den Weg des rohstofflichen Recyclings zu etablieren.

In Deutschland werden gegenwärtig rund 47 Mio. t Abfälle in thermischen Abfallbehandlungs- und Feuerungsanlagen verwertet („Waste-to-Energy“)².

Bei mittleren Kohlenstoffgehalten von ca. 30 Ma.-% führt dies zu etwa 51 Mio. t an emittiertem CO₂. Verschärfungen der Recyclingquoten, das chinesische Importverbot für Kunststoffabfälle und die dafür fehlenden Recyclingkapazitäten in Deutschland sowie die annähernde Vollausslastung der Anlagen zur thermischen Verwertung³ machen ebenfalls ein Umdenken hin zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft erforderlich⁴. Auch fehlende Verwertungsmöglichkeiten für Abfallfraktionen, deren thermische Verwertung nicht oder nur eingeschränkt gelingt, erfordern neue technische Lösungen, sowohl beim werkstofflichen als auch beim rohstofflichen Recycling.

Die Problematik beim werkstofflichen Recycling besteht in der Erzeugung hochwertiger Produkte (Vermeidung von Downcycling) und der Etablierung der recycelten Stoffströme auf den Märkten. Hinzu kommt die unbegrenzte Vielfalt an Materialverbänden, die mittels werkstofflicher Recyclingverfahren nicht oder nur unzureichend aufgearbeitet werden können. Langsam erfolgt auch hier ein Umdenken, und Themen wie Design for Recycling rücken bei der Materialentwicklung in den Vordergrund. Bis sich diese Materialien am Markt etabliert haben, sind andere Recyclingkonzepte notwendig, und auch in Zukunft wird es Materialströme geben, die dem werkstofflichen Recycling aus technologischen oder ökonomischen Gründen nicht zugeführt werden können.

Für das Erreichen der Recyclingquoten wird das sog. chemische bzw. rohstoffliche Recycling eine zunehmende Rolle spielen. Hier setzt das Konzept CarbonTrans an (s. Abb. 1). Kohlenstoffhaltige Abfälle

1 Kontakt: Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen Außenstelle Freiberg
Walter-Hülse-Str. 1 · 06120 Halle (Saale)
Dr.-Ing. Denise Klinger, Gruppenleiterin Kohlenstoffkreislauftechnologien
(+49) 345 5589 8203
www.imws.fraunhofer.de
denise.klinger@imws.fraunhofer.de

2 Statistisches Bundesamt (2017): Umwelt. Abfallentsorgung 2015. Fachserie 19, Reihe 1. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Abfallentsorgung2190100157004.pdf;jsessionid=EBE6CF422ADA6B50581AEE4BAF80E4A.InternetLive2?__blob=publicationFile

3 ITAD - Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V., Jahresbericht 2015/2016, https://www.itad.de/jahresbericht/itad_jb2015_2016_web.pdf

4 Pressemitteilung vom 05.01.2018, Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung BVSE e.V., <https://www.bvse.de/recycling/pressemitteilungen/2587-chinesisches-importverbot-bvse-fordert-trendumkehr.html>

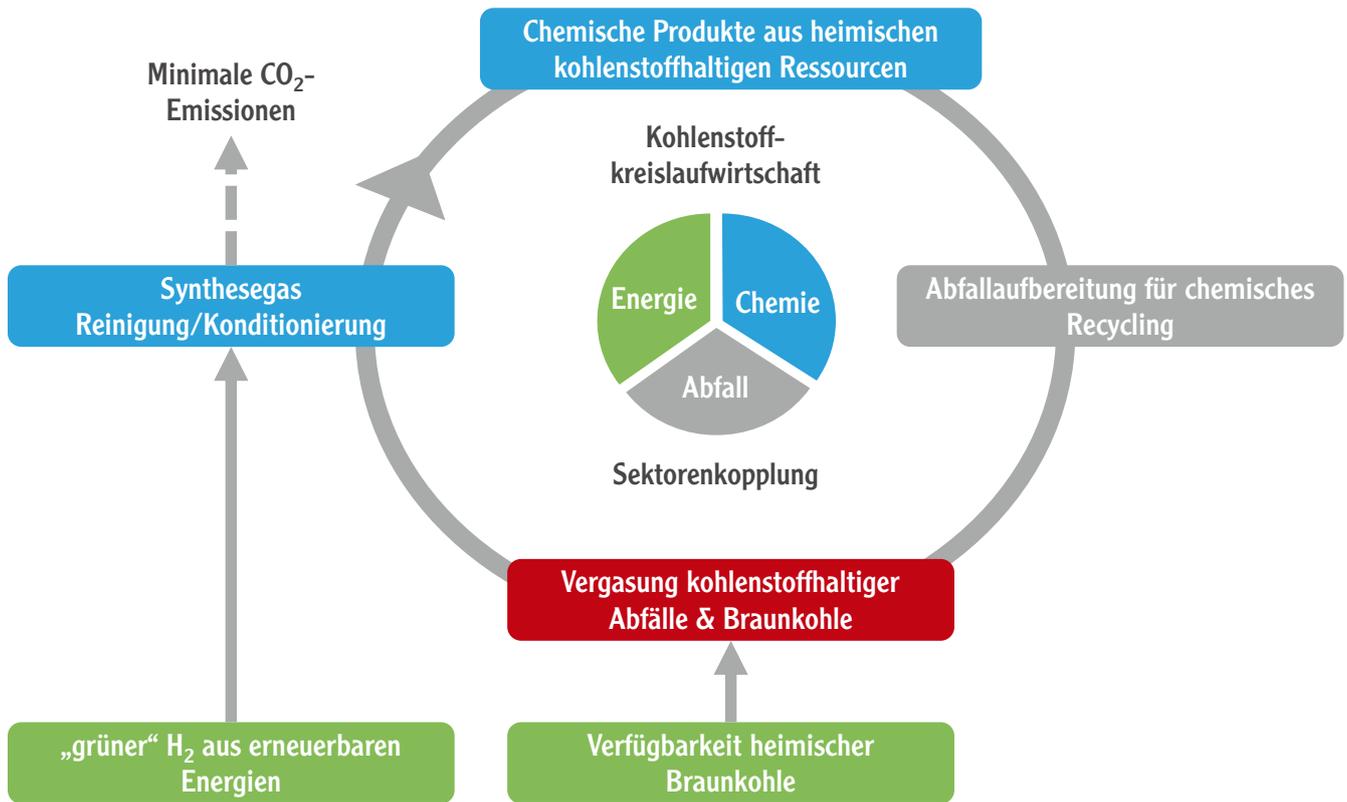


Abb. 1: Konzept Carbontrans – Kohlenstoffkreislaufwirtschaft mit Sektorkopplung und Vergasung als Schlüsseltechnologie⁵

werden über den Weg der Vergasung in ein Synthesegas (CO, H₂) umgewandelt. Dieses wird anschließend, z. B. über die Methanolsynthese, in einen Grundstoff der chemischen Industrie umgewandelt. Die Erzeugung hochwertiger Produkte erfolgt im Weiteren über die klassische Synthesechemie. Über diesen Weg lassen sich beispielsweise erneut Kunststoffe erzeugen. Die betreffende Prozesskette nach der Umwandlung der Kohlenstoffträger in ein Synthesegas ist bereits großtechnisch vorhanden.

Um die noch bestehenden technologischen und wirtschaftlichen Hindernisse bei der Monovergasung von Abfällen zu überwinden, kann kurz- bis mittelfristig die Braunkohle als heimischer Kohlenstoffträger zugemischt werden. Somit können zum einen Kohlenstoffverluste im Kreislauf ausgeglichen werden, die durch Ausschleusen von Stoffströmen entstehen, zum anderen kann die Braunkohle zur Prozessstabilisierung dienen. Weiterhin ist zukünftig ein starker Wettbewerb im Bereich der verfügbaren Abfälle zu erwarten. Der damit verbundenen Preisentwicklung steht mit der Braunkohle ein

Kohlenstoffträger mit hoher Verfügbarkeit und niedrigem Preis gegenüber. Die stoffliche Weiternutzung der Braunkohle, in einem deutlich geringen Umfang verglichen mit dem Einsatz bei der Verstromung, bietet somit die Möglichkeit, den Strukturwandel, der mit dem Ausstieg aus der Kohleverstromung einhergeht, nachhaltig zu gestalten.

Der Schlüssel für eine nachhaltige Etablierung einer Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft liegt somit in einer Kopplung der Sektoren Energiewirtschaft, Chemische Industrie und Abfallwirtschaft. Die räumlich enge Verknüpfung von Chemieindustrie und den Braunkohlerevieren in Deutschland bietet gute Umsetzungsmöglichkeiten für die Sektorkopplung.

Die Nachhaltigkeitsbewertung des Konzepts CarbonTrans erfolgt aktuell im Rahmen einer vom BMBF finanzierten Studie durch das Institut für Technikfolgenabschätzung am Karlsruher Institut für Technologie KIT-ITAS und durch das IEC der TU Bergakademie Freiberg.

Stand der Technik

Die Vergasung von kohlenstoffhaltigen Abfällen in Kombination mit Braunkohle ist kein technologisches Neuland. Entsprechende Entwicklungen gab es bereits zwischen 1985 und 1997 in Nordrhein-Westfalen (HTW-Wirbelschichtvergasung

in Berrenrath, 700 t/d, Rheinbraun AG) und zwischen 1991 und 2007 in der Lausitz (BGL-, Festbett-, GSP-Vergaser, ca. 1300 t/d, Sekundärverwertungszentrum Schwarze Pumpe, später Sustec). An beiden Standorten wurden die aus Braunkohle-Abfallgemischen hergestellten Synthesegase in Methanol umgewandelt. Der Kohlenstoffeinbindungsgrad im Produkt lag in Schwarze Pumpe jedoch lediglich bei 25%.

Die deutschen Entwicklungen zur HTW-Vergasung wurden im Nachgang von internationalen Akteuren wieder aufgenommen, z. B. von der Fa. Enerkem (Kanada) und der FA. EBARA (Japan). In Edmonton werden 300 t/d Abfälle in 80 t/d Methanol oder Ethanol umgewandelt. Die Anlage in Kawasaki setzt 195 t/d Kunststoffabfälle zu Synthesegas um, das für die Wasserstoffgewinnung zur Ammoniaksynthese verwendet wird.

Ein Konsortium aus Enerkem, Akzo Nobel Specialty Chemicals und Air Liquid plant zudem eine Anlage für die Umwandlung von 360.000 t/a Abfälle in Synthesegas am Standort Rotterdam. Im Rahmen des 9 Mio. € teuren Projekts geht es um die Realisierung des Detail Engineering und des Genehmigungsverfahrens.⁶ Technologisch und wirtschaftlich sind

⁵ Quelle: verändert nach: Lee, R.P., Wolfersdorf, C., Keller, F., Meyer, B. 2017. Towards a closed carbon cycle and achieving a circular economy for carbonaceous resources. Erdöl, Erdgas, Kohle, Heft 6, 2017, S. 77-80.

⁶ Waste Management World vom 21.02.2018



Abb. 2: Forschungsaktivitäten im Rahmen des Projekts Kohlenstoffketten

jedoch bei den existierenden Verfahren noch längst nicht alle Hindernisse aus dem Weg geräumt.

Kompetenzen der Gruppe KKT

Der Bedarf an technologischen Lösungen für ein rohstoffliches Recycling seitens unterschiedlicher Branchen steigt aus den bereits genannten Gründen. Ein ausschließlich werkstoffliches Recycling ohne Downcycling ist u. a. aufgrund der Vielzahl an nicht sortierbaren Werkstoffverbänden und Mischabfällen nicht ausreichend, um geschlossene Wertstoffkreisläufe zu erreichen. Hier setzen die Aufgaben der Gruppe Kohlenstoffkreislauftechnologien am Fraunhofer IMWS an.

Die Gruppe verfügt über Technologie- und Engineering-Know-How für die thermochemische Konversion (Pyrolyse, Vergasung) diverser kohlenstoffhaltiger Materialien. Unter Nutzung der Synergien mit dem Lehrstuhl EVT erfolgen technologiebezogene Untersuchungen und die Bewertung der Einsetzeignung von Kohlenstoffträgern, die Charakterisierung von Kohlenstoffträgern und deren Konversionsprodukten sowie die Betrachtung und technologische/wirtschaftliche Bewertung von Gesamtprozessketten. Im Technologiezentrum für Vergasung am Lehrstuhl EVT stehen zudem Anlagen im Pilotmaßstab zur Verfügung, die eine prozessnahe Untersuchung alternativer kohlenstoffhaltiger Einsatzstoffe ermöglichen. Die Gruppe Kohlenstoffkreislauftechnologien übernimmt in dieser Konstellation die wissenschaftliche Betreuung und Auswertung der Untersuchungen. Erste Industrieaufträge wurden bereits erfolgreich bearbeitet und weitere sind in Vorbereitung.

Um perspektivisch die Prozesskette rund um die Vergasung abdecken zu können, ist ein nachhaltiger Kompetenz- und Personalaufbau in den Bereichen Aufbereitung und Einspeisung von Abfällen, Technologien zur Vergasung und Pyrolyse sowie abwasserfreie Gasreinigung und Abwasserbehandlung notwendig. Hierzu liegt dem Sächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst eine Projektskizze vor, die die grundlegende Finanzierung und den Aufbau der Fraunhofer-Strukturen für die nächsten vier Jahre am Standort Freiberg sichern soll. Die Finanzierungsentscheidung wird im letzten Quartal des Jahres 2018 erwartet.

Aktuelle Initiativen & Projekte

»Fraunhofer Reviernetzwerk« und Projekt »Kohlenstoffketten«

Der Gründung des »Fraunhofer Reviernetzwerks« geht ein Memorandum of Understanding zur stofflichen Nutzung der Braunkohle zwischen der deutschen Wissenschaftsministerin Johanna Wanka und ihrem polnischen Pendant Jaroslaw Gowin auf der Hannover-Messe im April 2017 voraus. Im Mai folgte ein Kick-Off-Meeting zum »Fraunhofer Reviernetzwerk« in Dresden unter Beteiligung der Fraunhofer Institute und von Industrieunternehmen.

Das »Fraunhofer Reviernetzwerk« setzt sich aus fünf Reviernetzwerkinstituten zusammen. Dazu gehören die Fraunhofer Institute:

- für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle (Saale),
- für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen,
- für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam,

- für Keramische Technologien und Systeme IKTS in Dresden,
- für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz.

Das Netzwerk ist offen für weitere universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen sowie interessierte Unternehmen. Im Beirat des Netzwerks engagieren sich neben der RWE Power AG, die MIBRAG mbH, die Lausitz Energie AG und die EP Power Europe. In den vierteljährlich stattfindenden Beiratstreffen diskutieren Beiräte und Reviernetzwerkinstitute die erzielten Ergebnisse in Forschung und Netzwerkarbeit sowie zukünftige Forschungsrichtungen.

Seit dem 1. Oktober läuft in diesem Rahmen das Projekt »Kohlenstoffketten«, das von der Fraunhofer Gesellschaft für angewandte Forschung e. V. und den beteiligten Reviernetzwerkinstituten finanziert wird. Ziel des Projekts ist es, Wege aufzuzeigen, schrittweise den bisher importbasierten Kohlenstoffbedarf der Wirtschaft durch die Nutzung heimischer Kohlenstoffquellen, wie Abfälle, biogener Reststoffe und Braunkohle, zu ersetzen. Die CO₂-Emissionen sollen dabei minimiert und die bisherige Einmalnutzung des Kohlenstoffs durch dessen Kreislaufführung ersetzt werden (Forschungsschwerpunkte s. Abb. 2).

Im Rahmen der Netzwerkarbeit fand im Oktober 2018 der 2nd Poland-Czech Republic-Germany Workshop on Integrated technology development and sustainable utilization of domestic carbon resources in Dresden statt. Auf Einladung von Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V., trafen sich Akteure aus Politik, Wissenschaft und Industrie, um Neuerungen und Entwicklungstrends

Abb. 3: Initiative Kohlenstoffketten IK2 und Fraunhofer Pilotanlage Carbontrans. Unter der Initiative Kohlenstoffketten IK2 sind die Aktivitäten des »Fraunhofer Reviernetzwerks«, der Projekte CarbonTrans und CarbonDemonstration sowie CarbonConvert zusammengefasst. CarbonConvert bündelt dabei die Aktivitäten zur stofflichen Kohlenutzung in Nordrhein-Westfalen.



im Themengebiet vorzustellen und zu diskutieren.

Carbontrans & CarbonDemonstration

Strategisches Ziel der Projekte »Carbontrans« und »CarbonDemonstration« ist es, Abfälle und Braunkohle zu Chemierohstoffen umzuwandeln. Es soll der Nachweis für die Erzeugung eines qualitativ hochwertigen Synthesegases erbracht und der effiziente und stabile Dauerbetrieb mit minimalen CO₂-Emissionen des Vergasungsreaktors nachgewiesen werden (Carbontrans). Gleichzeitig ist die emissionsarme stoffliche Nutzung von Kohlenstoffträgern unter der Maßgabe der Kohlenstoffkreislaufschließung am Standort Leuna zu demonstrieren (CarbonDemonstration). Das Carbontrans-Projekt sieht die Errichtung eines Versuchsreaktors im Pilotmaßstab am Standort Freiberg, Reiche Zeche, vor. Nach der Inbetriebnahme sollen in Versuchskampagnen das Verhalten verschiedener Abfall-/Kohlemischungen und von Abfällen getestet werden. Aus diesen umfangreichen Betriebsdaten werden Prozessbilanzen erstellt, Optimierungsmaßnahmen vorgenommen und optimale Betriebsweisen abgeleitet. Nach einer ausgiebigen Testphase am Standort in Freiberg soll der Reaktor abgebaut und in die bis dahin fertiggestellte Infrastruktur in Leuna eingesetzt werden. Im Projekt CarbonDemonstration erfolgt die Errichtung der Anlage am Standort Leuna, wobei die Technologieplattform vollständig in den Stoff- und Energieverbund des Chemieparkes integriert werden soll. CarbonDemonstration besteht aus einer Planungsphase (2019–2021) und einer

Umsetzungsphase (2021–2024) mit einem Projektvolumen von aktuell 30 Mio. €. Das Land Sachsen-Anhalt sicherte per Kabinettsbeschluss die Bereitstellung von 15 Mio. € zu. Weitere 15 Mio. € soll der Bund über die Fraunhofer Gesellschaft für angewandte Forschung e. V. dazugeben. Der Beschluss für die Genehmigung der Planungsphase mit einem Projektvolumen von 1 Mio. € ist im Bund-Länder-Ausschuss der Fraunhofer Gesellschaft für angewandte Forschung e. V. im November 2018 geplant. Bei einem erfolgreichen Abschluss der Planungsphase erfolgt die Umsetzungsphase bis 2024.

Seit dem 1. Juni 2018 läuft zudem eine einjährige Vorbereitungsphase mit dem Ziel, belastbare Daten für das Design der Demonstrationsanlage zu gewinnen. Tests unterschiedlich aufbereiteter Kohle-/Reststoffmischungen für die Auslegung von Zuführsystemen sind ebenso Gegenstand dieses Projekts wie die Verbesserung der Bilanzierung des Prozesses, die Anpassung von Ausrüstungen, die Ermittlung von Lastbereichen und von Auswirkungen auf nachgeschaltete Anlagen. Parallel läuft die Suche nach einem geeigneten Standort im Chemiepark Leuna.

Projekte in Vorbereitung

Neben den überwiegend technologisch orientierten Projekten sind weitere in Vorbereitung oder bereits eingereicht, die sich mit der Entwicklung geeigneter Geschäftsmodelle oder der technischen, wirtschaftlichen und ökonomischen Bewertung von Gesamtprozessketten anhand konkreter Standorte für die Kohlenstoffkreislaufwirtschaft auf Basis der

Sektorenkopplung zwischen Energie- und Abfallwirtschaft, chemischer Industrie und Anlagenbau befassen. Dies betrifft u. a. das Kompetenznetzwerk Kohlenstoffkreislaufwirtschaft KOKO (eingereicht im Rahmen des BMBF-Programms FONA III) und die Arbeitsgemeinschaften Kohlenstoffkreislaufwirtschaft West & Mitte (Industrieprojekte mit drei Partnern aus den Sektoren). Die Umsetzung erfolgt gemeinsam mit dem IEC der TU Bergakademie Freiberg und anderen Forschungsinstituten.

Ausblick

Der große Bedarf an nachhaltigen Recyclinglösungen seitens verschiedener Branchen führt aktuell zu einer sehr dynamischen Entwicklung des Themengebiets, sodass die Netzwerkarbeit und die Präsentation des Geschäftsfelds nach außen eine große Rolle spielen. Im Hintergrund wird gemeinsam mit dem IEC an den technischen Lösungen gearbeitet. Perspektivisch stehen mit den beiden Projekten CarbonDemonstration in Leuna und dem nachhaltigen Aufbau der Fraunhofer-Strukturen in Freiberg große Aufgaben an, die einen weiteren Personalaufwuchs nötig machen. Die Gruppe Kohlenstoffkreislauftechnologien besteht aktuell aus sechs wissenschaftlichen und fünf technischen Mitarbeitern. Bei Bewilligung der Anschubfinanzierung durch das Sächsische Ministerium für Wissenschaft und Kunst ist perspektivisch ein Personalaufwuchs bis auf zwölf wissenschaftliche Mitarbeiter geplant und ein entsprechender Aufbau von Fraunhofer Forschungsinfrastruktur am Standort in Freiberg.

Mergers und Acquisitions aus rechts- und wirtschaftswissenschaftlicher Sicht

Andreas Horsch, Jutta Stumpf-Wollersheim

Mergers & Acquisitions (M&A) bzw. Unternehmenszusammenschlüsse und -übernahmen sind Transaktionen, in deren Zentrum die Veränderung der Eigentumsverhältnisse an Unternehmen steht. Tatsächlich finden M&As in marktwirtschaftlichen Systemen permanent statt, wobei ausgewählte Fälle eine große, zuweilen extreme Öffentlichkeitswirksamkeit erreichen. Hierfür gibt es die unterschiedlichsten Gründe, die sich aus den quantitativen ebenso wie den qualitativen Eigenschaften des Vorhabens ergeben können.

Der Erwerb des US-amerikanischen Konzerns Monsanto durch den Bayer-Konzern ist zum einen aktuell, zum anderen beispielhaft in beiderlei Hinsicht, da von bisher unerreichter Größenordnung (Transaktionsvolumen) wie Komplexität (insbesondere durch die befürchtete marktbeherrschende Marktposition bei Saatgütern)¹. Dass die Größe einer Transaktion für ihre Bedeutsamkeit und Diskussion nicht alleinentscheidend ist, zeigen regelmäßige Auseinandersetzungen um den Verlust von Schlüsseltechnologien an ausländische Erwerber, die auch in Deutschland unlängst zu protektionistischen Reaktionen auf Akquisitionsversuche chinesischer Unternehmen geführt haben². M&As sind daher ebenso relevant wie hochaktuell.

Da bei M&As ganze Unternehmen bzw. Unternehmensteile durch einen Käufer erworben werden, wobei entweder eine neue Einheit entsteht oder aber beide Beteiligte hiernach in veränderter Form fortbestehen, ist unmittelbar ersichtlich, dass mit diesen Transaktionen eine Vielzahl ökonomischer wie juristischer Fragestellungen verbunden ist. Vertreter der Praxis kommen damit willentlich, ohne ihr besonderes Zutun oder – im Falle sog. unfreundlicher Übernahmen – sogar gegen

ihren ausdrücklichen Willen mit M&As in Berührung, Vertreter der Wissenschaft insbesondere dadurch, dass sie M&As zum Thema ihrer Aufsätze, Monografien³ oder eben Konferenzen machen. Das ist in zunehmendem Maße der Fall, aber da die adressierten Fragestellungen stets nur für den konkreten Fall und nie letztgültig beantwortet werden können – dafür sorgen die permanenten Veränderungen der ökonomischen und juristischen Rahmen-

die fünfte Fachtagung am 20. April 2018 in Freiberg statt. Die Anmeldezahl von insgesamt 84 Personen aus Wissenschaft und Praxis, unter denen auch Studierende der TU Bergakademie Freiberg vertreten waren, kann bereits als Beleg für das rege Interesse am Thema der Veranstaltung gedeutet werden.

Der Auftakt der Veranstaltung wurde gestaltet durch die Grußworte des Präsidenten des M&A Alumni Deutschland e. V., Dr. Gerrit Stumpf, und des Rektors der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht. Beide Redner gaben nicht nur prägnante Informationen zum Verein bzw. zur Universität und deren Historie, sondern gingen in ihren Begrüßungen auch auf das hochrelevante Thema M&A – und hier insbesondere auf die Relevanz der Schnittstelle zwischen rechts- und wirtschaftswissenschaftlichen Fragestellungen – ein.

Das anschließende Konferenzprogramm umfasste zwei parallele Tracks. Insgesamt waren siebzehn Beiträge zur Präsentation angenommen worden. Dem Titel der Veranstaltung entsprechend wurden von den Vortragenden entweder rechts- oder wirtschaftswissenschaftliche Fragestellungen fokussiert. Auch die anvisierte Verzahnung von Wissenschaft und Praxis war gegeben: Einerseits waren mit Bamberg, Bielefeld, Freiberg, Freiburg, Halle, Jena, Leipzig, München und Rostock Universitäten aus dem Inland und – mit Lancaster und Innsbruck – aus dem Ausland vertreten. Andererseits wurde die Tagung dadurch bereichert, dass auch Mitarbeiter namhafter Unternehmen – RWE und Taylor Wessing – Beiträge eingereicht hatten. Zudem machten Team und Technik der Alten Mensa es möglich, dass neben



Foto: Marcus Gast

bedingungen –, ist eine kontinuierliche Auseinandersetzung mit M&As geboten.

Dem trägt nicht zuletzt die Fachtagung „Mergers & Acquisitions im Spannungsfeld der Rechts- und Wirtschaftswissenschaften“ Rechnung. Diese findet seit 2010 unter der Schirmherrschaft des M&A Alumni Deutschland e. V. statt und hat schon in der Vergangenheit jeweils Experten aus Wissenschaft und Praxis zusammengebracht. Unter der wissenschaftlichen Leitung von Jutta Stumpf-Wollersheim und Andreas Horsch, die an der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität Bergakademie Freiberg die Professuren für Internationales Management und Unternehmensstrategie sowie für Investition und Finanzierung innehaben – also zwei Disziplinen vertreten, zu deren klassischen Kerngebieten M&As zählen⁴ – fand

im M&A-Kontext beispielsweise Graebner/Heimeriks/Huy/Vaara (2018); Reus/Lamont/Ellis (2016); Trichterborn/Zu Knyphausen-Aufseß/Schweizer (2015); zu einhergehenden finanzwirtschaftlichen Problemstellungen stellvertretend Boyson/Gantchev/Shivdasani (2017); sowie im Überblick Brealey/Myers/Allen (2017), S. 813-842.

1 Vgl. einführend z. B. Haucap (2016).

2 Vgl. hierzu etwa Rusche (2017). Erst Anfang August 2018 untersagte die deutsche Bundesregierung erstmals den Verkauf eines deutschen Unternehmens an chinesische Investoren. Maßgeblich für ihr Veto gegen die Übernahme des mittelständischen Maschinenbauers Leifeld Metal Spinning waren „sicherheitspolitische Erwägungen“, vgl. o.V. (2018).

3 Vgl. als Standardwerke für den angelsächsischen Sprachraum DePamphilis (2017) sowie für den deutschsprachigen Raum Wirtz (2016).

4 Vgl. zu strategiebezogenen Fragestellungen

klassischen Vorträgen auch eine skype-gestützte Präsentation eines Beitrags stattfinden konnte, die anderenfalls hätte entfallen müssen.

Den Auftakt im ersten Track machte Dr. Steffen Hundt, Habilitand am Freiburger Finanzierungslehrstuhl, der in seinem Paper Akquisitionen von FinTechs durch Banken aus der Perspektive der betroffenen Anteilseigner beleuchtete. FinTechs gehören zu den meistdiskutierten institutionellen Innovationen auf den Finanzmärkten der Gegenwart, die die Geschäftsmodelle der etablierten Finanzintermediäre in Frage stellen. Diese stehen daher vor der fundamentalen ökonomischen Auswahlentscheidung⁵ zwischen *Make or Buy* – der sich der Vortragende aus einer Shareholder(-Value)-Perspektive widmete, um aufzuzeigen, warum und mit welchem Erfolg Banken bisher welche Strategie im Umgang mit FinTechs präferieren. Der zweite Track wurde durch Martin Bialluch, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Bürgerliches Recht, Handels- und Wirtschaftsrecht der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg eröffnet. Er referierte über die Ausstrahlungswirkungen des Umwandlungsgesetzes und bereicherte die Tagung somit, indem er sich rechtlichen Grundfragen im M&A-Kontext widmete. Sebastian Dewanger, Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Department of Strategic

Management, Marketing & Tourism der Universität Innsbruck, referierte in seinem gemeinsamen Vortrag mit Florian Bauer, Professor in Strategy, Entrepreneurship & Innovation an der Lancaster University Management School, zu „Strategic orientations, acquisitive growth, and continuous adaptation“. Durch den Vortrag wurde die Tagung nicht nur inhaltlich aufgewertet, sondern erhielt mit PLS- und Mediationsanalysen auch methodisch eine besondere Note. Obgleich an dieser Stelle alle Vorträge der Tagung mit ihren verschiedenen inhaltlichen Schwerpunkten

⁵ Sie ist nicht zuletzt Gegenstand einer der zentralen Arbeiten eines der bedeutendsten Vertreter der Neuen Institutionenökonomik, des Nobelpreisträgers Ronald Coase, vgl. Coase (1937). Vgl. mit Bezug hierauf im M&A-Kontext aktuell auch Garzella/Fiorentino (2016), bes. S. 9–34.

als erkenntnis- und gewinnbringend angeführt werden könnten, soll an dieser Stelle abschließend noch ein Beitrag der Praxis besonders hervorgehoben werden: So rundete Christian Schröder von der RWE AG die Konferenz mit einem juristischen Vortrag zum Thema „Kaufpreismechanismen, insbesondere Earn-Out-Klauseln in Unternehmenskaufverträgen – Kritische Analyse rechtlicher Ausgestaltungsmöglichkeiten“ ab und sorgte dafür, dass auch die Perspektive der Praxis nicht zu kurz kam. Insgesamt umfasste das Tagungsprogramm die folgenden, hiernach alphabetisch sortierten Beiträge:

- **Christian Altenhofen** (Taylor Wessing Partnerschaftsgesellschaft mbB): Non-Disclosure Agreements: Rechtliche Hintergründe und konzeptionelle Anforderungen an die Praxis

private equity firms pay for synergies?

- **Prof. Dr. Michael Hinner** (TU Bergakademie Freiberg): The cultural perspective of mergers & acquisitions: An exploratory study
- **Dr. Steffen Hundt** (TU Bergakademie Freiberg): Banks acquire FinTechs – A shareholder perspective
- **Julian Kaboth, Maximilian Schreiter und Prof. Dr. Bernhard Schwetzler** (HHL Leipzig): Liquidationspräferenzen und ihre Bedeutung für Venture Capital Finanzierungen
- **Prof. Dr. Michael Leyer** (Universität Rostock): Acquiring IT teams by M&A to digitize operations. How does it work?
- **Daniel Moradi Kahlou und Benjamin Moradi Kahlou** (Universität Bielefeld): Wettbewerbsneutralität durch die Market Abuse Directive – Ein Vortrag über das europäische Insiderhandelsverbot unter besonderer Berücksichtigung von M&A-Transaktionen



Auf dem Podium, v.l. Prof. Andreas Horsch, Prof. Jutta Stumpf-Wollersheim und Dr. Gerrit Stumpf

Foto: Marcus Gost

- **Dr. Ruben Becker** (Freiberuflicher Unternehmensberater): Von Einhornern und Milliardenären
- **Martin Bialluch** (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg): Die Ausstrahlungswirkungen des Umwandlungsgesetzes
- **Sebastian Dewanger** (Universität Innsbruck) und **Prof. Dr. Florian Bauer** (Lancaster University): Strategic orientations, acquisitive growth, and continuous adaptation
- **Maximilian Fleischer, Thi Kieu Oanh Noack und Prof. Dr. Harald Jansen** (Universität Jena): Informationswirkungen steuerlicher Vorteile auf die Grenzpreisbildung – Eine Analyse am Beispiel grenzüberschreitender Unternehmenserwerbe
- **Dr. Benjamin Hammer** (HHL Leipzig), **Nils Janssen** (HHL Leipzig), **Prof. Dr. Denis Schweizer** (Concordia University) und **Prof. Dr. Bernhard Schwetzler** (HHL Leipzig): Do

longest überfällige Errungenschaft?

- **Fabian Reck und Philipp Wehn** (Otto-Friedrich-Universität Bamberg): Buy vs. Partner? Entwicklung eines strategischen Entscheidungstools für die Softwareindustrie
- **Christian Schröder** (RWE AG): Kaufpreismechanismen, insbesondere Earn-Out-Klauseln in Unternehmenskaufverträgen – Kritische Analyse rechtlicher Ausgestaltungsmöglichkeiten
- **Jan Singbartl** (Ludwig-Maximilians-Universität): Der Diskussionsentwurf zur Musterfeststellungsklage – notwendiges Übel oder

längst überfällige Errungenschaft?

- **PD Dr. Marco Staake** (Universität Leipzig): Hauptversammlungskompetenzen beim Beteiligungserwerb
- **Georg Strangalies** (TU Bergakademie Freiberg): Digitalisierung als ein Erfolgsfaktor für M&A-Transaktionen: Ein konzeptioneller Ansatz
- **Lukas Wernert** (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg): Die Rolle des „Committee on Foreign Investment in the United States“ bei Transaktionen mit US-Bezug.

Die Schirmherrschaft des M&A Alumni Deutschland e. V. machte es möglich, dass nicht nur das Vortragsprogramm hochklassig ausfiel: Vom Catering bis hin zum Rahmenprogramm konnte den Konferenzteilnehmern einiges geboten werden, sodass es sich um eine rundum gelungene Veranstaltung handelte. Der Kern des Rahmenprogramms bestand aus

einer Befahrung der Reichen Zeche, in deren Verlauf die Referenten des Tages vom kundigen Tourguide umgehend in Zuhörer verwandelt wurden – und sich alsbald Fragestellungen gegenüber sahen, die weder wirtschafts- noch rechts-, sondern montanwissenschaftlich waren. Obwohl das Konferenzprogramm bei allen Facetten kein Bergbauthema umfasst hatte⁶, ließ sich diese unerwartete Prüfung von den Exkursionsteilnehmern mit vereinten (Geistes-)Kräften bewältigen, sodass am Ende alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer guter Dinge zurück ans Tageslicht kamen.

Ein gemeinsames Abendessen im Ratskeller beschloss den Veranstaltungstag. Aufgrund des ausgesprochen positiven Feedbacks von Referenten, Teilnehmern und seitens des Vereins ist anzunehmen, dass auch künftige Auflagen dieser Konferenz in Freiberg stattfinden werden. Nach der Konferenz ist insoweit vor der Konferenz. Genaugenommen ist aber auch die

⁶ Untersuchenswert erscheint unverändert insbesondere die Transaktion Glencore-Xstrata, deren wissenschaftliche Aufarbeitung bis heute überschaubar geblieben ist, vgl. zur Einführung pointiert („The Biggest Company You never Heard of“) Onstad/MacInnis/Webb (2011).

5. Fachtagung noch nicht wirklich abgeschlossen, vielmehr hält die Erstellung des zugehörigen Tagungsbands, der Anfang 2019 im renommierten Springer Gabler Verlag erscheinen wird⁷, die wissenschaftliche Leitung als Herausgeber und eine Auswahl der Vortragenden als Autorinnen und Autoren in Atem.

Zitierte Literatur

- Boyson, N. M./Gantchev, N./Shivdasani, A. (2017): Activism mergers, in: *Journal of Financial Economics*, Vol. 126, Nr. 1, S. 54-73.
- Brealey, R. A./Myers, S. C./Allen, F. (2017): *Principles of Corporate Finance*, 12. Aufl., New York (McGraw-Hill).
- Coase, R. H. (1937): The Nature of the Firm, in: *Economica*, New Series, Vol. 4, Nr. 16, S. 386-405.
- DePamphilis, D. (2017): *Mergers, Acquisitions, and Other Restructuring Activities – An Integrated Approach to Process, Tools, Cases, and Solutions*, 9. Aufl., Amsterdam et al. (Elsevier Academic Press).
- Garzella, S./Fiorentino, R. (2016): Synergy Value and Strategic Management – Inside the Black Box of Mergers and Acquisitions, Cham et al. (Springer International).
- Graebner, M. E./Heimeriks, K. H./Huy, Q. N./Vaara, E. (2018): The Process of Post-Merger Integration: A Review and Agenda for Future Research, in: *Academy of Management Annals*, Vol. 11, Nr. 1, S. 1-32.

⁷ Stumpf-Wollersheim/Horsch (in Vorb.).

- Haucap, J. (2016): Fusion Bayer/Monsanto: Erlahmt die Innovationsdynamik? in: *Wirtschaftsdienst*, Vol. 96, Nr. 10, S. 704f.
- o.V. (2018): Übernahme geplätzt – Berlin untersagt vorsorglich Firmenverkauf an Chinesen, in: *ZEIT online*, 1.8.2018, <https://www.zeit.de/news/2018-08/01/berlin-untersagt-vorsorglich-firmenverkauf-an-chinesen-180801-99-381815#!top-of-overscroll>, abgerufen am 3.8.2018.
- Onstad, E./MacInnis, L./Webb, Q. (2011): The biggest company you never heard of, Thomson Reuters Special Report, Baar (Thomson Reuters), <http://graphics.thomsonreuters.com/specials/glencore.pdf>, abgerufen am 7.8.2018.
- Reus, T.H./Lamont, B. T./Ellis, K. M. (2016): A Darker Side of Knowledge Transfer Following International Acquisitions, in: *Strategic Management Journal*, Vol. 37, Nr. 5, S. 932-944.
- Rusche, C. (2017): Aktivitäten chinesischer Investoren in Deutschland, in: *IW-Trends – Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung*, Vol. 44, Nr. 2, S. 41-59.
- Stumpf-Wollersheim, J./Horsch, A. (Hrsg., in Vorbereitung): *Forum Mergers & Acquisitions 2019 – Beiträge aus rechts- und wirtschaftswissenschaftlicher Sicht*, Heidelberg et al. (Springer Gabler).
- Trichterborn, A./Zu Knyphausen-Aufseß, D./Schweizer, L. (2016): How to Improve Acquisition Performance: The Role of a Dedicated M&A Function, M&A Learning Process, and M&A Capability, in: *Strategic Management Journal*, Vol. 7, Nr. 4, S. 763-773.
- Wirtz, B. W. (2016): *Mergers & Acquisitions Management: Strategie und Organisation von Unternehmenszusammenschlüssen*, 4. Aufl., Heidelberg et al. (Springer Gabler).

GEOSax – Geophysikalische Explorationsmethoden zur Erkundung von Erzvorkommen im Erzgebirge

Olaf Hellwig, Mathias Scheunert, Klaus Spitzer

Fünf Nachwuchsforscher der TU Bergakademie Freiberg und der TU Chemnitz aus den Fachbereichen Geophysik, Informatik und numerische Mathematik entwickeln gemeinsam im Projekt GEOSax seit Oktober 2017 Verfahren zur geophysikalischen Erkundung und Bewertung von Rohstoffvorkommen im Kristallin des Erzgebirges.

Der Freistaat Sachsen fördert die Nachwuchsforschergruppe über die Sächsische Aufbaubank mit 1,5 Mio. Euro aus dem Europäischen Sozialfonds über einen Zeitraum von drei Jahren. Dieses fächerübergreifend angelegte Projekt ermöglicht den Nachwuchswissenschaftlern, sich in einem anspruchsvollen Themenfeld zu qualifizieren, das nicht nur bei der Erschließung von Rohstoffen im Erzgebirge eine Rolle spielt, sondern weltweit bei der Nutzbarmachung mineralischer Rohstoffe von großer Bedeutung ist.

GEOSax als interdisziplinäre Forschungsplattform

Der Rohstoffreichtum des Erzgebirges war in der Vergangenheit mehrfach Ausgangspunkt für wegweisende technologische Entwicklungen. Auch die Gründung der Bergakademie in Freiberg als erste höhere technische Bildungseinrichtung in Sachsen im Jahre 1765 steht im Zusammenhang mit der erfolgreichen Wiederbelebung des Bergbaus und der Wirtschaft nach der Niederlage Sachsens im Siebenjährigen Krieg. Das Erzgebirge blickt auf eine lange Tradition als Bergbaustandort zurück. Der Reichtum an mineralischen Rohstoffen und das Berg- und Hüttenwesen waren wichtige Antriebskräfte der frühen Industrialisierung Sachsens. Die Blütezeit des großen Bergbaus im Erzgebirge fand erst mit der Einstellung der Urangewinnung um 1990 ihr Ende. Der weltweit

wachsende Bedarf an Ressourcen und der damit verbundene Anstieg der Rohstoffpreise führen derzeit wieder zu einem steigenden Interesse sowohl an alten und zum Teil unerschlossenen Erzlagerstätten als auch an der Erkundung von bisher unentdeckten Vorkommen. Zu den bekannten sächsischen Lagerstätten zählen u.a. Zinnvorkommen im Vogtland (Gottesberg) und im Erzgebirge (Geyer, Altenberg, Ehrenfriedersdorf), Seltene Erden bei Storkwitz nahe Leipzig, Flussspatvorkommen (Niederschlag) und Lithium (Altenberg) im Erzgebirge sowie Kupfervorkommen in der Lausitz. Das Projekt GEOSax greift die aktuelle Entwicklung auf. Die Nachwuchsforschergruppe arbeitet daran, dass immer noch vorhandene Rohstoffpotenzial durch die Weiterentwicklung geophysikalischer Verfahren und mit Hilfe neuer Datenverarbeitungsstrategien nutzbar



ESF-Nachwuchsforschergruppe (v.l.n.r.): Prof. K. Spitzer, Dr. O. Hellwig, Prof. H. Schaeben, Dr. M. Scheunert, R. Gootjes, Prof. H. Jasper, G. Semmler, Prof. M. Eiermann, C. Löschner, D. Heidrich, J. Blechta, R. Schulz, Prof. O. Ernst, Prof. S. Buske

zu machen. Für die wirtschaftliche Bewertung und eine mögliche zukünftige Erschließung von Lagerstätten ist neben dem vorhandenen Wissen aus mehreren Jahrhunderten intensiven Bergbaus eine weitere geophysikalische Erkundung auf dem aktuellen Stand der Technik zwingend erforderlich.

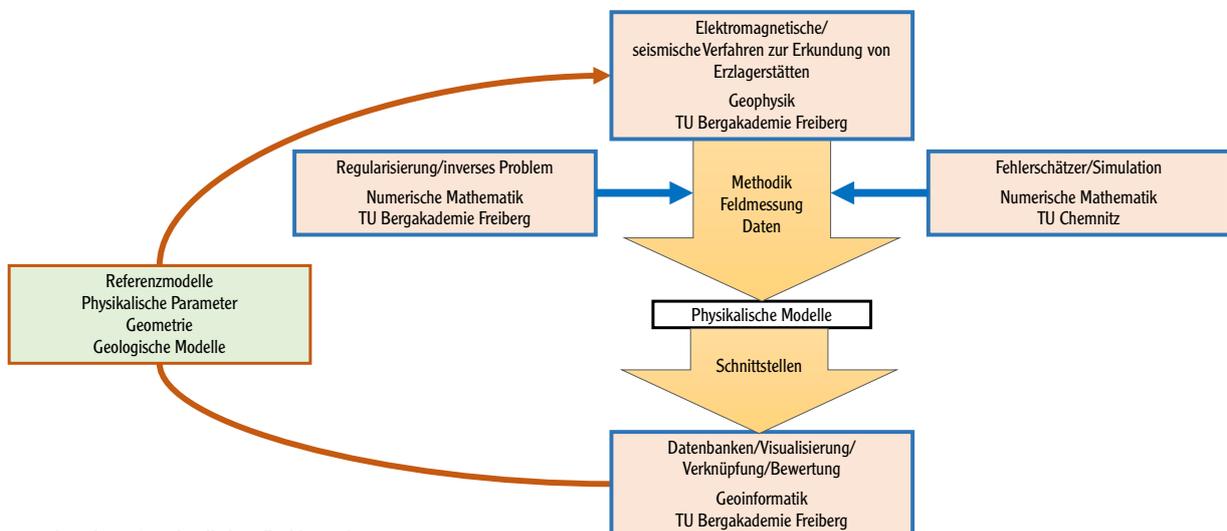
Neben dem Vorhandensein von mineralischen Rohstoffen zeichnet sich das Erzgebirge auch als ein potenzieller Standort für eine tiefengeothermale Nutzung aus, welche im Gegensatz zur Nutzung von Wind- und Solarenergie unabhängig von tages- und jahreszeitlichen Schwankungen möglich ist. Die sichere und zuverlässige Erschließung dieser regenerativen Energiequelle ist auf eine genaue Kenntnis der geologischen Struktur des Untergrunds angewiesen, die nur durch geophysikalische Verfahren zerstörungsfrei ermittelt werden kann. Ebenso wichtig

ist das Wissen über die Geologie für die Realisierung großer Infrastrukturprojekte wie z. B. für den Erzgebirgsbasistunnel im Osterzgebirge als Teil einer schnellen, leistungsfähigeren Eisenbahnverbindung zwischen Dresden und Ústí nad Labem. Nicht zuletzt schaffen geophysikalische Daten eine Grundlage für die Bewertung von Altlasten und Deponien und stellen einen Ausgangspunkt für die Kampfmittelberäumung dar.

Bei der Erschließung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten in Sedimentgesteinen hat die interdisziplinäre Charakterisierung mit geophysikalischen und geowissenschaftlichen Methoden bereits ein sehr hohes Niveau erreicht. Dadurch hat sich die Erfolgsquote von wirtschaftlichen Bohrungen und der Erschließung der Lagerstätten deutlich erhöht. Im Gegensatz dazu besteht bei der Erkundung von mineralischen Rohstoffen und geothermalen

Ressourcen im kristallinen Grundgebirge ein hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Er entsteht, da sich die etablierten geophysikalischen Verfahren der Kohlenwasserstoffexploration, insbesondere die 3D- und 4D-Seismik, aber auch Methoden der Controlled-Source-Elektromagnetik, nicht ohne Weiteres auf mineralische Lagerstätten übertragen lassen. Dies beginnt bereits bei der Datenakquise, da sich die Sensitivitäten der üblicherweise in sedimentären Umgebungen verwendeten Messkonfigurationen in Bezug auf die physikalischen Bodenparameter häufig nicht für den Einsatz im Kristallin eignen. Auch die Auswertung der gemessenen Daten für den veränderten Parameterbereich ist im Allgemeinen nur durch eine Anpassung der Algorithmen möglich.

Mit Unterstützung der numerischen Mathematik werden die Methoden der seismischen und elektromagnetischen Erkundung im Hinblick auf die Erfordernisse der Erzerkundung kombiniert und weiterentwickelt. Ziel ist es, physikalische Modelle von Lagerstätten mit hoher Auflösung zur Verfügung zu stellen. Für die Verwaltung, Verknüpfung, Bewertung und Visualisierung dieser neuen sowie bereits existierender Modelle werden darüber hinaus optimierte Datenbankmodelle entwickelt. Das Projekt umfasst zudem Experimente zur Datengewinnung im Versuchs- und Forschungsbergwerk Reiche Zeche der TU Bergakademie Freiberg, bei denen die Erkundung von der Erdoberfläche aus mit unertägigen Messungen verknüpft wird. Die gemessenen Daten werden zum Testen der entwickelten Datenverarbeitungsroutinen verwendet. Zudem sollen auch Untergrundinformationen, wie sie in der Vergangenheit durch unzählige Bohrungen im Erzgebirge zusammengetragen wurden



Zusammenwirken der unterschiedlichen Fachbereiche

Forschungsthema	Verantwortlicher
– Weiterentwicklung elektromagnetischer Verfahren, speziell der numerischen 3D-Inversionsroutinen zur Datenauswertung – Anwendung unter Einbeziehung von kombinierten Oberflächen- und Untertagemessungen sowie von Bohrlochmessungen – Durchführung virtueller Experimente auf Grundlage erstellter Leitfähigkeitsmodelle zur Erarbeitung eines Experimentaldesigns	Mathias Scheunert Dr. rer. nat., Geophysiker, TU Bergakademie Freiberg
– Adaption und Weiterentwicklung seismischer Erkundungsverfahren, speziell der seismischen Abbildungsverfahren – Anwendung unter Einbeziehung von kombinierten Oberflächen- und Untertagemessungen – 3D-Modellierung der seismischen Wellenausbreitung unter Berücksichtigung eines Grubengebäudes	Olaf Hellwig Dr. rer. nat., Geophysiker, TU Bergakademie Freiberg
– Einrichtung einer Datenbank als Kommunikationsdrehscheibe für die Projektpartner und die Außendarstellung – Weiterentwicklung des eigenen GST-Datenmodells. Automatisierung der Organisation intelligenter Visualisierungen sowie Integration und Auswertung der Daten mit Big-Data-Technologien und Machine-Learning-Verfahren	Georg Semmler M. Sc., Geoinformatiker, TU Bergakademie Freiberg
– Entwicklung von Parametrisierungs- und Vorkonditionierungsstrategien zur wesentlichen Beschleunigung der 3D-Inversionsroutinen – ebenfalls bezogen auf diese Anwendung: Entwicklung von Transferoperatoren zwischen Ebenen der Parameterhierarchie – Analyse der numerischen Algorithmen (Stabilität, Konvergenzverhalten)	Richard Gootjes M. Sc., Mathematiker, TU Bergakademie Freiberg
– Entwicklung adaptiver Finite-Element-Methoden zur Approximation elektromagnetischer Feldgrößen – dazu: Implementierung von Fehlerschätzern zur adaptiven Gittergenerierung und -steuerung – Anwendung auf die Bereiche der geophysikalischen, elektromagnetischen Verfahren im Zeit- und Frequenzbereich (CSEM, TEM, und MT)	Jan Blechta M. Sc., Mathematiker, TU Chemnitz

(allein im Geoarchiv des Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Freiberg lagern 120 Kilometer Bohrkerne), als A-priori-Informationen mit in die Auswertung einfließen.

Qualifikation und Vernetzung

Neben der Forschung im Themenfeld der Erschließung von Rohstoffen im Erzgebirge besteht ein wesentlicher Teil der Ziele des Projekts GEOSax in der Qualifikation der Nachwuchswissenschaftler in den Bereichen soziale Kompetenzen, Projektmanagement und der universitären Lehre. Innerhalb der Projektlaufzeit soll so die Fähigkeit erworben werden, kollaborativ in interdisziplinären, interprofessionellen, branchenübergreifenden und internationalen Kontexten zu arbeiten. Dabei kann auf ein breitgefächertes Portfolio an Weiterbildungs- und Förderangeboten der Graduierten- und

Forschungsakademie der TU Bergakademie Freiberg, des Career Service der TU Chemnitz, des Gründungsnetzwerks SAXEED sowie auf Angebote der IHK Chemnitz u.v.m. zurückgegriffen werden. Die Nachwuchswissenschaftler können so Kompetenzen erwerben, die ihnen im Zug der zunehmenden Digitalisierung der Arbeitswelt herausragende Chancen auf dem Arbeitsmarkt verleihen – auch außerhalb von Sachsen – und weit über geophysikalische Anwendungen hinaus.

Die praxisorientierte Forschung und der starke regionale Bezug im Projekt GEOSax bieten den Nachwuchswissenschaftlern eine erstklassige Möglichkeit zum Einstieg in die breitgefächerte Rohstoffwirtschaft und Forschungseinrichtungen Sachsens (allein das Geokompetenzzentrum Freiberg listet über 100 Geobetriebe in der Region). Weil Wirtschaftswachstum und zukunftssichere Arbeitsplätze

heute auf der raschen Umsetzung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und Technologien beruhen, benötigen diese Firmen Mitarbeiter, die auf dem neuesten Stand in Bezug auf geophysikalische Explorationsmethoden sowie ihrer algorithmischen und softwaretechnischen Realisierung sind. Daneben wird es in Zukunft zunehmend erforderlich sein, mit Geomodellen aus Datenbanken operieren zu können. Mithilfe der innerhalb des Projekts exzellent ausgebildeten Fachkräfte als neue Mitarbeiter können sächsische Unternehmen ihre Position weiter ausbauen sowie zusätzliche Betätigungsfelder und neue Arbeitsplätze schaffen.

Weitere Hinweise zur ESF-Nachwuchsforschergruppe sowie aktuelle Informationen finden Sie auf unserer Internetseite: <https://tu-freiberg.de/geosax>



rECOMine – Regionales Netzwerkprojekt für ressourcenorientierte Umwelttechnologien

Jens Grigoleit, Philipp Büttner, Alexander Hesse, Urs A. Peuker, Jens Gutzmer



WIR! – Wandel durch Innovation in der Region

Mit dem regionalen Verbundvorhaben „rECOMine – Ressourcenorientierte Umwelttechnologien für das 21. Jahrhundert“ beteiligen sich die TU Bergakademie Freiberg und das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologien (HIF) gemeinsam mit weiteren Partnern am BMBF-Programm „WIR! – Wandel durch Innovation in der Region“. Mit diesem Programm sollen durch die Förderung regionaler themenbezogener Innovationscluster Leuchttürme für den Strukturwandel

geschaffen werden, von denen Impulse für die wirtschaftliche Entwicklung ganzer Regionen ausgehen, wobei in der aktuellen Ausschreibung der Fokus vor allem bei den strukturschwachen ländlichen Regionen in Ostdeutschland liegt. Von ursprünglich 105 eingereichten Konzepten wurden 32 Vorhaben mit besonders guten Erfolgsaussichten ausgewählt und aufgefördert, sich mit entsprechend fundierten Innovationskonzepten für eine Förderung im Umfang von bis zu 15 Mio. EUR zu bewerben, darunter auch das Bündnis rECOMine.

Regionale Umwelt- und Ressourcenkompetenz als Basis

Neben der nicht zuletzt durch die TU Bergakademie Freiberg und das HIF repräsentierten Ressourcen- und Rohstoffkompetenz hat sich in den vergangenen Jahrzehnten vor allem die Umwelttechnologie als Wirtschafts- und Innovationsschwerpunkt für die Region Erzgebirge etabliert. Mehr als 10 Mrd. EUR, die seit der Wiedervereinigung in die Sanierung von Hinterlassenschaften des jahrhundertelangen Bergbaus und Hüttenwesens investiert wurden, haben

ein Experten- und Erfahrungswissen entstehen lassen, das weltweit einzigartig ist, mit dem Abschluss und der Einstellung der großen Sanierungsprojekte jedoch verloren zu gehen droht.

Der weltweit steigende Bedarf an seltenen Materialien und Rohstoffen für Hochtechnologieanwendungen, wie Gallium, Indium oder Germanium, aber auch Silber, haben das Interesse an einer einheimischen Rohstoffgewinnung wiedererstarken lassen. Neben dem bereits laufenden Fluss- und Schwerspatbergbau in Niederschlag befinden sich weitere Bergbauprojekte im Erzgebirge in Vorbereitung und werden in den nächsten Jahren in Produktion gehen. In beiden Bereichen, der Umwelttechnik wie der Rohstoffgewinnung, sind die TU Bergakademie Freiberg und das HIF sehr aktiv und arbeiten eng mit der regionalen Wirtschaft zusammen.

Die innovative Idee hinter rEComine besteht nun darin, beide Technologiezweige miteinander zu verknüpfen, so dass einerseits die Ressourcenpotenziale vorhandener Altlastenstandorte im Zuge der Sanierung besser genutzt sowie andererseits neuartige, umweltgerechte Gewinnungsverfahren auch für neue Bergbauprojekte erschlossen werden können.

Die besondere technologische Herausforderung liegt dabei in der wirtschaftlichen Nutzbarmachung geringkonzentrierter, disperser Rohstoffquellen, wie bspw. der von Gruben- oder Sickerwässern aus Abraum- und Aufbereitungshalden mittels innovativer technologischer Prozessketten bei gleichzeitiger Automatisierung und Miniaturisierung der erforderlichen Anlagentechnik.

Innovationsfeld ressourcenorientierte Umwelttechnologien

Für die Wirtschaftlichkeit von Ressourcentechnologien spielen Skaleneffekte bis heute die entscheidende Rolle, d. h., die praktische Umsetzung muss in großtechnischen Anlagenkomplexen mit einer hohen Auslastung erfolgen, was eine kleinmaßstäbliche Gewinnung und Verarbeitung untragbar macht. Dieser Grundsatz soll durch den Einsatz innovativer Verfahren und vernetzte Automatisierung einer Vielzahl von Kleinanlagen, die u. U. auch mobil in Containern untergebracht werden können, ausgehebelt werden, so dass sich die Ressourcenpotenziale auch kleiner Rohstoffvorkommen wirtschaftlich erschließen lassen.

Im Kontext von Altbergbaugebieten und deren umwelttechnischer Sanierung

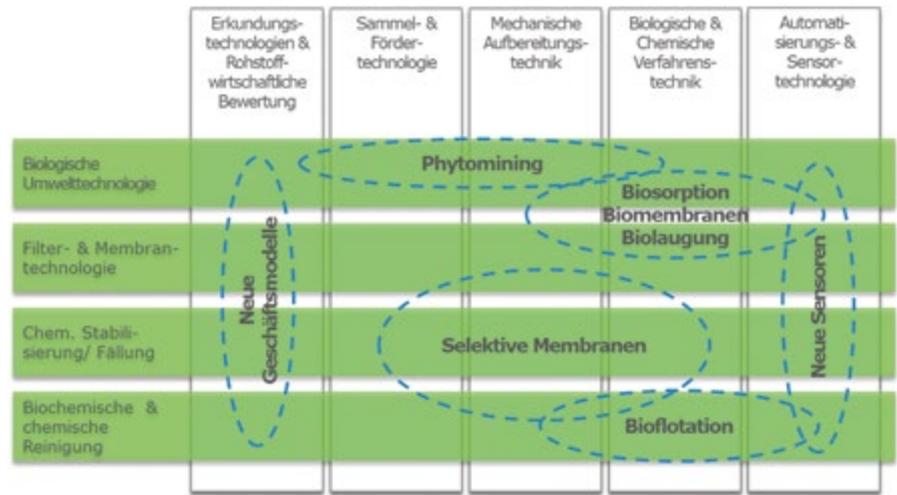


Abbildung 1: Schnittstellen zwischen Umwelt- und Ressourcentechnologie für rEComine und eine Auswahl möglicher Themen für F&E Projekte in der Umsetzungsphase

lässt sich auf diese Weise eine doppelte Rendite realisieren, da durch die Extraktion ausgewählter Stoffe einerseits Umweltgefährdungen vermindert und gleichzeitig wirtschaftsstrategisch relevante Rohstoffe gewonnen werden können. Damit können auch die heute noch oft gesehenen Gegensätze zwischen Umweltschutz und Rohstoffwirtschaft überbrückt und bisher als Schadstoffquelle und Altlasten betrachtete Objekte zu Wertstoffträgern und Wertschöpfungspotenzialen qualifiziert werden.

Die im Erzgebirgsraum vorkommenden Bergbauhinterlassenschaften und dispersen Rohstoffvorkommen stehen exemplarisch für ähnlich geartete Roh- und Reststofflager weltweit, so dass die am regionalen Beispiel erarbeiteten Technologien international an vielen Standorten zum Einsatz kommen können. Sie können dabei einerseits – wie hierzulande – zur umweltgerechten Sanierung von Altlastenstandorten eingesetzt werden und damit teilweise die Kosten entsprechender Sanierungsvorhaben kompensieren. Andererseits lassen sich die Verfahren jedoch auch dazu nutzen, die Rohstoffgewinnung von vorn herein umweltgerechter zu betreiben. Beides kommt sowohl dem auch in Schwellen- und Entwicklungsländern erstarkenden Umweltbewusstsein als auch der ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit neuer Bergbauvorhaben zugute.

Gleichzeitig eröffnen sich Potenziale zur weltweiten Vermarktung von in Sachsen entwickelten Innovationen und hier produzierten Erzeugnissen des Maschinen- und Anlagenbaus, von denen einschlägige Unternehmen im Erzgebirgsraum profitieren

können. Damit sollte es gelingen, neue, hochwertige Arbeitsplätze wie auch die in der Region vorhandenen Kompetenzen in der Rohstoffgewinnung und Umwelttechnologie langfristig zu erhalten.

Vorhaben rEComine

Dem zuvor beschriebenen Konzept folgend sind in die Vorbereitung und Umsetzung von rEComine Akteure aus allen einschlägigen Kompetenzbereichen der Ressourcen- und Umwelttechnologien, der Sensorik, der Robotik- und der Automatisierungstechnik sowie des Maschinen- und Anlagenbaus in einem gemeinsamen Verbund involviert, um zusammen die wirtschaftlichen Potenziale einer umweltgerechten Rohstoffgewinnung aus dispersen Quellen zu erschließen.

Aufgabe der TU Bergakademie Freiberg und des Helmholtz Instituts Freiberg ist die Einbringung ihrer Kompetenzen im Bereich der Verfahrensentwicklung, der minimalinvasiven und umweltgerechten Rohstoffgewinnung, der sich anschließenden Aufbereitungs- und Veredelungsprozesse sowie der zugehörigen Sensorik. Weitere Partner haben eine hohe Expertise im Bereich der Anlagen- und Anwendungstechnik sowie der autonomen Prozesssteuerung. Als zentrale Partner sind die SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft und die Wirtschaftsförderung Erzgebirge eingebunden.

Während viele der zum Einsatz vorgesehenen Technologien konzeptionell bzw. im Laborbereich bereits untersucht werden, erweist sich eine praktische Erprobung und Weiterentwicklung der Verfahren unter realen Umweltbedingungen oft als eine große Hürde, was insbesondere

auch mit den einzuholenden behördlichen Genehmigungen zusammenhängt. Eines der Hauptelemente von rECOMine besteht deshalb in der Schaffung und Einrichtung von Versuchs- und Demonstrationsstandorten (sogenannten Entwicklungsstandorten bzw. Reallaboren), jeweils zugeschnitten auf die verschiedenen Altlastentypen (Halden, Schlacken, Grubenwässer) für die möglichst anwendungsnahe Entwicklung von Ressourcen und Umwelttechnologien. So soll im Rahmen des Vorhabens die bereits seit einiger Zeit verfolgte Initiative zur Entwicklung einer Forschungshalde am Davidschacht in Freiberg weiterverfolgt und umgesetzt werden. Weitere Demonstrationsstandorte sollen unter anderem der Aufbereitung von As-, Cd- und U-reichen Bergbau- und Haldensickerwässern gewidmet sein.

Sowohl für die Forschung und Lehre als auch für die beteiligten Unternehmen bieten die geplanten Versuchs- und Demonstrationsstandorte weltweit einmalige Bedingungen und dürften damit nachhaltig weitere Innovationen fördern. Neben dem Forschungs- und Lehrbergwerk würde eine weitere, im europäischen Maßstab bedeutende Forschungsinfrastruktur entstehen, die Sachsen als Standort der Umwelt- und Ressourcenforschung nachhaltig stärkt.

Ausblick

Das durch ein zentrales Koordinatsteam unter Mitwirkung der genannten

Partner erarbeitete Innovationskonzept wurde im Oktober 2018 dem zuständigen Projektträger Jülich und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung übergeben, es befindet sich gegenwärtig in der Phase der Begutachtung. Im Erfolgsfall können die vorgesehenen Vorhaben ab Frühjahr 2019 beginnen.

Die Laufzeit der initialen Förderphase beträgt fünf Jahre, das seitens des BMBF vorgesehene Fördervolumen liegt nach einer Zwischenevaluierung (nach zwei Jahren) bei insgesamt ca. 15 Mio. EUR, wobei ergänzend weitere Fördermittel bei der EU sowie beim Land beantragt werden sollen, so dass von einem Gesamt-Finanzierungsvolumen von ca. 20 Mio. EUR bis 2025 ausgegangen wird.

Parallel zur Erschließung der geplanten Demonstrationsstandorte sollen jährlich mehrere Einzel-FuE-Vorhaben in einem verbundinternen Ausschreibungsprozess ausgewählt werden, die eine Förderung im Rahmen von rECOMine erhalten.

Für die TU Bergakademie Freiberg und das HIF ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, am hier beschriebenen Vorhaben aktiv mitzuarbeiten und dauerhaft von den zu schaffenden Strukturen zu profitieren. Dabei sind von der Mathematik und Informatik über die Geowissenschaften, die Chemie und Verfahrenstechnik, den Maschinen- und Anlagenbau sowie die Material- und Werkstoffforschung bis hin zu den Wirtschaftswissenschaften fast sämtliche Fachbereiche angesprochen

und zur interdisziplinären Zusammenarbeit aufgerufen.

Mit dem Vorhaben eröffnen sich gleichzeitig nachhaltige Perspektiven für die Region – sowohl in Hinblick auf die Entwicklung als Forschungsstandort als auch im Hinblick auf die Schaffung von wirtschaftlichen Wachstums- und Beschäftigungspotenzialen. So soll das Vorhaben eine engere Zusammenarbeit der TU Bergakademie Freiberg und des Helmholtz Instituts Freiberg mit regionalen Unternehmen und Institutionen fördern und damit die Sichtbarkeit und Wirksamkeit beider Einrichtungen in der Region stärken.

Für die Unternehmen bietet die Kooperation einen Zugang zu neuesten Technologien und Ergebnissen aus der Forschung, Kontakt mit hochqualifizierten Fachkräften und nationalen wie internationalen Innovationsnetzwerken, wie dem EIT Raw-Materials sowie weltweiten Kontakten, die zum Aufbau von Geschäftsbeziehungen genutzt werden können.

Im Erfolgsfall soll rECOMine ein Zugpferd und Leuchtturm für die wirtschaftliche Entwicklung und den Strukturwandel in der Erzgebirgsregion werden, wovon die regionalen Unternehmen und Forschungseinrichtungen, aber auch die Bevölkerung, nachhaltig profitieren.

Weitere Informationen zum Vorhaben rECOMine:
www.recomine.net



Abbildung 2: Spülsandhalde Davidschacht als vorgesehener Demonstrationsstandort für ressourcenorientierte Umwelttechnologien

Netzwerkprojekt Leichtbau-Allianz Sachsen

Rudolf Kawalla, Julia Bachmann, Jens Grigoleit

Hintergrund der Vereinsgründung

Am 30. Oktober 2017 erfolgte unter Mitwirkung verschiedener im Bereich der Leichtbau-Technologien tätiger sächsischer Forschungseinrichtungen die Gründung des Leichtbau-Allianz Sachsen e. V. als übergreifende wissenschaftliche Plattform der Leichtbauforschung in Sachsen. Ziel des Vereins ist die Stärkung der Kooperation zwischen den in Sachsen ansässigen und im Bereich der Leichtbautechnologien forschenden Kompetenzträger. Durch die Bündelung und ein gemeinsames Auftreten soll die Sichtbarkeit Sachsens als national und international bedeutendes Zentrum der Leichtbauforschung unterstützt werden. Mit der Entwicklung und Anwendung von Leichtbautechnologien, die in vielen Bereichen zu den wichtigsten Innovationstreibern zählen, geht es zugleich darum, die wirtschaftliche Entwicklung Sachsens zu fördern.

Mit 27 im Bereich der Leichtbauforschung tätigen Einrichtungen, darunter acht Hochschulen, weist der Freistaat Sachsen eine der höchsten Konzentrationen an wissenschaftlichen Kompetenzträgern im Bereich des Leichtbaus auf. Diese decken sämtliche relevanten Gebiete der Forschung ab – von der Entwicklung und Verarbeitung innovativer Werkstoffe über den konstruktiven und funktionsintegrativen Leichtbau bis hin zur Entwicklung neuer Anwendungen und Nutzungsformen. Auch an den drei Technischen Universitäten des Freistaates nimmt die Leichtbauforschung breiten Raum ein.

Der Leichtbau ist eine der wichtigsten Schlüsseltechnologien für die die sächsische Wirtschaftslandschaft prägenden Branchen des Fahrzeug-, Flugzeug-, Maschinen- und Anlagenbaus sowie deren Zulieferbetriebe, woraus sich exzellente Bedingungen für den verwertungsorientierten Wissens- und Technologietransfer ergeben. Nach Schätzungen der Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH sind sachsenweit ca. 60.000 Arbeitsplätze mehr oder weniger direkt im Bereich der Leichtbautechnologien angesiedelt.

Initiativgebend für die Gründung der Leichtbau-Allianz war das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, das angesichts der insgesamt sehr starken, bisher aber



einrichtungsübergreifend wenig vernetzten Forschungskompetenz im Bereich der Leichtbautechnologien einen intensiveren Austausch, verbunden mit einer besseren Ausschöpfung bestehender Synergiepotenziale, anregte. 2015/16 mit der Entwicklung des gemeinsamen Pilotprojekts „hybCrash“ der drei Technischen Universitäten aus Chemnitz, Dresden und Freiberg begonnen, mündete diese Initiative nun in die Gründung der „Leichtbau-Allianz Sachsen“ als eingetragenen Verein.

Ihren offiziellen Sitz hat die Leichtbau-Allianz Sachsen zunächst an der TU Bergakademie Freiberg, wo inzwischen auch eine Geschäftsstelle eingerichtet wurde. Zum ersten Vorsitzenden des Vorstands wurde Prof. Dr.-Ing. Rudolf Kawalla, Prorektor für Forschung und Direktor des Instituts für Metallformung an unserer Universität, gewählt.

Leichtbauforschung an der TU Bergakademie Freiberg

Die TU Bergakademie Freiberg leistet verschiedene Beiträge zur Forschung zu Leichtbautechnologien. Dies betrifft einerseits die Entwicklung von verbesserten Leichtbauwerkstoffen, bspw. im Bereich der höchstfesten Stähle, der

Leichtmetalllegierungen (u. a. Magnesium und Aluminium) und der metallischen Verbunde (z. B. TRIP-Matrix Composite) sowie von innovativen Verfahren für deren Herstellung und Verarbeitung. Andererseits ermöglichen Entwicklungen im Bereich der additiven Fertigung sowie eine materialsparende, last- und eigenschaftsoptimierte Auslegung von Bauteilen und Komponenten eine Reduktion von deren Masse. Daneben leisten auch die Entwicklung innovativer Materialien mit verbesserten spezifischen Funktionseigenschaften sowie von Sensor- und Aktormaterialien, die eine Funktionsintegration und damit den Verzicht auf zusätzliche Komponenten ermöglichen, Beiträge zum Leichtbau. Ein ebenfalls wichtiger Schwerpunkt ist die Entwicklung von Recyclingverfahren für Leichtbauwerkstoffe, wie bspw. für kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK), für die gegenwärtig noch keine praktikablen Aufbereitungs- und Wiederverwertungsmöglichkeiten bekannt sind.

Mit dem Ressourcenprofil der TU Bergakademie Freiberg ist die Thematik des Leichtbaus dahingehend verknüpft, dass die Reduktion von Produktmassen bspw. im Fahrzeugbau, bei sonstigen mobilen Anwendungen – etwa bei bewegten Bauelementen in Maschinen und Anlagen – bei gleicher Leistungsfähigkeit die erforderlichen Antriebsleistungen sowie damit verknüpft den Energieverbrauch



Abbildung 1: Kompetenzfelder im Bereich der Leichtbauforschung



Foto: Moritz Kahlitz, TU Dresden

Abbildung 2: Gemeinsame Präsentation der Leichtbau-Allianz Sachsen auf der Messe Experience Composites in Augsburg

reduziert. Gleichzeitig kann aufgrund reduzierter Belastungen auch Material in den Tragstrukturen eingespart werden, was ebenfalls unmittelbar den Ressourcenverbrauch senkt. Der Leichtbau leistet somit einen signifikanten Beitrag zur effizienten Ressourcennutzung.

Geplante Aktivitäten der Leichtbau-Allianz Sachsen

Neben der Initiierung und Realisierung weiterer einrichtungsübergreifender Forschungsvorhaben auf Basis einer intensiveren Vernetzung und der Nutzung bestehender Synergiepotenziale soll die Leichtbau-Allianz Sachsen primär die Sichtbarkeit und Positionierung der sächsischen Leichtbauforschung auf europäischer und internationaler Ebene stärken. Hierzu sind gemeinschaftliche

Beteiligungen an nationalen und internationalen Messen sowie Tagungen vorgesehen. Gemeinsam mit der Landesregierung entwickelt der Verbund zudem eine Landestechnologiestrategie für den Leichtbau in Sachsen, auf deren Grundlage die bestehenden Stärken ausgebaut und zukunftsfähig weiterentwickelt werden. Mittelfristig wird das Ziel verfolgt, nach dem Auslaufen des Vorhabens MERGE der TU Chemnitz erneut ein Bundesexzellenzcluster für Leichtbautechnologien in Sachsen zu etablieren. Ein weiterer Schwerpunkt der Leichtbau-Allianz Sachsen besteht in der gemeinsamen Nachwuchsförderung durch Angebote im Bereich Bildung und Berufsorientierung, in der Entwicklung eines universitätsübergreifenden Studiengangs für Leichtbautechnologien sowie in der Zusammenarbeit bei der Betreuung

und Qualifizierung von Promovierenden und Studierenden. Die Leichtbau-Allianz Sachsen versteht sich immer als Partner der sächsischen Wirtschaft und arbeitet dazu eng mit Unternehmen der relevanten Branchen sowie auch mit bestehenden Transferverbänden und Netzwerken im Bereich des Leichtbaus zusammen.

Vernetzung mit schlesischem Leichtbacluster

Parallel zum Aufbau der Leichtbau-Allianz Sachsen entwickeln sich, unterstützt durch die TU Dresden und die TU Bergakademie Freiberg, vergleichbare Strukturen auch in Oberschlesien, wo ein Polnisch-Deutsches Zentrum für hybride Leichtbaustrukturen entstehen soll. Dem im Mai 2018 dafür gegründeten Konsortium gehören neben den beiden sächsischen Universitäten die Schlesische Technische Universität, die Sonderwirtschaftszone Kattowitz, die Stadt Gleiwitz sowie das Schlesische Luftfahrttechnik-Cluster Bielsko an.

Synergiepotenziale für diese Zusammenarbeit bestehen sowohl in Bezug auf die bereits etablierte wissenschaftliche Kooperation als auch in wirtschaftlicher Hinsicht, da beide Regionen Standorte wichtiger Cluster der Automobilindustrie sowie der Luft- und Raumfahrttechnik sind, für die der Leichtbau zu den Schlüsseltechnologien zählt. Neben einer Plattform für gemeinsame Forschung und Wissens- und Technologietransfer soll im Rahmen des Polnisch-Deutschen Zentrums für hybride Leichtbaustrukturen auch ein gemeinsamer länderübergreifender Studiengang organisiert werden, um den Fachkräftenachwuchs gezielter zu fördern.



Foto: Schlesische Technische Universität

Abbildung 3: Unterzeichnung der Kooperationsvereinbarung zum Aufbau des Polnisch-Deutschen Zentrums für hybride Leichtbaustrukturen

Mitwirkungsmöglichkeiten, weitere Informationen und Kontakt:

Die Leichtbau-Allianz Sachsen richtet sich an alle im Bereich der Leichtbauforschung tätigen Wissenschaftler sowie an interessierte Nachwuchskräfte und Wirtschaftsvertreter. Über den Verein, seine Ziele sowie aktuelle Projekte, Maßnahmen und Veranstaltungen informiert www.leichtbauallianz-sachsen.de.

Interessenten aus dem Bereich der Leichtbauforschung sind herzlich eingeladen, sich in die Arbeit der Leichtbau-Allianz Sachsen aktiv einzubringen und Mitglied des Vereins zu werden. Entsprechende Anträge sind über die Website sowie die Geschäftsstelle verfügbar.

Kontakt: Leichtbau-Allianz Sachsen e. V.
c/o TU Bergakademie Freiberg,
Geschäftsstelle, Frau J. Bachmann
Prüferstraße 1A, 09599 Freiberg,
Tel. 03731 39-2341
kontakt@leichtbauallianz-sachsen.de

Drittmittelforschung am Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) der TU Bergakademie Freiberg

Helmuth Albrecht

Bekanntlich ist es für eher geisteswissenschaftlich orientierte Lehrstühle bzw. Institute gegenüber naturwissenschaftlich-technischen Forschungseinrichtungen an Universitäten deutlich schwerer, Drittmittel einzuwerben. Darüber hinaus fällt auch die Höhe der eingeworbenen Drittmittel oft deutlich niedriger aus, da es sich in der Regel nur um Personalmittel und nicht um die zumeist hohen Investitionsmittel etwa für Maschinen oder Laborgeräte in den naturwissenschaftlich-technischen Disziplinen handelt.

Umso erfreulicher ist es, dass sich das IWTG in den letzten Jahren durch die vermehrte Einwerbung von Drittmitteln für Forschungsprojekte auf dem „Drittmittelmarkt“, insbesondere bei so renommierten Forschungsfördereinrichtungen wie der Volkswagen-Stiftung, der Deutschen Forschungsgemeinschaft oder dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, zunehmend erfolgreich etablieren konnte. Allein seit 2015 konnte das IWTG neue Drittmittelprojekte im Umfang von über 2,1 Millionen Euro einwerben. Die jährlichen Drittmittelleinnahmen des Instituts stiegen dabei von 123.000 Euro (2015) auf 363.000 Euro (2017). Im Einzelnen handelt es sich seit 2015 um folgende größere Forschungsprojekte:

ArchaeoMontan 2018 (Laufzeit 2015 bis 2018) ist ein internationales Projekt, das sich der Erforschung des mittelalterlichen Bergbaus im sächsisch-böhmischen Erzgebirge widmet. Es ist Teil des durch die Europäische Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung geförderten Kooperationsprogramms zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik 2014–2020. Die Funktion des „Lead-Partners“ innerhalb des durch neun Institutionen getragenen Projekts hat das Landesamt für Archäologie Sachsen inne. Seit Jahresende 2015 arbeiten deutsche und tschechische Archäologen, Historiker, Vermessungsingenieure, Geologen und Informatiker beiderseits der Grenze an der Dokumentation und Interpretation der mittelalterlichen Bergbauspuren. Neben den Forschungen unter Tage werden besonders auf der tschechischen Seite die

obertägigen Spuren zu Arbeit und Umwelt der mittelalterlichen Bergleute in die Untersuchungen einbezogen. Hierzu gehören sowohl Fragen zur Aufbereitung, Verarbeitung und zum Handel mit dem gewonnenen Erz als auch die Rekonstruktion der anthropogenen Veränderung der Umwelt in dieser mittelalterlichen Industrielandschaft. Das IWTG ist an dem Projekt mit einem Teilprojekt zur Erschließung des Bestands des Sächsischen Oberbergamts Freiberg im Bergarchiv Freiberg als Grundlage für die archäologische Erkundung im Erzgebirge beteiligt. Die Ergebnisse wurden durch Tagungen, Workshops, Vorträge und Publikationen aufbereitet. Um die Erkenntnisse zum gemeinsamen mittelalterlichen Kulturerbe dauerhaft für die Öffentlichkeit zugänglich zu machen, ist das Projekt so angelegt, dass aus ihm wichtige inhaltliche Impulse für die Gestaltung des in Dippoldiswalde geplanten „Zentrums für den mittelalterlichen Bergbau im Erzgebirge“ resultieren. Die Abschlussveranstaltung zu diesem Projekt fand Ende August 2018 in Dippoldiswalde statt. Bearbeitet wurde dieses IWTG-Teilprojekt von Dipl.-Ind. Arch. Axel Rührich.

Vom Boom zur Krise: Der deutsche Steinkohlenbergbau nach 1945 (Laufzeit 2015 bis 2018) ist ein von der RAG¹-Stiftung gefördertes Gemeinschaftsprojekt des Deutschen Bergbau-Museums Bochum (Leadpartner) im Rahmen des abteilungsübergreifenden Projekts „Gedächtnis des deutschen Steinkohlenbergbaus“ (GdS) der Ruhr-Universität Bochum in Kooperation mit dem IWTG. Es handelt sich um ein Pilot-Projekt im Rahmen des langfristig konzipierten DBM-Projekts „Steinkohle als Georessource der Moderne (SGM)“, das aus Anlass des Endes des deutschen Steinkohlenbergbaus mit der Schließung des letzten Bergwerks Prosper-Haniel im Ruhrrevier Ende 2018 konzipiert wurde. Durch die Erforschung der historischen Wurzeln der Gewinnung und Nutzung von Steinkohle soll die gesellschaftliche Akzeptanz des Nachbergbaus und der

¹ RAG – Ruhrkohle-AG



Fördererturm des Martin-Hoop-Schachtes-IV in Zwickau, erbaut 1948

damit verbundenen „Ewigkeitsaufgaben“ gefördert werden. Darüber hinaus soll die in der Satzung der RAG-Stiftung verankerte Aufgabe der Förderung von Bildung, Wissenschaft und Kultur – soweit dies im Zusammenhang mit dem deutschen Steinkohlenbergbau steht – gefördert werden. Das Pilot-Projekt besteht aus den zwei Themenlinien „Innovationskulturen im Wandel nach 1945“ sowie „Transformation von Industrielandschaften“, wobei im Rahmen der zweiten Themenlinie die Konversionsprozesse in den montanindustriell geprägten Industrierevieren unter vorrangig politischen und ökonomischen Gesichtspunkten sowie die daraus abgeleiteten Strategien der (industrie-)kulturellen In-Wert-Setzung vor allem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts untersucht werden. Im Rahmen dieser Themenlinie hat das IWTG die Bearbeitung des Themas „Konversionsprozesse im sächsischen Steinkohlenrevier“ übernommen. Verbunden ist das Projekt mit einer Art Graduiertenschule, in der die im Projekt verankerten Doktoranden/innen zusammengefasst sind. Das IWTG-Teilthema wird hier von Kathrin Kruner, M.A. M.sc., im Rahmen einer Promotion bearbeitet.

Bergbaukultur im Medienwandel – Fotografische Deutungen von Arbeit, Technik und Alltag im Freiburger Raum

(Laufzeit 2016 bis 2019) ist ein von der Volkswagen-Stiftung im Rahmen des Programmschwerpunkts „Forschen im Museum“ gefördertes Projekt des IWTG in Zusammenarbeit mit dem Stadt- und Bergbaumuseum Freiberg (SBM) sowie der Kustodie der TU Bergakademie Freiberg zur Erforschung der fotografischen Sammlungen des Museums und von Teilbeständen der universitären Sammlungen der Bergakademie. Im Zuge der wissenschaftlichen Untersuchung wird eine Auswahl aus den fotografischen Beständen des SBM museologisch erschlossen. Dabei nimmt das Projekt die starke Prägung der Region durch den jahrhundertlang betriebenen Erzbergbau zum Ausgangspunkt seiner kultur- und bildhistorischen Untersuchungen. Für einen über vier politische Staatsformen hinweg reichenden Zeitraum (von ca. 1890 bis 1989, unterbrochen durch die Zäsuren der zweimaligen Einstellung des Bergbaus von 1913 bis 1936/37 und seit 1969) werden Entwicklungen und Verschiebungen montangeschichtlich relevanter fotografischer Repräsentationsmuster analysiert und beschrieben.

Die medialen Repräsentationen von Bergarbeit, Bergarbeitern und Alltagsleben sowie die mit der Einstellung des Bergbaus erfolgende Neuausrichtung von Berufsfeldern sind ein Schwerpunkt der fotohistorischen Untersuchung. Außer im Genre des Porträts werden Kontinuitäten und Brüche jedoch auch in den Formen und Mustern der fotografischen Darstellung der Landschaft in ihrer Beanspruchung durch den Bergbau, der verursachten Folgeschäden und des Abrisses neuzeitlicher Förderhütten zu finden sein – klar auch in den bildlichen Formaten eines aufkommenden umweltkritischen Revitalisierungsbestrebens der Landschaft oder auch in den Bildklischees der Natur- und Heimatschutzbewegung. Unter dem Stichwort „Wissenschaftsfotografie“ wird zudem der Einfluss der Professoren der Bergakademie Freiberg auf die fotografischen Bildproduzenten des frühen 20. Jahrhunderts betrachtet, insbesondere in den Disziplinen Botanik, Mineralogie, Kristallographie, Geologie, Materialkunde und Astronomie. Regionalgeschichtliche Ausprägungen der Industrie-, Gewerbe-, Architektur- und Porträtfotografie sollen zudem komparativ mit überregionalen fotografischen Sammlungen in ihren spezifischen Formen bestimmt werden. Nicht

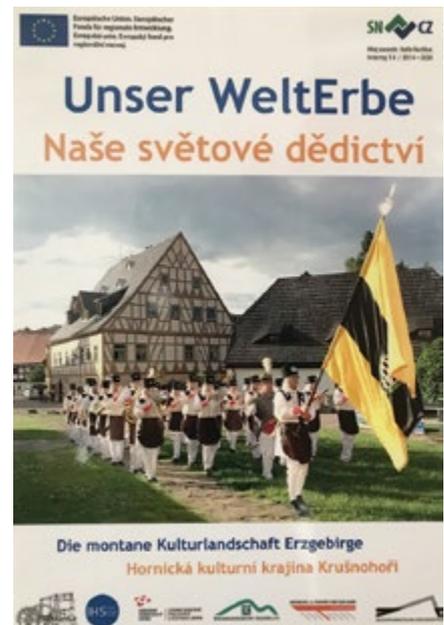


Studiofoto britisch-amerikanischer Bergstudenten in Freiberg aus dem Jahre 1877

zuletzt illustrieren die von verschiedenen Autoren erstellten fotografischen Aufnahmen als Zeugnisse und Indizien die Geschichte des Erzgebirges, anhand derer sich der wirtschaftshistorische Umstrukturierungsprozess und der kontinuierliche Wandel der Region beobachten lässt.

Im Rahmen des Projekts finden am IWTG fotohistorische Lehrveranstaltungen statt und es wurden zwei Masterarbeiten zu Teilthemen angefertigt. Darüber hinaus fand am IWTG im Mai 2018 eine internationale wissenschaftliche Tagung zum Thema „Bilder aus den Bergwerks- und Hüttenbetrieben“ statt – zu den Auftragskontexten der fotografischen Repräsentationsalben (1890–1920) sowie ferner am SBM im Juni/Juli 2018 eine Kabinettsausstellung zu den Arbeiten des Freiburger Fotografen Heinrich Börner. Den Abschluss des Projekts wird 2019 eine größere Ausstellung im SBM bilden. Die wissenschaftliche Leitung des Projekts liegt in den Händen der Fotohistorikerin PD Dr. Gisela Parak. Museologischer Mitarbeiter ist Dipl.-Ind. Arch. Peter Hauschild.

„**Unser Welterbe**“ – die montane Kulturlandschaft Erzgebirge/Krušnohoří (Laufzeit 2017 bis 2020) ist ein vom Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung gefördertes Gemeinschaftsprojekt des IWTG (Leadpartner) in Zusammenarbeit mit dem Förderverein Montanregion Erzgebirge e.V., dem Institut für Heritage Studies (IHS) an der Internationalen Berliner Akademie für innovative Pädagogik, Psychologie und Ökonomie GmbH, der Universität J.E. Purkyně in Ústí nad Labem, dem Denkmalamt Ústí nad Labem sowie dem Verein Montanregion Krušné hory – Erzgebirge o.p.s. in Karlovy Vary. Ziel des Bildungsprojekts ist es, die emotionale Bindung der Bevölkerung



Plakat zum Projekt „Unser WeltErbe“ (IWTG)

zum gemeinschaftlichen Bergbauerbe zu stärken und dessen Schutz und Erhalt als Schwerpunkt in der grenzübergreifenden Bildungsarbeit zu verankern. Dafür wird gemeinsam mit den regionalen Akteuren ein einheitliches Bildungskonzept entwickelt und in entsprechende Bildungsangebote, insbesondere für junge Menschen, umgesetzt. Die Bildungsarbeit *mit dem* und *durch das* gemeinsame Erbe soll den Zusammenhalt in der Region stärken und eine nachhaltige regionale Entwicklung fördern. Angestrebte Projektergebnisse sind ein grenzübergreifendes Bildungskonzept, das Einsichten in die gemeinsame Geschichte des Bergbauerbes vermittelt und beiderseits der Grenze anwendbar ist – ein grenzübergreifendes Bildungsangebot insbesondere für junge Menschen an Schulen, Universitäten und montanhistorischen Stätten – sowie ebenfalls grenzübergreifende Weiterbildungsmaßnahmen zur Qualifizierung der Akteure (Lehrer, pädagogische Fachkräfte und Vereine), um die Bergbaugeschichte durch gezielte Bildungsarbeit grenzübergreifend sichtbar und erlebbar zu machen. Projektleiterin am IWTG ist Dr. Daniela Walther.

Digitalisierung und elektronische Edition der Korrespondenz Abraham Gottlob Werners (Laufzeit 2018 bis 2020) ist ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördertes Projekt in Zusammenarbeit mit dem Institut für Mineralogie und der Universitätsbibliothek der TU Bergakademie Freiberg sowie dem „Trier Center for Digital Humanities“ der Universität Trier zur wissenschaftlichen Erschließung der weit über 700 Briefe,



Foto: Hildegard Wiegel

Büste Abraham Gottlob Werners in den Freiburger Wallanlagen

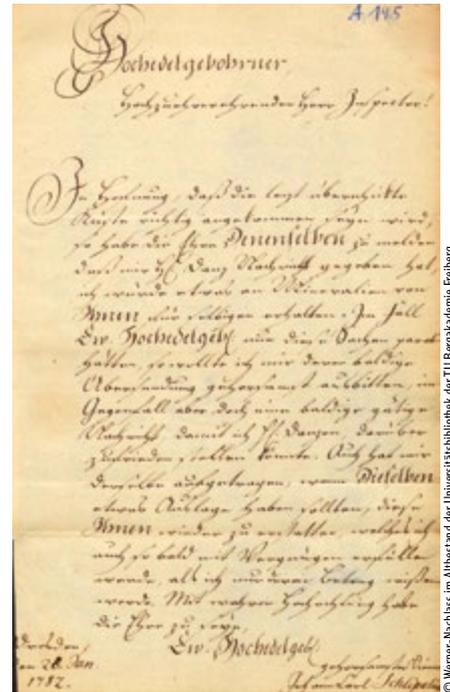
die Werner in den Jahrzehnten seiner Lehrtätigkeit an der Bergakademie seit 1775 bis zu seinem Tode 1817 erhielt. Werners Kontakte erstreckten sich oft über viele Jahre und über Kontinente hinweg. Von deutscher Seite am bekanntesten dürften unter den Schülern und Korrespondenten der Forschungsreisende Alexander von Humboldt (1769–1859) und der Dichter Novalis (1772–1801) sein. Unter Werners Briefpartnern finden sich viele internationale Kontakte wie die der beiden spanischstämmigen Brüder Juan José (1754–1796) und Fausto Elhuyar (1755–1833), deren Freiburger Studien bei Werner zum Aufbau moderner und effizienter bergmännischer Strukturen in ganz Mittel- und Südamerika beigetragen haben. Ein weiterer spanischer Besucher Werners und in der Folgezeit Korrespondenzpartner, der „Chevalier d’Onis“ (1767–1827), machte nach seinem Freiburger Aufenthalt auf diplomatischem Parkett Karriere und handelte mit dem amerikanischen Präsidenten John Quincy Adams (1767–1848) den Adams-Onis-Vertrag aus (1819), seit dessen Unterzeichnung Florida zu den Vereinigten Staaten von Amerika gehört. Daneben finden sich in den Briefen auch Hinweise zu weiteren namhaften Besuchern Werners, wie dem in Europa berühmten Diplomaten, Vasensammler und Vulkanologen Sir William Hamilton (1730–1803), der auf dem Weg von Neapel nach London Werner in Freiberg seine Aufwartung machte. Es ist zu erwarten, dass die Online-Edition und die gleichzeitig veranlasste digitale Langzeitarchivierung der Briefe einen wichtigen

Einblick in Werners einzigartige Stellung in der europäischen Gelehrtenrepublik des späten 18. und frühen 19. Jahrhunderts geben werden. Projektbearbeiterin ist Dr. Hildegard Wiegel.

Umweltpolitik, Bergbau und Rekultivierung im deutsch-deutschen Vergleich. Das Lausitzer Braunkohlenrevier, die Wismut und das Ruhrgebiet (1949–1989/2000)

(Laufzeit 2019 bis 2022) ist ein jüngst vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bewilligtes Gemeinschaftsprojekt der Ruhr-Universität Bochum (Leadpartner), des Deutschen Bergbau-Museums Bochum sowie des IWTG im Rahmen des BMBF-Programms zur Förderung von Forschungsvorhaben auf dem Gebiet der ehemaligen DDR. Ziel des Verbundprojekts ist es, drei bedeutende deutsche Bergbaureviere hinsichtlich der politischen und praktischen Rekultivierungsstrategien vergleichend zu untersuchen. Im Fokus stehen weniger die staatlichen Normativa der Umweltpolitik als die umweltpolitischen Akteure und Institutionen. Hierzu zählen neben den Verantwortlichen für die Landes- bzw. Territorialplanung und dem Siedlungsverband auch Umweltwissenschaftler mit ihren Institutionen, „Heimatschützer“ sowie die Protagonisten aus der Wirtschaft, den Verbänden sowie den Bergaufsichtsbehörden. Untersuchungsgegenstand im Rahmen des Projekts sind das Lausitzer Braunkohlenrevier sowie der Uranbergbau der Wismut, wobei die beiden Reviere untereinander, aber auch mit den Maßnahmen zur Nutzung von Bergbaufolgelandschaften im Ruhrrevier verglichen werden. In einem Querschnittprojekt wird den Biografien wichtiger Entscheidungsträger in Wirtschaft, Verwaltung und Wissenschaft der 1950er- und 1960er-Jahre nachgespürt, um personelle und konzeptionelle Kontinuitäten auf dem Feld der Wiederurbarmachung von Bergbaufolgelandschaften zu rekonstruieren. Auch neuere Entscheidungsträger aus der Zeit seit den 1960er- bis in die 1980er-Jahre sollen biografisch aufgearbeitet werden, um an eine planungshistorische Forschungsthese anzuknüpfen, die strukturelle Prozesse umweltpolitischer Verdichtungen mit individuell-biografischen Hintergründen verknüpft und partiell auch erklärt.

Gleichrangig zur Erforschung der DDR-Umweltpolitik hat das Projekt das Ziel, die zu erwartenden Ergebnisse auf verschiedenen Ebenen in die Öffentlichkeit zu transferieren. Dabei handelt es sich



© Werner-Nachlass im Altbestand der Universitätsbibliothek der TU Bergakademie Freiberg

Brief von Johann Carl Schlipalius an Abraham Gottlob Werner vom 28. Januar 1782

um die Gestaltung von Ausstellungen, öffentlichen Vortragsreihen und regelmäßigen Lehrveranstaltungen. Die Thematisierung der DDR-Umweltgeschichte in der Lehrerausbildung an der Fakultät für Geschichtswissenschaft der Ruhr-Universität Bochum hat zudem das Ziel, die DDR-Geschichte auch im Schulunterricht zu thematisieren. Ein geplantes biografisches Lexikon soll als weiterer Baustein für einen solchen Transfer fungieren. Das DBM wird zum Projektabschluss eine Sonderausstellung organisieren, die sich an eine breite Öffentlichkeit richtet. Das IWTG bearbeitet im Rahmen des Gemeinschaftsprojekts das Thema des Wismut-Uranbergbaus.



© Wismut GmbH

Uranbergbau der SDAG Wismut in Bad Schlema in den 1950er-Jahren

Welterbe-Antrag „Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří“.

Aufgrund der erforderlichen Überarbeitung des deutsch-tschechischen Erstantrags von 2015 wurde das seit 2007 laufende Projekt zur wissenschaftlichen Erarbeitung des



Foto: Helmuth Albrecht

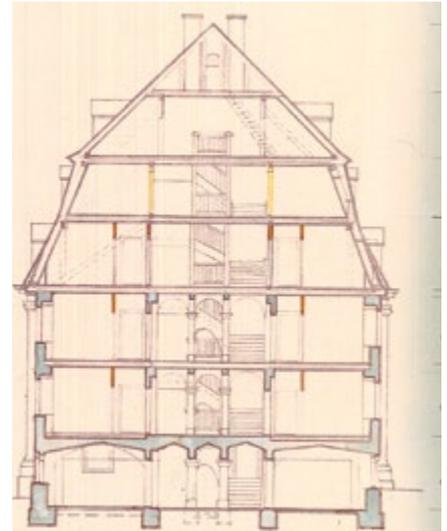
Feierliche Unterzeichnung des Welterbeantrags „Montanregion Erzgebirge“ durch den sächsischen Innenminister und den tschechischen Kulturminister in Dresden am 11. Dezember 2017

Welterbe-Antrages und zur fachlichen Begleitung der Antragsstellung durch die Welterbe-Projektgruppe am IWTG bis zur Entscheidung über das derzeit laufende Antragsverfahren im Jahr 2019 verlängert. Finanziert wird das Projekt von den 32 Gemeinden und drei Landkreisen im Erzgebirge, die den Trägerverein „Welterbe Montanregion Erzgebirge e. V.“ bilden. Leiter der Projektgruppe ist Prof. Albrecht, wissenschaftliche Mitarbeiterin Friederike Hansell M.A.

„Welterbe-Koordinierungsstelle für den Freistaat Sachsen“. Seit 2016 ist das IWTG mit dem vom Sächsischen Staatsministerium des Innern beauftragten und finanzierten Aufbau der Koordinierungsstelle befasst. Aufgabe der Koordinierungsstelle ist die organisatorische und inhaltliche Betreuung und Beratung der laufenden wie auch künftiger Welterbe-Anträge des Freistaates Sachsen sowie die Prüfung potenziell neuer sächsischer Welterbe-Kandidaten. Als Welterbe-Koordinatorin fungiert Friederike Hansell M.A.

Weitere Projekte: Über die genannten größeren Projekte hinaus laufen derzeit am IWTG durch den Europäischen Sozialfonds (ESF) geförderte Promotionsprojekte zu den Themen „Energiewende und Kulturlandschaftsschutz – Potenzielle Auswirkungen von Windkraftanlagen auf die Sichtbeziehungen von Welterbestätten“ (Dipl. Ind.-Arch. Patrick Wieduwilt, Laufzeit 2015 bis 2018) sowie „Der Einfluss gelebter Bergbautradition auf die Akzeptanz der einheimischen Rohstoffgewinnung in Deutschland am Beispiel Sachsens“ (Karl Klemm Msc., Laufzeit 2018 bis 2021).

Weitere kleinere Forschungsprojekte, die teilweise durch Bachelor- und Masterarbeiten bearbeitet werden, laufen derzeit in Kooperation u. a. mit der



© Kreisarchiv Erzgebirgskreis

Schnitt durch das Gebäude der Meinertschen Spinnmühle in Lugau, erbaut 1812 und abgerissen 2017

Stiftung Kraftwerk Hirschfelde (Potenziale der Industriekultur im Landkreis Görlitz), der Stiftung „Sayner Hütte“ in Rheinland-Pfalz (Forschungspotenziale zur Geschichte der Sayner Hütte) sowie mit der Arbeitsgruppe zur Vorbereitung der 4. Sächsischen Landesausstellung 2020 „Industrie – Kultur – Mensch“ am Deutschen Hygiene-Museum Dresden (Grundlagen für den Bau von Modellen zur frühen Textilindustrie in Sachsen).



Foto: Albrecht Holländer

Windkraftanlagen und die Hohe Esse bei Halsbrücke

Verbesserung der Studienbedingungen an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg – Neubau eines Hörsaalgebäudes im Schloßplatzquartier

Jens Then

Mit der Errichtung des Hörsaalgebäudes an der Prüferstraße in der Freiburger Innenstadt wird die Unterbringung der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften im Schloßplatzquartier abgeschlossen und zugleich eine Verbesserung der Studienbedingungen an der Universität erwartet.

Die am 24. April 2017 erfolgte feierliche Grundsteinlegung für das Hörsaalgebäude markiert den Beginn des letzten Bauabschnitts im Quartier. Gegenwärtig erfolgen Fassadenarbeiten und der Ausbau im Gebäudeinneren. Zuvor waren die Bestandsgebäude Schloßplatz 1 und 1a sowie Prüferstraße 2 saniert worden bzw. traten an ihre Stelle Ersatzneubauten. Mit dem Einzug der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, der Abteilung Sprachen des Internationalen Universitätszentrums, der Abteilung Marketing und Studienberatung des Dezernats 5

und der Graduierten- und Forschungsakademie der Universität in diese Gebäude wurde das seit längerem brachliegende Quartier wiederbelebt. Dabei stellt dieses Ensemble einen wesentlichen Beitrag im so genannten Wissenschaftskorridor dar. Dieser hat das strategische Ziel, die bisher getrennten Universitätsstandorte Campus und Innenstadt enger miteinander zu verbinden. Weitere Bausteine zur Verwirklichung dieser Vision werden sein: die bereits begonnenen Neubaumaßnahmen des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung sowie der Universitätsbibliothek und des Hörsaalzentrums. Mit der Innutzungnahme des Chile-Hauses 2017 ist zudem ein weiterer Ankerpunkt im Korridor – dank der großzügigen Unterstützung der Stifterin der Universität, Frau Dr. Erika Krüger, – entstanden.



Foto: C. Hickmann/ TU Bergakademie Freiberg, 11.07.2018



Foto: Detlev Müller/ TU Bergakademie Freiberg



© Eßmann | Cärner | Nieper | Architekten GbR | Darmstadt, Leipzig

Bild links oben:
Blick vom 1. Bauabschnitt auf den Hörsaal-Rohbau

Bild rechts oben:
Richtfest 2. Bauabschnitt 26.07.2018

Zeichnung links:
Ansicht von der Prüferstraße

Hintergrundbild:
Visualisierung Hörsaalgebäude

Das Schloßplatzquartier selbst nimmt seinen Platz an einem historisch bedeutenden Ort der Freiburger Innenstadt ein. Hier befand sich das 1243 erstmals urkundlich erwähnte Dominikanerkloster Freiberg. Einer der bedeutendsten Vertreter dieses Klosters war der Theologe und Philosoph Dietrich von Freiberg. Mehrere archäologische Grabungen bestätigten die zuvor vermutete Lage des Dominikanerklosters. Es konnten neben Resten der Grundmauern der alten Kirchenbasilika auch Teile des ehemaligen Kreuzgangs gefunden werden. Das Hörsaalbauwerk wird an die Geschichte dieses Ortes anknüpfen und einschlägige Elemente aufgreifen. So wird zwischen dem Gebäudeteil Schloßplatz 1a und dem Hörsaal ein Verbindungsbau errichtet, der mit seinen aneinandergereihten Fenstern das historische Kreuzgangmotiv zitiert und den südwestlichen Abschluss des Quartierhofs bildet. Im Foyer des Hörsaalgebäudes wird ein Teil der Grabungsfunde offengelegt sein. Eine großzügige Über-Eck-Verglasung ermöglicht sowohl den Blick vom Innenhof in das Foyer und die Fundstellen als auch den von innen zum Quartiershof. Hier wird die Kubatur des vormaligen Klosterhofes annähernd wieder aufgegriffen. Nunmehr als steinerner Platz ausgebildet, sollen sich Elemente wiederfinden, die auch vormalig hier zu finden waren. So ist an zentraler Stelle die Pflanzung eines Baum-Solitärs geplant. Ebenso ist ein Wasserspiel als Zitat des einst vorhandenen Brunnens angedacht.

Mit dem Hörsaalneubau entsteht ein skulpturaler Solitär im Stadtbild. Die Straßenflucht der Prüferstraße wird aufgenommen. Über einem Sockel „schwebt“ der fast fensterlose Hörsaal quaderförmig, versehen mit einem Zeltdachaufsatz. Mit der Dachausprägung und der Gebäudehöhe fügt sich der Neubau in die umgebende Bebauung gut ein. Seine Skulpturalität wird unterstrichen durch das einheitliche Fassaden- und Dachmaterial aus Cottaer Sandstein. Der eigentliche Hörsaal schottet sich scheinbar von der umgebenden Stadt ab, tritt über ein Eckfenster jedoch in den Dialog mit der besonderen Atmosphäre des Quartierhofs. Ergänzt wird der große Hörsaal im Gebäude um zwei Seminarräume. Ein weiteres Element des Neubaus wird auf die

Freiberger Bergbautradition Bezug nehmen. So soll die Sandsteinfassade an der Eingangsseite des Gebäudes eine Darstellung der historischen Freiburger Berg- und Hüttenparade aufnehmen.

Die Haupteinschließung des Gebäudes erfolgt über ein ebenerdiges Foyer von der Prüferstraße aus, das mit seinem 300 m² großen Entrée einen repräsentativen Eindruck vermittelt. Hiervon stehen 200 m² zur Nutzung für Veranstaltungen bereit, etwa 90 m² umfasst das offene Grabungsfeld. Eine als separater Raum ausgebildete Garderobe befindet sich gleich am Eingang. Im Inneren des Gebäudes werden mittels Naturmaterialien ausdrucksstarke Akzente gesetzt. So werden der Treppenaufgang zum Obergeschoss und der Hörsaal repräsentative Wandverkleidungen in Eiche erhalten. Dazu kontrastieren im Erdgeschoss natursteinerne Bodenbeläge. Der Hörsaal im Obergeschoss mit 260 Hörerplätzen wird mit moderner Medientechnik sowie einer Dolmetscherkabine ausgerüstet und ist damit für verschiedenste Nutzungsszenarien gerüstet. Der gegenüberliegende Seminarraum mit 50 Plätzen kann über drei große Flügeltüren zum oberen Foyer geöffnet werden, sodass in Verbindung mit dem Hörsaal und den im Erdgeschoss befindlichen Einrichtungen flexible Nutzungsmöglichkeiten für Tagungen und Kongresse etc. bestehen. Der mit 35 Plätzen ausgestattete Seminarraum im Erdgeschoss erhält Verglasungen zum davor befindlichen „Kreuz“-Gang und somit eine Sichtverbindung über dessen Fenster zum Innenhof. Insgesamt werden 345 moderne Hörerplätze im Gebäude vornehmlich für Lehrveranstaltungen zur Verfügung stehen. Die flexiblen Seminarraumausstattungen werden es zudem ermöglichen, auch moderne Lehr- und Lernformen anzubieten.

Mit der für den Spätherbst 2019 geplanten Einweihung des Hörsaalgebäudes kann und wird dieser Universitätsteil an historisch bedeutsamer Stelle künftig durch verschiedenste Veranstaltungen das universitäre und städtische Leben in der Altstadt Freibergs weiter bereichern. Vor allem aber werden mit dem Neubau die Studienbedingungen an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg spürbar verbessert.



Studienerfolgskonzept und Weiterentwicklung der Studiengänge

Silvia Rogler¹

Ende 2016 hat die Technische Universität Bergakademie Freiberg ihr Konzept zur Steigerung und Sicherung des Studienerfolgs (Studienerfolgskonzept) grundlegend überarbeitet. Ausgangspunkt war die Frage, was unter Studienerfolg zu verstehen ist und welche Einflussfaktoren ihn bestimmen. Diese Frage kann nicht beantwortet werden, ohne vorab zu klären, was Ziel des Studiums ist. „*Studium und Lehre sollen die Studenten auf ein berufliches Tätigkeitsfeld vorbereiten und ihnen die erforderlichen fachlichen Kenntnisse, Fähigkeiten und Methoden so vermitteln, dass sie zu wissenschaftlicher [...] Arbeit, zu selbständigem Denken und zu verantwortlichem Handeln in einem freiheitlichen, demokratischen und sozialen Rechtsstaat befähigt werden. Sie sollen die Grundlage für berufliche Entwicklungsmöglichkeiten schaffen und zu eigenständiger Weiterbildung befähigen.*“ (§ 15 Abs. 1 Sächsisches Hochschulfreiheitsgesetz)

Um dieses Ziel zu erreichen, wird ein breites Fach- und Methodenwissen vermittelt, das dazu befähigt, bestehende sowie neue Fragestellungen zu beantworten und Probleme zu lösen. Die Absolventen sollen für Führungsaufgaben in der Praxis ebenso wie für die wissenschaftliche Karriere qualifiziert werden. Studienerfolg bedeutet damit das Erwerben der dafür nötigen fachlichen, methodischen und sozialen Kompetenzen. Unabhängig vom konkreten Studienfach muss es Ziel einer Universität sein, in Einheit von Forschung und Lehre Lernenden zu helfen, sich zu gebildeten, aufgeklärten und wissbegierigen Menschen zu entwickeln.

Die den Studienerfolg beeinflussenden Faktoren sind vielschichtig (vgl. Abb. 1). Die universitären Ziele (Berufsbefähigung, Befähigung zur wissenschaftlichen Arbeit, Persönlichkeitsentwicklung) werden in Studiengängen und fakultativen Angeboten umgesetzt. Diese wiederum bestimmen die Zufriedenheit der (aktuellen) Studierenden. Weitere Einflussfaktoren sind die Ziele und Erwartungen der staatlichen Institutionen, der Wirtschaftspraxis, der (potenziellen) Studierenden und der Gesellschaft.

Bei der Analyse des Istzustands zeigte sich, dass Probleme, die den Studienerfolg in Frage stellen, in allen Phasen des Studiums auftreten. Dabei wurden vor allem die Problemfelder Fachkompetenz und fachbezogenes Vorwissen, Informationsmanagement, Selbstmanagementkompetenzen sowie sprachliche und kulturelle Hürden bei ausländischen Studierenden identifiziert. In einem intensiven Diskussionsprozess wurden besonders erfolgversprechende Maßnahmen zu fakultätsübergreifenden Projekten zusammengefasst, die derzeit mit Mitteln aus dem Hochschulpakt (HSP) Studienerfolg und dem Europäischen Sozialfonds (ESF) Studienerfolg umgesetzt werden:

- **Projekt I:** Begleitung der individuellen Studienwahl und Studienentscheidung
- **Projekt II:** Ausgleich unterschiedlicher fachlicher und nicht-fachlicher Qualifikationen in der Studieneingangsphase
- **Projekt III:** Förderung selbstorganisierter Lernens
- **Projekt IV:** Unterstützung der Studierenden durch betreute Lerngruppen
- **Projekt V:** Erhöhung der wissenschaftlichen Methodenkompetenz der Studierenden
- **Projekt VI:** Erhöhung der Kompetenz der Studierenden zur Anwendung wissenschaftlicher Methoden in der Praxis

Das Studienerfolgskonzept ist auch Basis für die Entwicklung neuer und die Überarbeitung bestehender Studiengänge. An der TU Bergakademie Freiberg wurden 2017 und 2018 jeweils drei neue Studiengänge konzipiert. Zunehmend werden

dabei englischsprachige Masterstudiengänge entwickelt, um einen breiten Bewerberkreis erreichen zu können und die Internationalisierung voranzutreiben. In der Reihenfolge ihrer Veröffentlichung sind es die im Folgenden dargestellten Studiengänge.

Der Masterstudiengang **Nanotechnologie** ersetzt den bisherigen Studiengang Elektronik- und Sensormaterialien und baut somit auf einem bewährten Studiengang auf. Ein Problem des alten Studiengangnamens war, dass Studieninteressierte nur „Elektronik“ gelesen haben und nicht „Materialien“. Zudem wurde der Studiengang inhaltlich überarbeitet. Im Fokus der Nanotechnologie stehen Technologien, die sich mit Strukturen und Prozessen im Nanometerbereich befassen. Entscheidend für die Funktionalität von Nanomaterialien und Nanostrukturen bei energie-, umwelt- und gesundheitsrelevanten Anwendungen und in der Informations- und Kommunikationselektronik sind materialspezifische Eigenschaften. Diese gilt es, durch Größe und Form, Materialzusammensetzung und Herstellungsprozess zielgerichtet zu optimieren.

Der englischsprachige Masterstudiengang **Metallic Materials Technology** ermöglicht ein ingenieurwissenschaftliches Studium mit werkstofftechnologischem Schwerpunkt samt den weiterführenden spezifischen Kenntnissen auf dem Gebiet der Werkstoffverarbeitung. Der Studiengang bietet als Spezialisierung die Themen Gießereitechnik, Umformtechnik bzw. Stahlerzeugung, wobei betriebswirtschaftliche Kenntnisse und berufspraktische Fähigkeiten auf universitärem Niveau miteinander verknüpft werden.

Die bisherigen Studiengänge Bachelor und Master **Wirtschaftsingenieurwesen** wurden aufgrund der Nachfrage von Seiten der Studierenden als auch der

Einstige Teilnehmerin am MINT-EC-Camp am Institut für Elektronik- und Sensormaterialien und jetzige Nanotechnologiestudentin synthetisiert stäbchenförmige Goldpartikel mit einem Durchmesser von 10 Nanometern



Foto: Crispin Mohry

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

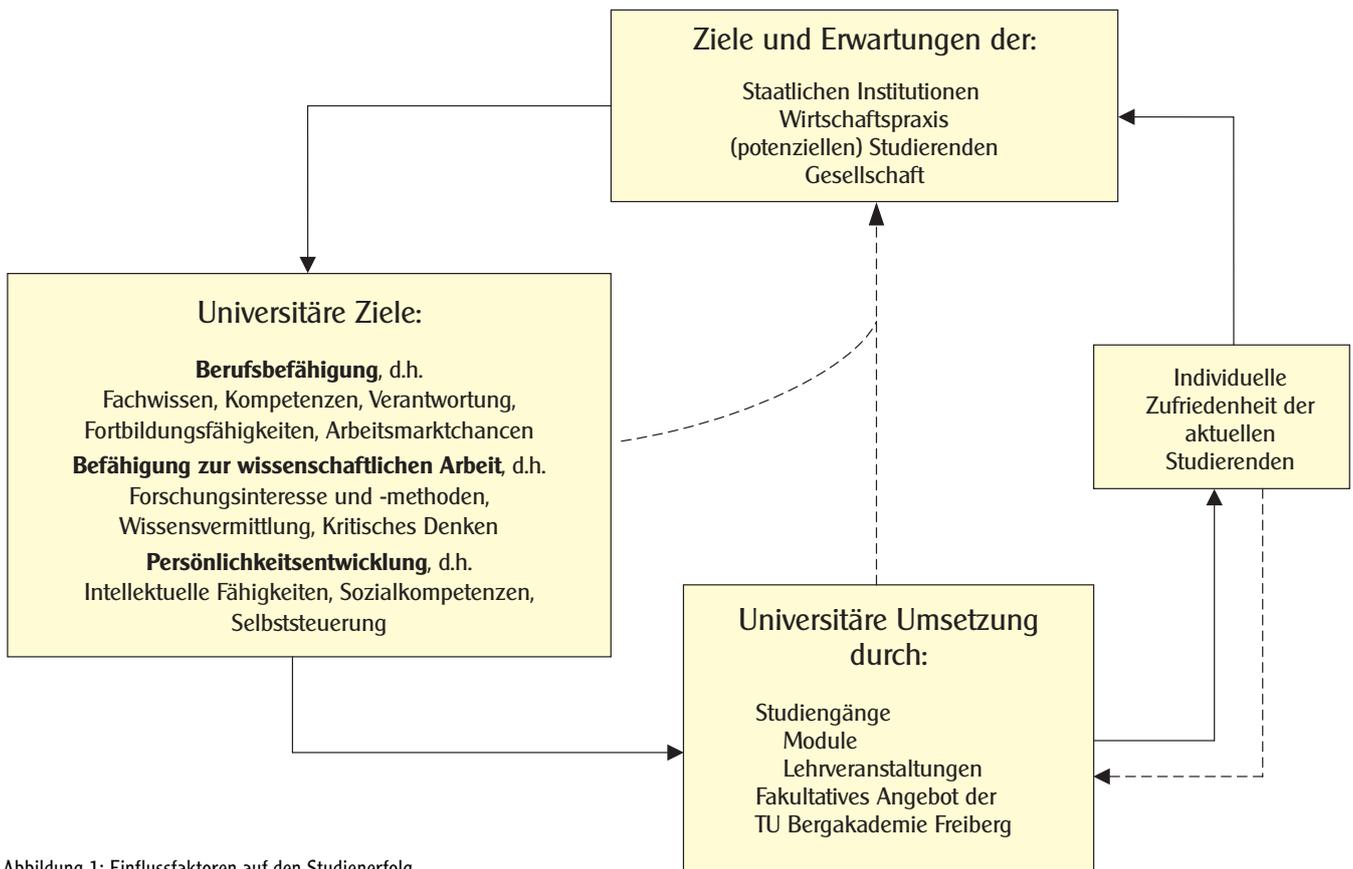


Abbildung 1: Einflussfaktoren auf den Studienerfolg

Unternehmen um einen Diplomstudiengang erweitert. Der Studiengang verbindet die technisch-naturwissenschaftlichen Aspekte des Ingenieurwesens mit wirtschafts- und rechtswissenschaftlichen Fragestellungen. Diese kombinierte Ausbildung entspricht den steigenden Anforderungen des modernen Arbeitsmarktes, der neben Spezialisten auch disziplinübergreifende Kompetenzen fordert. Durch Übernahme einer Brückenfunktion bei der Lösung komplexer Aufgabenstellungen, die sowohl aus technischen als auch aus betriebswirtschaftlichen Komponenten bestehen, kann der Wirtschaftsingenieur als Integrator und Problemlöser an der Schnittstelle beider Wissensgebiete tätig werden. Als technische Vertiefungsrichtungen werden angeboten: Rohstoffgewinnung, Maschinenbau und Energie, Umwelt- und Verfahrenstechnik, Werkstofftechnologie sowie Infrastruktur- und Technologiemanagement.

Der englischsprachige Masterstudiengang **Technology and Application of Inorganic Engineering Materials** ist ein gemeinsamer Studiengang der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik sowie der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie. Die anorganischen Engi-

neering-Werkstoffe, wie Stahl und Keramik, sind Schlüsselwerkstoffe für die Bereiche Transport, Energietechnik, Maschinen- und Anlagenbau oder auch für die Bauindustrie. Ein tiefgehendes Verständnis der mechanischen, thermischen, chemischen und funktionellen Eigenschaften auf Nano-, Mikro- und Makroebene sowie der chemischen und physikalischen Wechselwirkungen an Grenzflächen/Oberflächen der anorganischen Engineering-Werkstoffe ist die Basis für deren kontinuierliche Entwicklung und Technologieoptimierung.

Ein weiterer englischsprachiger Masterstudiengang wurde von der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie zusammen mit der Fakultät für Chemie und Physik konzipiert: **Advanced Materials Analysis**. Die Entwicklung von Materialien aller Art erfordert die Nutzung verschiedenster instrumenteller Analysemethoden, um Herstellungsprozesse gezielt zu beeinflussen, Materialeigenschaftsbeziehungen herzuleiten und Schadensfälle zu begutachten. Mit diesem Studiengang soll die Nachfrage nach Experten auf dem Gebiet der instrumentellen Materialanalytik bedient werden. Der Masterstudiengang richtet sich an Absolventen physikalischer, chemischer oder

materialwissenschaftlicher Bachelorstudiengänge. Der Studiengang konzentriert sich auf den Einsatz von Mikroskopie, Beugungsmethoden und Spektroskopie bei der Analyse von anorganischen Materialien wie der von Halbleitern, Elektronikmaterialien, Sensormaterialien, Materialien für Energiesysteme und Formgedächtnislegierungen. Außerdem wird die Rolle der Materialanalyse bei der Konzipierung von Struktur-Eigenschaftsbeziehungen vermittelt.

Der neu konzipierte Bachelorstudiengang **Internet der Energie** kombiniert Vorlesungen aus mehreren Fakultäten, z.B. Mathematik, Informatik, Automatisierungstechnik, Elektrotechnik, Physik, Wärmetechnik und Recht, zu einem einzigartigen Curriculum. Das Internet der Dinge, das Energienetz, die Cloud und das bekannte Internet zusammen bilden das Substrat, auf dem das Internet der Energie entsteht: Ein Gesamtsystem der Energieversorgung, in dem nachhaltige Energieproduktion, dezentrale Speicherung und intelligenter Energieverbrauch optimiert werden. Modellierung, Datenanalyse, künstliche Intelligenz, Kryptographie und Optimalsteuerung gehören inzwischen zu Kernkompetenzen, die in der Energiewirtschaft benötigt werden.

Weiterentwicklung strategischer Konzepte an der TU Bergakademie Freiberg Silvia Rogler¹

Seit 2016 hat das Rektorat in Zusammenarbeit mit den verschiedenen Gremien und Einrichtungen eine Reihe von strategischen Konzepten neu erstellt bzw. bestehende Konzepte weiterentwickelt. Dies sind der „Interne Hochschulentwicklungsplan“, das „Personalentwicklungskonzept für das wissenschaftliche Personal“ und das „Personalentwicklungskonzept für das wissenschaftsunterstützende Personal“, das „Gleichstellungskonzept und Frauenförderplan 2018–2025“ sowie das „Konzept zur regionalen Wirksamkeit FIT“. In diesen Konzepten werden einerseits der derzeitige Stand beschrieben und andererseits angestrebte zukünftige Entwicklungen aufgezeigt.

Die Fortschreibung des **Internen Hochschulentwicklungsplans für die Jahre 2018–2025** erfolgte auf Basis der von der Staatsregierung am 22. November 2016 beschlossenen „Hochschulentwicklungsplanung 2025“ (HEP 2025) sowie der zwischen dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) und der TU Bergakademie Freiberg geschlossenen Zielvereinbarung für die Jahre 2017 bis 2020. Ausgangspunkt der strategischen Überlegungen für die Bereiche Lehre und Studium, Forschung, Gesellschaftliche Verantwortung, Personalentwicklung, Chancengleichheit und Inklusion, Digitalisierung und Internationalisierung ist das Profil der Technischen Universität Bergakademie Freiberg. Die Technische Universität Bergakademie Freiberg begreift sich als die deutsche Universität für nachhaltige Stoff- und Energiewirtschaft einschließlich der Kreislaufwirtschaft für Rohstoffe und Werkstoffe und damit als *die* deutsche Ressourcenuniversität. Die Forschung und darauf aufbauend die Lehre umfassen den kompletten Umgang mit natürlichen Rohstoffen von der Erkundung, Gewinnung über die energie- und umweltschonende Aufbereitung und Verarbeitung/Veredelung bis hin zum Recycling sowie deren ökonomischer Bewertung. Das Profil ist geprägt durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Mathematik, Informatik, Ingenieur-, Natur-, Geo-, Material-/Werkstoff- und Wirtschaftswissenschaften. Das strukturell und inhaltlich unverwechselbare und dadurch identitätsstiftende Profil der TU Bergakademie Freiberg

wird kontinuierlich weiterentwickelt. Die inhaltliche Profilierung erfolgt dabei insbesondere entlang der etablierten Disziplinen, die vertieft, ergänzt, aber erforderlichenfalls auch neu kombiniert werden.

Im **Personalentwicklungskonzept 2018–2021** werden das Spektrum der bereits ergriffenen Maßnahmen und die Handlungsfelder der Personalentwicklung zusammengestellt und Perspektiven für die zukünftige Personalentwicklungsarbeit aufgezeigt. Es berücksichtigt darüber hinaus die Querschnittsfelder Gleichstellung, Diversity und Inklusion, zu denen ein eigenes Konzept und ein Aktionsplan vorliegen. Bereits 2009 haben sich die Mitarbeiter der Technischen Universität Bergakademie Freiberg auf die Leitsätze „Werterhaltung, Offenheit, Dialogfähigkeit, gegenseitige Wertschätzung, Chancengleichheit“ festgelegt. Ausgehend von dieser Wertorientierung wurden Grundsätze für die Personalentwicklung erarbeitet – einerseits für das wissenschaftsunterstützende Personal (Teil 1 des Personalentwicklungskonzepts) und andererseits für den wissenschaftlichen Nachwuchs und das gesamte wissenschaftliche Personal (Teil 2 des Personalentwicklungskonzepts). Voraussetzung für das Erreichen der strategischen Ziele sind ein hohes Qualifikationsniveau des gesamten Personals und die Bereitschaft jedes/jeder einzelnen Beschäftigten zu lebenslangem Lernen. Als wichtige Faktoren für Leistung und Erfolg stellen Motivation, Arbeitszufriedenheit und Identifikation mit der Universität weitere übergreifende Ziele der Personalentwicklung dar. Als Grundsätze für den wissenschaftlichen Nachwuchs und das gesamte wissenschaftliche Personal wurden formuliert: Förderung von Karrierezielen, Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, Erhöhung des Anteils von Frauen in (wissenschaftlichen) Führungspositionen, Förderung der Vereinbarkeit von Familie und Beruf, Schaffung von gesunden, guten Arbeitsbedingungen, Chancengleichheit von Männern und Frauen, von Menschen mit Behinderungen sowie von Beschäftigten aus anderen Ländern, respektvoller Umgang zwischen Vorgesetzten und Mitarbeitern, respektvoller Umgang zwischen den Mitarbeitern. Innerhalb dieser Grundsätze sind die bereits ergriffenen Maßnahmen der

Personalentwicklung – Personalplanung/-gewinnung/-erhaltung, Personalpotenzialentwicklung, Personalführung und Personalbeteiligung – weiterzuentwickeln bzw. weiterführende Maßnahmen zu konzipieren.

Im **Gleichstellungskonzept und Frauenförderplan 2018–2025** betont die Technische Universität Bergakademie Freiberg, dass sie die menschliche Vielfalt schätzt und sie als reiche Quelle von Kreativität und Innovation betrachtet. Dabei erachtet sie es für unerlässlich, Gleichstellungs- und Diversityaspekte als Elemente qualitativ hochwertiger Zusammenarbeit in Lehre und Forschung zu berücksichtigen sowie das wissenschaftliche Potenzial von Frauen wesentlich stärker als bisher zu nutzen und besser zu fördern. Insgesamt sollen sich im Ergebnis der Gleichstellungsarbeit an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg die Bedingungen für die Vereinbarkeit von Beruf bzw. Studium und Familie so weit verbessern, dass keine geschlechtsbedingten Benachteiligungen bestehen. Als Gleichstellungsziele werden die Steigerung des Frauenanteils bei den wissenschaftlichen Mitarbeitern insgesamt und auf den unterschiedlichen Qualifikationsstufen sowie die verstärkte Sensibilisierung für Gleichstellungsaspekte in allen Bereichen und auf allen Ebenen der Universität durch die Verwendung einer geschlechtsneutralen, einfachen Sprache sowie durch umfassende Informations-, Weiterbildungs- und Beratungsangebote festgelegt. Dazu bedarf es der Professionalisierung und der Erhöhung der Akzeptanz der Gleichstellungsarbeit. Das prinzipielle Vorgehen, um diese Ziele zu erreichen und eine kontinuierliche Verbesserung im Bereich Gleichstellung zu realisieren, ist in *Abbildung 1* dargestellt.

Neben ihrer starken internationalen Ausrichtung ist die TU Bergakademie Freiberg auch mit ihrem regionalen Umfeld eng verbunden und trägt aktiv zu dessen Entwicklung bei. Um die in diesem Zusammenhang bereits laufenden Aktivitäten im Einklang mit der Strategie der Universität zu gestalten, wurde ein **Konzept für Maßnahmen und Instrumente zur Erhöhung der regionalen Wirksamkeit sowie zu strategischen Partnerschaften in der Region FIT** (Konzept regionale Wirksamkeit) erstellt, das in den kommenden Jahren schrittweise umgesetzt werden soll. Aus einer Analyse der Situation sowie der Interessen der relevanten Stakeholder leitet das Konzept eine Vielzahl von Maßnahmen im Bereich der Bildung, der Stärkung der regionalen

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

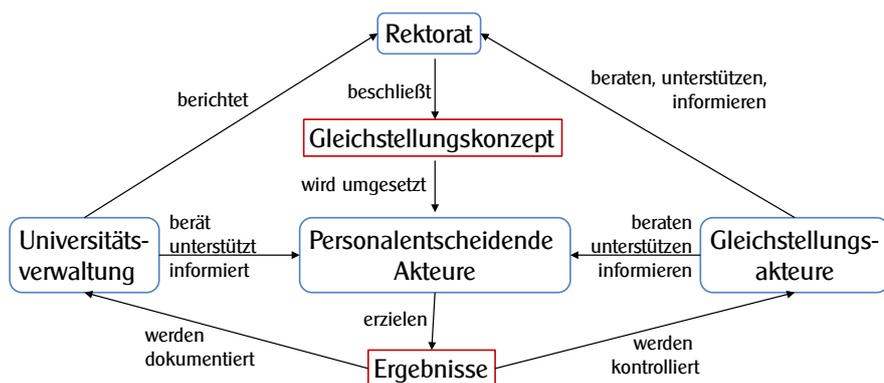


Abbildung 1: Vorgehen zur Umsetzung der Gleichstellungsziele

Akteure der Gleichstellungsarbeit

- Rektorat (Rektor, Prorektoren, Kanzler)
- Universitätsverwaltung (Dezernate 1–5)
- Fakultäten (Dekane, Prodekanen und Professorinnen und Professoren der Fakultäten 1–6, Fakultätsräte)
- Zentrale Einrichtungen (z.B. Leitung der Graduierten- und Forschungsakademie, des Internationalen Universitätszentrums, des Universitätsrechenzentrums oder der Universitätsbibliothek)
- Gleichstellungsakteure (Rektoratskommission Diversity, Gleichstellung und Inklusion, Gleichstellungsbeauftragte der Fakultäten und der Hochschule, Büro der Gleichstellungsbeauftragten, Frauenbeauftragte)

Innovationskraft sowie der Kooperation mit regionalen Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Kultur und Gesellschaft ab, mit denen sich die Technische Universität Bergakademie Freiberg für die Region engagiert und sich konstruktiv einbringt. Wichtige Aktivitätsfelder in diesem Zusammenhang sind die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften, die regionale Verwertung von Ergebnissen aus der Forschung, bspw. durch Ausgründung innovativer Startups, die Bereitstellung

wissenschaftlicher Infrastruktur, die gesellschaftliche Bildung sowie die Förderung des gesellschaftlichen, kulturellen und sozialen Engagements ihrer Mitglieder. Daneben trägt die Universität maßgeblich zur überregionalen und internationalen Vernetzung der Region bei und wirbt weltweit für den Standort Freiberg und damit auch für Sachsen. Unterstützt wird die Umsetzung dieses Konzepts durch die Einrichtung einer zentralen, direkt der Universitätsleitung

unterstellten Transferstelle sowie durch regelmäßige, persönliche Treffen und Gespräche mit Vertretern aller regional wichtigen Ansprechpartner.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit im Rektorat waren die Verhandlungen und der Abschluss der **Zielvereinbarung für die Jahre 2017 bis 2020** mit dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst. Die Verhandlungen waren durch eine konstruktive Zusammenarbeit „auf Augenhöhe“ geprägt. Wichtig war dabei nicht nur die Festlegung der Ziele und Zielwerte, sondern auch ein gemeinsames Verständnis der jeweils zugrunde zu legenden Datenbasis (i.d.R. Zahlen des Statistischen Landesamts). Die vereinbarten Ziele sind ambitioniert. Ein gewisser Spielraum ist durch die Möglichkeit des Ausgleichs zwischen den verschiedenen Zielen gegeben. Voraussetzung dabei ist aber, dass im betreffenden Bereich zumindest die unterste Grenze des festgelegten Zielkorridors erreicht wird. Die Zielvereinbarung umfasst die bereichsübergreifenden Ziele (25 %), die Ziele in Lehre und Studium (30 %), in der Forschung (30 %) sowie die gesellschaftliche Rolle und soziale Verantwortung der Technischen Universität Bergakademie Freiberg (15 %). Aufgrund der aktuellen Bewerberlage stellen vor allem die Ziele aus dem Bereich Lehre und Studium eine Herausforderung dar.

Zusätzlich zur Zielvereinbarung der TU Bergakademie Freiberg mit dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst sind Zielvereinbarungen mit den Fakultäten abzuschließen, die derzeit noch in der Diskussion sind.

Maschinenhaus-Transferhochschule

Matthias Kröger¹

Es gibt einen großen Bedarf an gut ausgebildeten Ingenieuren. Diesen schätzt der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) unter Berücksichtigung des Generationenwechsels bis zum Jahr 2025 auf rund 32.000 Stellen deutschlandweit.

Diesem Bedarf stellt sich auch die TU Bergakademie Freiberg und möchte höhere Einschreibezahlen, kürzere Studiendauern und mehr Studienerfolg erreichen. In Freiberg erhalten die Studierenden nicht nur eine erstklassige Lehre, sondern auch eine individuelle Betreuung. Trotzdem gibt es gerade in punkto Studienerfolg noch Potenziale, die es auszuschöpfen gilt. Deshalb hat die Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik zusammen mit dem VDMA ein Maschinenhaus-Transferprojekt durchgeführt. Im Rahmen dieser vom VDMA mitgetragenen Initiative wurden in speziellen Workshops neue Ideen gesucht, gefunden und konkretisiert.

Ein Hörsaalpraktikum und ein Einblick in die Forschungsaktivitäten der Institute im ersten Semester des Maschinenbaus ermöglichen eine fachübergreifende, praxisnahe Studieneingangsphase und erhöhen die Lernmotivation der Studierenden. Das Hörsaalpraktikum erklärt an vom Alltag her bekannten Maschinen und Geräten, wie Elektrofahrrädern, Wäschetrocknern, Campingkochern oder Ventilatoren, warum es zu deren Entwicklung Kenntnisse verschiedener Fachgebiete bedarf und motiviert damit das breit aufgestellte Maschinenbau-Curriculum.

Außerdem lernen die Erstsemester in kleinen Gruppen die verschiedenen Institute kennen und machen sich mit der enormen Vielfalt des Maschinenbaus allein schon an der Bergakademie Freiberg vertraut, die von ressourcenspezifisch ausgerichteten Aufbereitungs- und Gewinnungsmaschinen über Energie- und Gasanlagen bis hin zum Fahrzeugbau reicht. Dabei entstehen Präsentationen, die zu Semesterende vorgestellt werden. Die Studierenden lernen so bereits zu Beginn ihres Studiums aktuelle Themen aus der Forschung kennen und bekommen einen engeren Bezug zur Universität.

¹ Prof. Dr.-Ing. Matthias Kröger, Studiendekan Maschinenbau

Virtuelles Praktikum Rektifikation

Industrie 4.0 – ein neuer Versuchsstand am Institut für Technische Chemie revolutioniert die Lehre

Michael Kraft, Martin Bertau¹

Die Rektifikation, auch als Gegenstromdestillation bezeichnet, ist in der chemischen Technik das bedeutendste thermische Trennverfahren für die Auftrennung homogener flüssiger Zwei- oder Mehrstoffgemische. Das Trennprinzip beruht dabei auf den unterschiedlichen Siedegleichgewichten der Komponenten und wird in einer Kolonne durch den Stoffaustausch der im Gegenstrom strömenden Phasen Flüssigkeit und Dampf intensiviert. Beispiele hierfür sind die Gewinnung von Kraftstoffen und Basischemikalien aus Erdöl und Erdgas, die Luftzerlegung durch Tieftemperatur-Rektifikation (Linde-Verfahren) oder die großtechnische Herstellung von reinem Ethanol.

Durch Anwendung des Gegenstromprinzips wird im Vergleich zur klassischen Destillation eine wesentlich stärkere Anreicherung der niedriger siedenden Komponente im Kopf der Kolonne erreicht. Der aus dem Kolonnensumpf aufsteigende Dampf wird mit der aus dem Kondensator zurückfließenden Flüssigkeit auf jedem Kolonnenboden in intensiven Phasenkontakt gebracht und dieser durch zusätzliche Einbauten weiter verstärkt. Das Ziel dieser Einbauten (Füllkörper, Packungen, Glocken-, Sieb- oder Ventilböden) ist die optimale Gestaltung des Stoff- und Wärmetransports in der Kolonne. Die Auslegung einer technischen Rektifikationskolonne verfolgt immer die Optimierung bezüglich minimaler Gesamtkosten. Voraussetzung derartiger Berechnungen sind umfangreiche Kenntnisse der Phasengleichgewichte und der Fluidodynamik.

Am Institut für Technische Chemie wurde nach umfangreichen Testläufen zu Beginn des Studienjahrs 2017/18 ein neuer Versuchsstand für das technisch-chemische Praktikum in Betrieb genommen. Anhand von variierenden Betriebsparametern (Rücklaufverhältnis, Heizleistung, Feed-Zufuhr, Feed-Zusammensetzung) können die Studierenden das Betriebsverhalten der Kolonne unter unterschiedlichen Bedingungen ermitteln.

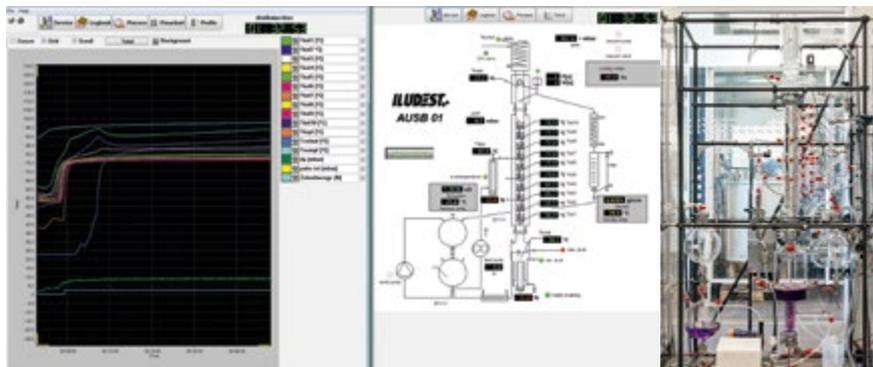


Abbildung 1: Virtueller Praktikumsversuch Rektifikation

Ziel des Versuchs ist es, die Einflüsse diverser typischer Betriebsparameter einer Rektifikationskolonne auf ihre Auswirkungen in der Betriebscharakteristik hin zu untersuchen. Anhand von auslegungsrelevanten Messgrößen am Versuchsstand soll der Einfluss der unterschiedlichen Parameter quantitativ analysiert und somit ein größeres Verständnis der Vorgänge in einer Bodenkolonne erlangt werden. Dabei werden insbesondere das dynamische Verhalten einer Bodenkolonne greifbar und die Begrifflichkeit des stationären Zustandes verdeutlicht.

Das Besondere an dem neuen Versuchsstand ist die Nähe zur betrieblichen Praxis in der Industrie betriebener Rektifikationskolonnen. Der neue Praktikumsversuch verfügt über ein Prozessleitsystem (PLS), das es erlaubt, die Kolonne auch ferngesteuert zu fahren, so wie es im industriellen Alltag über die Leitwarten geschieht. Internationale Studierende können über ein englischsprachiges, webbasiertes Remote-Control-System den Versuchsablauf programmieren, den Versuchsstand steuern und die Durchführung online verfolgen (Abb. 1).

Desweiteren erfolgt eine simultane Messdatenerfassung, -verarbeitung und -speicherung. Die Steuerung kann aus den Computerräumen der Universität, aber auch von einem externen Platz über das Internet ausgeführt werden. Dies eröffnet nicht nur die Möglichkeit zur Einbindung in E-Learning-Kurse, sondern ermöglicht es auch Schwangeren und Eltern, an chemischen Praktikumsversuchen teilzunehmen. Eine weitere Besonderheit ist, dass die Anlage komplett in Glas ausgeführt

ist. Hierdurch können die Vorgänge in der Kolonne, insbesondere zu der Hydrodynamik eines Glockenbodens und jene im Kondensator und Rücklaufverteiler, über eine Webcam via Livestream in Echtzeit verfolgt werden. Im Rahmen des Workshops „Strategic Metal Recovery“ im September 2017 sowie während der Summerschool 2018 im internationalen Studiengang Sustainable and Innovative Natural Resource Management (SINReM) hat der virtuelle Praktikumsversuch seine Feuertaufe erfolgreich absolviert.

Ab dem Wintersemester 2018/19 wird das virtuelle Praktikum am Institut für Technische Chemie zudem durch einen Flüssig-Flüssig-Rührextraktionsversuchsstand ergänzt, der ebenfalls mit PLS, Webcam und webbasiertem Remote-Control-System ausgestattet ist. Beide Versuchsstände wurden aus Mitteln des Hochschulpakts finanziert und sollen die Kompetenz der Studierenden zur Anwendung wissenschaftlicher Methoden in der Praxis erhöhen.

Damit erfolgt die technisch-chemische Ausbildung an der TU Bergakademie Freiberg auf einem deutschlandweit einzigartigen Niveau. Indem die Universität die Studierenden bereits jetzt in der Lehre auf Industrie 4.0 und die digitalisierte Produktion vorbereitet, nimmt sie eine weitere Vorreiterrolle ein, und die Studierenden profitieren von der praxisnahen Ausbildung.

Das Institut für Technische Chemie dankt der Prorektorin für Bildung, Frau Prof. Dr. Rogler, für die Unterstützung bei der Einführung des Themas Industrie 4.0 in die Lehre.

¹ Institut für Technische Chemie, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg
martin.bertau@chemie.tu-freiberg.de

Baggersimulator – Nutzung in Lehre und Forschung

Carsten Drebenstedt¹, Taras Shepel

Einführung

Digitalisierung ist eine maßgebliche globale Tendenz, die fast alle Bereiche menschlicher Tätigkeit beeinflusst. Die Implementierung moderner digitaler Technologien in die Bergbau-Ausbildung ist aufgrund ihrer Komplexität und Interdisziplinarität besonders dringlich. Der künftige Bergbauingenieur muss in der Lage sein, Situationen und Prozesse zu analysieren, Probleme und Verbesserungsbedarf zu erkennen, Problemlösungen zu erarbeiten, die Lösungen in der Realität umzusetzen und im laufenden Betrieb sicherzustellen. Dabei ist eine Reihe von spezifischen Aspekten zu berücksichtigen, wie z. B. Arbeits- und öffentliche Sicherheit, Umweltschutz, Material- und Energieeffizienz, Wirtschaftlichkeit und soziale Verantwortung in der Gesellschaft. Zudem ist die Wirkung einzelner Prozesse auf die Prozesskette der Rohstoffgewinnung als Ganzes abzustimmen. Bergbaumaschinen arbeiten in sich ständig verändernder Umgebung und unter besonderen Bedingungen, z. B. klimatischen Einflüssen im Tagebau oder in räumlich beengten Verhältnissen unter Tage.

Mit dem seit Ende 2017 eingesetzten Bagger-Simulator verfügt die TU Bergakademie Freiberg über eine neue Technologie, um

- Maschinen zu konstruieren,
- die Einsatzumgebung und -bedingungen zu modellieren,
- den Betrieb des konstruierten Gerätes im modellierten Umfeld in Echtzeit physisch zu testen und zu simulieren,
- eine Betriebsdatenanalyse durchzuführen.

Dies eröffnet neue Möglichkeiten für die Ausbildung und für die Forschung. Zugleich kann die dynamische Bedienplattform des Simulators mit ihren Visualisierungsmöglichkeiten für die Studienwerbung und die Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden, um Interessenten die Technik und Möglichkeiten der Digitalisierung nahezubringen.

Technische Ausführung des Geräte-Simulators

Der Bagger-Simulator der finnischen Firma MEVEA Ltd. besteht aus Soft- und Hardwarekomponenten. Letztere umfassen einen Rechner und eine bewegliche Plattform, die mit einem Fahrersitz, einem Monitor und Steuerungseinheiten – wie Pedalen und Joysticks – ausgerüstet ist.

Mithilfe der MEVEA-Software können die Bergbaugeräte und ihre Einsatzumgebung modelliert werden. Dafür wird zuerst die entsprechende 3D-Grafik erstellt. Hierfür stehen mehrere 3D-Modellierungsinstrumente, wie SolidWorks, Autodesk 3ds Max oder ähnliche, zur Verfügung. Die 3D-Grafik muss danach in den MEVEA-Modeller übertragen werden. Die 3D-Grafik wird für die Visualisierung der simulierten Komponenten wie auch für die Definierung der Körpergrenzen (für die Berechnung von Kontaktinteraktionen) genutzt. Physikalische und mechanische Eigenschaften der Körper werden im MEVEA-Modeller festgelegt. Zum Beispiel kann man für den zu baggernden Boden folgende Parameter vorgeben: Dichte, Kompressibilitäts- und Verdichtungsfaktor, Korngröße, Reibungs-, Steifigkeits- und Dämpfungskoeffizient u. a.

Der Körper einer Bergbaumaschine ist definiert, wenn sein Gewicht, Schwerpunkt, Trägheitsmomente und Verknüpfungen eingegeben sind. Körper-Körper- und Material-Körper-Interaktionen

werden zusätzlich definiert. Mechanische Auswirkungen auf den Körper der Maschine werden durch die Simulation eines hydraulischen Systems, des Elektro- oder Verbrennungsmotors sowie durch separate Kraftvektoren oder Drehmomente erzeugt (Abb. 1). Diese Auswirkungen sind mit den Steuerungseinheiten der beweglichen Plattform verbunden, sodass die Bewegung der simulierten Maschine vom Bediener kontrolliert werden kann. Für Berechnungen der kinematischen und dynamischen Parameter der Maschine werden die Methoden der Mehrkörperdynamik genutzt.

Besonderheiten des Bagger-Simulators

Mit dem Geräte-Simulator können verschiedene Maschinen als „digitaler Zwilling“ (*digital twin*) abgebildet werden, z. B. Radlader, Schwerlastkraftwagen, Gabelstapler, Krane, ... Zurzeit wird für Lehrzwecke das numerische Modell (*digital twin*) eines Hydraulikbaggers genutzt (Abb. 1).

Das Modell umfasst ein Raupenfahrzeug, einen Ober- und einen Unterwagen, eine Fahrerkabine, einen Ausleger, einen Löffelstiel, einen Tieflöffel und entsprechende Aktuatoren. Die beweglichen Teile des Oberwagens werden mithilfe von Hydraulikzylindern bewegt. Der Drehung der Kettenturasse und des Oberwagens in Bezug auf den Unterwagen dienen Hydraulikmotoren. Die Hydraulikzylinder und -motoren sind ein Teil des Hydraulikantriebs, der numerisch modelliert wird. Die 3D-Grafik spielt für den Hydraulikantrieb keine Rolle, sondern nur die angegebenen Parameter bzw. Abhängigkeiten zwischen den hydraulischen Aktuatoren, Ventilen, Anschlussstücken und Flüssigkeiten.

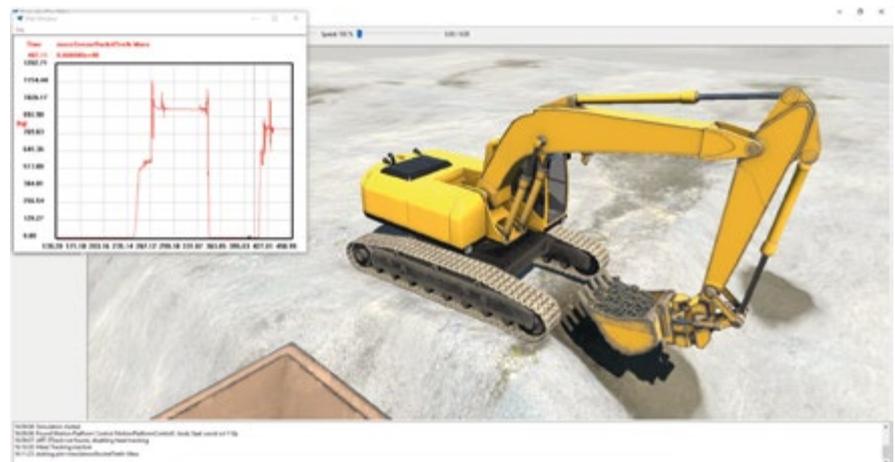


Abb. 1: Digitaler Zwilling eines Hydraulikbaggers in virtueller Umgebung mit Echtzeit-Anzeige von Prozessparametern (links oben)

¹ TU Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau

Das Hydraulikaggregat wird mit einem Verbrennungsmotor betrieben. Für die Einstellung des Motors müssen das Drehzahl-Drehmoment-Diagramm und die Kraftstoffverbrauchsdaten (optional) festgelegt werden (Abb. 2).

Die Berechnungsergebnisse der Maschinenkinematik und -dynamik sowie die Parameter des Grabprozesses sind jederzeit abrufbar. Dafür können mehrere hundert virtuelle Sensoren „installiert“ werden, z. B. für Drücke und Kräfte am Hydraulikzylinder, für das Gewicht/Volumen des Materials in der Baggerschaufel, für die Geschwindigkeit/Beschleunigung der Bauteile, für die Dauer des Arbeitszyklus usw. Die Werte können in Echtzeit angezeigt werden. Dadurch kann der Bediener die Diagramme in einer Ecke des Monitors während des Grabprozesses beobachten. Der Simulationsverlauf kann als Video für weitere Analysen gespeichert werden.

Der Simulator kann auch mit anderen elektronischen und elektromechanischen Systemen ausgerüstet werden, die seine Einsatzmöglichkeiten erweitern.

Einsatz in der Ausbildung

Mit dem vorhandenen Bagger-Simulator können die Studenten die Bedienung eines Hydraulikbaggers wie durch eigene Erfahrung erleben, die Bauteile, deren Funktionen und Kinematik kennenlernen und verstehen, sich den Grabprozess deutlich vorstellen, die gesammelten Betriebsdaten analysieren und Verbesserungen bis hin zum optimierten Einsatz vornehmen (Abb. 3). Derzeit werden weitere Modelle von Bergbaugeräten erstellt, z. B. für einen Schaufelradbagger und eine Teilschnittmaschine, die den Studenten in naher Zukunft zur Verfügung stehen werden (Abb. 4). Der Geräte-Simulator ermöglicht es den Studenten auch, für eine gestellte Aufgabe selbst eine Maschine zu entwickeln, zu konstruieren, zu testen und zu optimieren. Gruppen von Studenten können Lösungen für solche Aufgabenstellungen entwickeln und im Rahmen eines Wettbewerbs präsentieren.

Einsatz in der Forschung

Die Mitarbeiter der Professur Bergbau-Tagebau nutzen den Simulator derzeit für das Prototyping von Gewinnungsgeräten. Zunächst wird ein Konzept der Maschine formuliert, dann werden entsprechende numerische Modelle entwickelt und in den Simulator übertragen. Mithilfe einer Echtzeitsimulation können die Parameter des Gewinnungsprozesses definiert

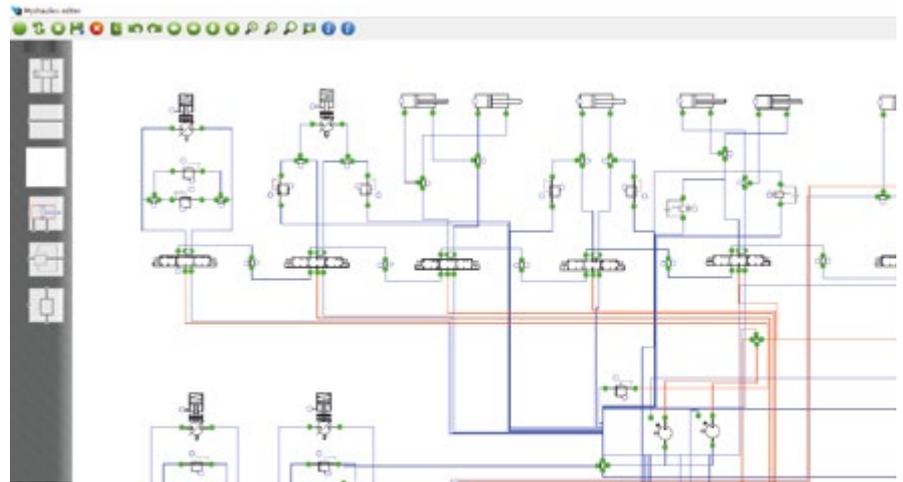


Abb. 2: Vom Mevea-Modeller bereitgestellte Software zur Auslegung des Hydrauliksystems



Abb. 3: Bedienung des Hydraulikbaggers mit realen Steuerelementen auf einem dynamischen Träger zum Erleben und Testen der Maschine unter gegebenen Einsatzbedingungen

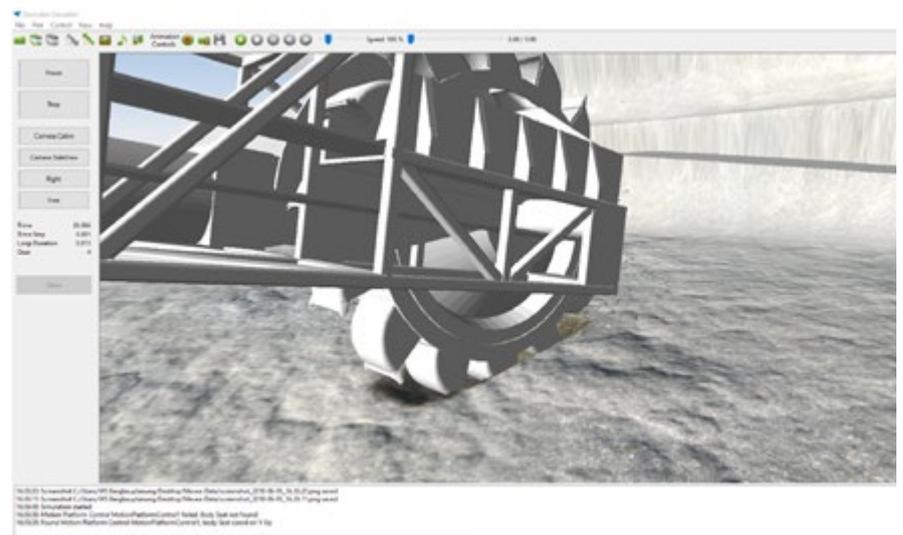


Abb. 4: Teilansicht des an der Professur Bergbau-Tagebau entwickelten digitalen Zwillings eines Schaufelradbaggers

werden. Nach der Datenanalyse kann die Konstruktion der Maschine verändert und nochmals getestet werden. Dieser Optimierungsprozess wird fortgesetzt, bis sich ein optimales Design für die Maschine ergibt.

Die Liste der Aufgaben, die mit dem Baggersimulator gelöst werden können, ist lang:

- Überprüfung der Stand- und Kippsicherheit der Maschine,
- Bestimmung der notwendigen Leistung der Aktuatoren,
- Bestimmung der auf die Bauteile der Maschine wirkenden Kräfte und der Parameter der mechanischen Schwingungen,
- Bestimmung des Energie- oder Kraftstoffverbrauchs,
- Bestimmung der materialabhängigen Produktionsleistung der Maschine in einer definierten Umgebung,

- Test der allgemeinen Flexibilität der Maschine.

Konkret arbeitet die Professur Bergbau-Tagebau daran, den Baggersimulator und den Prüfstand für Schneidwiderstände in Symbiose zu verwenden. Der Prüfstand wird für die Bestimmung der auf einzelne Schneidwerkzeuge eines Graborgans wirkenden Kräfte genutzt. Mit dem Bagger-Simulator ist es nun möglich, die Ergebnisse der Schneidtests auf das numerische Modell der Gewinnungsmaschine, deren Gewinnungsorgan mit mehreren Schneidwerkzeugen ausgerüstet ist, zu übertragen.

Eine vollständige Ähnlichkeit der simulierten mit den realen Gewinnungsprozessen ist zurzeit jedoch noch nicht erreichbar, da die Rechenleistung des Systems begrenzt ist. Das zu simulierende System wird deshalb vereinfacht,

damit die Simulation in Echtzeit möglich bleibt. Andernfalls können verzögerte Reaktionen der Maschinenteile auftreten. Die Erweiterung der Rechenleistung ist ein Ansatz zur kontinuierlichen Verbesserung dieser digitalen Technologie mit wesentlicher Erweiterung der Modellierungsmöglichkeiten schon in naher Zukunft. Dazu steht die Professur mit dem Entwickler des Systems in Verbindung. Ein anderer Ansatz ist die Erweiterung der Stoffparameter zur Charakterisierung der Gesteinseigenschaften und der des Gesteinmassivs.

Nach den ersten positiven Erfahrungen mit dem Simulator ist als nächster Schritt die Beschaffung einer geschlossenen Kabine mit 3D-Bildschirm zur Modellierung und Simulation weiterer Maschinen vorgesehen, beispielsweise für die Förderung mit Schwerlastkraftwagen (*mining truck*).

Deutschlandstipendium – eine Chance für engagierte Studierende

Silvia Rogler¹

Die Technische Universität Bergakademie Freiberg beteiligt sich mit Erfolg am Nationalen Stipendienprogramm der Bundesrepublik Deutschland – oder kurz: am Deutschlandstipendium. Dieses Programm startete 2011 mit dem Ziel, zu einer neuen Förder- und Stipendienkultur in Deutschland beizutragen.

Mittel, die die Hochschulen von privaten Spendern einwerben, werden bis zur Förderhöchstgrenze von der Bundesrepublik Deutschland verdoppelt. Jeder Stipendiat erhält 300 € monatlich. Eine Hochschule kann die Förderhöchstgrenze überschreiten, wenn andere Universitäten ihre Mittel nicht ausschöpfen. Bereits 2011 konnte die Technische Universität Bergakademie Freiberg mit 23 Stipendien die Förderhöchstgrenze von damals 0,45 % der Studierenden überschreiten. Auch in den Folgejahren war die TU Bergakademie Freiberg ähnlich erfolgreich (vgl. *Abbildung 1*). Im Jahr 2018 werden beispielsweise 1,9 % der Studierenden gefördert, bei einer Förderhöchstgrenze von eigentlich 1,5 %. In den letzten sieben Jahren (2011–2017) wurden 420 junge Menschen durch dieses Programm unterstützt, davon 42 % Frauen. Unsere Stipendiaten stammen aus über 22 Nationen, wobei die deutschen Stipendiaten mit 90 % den größten Anteil ausmachen.

Ohne die Mithilfe der vielen Fürsprecher und Förderer wäre diese erfreuliche Entwicklung nicht gelungen. Schön ist, dass sich unsere Förderer

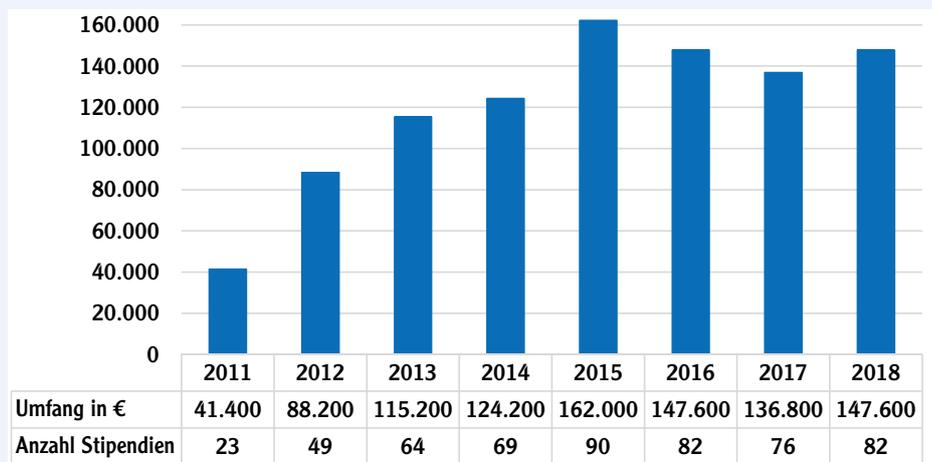


Abbildung 1: Entwicklung der Deutschlandstipendien an der TU Bergakademie Freiberg

nicht nur finanziell engagieren, sondern auch den Stipendiaten mit Rat und Tat zur Seite stehen.

Wer sind diese Stipendiaten? Zunächst zeichnen sie sich durch hervorragende Leistungen im Studium aus. Viele konnten bereits Erfolge, wie sehr gute Platzierungen bei „Jugend forscht“ oder bei Mathematik-Olympiaden, feiern. Zusätzlich zeigen unsere Stipendiaten ein beeindruckendes universitäres und gesellschaftliches Engagement. Vom Rettungsschwimmer über Dienste bei der Freiwilligen Feuerwehr und dem Technischen Hilfswerk, von der Jugendbetreuung über die Mitwirkung im Collegium Musicum bis zur Unterstützung der Selbstverwaltung der Universität ist alles zu finden.

Lassen wir nachfolgend nun drei Stipendiaten selbst zu Wort kommen, um über ihre Erfahrungen zu berichten.

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

Erfahrungen einer Deutschlandstipendiatin: Katharina Dressler – Umformtechnik

Ein herzliches Glück auf!

Mein Name ist Katharina Dressler, seit drei Jahren bin ich Studentin an der TU Bergakademie Freiberg.



Schon einige Zeit vor Studienbeginn hatte ich mich für den Diplomstudiengang Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie entschieden. Da ich aus Freiberg stamme, war ich schon zu Schulzeiten mit der Universität in Kontakt gekommen. Dank der engen Zusammenarbeit meines Gymnasiums mit der Bergakademie, beispielsweise im Rahmen der Schüleruni oder von Schülerwettbewerben, entdeckte ich frühzeitig das interessante Feld der Werkstoffherzeugung, -verarbeitung und -forschung für mich. Als ich dann in der elften und zwölften Klasse die Möglichkeit hatte, im Zuge einer Arbeit für die Schule Versuche an der Universität durchzuführen und dabei erstmals selbstständig wissenschaftlich arbeiten konnte, stand die Entscheidung für meinen Studiengang fest. Damals beschäftigte ich mich eingehend mit Ringstauchversuchen. Diese dienen in der Umformtechnik dazu, Reibwerte zu ermitteln – Größen, über die bei vielen Umformprozessen Kenntnisse benötigt werden. Die Untersuchungen erfolgten dabei in meiner ersten Arbeit an Magnesiumproben, in der zweiten an verzünderten Stahlproben.

Jetzt, da die ersten sechs Semester des Studiums absolviert sind, wird einem klar: Man hatte damals nur allererste Einblicke in das weite Feld der Umformtechnik erhalten. Dennoch haben diese Erfahrungen mich in meiner Entscheidung für diese Studienrichtung bestärkt.

Das Geschwister-Scholl-Gymnasium bot mir damals auch frühzeitig die Möglichkeit an, die Werkstofftechnik etwas näher kennenzulernen. So gab es bei uns in der elften und zwölften Klasse einen Wahlgrundkurs „Werkstoffe“, der uns erstmals Grundlagen für dieses Studienfach vermittelte und erste Einblicke gewährte. Auch einige meiner damaligen Klassenkameraden, die mit mir diesen Kurs belegt hatten, nahmen später ein Studium in Freiberg auf. Die dort vermittelten Grundlagen haben mich sehr interessiert. Zurückblickend – schon nach den wenigen Semestern – erkennt man, dass

auch solche Angebote nur einen kleinen Ausschnitt aus einem so umfangreichen Fachgebiet aufzeigen können. Das breite Feld der Materialforschung hält noch viele Herausforderungen für naturwissenschaftlich interessierte Studenten bereit!

Wir können hier zwischen diversen Vertiefungsrichtungen

wählen; besonders begeistert hat mich dabei das Gebiet der Umformtechnik. Die Metallformung als solche stellt gerade in Deutschland einen bedeutenden, interessanten und auch zukunftssicheren Industriezweig dar. Trotz des weitreichenden Erfahrungsschatzes auf diesem Gebiet bieten sich hier für angehende Ingenieure noch vielfältige Forschungsmöglichkeiten. Besonders in Bezug auf Ressourcenschonung und -effizienz birgt die Umformtechnik großes Potenzial, wenn es darum geht, Materialien optimal zu nutzen. Unsere Fakultät kann dabei auf ein langjähriges, fundiertes Fachwissen zurückgreifen, das sich auch in der Lehre widerspiegelt. Dennoch wird der Blick stets in die Zukunft gerichtet, besonders wenn es um die Verbesserung herkömmlicher oder um die Entwicklung neuer Materialien oder Prozesse geht.

Um mich voll und ganz auf mein Studium und meine Interessen konzentrieren zu können und gleichzeitig Kontakte zu Firmen aufzubauen, habe ich mich im zweiten Semester für das Deutschlandstipendium beworben. Damals konnte ich die Schmiedewerke Gröditz GmbH von mir als Stipendiatin überzeugen, die mich nun schon das dritte Jahr in Folge unterstützt.

Ein solcher Kontakt zum Förderer ist meiner Meinung nach ein besonders wertvoller Aspekt des Deutschlandstipendiums. Im Rahmen dieses Stipendiums hatte ich beispielsweise die Möglichkeit, die Schmiedewerke Gröditz GmbH einmal ausführlich zu besichtigen, was mir und einem anderen Stipendiaten spannende Einblicke lieferte. Dort lernten wir auch einige Mitarbeiter sowie Angehörige der Geschäftsführung kennen. Die Führung durch das Werk wurde damals von einem ehemaligen Freiburger Studenten vorgenommen, für uns eine anspornende Begegnung! Eine Besonderheit an der TU Bergakademie Freiberg ist die überschaubare

Größe der Universität. Für mich stellen die Vorlesungen in kleinen Gruppen, der enge Kontakt zu Kommilitonen wie auch zu den Dozenten einen der großen Vorteile dieser Uni dar.

Grundsätzlich achtet man in Freiberg darauf, die Studenten frühzeitig an Unternehmen heranzuführen. Das erfolgt zum einen über Exkursionen im Rahmen von Vorlesungen, die es ermöglichen, das vermittelte Wissen auch praktisch angewendet zu sehen, zum anderen durch das Ingenieurpraktikum. In unserem siebenten Semester bearbeiten wir ein halbes Jahr lang selbstständig ein von der Industrie gestelltes Thema. Auch hierdurch können Kontakte zu Unternehmen der Branche geknüpft werden. In unserer Auswahl sind wir dabei sehr frei, solange sich die zu bearbeitenden Themen mit unserer Studienrichtung decken. Für das Ingenieurpraktikum stehen uns nicht nur deutschlandweit Firmen zur Auswahl: Wer willens und bereit ist, kann dabei auch Auslandserfahrung sammeln. Ich selbst habe mich für das Ingenieurpraktikum bei einer Firma im Ausland beworben und ab Oktober für ein halbes Jahr Freiberg verlassen, um in die Schweiz zu gehen.

Durch die langjährige Bergbautradition in Freiberg entwickelten sich hier zeitig weiterverarbeitende Betriebe. Um die benötigten Werkzeuge für den Bergbau bereitzustellen, war von jeher die Schmiedetechnik bedeutend. Eine überzeugende Vorstellung davon, wie dieses Handwerk damals ausgeübt wurde, bietet auch heute noch der Freibergsdorfer Hammer. Für mich als Studentin der Umformtechnik ist es jedes Mal aufs Neue spannend zu sehen, wie solche Schmieden früher mit Wasserrädern betrieben wurden oder wie Schmiedeteile eben auch mittels bloßer Muskelkraft gefertigt wurden. Diese Verbindung aus Tradition und Moderne, wie man sie in Freiberg am Beispiel des Freibergsdorfer Hammers heute noch hautnah erleben kann, ist sehr interessant.

Außer im Freibergsdorfer Hammerverein beschäftigte ich mich in meiner Freizeit vor allem mit zwei Dingen. Ich spiele seit zwölf Jahren Klavier, wobei ich viele Jahre Unterricht genommen habe. Heute gebe ich mein Können an die Tochter einer Bekannten weiter, was mir sehr viel Freude bereitet. Außerdem nutze ich meine Freizeit gern für Sport; auch hierfür hält die Uni eine Vielzahl von Angeboten bereit. Besonders glücklich bin ich im



Mitglieder des Vereins Freibergsdorfer Hammer beim Schmieden an der Schwanzhammeranlage

Schwimmteam der Uni geworden sowie bei den Gesellschaftstanzkursen, die ich mit meinem Freund schon mehrmals besucht habe. Dort gelernte Tänze und Figuren können dann bei den Bällen im Sommer und Winter angewendet werden.

Die finanzielle Unterstützung, die mir das Deutschlandstipendium gewährt, gibt mir die Möglichkeit, mich ehrenamtlich in Vereinen wie eben dem „Freibergsdorfer Hammer“ zu engagieren. Anderen Menschen das Gebiet der Umformtechnik vorzustellen und dabei die weit zurückreichende Tradition aufzeigen zu können, freut mich immer sehr. Auch die Möglichkeit, selbst einmal den Schmiedehammer zu schwingen, um zu erfahren, wie viel Geschick und Erfahrung dieses Handwerk damals wie heute erfordert, ist dabei natürlich ebenfalls ein ganz spannender Aspekt. Wenn man dann noch aufgrund

der im Studium vermittelten Inhalte in der Lage ist, die jeweils ablaufenden Prozesse zu verstehen und nachzuvollziehen und gleichzeitig auch kritisch zu hinterfragen, wird einem der Praxisbezug unseres Studiums gleich wieder bewusst. Den Freiburger Studenten wird also nicht nur die Theorie vermittelt, sondern auch stets der Bezug zur Praxis hergestellt.

Mittlerweile habe ich schon über die Hälfte meines zehn Semester andauernden Studiums absolviert und in jeder Etappe viel neues Wissen dazugewonnen, interessante Erfahrungen gemacht und tolle Freunde kennengelernt. Blicke ich dabei auf die vergangenen Jahre zurück, kann ich mir ruhigen Gewissens sagen: Es war die richtige Entscheidung, hier in Freiberg zu studieren – an einer sehr schönen Universität mit langjähriger Tradition und hoher persönlicher Note.

Erfahrungen eines Deutschlandstipendiaten: Max Stirl – Wirtschaftsingenieurwesen

Mein Name ist Max Stirl und ich zähle zu den Studierenden, die das Deutschlandstipendium erhalten. Ich habe seit nunmehr drei Jahren das Glück, durch die Dr. Erich-Krüger-Stiftung gefördert zu werden.

Als gebürtiger Freiburger war ich lange Zeit skeptisch, ob ich ein Studium in dieser Stadt beginnen sollte. Ich wusste zwar aufgrund der engen Kontakte des Geschwister-Scholl-Gymnasiums



zur hier ansässigen Uni um den guten Ruf und die Vorzüge der TU Bergakademie, wie beispielsweise um das nahe Verhältnis zwischen den Studierenden und ihren Professoren. Allerdings sehnte ich mich eigentlich nach einer größeren Stadt, um mal „rauszukommen“ und andere Seiten der Welt zu sehen. Da

durch die Schule in mir allerdings ein tiefgreifendes Interesse an Werkstoffen

entfacht war und mich betriebswirtschaftliche Aspekte ebenfalls interessierten, suchte ich nach einem Studienprofil, das in dieser Kombination wohl fast nur in Freiberg, deutschlandweit gesehen, realisiert werden kann. Im Nachhinein muss ich gestehen, dass diese Entscheidung absolut richtig war, denn nie hätte ich mir anderswo solche Studienverhältnisse – vor allem in meiner Vertiefungsrichtung Gießerei- und Umformtechnik – erträumen können. Die kleine Studentenzahl sorgt für eine intensive Betreuung durch die Lehrenden, und aufgrund diverser Praktika während der Semester können wir auf einen nicht nur in theoretischen Fragen großen Wissensschatz zurückgreifen, den teilweise maßgeblich Freiburger Wissenschaftler erschaffen haben. Neben zahlreichen Gastdozenten, die uns hautnahe Einblicke in die Praxis vermitteln sowie den zahlreichen Industriekontakten gibt es noch weitere die Bergakademie auszeichnende Vorzüge vor anderen Universitäten, die ich so nie gesehen hätte und nun nicht mehr missen möchte.

Das Stipendium sehe ich als Chance an, eben nicht die Zeit außerhalb des Hörsaals zur Finanzierung meines Studiums nutzen zu müssen, sondern aktiv meinen Hobbys und neuen Interessen nachgehen zu können. Konkret habe ich neben meiner Passion für den Fußball durch Sportkurse an der Universität das Gesellschaftstanz für mich entdeckt; außerdem engagiere ich mich stark in der studentischen Unternehmensberatung Prisma Junior Consulting. Diese hat mich – veranlasst durch deren Werbungsaktivitäten in einigen Vorlesungen – sofort fasziniert und dazu angeregt, mir Fähigkeiten anzueignen, die nicht im Universitätsalltag vermittelt werden können und doch so elementar sind. Allein die Tatsache, dass die beiden vortragenden Redner der Firma ohne nervös zu wirken vor einem vollen Audimax sprachen und meinten, so etwas durch häufige Trainings und angemessene Präsentationstechniken erlernt zu haben, hat dazu geführt, dass ich mich dort engagieren wollte. Seit diesem Tag sind nun mittlerweile mehr als zweieinhalb Jahre vergangen. In dieser Zeit avancierte ich zum ordentlichen Mitglied, war ein Jahr lang Vorstand für Finanzen und Recht und durfte neben zahlreichen Workshops auch zwei Beratungsprojekte mit externen Partnern durchführen. Die wertvollste Sache, die ich aus meiner bisherigen Zeit bei Prisma Junior Consulting mitgenommen habe, sind allerdings nicht diese wichtigen

Erfahrungen, sondern die Freundschaften und Menschen, die ich während dieser Zeit in ganz Deutschland kennenlernen durfte.

Was zunächst mit einigen Kommilitonen begann, die man bei der Vereinsarbeit kennengelernt hatte, mündete in die regelmäßigen Treffen des Dachverbands JCNetwork e. V., in dem Prisma Junior Consulting Mitglied ist. Auf den JCNetwork Days treffen sich über 500 studentische Berater aus allen Teilen Deutschlands, um sich gegenseitig auszutauschen, voneinander zu lernen und zahlreiche Kontakte sowohl untereinander als auch mit vielen

bekanntem Beratungsfirmen zu knüpfen. Diese Treffen stellen jedes Mal ein Highlight des Semesters dar, auf welches ich mich jedes Mal freue und das mir stets zeigt, warum mein Engagement bei Prisma Junior Consulting für mich die richtige Entscheidung war: Denn nirgendwo sonst kann ich so viele Erfahrungen sammeln, neue Leute kennenlernen und Spaß haben.

Meine übrige freie Zeit nutze ich für sportliche Aktivitäten aller Art. Besonders das Fußballspielen in der heimischen Männermannschaft bildet für mich den idealen Ausgleich.

Wie man sieht, hilft mir das Stipendium nicht nur, mich auf das Studium zu fokussieren, sondern es erlaubt mir eine freie Gestaltung meines Studienlebens sowie auch abseits des Weges Blicke über den Tellerrand. So soll es mir in Zukunft auch dabei helfen, einen Auslandsaufenthalt gegen Ende meines Studiums zu ermöglichen, um doch aus Freiberg „mal rauszukommen“.

Für diese Förderung im Rahmen des Deutschlandstipendiums kann ich mich deshalb bei der Dr. Erich-Krüger-Stiftung nur herzlich bedanken.

Über den Tellerrand Freibergs geschaut – nach Russland

von Jessica Dittmann

Wer selbst einmal studiert hat, weiß: Das Studium besteht nicht nur aus fachlicher Bildung, sondern ist auch eine Zeit der persönlichen Weiterentwicklung. Ich persönlich habe es mir zum Ziel gesetzt, während meines Studiums des Wirtschaftsingenieurwesens über den Tellerrand zu schauen. Und Freiberg war ein guter Ort dafür!

Den Grundstein für viele tolle Erlebnisse legte ich eher zufällig, als ich im dritten Semester einen Sprachkurs am Sprachenzentrum der TU Bergakademie Freiberg begann. Ich hatte mich gemeinsam mit einigen Kommilitonen entschieden, Russisch zu lernen, und schon nach wenigen Unterrichtsstunden zog mich die Sprache in ihren Bann. Um Land und Leute kennenzulernen, packte ich ein Jahr später meine Koffer und reiste für einen Sommer nach Tscheljabinsk. Die Reise dorthin wird jedes Jahr vom Studentenwerk Freiberg organisiert und obwohl – oder weil – die Stadt im Ural vor allem für ihre angeblich fehlende Schönheit bekannt ist, ermöglicht sie einen unverfälschten Eindruck von Russland. Ich bin froh, nicht allein gereist zu sein, sondern mit einer Gruppe aus Freiburger und Mittweidaer Studierenden – denn geteilte Erlebnisse machen Erfahrungen umso stärker. Die Vormittage in Tscheljabinsk verbrachten wir mit einem Russischkurs, die Nachmittage und Wochenenden mit allerlei Ausflügen. Wir erfuhren von geschlossenen Städten, ermordeten Zaren und von der russischen Vorstellung des Begriffs „Wandern“. Bis heute denke ich schmunzelnd daran zurück, wie uns die Schaffnerin im Zug so wirsch ein Eis anbot, dass wir sicher waren, wir bekämen wegen eines offenen Fensters Ärger. Die ersten Versuche, unsere Russischkenntnisse anzuwenden, endeten mit der doppelten Menge an Sushi. Aber zum Glück konnten wir uns nach den anstrengenden Tagen in unserem Wohnzimmer mit diversen krabbelnden Mitbewohnern erholen! Wer nach diesem hier kurz wiedergegebenen Eindruck nun auch gern nach Tscheljabinsk reisen möchte, dem sei an dieser Stelle ans Herz gelegt, sich für eine Förderung durch den Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) zu bewerben – die Chancen darauf stehen gut.

Drei Jahre und etliche Russischstunden im Freiberg später – die Erinnerungen an die Kakerlaken im russischen Wohnheim waren schon ein bisschen verblasst – wagte ich eine weitere Reise nach Russland. Mittlerweile befand ich mich im Master mit



der Studienrichtung Werkstofftechnologie und bekam vom internationalen Universitätszentrum eine Information über eine Sommerschule in Novosibirsk zum Thema „Werkstoffe der Zukunft“.

Die Sommerschule war Teil des Go-East-Programms des DAAD und mit einem Vollstipendium verbunden. Ich organisierte An- und Abreise nach Novosibirsk selbst und entschied mich dafür, ab Moskau mit der Transsibirischen Eisenbahn zu fahren. Auch der Schaffner – ein Student aus St. Petersburg – war überrascht über einen ausländischen Fahrgast und stellte allerhand Fragen zu deutschen Wäldern, deutschem Durchschnittseinkommen und deutschen Käsesorten. Angekommen in Novosibirsk, besuchte ich zwei Wochen lang Vorlesungen an der Universität NGTU. Besonders interessant war es, die aktuellen Forschungsfelder der Werkstoffwissenschaftler in Novosibirsk kennenzulernen und die technische Ausstattung der Universität in Praktika selbst mit zu nutzen. Highlight der Sommerschule war jedoch eine im Vollstipendium inbegriffene einwöchige Reise ins Altai-Gebirge (vielen Dank an den DAAD). Vor toller Gebirgskulisse war ich reiten, raften und wandern und konnte dabei die anderen Teilnehmer der Sommerschule besser kennenlernen. Und immerhin eine Woche wohnte ich in einem Zimmer ohne Kakerlaken.

Auf meinen beiden Reisen habe ich verstanden, dass sich das Leben im Ausland in vielerlei Hinsicht von dem in Deutschland unterscheidet. Und dass es sich lohnt, tief einzutauchen und genau hinzusehen. Zurück in Freiberg wollte ich ausländischen Studierenden dabei helfen, in Deutschland auch tief einzutauchen. Ich engagierte mich im Rahmen des Sprachpatenprogramms, lernte beim Russischen Stammtisch neue Leute kennen und zeigte ihnen mein Leben in Deutschland. Daneben arbeitete ich ehrenamtlich mit Austauschschülern aus der ganzen Welt, die ein Jahr in Deutschland verbringen.

Dies war mir vor allem dadurch möglich, dass ich während meines gesamten Studiums durch das Deutschlandstipendium finanziell entlastet wurde. Dafür bin ich sehr dankbar und hoffe, dass ich durch mein Engagement in und außerhalb der Universität vielen Menschen dabei helfen konnte, ebenfalls über den Tellerrand zu schauen.

Leuchtturmprojekt zur Überführung von Studienabbrechern in eine Berufsausbildung gestartet

Kristina Wopat¹

Studienabbrecher*innen für eine berufliche Ausbildung in Sachsen zu gewinnen, ist Gegenstand des Leuchtturmprojekts „Quickstart Sachsen“, das seit April 2018 von der Graduierten- und Forschungsakademie (GraFA) der TU Bergakademie Freiberg koordiniert wird.

Um die Finanzierung zu ermöglichen, wurde eine bilaterale Vereinbarung zwischen Bund (BMBF) und Freistaat Sachsen (Federführung: Sächsisches Staatsministerium für Kultus – unter Mitwirkung des SMWK sowie dreier weiterer sächsischer Ministerien) abgeschlossen, die die Förderung bis Dezember 2020 sicherstellt.

Einigkeit besteht bei allen beteiligten Partnern, dass der Studienerfolg an den Hochschulen Priorität hat. Aber trotz intensiver Anstrengungen, die darauf gerichtet sind, die Studienerfolgsquote zu erhöhen, werden auch in Zukunft Studienabbrüche eine Realität bleiben.

Ein Studienabbruch ohne Abschluss betrifft mittlerweile jeden Sechsten eines Geburtenjahrgangs in Sachsen.

Belastbare Zahlen zum Studienabbruch in Deutschland bietet aktuell insbesondere die Studie des DZHW [1] von Heublein et al. von 2017. Demnach beträgt die (echte) Abbruchrate² bei Bachelorstudierenden im bundesdeutschen Durchschnitt rund 29 Prozent. Sie unterscheidet sich zwischen den einzelnen Studiengängen erheblich.

Die höchsten Abbruchraten sind an Universitäten für die Fächergruppen Mathematik (51 Prozent), gefolgt von Informatik (45 Prozent), Chemie (42 Prozent) sowie Physik und Geowissenschaften (40 Prozent) zu verzeichnen. Die Ingenieurwissenschaften liegen bei 32 Prozent. Auch in der Fächergruppe Rechts-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften lässt

sich eine Studienabbruchquote von 30 Prozent konstatieren [2]. Diese besonders abbruchgefährdeten Fächergruppen werden in Sachsen von rund drei Vierteln aller Studierenden (74,59 Prozent) gewählt.

Da mittlerweile rund die Hälfte eines Geburtenjahrgangs in Sachsen nach der Schule ein Studium an einer Hochschule aufnimmt, ist davon auszugehen, dass etwa jeder Sechste eines Geburtenjahrgangs die Hochschule ohne Abschluss verlässt, deutschlandweit ist es etwa jeder Siebente.

Der Studienabbruch ist in unserer Kultur tabuisiert und wird mit Versagen gleichgesetzt, weshalb er für viele Betroffene schambesetzt ist und sie spät oder gar keine Unterstützung suchen. Angesichts dieser Zahlen ist es sinnvoll, dieses Phänomen weniger negativ zu betrachten.

Die im Studium erworbenen Fach- und Methodenkompetenzen sowie die dann schon höhere persönliche Reife vieler junger Menschen nach einem Studienabbruch werden von Unternehmen in der beruflichen Ausbildung sehr geschätzt, und viele Studienabbrecher*innen haben erfolgreiche berufliche Karrieren vorzuweisen, werden Führungskräfte, gründen eigene Unternehmen und kehren mitunter auch an die Hochschulen zurück.

Studienabbrecher sind nach Abschluss einer Berufsausbildung gefragte Fachkräfte.

Die Heublein-Studie zeigt, dass ein halbes Jahr nach Verlassen der Hochschule nur 43 Prozent der Abbrecher eine Berufsausbildung aufgenommen haben [3]. Diese Zahl ist erschreckend niedrig und zeigt, dass mehr als der Hälfte der Betroffenen ein zeitnahe Übergang in eine berufliche Ausbildung nicht gelingt.

Der Fachkräftemangel – insbesondere bei Facharbeitern, Technikern und Meistern – steigt gegenwärtig jährlich. Bis zum Jahr 2030 – gegenüber dem Bezugsjahr 2014 – wird für Sachsen ein Rückgang der Zahl der erwerbsfähigen Personen in der Bevölkerung um 16,4 Prozent (rund 392.500 Erwerbsfähige) prognostiziert [4]. Der IHK-Geschäftsklimaindex [5] zeigt mit dem Wert 132 den höchsten Wert seit 2007, was mit einem zusätzlich

steigenden Fachkräftebedarf verbunden ist. Dementsprechend wird im Risikoradar als höchster Risikofaktor für die wirtschaftliche Stabilität in Sachsen der Fachkräftemangel mit 49 % angegeben, damit werden erstmals alle anderen Faktoren überholt. Im Vergleich dazu werden die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen mit 40 und die Inlandsnachfrage lediglich mit 38 Prozent bewertet.

Leuchtturmprojekt bündelt Kompetenzen und schafft ein sachsenweites Netzwerk.

In den vergangenen Jahren haben alle sächsischen Hochschulen Angebote zur Erhöhung der Studienerfolgsquoten und für die Unterstützung von „Studienzweiflern“ entwickelt. Die Agenturen für Arbeit, die Kammern und andere Funktionsträger brachten regionale Projekte auf den Weg, die gezielt Studienabbrecher*innen ansprechen. Insgesamt ist bereits einiges an Erfahrung zu diesem Thema in Sachsen vorhanden.

Im Zentrum des Leuchtturmprojekts stehen deshalb

- Best-Practice-Ansätze innerhalb Sachsens, Deutschlands und Europas zu identifizieren,
- diese mittels Fachtagungen, Workshops und einer Webseite bekannt zu machen und – wenn möglich – in andere sächsische Regionen zu transferieren,
- durch qualitative Befragungen im Rahmen einer Studie das Phänomen Studienabbruch aus der Perspektive der Abbrecher besser zu verstehen,
- Berater*innen an den Hochschulen und an den Agenturen für Arbeit entsprechend fortzubilden,
- ein gemeinsames Informationssystem als Wiki (wie ein fachbezogenes netzwerkinternes Wikipedia) aufzubauen, das die Beratung an den Hochschulen, bei den Kammern und Arbeitsagenturen unterstützt,
- regionale Projekte zur Begleitung von Studienabbrecher*innen in einem sachsenweiten Netzwerk zusammenzuführen, um die Schaffung von Synergien zwischen den verschiedenen Projekten, Regionen und Akteuren in Sachsen zu erleichtern und systemische Ansätze der Ansprache

1 Graduierten- und Forschungsakademie, TU Bergakademie Freiberg, Prüferstraße 2; wopat@tu-freiberg.de

2 In der Heublein-Studie werden nur diejenigen als Abbrecher gezählt, die keinen Hochschulabschluss erlangen. Wer nach einem oder mehreren Studiengangwechseln letztlich erfolgreich abgeschlossen hat, wird bei den abgebrochenen Studiengängen für die Ermittlung der Studienabbrecherzahlen herausgerechnet.

und Begleitung von Studienzweifler*innen und Studienabbrechern zu gestalten,

- durch Informationskampagnen zur Enttabuisierung des Studienabbruchs beizutragen.

Die eigentliche Beratung der Studienabbrecher*innen ist hingegen nicht förderfähig.

Die Leitung des Leuchtturmprojekts obliegt Dr. Kristina Wopat, Direktorin der GraFA, unter deren Dach auch das Career Center angesiedelt ist. Partner sind die Universität Leipzig, die TU Dresden, die TU Chemnitz, die Hochschule Mittweida, die Westsächsische Hochschule Zwickau, die HTWK Leipzig, die HTW Dresden sowie die Hochschule Zittau-Görlitz, die ab Januar 2019 mit entsprechenden Personalstellen ausgestattet werden. Die Regionaldirektion Sachsen der Bundesagentur für Arbeit, die beteiligten Ministerien und Kammern kooperieren eng und

unterstützen den Projektfortschritt durch Mitarbeit in einer Begleitgruppe. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse können auf diese Weise unmittelbar in die Arbeit der Ministerien zurückgespiegelt werden und ggf. in die Planung gesonderter Berufsschulklassen für Studienabbrecher, in Förderprogramme sowie in die Fachkräftenrichtlinie des Freistaates Sachsen einmünden.

Seit 19. September 2018 ist die Webseite studienabbruch-und-weiter.de online.

Am 19. September 2018 wurde das Leuchtturmprojekt mit einer Fachtagung unter Beteiligung des BMBF, einiger sächsischer Ministerien und aller weiteren Partner im Tagungszentrum der sächsischen Wirtschaft in Radebeul der Öffentlichkeit vorgestellt. Zeitgleich geht auch die

Webseite des Leuchtturmprojekts „Quickstart Sachsen“ online, auf der sich künftig Studienabbrecher umfassend über die beruflichen Perspektiven nach einem Studienabbruch informieren können.

Literatur

- 1 Ulrich Heublein/Julia Ebert/Christopher Hutzsch/Sören Isleib/Richard König/Johanna Richter/Andreas Woisch: Zwischen Studierwartungen und Studienwirklichkeit. Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung 2017
- 2 Ebenda S. 265 f.
- 3 Ebenda s. 220 ff.
- 4 Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen, Kamenz 2016: 6. Regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung für den Freistaat Sachsen 2015 bis 2030 zum Gebietsstand 01.01.2016; Variante 2, S. 9
- 5 Die Sächsischen Industrie- und Handelskammern; Pressemitteilung vom 19.05.2017

INTERNATIONAL

Akademische Ausbildung für den Bergbausektor Afghanistans

Carsten Drebenstedt¹

Naturpotenzial und Gesellschaft

Eigentlich scheint es ganz einfach: Wenn sich ein Land entwickeln will, benötigt es Wertschöpfung. Diese entsteht durch Arbeit. Entsprechend dem Grad der Wertschöpfung finanziert die Arbeit den Lebensunterhalt (Konsum) und über Steuern/Abgaben den Staat. Dieser wiederum sollte in Bildung, Sicherheit, Rechtssystem, Verwaltung, Wirtschaftsförderung/Infrastruktur und andere strategische Bereiche investieren, um möglichst noch mehr und höherqualifizierte Arbeit und damit weitere Wertschöpfung zu generieren. Dann sollten auch soziale Spannungen und Auseinandersetzungen um die Verteilung des Wohlstands mit Kapitalflucht, Korruption und Abwanderung, insbesondere der gebildeten Bevölkerung, ausbleiben (Abb. 1) [23].

Womit kann ein Land aber nun Arbeit und Wertschöpfung in Gang bringen? Zuerst fällt einem da die Nutzung seiner natürlichen Potenziale ein. Dies können guter Boden und Klima für eine entsprechend ertragsreiche Land- und

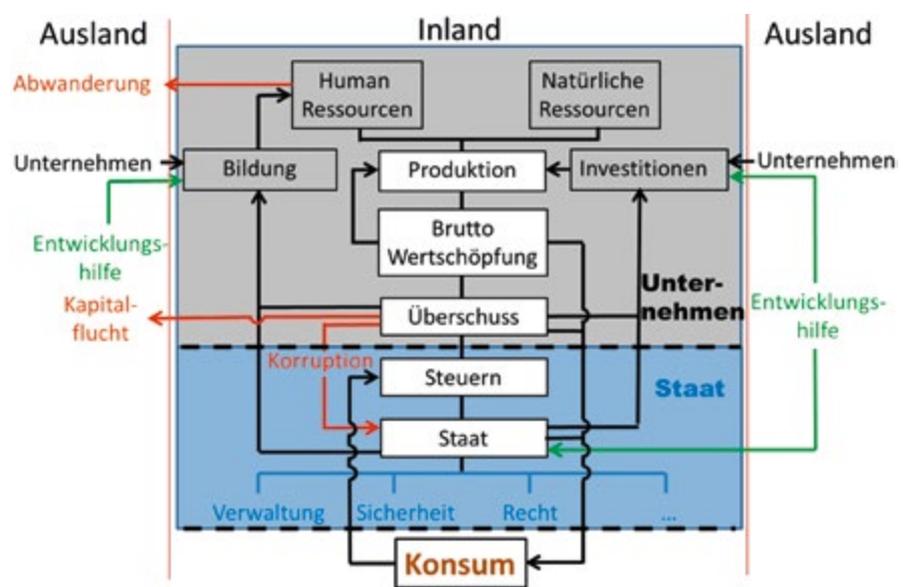


Abb. 1: Finanzströme in der Gesellschaft und die Rolle beteiligter Akteure (stark vereinfacht)

Forstwirtschaft oder Gewässer für den Fischfang und den Transport sein, womit wir bei der klassischen Urproduktion wären, d. h. der Produktion, auf der alle anderen basieren. Dazu gehört auch die Nutzung der Bodenschätze. Landschafts- und Naturschönheiten fördern den Tourismus, der als Wirtschaftsfaktor allerdings schon

gute infrastrukturelle und gesellschaftliche Rahmenbedingungen voraussetzt. Erst ab einem bestimmten Stadium können sich Volkswirtschaften entwickeln, die ganz oder überwiegend auf intellektuelles Potenzial oder Produktveredelung setzen können. Der Bedarf an bestimmten Rohstoffen, Konsum- und Industriegütern

¹ Institut für Bergbau und Spezialtiefbau der TU Bergakademie Freiberg

muss und kann dann zunehmend über Handel an internationalen Märkten gedeckt werden.

Auch die Bundesrepublik Deutschland hat sich zunächst sehr langsam auf Grundlage der Urproduktion entwickelt und auf der Basis von Kohle und Eisen erz die frühe industrielle Entwicklung in Europa mit anführen können. Heute sind wir eine weltführende Exportnation von Konsum- und Industriegütern, für die wir die notwendigen Energie- und mineralischen Rohstoffe freilich überwiegend einführen müssen.

Für den Beginn der Erschließung und Nutzung der natürlichen Potenziale bedarf es je nach Gegebenheiten und Zielen mehr oder weniger finanzieller Mittel. In der Vergangenheit und heute finden sich in- und/oder ausländische Kapitalgeber, die mit der Aussicht auf eine gute Verzinsung dafür Geld zur Verfügung stellen.

Fehlen private Investoren, z. B. wegen schwieriger Sicherheits- und/oder Rechtslage, können einzelne Staaten (Geber) oder die internationale Staatengemeinschaft (z. B. die Weltbank) Geld zur Verfügung stellen (Entwicklungshilfe). Die „Verzinsung“ kann dann beispielsweise darin bestehen, dass Unrecht, Menschenrechtsverletzungen oder gar kriegerische Auseinandersetzungen ausbleiben und auch Investitionshemmnisse für Unternehmen beseitigt werden.

Die Unterstützung von Rohstoffprojekten kann im Interesse der Geberländer sein, wenn diese, wie Deutschland, auf Rohstoffimporte angewiesen sind. Neue Rohstoffprojekte können das Angebot an den Märkten und die Liste der Lieferregionen erweitern und so für die Nachfrage bessere Bedingungen schaffen (faire Preise, weniger Monopole).

Selbstbestimmtes Handeln ist ohne eigene Staatseinnahmen, denen eine inländische Wertschöpfung vorausgeht, nicht möglich.

Die heutigen, schwierigen Verhältnisse in allen gesellschaftlichen Bereichen Afghanistans sind hinlänglich bekannt.

Afghanistan ist ein Land im Spannungsfeld zwischen Wirtschaftsarmut und großem Rohstoffreichtum. Durch die Präsenz der internationalen Gemeinschaft, die Schutz- und Sicherheitsprogramme sowie staatliche Entwicklungsprojekte initiiert, hat das Land die Chance, Arbeit und Wertschöpfung zu entwickeln. Die Erschließung seiner Rohstoffpotenziale bietet dafür gute Voraussetzungen, wenn nicht sogar die entscheidende, um

aus dem Teufelskreis von Armut, mangelnder Bildung, Arbeitslosigkeit, Radikalisierungsbereitschaft, mangelnden Staatseinnahmen und – damit verbunden – gesellschaftlichem Stillstand oder Rückschritt herauszufinden [1].

Zum Aufbau des Rohstoffsektors gehören neben der Exploration, dem Aufbau von Bergbaubetrieben und zugehöriger Infrastruktur mit Milliarden-Investitionen sowie einer effektiven Bergverwaltung vor allem heimische Fach- und Führungskräfte auf allen Ausbildungsebenen.

Ein afghanisches Sprichwort lautet: „Bildung ist Licht, und wer will schon gern im Dunkeln sitzen?“ Um den Bergbausbildungssektor in Afghanistan auf die Herausforderungen der Entwicklung des Kleinbergbaus und zukünftiger Großprojekte vorzubereiten, ist es noch ein langer, aber erfolgversprechender Weg.

Bergbauland Afghanistan Geografie

Afghanistan ist mit einer Fläche von 652.000 km² etwa doppelt so groß wie Deutschland. Die Einwohnerzahl differiert nach verschiedenen Quellen und wird vom Auswärtigen Amt mit 30 Mio. angegeben (Schätzung Juli 2011). Größte ethnische Gruppen sind Paschtunen (ca. 42 %), Tadschiken (ca. 2 %) sowie Hazara und Usbeken (je ca. 9 %). Landessprachen sind Dari (50 %) und Paschtu (35 %). 99 % der Einwohner sind Muslime (80 % Sunniten, 19 % Schiiten). Seit 2004 ist das Land eine islamische Republik [4].

42 % der Bevölkerung sind jünger als 15 Jahre. Bei einer Lebenserwartung von ca. 46 Jahren liegt das Durchschnittsalter bei ca. 18 Jahren. Die Kindersterblichkeit beträgt 25 %. Die Alphabetisierungsrate liegt bei 32 % [4, 5].

Es herrscht kontinental-arides, gemäßigtes Klima vor – mit Halbwüsten und Wüstengebieten (vor allem im Süden), Hochgebirgen (Hindukusch-Gebirge im Nordosten) sowie Hartlaubbaumfluren und Steppen (u. a. Pistazien, Apfelarten, Pflaumen, Mandeln). Wälder nehmen nur etwa 3 % der Landesfläche ein. Die meisten Waldflächen liegen am Ostabfall des Hindukusch (u. a. Eichen, Kiefern, Fichten, Tannen) [5].

Mehr als 90 % des Staatsgebiets befinden sich auf einer Höhenlage mehr als 600 m ü. NN, die Hauptstadt Kabul (4,5 Mio. Einwohner) liegt auf ca. 1.800 m ü. NN. Viele Gebirgsregionen sind nur sehr schwer zugänglich.

Obwohl nur 6 % der Landesfläche dafür

überhaupt nutzbar sind, ist die überwiegende Erwerbsquelle die Landwirtschaft. Als wichtiges Produkt wird im Landessüden vor allem Opium aus auf einer Fläche zwischen 150.000 und 200.000 ha angebaute Schlafmohn gewonnen. Im Jahr 2006 betrug die Opium-Produktion über 8.000 t und stellte damit fast die Hälfte des Bruttoinlandsprodukts.

Die Rahmenbedingungen für die Wirtschaftsentwicklung sind denkbar schlecht. So gab es bis vor Kurzem nur wenige Kilometer Bahnstrecke aus den Richtungen Usbekistan und Turkmenistan, Anfang der 80er-Jahre des 20. Jahrhunderts noch durch die Sowjetunion in Breitspur (1520 mm) errichtet. Erst 2010 wurde die Bahnstrecke aus Usbekistan um 75 km verlängert (Transport militärischer Güter). Obwohl sich weitere Bahnprojekte im Bau und in Planung befinden, ist die infrastrukturelle Erschließung für Bergbauprojekte ungenügend. Weitere Probleme stellen die Bereitstellung von Elektroenergie (keine eigenen Kraftwerke) und Wasser dar.

Geologie

Markanteste geologische Einheit ist die plattentektonische Kollisionszone zwischen dem eurasischen und dem indischen Subkontinent: der Hindukusch, der den Nordosten des Landes prägt. Der Hindukusch ist ein ca. 800 km langes und zwischen 50 km und 350 km breites Hochgebirge zwischen dem Himalaya und den Pamir-Gebirgen, dessen höchste Erhebung mit 7.708 m der Tirich Mir ist (Pakistan). Afghanistans höchster Berg im Hindukusch ist der Noshak (7.492 m). Der überwiegende Teil des Hindukuschs in Afghanistan ist ein trockenes Hochgebirge mit Höhenlagen zwischen 4.000 und 5.000 m.

An dieser Kollisionszone haben sich große Erz- und Spatvorkommen, wie beispielsweise Eisenerz, Kupfer und Fluorit gebildet [6]. Aus geologischer Sicht repräsentieren diese Gegebenheiten einen überaus großen und vielfältigen Rohstoffreichtum. Aktuell gibt es ca. 1.400 bekannte Lagerstätten [7]. In den Sedimentationsbecken im Norden lagern vor allem Kohle-, Erdöl- und Erdgasvorkommen, im Süden Salzsedimente. Die geologische Karte Afghanistans (Abb. 2) gibt dazu einen genaueren Überblick.

Aus historischer Sicht ist Afghanistan schon über Jahrhunderte ein wichtiges Herkunftsland für Edelsteine und Halbedelsteine. Anfang des 17. Jahrhunderts

wurde beim Bau des Taj Mahals in Indien afghanischer Lapizlazuli als Material für die Intarsienarbeiten im Inneren des Mausoleums verwendet. Um 1800 wurden zunächst durch Briten und später durch Inder erste geologische Landesaufnahmen durchgeführt. Zwischen 1960 und 1990 schritt die geologische Erkundung Afghanistans im Ergebnis wissenschaftlicher Expeditionen aus Ländern wie Deutschland, Italien, Frankreich und der Sowjetunion weiter fort [6].

Ab 1968 hat insbesondere die Sowjetunion ein systematisch organisiertes geologisches Kartierungsprogramm für Rohstoffvorkommen initiiert und zahlreiche Rohstoffvorkommen, z. B. an Erdöl/ Erdgas und Kalkstein (mit Raffinerie und Zementproduktion) erschlossen. Auch die als Weltklasse eingestufte Kupferlagerstätte Aynak wurde – wie andere – abbaureif erkundet. Während des Bürgerkriegs und des Talibanregims kam der Bergbausektor fast zum Erliegen.

Seit dem Wiederaufbau Afghanistans unter dem Schutz der internationalen Gemeinschaft wurden auch im Bergbaubereich diverse Hilfsprojekte realisiert, ohne allerdings die Bergbauindustrie tatsächlich spürbar zu entwickeln [7].

Derzeitige Bergbauproduktion

Die Bergbauproduktion (ohne Baurohstoffe) in Afghanistan belief sich im Jahr 2016 offiziell auf eine Menge von insgesamt ca. 2 Mio. t, davon 1,7 Mio. t Steinkohle. Eine Auflistung der abgebauten Rohstoffe ist in *Tabelle 1* aufgeführt und in *Abbildung 3* grafisch dargestellt [9] (die tatsächliche Bergbauproduktion fällt höher aus, da viele Aktivitäten des Kleinbergbaus statistisch nicht erfasst werden).

Rohstoffgewinnung in Afghanistan

Während sich die Erdgasproduktion im Zeitraum 1989 bis 1996 von 3 Mrd. m³ auf 1,5 Mrd. m³ halbierte, beträgt sie seit 1997 (Machtübernahme Taliban/Wiederaufbau) nur noch weniger als 200 Mio. m³. Die Produktion von Kesselkohle stieg seit 2008 von ca. 250.000 t auf inzwischen über 1,7 Mio. t stark an.

Bei den Metallen wird seit 1995 eine Jahresproduktion an Chromium (Cr₂O₃) zwischen ca. 1.500 und 3.000 t ausgewiesen, zwischenzeitlich auch etwas Kupfer in der gleichen Größenordnung. In den letzten Jahren wird keine Förderung von Schwerspat mehr vermeldet, die zuvor ebenfalls im Bereich weniger Tausend Tonnen pro Jahr lag. Flussspat wird 2016

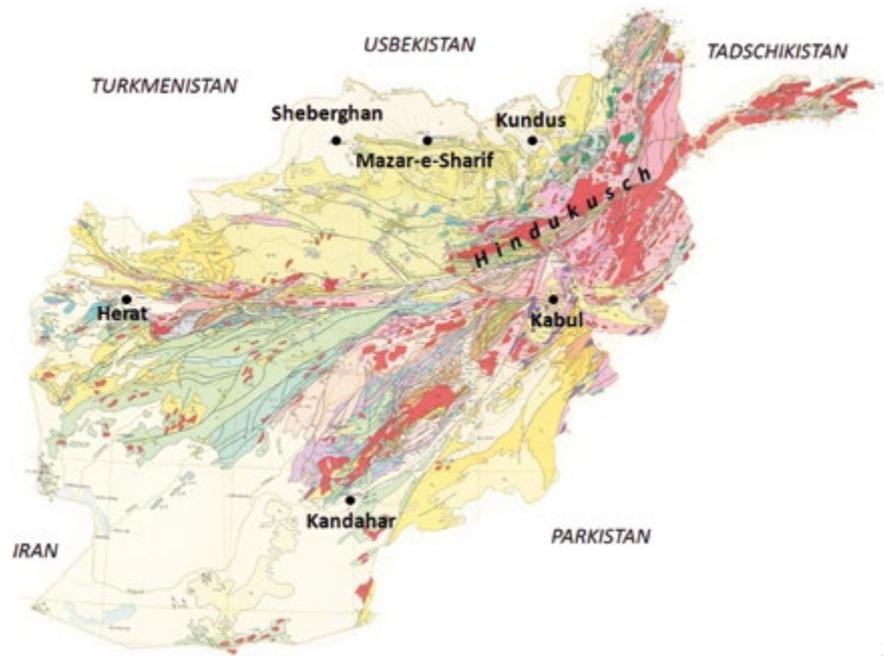


Abb. 2: Geologische Karte Afghanistans [8]

Tabelle 1: Offizielle Bergbauproduktionsmengen [9]

Rohstoff	Produktionsmenge 2008	Produktionsmenge 2010	Produktionsmenge 2016
Chromium	2.856 t	2.520 t	2.000 t
Schwerspat	5.500 t	2.000 t	0 t
Flussspat	1.000 t	0 t	2.000 t
Gips/Anhydrit	48.700 t	63.100 t	57.000 t
Salz	158.218 t	186.119 t	57.303 t
Kesselkohle	346.900 t	724.900 t	1.700.000 t
Erdgas	155 Mio. m ³	142 Mio. m ³	165 Mio. m ³

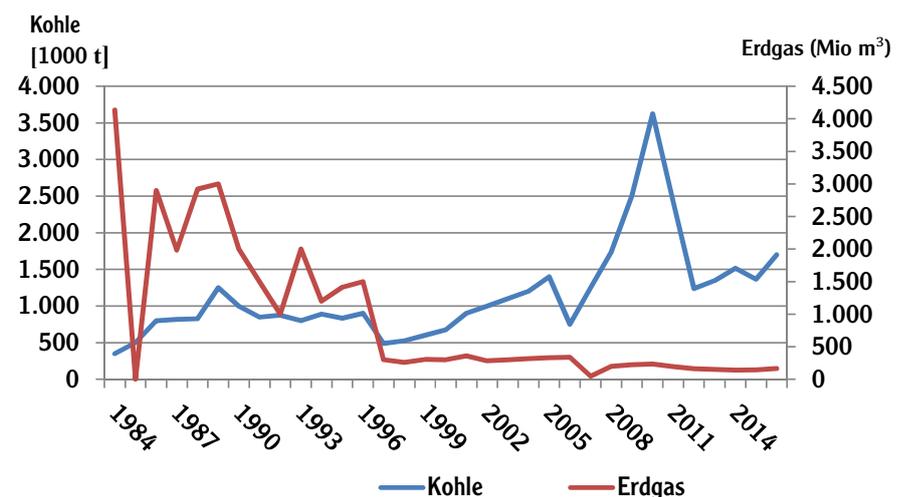


Abb. 3a: Rohstoffgewinnung in Afghanistan, Energierohstoffe Kohle und Erdgas

wieder mit ca. 2.000 t ausgewiesen. Nennenswerte Mengen werden für 2016 für Salz und Gips (ca. 57.000 t) angegeben.

Aktiven Bergbau gibt es zzt. nur in Form kleinerer Projekte (*Abb. 4*), vor allem auf Baurohstoffe (Sand, Kies), Naturstein

(Marmor), Salz und Energierohstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas). Edelmetalle (Gold) und Edelsteine (Lapizlazuli) werden im Kleinbergbau abgebaut.

Akute Probleme bestehen vor allem in der bergbaulichen Sicherheit. Die

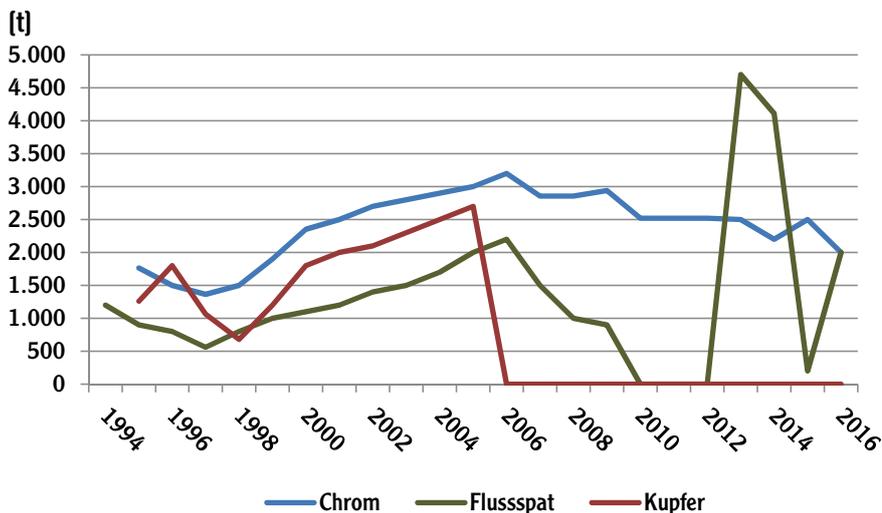


Abb. 3b: Rohstoffgewinnung in Afghanistan, Metalle und Industriemineralie

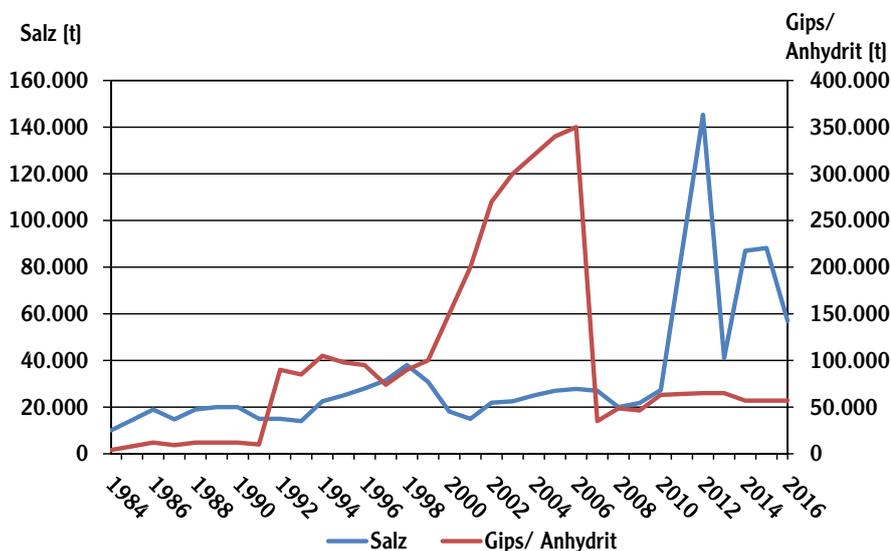


Abb. 3c: Rohstoffgewinnung in Afghanistan, Industriemineralie



Abb. 4: Abbau von Lapislazuli: Förderung, Bergarbeitersiedlung, Verkaufslager [10]

Verwendung von primitiven Maschinen und Werkzeugen wie auch die Anwendung ineffizienter Abbaumethoden führen zu schlechter Qualität der Abbauprodukte und zu geringem Ausbringen.

Das Ausbringen von Lapislazuli beträgt infolge schlechter Erkundung und durch die Verwendung einfachster Sprengtechnik nur ca. 30% (Abb. 4). Der Verkauf der Produkte gestaltet sich – durch bürokratische Abläufe behindert – äußerst schwierig.

Der Großteil der Kleinbergbaulagerstätten wird in informeller oder privatrechtlich ungeordneter Struktur betrieben. Dies hat erhebliche Steuereinbußen für den Staat zur Folge [7].

Eine Übersicht zu aktiven Bergbauprojekten geben Tabelle 2 und Abbildung 5.

Potenzielle Bergbauprojekte

Für die Erschließung neuer Rohstofflagerstätten zur Stärkung des zukunftsreichen Wirtschaftssektors Bergbau vergibt die Regierung Erkundungslizenzen an ausländische Investoren (Tabelle 3). Abbildung 6 zeigt die Standorte der geplanten Bergbauprojekte [7].

Zu nennen ist insbesondere das Projekt der Kupferlagerstätte Aynak, für die das chinesische Unternehmen MCC die Lizenz erworben hat. Ein anderes Beispiel ist die Eisenerzlagerstätte Hajigak, die durch ein Konsortium aus indischen und kanadischen Unternehmen erkundet wird. Das Erdgasprojekt Amu Darya wird durch einen chinesischen Konzern erkundet. Der Abbaubeginn für diese Großprojekte war für den Zeitraum bis 2020 geplant. Die Vergabe von weiteren Lizenzen für Erkundungen auf Gold, Kupfer, Seltene Erden, Lithium, Eisenerz und Kohle ist bereits erfolgt bzw. in Vorbereitung.

Allerdings gab es Verzögerungen bei der Verabschiedung eines adäquaten Berggesetzes und bei der Erfüllung von Vertragspflichten beim Projekt Aynak.

Stand der Bergbauausbildung Bedarf an Fach- und Führungskräften

Mit dem Beginn der Erkundungsarbeiten, dem anschließenden Rohstoffabbau sowie dessen Aufbereitung und Weiterverarbeitung wird eine sukzessive immer größere Anzahl von qualifizierten Arbeitskräften verschiedener Ausbildungsebenen sowie für ein breites Spektrum an Arbeitsleistungen benötigt.

Pro Bergbaugroßprojekt besteht schätzungsweise ein Bedarf zwischen 1.000 und 4.000 Direktbeschäftigten und an

Tabelle 2: Aktive Bergbauprojekte in Afghanistan [6, 11, 12, 13, 14]

Nr.	Rohstoff	Lagerstätte	Lage	Bergbaufirma
1	Sand/Kies	alluviale Ablagerung entlang Chelsetoon Fluss	Provinz Kabul	–
2	Sand/Kies	alluviale Ablagerung entlang Paghman Fluss	Provinz Kabul	–
3	Kalkstein	verschiedene Standorte	Provinz Badakhshan	–
4	Dolomit	verschiedene Standorte	Provinz Badakhshan	–
5	Marmor	Ghazak, Hazare Baghal, Kariz-Amir, Pul-e-Charkhi, Qalamkar, Tara Kheel	Provinz Kabul	–
6	Marmor	Maydan Marble	Provinz Wardak	–
7	Marmor	Awbazak, Dehnow, Mohammad Agha	Provinz Logar	–
8	Marmor	Maydan Shar – Maydan Marble Mines (5 Abbaustandorte)	Provinz Wardak	–
9	Marmor	verschiedene Standorte	Provinz Badakhshan	–
10	Marmor	–	120 km östlich der Stadt Herat, Provinz Herat	Ghowsy Brothers
11	Marmor	–	35 km südwestlich von Jalalabad, Provinz Nangarhar	Sahil Marble Company, Arian Marble Industries, National Marble Co, Shamshad MarbleCo
12	Ton	Istalif	50 km nördlich von Kabul	–
13	Gips	Dodkash	Provinz Baghlan	–
14	Talk	Ghunday	Provinz Nangarhar	–
15	Industriesalz für Lederindustrie	Khulm	Provinz Balkh	–
16	Smaragd	Panshjer Valley (6 Minen)	Provinz Kapisa	–
17	Rubin	Jegdalek-Gandamak	Provinz Kabul	–
18	Lapislazuli	Sary-Sang, entlang Kokcha Fluss	Provinz Badakhshan	–
19	Hessonit	Munjagal	Provinz Konar	–
20	Hessonit	Kantiwow	Provinz Nuristan	–
21	Gold	Seifenlagerstätte Samti	Provinz Takhar	–
22	Marmor	Chest-e-Sharif, 170 km von Herat Stadt entfernt	Provinz Herat	USA – Mir Brothers
23	Marmor	200 km von Herat Stadt entfernt	Provinz Herat	Dubai – Equity Capital Mining Co
24	Kohle	verschiedene Standorte	Provinz Bamian	–

Tabelle 3: Potenzielle Bergbauprojekte in Afghanistan [6, 11, 15]

Nr.	Rohstoff	Lagerstätte	Geografische Lage	Lizenz- und Tendarvergabe
1	Kupfer	Mes Aynak	30 km südlich von Kabul	Erkundungslizenz an China Metallurgical Group (MCC)
2	Eisenerz	Hajigak	130 km westlich von Kabul, Provinz Bamian	Erkundungslizenz an 75 % Indisches Konsortium 25 % Kanadische Firma (Kilo Goldmines Ltd.)
3	Gas	Amu Darya – Blöcke: Kashkari, Bazarkhami, Zamarudsay	östlich der Stadt Faizabad, Provinz Badakhshan	Erkundungslizenz an China National Petroleum Corp.
4	Gold		Provinz Badakhshan	Tender veröffentlicht 2011
5	Gold & Kupfer		Provinz Ghanzi	Tender veröffentlicht 2011
6	Kupfer	Shaيدا	Provinz Herat	Tender veröffentlicht 2011
7	Kupfer	Balkhab	Provinz Jowzjan	Tender veröffentlicht 2011
8	Lithium		Provinz Herat	Tender veröffentlicht 2011
9	Öl	Mazar-i-Sharif Öl Block	Westafghanistan – Tajik Basin	Tender veröffentlicht 2012
10	Eisenerz & Kohle		Provinz Bamian	Tender veröffentlicht 2012
11	Öl		Provinz Herat	Tender veröffentlicht 2012
12	Gold		Provinz Badakhshan	Tender veröffentlicht 2012
13	Lithium		Provinz Herat	Tender veröffentlicht 2012
14	Seltene Erden		Provinz Helmand	Tender veröffentlicht 2012

einer etwa gleichhohen Anzahl von indirekt Beschäftigten in der Zulieferindustrie und im Bereich der bergbaurelevanten Dienstleistungen, wie im Transportwesen, der Instandhaltung usw. Für die derzeit avisierten Großprojekte wird ein Personalbedarf von insgesamt 16.000–18.000 Direktbeschäftigten prognostiziert. Wird der Anteil der Fach- und Führungskräfte mit ca. 5 % angenommen, ergibt sich mittelfristig ein Bedarf von ca. 800–900 Fachleuten.

Weiterer, erheblicher Nachholbedarf besteht im Kleinbergbau (ca. 30.000 Beschäftigte) und in den mit dem Bergbau befassten staatlichen Stellen, insbesondere im Bergbauministerium, in der Bergaufsicht und im Geologischen Dienst (ca. 1.000) [16]. Der Bedarf an Fach- und Führungskräften dürfte sich hier unter Berücksichtigung einer demografischen Erneuerungsrate von ca. 5 % in den kommenden zehn Jahren auf ca. 1.000 Ingenieure und sonstiges bergbaurelevantes

Managementpersonal belaufen. Dieser großen Nachfrage nach qualifiziertem Personal im Bergbausektor steht eine junge Gesellschaft mit einer geringen Alphabetisierungsrate gegenüber. Die Zahl der Schulabgänger und damit auch der Studienbewerber erhöht sich dank des 2002 begonnenen Wiederaufbaus des Schulsystems in den kommenden Jahren dramatisch bis auf ca. 600.000 (2014). Den dadurch entstandenen Ausbildungsdruck – verbunden mit einer

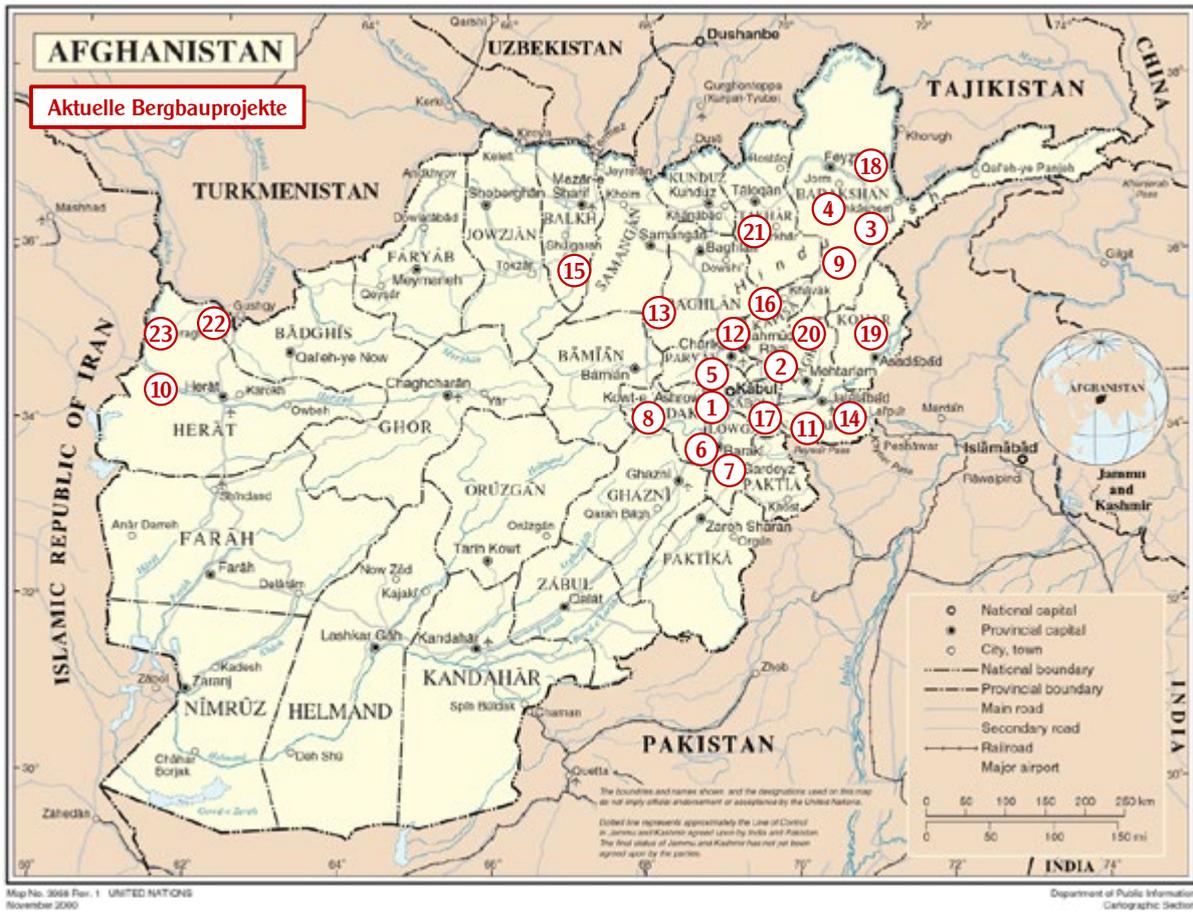


Abb. 5: Übersichtskarte: Aktive Bergbauprojekte in Afghanistan: 1, 2: Sand, Kies; 5–11: Marmor; 16–18: Lapislazuli; 21: Gold; 24: Kohle, Erdöl, Erdgas [7]



Abb. 6: Übersichtskarte zu potenziellen Bergbauprojekten. 1: Kupferprojekt Aynak; 2: Eisenerzprojekt Hajigak; 3: Erdölprojekt Amu Darya [7]



Abb. 7: Übersichtskarte: Ausbildungseinrichtungen Bergbau [4]

ausgeprägten Bildungsbereitschaft – gilt es für die wirtschaftliche Entwicklung des Landes zu nutzen. Voraussetzungen dafür sind eine schnelle Erweiterung und Modernisierung der Ausbildungsangebote. Derzeit erhalten nur ca. 5 % der Schulabgänger eine formale Berufsausbildung.

Zum Ende des Talibanregimes 2001 gab es in Afghanistan weniger als 8.000 Studenten an Hochschulen; zehn Jahre später waren es schon über 80.000, und ihre Zahl wächst weiter. Seit 2013 erhalten die Hochschulen zwei- bis dreimal so viel Zuweisungen an Studenten als an Ausbildungskapazität vorhanden ist.

Ausbildung im Bergbausektor

Die afghanische Bergbauausbildung wurde im Wesentlichen durch die Sowjetunion im Zeitraum von 1960 bis 1989 planmäßig, parallel zu den Erkundungs- und Abbauaktivitäten, aufgebaut und entwickelt. In Kabul wurde die Polytechnische Universität (KPU) mit einer Bergbaufakultät errichtet, und im Norden Afghanistans wurden Geologie- und Bergbauausbildungsprogramme in Berufs- und Fachschulen (Öl und Gas Institute) installiert. Im Norden fanden die Absolventen Anstellung in der Öl- und Gasindustrie.

Nach dem Machtverlust der Sowjetunion verließen die sowjetischen Lehrkräfte Afghanistan. Während der Herrschaft der Mudschahedins und des Talibanregimes hatte die Bergbauausbildung keine Perspektive. Der Großteil der Labore und Werkstätten wurde im Bürgerkrieg zerstört oder anderweitig unbrauchbar gemacht, und neue Lehr- und Fachkräfte wurden nicht ausgebildet.

Seit dem Sturz der Taliban 2001 bemüht sich die afghanische Regierung, mit Unterstützung internationaler Geber die Berufs-, die Techniker- und die Hochschulbildung wieder aufzubauen. Dabei ist das Hochschulsystem chronisch unterfinanziert. So steht dem afghanischen Hochschulministerium ein jährlicher Etat von ca. 35 Mio. US\$ für 24 Hochschulen zur Verfügung [7]. Dies entspricht etwa der Hälfte des Zuschusses, den die TU Bergakademie Freiberg durch den Freistaat Sachsen erhält. Ein Großteil der an die Hochschulen gelangenden Gelder wird für Wohnheime und Mensaessen ausgegeben.

Dem gesamten Hochschulsystem stehen ganze 160 promovierte Lehrkräfte und noch weniger Professoren zur Verfügung, die sich zudem an der Universität Kabul (UK) und an der Polytechnischen

Universität Kabul (KPU) konzentrieren. An manchen Hochschulen fehlen Professoren und promovierte Lehrkräfte ganz.

Tabelle 4 gibt eine Übersicht zu den Ausbildungseinrichtungen mit Rohstoffbezug, deren geografische Lage man der Abbildung 7 entnimmt. Auch die Hochschulausbildung unterliegt einer ständigen Dynamik, und neue Lehrstühle/Fakultäten mit Rohstoffbezug werden an verschiedenen Standorten weiterhin etabliert. Allein 2014 lagen Anträge auf zwei neue Fakultäten Geologie/Bergbau und auf ca. 20 Lehrstühle an sieben Hochschulen vor.

Die Polytechnische Universität Kabul bietet an der Fakultät für Geologie und Bergbau verschiedene Bachelor-Studiengänge für Geologie, Bergbau und Angewandte Geodäsie/Markscheidewesen an. Die Fakultät beschäftigt dafür 45 Lehrkräfte und bildet jährlich etwa 200 Bachelorstudenten in einer Regelstudienzeit von viereinhalb Jahren aus. Die Campusuniversität verfügt über ein weitläufiges und ansprechendes Areal, das unter anderem ein Audimax, Seminarräume, Bibliotheken, Sportplätze und ein Wohnheim beherbergt.

In der Provinzhauptstadt Mazar-e-

Tabelle 4: Ausbildungseinrichtungen mit Fachgebiet Bergbau (Stand 2014) [13, 14, 15]

Nr.	Einrichtung	Ausbildungsprogramm Fachbereich Bergbau	Studenten/Absolventen	Lehrkräfte	Ausstattung
1	Polytechnical University Kabul (KPU)	Fakultät für Geologie/Bergbau – Bachelor, 9 Semester, 4,5 Jahre	2.536 Studenten insg. 800 Geologie/Bergbau 25–30 Absolventen	45 Lehrkräfte	Campusuniversität: Seminarräume, Bibliothek, Wohnheime
2	Balkh University, Mazar-e-Sharif, Provinz Balkh	Fakultät für Geologie/Bergbau – Bachelor, 9 Semester, 4,5 Jahre	10.200 Studenten insg. 600 Geologie/Bergbau		Neuer Campus (Weltbank/Asian Institute of Thailand), momentan Nutzung der Räume des Öl & Gas-Instituts Balkh, 200 Computer
3	Jowzjan University, Shiberghan, Provinz Jowzjan	Fakultät für Geologie/Bergbau – Bachelor, 8 Semester, 4 Jahre	3.600 Studenten insg. 740 Geologie/Bergbau 81 Absolventen	18 Lehrkräfte	Campusuniversität: Seminarräume, Bibliothek, Wohnheime, 86 Computer, geologische Sammlung
4	University Herat, Provinz Herat	Fakultät für Geowissenschaften – Bachelor	8.700 Studenten insg.	–	–
5	Institute of Oil and Gas, Mazar-e-Sharif, Provinz Balkh	Geologie (Öl/Petroleum/Gas); Chemietechnik und Öl- und Gas-Filtration; Bohrtechnik für Öl und Gas; Öl und Gas – 2 Jahre (nach 9. Klasse); 5 Jahre (Anschluss an 2-jährige Ausbildung)	884 Studenten insg. 265 Absolventen	53 Lehrkräfte	Klassenräume, Chemielabore mit wenig und veralteter Ausstattung, Lehrkabinette mit vielen alten sowjetischen Maschinen, geringe Wohnheimkapazität
6	Jowzjan Technical Institut, Shiberghan, Provinz Jowzjan	Öl und Gas – 6 Monate Weiterbildung; 2 Jahre (nach 6.–9. Klasse, je nach Industriebedarf); 3 Jahre (nach 9. Klasse); 5 Jahre (Anschluss an 3-jährige Ausbildung); Abendchulaausbildung	1.300 Studenten insg. 400 Absolventen	40 Lehrkräfte	angemietete Gebäude, Klassenräume (drinnen/draußen), Lehrkabinette: wenige, alte und kaputte Maschinen, geringe Wohnheimkapazität
7	Institute of Oil and Gas, Sar-e-Pol, Provinz Jowzjan	Öl und Gas	–	–	–
8	Trainingszentrum für Bergaufsicht, Kabul	Weiterbildung/Ausbildung für: Bergbau/Tagebau; Bewetterung; Bohrtechnik; Sprengtechnik; Energietechnik; Förderung/Transport; Arbeitssicherheit; Umweltschutz 1 Jahr	Mitarbeiter des Bergbauministeriums	Team aus Ingenieuren der GAF AG im Fachgebiet Bergbau, Umwelt, Maschinenbau, GIS, IT als Ausbilder und Berater	Ausbildungszentrum mit Seminarräumen, Lehr- und Demonstrationsbergwerk

Sharif befindet sich das Öl- und Gasinstitut. Diese Einrichtung ermöglicht eine zwei- bis fünfjährige Berufsausbildung mit speziellem Fokus auf die regionalen Vorkommen an Erdöl und Erdgas. Sowohl die Unterrichtsmaterialien als auch die Ausrüstung der Labore und Werkstätten stammen aus sowjetischer Zeit. Das Institut bildet mit 53 Lehrkräften jährlich ca. 250 Studenten aus.

An der Jowzjan Universität in Sheberghan zeigt sich ein ähnliches Bild wie an der Polytechnischen Universität Kabul. Während der überwiegende Teil der Gebäudesubstanz neu gebaut ist, fehlt es an aktuellen Lehrplänen und Unterrichtsmaterialien. Durch ein NATO-Hilfsprojekt erhielt die Universität Computerarbeitsplätze, die aber wegen fehlender Stromversorgung nicht genutzt werden können: Es fehlen die Mittel für Diesel. Die Fakultät für Bergbau und Geologie bildet mit einer Kapazität von 18 Lehrkräften jährlich etwa 740 Bachelorstudenten aus.

Das Technische Institut Jowzjan befindet sich ebenfalls in der Stadt Sheberghan. Ohne jegliche Art von finanzieller Unterstützung durch die Regierung existiert diese Bildungseinrichtung in einem sehr schlechten Zustand. Etwa 1.300 Studenten erhalten von 40 Lehrkräften eine Berufsausbildung mit technischem Hintergrund.

Der Unterricht findet in ausgedienten Gebäuden oder auf dem Hof statt, und es gibt wenig bzw. nur unbrauchbares technisches Anschauungsmaterial. Nur der Bildungswille der jungen Leute und der Idealismus des Direktors und der Lehrkräfte halten diese Berufsbildungseinrichtung am Funktionieren.

Handlungsbedarf

- Es ergeben sich aus der vorgefundenen Situation folgende klaren Handlungsbedarfe für die afghanische Bergbauausbildung:
- Entwicklung der Lehrkräfte in Qualität und Anzahl
 - Entwicklung moderner Curricula für verschiedene Qualifikationsstufen



Abb. 9: Werkstatt mit sowjetischer Maschinenausrüstung (1) und verbliebene Sicherheitsplakate auf Russisch (2) an der Universität in Mazar-e-Sharif (Provinz Balkh)



Abb. 8: Eingangsbereich der KPU (1) und des Audimax (2)



Abb. 10: Computerlabor (1) und Bibliothek (2) an der Universität in Sheberghan



Abb. 11: Seminarraum im Freien (1) und Anschauungsmaterial in Form eines zerlegten Bohrergeräts (2) am Technischen Institut Jowzjan



Abb. 12: Erster afghanischer Master-Absolvent (Herr Shadab, Bildmitte) am 4. Dezember 2017 an der TU Bergakademie Freiberg



Abb. 13: Im Vordergrund Modell der Labore für die Geologie- und Bergbau-Ausbildung an der KPU und Beginn der Einrichtung der Labore (unten)

- Wiederherstellung der Lehrinfrastruktur
- Entwicklung der Hochschulverwaltungen
- Einrichtung von Forschungszentren

Ausbildungsprojekt für den afghanischen Bergbausektor Projektübersicht und Projektpartner

Im Jahr 2011 fanden erste Gespräche statt zu der Frage, wie die TU Bergakademie Freiberg den Wiederaufbau des Bergbausektors durch Aus- und Weiterbildung unterstützen könnte. Daraufhin wurde im Auftrag des Auswärtigen Amtes im Sommer 2012 eine Sondierung vor Ort durchgeführt. Nach einer weiteren Reise zur Projektvorbereitung im Jahr 2013 stimmte das Auswärtige Amt der Förderung eines Projekts zu, das im Mai 2014 begann und im Mai 2018, was die Leistungskomponenten der TU Bergakademie angeht, planmäßig endete. Das Projekt wurde unter der Abkürzung AMEA (Academic Mining Education in Afghanistan) geführt. In diesem Projekt arbeiteten drei Kern-Partner zusammen: die Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), der Deutsche Akademische Austauschdienst (DAAD) und die TU Bergakademie Freiberg. Weitere wichtige Partner waren das afghanische Ministerium für Hochschulbildung (MoHE), die KPU und das Bergbauministerium.

Die GIZ ist mit einer starken Landesvertretung in Afghanistan und in der Hauptverwaltung in Eschborn präsent und bietet Services vor Ort, insbesondere sicherheitsrelevante Logistik (gepanzerter Fahrzeuge, Sicherheitsmanagement ...) und aus anderen Projekten herrührende Kontakte. Die GIZ übernahm deshalb auch die Projektleitung (was das Projekt erheblich verteuerte) und zusätzlich die Bearbeitung der Komponenten 3 „Hochschulmanagement“ und 4 „Vernetzung“. Die entsprechenden Ergebnisse sind der TU Bergakademie Freiberg nicht bekannt, da so gut wie keine Kommunikation bzw. Vernetzung stattfand.

Entgegen der genehmigten Planung, die vorsah, eine neue Bergbaufakultät an der Balkh-Universität in Mazar-e-Sharif zu errichten (es gab Zusagen zu den Punkten Gebäude und Finanzierung der laufenden Kosten durch den Bergbauminister Sharani), wurde mit Projektbeginn durch die GIZ die KPU als Zielobjekt für die Modernisierung der Bergbauausbildung bestimmt.

Der DAAD brachte seine bewährten Werkzeuge in das Projekt ein: im

Wesentlichen Aufträge für Kurzzeit- und Langzeitdozenten und Stipendien für Studenten, Sommerschulen und Workshops [20]. Nach einer Umstrukturierung des Projekts beim DAAD fielen ab 2. Halbjahr 2015 die Kurzzeitdozenten u. a. aus Sicherheitsgründen vor Ort ebenso fast komplett aus wie die Komponente 2 „Bergbaurelevante Ausbildung“. Ursprünglich sollten sich die Fakultäten für „Wirtschaftslehre“, „Verwaltung“ und „Recht“ der Universität Kabul mit der Fakultät für Geologie und Bergbau der Polytechnischen Universität Kabul in Lehre und Forschung vernetzen (Etablierung von Spezialisierungen für Bergrecht, Bergverwaltung und Bergwirtschaft). Dieses Ziel wurde leider nicht erreicht. Durch Konsultationen und die Freistellung von Mitarbeitern zur Aus- und Weiterbildung gelang es, eine Mitfinanzierung des Projekts durch die afghanische Seite zu sichern. Insbesondere der Vice-Minister des MoHE, Prof. Barbury, hat sich stark für das Projekt engagiert.

Die TU Bergakademie Freiberg hat im Projekt folgende Arbeiten übernommen:

- Aus- und Weiterbildung afghanischer Studenten (Masterausbildung) und Lehrkräfte in Deutschland und anderen Ländern (Türkei, Indien)
- Mitwirkung und Beratung bei der Modernisierung und dem Aufbau von Studiengängen – inklusive Lehrmethoden, Lehrmaterial und Beschaffung von Literatur/Laboren
- Gastvorlesungen

Auf Grund der Sicherheitslage konnten nicht alle Projektbestandteile im geplanten Projektzeitraum bis 31. Dezember 2017 umgesetzt werden, insbesondere der Bau der Labore und des Versuchsfelds Hydrogeologie. Vom 1. Januar bis 31. Mai 2018 schloss sich deshalb eine zweite kostenneutrale Projektphase an, die genutzt wurde, um weitere Leistungen zu erbringen, wie die Modernisierung zweier weiterer Studiengänge.

Ausbildung von 13 Master-Studenten

Die Ausbildung von afghanischen Master-Studenten begann an der TU Bergakademie Freiberg nach einem Deutschkurs im April 2015 mit einem Propädeutikum. Aus einer Defizitanalyse wurden zuvor insbesondere folgende Schwächen der veralteten Curricula festgestellt, die noch vor Studienbeginn verbessert werden sollten:

- Fehlen moderner, relevanter Lehrinhalte und -methoden, fehlende Lernmittel

- keine praktische Ausbildung im Geologie- und Bergbaustudium (keine Labor- und Feldarbeiten)
- sehr begrenzte Software-Kenntnisse
- keine ausreichenden Englisch-Kenntnisse
- keine Ansätze zur wissenschaftlichen Arbeit

Zum Wintersemester 2015 wurden die Studenten dann für folgende Master-Studiengänge eingeschrieben (später bestanden leider zwei Studierende die abschließende Sprachprüfung nicht):

- Sustainable Mining and Remediation Management: zwei Studierende
- Advanced Mineral Resources Development: vier Studierende
- International Management of Resources and Environment: vier Studierende
- Groundwater Management: fünf Studierende

Zusätzlich zum Fachstudium wurden den Studenten spezielle Angebote zur Entwicklung ihrer methodischen und wissenschaftlichen Kompetenzen unterbreitet, z. B. Kurse zur Präsentationstechnik und wissenschaftlichem Schreiben sowie die Teilnahme an Fachtagungen.

Im Dezember 2017 konnten die ersten drei Studenten ihr Studium abschließen, die anderen zehn dann im März 2018.

Ein besonderer Schwerpunkt war die praktische Ausbildung. Wöchentlich fanden Praktika im Lehr- und Forschungsbergwerk „Reiche Zeche und Alte Elisabeth“ statt. Die Masterarbeiten im Studiengang „Groundwater Management“ wurden zur umfänglichen Analyse der Bergbauwässer im Forschungs- und Lehrbergwerk Reiche Zeche genutzt. So wurden 26 Messstellen unter Tage aufgebaut, beprobt und ausgewertet.

Entwicklung von Lehrplänen und Modulhandbüchern

Bereits 2014 wurde mit den Vorarbeiten für die Modernisierung der Lehrpläne an der Fakultät für Geologie und Bergbau an der KPU begonnen. In Projektphase 1 wurden die Curricula der Studiengänge „Openpit Mining“ (Tagebau), „Underground Mining“ (Tiefbau) und „Geology and Exploration of Mines“ (Rohstoffgeologie und Erkundung) modernisiert sowie die zugehörigen Syllabi entwickelt. Die Überarbeitung der Lehrpläne und -inhalte basierte auf einer Analyse von analogen Studiengängen an international anerkannten Hochschulen und einer intensiven Diskussion mit den afghanischen

Kollegen durch Workshops sowie Studien vor Ort in Kabul. Ab Mai 2016 wurden die Workshops aus Sicherheitsgründen nach Neu-Delhi und Istanbul verlegt. Zusätzlich wurden Skype-Konferenzen abgehalten, um die persönliche Kommunikation aufrecht zu erhalten. Interviews mit den afghanischen Studierenden und Lehrenden während der Winterschulen in Freiberg 2015 und 2016 sowie die Ergebnisse des Propädeutikums 2015 trugen zum Verständnis des bestehenden Ausbildungskonzepts und der zukünftigen Änderungsbedarfe bei.

Im Weiteren wurden die Lehrinfrastruktur, die Verfügbarkeit von Lehrmitteln, die Qualifikation des Lehrpersonals, die Ausstattung der Bibliothek u. a. relevante Bedingungen für eine moderne Lehre analysiert und Empfehlungen an die Hochschulleitung und das MoHE weitergegeben. So wurde 2015 eine Liste mit aktueller Literatur und Online-Angeboten an die GIZ zur Beschaffung übergeben, um die Aktualität der Lehre und die Forschungsfähigkeit zu verbessern.

In Phase 2 wurden dann noch die Studiengänge „Ingenieur- und Hydrogeologie“ sowie „Erkundung und Abbau von Erdöl-/Erdgaslagerstätten“ modernisiert. Die neuen Lehrpläne werden durch das Ministerium unter Einbeziehung einer Kommission genehmigt und sind dann für alle Universitäten gültig.

Einrichtung von Laboren

Ein wichtiger Bestandteil der Ingenieurausbildung ist die Nutzung von Laboren für praktische Versuche. Die TU Bergakademie Freiberg hat dazu einen Labortrakt mit einer Fläche von ca. 640 m² unterhalb des Audimax (Abb. 8 (2)) geplant. Neben Räumen für die Probenvorbereitung und Laboren für Hydrogeologie, Boden- und Felsmechanik entstanden Lehrräume für Tagebau, Tiefbau und Erdöl/Erdgas. Darüber hinaus finden die Lagerstätten- und die mineralogische Sammlung (die völlig zerstört waren) hier eine neue Heimstatt – ebenso die gemmologische Sammlung. Es wurden die erforderlichen Geräte nach den Parametern Größe, Masse, Anschlussbedingungen usw. spezifiziert und ein detaillierter Aufstellungsplan sowie die zugehörige Ausstattung mit Funktionsmöbeln konkretisiert.

Unter Verantwortung der GIZ folgten dann die Baumaßnahmen vor Ort und die Bestellung der Geräte. Die weiteren Arbeiten zur Umsetzung des Projekts wurden durch den Bombenanschlag auf

die deutsche Botschaft in Kabul im Mai 2017 und die damit verbundenen Reisebeschränkungen deutlich erschwert.

Es wurden ein Handbuch für die Laborversuche in der studentischen Ausbildung erstellt und einige der in Freiberg ausgebildeten Master-Studenten in den hiesigen Laboren auf seine Nutzung vorbereitet.

Des Weiteren wurde ein auf dem Campus zu platzierendes hydrogeologisches Versuchsfeld geplant, dessen Umsetzung aber noch aussteht.

Durchführung von Weiterbildungsveranstaltungen

Eine weitere wichtige Maßnahme war die Durchführung von Qualifizierungen für die Hochschullehrer.

So fand im Dezember 2014 zunächst eine Winterschule für die afghanischen Professoren statt, um diese mit den geplanten Arbeiten vertraut zu machen, ihnen beispielhaft die Labor- und Feldarbeiten nahezubringen sowie die Besichtigung von Bergbaubetrieben zu ermöglichen. Einige der Professoren, die seit Jahrzehnten Bergbau unterrichten, haben dabei zum ersten Mal ein Bergwerk betreten.

Im Februar und März 2015 kam eine Gruppe von Bachelor-Studenten an die TU Bergakademie Freiberg, um vor allem die praktischen Belange im Bergbaustudium und die Wissenschaftsorientierung zu ergänzen.

Im Februar 2015 wurden im Rahmen der Komponente 2 erste Gastvorlesungen an den Fakultäten für Recht, Verwaltung und Wirtschaftslehre der Universität Kabul gehalten.

Im Februar und März 2016 wurde eine 15-köpfige Gruppe junger Hochschullehrer in Freiberg ausgebildet (Abb. 14).

Danach gab es von afghanischer Seite verhängte Restriktionen, denen nach keine Personen mehr in den Schengen-Raum hineinreisen durften, da es Rückkehrprobleme gab.

Parallel zum AMEA-Projekt wurde aus gleichem Grund im Juli 2016 eine 2monatige Weiterbildung von afghanischen Berginspektoren kurzfristig von Freiberg weg an die TU Istanbul (ITU) verlegt. Letztere hat trotz des Militärputsches in dieser Zeit eine sehr gute Unterstützung geleistet.

Das AMEA-Projekt endete für die TU Bergakademie Freiberg nach vier Jahren im Mai 2018. Um das Projekt umsetzen zu können, waren vorübergehend vier wissenschaftliche Mitarbeiterstellen und eine Verwaltungsstelle besetzt. Alle Fristen

wurden eingehalten und die gesteckten Projektziele vollständig erreicht. Allen beteiligten Mitarbeitern gilt dafür ein herzlicher Dank.

Da der DAAD keine Kosten der allgemeinen Verwaltung bzw. keine Projektpauschale übernommen hat, leistete die TU Bergakademie Freiberg zudem einen erheblichen, im mittleren sechsstelligen Bereich liegenden finanziellen Beitrag für das Gelingen des Projekts.

Ausblick

Afghanistan zählt zu den ärmsten Ländern der Erde. Im Human Development Index (HDI), dem Entwicklungsbarometer der Vereinten Nationen, der am nationalen Gesundheits-, Bildungs- und Einkommensniveau gemessen wird, liegt das Land auf Platz 172 von insgesamt 187 Ländern [21]. Afghanistan verfügt über keine nennenswerte Industrieproduktion; etwa 80 % der Bevölkerung sind noch im Landwirtschaftssektor tätig. Als privatwirtschaftliche Organisationsform sind vor allem Kleinbetriebe mit familiären Strukturen verbreitet. Der Großteil aller wirtschaftlichen Aktivitäten findet informell, d. h. im Bereich der Schattenwirtschaft statt [21]. Dem Staat gehen in diesem Zusammenhang erhebliche potenzielle Steuereinnahmen verloren. Aus eigener Kraft kann das Land u. a. deswegen nur ca. 2 Mrd. US \$ an Staatseinnahmen pro Jahr erwirtschaften [22]. Die internationale Staatengemeinschaft ermöglicht mit Zuzahlungen zum Staatshaushalt von bis zu 90 % das leidliche Funktionieren des wirtschaftlichen, politischen und sozialen Lebens. Einem Bevölkerungsanteil von mehr als 40 % junger Menschen steht eine sehr hohe Analphabetenrate von ca. 70 % gegenüber, die in ländlichen Gebieten sogar bei 90 % liegt. Dementsprechend ist die Nachfrage nach Ausbildungs-, Studien- und Arbeitsplätzen enorm hoch und das derzeitige Angebot erschreckend niedrig.

Das Land blickt auf eine turbulente und zerstörerische Geschichte zurück. Bis heute stehen sich unterschiedliche politische Machtlager in Afghanistan gegenüber, die für Unruhen und gewalttätige Ausbrüche sorgen. Neben der terroristischen Organisation der Taliban gibt es regionale Kriegsherren („Warlords“), die über eigene Streitkräfte verfügen sowie lokale Klanführer, die traditionell bestimmte Stammesgebiete regieren. Auf der anderen Seite steht die Internationale Afghanische Schutztruppe ISAF, die für die Sicherheit der provisorischen Regierung zuständig ist und die

Ausbildung afghanischer Sicherheitskräfte gewährleistet. Diese Soldaten und eine Vielzahl von Mitarbeitern internationaler Hilfsorganisationen befinden sich in einem ständigen Kampf zwischen Erfolg, Niederlage und Hoffnung.

Afghanistan ist eine multikulturelle Gesellschaft, die sich aus mehr als 20 ethnischen Gruppierungen, die über 40 verschiedene Sprachen sprechen, zusammensetzt. Grund dafür sind die geografische Lage und die historische Entwicklung dieses Binnenlands, das sich am Knotenpunkt von Süd- und Mittelasien befindet.

Die problematische wirtschaftliche, politische, historische und gesellschaftliche Lage des Landes ist für dessen zukünftige Entwicklung eine gewaltige Hürde. Das Engagement der neuen afghanischen Regierung, die Unterstützung der internationalen Gemeinschaft, der Idealismus des nationalen Bildungssektors sowie das große Potenzial an Studienbewerbern zeigen Perspektiven auf. Die nationalen Rohstoffvorkommen stellen einen wichtigen Grundpfeiler für nachhaltiges Wachstum dar. Aufgabe ist es nun, die nationalen Ressourcen mit landeseigener Bergbaukompetenz professionell aufzuschließen und zielführend zu nutzen.

Literatur

(Auswahl, vollständige Liste kann beim Autor angefordert werden)

- [1] Griebel E (2014) Entwicklung einer Methodik zur Bewertung von Handlungsalternativen im internationalen Kleinbergbau, Dissertation, TU Bergakademie Freiberg
- [6] Afghan Geological Survey (2012) A brief history of geological studies in Afghanistan, <http://www.bgs.ac.uk/AfghanMinerals/About.htm>
- [8] British Geological Survey 2012: Geology and mineral resources of Afghanistan, <http://www.bgs.ac.uk/download/browse.cfm?sec=7&cat=83>
- [9] Reichl C, Schatz M, Zsak G (2018) World-Mining-Data, International Organization Committee for the World Mining Congresses, Wien, 251 Seiten
- [11] Mitchell C, Benham A (2008) Afghanistan Revival & redevelopment
- [12] US Aid (2008) Small & Medium Enterprise Development - Afghanistan Marble Granit
- [13] Good Afghan News (2011) Salt Refinery Plant Inaugurated in Balkh Province
- [16] Afghan Ministry of Higher Education (2009) National Higher Education Strategy Plan: 2010-2014
- [21] International Labour Organisation (ILO) 2012: Afghanistan: Time to move to sustainable jobs: Study on the state of Employment in Afghanistan.
- [23] Drebenstedt C., Griebel E.: Bergbau und Bergbaubildung in Afghanistan, bergbau, Makossa Druck und Medien GmbH, Gelsenkirchen, No. 10, 2014, S. 440-448 (ISSN 0342-5681)

Das Projekt „Internationale Studenten in Schulen“

Im Rahmen des im Jahr 2000 vom IUZ gemeinsam mit Studierenden initiierten Projekts „Internationale Studenten in Schulen“ werden vor allem Vorträge für Schüler organisiert. Die Studierenden stellen sich und ihre Heimatländer vor, zeigen Fotos und Videos, präsentieren ihre traditionelle Kleidung oder sprechen Texte in ihrer Muttersprache. Wer kann, singt vor der Klasse oder animiert seine Zuhörer zu einem landestypischen Tanz. Besonders beliebt bei den meisten Schülern sind gesellige Spiele aus der Heimat der Studierenden.

„Das Projekt ermöglicht interkulturelle Begegnungen im Klassenzimmer. Wir hoffen, dass davon sowohl die internationalen Studierenden profitieren, als auch die Schülerinnen und Schüler“ sagt Torsten Mayer, Mitarbeiter am Internationalen Universitätszentrum, der seit September 2014 das Projekt leitet.

Für die meisten Studierenden ist ein solcher Schulvortrag ein aufregendes Erlebnis: Es geht an ein Gymnasium oder an eine Grund- oder Mittelschule. Dort wird man herumgeführt, von vielen Kinderaugen bestaunt, wirft einen Blick in ein Lehrerzimmer, wird vielleicht der Schulleiterin bzw. dem Schulleiter vorgestellt, wird bewirtet und soll schließlich vor einer Schulklasse eine Unterrichtsstunde bestreiten. Unsicherheiten bei den Deutschkenntnissen treten dann schmerzlich zutage und müssen mit Englisch ausgeglichen werden. Die meisten Schüler können aber auch einem vollständig auf Englisch gehaltenen Vortrag gut folgen.

Bisher haben Studierende aus Ägypten, Albanien, Algerien, Australien, Brasilien,

China, von der Elfenbeinküste, aus Frankreich, Ghana, Großbritannien, Indien, Indonesien, Island, Kamerun, Kenia, Kolumbien, Mexiko, der Mongolei, Norwegen, Pakistan, Palästina, Polen, Russland, Spanien, dem Sudan, Syrien, Tschechien, der Türkei, der Ukraine, Ungarn und den USA am Projekt teilgenommen.

„Das Geschwister-Scholl-Gymnasium in Nossen und das Bernhard-von-Cotta-Gymnasium Brand-Erbisdorf sind die Stammschulen des Projekts“, erzählt Mayer. „Wir statten ihnen ein- bis zweimal pro Jahr einen Besuch ab.“ Während die Nossener Gymnasiasten zum „Tag der Zivilcourage“ und zum „Tag der Sprache“ einladen, geht es in Brand-Erbisdorf um die Weltreligionen Islam, Hinduismus und Buddhismus.

Die Master-Absolventin Gloria Auma Njagah aus Kenia stellte ihr Heimatland im März den Schülerinnen und Schülern einer achten Klasse an der Oberschule Halsbrücke bei Freiberg vor. Sie verglich dabei das Leben eines typischen Teenagers in Kenia mit dem eines in Deutschland Heranwachsenden.

Im Anschluss an die Präsentation stellen die Teilnehmenden Fragen, die sie im Vorfeld erarbeitet hatten.

Außerdem berichtete Projektmitarbeiterin Lisa Hermann von ihrer Zeit in Südafrika, wo sie im Rahmen eines Schüleraustauschs mehrere Monate gelebt hatte. Mit Schülern, die einen eigenen Auslandsaufenthalt planen, kam sie darüber ins Gespräch.

Die Veranstaltung dauerte zwei Unterrichtsstunden und bot damit reichlich Gelegenheit für Gespräche.

Das Projekt entwickelt sich

Der Besuch von internationalen Studierenden an interessierten Schulen muss sich nicht auf einen Vortrag beschränken. Auch landestypische Speisen werden in

der Schulküche zubereitet oder ein Tanzkurs veranstaltet. Ein herausragendes Beispiel hierfür ist der Tanzunterricht des Masterstudenten Nazaruddin Raja aus Indonesien, den er von Mai bis Dezember 2011 an der Grundschule Georgius Agricola in Freiberg gab.

Stets wird an einer inhaltlichen Verbesserung des Programms gearbeitet, wie Torsten Mayer berichtet: „Zu Anfang bestand meine Aufgabe in der Suche nach Freiwilligen unter den Studierenden und deren Vermittlung an anfragende Schulen. Damit die Vorträge für die Schülerinnen und Schüler möglichst authentisch wirken und unterhaltsam sind, haben wir dann jeweils zwei Treffen zur Vorbereitung eingeführt, bei denen Ideen entwickelt und die Elemente der Unterrichtsstunde geplant werden. Eine solche Vorbereitung ist wichtig, da die meisten Projektteilnehmer ohne sie nur eine PowerPoint-Präsentation erstellen, in der sie eine Menge an Lexikonwissen und atemberaubend schönen Tourismus-Fotos zusammentragen. Damit die Schüler aber etwas über das tatsächliche Leben und über die Person, die vor ihnen steht, aus erster Hand erfahren, bitte ich die Studierenden darum, sie mögen Fotos und Videos verwenden, die sie selbst gemacht haben und die damit verbundenen Geschichten erzählen.“

Ausgezeichnet mit dem Sächsischen Integrationspreis

Im November 2010 wurde das Projekt mit dem Sächsischen Integrationspreis ausgezeichnet. Gelobt wurde dabei das Projektziel, bei deutschen Jugendlichen Interesse an Menschen aus anderen Kulturkreisen zu wecken und Verständnis für die Besonderheiten ihrer mitunter andersartigen Kultur zu entwickeln. Der persönliche Kontakt hilft, Gemeinsamkeiten zu erkennen, Vorurteile abzubauen und das Gefühl der Fremdheit zu überwinden.



Vier Studierende aus Indien sprachen im November 2017 am Bernhard-von-Cotta-Gymnasium in Brand-Erbisdorf vor zwei neunten Klassen über die Weltreligion Hinduismus. Drei von ihnen sind selbst gläubige Hindus. Die Studentinnen Deepalaxmi Rajagopal (links) und Subramanian Tharangini und die Studenten Jaffrey Hudson und Sandeep Krishna Senthil Kumar hatten sich außer auf einen PowerPoint-Vortrag auch auf praktische Übungen mit den Schülern der Klassenstufe 11 vorbereitet. So zeichneten sie gemeinsam mit ihnen „Rangoli“, das sind symmetrische Schmuckelemente, die in ihrer Heimat als Opfergaben aus Reismehl und anderem Essbaren vor den Hauseingängen gestaltet werden. Frau Subramaniansang gab eine Kostprobe eines traditionellen rituellen Gesangs der Hindus zum Besten.

Stipendienprogramme am Internationalen Universitätszentrum

Ingrid Lange¹

Eigentlich ist diese Überschrift hier schon mal nicht ganz richtig: Das Internationale Universitätszentrum (IUZ) hat gar keine Stipendienprogramme, es verwaltet nur eine ganze Reihe davon oder wickelt Vorgänge in Verbindung mit den Stipendiaten ab. Der folgende Beitrag soll über Förderprogramme und die damit verbundenen Tätigkeiten der MitarbeiterInnen des IUZ informieren sowie auch einige Stipendiaten näher vorstellen. Insgesamt werden am IUZ jährlich Stipendien-/Fördermittel in Höhe von ca. 500.000 EUR verwaltet.

Stipendien für Studierende und Doktoranden der TU Bergakademie Freiberg für Auslandsaufenthalte

Um einen Auslandsaufenthalt – sei es ein Studium, ein Praktikum, einen Workshop etc. – realisieren zu können, müssen Studierende neben all den organisatorischen und formalen Hürden auch die Finanzierung ihrer Vorhaben bewältigen. Folgende Förderprogramme helfen dabei:

- ERASMUS²
- PROMOS
- Go East zum Studium in Osteuropa und an Hochschulen der GUS
- Fulbright-Stipendium zum Studium in den USA
- RISE-Weltweit (für Praktika)
- DAAD-Stipendien
- Stipendien (von Stiftungen, Verbänden)

Die Aufgabe der zuständigen Sachbearbeiterin Auslandsstudium, Michaela Luft, besteht einerseits in der Beratung der Studierenden über diese Fördervarianten, andererseits in einer aktiven Verwaltung der Programme. Dies betrifft insbesondere die drei erstgenannten Programme mit einem jährlichen Finanzvolumen von ca. 400.000 EUR. Insbesondere ERASMUS (bzw. exakter: ERASMUS+, wie die Bezeichnung dieses EU-Bildungsprogramms der Superlative der Programmgeneration 2014–2020 lautet) ist in punkto Handling und Abwicklung eine große Herausforderung aufgrund seiner engen Vorgaben und

seiner Komplexität. Zwei Datenbanken dienen allein der Verwaltung dieses Projekts. Mit den DAAD-Programmen PROMOS (fördert – kurz gesagt – das, was durch Erasmus+ nicht abgedeckt werden kann) sowie GO EAST sind ähnliche Herausforderungen verknüpft, wenn auch lange nicht derart komplexe wie bei Erasmus. Das Aufgabenspektrum beginnt bei der Werbung und Information der potenziellen Klientel, umfasst die Antragstellung für die Projekte, die Abwicklung der Auswahlverfahren, die Dokumentenverwaltung bis hin zur Auszahlung der Stipendienraten und zum Berichtswesen.

Interessenten finden eine Übersicht über diese Förderprogramme u. a. auf der Internetseite des IUZ.

Stipendien für internationale Studierende/Doktoranden an der TU Bergakademie Freiberg

Auch unsere ausländischen Studierenden werden durch die Mitarbeiter am IUZ wie auch per Internetseite umfassend über Möglichkeiten einer zeitweiligen Förderung ihres Studiums informiert. In grober Übersicht wären das:

- DAAD-STIBET für ausländische Studierende und Doktoranden (STIBET: Stipendien- und Betreuungsprogramm)
- Agricolastipendien des SMWK, gemeinsam administriert von IUZ und Studentenwerk (als Zuwendungsempfänger)
- Zuwendungen von Stiftern, Vereinen, ausländischen Regierungen etc.
- Stipendien des DAAD und anderer Förderorganisationen

Ein Großteil dieser Förderprogramme wird dabei aktiv vom IUZ (Sachbearbeiterin Ausländerstudium: Manuela Junghans) verwaltet. Dies betrifft sowohl die pauschale DAAD-Projektförderung STIBET als auch beispielsweise die Betreuung von Projekten, wie des „Jungingenieurprogramms Chile“. Oder das seit 2015 bestehende, gemeinsam mit dem Bergbauministerium von Mosambik aufgelegte Studienprojekt (MIREME): Bereits die dritte Gruppe von durch MIREME ausgewählten jungen Menschen aus Mosambik wurde zum Studium nach Freiberg entsandt, wobei dem eigentlichen Beginn des Fachstudiums jeweils zunächst ein intensiver Deutschkurs sowie die Absolvierung einer einjährigen Studienvorbereitung am Studiencolleg Glauchau vorausgeht. Die Verwaltung dieses Projekts erfolgt gemeinsam mit dem Institut für Bergbau.

Hervorgehoben werden soll an dieser Stelle auch das DAAD-Stipendienprogramm STIBET-Matching Funds: Der DAAD honoriert das Einwerben von Drittmitteln (bspw. Spenden, Förderungen durch Firmen oder auch Privatpersonen), indem er den Förderbetrag jeweils um 100 % aufstockt. Seit Auflage dieses DAAD-Projekts im Jahr 2004 ist u. a. der Verein der Freunde und Förderer ein verlässlicher Unterstützer dieses Programms, durch das zwischen 2004 und 2017 allein schon 110 ausländische Studierende eine kurzzeitige Förderung erhielten.

Gefördert wird in den DAAD-STIBET-Projekten u. a. auch die Studienabschlussphase (i. d. R. drei Monate), während der die Studierenden möglichst keine zusätzlichen Belastungen durch das Ausüben eines Nebenjobs haben sollen. Nachgewiesen werden müssen hierfür aber mindestens gute Studienleistungen. Auch das Engagement und die Unterstützung von Betreuungsaktivitäten des International Office können auf diese Weise honoriert werden. Nicht unerwähnt soll sein, dass wir gemeinsam mit dem Studentenwerk aus Mitteln des DAAD-STIBET-Projekts auch schon so einigen ausländischen Studierenden in finanziellen Notlagen helfen konnten.

Übergreifende Programme

Hier handelt es sich in erster Linie um das Programm „DAAD-Ostpartnerschaften“, das mit jährlich ca. 55.000 EUR die Förderung der Kooperation mit ausgewählten osteuropäischen Partneruniversitäten unterstützt. Dies erfolgt in Form von Aufenthaltspauschalen und Stipendien für die aus den entsprechenden Staaten stammenden ausländischen Gäste sowie durch die Kostenübernahme für Reisen an die Partneruniversitäten. Das Programm wird komplett am IUZ administriert.

Stipendiaten vorgestellt

Liu Yuan, China, Promotionsstudentin bis April 2018, Fak.3, Institut für Geotechnik

Während ihres Masterstudiums in China lernte sie innerhalb eines Projekts Herrn Prof. Konietzky kennen, welcher sie danach als Promotionsstudentin gewinnen konnte. Frau Liu Yuan kam im Oktober 2013 mit einem Stipendium des Chinese Scholarship Council nach Freiberg. Das Stipendium endete nach vier Jahren im Oktober 2017. Liu Yuan erhielt danach aus DAAD-Mitteln eine Promotionsabschlussbeihilfe für fünf Monate und war so in

1 Ingrid Lange, Direktorin Internationales Universitätszentrum der TU Bergakademie Freiberg

2 Das ERASMUS-Programm fördert nicht nur Studierende, sondern auch Gastdozenten sowie weiterbildende Aufenthalte im Ausland.



Liu Yuan nach ihrer erfolgreichen Verteidigung

der Lage, ihre Promotion konzentriert zu Ende zu führen. Sie verteidigte am 18. April ihre Arbeit auf dem Gebiet der partikelbasierten numerischen Simulation. Da die Promotion an der TU Bergakademie Freiberg in englischer Sprache möglich ist, hatte Liu Yuan auch nur Grundkenntnisse in der deutschen Sprache. Jedoch gibt sie an, dadurch keinerlei Probleme gehabt zu haben. Sie kehrt nach China zurück, um eine Beschäftigung an der Qingdao Universität aufzunehmen.

Ahmad Z. Ihsan, Indonesien, Studiengang Computational Material Science (M.Sc.)

Ahmad kommt aus Bandung (West Java), wo er auch einen Bachelorabschluss in Ingenieur-Physik erworben hat. In der Abschlussarbeit befasste er sich mit Materialsimulation und beschloss, sich auf diesem Gebiet noch weiterzuentwickeln. So fand er 2016 zu unserer Universität, die den passenden Studiengang auf Englisch anbot. Anfangs fiel es Ahmad sehr schwer, sich hier zurecht zu finden, da er keinerlei Deutschkenntnisse hatte. Er nahm dann studienbegleitend an einem Anfängerkurs teil, fand deutsche Freunde, war aktiv u. a. bei der Vorbereitung von Veranstaltungen, half anderen ausländischen Kommilitonen und betreute im April 2018 auch eine Gruppe indonesischer Studierender, die sich auf einer Exkursion in Deutschland befanden. Dies alles führte dazu, dass er sich sehr wohl fühlt in Freiberg. Finanziell fiel es ihm nicht leicht, über die Monate zu kommen. Er finanzierte sich selbst mit diversen Studentenjobs. Auf Grund seiner guten Leistungen und



Ahmad Z. Ihsan, Indonesien

seines Engagements für unsere Universität konnte er für eine Förderung für vier Monate aus dem Projekt STIBET-Matching Funds, gesponsert vom Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg ausgewählt werden. Derzeit schreibt er an seiner Masterarbeit und wird sein Studium in Kürze abschließen.

Aurelie Fowa, Kamerun; Studiengang Chemie (M.Sc.) und Atefeh Maghaminik, Iran, Studiengang International Management of Resources and Environment (MBA)

Beide Studentinnen haben eine Förderung aus dem DAAD-Programm STIBET erhalten: Aurelie erhielt diese als Studienabschlussbeihilfe. Atefeh konnte ein Stipendium für besonders engagierte Studierende zuerkannt werden.

Aurelie ist eine aufgeschlossene, freundliche Studentin, die scheinbar immer gute Laune hat. Sie sagt: *Nach meinem Bachelorabschluss an der Universität Jaunde 1 in Kamerun wollte ich gern im Ausland weiterstudieren, entweder in Frankreich, England oder Deutschland. Letztendlich fiel meine Wahl auf Deutschland, da es hier keine Studiengebühr gibt. Die TU Bergakademie Freiberg hat mir mit der Zulassung für den Studiengang Chemie dann die Chance gegeben, meinen Traum zu verwirklichen. Nach dem Studium werde ich mich sowohl in europäischen als auch in kamerunischen Chemie-Firmen bewerben. Dort, wo ich eine gute Stelle finde, werde ich weiter leben.*

Atefeh ist extrem fleißig und engagiert. Sie hat ihr Bachelorstudium im Bereich Bergbauingenieurwesen an der AmirKabir-Universität für Technologie Teheran 2013 abgeschlossen und sich danach für die Freiburger Universität entschieden, weil diese, wie sie sagt, eine der besten Bergbauuniversitäten weltweit ist. Weiterhin berichtete sie uns: *Ich hatte Probleme in den ersten Tagen in Freiberg wegen meiner Deutschkenntnisse. Ich hatte nur A1-Niveau in meinem Heimatland studiert. Am Anfang*



Aurelie Fowa, Kamerun Atefeh Maghaminik, Iran

müssen die Studenten z. B. ein Bankkonto eröffnen, sich bei einer Krankenversicherung anmelden usw. Das war nicht einfach, weil man sich dort nicht auf Englisch verständigen konnte. Aber jetzt, nachdem ich an den Deutschkursen, die in der TU Freiberg stattfinden, immer teilgenommen habe, hat sich mein Deutsch wirklich verbessert, und ich bin zufrieden.

Neben ihrem Studium unterstützt sie das IUZ als Wohnungsscout und bei der Betreuung von neu anreisenden ausländischen Studierenden und war als Campusspezialistin auf der ORTE aktiv. Immer ansprechbar und einsatzbereit, hat sie z. B. auch jedes Jahr beim Freiburger „Fest der Kulturen“ geholfen.



Ivan Korol, Ukraine

Ivan Korol, Ukraine, Doppelabschluss im Studiengang Werkstoffwissenschaften und Werkstofftechnologie

Ivan wurde von unserer Partneruniversität, der Nationalen Metallurgischen Akademie der Ukraine für die Teilnahme am Doppelabschlussprogramm ausgewählt. Während seiner Bachelorzeit studierte er dort das Fach „Stahlproduktion“. Er wird nach dem Abschluss dieses Programms die Abschlüsse beider Universitäten erhalten: das Diplom der TU Bergakademie Freiberg sowie den Masterabschluss seiner Heimatuniversität. Die Teilnahme an derartigen Doppelabschluss-Studiengängen ist natürlich lukrativ, aber leider nicht mit einer finanziellen Förderung verknüpft. Herr Korol konnte von einem Erasmus+-Projekt zwischen unserer Universität und seiner Heimatuniversität profitieren und

erhielt daraus ein Stipendium für ein paar Monate. Um sein Studium in Freiberg erfolgreich abzuschließen, bewarb er sich am IUZ um eine weitere Unterstützung und konnte für ein Agricolastipendium des SMWK ausgewählt werden. Er sagte uns: *Das erste Mal in Deutschland war alles sehr schwer für mich zu meistern, da es ein anderes Land, eine andere Sprache und eine andere Kultur ist. Daher gaben mir das Stipendium und die freundliche Unterstützung die Möglichkeit, mich zu beruhigen, was für mich sehr wichtig war.*

Melvice Ngalle Epede, Kamerun, Promotionsstudentin Fak. 2, Biowissenschaften

Melvice hat ihren Masterabschluss an der Universität Antwerpen erworben. Im Herbst 2017 nahm sie am Institut für Biowissenschaften der Fakultät 2 unter Betreuung von Prof. Heilmeier ihre Promotion auf. Auf Grund der Geburt ihres Töchterchens Brenda im September 2017 in Freiberg stand sie – neben all den Schwierigkeiten, mit denen neu angereiste Doktoranden zu kämpfen haben – noch vor einer zusätzlichen Herausforderung. Melvice verdient unseren höchsten Respekt. Sie hat sich sehr rasch integriert und arbeitet sehr konzentriert an ihrer Promotion. Daneben ist sie immer ansprechbar, wenn es um Extra-Arbeit geht, wie z. B. die Beteiligung an unserem Schulprojekt (Internationale Studierende in Schulen). Da Melvice noch keine verlässliche Finanzierung für ihre Forschungstätigkeit hier hat, bewarb sie sich u. a. erfolgreich um finanzielle Unterstützung im Rahmen des DAAD-STIBET-Programms für Doktoranden. Sie konnte 2018 daraus eine Lehr- bzw. ab Juli eine Forschungsassistentenstelle (WHK, 20 Stunden) an ihrem Institut erhalten.

Sie sagte uns: *I faced so many problems because I had no initial knowledge of the German language; for example in searching for accommodation and signing contract with my landlord, I needed someone to translate. Same with the bank and other offices I needed services from. ... I am thankful to the university for the free German course accompanying studies ... I feel much better now with my A1.2 Level acquired! ... I do volunteer work which also helped me interact with other people outside my institute. For example, I was a Campus specialist during the just ended career fair. Funny enough I was the only volunteer student from Africa and the only PhD student! Also I presented at the Nossen high School during the International Language Day. I was pleased doing that because teaching is my dream.*



Melvice Ngalle Epede, Kamerun

I am not yet on a steady funding per se but had received the award for exceptionally committed students from IUZ, which really helped me. Particularly as I was able to move from a WG to private apartment – this was very timely as I needed to focus on research alongside a new born baby ...

Gansukh Tsogt, Mongolei, Studiengang Umwelt-Engineering (B.Sc.)

Gansukh wird sein Studium mit der Vertiefungsrichtung „Dezentrale Energiesysteme und Wärmeschutz“ im November 2018 abschließen. Er wird für sein Studium gefördert durch ein Regierungsstipendium der Mongolei, dessen Abwicklung beim DAAD liegt. Die Koordination in Freiberg obliegt dem IUZ. Bestandteil dieses Regierungsstipendienprogramms ist eine engmaschige Betreuung durch einen studentischen Tutor sowie halbjährliche Evaluierungsgespräche mit den zuständigen DAAD-Vertreten. Herr Tsogt erzählt:

Zunächst möchte ich mich beim DAAD und der Regierung der Mongolei dafür herzlich bedanken, dass sie mir diese wunderbare Möglichkeit gegeben haben, mit Stipendium in Deutschland zu studieren. Dank dieser Unterstützung hatte ich während der Studienzeit keine finanziellen Sorgen und konnte mich vollständig auf mein Studium konzentrieren ... Nach dem Masterstudium habe ich vor, zwei oder drei Jahre in Deutschland in meiner Vertiefungsrichtung zu arbeiten. Dann möchte ich mit den Erfahrungen und geknüpften Kontakten den Energiebereich der Mongolei möglichst verbessern. In der Mongolei gibt es momentan folgendes Problem: Wenn die Kraftwerke der Mongolei nicht den gesamten Stromverbrauch decken



Gansukh Tsogt, Mongolei

können bzw. der Stromverbrauch größer als die Erzeugung ist, beziehen sie Strom aus Russland, indem sie Geld dafür bezahlen. Und während der Nacht haben die Kraftwerke der Mongolei meistens Stromüberschuss, den sie nicht verbrauchen können. Deswegen leiten sie den Stromüberschuss zurück nach Russland. Das ist für die mongolischen Kraftwerke sehr ineffizient. Deshalb ist es erforderlich, innovative Speichertechnologien mit Automatisierungstechnik in der Mongolei zu entwickeln. Damit können wir mindestens den Stromüberschuss der Nacht speichern und während der Lastspitzenzeit wiederverwenden. Wie man auf dem Foto sieht, habe ich auch Hobbies: Vor ca. drei Jahren habe ich angefangen, Klavier zu spielen. Am Anfang konnte ich fast gar nichts, und alles was ich jetzt kann, habe ich von YouTube gelernt und mir selbst beigebracht. Außer viel Musik zu machen, trainiere ich drei- bis viermal pro Woche sehr intensiv. Als ich in der Mongolei war, habe ich den japanischen Schwertkampf „Kendo“ und Street-Workout, das ist eine Kombination aus Athletik und Calisthenics trainiert und auch Preise gewonnen. Da es in Freiberg diese zwei Sportarten nicht gibt, trainiere ich jetzt Kickboxen, Fitness und Schwimmen. Am 5. August habe ich am Elbeschwimmen in Dresden teilgenommen und bin etwa 3,5 km geschwommen. Dieses Gefühl, dass ich irgendetwas erfolgreich hinter mich bringen kann, lässt mich sehr stark fühlen. Kim-Woo Choong (Gründer von Daewoo) hat gesagt: „Der große Erfolg von heute war gestern mein Traum.“

Barbara-Unterstützungsfonds für Migranten-Studierende

In Verbindung mit der St. Barbaraschenkung des VFF an die TU Bergakademie im Jubiläumsjahr 2015 wurde auch eine limitierte Ausgabe (10 Stück) kleiner Barbarafiguren aufgelegt, die von Förderern und Freunden der Universität erworben und mit einer großzügigen Spende an den VFF begleitet war. Daraus wurde im Verein ein Barbara-Unterstützungsfonds für studierwillige Geflüchtete in Höhe von ca. 45 T€ eingerichtet. Der VFF finanziert(e) daraus folgende Unterstützungsleistungen:

- Deutschkurse für angemeldete Studierende,
 - leistungsfähige Laptops als Studienmittelhilfe,
 - individuelles begrenztes Stipendium, wenn damit der Bafög-Bezug nicht geschmälert wird.
- Gegenwärtig ist der Fonds etwa zur Hälfte aufgebraucht; die Förderung wird in enger Zusammenarbeit mit dem Internationalen Universitätszentrum fortgesetzt.

■ Hans-Jürgen Kretzschmar



Foto: Omar Al Agor

Besichtigung der Burg Frauenstein

Interkulturelles Wochenende¹

Interkulturelle Kompetenz ist heute im Zeitalter der Globalisierung wichtiger denn je. Die weltweite Vernetzung von Menschen unterschiedlichster Herkunftsländer birgt aber auch zahlreiche Herausforderungen und erfordert ein hohes Maß an Sensibilität und Interesse im Umgang miteinander. Auch im Hochschulalltag spiegelt sich die steigende Internationalität wider. Etwa ein Viertel der Studierenden an der TU Bergakademie Freiberg kommt aus dem Ausland. Um sich der Vorteile dieser großen Vielfalt bewusst zu werden und davon profitieren zu können, müssen die Studierenden und Hochschulmitarbeiter die kulturellen Unterschiede erkennen und das eigene Verhalten darauf abstimmen.

Vor diesem Hintergrund veranstaltete das Internationale Universitätszentrum am 15. und 16. September 2018 ein interkulturelles Wochenende für Studierende der TU Bergakademie Freiberg in Frauenstein. Die beiden Veranstaltungstage widmeten sich der Vermittlung von interkultureller Kompetenz durch das Aufzeigen kulturell bedingter Unterschiede, Stärkung zwischenmenschlicher Beziehungen und Förderung des bunten Miteinanders. Die rund 20 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Ländern wie Syrien, Libyen, Indien, China, aber auch Deutschland, waren sich einig – sie wollten neue Leute kennenlernen, Vorurteile abbauen und Spaß haben. Am Ende stand fest: Vielfalt verbindet und macht stark! Und die Veranstalter bekamen bestätigt, wie wichtig solche Begegnungen und Austausch sind bzw. welche Rolle Unsicherheit und Unwissenheit im interkulturellen Kontext doch spielt.

Ein herzlicher Dank dem Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V., der diese Veranstaltung angeregt und finanziell ermöglicht hat. Weiterhin möchten wir auch dem Studentenwerk danken, das tatkräftig an der Gestaltung und Durchführung des Wochenendes mitwirkte.

Klara Schönfelder

¹ für Studierende der TU Bergakademie Freiberg, finanziert vom VFF

Integration an der Universität – Studieren nach Flucht und Vertreibung

Klara Schönfelder, Stefanie Preißler

An der TU Bergakademie Freiberg sind derzeit 24 aus ihrer Heimat Geflüchtete im Fachstudium eingeschrieben; weitere sechs absolvieren zzt. einen studienvorbereitenden Deutschkurs. Sie alle sind vor Krieg und Terror aus ihren Herkunftsländern (Syrien, Afghanistan, Iran oder Eritrea) geflohen und stehen nun den verschiedenartigen Herausforderungen einer ihnen fremden Kultur gegenüber. Viele von ihnen haben in ihrer Vergangenheit bereits ein Studium begonnen und verfügen über einen durchaus guten Bildungsstand. Eine der größten Hürden auf dem Weg ins hiesige Studium ist das Erlernen der deutschen Sprache. Dieser oft langwierige

praxisnahe Ausbildung. Der Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. (VFF) hat sich zum Ziel gesetzt, Studierende mit Fluchthintergrund im ersten Jahr nach ihrer Immatrikulation an der Bergakademie zu unterstützen und ihnen damit den Weg ins Studium zu ebnet. Deshalb wurde 2015 das Barbara-Stipendium ins Leben gerufen (s. o.). Namensgeberin ist die Heilige Barbara, die als Schutzpatronin der Bergleute gilt – nicht zuletzt wegen ihres standhaften Verhaltens im Angesicht von Verfolgung und Tod. Durch den Stipendienfonds finanziert, konnte erfreulicherweise auch jeder der Geflüchteten einen für das Studium wichtigen Laptop erhalten. Die Entscheidung über die Stipendienplatzvergabe erfolgt über einen Bewerbungsprozess, zu dem ein ausführliches persönliches Gespräch gehört. Auf dessen Grundlage ist es zumeist möglich, auf individuelle Bedürfnisse zu reagieren. Im März 2018 hat übrigens der erste der Barbara-Stipendiaten sein Masterstudium in „Groundwater Management“ erfolgreich abgeschlossen. Zugleich ist er ein Mitglied im VFF und des Freiburger Alumni-Netzwerks geworden.

Den neun Stiftern des Barbara-Stipendiums gebührt ein großes Dankeschön, geht es doch nicht allein um die materielle bzw. finanzielle Hilfestellung, sondern auch darum, ein Zeichen der Freundlichkeit, der Hilfsbereitschaft und einer Willkommenskultur zu setzen.

Kontakt: Klara Schönfelder
TU Bergakademie Freiberg · Akademiestraße 6/
Nonnengasse · 09599 Freiberg
Tel. +49 3731 39 2645
klara.schoenfelder@uz.tu-freiberg.de



Foto © VFF/Stefanie Preißler

Die jüngsten vier Stipendiaten im Juli 2018

Lernprozess wird häufig durch rechtliche, finanzielle und persönliche Hürden bzw. Umstände erschwert. Zudem müssen die Geflüchteten zunächst mit dem deutschen Bildungssystem generell sowie mit der hier üblichen Lehr- und Lernkultur vertraut gemacht werden. Zu den gefragten Studiengängen zählen in erster Linie Geotechnik und Bergbau, aber auch Ingenieur- und Naturwissenschaften. Die Geflüchteten schätzen vor allem die sehr gute Betreuung an der Universität und die

Menschenblindheit

Kolumne von Eva Stützer

Tatort: Unibibliothek. Täter: Alle Menschen um mich herum. Oder bin ich die Täterin? Schließlich passiert es immer mir. Kann ich mich, nur weil ich auch geschädigt bin, immer in die Opferrolle zwängen?

Was geschehen ist? Nun, eigentlich nichts. Wie immer bin ich hineingestieft, vom Radfahren ein wenig zerzaust, die Kopfhörer schalldicht in die Ohren gepfropft, das Gesicht eine versteifte, erbarmungslos unsympathische Miene, „Quatsch mich ja nicht blöd an“ farblos auf die Stirn tätowiert.

Es wirkt. Obwohl ich ständig in die hiesigen Aktivitäten involviert bin, erkennt mich kaum einer mal wieder. Und wenn, dann hat sich das nach einigen Tagen auch wieder erledigt. Fluch und Segen der unscheinbaren Bühnensau.

Aber dann – eine Bewegung im Augenwinkel. Eine Hand zum Gruße. Galt sie mir? Zaghaft ist sie wieder nach unten gesunken, als der Handinhaber mein Gesicht erblickte. Eine rote, schrille Signalleuchte springt in meinem Kopf an. Kleine ausgeburnte Arbeitersynapsen unterbrechen ihre Mittagspause, pfeifen sich einen Adrenalindrink rein und durchforsten die Menschendatenbank. Namen. Viele Namen. Schöne und blöde, mit unterschiedlichen Schreibweisen. Weiblich, männlich, etwas dazwischen, sogar aus verschiedenen Sprachfamilien. Mensch, kenne ich viele Namen. Klasse! Bestimmt auch den des Winkers. Aber nicht sein Gesicht. Dazu fällt meiner Datenbank nichts ein. Schlecht implementiertes Ding.

Blöde Sache, nichts anmerken lassen, einfach weitergehen, die Treppe hoch und – Bam! Ein Gongschlag erschüttert mein Oberstübchen. Das war doch ...?

Ja, das war die und der, kenne ich seit dann und wann, habe mit ihm/ihr jene Anzahl Bier/Wein/Cocktails/Schnaps zu dieser und jener Gelegenheit getrunken. Die Eltern heißen so und so, haben am hmpften hmpften Hochzeitstag und essen am liebsten Nudeln mit Ketchup.

All das kann ich mir merken, und es fällt mir immer gleich ein, nachdem ich mir den peinlichen Moment angetan habe.

Es passiert mir nicht nur bei Leuten, die ich alle zwei Wochen mal in der Vorlesung sehe. Nein, jeder bekommt die Chance,

von mir nicht erkannt zu werden. Manchmal weiß ich sogar, dass ich jemanden kenne, grüße freundlich und habe auch nach drei Minuten Gespräch immer noch keine Ahnung, wer es ist. Ja selbst mein Exfreund beschwerte sich damals mehrfach, ich würde ihn ignorieren. Nein, ich habe ihn halt einfach nicht erkannt.

Es liegt weniger daran, dass ich nicht in der Lage bin, mir Menschen einzuprägen, sondern eher, dass ich Dorfkind bin. Selten war ich gezwungen, Zeit in Menschenmassen größer als 30 Personen zu verbringen. Mehr kann ich ab und zu auch aushalten, aber seit ich in der silbernen Stadt wohne, sehe ich täglich mindestens das Dreifache. Überall lauern sie, kommen mir auf der Straße entgegen, undurchdringliche Menschenketten, sitzen in Cafés und glotzen mich an. Da wird man nun mal menschenblind.

Jetzt könnt ihr euch natürlich fragen, ob mein Schädel versucht, euch einzuordnen, wenn ihr mir entgegenlauft. Eher nicht. Ich achte vielmehr darauf, niemanden umzurennen, als jemanden einzuordnen. Denn ich weiß, dass es nicht funktioniert. Lieber spare ich mir den Aufwand und glotze wie ein kleiner Klischeenerd auf den Boden und ignoriere alles um mich herum.

Meistens denke ich Sachen wie: „Das ist ein Fahrradweg, du dumme Sau! Es wird dir doch keinen Zacken aus der Krone brechen, 50 Zentimeter weiter links zu laufen!“ oder „Ach, du kommst zum Telefonieren hier her? Ist die Bibliothek ein Callcenter oder was? Du willst nur den Preisvergleich für den Türkeiurlaub deiner Familie durchführen? Schau dich mal um und sieh die Gesichter, die es nicht interessiert, du Mango!“

In meinem Kopf sitzt nämlich eine kleine tobende Battle Eva, die permanent alle Dinge, Personen und Geschehnisse beleidigt. Fiese kleine Möpfe wie sie könnten dieses Wissen jetzt ausnutzen und mich absichtlich verwirren, wenn sie mich treffen. Sollen sie doch. Zumindest kann ich mir dann einbilden, ich wäre bekannt. Wird langsam mal Zeit, die Allüren wieder aus dem Schrank zu holen.

Wenn ihr aber wirklich mit mir sprechen wollt, dann stellt euch vor, brieft mich mit unserer gemeinsamen Lebensgeschichte und ich werde antworten: „Klar, als ob ich dich vergessen könnte!“

NACHRICHTEN

Neue Karrierewege für Nachwuchswissenschaftler an der TU Bergakademie Freiberg

Im Jahr 2017 rief das BMBF ein neues Förderprogramm für Nachwuchswissenschaftler in einer frühen Karrierephase auf – das so genannte Tenure-Track-Programm. Mit dem neuen Programm wird diese Art von Professur erstmals flächendeckend an den Universitäten in Deutschland etabliert. Dafür werden 1.000 Tenure-Track-Professuren mit einem Gesamtvolumen von 1 Milliarden Euro für ganz Deutschland bis zum Jahr 2032 gefördert.

Zielstellung: Zum einen wird durch das Programm ein transparenter und planbarer Karriereweg für Nachwuchswissenschaftler in einer frühen Karrierephase neben der Juniorprofessur, der Habilitation, einer befristeten Professur oder der Erbringung habilitationsäquivalenter Leistungen etabliert. Zum anderen werden mehr dauerhafte Professuren in der Anzahl geschaffen.

Tenure-Track, ein international bekannter und akzeptierter Karriereweg, bedeutet, nach erfolgreicher Evaluation von Forschungs- und Lehrleistungen in einer befristeten Bewährungszeit, eine Lebenszeitprofessur zu erhalten. Den

Nachwuchswissenschaftlern wird auf der Grundlage eines qualitätssichernden Berufungsverfahrens zunächst eine befristete Professur übertragen. Innerhalb der befristeten Zeit wird mittels Evaluierungsverfahren, die in den verschiedenen Bundesländern und Einrichtungen nach unterschiedlichen Vorgaben und Prozeduren durchgeführt werden, die Eignung für eine Lebenszeitprofessur festgestellt.

Der Senat der TU Bergakademie Freiberg hatte in einer Grundsatzentscheidung vom 23. Mai 2017 den Weg zur Implementierung dieses Karriereweges an der TU Bergakademie Freiberg möglich gemacht. Im November 2017 folgte die

entsprechende Änderung des Sächsischen Hochschulfreiheitsgesetzes, das bis dahin den Begriff „Tenure-Track“ nicht definierte. Das gehörte zu den Voraussetzungen für die Beteiligung der TU Bergakademie Freiberg am Wettbewerb zur Einwerbung solcher Stellen. Die Auswahl der Projektanträge erfolgte durch ein Gremium der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz (GWK). Neben der TU Dresden konnte die TU Bergakademie Freiberg im Wettbewerb als eine der sächsischen Universitäten mit ihrem Konzept überzeugen und acht Tenure-Track im TT-Programm mit einem Fördervolumen von insgesamt rund 7,5 Millionen Euro einwerben. Diese müssen nun bis zum 30. November 2020 über ausgeschriebene Berufungsverfahren besetzt werden. Gemessen an der Professorenzahl werden mit diesen acht zusätzlichen ca. 10 Prozent neue Professuren an der TU Bergakademie Freiberg etabliert.

Auswahlkriterien des Bundeswettbewerbs waren vor allem die Qualität der Rahmenbedingungen und geeignete Maßnahmen für die strukturelle und nachhaltige Implementierung der jeweiligen Tenure-Track-Professur sowie deren Integration in die Nachwuchsförderung, in die Personal- und in die Strukturentwicklung der Universität.

Fünf Fakultäten beteiligen sich mit einer gezielten Neuausrichtung von Professuren an der Ausschreibung von Tenure-Track-Professuren. Neben der Angewandten Mathematik, der Angewandten Geophysik und der Biohydrometallurgie werden Tenure-Track-Professuren für Biogeochemie, für Hochtemperaturprozesse in der Metallurgie, für nachhaltiges Baustoffdesign, für energie- und rohstoffeffiziente Glastechnologien sowie für Gusswerkstoffe und Gießverfahren eingerichtet.

Mit der Bewerbung um die Tenure-Track-Professuren im Bundeswettbewerb

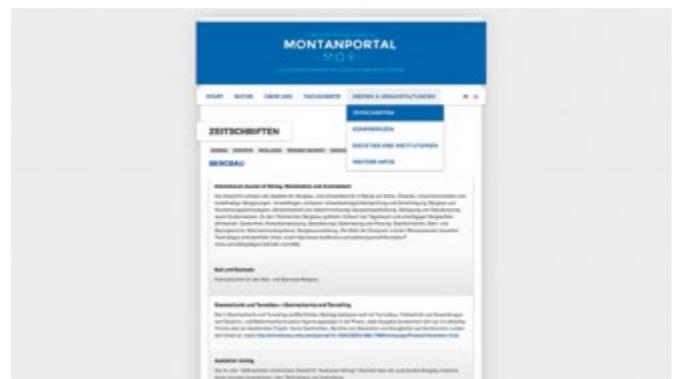
wurde das Personalentwicklungskonzept für den wissenschaftlichen Nachwuchs und das gesamte wissenschaftliche Personal der TU Bergakademie Freiberg in Zusammenarbeit mit dem Personalrat und dem Dezernat Personalangelegenheiten weiterentwickelt. Die Arbeitsgruppe „Personalentwicklung“ unter der Leitung des Rektors, in der alle Mitgliedergruppen und Interessenvertretungen der TU Bergakademie Freiberg zusammenarbeiten, legte das Personalentwicklungskonzept für die nächsten Jahre im Dezember 2017 dem Rektorat und anschließend dem Senat zur Beratung und Verabschiedung vor. Neben dem Mentoring der Tenure-Track-Professuren durch erfahrene Professoren sieht das Personalentwicklungskonzept eine hochschuldidaktische Weiterbildung sowie bspw. die Professionalisierung im Forschungsmanagement vor.

Ellen Weißmantel, Simone Kühne, Katrin Lorenz

Montanportal – das neue Fachinformationssystem für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

Von April 2016 bis März 2019 arbeitet die Universitätsbibliothek Freiberg (UB Freiberg) im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) geförderten Projekts an der Errichtung des Fachinformationssdienstes Montan.

Im Mittelpunkt des neuen Service stehen neben dem Aufbau eines Spezialkatalogs (Montankatalog) der Erwerb von fachlich relevanter Spezialliteratur und die Präsentation verschiedener Inhalte über die Website Montanportal. Dieser Service unterstützt besonders die Wissenschaftler/-innen der Fachgebiete Bergbau und Hüttenwesen, Lagerstättenkunde, Prospektion und Aufbereitung einschließlich Recycling sowie Rohstoffwirtschaft bei Informations- und Literaturrecherchen in ihren Forschungsgebieten. Das Herzstück des Montanportals ist der Montankatalog, der thematisch relevante Literatur verschiedener Medientypen unter einer Oberfläche bündelt. Neben Spitzenliteratur renommierter Fachverlage wird schwer auffindbare und nur verstreut vorliegende Literatur, z. B. Veröffentlichungen von Fachgesellschaften und Institutionen, Hochschulschriften, Konferenzbände, Statistiken und Forschungsergebnisse, nachgewiesen. Darüber hinaus finden Wissenschaftler/-innen über das Montanportal Informationen zu ausgewählten wissenschaftlichen Tagungen, Zeitschriften und Newsdiensten ihres Fachgebiets. Die technische Umsetzung des Montankatalogs und der Webseite Montanportal haben die Mitarbeiter der IT-Abteilungen der Universitätsbibliotheken Freiberg¹ und Leipzig² sowie die Firma effective webwork GmbH (Hamburg)³ übernommen. Ein weiterer Schwerpunkt des Fachinformationssdienstes ist die Anschaffung von Fachliteratur. Grundsätzlich konzentriert sich der Erwerb dieser Spezialliteratur auf die Ergänzung der bereits in der Universitätsbibliothek vorhandenen Bestände und die Fortsetzung des Bezugs fachrelevanter, deutschlandweit gut nachgefragter und häufig nur an der UB Freiberg



Seit Sommer 2018 ist das Montanportal unter <https://montanportal.com> zu finden

vorhandener Bestandstitel sowie auf die Erfüllung spezieller Literatur- und Informationswünsche der Fachwissenschaftler/-innen. Anschaffungsvorschläge für Fachliteratur können über ein spezielles Formular im Montanportal eingereicht werden.

Die Entwicklung des Fachinformationssdienstes Montan wird durch einen wissenschaftlichen Beirat mit Vertretern aus Forschung, Behörden und Wirtschaft begleitet. Die Beiratsmitglieder liefern wertvolle Anregungen für die inhaltliche und praxisnahe Ausgestaltung des neuen Serviceangebots, beraten bei der Gestaltung des Montanportals und gewähren Unterstützung bei der bedarfsorientierten Auswahl der zu erwerbenden Informationsressourcen.

Die UB Freiberg erstrebt auf Basis einer weiteren Förderung durch die DFG die Weiterentwicklung dieses Fachportals. Dazu sind z. B. die Einbindung weiterer Informationsquellen, die Digitalisierung on Demand⁴, das elektronische Publizieren sowie Veröffentlichungsmöglichkeiten von Forschungsdaten geplant.

Dana Kuhnert, Bernhard Wagenbreth

1 <https://tu-freiberg.de/ub>
 2 <https://www.ub.uni-leipzig.de/start/>
 3 <https://www.effective-webwork.de>

4 Digitalisierung ausgewählter gedruckter Werke auf Nutzerwunsch.

Neue Impulse für Kooperationen mit der TU Clausthal

Jens Grigoleit, Urs A. Peuker¹, Rudolf Kawalla

Gewachsene Partnerschaft

Seit jeher bestehen enge Verbindungen zwischen den Montanregionen des Oberharzes und des Erzgebirges sowie zwischen den in Freiberg und Clausthal entstandenen Bergakademien. So reicht die Geschichte der Zusammenarbeit bis in das 18. Jahrhundert zurück, als 1765 die Bergakademie Freiberg und 1775 die „Clausthaler montanistische Lehrstätte“ als Vorläufer der heutigen TU Clausthal gegründet wurden. Der rege Austausch von Wissen und Ideen, aber auch von Personal, setzt sich bis heute fort. Selbst zu Zeiten des geteilten Deutschlands gab es wechselseitige Besuche und fachliche wie persönliche Beziehungen. Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass bereits in den Monaten der Wende und noch vor der Wiedervereinigung ein neuer Vertrag über eine Hochschulpartnerschaft zwischen Clausthal und Freiberg geschlossen wurde. Der entsprechende Vertrag wurde am 18.04.1990 von den damaligen Rektoren beider Einrichtungen, Prof. Henricke und Prof. Gerhardt, unterschrieben. Er sah eine intensive Zusammenarbeit in Forschung und Lehre sowie bei Belangen der Kultur und des Sports vor, was gerade in den frühen 1990er-Jahren sehr intensiv gelebt wurde. So haben der intensive Erfahrungsaustausch und die Unterstützung seitens der TU Clausthal mit dazu beigetragen, die Integration der Bergakademie Freiberg in das bundesdeutsche Wissenschaftssystem erfolgreich zu realisieren. Enge fachliche und persönliche Beziehungen zwischen beiden Universitäten resultieren heute zudem daraus, dass viele der verantwortlichen Wissenschaftler beider Universitäten Stationen ihres Lebenslaufs an der jeweils anderen Einrichtung verbracht haben. Nicht zuletzt besteht ebenfalls seit den 1990er Jahren eine aktive Städtepartnerschaft zwischen Clausthal-Zellerfeld und Freiberg.

Die heutige wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen der TU Clausthal und der TU Bergakademie Freiberg zeigt sich in zahlreichen gemeinsamen

Forschungsprojekten, wechselseitigen Gastvorlesungen sowie bei der gemeinsamen Arbeit in Netzwerken, wie z. B. dem EIT RawMaterials, dem German Resource Research Institute (GERRI) sowie dem Weltforum der Ressourcenuniversitäten für Nachhaltigkeit. Deshalb lag es nicht fern, sich im Jahr 2016 für das Vorhaben einer Bewerbung für ein Exzellenzcluster im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder zu verbünden. Der Fokus der gemeinsamen Bewerbung lag dabei auf Technologien zur Kreislauf-führung strategischer Rohstoffe, insbesondere in Anwendungen der Elektromobilität, und sollte die an beiden Standorten ausgeprägten Kompetenzen im Bereich der Rohstoff- und Ressourcentechnologien, in der Verfahrenstechnik sowie in der Material- und Werkstoffforschung bündeln.

Parallel zu den Gesprächen auf fachlicher Ebene fand in diesem Zusammenhang im Dezember 2016 ein Treffen auf Ebene der Rektorate statt, in dessen Verlauf der Gedanke einer generell engeren Zusammenarbeit zwischen beiden Universitäten neu belebt wurde. Seitdem haben mehrere weitere Gespräche stattgefunden. Gemeinsame Interessen und Potenziale der Kooperation ergeben sich aus einem ähnlich gelagertem, sich dennoch in vielen Bereichen ergänzenden Profil beider Universitäten. Am 10. November 2017 wurde deshalb ein neuer Partnerschaftsvertrag unterzeichnet, der die Vereinbarung von 1990 ablöst und die Kooperation vertiefend weiterentwickelt.

Die TU Clausthal

Als montanistische Lehrstätte und spätere Bergakademie gegründet, weist die TU Clausthal heute ein Profil auf, dass sich in folgende Schwerpunktbereiche gliedert: Nachhaltige Energiesysteme, Rohstoffsicherung und Ressourceneffizienz, Neuartige Materialien und Prozesse für wettbewerbsfähige Produkte sowie Offene Cyberphysische Systeme und Simulation. Daneben wurden vier interdisziplinär arbeitende Forschungszentren etabliert: Das Forschungszentrum Energiespeichertechnologien (EST), das Clausthaler Zentrum für Materialtechnik (CZM), das Clausthaler Umwelttechnik-Forschungszentrum (CUTEC) sowie das

universitätsübergreifende Simulationswissenschaftliche Zentrum Clausthal-Göttingen. In Summe umfasst die TU Clausthal 34 Institute in drei Fakultäten mit insgesamt 78 Professuren. An der Universität sind gegenwärtig etwa 4.500 Studierende eingeschrieben, mehr als 30 Prozent davon mit ausländischer Herkunft.

Inhalte der neuen Kooperationsvereinbarung

Die vereinbarte Kooperation adressiert die Bereiche der Lehre, der Forschung, des Wissens- und Technologietransfers sowie die wechselseitige strukturelle Unterstützung. Im Bereich der Lehre sollen die Studiengänge beider Universitäten so aufeinander abgestimmt werden, dass ein Hochschulwechsel vom Bachelorstudium an einem zum Masterstudium am anderen Standort problemlos möglich ist, um den Studierenden ein größeres Spektrum an Spezialisierungs- und Wahlmöglichkeiten zu bieten. Gleichzeitig sollen mit der gleichen Zielsetzung die Möglichkeiten der Fernübertragung von Lehrveranstaltungen sowie des Lehraustauschs geprüft werden. Darüber hinaus überlegen beide Universitäten, bei der Entwicklung von Angeboten des E-Learnings sowie der Weiterbildung zusammenzuarbeiten.

Im Bereich der Forschung soll die Zusammenarbeit durch gemeinsame Projektinitiativen sowie die Schaffung von Möglichkeiten zur gemeinsamen Nutzung von Großgeräten und Laborkapazitäten gestärkt werden. Daneben soll eine wechselseitige Einbindung bei wissenschaftlichen Veranstaltungen erfolgen. Im Bereich der Nachwuchsförderung wird die wechselseitige Übernahme von Zweitbetreuungen bei Promotionen angeregt, darüber hinaus sollen gemeinsame Angebote der Qualifizierung sowie für Gastaufenthalte an der Partneruniversität geschaffen werden.

Weitere gemeinsame Aktivitäten und Initiativen im Rahmen der Partnerschaft sollen durch die von beiden Universitäten zu benennenden Kooperationsbeauftragten (gegenwärtig Prof. Daniel Goldmann seitens der TU Clausthal und Prof. Urs A. Peuker seitens der TU Bergakademie Freiberg) sowie in regelmäßig stattfindenden Koordinationssitzungen der Hochschulleitungen vereinbart werden.

¹ Kontakt:
Prorektor für Strukturentwicklung,
Prof. Urs A. Peuker,
Telefon +49 3731 39-3460,
Prorektor-Struktur@zuv.tu-freiberg.de

Mit der nunmehr bestehenden Kooperationsvereinbarung wurde auch ein Rahmen für bilaterale, auf einzelne Vorhaben bezogene Verträge und Vereinbarungen geschaffen, die sich aufgrund der geregelten Rahmenbedingungen deutlich einfacher und kürzer gestalten lassen.

Ausblick

Im Rahmen einer gemeinsamen Sitzung mit Beteiligten der Rektorate der TU Bergakademie Freiberg und der TU Clausthal im Frühjahr 2018 wurden mehrere Themenbereiche, die für die Entwicklung gemeinsamer Schwerpunktinitiativen geeignet erscheinen, identifiziert; ebenfalls wurden Erfahrungen im Bereich der Organisation von Studiengängen ausgetauscht. Es wurde angeregt, auch die Verantwortlichen der zentralen Einrichtungen beider Universitäten in die Kooperation einzubeziehen und entsprechende Kontakte für einen Erfahrungsaustausch herzustellen.

Eines der wichtigsten gemeinsamen Vorhaben ist die Entwicklung und Umsetzung eines gemeinsamen Forschungsprogrammes für die Rückgewinnung wirtschaftsstrategischer und kritischer Elemente aus metallurgischen Recyclingprozessen, das bereits Gegenstand der gemeinsamen Bewerbung für ein Exzellenzcluster war. Die Veranstaltung eines internationalen Workshops „E-Mobility & Circular Economy“ im Rahmen des diesjährigen BHT sowie die Herausgabe eines dazugehörigen Tagungsbandes mit Beteiligung von Wissenschaftlern der TU Clausthal, der TU Bergakademie Freiberg, des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologien sowie von renommierten Vertretern weiterer internationaler Forschungseinrichtungen waren ein weiterer Schritt auf dem Weg zur beabsichtigten Einrichtung eines Sonderforschungsbereichs der DFG.

Im Rahmen der Kooperation ist perspektivisch zudem auch die Einrichtung universitätsübergreifender Studien- und Weiterbildungsangebote vorgesehen, in die beide Standorte ihre jeweiligen spezifischen Stärken einbringen. Beide Universitäten sehen darin die Möglichkeit, ihr Angebotsspektrum im Sinne der Studierenden um weitere attraktive Studienrichtungen zu ergänzen und gemeinsam die Ausbildung von wissenschaftlichen Fachkräften für zukünftig noch wichtigere Fragestellungen, u. a. im Bereich der Kreislaufwirtschaft, zu fördern.

Das ERP-Kompetenzzentrum Sächsischer Hochschulen stellt sich vor

ERP steht für *Enterprise Resource Planning*, was die unternehmerische Aufgabe, Ressourcen wie Kapital, Personal, Betriebsmittel, Material, Informations- und Kommunikationstechnik und IT-Systeme im Sinne des Unternehmenszwecks rechtzeitig und bedarfsgerecht zu planen und zu steuern, umfasst (Quelle: Wikipedia).



Im Freistaat Sachsen haben sich dreizehn der vierzehn sächsischen Hochschulen entschieden, gemeinsam ein so genanntes ERP-Verbundsystem zu schaffen und einzuführen. Im Rahmen eines europaweit durchgeführten Vergabeverfahrens des Sächsischen Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst (SMWK) erhielt letztlich die MACH AG Lübeck den Zuschlag für die Umsetzung des Projekts und wurde als Partner vertraglich gebunden. Ende 2016 unterzeichneten die projektbeteiligten Hochschulen einen Kooperationsvertrag zur Einrichtung eines ERP-Kompetenzzentrums Sächsischer Hochschulen (KSH). Nach einem durchgeführten Wettbewerbsverfahren wurde die gemeinsame zentrale Einrichtung letztlich an der TU Bergakademie Freiberg angesiedelt. Zum Direktor des KSH bestellte die Generalversammlung Herrn Karsten Flade, der bis dahin als ERP-Projektleiter der TU Bergakademie Freiberg fungierte. Seine bisherige Rolle wird seit dem 1. Mai 2018 von Frau Annett Preße an der Bergakademie fortgeführt. Sie koordiniert die zum 1. Januar 2019 avisierte Produktivsetzung des ERP-Systems an der Freiburger Hochschule. Damit wären die Bergstädter Pilot und Vorreiter im Freistaat. Die anderen zwölf Hochschulen sollen dann später folgen. Es ist geplant, dass sich zum 1. Januar 2020 der Bereich Personal der Produktivsetzung anschließt.

Das KSH kümmert sich um die reibungsfreie Betriebsführung und Fortentwicklung der ERP-Software. Daraus ergeben sich Tätigkeitsfelder wie ein am ITIL-Standard ausgerichteter IT-Service (Support, Störungsbeseitigung, Fehlerbehebung, Veränderungssteuerung), die Individualisierung und Fortentwicklung der Software, die Beratung und Schulung sowie eine professionelle IT-Dokumentation. Damit fungiert das KSH in der sächsischen Hochschullandschaft wie ein klassischer IT-Dienstleister neben den Universitätsrechenzentren. Aktuell baut der Direktor seine Einrichtung gemeinsam mit fünf Mitarbeitern auf. Weitere IT-Experten sollen das Team in den nächsten Monaten verstärken. „Die Etablierung eines IT-Betriebes – sozusagen auf der grünen Wiese – ist wahnsinnig spannend, arbeitsreich und herausfordernd. Dennoch blicken wir mit Zuversicht in die Zukunft und wollen den Hochschulen professionelle IT-Dienste und ein funktionsfähiges ERP-Verbundreferenzsystem anbieten.“, so Flade.

100 Jahre Forschungs- und Lehrbergwerk – Entdecker unter Tage

2019 feiert das „Forschungs- und Lehrbergwerk“ der TU Bergakademie Freiberg sein 100-jähriges Bestehen. Es betreibt und unterhält heute die Schachtanlagen „Reiche Zeche“ und „Alte Elisabeth“. Sie gehören zum Kern der ehemaligen für ihren Silberreichtum so berühmten „Himmelfahrt Fundgrube“ – hier schlägt gewissermaßen das Herz des jahrhundertalten Montanstandorts Freiberg. Als der sächsische Landtag 1903 die Schließung der Freiburger Gruben beschloss, war dies ein herber Einschnitt in das Wirtschaftsgefüge, aber auch das Selbstverständnis des traditionsreichen Montanzentrums Freiberg. 1916 erfolgte die Übernahme und 1919 die Eröffnung der „Reichen Zeche“ und der „Alten Elisabeth“ als Lehr- und Versuchsgrube durch die Bergakademie.

Das Bergwerk stellt heute mit mehr als 30 untertägigen Versuchslaboratorien eine Lehr- und Forschungseinrichtung dar, die innerhalb der Hochschullandschaft deutschland- und europaweit einzigartig ist. Es wird von Partnern – Forschungseinrichtungen und Unternehmen – aus ganz Europa für teils spektakuläre Forschungsvorhaben genutzt. So befindet sich untertage die größte zivil genutzte Sprengkammer weltweit. Unter dem Label „Silberbergwerk“ steht das Bergwerk gleichwohl auch Touristen offen. War der touristische Betrieb jedoch anfangs nur ein Nebenprodukt, so wurde er mit der politischen „Wende“ und der Gründung eines Fördervereins professionalisiert. Heute forschen Wissenschaftler untertage an zukunftsweisenden Themen und es werden Studenten aus der ganzen Welt ausgebildet, während zeitgleich Touristen die Spuren der Altvorderen wie auch die neuesten Forschungseinrichtungen erkunden können.

Anlässlich des 100. „Geburtstags“ als Forschungs- und Lehrbergwerk wird im Mai 2019 in Kooperation mit dem Mitteldeutschen Verlag ein Sammelband erscheinen. Verschiedene Autoren und Kenner beschreiben darin die wechselvolle und spannende Geschichte der Einrichtung, die sich über drei historische Etappen und Gesellschaftssysteme erstreckt und mit zahlreichen Namen und Persönlichkeiten verbunden ist.

Das Grubenrettungswesen an der TU Bergakademie Freiberg

Helmut Mischo, Stefan Pöttsch

Sowohl die gesamtgesellschaftliche als auch die technische und technologische Entwicklung in den vergangenen Jahrzehnten bedingte eine erhebliche Restrukturierung der deutschen Rohstofflandschaft und damit auch des untertägigen Bergbaus in Deutschland. Eine Vielzahl der großen Schachtanlagen mit Tausenden von Beschäftigten (SDAG Wismut, Kombinat Kali, Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“ Freiberg, aber auch aktuell die letzten Bergwerke der RAG) schlossen und wurden in Sanierungsbetriebe umgewandelt. Nur eine begrenzte Anzahl an Großbetrieben, insbesondere der Kali- und Salzgewinnung, sowie eine Vielzahl kleinerer Betriebe konnten sich am Markt behaupten und blieben erhalten. Dennoch ist Deutschland, und hier insbesondere das sächsische Erzgebirge, weiterhin vom Bergbau geprägt. Dies kommt nicht nur im aktuellen 4. Bergeschrey mit seinen vielfältigen Bergbauprojekten zum Ausdruck, sondern auch in der Vielzahl der, oftmals ehrenamtlich geführten, Besucherbergwerke im und um das Erzgebirge, die ein lebendiger Ausdruck der 850-jährigen Bergbautradition in Sachsen (erste Silberfunde in Freiberg um 1168) sind.

Der untertägige Bergbau der 1990er- und 2000er-Jahre in Mitteldeutschland war geprägt durch die Sanierungstätigkeiten der nunmehrigen Wismut GmbH an den ehemaligen Standorten des Uranerzbergbaus und der GVV mbH (heute LMBV mbH) an den ehemaligen Standorten des Kali-, Spat- und sonstigen Erzbergbaus. Daneben existiert eine Reihe von Bergsicherungsbetrieben, die maßgeblich an der Sanierung von Altbergbauprojekten ohne Rechtsnachfolge beteiligt sind. Neu hinzugekommen sind in den vergangenen Jahren mehrere Bergwerke bzw. Bergwerksprojekte auf Industriemineralen, Erze und Spate.

Die Nachfolgebetriebe der großen Bergbauunternehmen verfügten in der Vergangenheit über ausreichend Personal und Kapazität, um mannstarke Grubenwehren aufzustellen, die im Rahmen von Hilfeleistungsverträgen benachbarte Kleinbetriebe und Besucherbergwerke absicherten. Seit Beginn der 2010er-Jahre machten jedoch

folgende Faktoren eine Restrukturierung des Grubenrettungswesens in Sachsen und darüber hinaus in ganz Mitteldeutschland notwendig:

- Der anhaltende Sanierungserfolg führt naturgemäß zu einer Verkleinerung der Größe bzw. Anzahl jener Sanierungsbetriebe, die bislang die Hauptlast im Grubenrettungswesen trugen.
- Wiederaufnahme des Bergbaus im Erzgebirge auf High-Tech-Rohstoffe durch leistungsfähige, moderne Grubenbetriebe mit relativ geringer Belegschaftsstärke, die daher nicht über die Kapazitäten für eigene Grubenwehren verfügen.
- Anhaltend starker Tourismus in den vielfältigen Besucherbergwerken, mit einem entsprechenden Bedarf an Hilfeleistungsverträgen.
- Ausbau des Forschungs- und Lehrbergwerks der TU Bergakademie Freiberg zu einem europäischen Dienstleister für Forschung und Lehre in den Bereichen Geoingenieurwesen, Geo-, Material- und Naturwissenschaften.

Zur Gewährleistung der untertägigen Sicherheit auf der Basis bergbehördlicher Vorgaben in Sanierungsbetrieben, bestehenden und neuen Gewinnungsbetrieben, Forschungseinrichtungen und touristischen Einrichtungen wurde daher im Jahr 2013 unter Leitung der Wismut GmbH ein Grubenwehrverbund gebildet. Dieser ist ein Zusammenschluss aus:

- der Wismut GmbH mit den Grubenrettungsstellen in Aue/Hartenstein und Königstein,
- den Gewinnungsbetrieben Erzgebirgische Fluss- und Schwerspatwerke GmbH und GEOMIN-Erzgebirgische Kalkwerke GmbH mit insgesamt drei untertägigen Gewinnungsbetrieben,
- dem Bergsicherungsbetrieb BsS Bergsicherung Sachsen GmbH mit einer Vielzahl untertägiger Baustellen im Sanierungs- und Altbergbau,
- der TU Bergakademie Freiberg mit dem Forschungs- und Lehrbergwerk (Vollmitglied seit 2017).

Alle fünf Mitgliedsunternehmen agieren im Rahmen des Verbunds gemeinschaftlich auf dem Feld des Grubenrettungswesens. Dazu stellen alle Mitglieder

Personal für eine landesweit einsatzfähige Grubenwehrstruktur. Gemeinsame Übungen auf den verschiedenen Standorten der einzelnen Betriebe untersetzen diese Ausbildung. Die Hauptstandorte des Verbunds befinden sich in Aue und Königstein, beides Niederlassungen der Wismut GmbH, die auch die Koordination der Ausbildung innehat. Auf dem Forschungs- und Lehrbergwerk wurde schrittweise, und auch mit umfänglicher Unterstützung durch die Industrie, in den vergangenen fünf Jahren eine eigene Grubenwehrmannschaft aufgebaut, die vom Grubenbetriebsleiter DI Frank Reuter als Oberführer geführt wird und inzwischen auf einen Personalbestand angewachsen ist, der es erlaubt, den Verpflichtungen des FLB im Verbund vollumfänglich nachzukommen. Hierzu wurden nicht nur Mitarbeiter verschiedener Institute und Einrichtungen der Bergakademie und des Fördervereins Himmelfahrt Fundgrube zu Grubenwehrleuten ausgebildet, sondern – und dies erstmalig in Sachsen – im Rahmen einer Kooperation zwischen der Stadt Freiberg und der Bergakademie, auch hauptamtliche Kräfte der Freiburger Feuerwehr.

Die Professur für Rohstoffabbau und Spezialverfahren unter Tage der TU Bergakademie Freiberg unterstützte in den vergangenen Jahren diesen Restrukturierungsprozess des Grubenrettungswesens in Mitteldeutschland in vielfältiger Weise. So wurden umfassende Untersuchungen zur Struktur, Logistik und Alarmierung für Grubenwehren in Sachsen durchgeführt. Dies umfasst beispielsweise Untersuchungen zu optimierten Alarmierungs- und Anmarschszenarien und – damit verbunden – einer möglichen alternativen Standortplanung für zukünftige Rettungsstellen, den potenziellen Einsatz von Helikoptern im Einsatzfall zur Heranführung von Rettungskräften oder auch neue Ansätze zur Ausrüstung und Ausbildung der Einsatzkräfte zur erweiterten medizinischen Erstversorgung und Stabilisierung von Verletzten unter Tage. Weiterhin wird ein enger Kontakt und Austausch mit ausländischen Partnern, wie etwa zum österreichischen Grubenrettungswesen, das bereits landesweit zentral organisiert ist, gepflegt. Diese Kooperationen beinhalten auch Partner in anderen europäischen Ländern und den USA, die im Einsatzfall teilweise andere Herangehensweisen haben, aber



Grubenwehrwettkampf Edgar Mine Colorado im Februar 2017



Grubenwehübung im Oktober 2017

Foto: Jürgen Weyer (2)

auch über eine andere Ausrüstung verfügen. Darüber hinaus werden in Zusammenarbeit mit den Hauptstellen der BGRCI und dem sächsischen Grubenwehrverbund Einsatzleiterschulungen durchgeführt und durch das Forschungs- und Lehrbergwerk Übungen mit anderen Grubenwehren aus ganz Deutschland organisiert, um einen weiterführenden Erfahrungsaustausch zu gewährleisten.

Um nicht nur den laufenden, sondern auch möglichen zukünftigen Bergbauprojekten kleiner und mittlerer Größe die mit den Grundlagen des Grubenrettungswesens vertrauten Ingenieure bereitstellen zu können, hat die Professur für Rohstoffabbau und Spezialverfahren unter Tage das erste von der BGRCI anerkannte, studentische Ausbildungsprogramm im Grubenrettungswesen in Europa etabliert. Zukünftige Ingenieure erhalten eine Ausbildung im Krisenmanagement und

Grubenrettungswesen, sodass sie nach Abschluss ihres Studiums direkt den Grubenwehren der Bergbaubetriebe als Wehrmänner beitreten können. Weiterhin werden in diesem zweisemestrigen Kursprogramm erweiterte Kenntnisse und Fähigkeiten auf dem Gebiet der Krisenvorsorge und des Krisenmanagements vermittelt, um die Teilnehmer auf die Übernahme von Führungsaufgaben im Ereignisfall vorzubereiten. Die studentische Ausbildung, die allen interessierten Studenten der Bergakademie offensteht, erfährt dabei ebenso wie das Grubenrettungswesen an der Bergakademie im Allgemeinen eine weitgefächerte Unterstützung sowohl durch die Unternehmen der Rohstoffindustrie (namentlich Wismut GmbH, K+S AG, Dräger GmbH, MSA-Auer AG, Deilmann Haniel und RAG) als auch durch die BGRCI. Die Teilnehmer dieses Kurses konnten ihren Leistungsstand

bereits mehrfach auf gemeinsamen Übungen sowohl mit den professionellen Grubenwehrteams der Industriepartner, als auch bei internationalen Wettkämpfen unter Beweis stellen. Zur kontinuierlichen Übung und Vertiefung des erlernten Wissens hat sich aus der Studentenschaft heraus die Studentische AG Grubenwehr gebildet, in der sich interessierte Studenten engagieren und regelmäßig über und unter Tage üben.

Auf Basis dieses studentischen Ausbildungsprogramms konnte im Jahr 2017, zusammen mit der Montanuniversität Leoben, der Universität Zagreb und dem Trinity College Dublin das gemeinsame Ausbildungsprojekt MINERS im Rahmen des EIT Raw Materials gestartet werden, das im Rahmen einer European Mine Rescue School die Erarbeitung und Bereitstellung der Lehrinhalte für andere europäische Bergbauuniversitäten zum Ziel hat.



Teilnehmer der gemeinsamen Grubenwehübung im Oktober 2017

Foto: Jürgen Weyer

EIT RawMaterials – Regional Center Freiberg

Die europäische Schwester des MIT bietet innovative Weiterbildung in Freiberg

Willem Zank

Das Massachusetts Institute of Technology – oder kurz: MIT – ist heutzutage nahezu synonym für Forschergeist, Innovationen und den Aufbruch ins digitale Zeitalter. Das MIT wurde nach dem Vorbild deutsch- und französischsprachiger polytechnischer Hochschulen gegründet, doch 2009 war es an der Zeit, dass Europa auf die andere Seite des großen Teichs schaute, um sich von dort inspirieren zu lassen.

Um den Unternehmergeist sowie neue Ideen zu fördern und auf diese Weise Europas Innovationsfähigkeit zu stärken, gründete die EU nach dem Vorbild aus Massachusetts das Europäische Innovations- und Technologieinstitut (EIT) als eine unabhängige Einrichtung. Im EIT sollen die leistungsfähigsten Universitäten und Forschungszentren eng mit der europäischen Industrie zusammenarbeiten und dafür sorgen, dass gute Ideen aus der Forschung schnell in die industrielle Anwendung gelangen.

Das EIT organisiert sich in Verbänden mit verschiedenen thematischen Schwerpunkten, wobei der Verbund „EIT RawMaterials“ das weltweit größte Konsortium im Bereich Rohstoffe darstellt. Es setzt sich aus über 100 Partnern aus Industrie, Forschung und Lehre aus 22 EU-Mitgliedsstaaten zusammen. Das EIT RawMaterials überträgt die Ziele des EIT auf die europäische Rohstoffbranche und arbeitet daran, die Wettbewerbsfähigkeit, das Wachstum und die Attraktivität der Rohstoffindustrie in Europa durch technologische Innovationen sowie Bildung zu stärken.

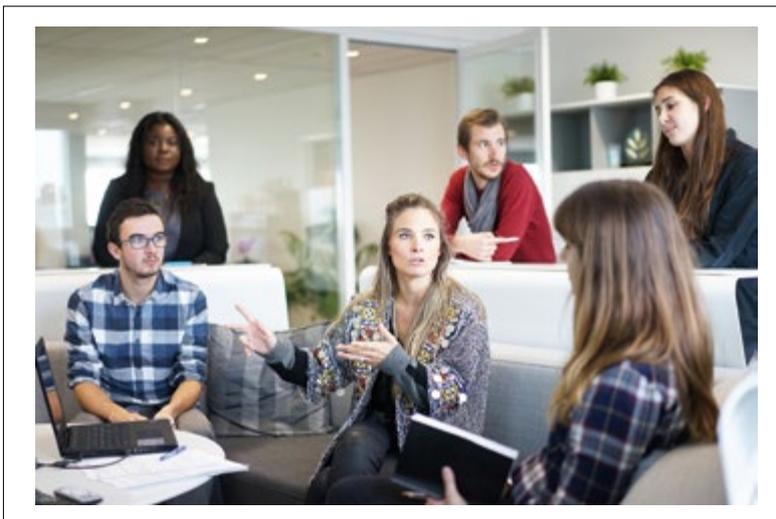
Wenn es um Rohstoffe und Ressourcen geht, ist man hier in Freiberg wegweisenden Ideen gegenüber stets zugewandt – und so kam es im Oktober 2016 dazu, dass die TU Bergakademie Freiberg und das Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR) das EIT RawMaterials – Regional Center Freiberg gründeten. Das lokale Projektbüro berät Forschungseinrichtungen, regionale Wirtschaftsverbände und Wirtschaftsunternehmen bei der Konzipierung technologieorientierter Forschungsprojekte, unterstützt ihre regionale und internationale Vernetzung und fördert die Aus- und Weiterbildung europäischer Fach- und Führungskräfte im Ressourcensektor.

Aktuell werden über das EIT RawMaterials – Regional Center Freiberg mehrere europäische Weiterbildungsprojekte betreut. Mit verschiedenen, fachlich spezifischen Intensivkursen soll der Transfer vom aktuellen Wissensstand der Forschung in die Industrie vereinfacht und beschleunigt werden. Akteure im Ressourcensektor haben so die Chance, sich in ihrem Fachbereich die neuesten Erkenntnisse und zukunftsweisenden Theorien anzueignen. Die laufenden Weiterbildungsprogramme vermitteln Wissen, das über den aktuellen Stand der Fachliteratur hinausgeht oder fokussieren sich auf die östlichen Länder der EU, um positive wirtschaftliche Entwicklungen zu flankieren.

Es ist erstrebenswert dafür zu sorgen, dass bessere Lösungen und effektivere Prozesse nicht erst mit der nächsten Generation von Hochschulabsolventen in die Industrie gelangen, sondern in den Unternehmen lebenslanges Lernen integraler Bestandteil von andauernden Verbesserungsprozessen wird. Daher ist es wichtig, dass sich alle Seiten aufgefordert fühlen, am Gelingen solcher einzigartiger Weiterbildungsprojekte mitzuarbeiten. Wenn die Fachexperten aus Universitäten und Forschungseinrichtungen ihre aktuellen Themen auch der Industrie effektiv zur Verfügung stellen wollen, können sie sich mit ihren Kursideen an das Regional Center Freiberg wenden und werden dort bei der Organisation und Durchführung des Ideentransfers tatkräftig unterstützt. Darüber hinaus sind umgekehrt auch die Rohstoffunternehmen aufgefordert, dem

Regional Center Freiberg mitzuteilen, in welchen Bereichen der Forschung und Entwicklung weitere Kursthemen für die Industrie von Nutzen wären. Auf den Internetseiten des Regional Centers Freibergs finden sich sowohl Kontaktmöglichkeiten als auch Möglichkeiten, Kursthemen einzureichen oder anzufordern.

Es besteht so die seltene Chance, wirklich bedarfsorientierte Verbesserungen schnell und unkompliziert zu verwirklichen und den Austausch und Übergang zwischen Forschung und Anwendung für alle Seiten gewinnbringend zu intensivieren. Sollten Sie sich angesprochen fühlen, weil Sie selbst Fachexperte sind oder jemanden kennen, der unbedingt sein Wissen teilen sollte oder weil Sie selbst Schulungsbedarf in Ihrem Unternehmen der Rohstoffindustrie identifizieren, dann treten Sie gern mit uns in Kontakt.



Es besteht so die seltene Chance, wirklich bedarfsorientierte Verbesserungen schnell und unkompliziert zu verwirklichen und den Austausch und Übergang zwischen Forschung und Anwendung für alle Seiten gewinnbringend zu intensivieren. Sollten Sie sich angesprochen fühlen, weil Sie selbst Fachexperte sind oder jemanden kennen, der unbedingt sein Wissen teilen sollte oder weil Sie selbst Schulungsbedarf in Ihrem Unternehmen der Rohstoffindustrie identifizieren, dann treten Sie gern mit uns in Kontakt.



Kontakt: EIT RawMaterials – Regional Center Freiberg

Prüferstraße 1A

09599 Freiberg

Telefon +49 (0)3731 39-2229

rawmaterials@eit.tu-freiberg.de

Mitlaufgelegenheit Freiberg – Laufen verbindet – Eine Erfolgsgeschichte

Seit dem Winter 2015/16 laufen wir, die Laufgruppe „Mitlaufgelegenheit Freiberg“, in einer immer größer werdenden Gruppe mit Kindern, Frauen und Männern unsere Runden in und um Freiberg: alle Altersklassen, alle sozialen Schichten, Studenten, Schüler und Rentner, Einheimische und zugezogene Lauffreunde, aus Sachsen, Deutschland und der ganzen Welt (26 Länder Stand Juni 2018).

Es gibt keine Vereinsstruktur, keine Aufnahmekriterien, kein Muss und keine Broschüre mit 100 Verhaltensregeln. Mit drei einfachen Grundsätzen ist bei uns alles geklärt: Laufen bei jedem Wetter, gegenseitiger Respekt und Toleranz, der Langsamste bestimmt das Tempo. Damit ist alles gesagt, und es funktioniert.

Wir kommen beim Laufen ins Gespräch und lernen uns kennen. Die einen reden über Kochrezepte und die News der Woche, andere über Atomphysik, Religionen und den Dalai Lama. Wir „müssen“ als Deutsche Akkusativ und Präpositionen erklären, wir lernen andere Kulturen,

Sprachen und Bräuche kennen, und wir versuchen Hintergründe zu verstehen und zu erklären. Wir lachen viel, helfen uns gegenseitig, feiern zusammen und genießen fremde Kochkünste. In der Gruppe sind echte, neue Freundschaften gewachsen, und Woche für Woche neue Mitläufer zeigen: wir sind auf dem richtigen Weg: Offen sein für Begegnungen mit anderen, Vielfältigkeit als Chance für neue Möglichkeiten entdecken, respektvoller Umgang miteinander, die Stimme erheben, wenn Menschen diskriminiert und ausgeschlossen werden, weniger Egoismus – mehr mit offenen Augen durchs Leben gehen, ohne ständig zu bewerten, Besonnenheit statt Populismus. Einfach machen.

Der Halbmarathon in Berlin ist dafür ein schönes Beispiel: Gemeinsame Vorfreude und Planung, gleiche Kosten für alle, gemeinsame Anreise mit der Bahn und die Unterkunft in der Jugendherberge. Einige laufen in Gruppen und genießen Strecke und Stimmung, andere streben nach neuen Bestzeiten, wieder andere

begleiten etwas langsamere Läufer und freuen sich gemeinsam über das Ankommen und Glücksgefühl beim Zieleinlauf. Gegenseitige Hilfe im Ziel bei der Suche nach Mitläufern, Verpflegung, Getränken oder der Toilette, am Ende ein gemeinsames Picknick, der Austausch von Erlebnissen auf den 21 km und die Rückfahrt nach Freiberg. So läuft das bei uns.

Stefan Benkert, Cornelia Skovgaard-Sörensen



Foto: Emilia Benkert

Die Laufgruppe beim Landkreislaf 2018 in Cämmerswalde

Die AG Sammlungen an der TU Bergakademie Freiberg und das Ausstellungsprojekt „Edle Motive – Universitätssammlungen im Silberschein“

Andreas Benz

Die Arbeitsgruppe Sammlungen an der TU Bergakademie Freiberg setzt sich aus Vertretern der mehr als 30 wissenschaftlichen Sammlungen der Universität zusammen. Sie entstand aus einem losen Netzwerk sammlungsaffiner Kolleginnen und Kollegen und entwickelte sich im Zuge der Verabschiedung der Sammlungsordnung zu einer festen Institution.

Mit der Ordnung vom 4. Juni 2014 wurden die in einem Anhang namentlich aufgeführten Sammlungen zu Schutzobjekten erklärt, zu deren Erhalt sich die Universität verbindlich bekennt. In acht Paragraphen werden unter anderem die Funktion der Sammlungsleiter geregelt und die neugeschaffene Position des Sammlungsbeauftragten der Universität erläutert. Das interdisziplinäre Netzwerk „AG Sammlungen“ blieb nach Verabschiedung der Sammlungsordnung nicht nur bestehen, sondern intensivierte seine Zusammenarbeit. Bei zwei bis drei Treffen pro Semester werden aktuelle Entwicklungen und Probleme beraten und gemeinsame Projekte geplant, an denen Interessierte dann individuell mitwirken.

In den gut fünf Jahren ihres Bestehens kann die AG auf eine Reihe von Aktivitäten zurückblicken. So entstand im Jahr 2015 unter Beteiligung von neun Einzelsammlungen ein gemeinsamer Antrag für das



BMBF-Projekt „Allianz für universitäre Sammlungen“. Zuvor wurde bereits im Zuge des 250-jährigen Universitätsjubiläums der Bildband „Bergakademische Schätze“ mit Beiträgen aus 21 Einzelsammlungen veröffentlicht.

Im vergangenen Jahr fand eine Statuserhebung auf der Grundlage eines Fragebogens statt, so dass nun ein systematisches Verzeichnis aller offiziellen Sammlungen vorliegt. Ebenfalls wurde die

Internetpräsenz der Sammlungen auf den Web-Seiten der Bergakademie Freiberg aktualisiert und nach zuvor in der Runde besprochenen Kriterien vereinheitlicht.

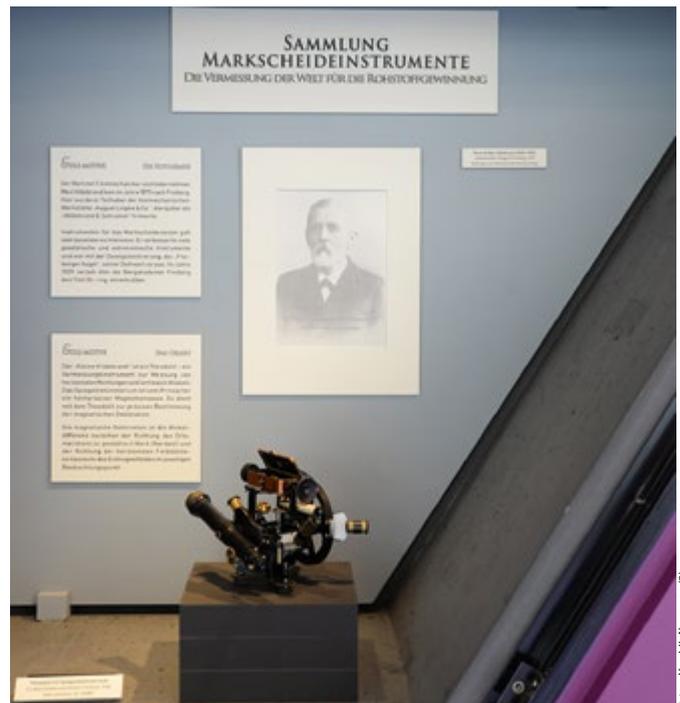
Derzeit bemüht sich eine Untergruppe der AG um die Einführung einer Datenbank für die Fotobestände der Universität. Zudem erarbeitete man gemeinsam einen Notfallplan für den 2017 gegründeten Freiburger Notfallverbund.

Fest etabliert hat sich die Ringvorlesung „Die Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg“. Im Rahmen des Studium Generale bietet sie allen Interessierten innerhalb und außerhalb der Universität die Gelegenheit, die verschiedenen Sammlungen kennenzulernen. In den Beiträgen geht es um die Nutzung der Sammlungsbestände sowohl für die heutige Lehre als auch als historische Quellen für die Forschung.

Im Zentrum der diesjährigen AG-Arbeit stand das Ausstellungsprojekt „Edle Motive – Universitätssammlungen im Silberschein“. Die vierzehnteilige Vitrienschau ist seit dem 12. September im Eingangsbereich von Schloss Freudenstein zu sehen und vermittelt ein eindrucksvolles Bild von den vielfältigen Sammlungen der Bergakademie anhand ausgewählter Objekte und Fotografien.



Vitrine Sammlung Silikathüttenwesen



Vitrine Sammlung Markscheideinstrumente

Fotos: Hendrik Naumann (2)

Die rege Beteiligung an diesem Projekt machte es möglich, sowohl in thematischer und funktionaler wie auch in ästhetischer Hinsicht einen repräsentativen Querschnitt durch die dezentral untergebrachten Freiburger Sammlungen zu zeigen. So sind neben bedeutenden geowissenschaftlichen Beständen (Mineralogische, Paläontologische und Lagerstätten-Sammlung) und Proben-sammlungen (Eisen- und Nichteisenmetallurgie, Technische Chemie) diverse Geräte- und Instrumentensammlungen (Physik, Markscheidewesen) wie auch Lehrmodelle (Mathematik, Silikathüttenwesen), kulturhistorische Kollektionen (Kunstgussplatten, Gastgeschenke, Universitätsgeschichte) und die Bergbau-sammlung vertreten.

Nach dem Grundsatz „Eine Vitrine – eine Sammlung“ wählten die Vertreter einzelne Sammlungsstücke und dazu passende Bildmotive aus. Letztere zeigen zum Beispiel ein Detail, ein weiteres Objekt der Sammlung oder Personen bzw. Orte, die in Beziehung zum Exponat oder zur jeweiligen Einzelsammlung stehen. So entstand eine bunte Mischung mit einer Reihe spannender, bislang weitgehend unbekannter Objektgeschichten.

Die Fotografien stellen dabei den Bezug zum städtischen Jahresthema „Silber“



Foto: Alexander Begnier

Beim Ausstellungsaufbau

her, da es sich bei ihnen zum Teil um Drucke auf Silberbasis handelt. Diese wurden als Kalotypien, einer Frühform der Fotografie, angefertigt. Da im Zuge ihres Herstellungsprozesses verschiedene Edeldruckverfahren zum Einsatz kamen, ist vorgesehen, die Objektbilder während der Ausstellungszeit auszutauschen.

An der Umsetzung der Ausstellung wirkten unter organisatorischer Leitung der Kustodie auch Studierende des

Masterstudiengangs Industriekultur mit. Im Rahmen einer Lehrveranstaltung am Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) im Sommersemester 2018 gestalteten sie eigenständig einen Teil der Vitrinen und beteiligten sich an der Herstellung der Edeldrucke.

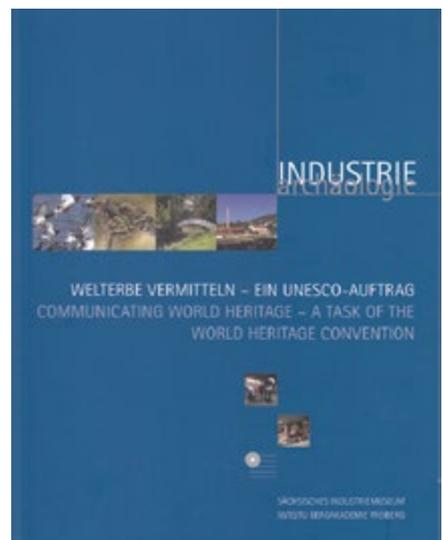
Am Tag der Deutschen Einheit boten die Paläontologische Sammlung und die Kustodie ein besonderes Rahmenprogramm für Kinder an. Anlässlich des bundesweiten Türöffner-Tags der „Sendung mit der Maus“ wurden anhand eines 3D-Ausdrucks des sich in der Ausstellung befindlichen Fossils Madygenerpeton Gipsabdrücke geformt, gefertigt und bemalt. Zusätzlich gab es einen Einblick in die Welt der historischen Fotografie. Die kleinen Forscher erfuhren, wie man früher Fotos machte und bekamen einfache Verfahren gezeigt. Abdrücke und Fotografien durften selbstverständlich mit nach Hause genommen werden.

Die Arbeitsgruppe Sammlungen an der TU Bergakademie Freiberg bedankt sich ganz herzlich beim Verein der Freunde und Förderer für die großzügige Unterstützung bei der Realisierung des Ausstellungsprojekts. Die „Edlen Motive“ können noch bis zum 10. Januar 2019 im Foyer von Schloss Freudenstein besichtigt werden.

Ein vergessenes Stück Geschichte? Von Sabine Ebert

Zum Jubiläumsjahr – 850 Jahre Silberfund und 800 Jahre urkundliche Ersterwähnung – verlieh mir Freiberg den Ehrentitel „Erste Freiburger Stadtschreiberin“. In diesem Ehrenamt gehören zwei Vorträge zu meinen Aufgaben, die im November auch in gedruckter Form als Essays erscheinen werden – limitiert auf tausend Stück und exklusiv in Freiberg erhältlich. Die Festrede beim feierlichen Akt am 11. Juni 2018 in der Nikolaikirche habe ich bereits gehalten. Nun freue ich mich darauf, am 19. November im Rahmen des Studium Generale ein Referat an der TU Bergakademie Freiberg halten zu dürfen. Das Thema: „Freiberg und die Bergakademie im Schicksalsjahr 1813. Vergessene Stadtgeschichte?“ In der Stadtchronik wird diese Zeit nur ganz knapp abgehandelt. Doch bei den Recherchen für meine Romane „1813 – Kriegsfeuer“ und „1815 – Blutfrieden“ über die Völkerschlacht und die Zeit bis Waterloo fand ich so viel Dramatisches über Freiberg, dass wesentliche Teile beider Bücher hier spielen. Es ist die Zeit großer Namen an der Bergakademie wie Werner und Lampadius. Studenten meldeten sich freiwillig zum Kampf gegen Napoleon wie Theodor Körner. Kaum bekannt: Ein Schwiegersohn Charpentiers trug entscheidend zum Sieg Blüchers in Waterloo bei. Die Brüder Carlowitz waren in Militär und Politik an herausragenden Stellen. Und der Buchdrucker und Verleger Friedrich Gerlach gab nicht nur Fachbücher von Wissenschaftlern der Bergakademie heraus, sondern auch die „Freiburger gemeinnützigen Nachrichten für das Königlich-Sächsische Erzgebirge“. Im Wissenschaftlichen Altbestand der TU Bergakademie fand sich zu meiner großen Freude der komplette Jahrgang 1813, und was uns der unter französischer und sächsischer Zensur stehende Gerlach zwischen den Zeilen mitteilt, ist äußerst interessant. Es waren dramatische Zeiten auch für Freiberg, mit häufigem Wechsel der Besitzer, Einquartierung von Militärs, Gefechten nahe der Stadt und tausenden Verwundeten und Typhuskranken, für die viele Gebäude zu Lazaretten deklariert wurden ... Eine Unmenge von kaum bekannten, oft erschütternden Details, die ich bei den Recherchen fand und in meinen Romanen schildere. Am 19. November werde ich sie in komprimierter Form im Studium Generale vorstellen.

Neuerscheinung 2018



In der gemeinsam vom Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) und dem Zweckverband Sächsisches Industriemuseum herausgegebenen Reihe „INDUSTRIEarchäologie“ erschien 2018 als Band 19 ein Buch zum Thema „Welterbe vermitteln“. Der Band kann kostenlos beim IWTG bezogen werden.

Humboldtjahr 2019

Am 14. September 2019 jährt sich der Geburtstag von Friedrich Alexander von Humboldt zum 250. Mal. Der „Wissenschaftler, Weltbürger und Revolutionär“ (Otto Krätz) empfing wesentliche Impulse für Leben und Werk in seiner Studienzeit an der Bergakademie Freiberg. In diesen etwa acht Monaten, vom 14. Juni 1791 bis zum 26. Februar 1792, widmete er sich in umfassender Weise den Natur- und Montanwissenschaften. Der Ertrag seiner Studien ergab sich unter anderem in Schriften zu den „Unterirdischen Gasarten ...“ und zu dem aus Farnen, Moosen und Pilzen gebildeten Freiburger Leben untertage. Die spätere fachliche Zusammenarbeit bestand beispielsweise in einem Gutachten zu Sinn und Notwendigkeit des Rothschnöberger Stollns und in der Ausführung der von ihm initiierten geophysikalischen Messungen zum Erdmagnetismus.

Alexander von Humboldt ist bis heute der bedeutendste Absolvent der Bergakademie Freiberg. Das Jahr 2019 wird daher einen umfangreichen Reigen an Veranstaltungen sehen, die an Humboldts Leistungen wie an sein Erbe erinnern und diese für die weitere Entwicklung der TU Bergakademie Freiberg fruchtbar machen.

Veranstaltungen zum Humboldtjahr

- 28. Januar bis 1. April 2019
Glasarche
Schloßplatz Freiberg
- 29. März 2019
Verabschiedung der Glasarche
Schloßplatz Freiberg
- April bis Juli 2019
Ausstellung „Florae Fribergensis specimen“
Universitätsbibliothek Freiberg
- 8. Mai 2019
Krüger-Kolloquium mit Prof. Ottmar Ette (Uni Potsdam)
TU Bergakademie Freiberg, Alte Mensa, Peterstraße
- 14. Juni 2019
Festveranstaltung anlässlich des Studienbeginns (14.6.1791) vor 228 Jahren
TU Bergakademie Freiberg, Alte Mensa, Peterstraße
- 14. September 2019
Bergparade „Auf Humboldts Spuren“
Universitätsstadt Freiberg
- 14. September 2016
Konzert mit dem Ensemble „Seconda Pratica“
Nikolaikirche Freiberg

IÖZ-Ringvorlesung zum Humboldtjahr

- 20. Mai 2019
Daniel Kehlmann und der erfundene Humboldt
Dr. Frank Holl, Münchner Wissenschaftstage e. V.
- 3. Juni 2019
Mein zweites Vaterland – Alexander von Humboldt und Frankreich
Dr. Daniel Blankenstein
- 17. Juni 2019
Werner – Humboldt – Schottland
Dr. Hildegard Wiegel, TU Bergakademie Freiberg
- 1. Juli 2019
Werner – Goethe – Humboldt
Dr. Carmen Götz, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Mitarbeiterin im Akademievorhaben „Alexander von Humboldt auf Reisen – Wissenschaft aus der Bewegung“



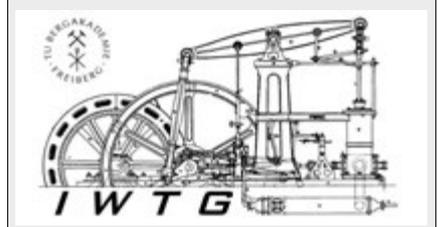
Freiberg vor, im und nach dem Nationalsozialismus

Mit zwei Ringvorlesungen zur Kulturgeschichte griff das Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte im Studium Generale 2017 und 2018 Themen von zeitgenössischer Aktualität auf: „Freiberg im Nationalsozialismus“ und „Freiberg und die Bergakademie von 1944 bis Anfang der 1970er Jahre“.

Zusammen mit dem Stadt- und Bergbaumuseum für die Vorlesung im Sommersemester 2017 und für beide Vorlesungen mit dem Freiburger Altertumsverein als Partner entstand die Möglichkeit, sich einen vertieften Einblick in ein historisches Forschungsfeld zu verschaffen, das noch lange vielversprechende Ansätze bereithalten wird. Vortragende etwa des Hannah-Arendt-Instituts für Totalitarismusforschung, aber auch der Stasi-Gedenkstätte in Hohenschönhausen, der Gedenkstätte PIRNA-Sonnenstein und des Bundesbeauftragten für die Unterlagen des Staatssicherheitsdienstes der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik rundeten das Vortragsangebot ab.

Wer einzelne Beiträge lesend nachvollziehen möchte, sei einstweilen auf das Jahrbuch des Freiburger Altertumsvereins und das Schriftenangebot der Sächsischen Landeszentrale für politische Bildung verwiesen.

■ Norman Pohl, IWTG



Aus dem Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2017

Begrüßung

Der Vorsitzende des VFF, Prof. Hans-Ferdinand Schramm, begrüßte die Teilnehmer. Im Gedenken an 15 verstorbene Vereinsmitglieder erhoben sich die Anwesenden zu einer Schweigeminute.

Die Versammlung wurde satzungsgemäß einberufen. Die Tagesordnung war fristgemäß bekannt gegeben worden; es gab keine Änderungswünsche.

Jahresbericht des Vorstands und der Geschäftsführung Mitgliederstand

Der Geschäftsführer des Vereins, Prof. Hans-Jürgen Kretzschmar, berichtete, dass der Verein gegenwärtig 1290 persönliche und 88 juristische Mitglieder hat. 2017 wurden 69 neue persönliche und zwei juristische Mitglieder aufgenommen; es gab in diesem Zeitraum 23 persönliche sowie 7 Austritte juristischer Mitglieder, 15 Mitglieder sind verstorben.

Finanzbericht

Die **Einnahmen** des Vereins lagen im Jahr 2016 bei 182.883,- € und in 2017 – mit Stand vom 20.11.2017 – bei 154.947,- €; der Plan sieht 161.250,- € für das Gesamtjahr vor. Die Einnahmen für Zweckprojekte betragen 222.863,- € im Jahr 2016 und für 2017 bis zum 20.11. des Jahres 182.883,- €.

Die **Ausgaben** für 2016 betragen 177.337,- €, 2017 belaufen sie sich derzeit auf 131.847,- € (Jahresplan 162.000,- €). Für Zweckprojekte wurden 2016 insgesamt 247.675,- € und bis zum 20.11.2017 224.668,- € ausgegeben. Der Etatentwurf für 2018 sieht Einnahmen und Ausgaben von je 162.000,- € vor. Es gibt zehn Förderkreise mit einem Finanzvolumen von insgesamt 365.000,- €. Für 66 Zweckprojekte in der Forschung, Bildung und Kultur wurden 184.000,- € bereitgestellt. Schwerpunkte der Fördertätigkeit waren Exkursionen, Stipendien, Tagungen und Kolloquien, Publikationen sowie Diplom- und Masterarbeiten.

Der Verein finanzierte die Vergabe von zwei Ooppel-Preisen an Frau Jessica Dittmann (Fakultät 6) und Frau Isabel Schulze (Fakultät 6) mit je 250,- €. Im Rahmen

des Barbara-Stipendienfonds wurden drei Laptops an studierende Migranten übergeben.

Weitere Aktivitäten

Aus Anlass des 200. Todestages von A. G. Werner wurde das Freiburger Werner-Denkmal gereinigt.

Im Rahmen des Werner-Jahres hat der Verein sich an der Aufstellung einer Edelstahl-Säule am Dresdner Annenfriedhof beteiligt. Eine vom Verein beauftragte Studie ist der Bestattung von Bergakademisten im Umfeld des Freiburger Doms gewidmet. Prof. Kretzschmar würdigte die Arbeit der Alumni-Beauftragten, Dr. Constance Bornkamp und Stefanie Preißler, insbesondere in Hinblick auf das Alumni-Treffen am 17. Juni 2017 und dankte Frau Meister in der Geschäftsstelle des Vereins. Ein besonderer Dank galt der langjährigen Arbeit von Prof. Roewer als Redakteur der ACAMONTA, der aus gesundheitlichen Gründen diese Funktion an Frau Wulkow übergibt. Der Geschäftsführer gab außerdem bekannt, dass das geschnitzte Modell „Historischer Gelehrtenzug“ unserer TU mit vier neuen Figuren nun vollständig ist. Ein Schwibbogen mit bergakademischen Motiven kann über den Uni-Shop bezogen werden.



Edelstahl-Steele mit Werner-Bild vor dem Werner-Denkmal auf dem Dresdner Annenfriedhof

Bericht des Rechnungsprüfers

Herr Knull berichtete, dass die Finanzprüfung für das Geschäftsjahr 2016 durch den Wirtschaftsprüfer im Oktober und November 2017 vorgenommen wurde. Die Kontrolle ergab keine Beanstandungen. Der Rechnungsprüfer empfahl die Entlastung des Vorstands.

Diskussion zum Jahresbericht, Entlastung des Vorstands, Beschluss des Etats 2018

Zum Jahresbericht des Vorstands und zum Etatentwurf für das kommende Jahr gab es keine Wortmeldungen. Dem Antrag auf Entlastung des Vorstands für das Geschäftsjahr 2016 wurde mit einer Stimmenthaltung und ohne Gegenstimme stattgegeben. Der Finanzplan für das Geschäftsjahr 2018 wurde einstimmig verabschiedet.

Auszeichnungen der Cotta-Preisträger

Prof. Brezinski gab die Preisträger des Jahres 2017 für die vom Verein gestifteten Bernhard-von-Cotta-Preise bekannt. Preise für ihre Dissertationen erhielten 2017 Dr.-Ing. **Jörg Fritzsche** (Grundlagen, Fakultät 4) und Dr. **Max Frenzel** (Anwendungen, Fakultät 3). Die Preise für Diplom- oder Masterarbeiten wurden an Dipl.-Ing. **Matthias Groll** (Anwendungen, Fakultät 5) und **Steffen Trümper**, M.Sc. (Grundlagen, Fakultät 3) vergeben. Die Preise im Gesamtwert von 6 T€ wurden von Prof. Brezinski und Prof. Roewer überreicht. Anschließend stellten drei Preisträger die Ergebnisse ihrer Arbeiten in kurzen Vorträgen vor. Prof. Brezinski skizzierte die Inhalte der Arbeit von Herrn Dr. Frenzel. Anlässlich des 50. Jahrestags ihrer Promotion überreichte Prof. Brezinski eine „Goldene Promotionsurkunde“ an die Vereinsmitglieder Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Michel, Prof. Dr.-Ing. habil. Ernst Schlegel, Dr.-Ing. Joachim Schmidt, Dr.-Ing. Manfred John, Doz. Dr. rer. oec. Eberhard Pönitz und Prof. Dr. rer. nat. habil. Dietrich Stoyan.

Bericht zur Günter-Heinisch-Stiftung

Prof. Brezinski informierte, dass das Stiftungsvermögen aktuell ca. 1,58 Mio. € beträgt. Jährlich konnten etwa 30.000 bis 40.000 € durch Kapitalanlagen erwirtschaftet werden. Vom Sammler Hans-Günter Penndorf wurde zum Preis von 50.000 € für die terra mineralia eine Silbererzstufe aus der Fundstelle „Weißer Hirsch“ in Schneeberg erworben, die in drei Jahrestanchen bezahlt wird.

Des Weiteren wurden die Geowissenschaftlichen Sammlungen unterstützt, wobei diese Projekte zur Hälfte von der Universität gegenfinanziert wurden.

Alumni-Arbeit im FAN

Die Alumni-Betreuung der Bergakademie-Absolventen geschieht im Auftrag der Universität durch zwei hochmotivierte Alumni-Beauftragte im VFF. Obwohl das

FAN (Freiberger Alumni Netzwerk) und der VFF organisatorisch selbstständige Institutionen sind, ergeben sich wegen der inhaltlichen Überschneidungen der zu erledigenden Aufgaben willkommene Synergieeffekte – dadurch, dass oft gemeinsame Veranstaltungen für Absolventen und Studierende der Bergakademie vorbereitet und durchgeführt werden. Das sind bspw. die studentischen Gesprächsabende, die jährliche Absolventenverabschiedung im November und die Verleihung der Silbernen und Goldenen Diplome.¹ Diese Zusammenarbeit FAN/VFF hat sich bewährt und sollte fortgesetzt werden. Die VFF-Geschäftsführung bedankt sich bei den beiden Alumni-Beauftragten, Frau Preißler und Frau Dr. Bornkampf, für ihr effizientes Wirken.

Bericht des Rektors zur Entwicklung der TU Bergakademie Freiberg

Der Rektor, Prof. Barbknecht, dankte dem Verein und seinem bisherigen Vorstand für die effektive Unterstützung unserer Universität. In seinem inhaltsreichen Bericht über aktuelle Entwicklungen und geplante Vorhaben an der Universität ging er insbesondere auf folgende Themen ein:

- Anzahl der Studierenden nach Fächergruppen und Herkunft,
- Preise/Stipendien für Studierende,
- Promotionen, Patente, Erfindungen,
- Entwicklung des Personals,
- Entwicklung der Drittmitteleinnahmen (4. Platz in Deutschland in der Kategorie Akquirierte Drittmittel pro Professor),
- Hochschulkooperationen und internationale Beziehungen,
- Spitzenforschung und Großprojekte (SFB 799 und SFB 920, SPP 2045),
- Europäisches Ressourcennetzwerk EIT-KIC RawMaterials,
- EU-Verbundforschung in 6 Projekten,
- Beteiligung an Exzellenzstrategie,
- Aufbau eines Freiberger Innovations- und Transferzentrums (FIT),
- Bewilligung von acht Tenure-Track-Professuren,
- Baumaßnahmen,
- Stiftungen an der Bergakademie,
- Einweihung des Chile-Hauses,
- Symposium A. G. Werner.

Der Vorsitzende des Vereins betonte die Wichtigkeit der Verzahnung von Aktivitäten der Universität mit denen von lokalen Unternehmen.

¹ Eine ausführliche Darstellung der FAN-Arbeit s. ACAMONTA 2018, S. 139.



Foto Eckardt Müllner

Auszeichnung der Cotta-Preisträger mit ihren Betreuern und Mitgliedern der Preisauswahlkommission. V.l.: Dr.-Ing. Jörg Fritzsche, Prof. Dr. Gerhard Roewer, Prof. Dr. Horst Brezinski, Prof. Dr. Jörg Schneider, Steffen Trümper, M.Sc., Prof. Dr. Olena Volkova, Dipl.-Ing. Matthias Groll, Prof. Dr. Gottfried Jäckel

Vor dem Ledersprung des Ehrenarschleders Geehrten Prof. Dr. Horst Brezinski



Foto Stefanie Preißler

Festvortrag „Leben im Extremen – Begeisterung Weltall“

Die Vortragende, Frau Dr. Thorid Zierold, studierte an der TU Bergakademie Freiberg Geoökologie und ist derzeit Kustodin am Museum für Naturkunde in Chemnitz. In ihrer Präsentation berichtete sie über ihre Arbeit als Wissenschaftlerin bei der Untersuchung von Lebewesen, die unter extremen Bedingungen existieren können und über ihre Kandidatur bei der Auswahl der ersten deutschen Astronautin.

Schlusswort

Der Vorstandsvorsitzende des Vereins dankte der Fest-Vortragenden und lud die VFF-Mitglieder zum Stadtrundgang und zur abendlichen Barbarafeier ein. Als Termin der nächsten Mitgliederversammlung wurde der 30.11.2018 festgelegt.

Abendliche Barbarafeier

Der Vorsitzende, Prof. H. F. Schramm, begrüßte die Vereinsmitglieder und ihre Begleitung im Festsaal der Alten Mensa zur Feier des Festes der Heiligen Barbara.

Die Verleihung des „Ehrenarschleders“ an Prof. Horst Brezinski durch den Vorsitzenden und die Berggeschworenen bildete den ersten Höhepunkt des Abends. Das sich anschließende Bühnenprogramm wurde vom A-capella-Chor VocaVox der TU Bergakademie Freiberg gestaltet.

Die musikalische Umrahmung übernahm die AG Big Band der TU Bergakademie. Der „Bergmannsschmaus“ wurde wie immer sehr gut angenommen.

Der Gesang des Steigerlieds rundete den Abend ab.

Hans-Jürgen Kretzschmar



Silbererzfundmodell 1168

850 Jahre Silberrausch in Freiberg in Seiffener Holzkunst gespiegelt

In diesem Jahr 2018 befindet sich die Stadt Freiberg – symbolisiert durch mehrere Feiern und Festakte – im „Silberrausch“, der Sage nach, dass vor 850 Jahren seit dem erstmaligen Silbererzfund im Jahr 1168 auf Christiansdorfer Flur rasant die Entwicklung zur freien Bergstadt einsetzte. Damit entwickelten sich aus dem nur durch böhmische Salzstraßen durchschnittenen Miriquidi mit hoher Geschwindigkeit Wirtschaft, Kultur und Wissenschaft im sächsischen Erzgebirge. Die herausragende Bedeutung der Berg- und Universitätsstadt Freiberg mit ihrem heutigen Montancharakter wäre ohne diese lange „Silbertradition“ wohl nicht vorhanden.

Eine jahrzehntelange Tradition im Berg- und Hüttenwesen pflegt auch die Holzkunstmanufaktur Werner in Seiffen, deren Inhaber und VFF-Vereinsmitglied Siegfried Werner den Silberrausch in diversen Holzkunstkreationen vergegenständlichte. Dabei gab es einen fruchtbaren Ideenaustausch mit der VFF-Geschäftsführung, der schon Jahre zuvor zur Schaffung des bekannten Freiburger

Gelahrtenzuges führte. Gleich drei neue Kreationen legte die Manufaktur Werner nun in diesem Silberrausch-Jahr vor:

- Modell des Silbererzfundes 1168 am Schüppchenberg
- Großer Freiburger Silberbogen – vom Erz zur Münze
- Freiburger Bergsänger vor der Orgel der Alten Elisabeth

Dankbar blickt der Förderverein VFF auf dieses großartige Schaffenswerk unseres Vereinsmitglieds und möchte diese drei Montankreationen kurz in Wort und Bild vorstellen.

Silbererzfundmodell 1168

Der genaue Silbererzfundort bleibt mangels schriftlicher Dokumentationen im Dunkeln. Die Freiburger folgen deshalb gern der Sage nach dem berühmten Georgius Agricola, der als Fundort des Silbererzes den Schüppchenberg zwischen Wasserturmstraße und Pfarrgasse benannt hat, wo der damals

wilde Münzbach den Hauptstollengang freigespült hat. Hallesche Salzfuhrleute sammelten Erzbrocken daraus auf und ließen sie in Goslar untersuchen. Dort erstaunte der hohe Silbergehalt im Erz. Mit großem Berggeschrei begann sofort der Bergbau, wurde oberhalb von Christiansdorf die Sächsstadt errichtet. Die beiden Orte gelten als Keimzelle Freibergs, dessen Altstadt sich in weniger als 20 Jahren herausbildete.

Das Modell des Silbererzfunds zeigt die zwei Ebenen des Ortes: Oben das fränkisch kolonisierte Christiansdorf, heutige Pfarrgasse, als Waldhufendorf mit dem heute noch erhaltenen Schulzenhaus bzw. Wächterhaus (links); unten die Salzfuhrleute an der Furt des Münzbachs, erklaubend am Ausbiss des Hauptstollengangs. Ihr Salzfuhrwerk steht auf dem beide Ebenen verbindenden Schüppchenberg.

Das Modell steht heute – für jeden zu besichtigen – im Foyer des Freiburger Rathauses. Ein Banner erklärt dazu die



Der Große Freiberger Silberbogen

Fundsage. Es wurde während der Auftaktfeier zum Silberrausch-Jahr im Freiberger Hammer dem Oberbürgermeister vom VFF übergeben. Seine Fertigung wurde nur möglich, weil die Vereinsmitglieder Prof. Dr. Klaus-Ewald Holst und Dr. Tilo Flade eine großzügige Spende überwiesen.

Im Modell sind auch 20 Tiere versteckt, die von Kindern aufzufinden sind, wenn diesen die Sage vom Silbererzfund noch nicht bekannt ist.

Großer Freiberger Silberbogen – vom Erz zur Münze

Es handelt sich um einen repräsentativen Bogen (Kantenlänge 110 cm), bestehend aus drei Bauteilen.

Der obere Bogen mit den Wappen Freibergs und Sachsens sowie den Montanwerkzeugen anstelle von Kerzen (also kein Schwibbogen) zeigt das Altstadtpanorama vom Freiberger Malerwinkel an der Halde des Hoffnungsschachts über dem Hauptstollengang aus betrachtet, wie es viele Maler, so auch Ludwig Richter, abbildeten. Die farbige Gestaltung der Altstadtgebäude zwischen Schloss und Alter Elisabeth symbolisiert Freibergs Glanz und Tüchtigkeit. Eine schaltbare

Tages- und Nachtbeleuchtung erzeugt diverse Farbtöne. Auf den Stufen zur Altstadt lassen sich als zweites Bauteil die „Montanmännlein“ frei aufstellen, also z. B. der Freiberger Gelehrtenzug und/oder die Berg- und Hüttenparade.

Im unteren Bauteil, dem Technologiekasten, ist der Prozess-Ablauf vom Erz zur Münze in fünf Arbeitsgängen zu sehen. Dem Erzabbau vor Ort folgt die Aufbereitung im Pochwerk und in der Wäsche. Das Erzkonzentrat gelangt zum Schmelzofen/Hochofen, von dort in den Treibeofen zur Abtrennung des Bleis vom Silber, das schließlich in der Münze zum Zahlungsmittel geschlagen wird und über Jahrhunderte das Silber für die Menschen war. Diese grundsätzliche Silbergewinnungstechnologie besteht seit der Antike in ähnlichen Technologieschritten weltweit, wie z. B. der altgriechische Silberbergbau in Laureon zeigt, dem die antiken Glanz-Altertümer Athens zu verdanken sind. Einzelne Stufen dieser Silbergewinnungstechnologie wurden nicht zuletzt durch Gelehrte der Bergakademie Freiberg maßgeblich verbessert.

Dieser Silberbogen repräsentiert eindrucksvoll Freibergs Bedeutung für die

Gewinnung und Verarbeitung von Silber. Die Idee für die Schaffung dieses Silberbogens ist auf Basis eines engen Gedankenaustauschs zwischen der Manufaktur Werner und dem Förderverein VFF entstanden.

Freiberger Bergsänger vor der Orgel in der Betstube der historischen Schachanlage Alte Elisabeth

Die Freiberger Bergsänger erfreuen uns schon seit über zehn Jahren mit ihrem weiten montanistischen Liederkreis, sind also auch ein Glanzpunkt Freibergs. Dieser glänzt auch zu den alljährlichen Barbarafeiern der Verbundnetz Gas AG Leipzig, einem bedeutenden Förderer der TU Bergakademie, in der Betstube der Alten Elisabeth. Der Ehrenvorsitzende des Fördervereins VFF und vormalige Vorstandsvorsitzender der VNG AG, Prof. Dr. Holst, regte die Manufaktur Werner an, dieses Ereignis holzkünstlerisch zu gestalten, sie so zu verewigen. Als ein schönes Ergebnis dieser Aktivitäten ist die Verbindung zwischen den Bergsängern und der Orgel Alte Elisabeth, in Erinnerung an die Orgelkonzerte auch auf CDs festgehalten.

Die einzelnen Bergsänger sind persönlich charakterisiert. Die Filigranheit der Orgel fasziniert, natürlich spielt sie das Steigerlied. In dieser Darstellung erfreut dieses Ensemble nicht nur den, der frohe Stunden in der Betstube Alte Elisabeth verbracht hat, sondern auch die Fans der Freiberger Bergmusik.

Wenn auch das 850. Silberrauschjahr vorbeirauscht, so bleiben uns doch die genannten holzkünstlerischen Silbermodelle aus der Manufaktur Werner erhalten, an denen sich Freiberger und Freibergs Freunde wie Förderer lebenslang erfreuen können.

Hans-Jürgen Kretschmar



Bergsänger und Orgel in der Betstube der Alten Elisabeth

Stammtische, neue Software und Fledermäuse – Jahresrückblick des Freiberger Alumni Netzwerks



Freiberger Alumni Netzwerk

Stefanie Preißler, Constance Bornkampff

Die Freiberger Alumni-Stammtische etablieren sich zunehmend deutschlandweit. In der letzten Ausgabe der ACAMONTA wurde bereits über den Stammtisch in Karlsruhe im Mai 2017 berichtet. Mittlerweile sind entsprechende Events in München und Dresden dazugekommen.

Erfreulicherweise ist gerade die Veranstaltung in Dresden dabei, sich zu verstetigen. Die Premiere in der sächsischen Landeshauptstadt fand am Abend des 1. März 2018 im Kraftwerk Mitte statt. 16 Alumni waren auf Einladung des Bergakademie-Absolventen Dipl.-Kfm. Andreas Deicke gekommen. Der Betriebswirtschaftler ist seit zwei Jahren selbstständig als „Freelancer“ mit seiner Firma Plus 1 Dienstleistungen als qualifizierter Google-AdWords-Spezialist tätig. Seinen Schreibtisch hat er im Coworking Space „Neonworx“ im Kraftwerk Mitte in Dresden gemietet. Er stellte den Teilnehmern seinen Arbeitsplatz vor und erzählte kurzweilige Anekdoten aus Freiberg sowie seiner beruflichen Laufbahn. Schwerpunktmäßig ging es um die Themen Selbstständigkeit und Firmengründungen. Zusätzlich war ein Teammitglied des Gründernetzwerks SAXEED der TU Bergakademie Freiberg anwesend, das fachkundig die Beratungen unterstützte. Nach einem Rundgang durch das Gebäude, bei dem die Verbindung von industriellem Charme und funktionalem, neuen Design stark beeindruckte (Abb. 1),



Abb. 1: Führung im Kraftwerk Mitte

ließen die Alumni den Abend bei Bier und lockeren Gesprächen im Restaurant „Neue Sachlichkeit“ ausklingen. Alle waren sich einig, dass es eine Fortsetzung geben müsse. Dieser fand nun am 25. Oktober 2018 im Neubau des Sächsischen Landtags statt, durch den unsere Mitarbeiter-Alumna Anne-Marie Brade (ehemals Career Center) persönlich führte.

Wenn Sie ebenfalls interessiert sind, in „Ihrer“ Stadt einen solchen Freiberger Alumni-Stammtisch durchzuführen, dann

kontaktieren Sie bitte das Team des Freiberger Alumni Netzwerks. Vorschläge sind hier jederzeit willkommen!

Außer den Stammtischen fanden selbstverständlich zahlreiche weitere Alumnitreffen statt. Besonders hervorzuheben sind für 2018 drei Veranstaltungen zur Verleihung des Diamantenen Diploms an die Mitglieder der ehemaligen Seminargruppen Metallogie, Eisenhüttenkunde und Bergbau, auf denen insgesamt 64 Jubiläumsurkunden überreicht wurden. Es ist berührend und beeindruckend, zu sehen, dass die Verbundenheit der Jubilare zu „ihrer“ Bergakademie auch nach dieser langen Zeit ungebrochen ist. Die Reihe der Feiern zum 60-jährigen Diplomabschluss wird im nächsten Jahr fortgesetzt. Auf den bislang 35 Alumnitreffen konnten in diesem Jahr zahlreiche Spenden zugunsten der Alumniarbeit eingeworben werden.

In Ergänzung zu den Alumnitreffen gab es weitere Events mit Alumnibezug, so am 11. Januar 2018 den „Report vor Ort“ auf der bergakademieeigenen Karriere-messe ORTE zum Thema „Meine Persönlichkeit, meine Fähigkeiten, meine Vision: Wie finde ich meinen Karriereweg?“ mit der Promotions-Alumna Dr. Stephanie Rohac. Generell präsentierte sich das Alumni-Netzwerk auf den beiden ORTE-Messen 2018 den Besuchern immer mit einem eigenen Stand (Abb. 2).



Abb. 2: Stand auf der Sommer-ORTE im Juni 2018



Abb. 3: Die erste der Campusgeschichten im Mai 2018 mit Tiefbohrstudentin Jasna Sager (links)

Mit einer Ansprache und der obligatorischen Karzerführung beteiligten sich die zwei FAN-Mitarbeiterinnen Ende Januar 2018 wieder an der jährlichen feierlichen Promovierten- und Habilitiertenverabschiedung in der Alten Mensa.

Ein weiteres Mal mehrere Monate im Voraus ausgebucht waren die drei Termine der bei den Alumni äußerst beliebten Veranstaltungsreihe „ALUMNIght“:

- **im März:** „Mit dem Bagger-Simulator auf die digitale Baustelle“ am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau
- **im Juni:** „Was ist denn nachts auf dem Campus los? – Fledermaus-Führung“ mit Alumnus Dr. André Günther vom Naturschutzinstitut Freiberg
- **im September:** „Bergakademische Geschichte(n) auf dem Donatsfriedhof“ mit Unterstützung durch Burkhard Schmutge und Prof. Dr. Heinrich Oettel

Zur Verbesserung des Komforts für die Nutzer der Absolventendatenbank erfolgte die Einführung des neuen Alumni-Management-Systems „alumnii“. Eine Umstellung des bisherigen Systems war zwingend notwendig geworden, um den aktuellen Vorgaben des Datenschutzes nach der EU-DSGVO gerecht zu werden. Die vor rund zwölf Jahren selbst programmierte Alumnisoftware, basierend auf MySQL, entsprach nicht mehr den aktuellen Anforderungen und war von einer Serverstilllegung und fehlenden Updates betroffen. Des Weiteren gab es kein hinreichend flexibles Datenmodell, sodass im Portal die Alumni bei den Daten zu ihrem persönlichen Profil beispielsweise bei „Status“ nur einen Wert (Student oder Doktorand oder Mitarbeiter) sowie nur einen Studienabschluss (Bachelor, Master,

Diplom oder Promotion) angeben konnten. Es ließ sich also nicht die gesamte Alumnibiografie an der TU Bergakademie Freiberg abbilden. Hierzu bestand gerade im Hinblick auf die geplanten Feierlichkeiten zu „100 Jahre eigenständiges Promotionsrecht“ im Jahr 2020 an der Bergakademie erkennbarer Handlungsbedarf. Eine reine Access-Datenbank genügte übrigens nicht, da die Alumni ihre Daten schon mithilfe der alten Software selbst verwalten und aktualisieren sowie nach Kommilitonen recherchieren konnten. Dies sollte bestehen bleiben. Das neue System musste außerdem ansprechend für die Nutzer – im Besonderen die jungen Absolventen (Digital Natives) – gestaltet sein und auf verschiedenen Endgeräten funktionieren. Wichtig waren außerdem die Verbesserung des Newsletterversands (Abonnieren vs. Abbestellen), das Vorhandensein von Schnittstellen zu Profilen in den Sozialen Medien (wie XING oder LinkedIn) und dass sich die Server in Deutschland befinden. Vor dem Überführen der Datensätze in das neue System wurden fast 1.300 inaktive Einträge von Alumni, deren aktuelle E-Mailadresse oder ein nachweisliches Einverständnis zur Übernahme in das FAN nicht vorlagen, gelöscht. Letzteres schreibt der Datenschutz unbedingt vor. Aktuell sind im FAN 4.118 Alumni registriert.¹

Die beiden Alumni-Beauftragten arbeiteten den Printmedien der TU Bergakademie Freiberg alumnibezogene Beiträge zu oder gaben einschlägige Publikationen selbst heraus (Alumni-Newsletter TUBALUM, Absolventenbuch). Auch online

ist das FAN, wie gewohnt, mit eigener Homepage sowie bei XING und LinkedIn präsent. Initiiert wurde ergänzend – gemeinsam mit dem Dezernat 5 – die Online-Kampagne „Campus-Geschichten“, in der einmal monatlich über interessante Persönlichkeiten an der Bergakademie berichtet wird. Diese werden in ihrem Alltag begleitet und witzige, teils spontan angeregte Gespräche mit ihnen geführt (Abb. 3). So zeigt sich auf sehr persönliche Weise, welche Köpfe – seien es Studierende, Mitarbeiter oder Professoren – und was für ungewöhnliche Geschichten hinter und in der Universität stecken. Der eine oder andere Absolvent bzw. die eine oder andere Absolventin werden sicher auch dazuzuzählen sein.

Zur Verstärkung des Teams unserer Alumni-Botschafter konnte für Mexiko mit Augusto Mosqueda ein Alumnus des Studiengangs IMRE gewonnen werden. In diesem Land gibt es somit nun zwei Ansprechpartner. Weitere Botschafter-Kandidaten wird hoffentlich das DAAD-Symposium anlässlich der Festveranstaltung „50 Jahre Geotechnik-Ausbildung an der TU Bergakademie Freiberg“ vom 12. bis 16. November hervorbringen, zu dem zahlreiche internationale Absolventen in Freiberg erwartet werden. Insofern blickt das Team des Freiburger Alumni Netzwerks gespannt in das nächste Alumnijahr.

Kontaktadresse:

Freiberger Alumni Netzwerk
 Akademiestraße 6
 09599 Freiberg
 E-Mail: alumni@zuv.tu-freiberg.de
 Tel.: +49 (0) 3731 39 3772 / 2675
 Fax: +49 (0) 3731 39 2551

¹ Stand: 9. November 2018

Interview mit Peter Eckert



Peter Eckert ist ein erfahrener Manager in verschiedenen verantwortlichen Positionen von Vertrieb über Niederlassungsleitung bis hin zur Geschäftsführung eines DAX-Konzernunternehmens.

Nach dem Studium der Metallurgie an der Bergakademie Freiberg steigt er bei Thyssen Krupp Elevators in den Vertrieb ein. Von dort geht es mit seiner Karriere stetig nach oben. Er wird Nieder-

lassungsleiter, Distriktchef und 2013 dann Geschäftsführer. Nach vier Jahren in dieser verantwortungsvollen Position möchte er raus und etwas Eigenes auf die Beine stellen. Er verlässt Thyssen Krupp und macht sich als Interimsmanager selbstständig. Doch das Aufzuggeschäft lässt ihn nicht los. Seit 2017 ist er wieder als Geschäftsführer tätig, allerdings für das Schweizer Unternehmen Schindler Aufzüge und Fahrtreppen GmbH, Region Südost.

Als Mitglied im VFF ist er seit Mitte 2017 aktiv und gestaltete u. a. als Referent das VFF-Jungmitgliederforum im letzten Jahr.

1. Sie haben in Freiberg studiert. Was hat Sie dazu bewogen, ein Studium in Freiberg anzutreten?

Der Hauptgrund ist eigentlich ziemlich banal. In Freiberg konnte ich mir das Studium durch die Arbeit in der Papierfabrik meines Heimatorts finanzieren.

Was ist aus Ihrer Sicht das besonders Interessante an Ihrer jetzigen Tätigkeit?

Ich führe Menschen auf verschiedenen Ebenen zu gemeinsamem Erfolg – das ist das interessanteste und anspruchsvollste Metier überhaupt.

2. Welche Einstiegsmöglichkeiten bietet Ihr Unternehmen Hochschulabsolventen?

Wir bieten Traineeprogramme, Auslandspraktika, Schnupperkurse und natürlich konzerntypische Karrierechancen.

3. Absolventen welcher Studiengänge haben die besten Chancen auf einen Einstieg bei Schindler?

Für die Vertriebspositionen und technischen Backoffice-Stellen kommen Absolventen aller technischen Studiengänge im erweiterten Maschinen- und Anlagenbau in Frage. Im kaufmännischen Bereich sind natürlich auch Betriebswirtschaftler gefragt.

4. Welche nachhaltigen Erinnerungen verbinden Sie mit Ihrer Zeit an der TU Bergakademie Freiberg?

In erster Linie viel Spaß. Wir haben damals den Studentenklub in der Winklerstraße betrieben. Weiterhin die familiäre Atmosphäre, kurze Wege, charaktervolle Hörsäle und nicht zuletzt die Tradition.

5. Haben Sie heute noch berufliche oder private Kontakte zur TU Bergakademie Freiberg?

Beruflich nicht, aber als Förderer bin ich ab und zu da.

6. Was hat Sie dazu bewogen, Mitglied im Förderverein zu werden?

Die Verbundenheit zu meiner Alma Mater und das Bedürfnis, mit meinen Erfahrungen jungen Menschen zu helfen, sich beruflich zu orientieren.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2017:

The distribution of Gallium, Germanium and Indium in conventional and non-conventional resources – Implications for global availability Max Frenzel^{1,2}

Einleitung

In den vergangenen zehn Jahren hat ein erhöhtes Interesse an der Versorgungssicherheit metallischer und mineralischer Rohstoffe zur Zusammenstellung einer Reihe von Listen der wohl meistgefährdeten Materialien geführt. Diese Materialien werden generell als „kritisch“ (Engl. *critical*) bezeichnet, da sie sowohl von großer wirtschaftlicher Bedeutung sind, als auch erhöhten Versorgungsrisiken ausgesetzt zu sein scheinen [1]. Von besonderer Relevanz ist hierbei die Bewertung

geologischer Faktoren, die jedoch in praktisch allen vorhandenen Studien unzureichend ausfällt. Vor allem die spezifischen Besonderheiten jener Elemente, die größtenteils als Beiprodukte gewonnen werden, sind oft nicht ausreichend berücksichtigt. Nichtsdestotrotz werden viele dieser Elemente als kritisch eingestuft. Dies ist sowohl ihrer vermeintlichen Wichtigkeit in Hochtechnologie-Anwendungen, als auch den kleinen, oft intransparenten Märkten, der daraus resultierenden Preisvolatilität sowie der Konzentration ihrer Produktion in China geschuldet. Gallium, Germanium und Indium sind gute Beispiele für solche Elemente. Alle drei sind sich in vielerlei Hinsicht sehr ähnlich und werden oft sowohl bezüglich ihrer wirtschaftlichen Bedeutung als auch ihres Versorgungsrisikos ähnlich bewertet.

Ziel meiner Promotion war es, anhand des Beispiels dieser drei Elemente der Frage nachzugehen, inwiefern ihre vermeintliche Ähnlichkeit tatsächlich der aktuellen Versorgungslage entspricht. Das Augenmerk lag dabei vor allen Dingen auf den physischen Produktionsgrenzen: Da Beiprodukte nur zusammen mit den zugehörigen Hauptprodukten gewonnen werden können, ist ihre Produktionsrate durch letztere begrenzt. Das bedeutet, dass die relevanten Größen für die Bewertung ihrer physischen Produktionsgrenzen nicht Reserven und Ressourcen sind, sondern Versorgungspotenziale. Das Versorgungspotenzial eines gegebenen Beiprodukts ist dabei diejenige Menge, welche unter aktuellen Marktbedingungen (Preis, Technologie) pro Jahr gewonnen werden könnte, wenn alle geeigneten Rohmaterialien entsprechend verarbeitet würden [2].

Methodik

Zur Schätzung des Versorgungspotenzials eines Beiprodukts müssen generell folgende Fragen beantwortet werden [2]:

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

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

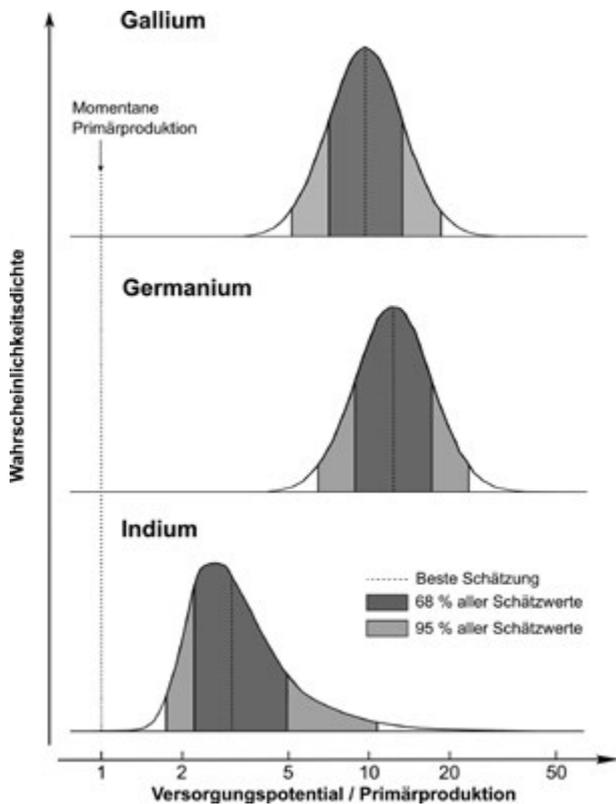


Abb. 1: Relative Versorgungspotenziale von Gallium, Germanium und Indium. Die x-Achse stellt das Verhältnis des geschätzten Versorgungspotenzials zur momentanen Primärproduktion dar (Berechnungen für das Jahr 2014), d. h., ein Wert von 2 entspricht dem Fall, dass etwa die Hälfte allen gewinnbaren Beiprodukts tatsächlich gewonnen wird. Die Primärproduktion der drei Elemente betrug 2014 für Gallium 440 t, für Germanium 165 t, und für Indium 844 t. Nach [3].

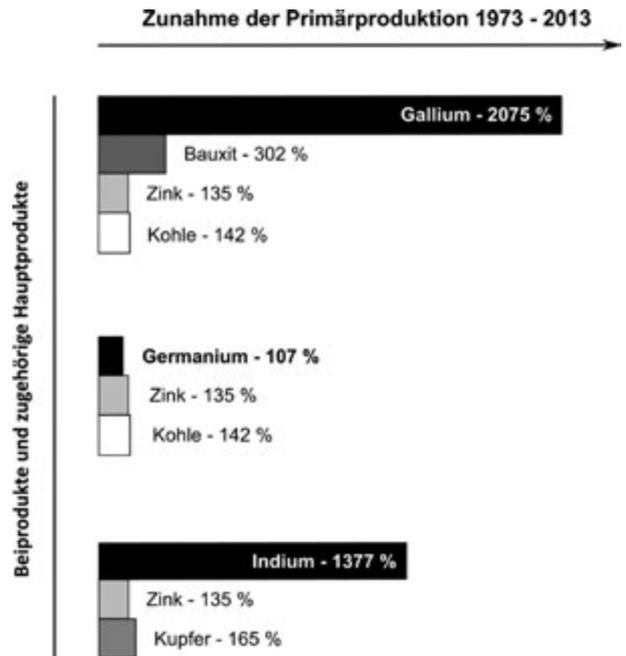


Abb. 2: Wachstum der Primärproduktion von Gallium, Germanium und Indium sowie der zugehörigen Hauptprodukte im Zeitraum von 1973–2013. Nach [3].

- Wieviel des Beiprodukts ist tatsächlich in den Hauptprodukterzen vorhanden? Wie stark schwanken diese Gehalte?
- Welcher Anteil des Beiproduktgehalts ist bei der weiteren Verarbeitung und Verhüttung gewinnbar?
- Wie hängt die Gewinnbarkeit vom aktuellen Marktpreis sowie von technischen Faktoren ab?

Dazu müssen Informationen aus verschiedenen Fachbereichen zusammengetragen werden. So habe ich u. a.:

- Umfassende analytische Datenbanken mit Konzentrationswerten der drei Elemente in relevanten Rohstoffen (Zink- und Kupfererze, Bauxit und Kohle) angelegt.
- Aus Informationen zum Prozessverhalten der drei Elemente quantitative Modelle für die Gewinnung bei den jeweiligen Verhüttungsprozessen erstellt sowie dazugehörige Kostenmodelle entwickelt.

Aus diesen Komponenten konnte ich dann die aktuellen Versorgungspotenziale schätzen. Außerdem ist über die Kostenmodelle eine Extrapolation der Ergebnisse zu anderen Marktpreisen möglich, was eine spätere Anpassung der Schätzungen an andere Marktbedingungen ermöglicht. Die Schätzungen

selbst sind als Monte-Carlo-Simulationen implementiert, was eine numerische Berechnung der aus verschiedenen Faktoren resultierenden Unsicherheiten erlaubt. Als solches ist die von mir entwickelte Methodik in vielerlei Hinsicht bisherigen Ansätzen überlegen, da diese in der Regel durch zu starke Vereinfachung der tatsächlichen Versorgungsketten sowie unzureichende Betrachtungen von Unsicherheiten gekennzeichnet sind, und somit oft irreführende Aussagen treffen.

Ergebnisse

In *Abbildung 1* sind die Ergebnisse meiner Schätzungen als Wahrscheinlichkeitsverteilungen dargestellt. Der Vergleich dieser Ergebnisse zeigt sehr deutlich, dass zwischen Gallium, Germanium und Indium große Unterschiede hinsichtlich der Versorgungspotenziale bestehen: Während die aktuelle Primärproduktion von Gallium und Germanium etwa eine Größenordnung unter dem geschätzten Versorgungspotenzial liegt, ist dieser Unterschied bei Indium deutlich geringer.

Um Aussagen zur voraussichtlichen zukünftigen Entwicklung der Versorgungssituation zu treffen, kann man nun

außerdem historische Wachstumsraten der Primärproduktion der Beiprodukte relativ zur Produktion der zugehörigen Hauptprodukte betrachten. Dies ist in *Abbildung 2* getan. Auch hier zeigen sich klare Unterschiede. So ist sowohl bei Gallium als auch bei Indium die Primärproduktion zwischen 1973 und 2013 gegenüber den zugehörigen Hauptprodukten sehr stark gestiegen. Bei Germanium dagegen war der Anstieg eher kleiner. Zusammen mit der momentanen Versorgungslage ergibt sich hier ein differenziertes Bild für alle drei Rohstoffe, wie folgt:

Gallium weist im Vergleich zu seinem Versorgungspotenzial eine sehr niedrige Primärproduktion auf. Allerdings wächst diese sehr schnell, sodass das Limit in absehbarer Zukunft erreicht sein könnte.

Germanium besitzt ebenfalls eine sehr niedrige Primärproduktion im Vergleich zu seinem Versorgungspotenzial. Allerdings wächst diese nicht schneller als die Produktion der zugehörigen Hauptprodukte. Damit ist eine volle Ausschöpfung seines Versorgungspotenzials in Zukunft nicht absehbar.

Indium dagegen ist bereits durch eine relativ hohe Primärproduktion relativ

zu seinem Versorgungspotenzial gekennzeichnet. Außerdem wächst diese deutlich schneller als die Produktion der zugehörigen Hauptprodukte. Damit ist in unmittelbarer Zukunft mit dem Erreichen seines Versorgungspotenzials zu rechnen.

Zusammenfassung

Zusammenfassend stellt diese Arbeit anhand der Beispiele von Gallium, Germanium und Indium eine umfassende Methodik zur Bewertung der geologisch-technologischen Versorgungspotenziale von Beiproduktelementen vor, die geeignet ist, bisherige Lücken in der globalen Datenlage weitestgehend auszufüllen. Mit Hilfe dieser Methodik konnte gezeigt werden, dass die Versorgungssituationen der drei Elemente trotz oberflächlicher Ähnlichkeiten stark verschieden sind: Während für Gallium und Germanium in absehbarer Zukunft keine dauerhaften Versorgungsengpässe zu erwarten sind, kann dies für Indium nicht ausgeschlossen werden. Es wird empfohlen dieser Methodik folgende Schätzungen auf alle weiteren Hochtechnologie-Elemente, die hauptsächlich als Beiprodukte gewonnen werden (z. B. Selen, Tellur, Rhenium, Hafnium), auszudehnen. Die entsprechenden Ergebnisse sollten zudem in zukünftigen Studien zur Identifizierung kritischer Rohstoffe berücksichtigt werden, da die Auslassung dieser Information, wie gezeigt, zu Fehleinschätzungen der tatsächlichen Versorgungslage führen kann.

Literatur

- 1 Frenzel M, Kullik J, Reuter MA, Gutzmer J (2017) Raw material "criticality" – Sense or nonsense? *J Phys D* 50:123002.
- 2 Frenzel M, Tolosana-Delgado R, Gutzmer J (2015) Assessing the supply potential of high-tech metals – A general method. *Resour. Policy* 46:45-58.
- 3 Frenzel M, Mikolajczak C, Gutzmer J, Reuter MA (2017) Quantifying the relative availability of high-tech by-product metals – The cases of gallium, germanium and indium. *Resour. Policy* 52:327-335.

Danksagung:

Hiermit möchte ich ganz herzlich all denjenigen danken, die mich während meiner Doktorarbeit auf unterschiedliche Weise unterstützt haben. Besonders bedanke ich mich bei meinem Doktorvater, Prof. Dr. Jens Gutzmer, für die ausgezeichnete Betreuung meiner Arbeit sowie bei Dr. Raimon Tolosana-Delgado für seine fachliche Unterstützung. Mein Dank gilt außerdem dem VFF der TU Bergakademie Freiberg für die Auszeichnung mit dem Bernhard-von-Cotta-Preis.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2017:

Optimierung des statischen Modells des Elektrolichtbogenofens (EAF) im Stahlwerk Riesa Matthias Groll¹

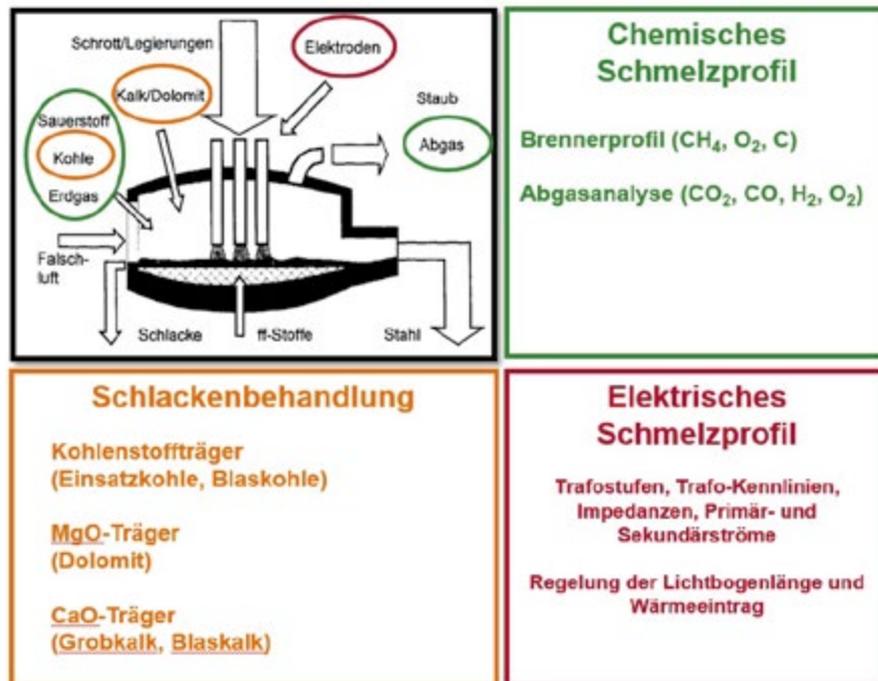


Abb.: 1: Säulen der Schmelzmetallurgie [1]

Einleitung

Die Erzeugung von Stahl erfolgt unter Anwendung hochentwickelter Technologien im Kontext mit intensiven Umweltauflagen. Bei der ESF Elbe-Stahlwerke Feralpi GmbH in Riesa setzt man bei der Erzeugung von Rohstahl auf das Recycling von eisenhaltigen Schrotten. Die Einsatzgüter werden unter Anwendung der Elektrolichtbogentechnologie geschmolzen und im Rahmen der Produktionskette nach den entsprechenden Qualitätsanforderungen metallurgisch veredelt. Neben den ständig wachsenden wirtschaftlichen Anforderungen nehmen auch die Umweltauflagen stetig zu. Um den genannten Anforderungen gerecht zu werden, erfolgen kontinuierlich Maßnahmen, die den Prozess fortlaufend optimieren und dessen Effizienz gezielt steigern. Zahlreiche Investitionen in die Modernisierung der Anlagen-, Mess- und Abgastechik haben es dem Unternehmen bereits ermöglicht, diese Herausforderungen zu meistern und dabei den Prozess kontinuierlich zu verbessern. Durch die genannten Maßnahmen konnte bereits ein erheblicher Beitrag zur „sauberen“ Produktion von Stahl am Standort Riesa

¹ ESF Elbe-Stahlwerke Feralpi GmbH
Groeber Str. 3, 01591 Riesa
matthias.groll@feralpi.de

geleistet werden. Der Betrieb setzt neben Investitionen auf die enge Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Bergakademie Freiberg und das daraus gewonnene ingenieurwissenschaftliche Know-how.

Der Konzern ist hierbei bereit, völlig neue Wege zu gehen, abstrakte Sichtweisen zuzulassen, deren Effektivität zu untersuchen und bei erfolgreichem Ergebnis dieses zielgerichtet in die Produktionsabläufe zu integrieren. Im Rahmen solcher Optimierungsmaßnahmen wurde der Schmelzprozess des Elektrolichtbogenofens selbst näher untersucht. Durch die im Artikel „Optimierung des statischen Modells des Elektrolichtbogenofens im Stahlwerk Riesa“ erfolgte Auswertung der Abgasströme konnten interessante Ansätze eruiert werden, die es ermöglichen, das Potenzial dieser Schmelztechnologie weiter auszuschöpfen. Zudem leisten die neuen Erkenntnisse einen bedeutenden Beitrag zu der Erfüllung umweltschutzrelevanter Vorschriften.

Ziele der Diplomarbeit

Die Schmelzmetallurgie auf der Basis eines Elektrolichtbogenofens stützt sich generell auf drei Säulen, wie in *Abbildung 1* gezeigt.

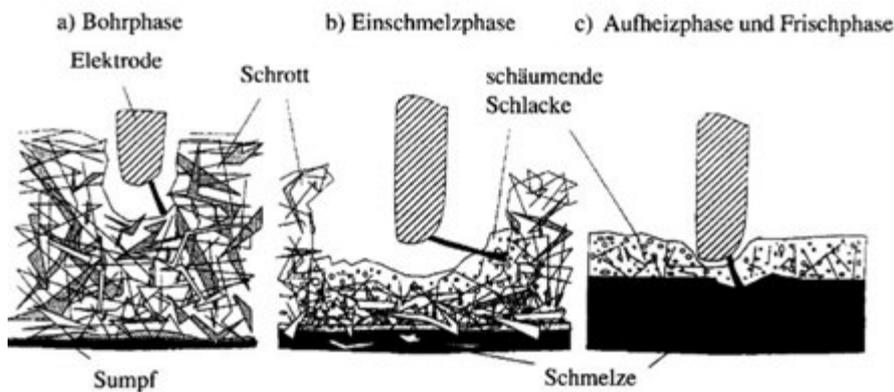


Abb. 2: Phasen bei der elektrischen Schrottschmelze [1]

Der primäre Wärmeeintrag der elektrischen Energie erfolgt durch die Erzeugung eines Lichtbogens zwischen Grafitelektrode und Schmelzgut. Der sehr hohe Wirkungsgrad und die hohe Lichtbogentemperatur sorgen für ein rasches Aufschmelzverhalten. Durch die Variation der Lichtbogenlänge kann der Schmelzfortschritt gezielt gesteuert und das Aufschmelzverhalten (Abbildung 2) drastisch beeinflusst werden [1].

Mit fortlaufendem Schmelzprozessfortschritt wird die Lichtbogenlänge entsprechend der Schrottkonsistenz im Ofenraum angepasst. Man verfolgt hierbei das Ziel, eine möglichst hohe Schmelzleistung zu erreichen, ohne das Aggregat oder seine Module zu beschädigen. Die Regelung der Elektroden bzw. der Lichtbogenlängen nutzt das Prinzip der Impedanzmessung. Die Lichtbogenwirkleistung wird unmittelbar vom Lichtbogenstrom und den entsprechenden Trafostufen beeinflusst. Mit steigender Trafostufe und steigendem Lichtbogenstrom erhöht sich die Lichtbogen-Wirkleistung unter der Voraussetzung, dass der Lichtbogen stabil brennt und man den maximalen Primär- und Sekundärnennstrom nicht überschreitet [2].

Zur Steigerung der Schmelzleistung wird zusätzlich chemische Energie eingetragen. Bei den chemischen Energieträgern handelt es sich um Erdgas und Kohlenstoff aus diversen Kohlenstoffträgern, wie der Anthrazit- und Blaskohle. Diese Stoffe reagieren exotherm mit zugegebenem Sauerstoff. Die freigesetzte Wärme wird zur Unterstützung des Aufschmelzprozesses genutzt. Der sog. sekundäre Energieeintrag ermöglicht es, Schrott im Randbereich bzw. in den kälteren Zonen des Ofens „cold-spots“ aufzuschmelzen und somit die Effizienz drastisch zu steigern. In Abbildung 3 wird die Anordnung der Brenner im Paneelgefäß des Ofens

gezeigt. Die Anordnung ist so gewählt, dass ein möglichst gleichmäßiger Wärmeeintrag im gesamten Ofenraum stattfinden kann. Die Brenner M4, M5 und M6 dienen zusätzlich als Hauptbrenner. Sie besitzen die Fähigkeit zeitweise in den Injektor-Modus versetzt zu werden. Der immense Sauerstoffüberschuss in der Brennerflamme erzeugt hierbei einen Jet-Stream, der es ermöglicht, die Schlackenzone zu durchdringen und das Stahlbad oxidativ zu penetrieren. Dieser Vorgang wird in der Stahlmetallurgie als „Frischen“ bezeichnet. Die Ansteuerung der Brenner erfolgt über das oben genannte Brennerprofil. Dieses Profil gestattet es, jedem einzelnen Brenner mit prozentualen Schmelzfortschritt definierte Durchflusswerte (CH_4 , O_2) vorzugeben.

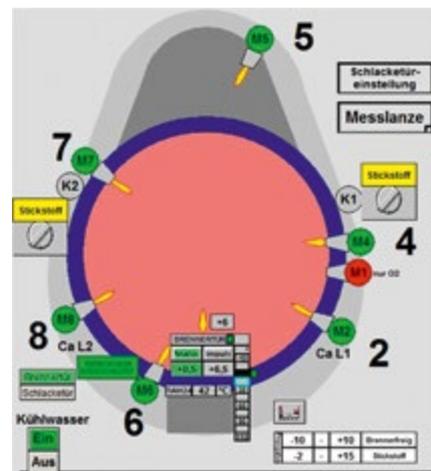


Abb. 3: Brenneranordnung im Stahlwerk Riesa [3]

Der dritte Faktor ist die angestrebte Erzeugung einer hochreaktiven Schlacke mit einer gezielten Zusammensetzung aus Kalk und Dolomit. Sie hat die Aufgabe, das Stahlbad abzudecken sowie die Aufnahme und stabile Abbindung von Verbrennungsprodukten zu gewährleisten. Die Schlacke ist dabei chemischer Reaktionspartner und wirkt zugleich

isolierend. Als Schaum Schlacke besitzt sie die Fähigkeit, den Wärmeeintrag des elektrischen Lichtbogens auf das Schmelzbad zu steigern. Zudem schonen diese dolomitisch-magnesitischen Schlacken die feuerfeste Zustellung des Herdgefäßes.

Als Grundlage dafür, diese hohe Komplexität der zahlreichen Prozessparameter zu überblicken, dient das statische Modell des Elektrolichtbogenofens. Es liefert die Vorgabe für ein gezielt festgelegtes Schmelz- und Behandlungsprogramm. Es handelt sich um eine Vorgabe der in den Prozess der Ofensteuerung einzubringenden Variablen. Das statische Modell stellt alle Stoff- und Energieströme sowie weitere Randbedingungen über einen Zeitfortschritt dar.

- Erfassen der Eingangsparameter über den Zeitfortschritt bei der Behandlung
- Gezielte Vorgabe von Prozessparametern
- Vorgabe des Schrotteinsatzes, Schrottrezept
- Vorgabe von Behandlungsparametern (Kohlenstoffträger, MgO-Träger, CaO-Träger)
- Vorgabe des elektrischen Schmelzprofils (Trafostufen, Kennlinien, Elektrodenstrom/Lichtbogenlänge, Elektrodenregelung)
- Vorgabe des chemischen Schmelzprofils (Brennerprofile, Blaskohle, Sauerstoffeintrag)
- Anpassung des chemisch-elektrischen Profils an die vorherrschenden Bedingungen
- Ausschöpfen des maximal möglichen Energiepotenzials

Im statischen Ofenmodell werden die aufgezählten Prozessparameter erfasst. Im Rahmen der Prozessoptimierung wurden diese Werte fortlaufend aufgenommen, angepasst und ihr Effekt erneut ausgewertet.

Hauptziel der vom VFF mit dem Bernhard-von-Cotta Preis 2017 prämierten Diplomarbeit war es, anhand der Analyse des Abgasvolumenstroms die Verbrennungsreaktionen der Ofenatmosphäre gezielt zu untersuchen und Rückschlüsse auf das Brennerprofil und somit den Umfang der notwendigen chemischen Energieeinträge während der Schrottschmelze abzuleiten.

Methoden

Die im Stahlwerk Riesa verwendete Abgasmesstechnik EFSOP® der Firma Tenova Goodfellows ist eine extraktive Messmethode, die sich zur Messung der Konzentrationen von O_2 , CO , CO_2 und H_2

eignet. Dem Abgasstrom des EAF wird hierbei eine Probe zentrisch aus dem Abgasstrom der Primärabsaugung entnommen (Abbildung 4). Die mittige Entnahme liefert eine fremdluftarme und analytisch auswertbare Abgasprobe, die dem Analysator über eine Heizleitung zugeführt und elementspezifisch ausgewertet wird.



Abb. 4: EFSOP-Proberohr zentrisch zum Abgasvolumenstrom

Abbildung 5 zeigt den Verlauf der Abgaszusammensetzung über den entsprechenden Schmelzfortschritt. Man erkennt deutlich, dass ein beachtlicher Überschuss an unverbrannten Abgasen existiert. Diese Abgase besitzen ein hohes Potenzial an Wärmeenergie, da ihre Verbrennungsreaktionen stark exotherm ausgeprägt sind. Im Rahmen der Prozessoptimierung muss es gelingen, diese Gase umzusetzen und die daraus resultierende Wärmemenge für den Schmelzhaushalt zu nutzen.

Ergebnisse

Auf Grundlage der gewonnenen Datensätze des IST-Zustands konnte ein Programm zur Optimierung des statischen Modells des Elektrolichtbogenofens im Stahlwerk Riesa erarbeitet und umgesetzt werden. Jede einzelne Änderung eines Prozessparameters am Elektrolichtbogenofen hat Auswirkungen auf eine Vielzahl von weiteren Faktoren. Jede Änderung, die am Prozess vorgenommen wird, kann das Schmelzerggebnis beeinflussen. Um ein nachvollziehbares Ergebnis zu erzielen, wurde schrittweise an die Prozessoptimierung herangegangen. Nach jeder Änderungsmaßnahme wird das Prozessergebnis erneut untersucht und ausgewertet. Teilweise werden Optimierungsschritte zusammengefasst oder ein weiteres Mal unterteilt. Der entscheidende Vorteil der

aufwendigen schrittweisen Modifikation ist, dass der Einfluss der jeweiligen Änderung auf das Prozessergebnis direkt erkannt und nicht durch eine Vielzahl dritter Faktoren verzerrt wird. Auf eine Verschlechterung kann zeitnah reagiert werden. Der nächste Optimierungsschritt erfolgt erst nach einer vollständigen Auswertung der neuen Bedingungen am Ofen. Ziel war es, herauszufinden, in welcher Art und Weise die Abgaschemie, die Stoff- und Massenströme und der Energiehaushalt des Ofens beeinflusst werden können, um das chemisch-elektrische Profil energieeffizient und unter Beachtung metallurgischer Aspekte zu optimieren. Durch gezielte Eingriffe werden positive Veränderungen auf Grundlage metallurgischer Kenntnisse angestrebt. Zur Optimierung konnte das statische Modell an folgenden Punkten beeinflusst werden:

Elektrisches Schmelzprofil (Trafostufen, Kennlinien)

Die Optimierungsmöglichkeiten im elektrischen Profil sind stark begrenzt, da der Ofen mit dem vorhandenen Transformator bereits nah an der Leistungsgrenze arbeitet. Mit der Ofeneinstellung Trafostufe XX und der Kennlinie Y arbeitet der Ofen nah am maximalen Ofenstrom, mit einem hohen Wirkungsgrad und mit einem kurzen Lichtbogen von ca. 44 cm. Zur Optimierung des elektrischen Profils wird die Trafostufe erhöht. Sie arbeitet weiterhin mit der Kennlinie Y. Brennt der Lichtbogen stabil, dann erreicht man eine Leistungserhöhung von 2 MW ohne eine relevante Verschlechterung des Wirkungsgrads $\cos \phi$. Die Lichtbogenlänge wächst von ca. 44 cm auf ca. 46 cm. Der Wärmeeintrag

erfolgt auf eine größere Fläche. Diese Leistungserhöhung lässt sich nur bis zu einem Schmelzfortschritt bis zu 50 % innerhalb der drei Schmelzphasen erreichen. Alle weiteren Modifikationen reizen bereits die Leistungsgrenzen des vorhandenen Transformators aus. Das neue elektrische Profil arbeitet nach folgendem Schema: Bohrphase: hoher Lichtbogenstrom, kurzer Lichtbogen [kA], bis 20 % verlängerte Lichtbogenlänge zum Schrottabschmelzen, bis 70 % mittlerer Lichtbogenstrom [kA], bis 100 % hoher Lichtbogenstrom [kA], kurzer Lichtbogen + Schaumslagge; Feinzeit: mittlerer Lichtbogenstrom und -länge + Schaumslagge.

Chemisches Schmelzprofil (Brennerprofil, Kohlenstoffträger)

Die Analyse der EFSOP®-Abgasmessung hat gezeigt, dass während der Schmelzphasen zeitweise nicht genug Sauerstoff für die vollständige Verbrennung zur Verfügung steht. Man erkennt das an einem Überschuss an CO und H₂ im Abgasstrom. Mit dem Chargieren des zweiten Korbes wird zusätzlich Einsatzkohle in das Schmelzbad eingebracht. Die Konzentrationen des Abgasstroms für CO und H₂ steigen drastisch an. Da beide Werte ansteigen, ergibt sich der Verdacht, dass sich die zeitgleich ablaufenden Verbrennungsprozesse von Erdgas, Kohlenstoffträgern und weiteren sauerstoffaffinen Materialien im Ofen gegenseitig den Sauerstoff entziehen. Alle im Ofenraum existenten Verbrennungsreaktionen laufen somit zwangsläufig unter Sauerstoffarmut ab. Die Nachverbrennung bzw. ein vollständiger Umsatz kann deshalb hier nicht erfolgen, sondern diese

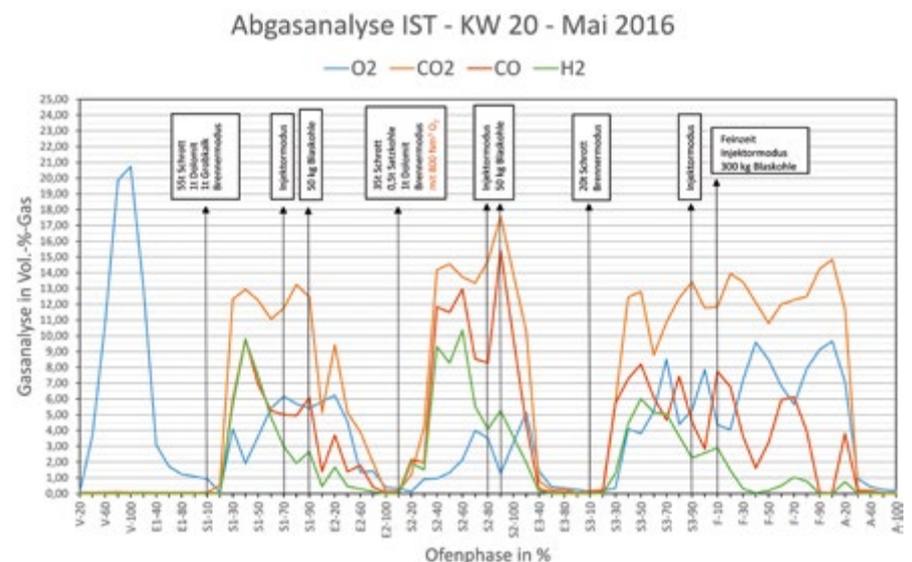


Abb. 5: EFSOP-Abgasanalyse vor Beginn der Prozessoptimierung

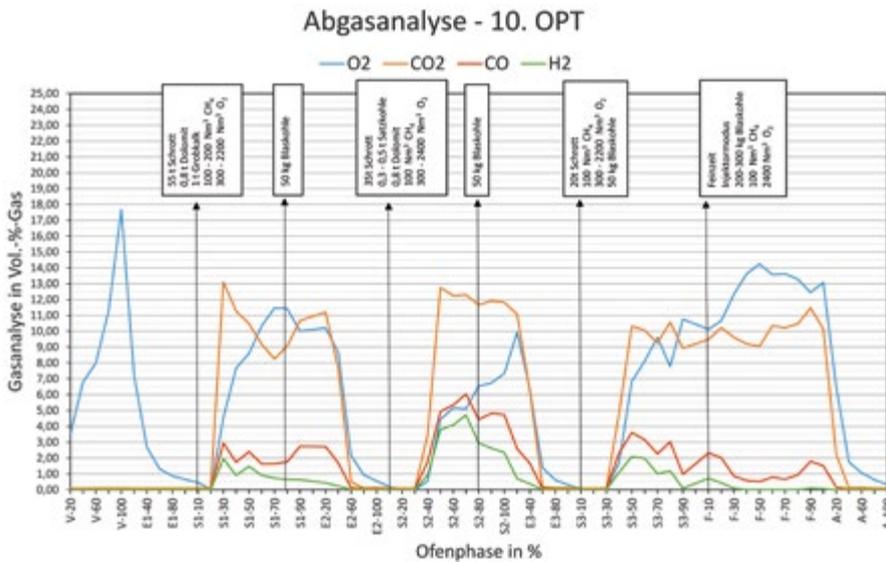


Abb. 6: EFSOP-Abgasanalyse nach allen Prozessoptimierungen

verlagert sich in den Rauchgaskanal, wo sie für den Schmelzprozess nicht genutzt werden kann. Der Wasserstoffgehalt im Abgas lässt sich auf den Wassereintrag der Elektrodenkühlung, nassen Schrott und die unvollständige Verbrennung von Erdgas zurückführen. Um das nicht ausgeschöpfte Energiepotenzial unmittelbar im Reaktorraum nutzen zu können, wird das Brennerprofil der jeweiligen Schmelzphasen schrittweise an die vorherrschenden Bedingungen angepasst, um die vorherrschenden Spitzenwerte abzufangen und deren Verbrennungswärme im Ofenraum nutzen zu können. In *Abbildung 6* sieht man die drastische Verbesserung der Abgasanalyse. Der gezielt zugegebene Sauerstoffüberschuss ermöglicht es, die unverbrannten Gase exotherm in der Ofenatmosphäre zu verbrennen.

Schlackenbildner (Dolomit, Kalk)

Das gezielte Absenken bzw. Anpassen der Zugabemenge von Kalk- und Dolomit erfolgt auf Grund der guten Beschaffenheit des Feuerfestmaterials zum Zeitpunkt des zweiwöchigen Gefäßwechsels am Ofen. Dolomit verschiebt die Basizität der Schlacke zugunsten der Feuerfestbasizität. Er grenzt den Feuerfestverschleiß stark ein und erhöht die Lebensdauer des Herd- bzw. Ofengefäßes. Um die Schlackenmenge zu vermindern, wurde der Anteil an CaO- und MgO-Trägern so eingegrenzt, dass eine ausreichende Schlackenarbeit und eine problemlose Ofenreise ermöglicht werden, ohne dass es zu Prozessanomalien oder zum Ausfall feuerfester Werkstoffe kommt. Im Rahmen einer Ofenreise wird die Reststeinstärke somit optimal ausgenutzt.

Abbildung 7 stellt die markantesten Prozessparameter über die schrittweisen Optimierungsmaßnahmen dar. Es wird ersichtlich, dass im Laufe der Optimierungsmaßnahmen der Elektroenergiebedarf am Ofen sowie der Gesamtenergiebedarf gesenkt werden konnten. Der Bedarf ist stark abhängig von der Schrottqualität, der Sumpffahrweise des Ofens, den Behandlungs-, Stör- und Schmelzzeiten, den Abstichtemperaturen sowie vom Alter der Herdzustellung. Im Rahmen der Optimierungsperiode wurde das Brennerprofil systematisch an die Ergebnisse der Abgasanalyse angepasst. Die Abgaschemie konnte gezielt als Parameter für die Prozessoptimierung herangezogen werden. Durch die gezielte Temperaturführung und den bewussten Sauerstoffüberschuss zu präzise definierten Zeitpunkten wird eine Nachverbrennung der noch

unverbrannten Gase ermöglicht. Das Brennerprofil wurde dabei so optimiert, dass zunächst alle zur Verfügung stehenden Brenner bis zu einem Schmelzprozessfortschritt von knapp 20 % im Pilotmodus arbeiten und den Schrott im Randbereich des Ofens vorwärmen. Anschließend erhöht sich mit dem Schmelzfortschritt der Sauerstoffdurchfluss, um exotherme Verbrennungsreaktionen zu forcieren und die freiwerdende Wärme im Ofenraum nutzen zu können. Zum Ende jeder Schmelzphase wird der Injektormodus angesteuert. Die Brenner arbeiten mit drastischem Sauerstoffüberschuss. Diese Durchflussmenge generiert einen „JetStream“, der die Schlackenzone durchstößt und das Stahlbad penetriert. Diese kurze Frischephase in Kombination mit angebotenen Blaskohlenstoff schafft eine hohe Bad- und Reaktionsraumtemperaturerhöhung und schont zugleich das Paneelgefäß und die feuerfeste Zustellung. Die Gehalte von CO und H₂ im Abgasstrom sind drastisch reduziert. Sie leisten durch ihre exotherme Verbrennungsreaktion einen zusätzlichen Beitrag zum Aufschmelzverhalten. Mit dem entsprechenden Sauerstoffeintrag können beide Gase effizient, aber aus thermodynamischen Gründen nicht vollständig, verbrannt werden. Der Schrott wird durch die gezielte Erdgasverbrennung zum Schmelzbeginn chemisch vorgewärmt. Anschließend wird der Erdgaseintrag reduziert, und das Schmelzgut erfährt einen Sauerstoffüberschuss, so dass das unvollständig verbrannte Abgas exotherm verbrennt und einen weiteren chemischen Energieeintrag leistet. Der Sauerstoff ist über die Schmelzphase gezielt verteilt, so dass trotz identischer Verbräuche die

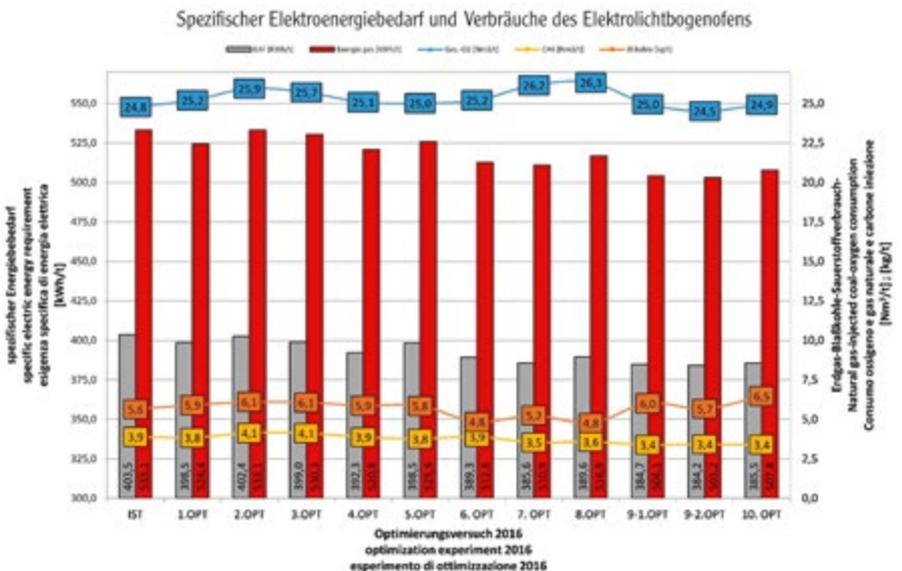


Abb. 7: Verbrauchsanalyse der Optimierungsperiode

Effizienz des Schmelzprozesses verbessert werden konnte. Die gezielte Nachverbrennung von Abgasen spart Erdgas und Elektroenergie. Des Weiteren wurde die Menge an Einsatzkohle reduziert. Die Maßnahmen zur Optimierung des elektrischen Profils sowie der Schlackenführung leisten einen zusätzlichen Beitrag bei der Einsparung von Elektroenergie. Die durchschnittliche Abstichtemperatur ist trotz Einsparung von Elektroenergie gestiegen. Dieser Sachverhalt wirkt sich positiv auf den Gesamtenergiebedarf aus.

Auch die Auswertung der Abgasanalyse zeigt, dass das angestrebte Ergebnis erreicht werden und der Überschuss an unverbrannten Abgasen drastisch reduziert werden konnte. Die exothermen Reaktionen des Umsatzes der Gase CO und H₂ mit Sauerstoff leisten einen Beitrag zum Schmelzprozess und werden nicht mehr im Abgaskanal ineffizient nachverbrannt.

Zusammenfassung

Die zahlreichen Optimierungsmaßnahmen am Elektrolichtbogenofen im Stahlwerk Riesa hatten das Ziel, das statische Ofenmodell zu verbessern. Dieses Ziel wurde erreicht, und das Modell des Ofens konnte an die aktuellen Gegebenheiten angepasst werden. Die Abgaschemie wurde mit Hilfe der EFSOP®-Abgasesstechnik erfasst und ausgewertet. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse konnte das chemische Profil des Elektrolichtbogenofens gezielt über eine Vielzahl von Optimierungsschritten angepasst werden. Die Schrottvorwärmung bis zu einem definierten Einschmelzzeitpunkt und der gezielte Sauerstoffüberschuss bzw. eine intelligente Sauerstoffverteilung leisten einen effizienten Beitrag bei der Ausnutzung des chemischen Energiepotenzials entstehender Abgase und dienen der Einsparung von Elektroenergie, ohne übermäßige Oxidation oder Feuerfestverschleiß.

Durch die Optimierung des elektrischen Profils konnte die mögliche Trafoleistung ausgeschöpft werden. Der Lichtbogen brennt stabil und gewährleistet einen hohen Wärmeeintrag auf das Schmelzgut. Im letzten Schritt der Arbeit wurden die Anteile der Zuschlagstoffe gezielt an den Prozess angepasst, sodass eine arbeitsfähige Schlacke zur Verfügung steht, ohne übermäßigen Feuerfestverschleiß zu riskieren. Als Ergebnis ergibt sich das bekannte statische Modell des Elektrolichtbogenofens im Stahlwerk Riesa mit speziell entwickelten Einstellungen zur Ressourcenschonung.

Literaturverzeichnis

- 1 Karl-Heinz Heinen: Elektrostahlerzeugung, 4. Aufl., Verl. StahlEisen, Düsseldorf, 1997
- 2 Klaus Krüger: Seminar: Elektrotechnik des Lichtbogenofens, Stahl-Akad. im Zentrum, Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf, Peine, 2012
- 3 Werksintern: Grafik aus dem Datenbanksystem, Oberfläche Win CC <http://auto-eaf-s2/>, 04.2016

Bernhard-von-Cotta-Preis 2017:

Ein Flussdelta als Archiv der Evolution – Asiens älteste Insektenfauna zeigt Wege der Fossilwerdung Steffen Trümper

Einleitung

Das Zeitalter des Karbons (vor 359 bis 299 Millionen Jahren) brachte bedeutende Umwälzungen in der Tier- und Pflanzenwelt, aber auch im Klima und in der Gestalt der Erde mit sich. Nahezu alle heutigen Erdteile vereinigten sich im damaligen Superkontinent Pangäa (Abb. 1), dessen Südhälfte, Gondwana, teilweise von einem Eisschild überzogen war. Vor allem Sporenpflanzen gediehen in den tropisch-humiden Breiten und bildeten dichte Regenwälder, deren Überreste als Steinkohlen den „Treibstoff“ für die industrielle Revolution lieferten. Die Arthropoden bzw. Gliedertiere, die erfolgreichste Tiergruppe in der Erdgeschichte, besetzten im Karbon jede nur denkbare ökologische Nische. Besonders bemerkenswert ist die Evolution des aktiven Fluges bei den Insekten, dessen Entstehung im Devon und frühen Karbon vermutet wird, jedoch aufgrund des Fehlens fossiler Belege bislang im Dunkeln blieb. Erst in Ablagerungen des späten Karbons treten weltweit geradezu schlagartig Fossilagerstätten mit einer überraschenden Vielfalt und Menge geflügelter Insekten auf, wie in Hagen-Vorhalle (Deutschland), Mazon Creek (USA) oder bei Commentry (Frankreich).

Das Verständnis der Genese und Zusammensetzung dieser ältesten Lagerstätten fossiler Insekten bildet den Schlüssel zum Auffinden weiterer Vorkommen und trägt zur Rekonstruktion einer der bedeutsamsten Innovationen des Lebens bei: der des aktiven Fluges.

Eine Fossilagerstätte – viele Fragen

Eine dieser frühesten Lagerstätten fossiler Insekten findet sich in karbonischen Gesteinen des nordchinesischen

Qilian-Gebirges nahe Xiaheyuan, autonome Region Ningxia. Erstmals 1996 als ältestes Vorkommen fossiler Insekten Asiens beschrieben, lieferte diese Lokalität seither tausende Insektenfossilien, die als Qilianshan-Entomofauna bezeichnet werden. Unter ihnen finden sich ausnahmslos geflügelte frühe Formen u. a. von Gruppen, aus denen die heutigen Libellen, Grashüpfer, Heuschrecken, Steinfliegen und Schaben hervorgingen. Kürzlich gelang der Fund einer Milbe unter den Flügeln eines Insekts (Robin et al., 2016). Aufgrund ihrer Bedeutung wird diese Fossilagerstätte seit 2011 von einem französisch-chinesischen Team systematisch durch Grabungen erschlossen. Doch ungewöhnlich an der Qilianshan-Entomofauna sind



Abb. 1: Paläogeographie Chinas im späten Karbon (vor ca. 320 Millionen Jahren) – der Stern markiert die Lage von Xiaheyuan

weniger die Insekten als vielmehr die Menge der Insekten führenden Fundschichten (mindestens zehn!) sowie deren Bildungsumstände. So besitzt die Begleitfauna der Insektenfossilien – Muscheln, Kopffüßer (Ammoniten, Nautiliden), Schnecken, Krebstiere, Fische und die zahnartigen Überreste neunaugenartiger Wirbeltiere (Conodonten) – marinen Charakter. Die einbettenden schwarzen Ton- und Schluffsteine, einst sauerstoffarme Faulschlämme, deuten zudem auf einen tiefermarinen Ablagerungsraum hin. Ungeklärt blieb u. a. das exakte Alter der Qilianshan-Entomofauna, das für evolutionsbiologische Schlussfolgerungen jedoch von entscheidendem Interesse ist.

**Der Lösungsansatz:
Sedimentarchitekturen in Raum
und Zeit verstehen**

Die offenen Fragen bremsten zunehmend den grabungstechnischen und wissenschaftlichen Fortschritt. Aufgrund erfolgreicher Kooperationen sowie der fachlichen Expertise der deutschen Kollegen wurde von chinesischer Seite die Bitte um geologische Unterstützung an den Lehrstuhl für Paläontologie der TU Bergakademie Freiberg gestellt. Dieser folgten mehrwöchige Geländeaufenthalte im Frühsommer der Jahre 2014 und 2015 zur Beprobung und zur hochauflösenden Dokumentation von 460 Profilm Metern und ihres Fossilinhalts im Zentimetermaßstab. Ziel der Arbeiten war die Erfassung der dreidimensionalen Architektur der Sedimentgesteine, durch die der Ablagerungsraum bestimmt werden kann. Diese Methode der Faziesanalyse reicht von der Dokumentation von Mikrogefügen in 30 µm dünnen Gesteinsschliffen unter dem Mikroskop über die Definition von Sedimenttypen anhand ihrer Eigenschaften (z. B. Korngröße, Schichtung) bis hin zur Erfassung ihrer Verteilung im Profil von Xiaheyan. Die Korrelation mehrerer Einzelprofile lieferte schließlich ein dreidimensionales Bild von den Sedimenten, vergleichbar mit einer Aneinanderreihung mehrerer MRT-Bilder in der Medizin. Zusätzlich wurden eingeschaltete Kalksteine und vulkanische Aschen beprobt, um die Altersspanne der Insekten führenden Horizonte radiometrisch und biostratigraphisch (fossilgestützt) erfassen zu können.

Ein Puzzle setzt sich zusammen

Im späten Karbon lag das Untersuchungsgebiet in einem tropischen Archipel am Ostrand Pangäas; die Region Ningxia

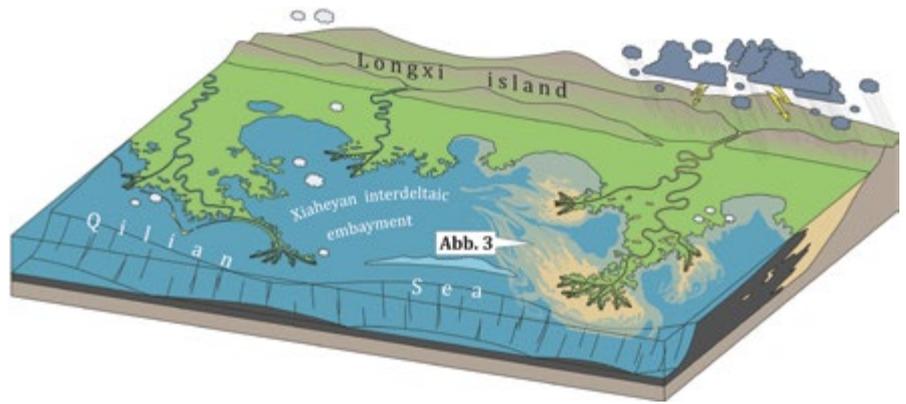


Abb. 2: Ablagerungsmodell für die Qilianshan-Entomofauna (interdeltaische Bucht)

bildete ein flaches, wenige 100 km breites Meer zwischen mehreren Inseln (Abb. 1). Die Region um Xiaheyan am Südrand dieses Meeres war Teil einer größeren Bucht zwischen zwei Flussdeltas (Abb. 2). Aufgrund dieser geschützten Lage wurde die Schwebfracht der Flüsse im strömungs- und sauerstoffarmen Bodenwasser als schwarzer Schlamm abgelagert. Während episodisch auftretender Hochwässer brachen Flussschämme und führten zur Ausbildung kleiner, in die Bucht hineinwachsender Schwemmfächer. Sie liegen heute als Sandsteineinschaltungen im Profil von Xiaheyan vor. Die fossilführenden schwarzen Sedimentgesteine wurden aus wenige 100 µm bis 1 mm großen rundlichen Partikeln aufgebaut, die durch Ausflocken des Tons aus der Suspensionswolke der benachbarten Deltas entstanden. Sauerstoffarmut, schwankende Salzgehalte und wiederholtes Ausflocken übten starken Stress auf die Ökosysteme der Bucht aus. Als Folge hielten sich nur wenige, ökologisch besonders tolerante Arten von suspensions- und substratfressenden Weichtieren, vor allem Muscheln, die aufgrund mangelnder Konkurrenz jedoch in großer Individuenzahl vorkamen (Abb. 3). Lichtabhängige Korallen und passive Filterer, wie Schwämme und Seelilien, blieben diesen Bedingungen fern; innerhalb der Faulschlämme gab es kaum Leben. Doch diesen extremen Bedingungen verdanken die Insekten ihre Erhaltung: rasche Einbettung durch ausflockende Suspension, gehemmte Zersetzung aufgrund der Sauerstoffarmut, keine nachträgliche Zerstörung durch grabende Organismen. Die Insekten wurden in rascher Folge durch Stürme auf die Bucht geweht, dort durch Wellengang und Regen unter die Oberfläche getaucht und kurz darauf eingebettet (Abb. 3). Wie neu gewonnene Altersdaten zeigen, blieben diese für die Konservierung von Insekten günstigen

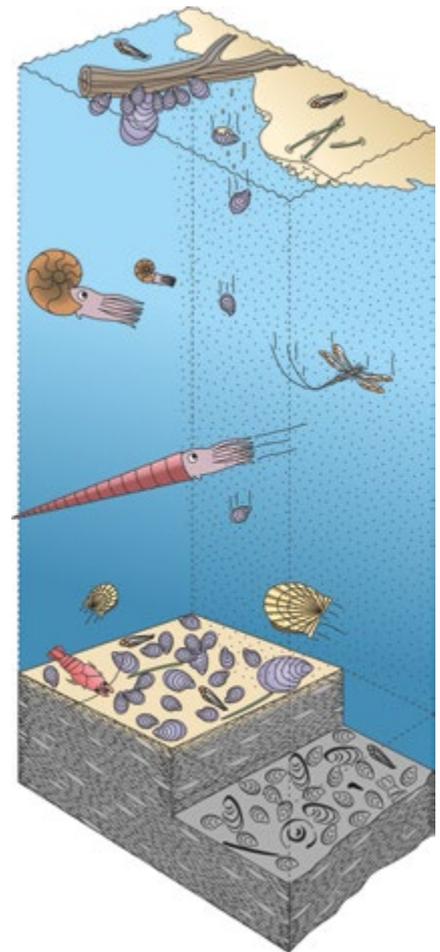


Abb. 3: Fossilisationsmodell für die Qilianshan-Entomofauna: Rasche Einbettung von Insektenresten, Pflanzen und Mollusken durch ausflockende Suspension

Verhältnisse über einen Zeitraum von ca. 4 Millionen Jahren, beginnend vor etwa 318 Millionen Jahren, erhalten, ehe das Gebiet verlandete.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse weisen das Ausflocken der Suspensionsfracht in Flussdeltas als bisher unbekanntem Weg der gemeinsamen Fossilwerdung aus und werfen

neues Licht auf ähnliche Vorkommen (z. B. in Hagen-Vorhalle). Die Kenntnis der Bildungsbedingungen der Qilianshan-Entomofauna ermöglicht nun die gezielte Auswahl besonders geeigneter Horizonte für zukünftige Grabungen und trägt so zur Professionalisierung geowissenschaftlicher Feldarbeiten bei. Die mit mehreren Methoden gewonnenen und global korrelierten Altersdaten gewährleisten eine präzisere Einordnung der Funde in die stammesgeschichtlichen Zusammenhänge innerhalb der Klasse der Insekten. Als Nebenprodukt der Studie

wurden zyklische Muster in den Kohle- und Kohlenwasserstoff führenden Deltaablagerungen nachgewiesen, die für die regionale Stratigraphie und Rohstoffprospektion von Bedeutung sind. Die Ergebnisse werden derzeit in einem internationalen Fachjournal publiziert.

Danksagung:

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Prof. Dr. Jörg W. Schneider, für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und die Weitergabe seines immensen Erfahrungsschatzes. Dem französisch-chinesischen Team, vertreten durch Dr. Olivier Béthoux (Paris) und Prof. Dr. Dong

Ren (Peking), danke ich für die fruchtbare Zusammenarbeit. Den Studenten der Capital Normal University (Peking) bin ich für die freundliche Betreuung in China verbunden. Dem Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg gilt mein besonderer Dank für die Würdigung dieses Projekts durch den Bernhard-von-Cotta-Preis.

Quellen:

– Robin, N., Béthoux, O., Sidorchuk, E., King, A., Berenguer, F., Ren, D., 2016. A Carboniferous mite on an insect reveals the antiquity of an inconspicuous interaction. *Current Biology* 26: 1–7. DOI: 10.1016/j.cub.2016.03.068.

Der Verein unterstützt ... Die folgenden Beiträge demonstrieren anschaulich das Engagement unseres Vereins zur Unterstützung von Studium und Forschung durch finanzielle Förderhilfe für Studierende und Nachwuchswissenschaftler bei Auslandsaufenthalten im Rahmen von Qualifizierungsarbeiten, Praktika, Exkursionen sowie bei Besuchen bzw. der Organisation von Workshops und Tagungen.



Die Exkursionsteilnehmer vor der Pyramide neben der Schutzhütte am Schneeberg



Aufnahme der Umgebung des Tagebaustollens mittels Laserscanning

Vermessung des Altbergbaugebiets Schneeberger Revier in Südtirol

Im Zeitraum vom 16. bis 24. Juni 2018 begaben sich acht Studierende des Studiengangs Markscheidewesen und Geodäsie auf 2.350 m Höhe in das zu Südtirol gehörende Schneeberger Revier, um die Arbeit ihrer Vorgänger aus dem Jahr 2016 fortzuführen. Als fachliche Betreuer nahmen in diesem Jahr Dipl.-Ing. Diana Höbelbarth, Dr.-Ing. Thomas Martienßen und Michael Ufer an der Exkursion teil. Unterstützt wurde die Gruppe von Dipl.-Ing. Marcus Wandinger, der uns als ortskundiger Begleiter viele Anregungen und interessante Informationen zu den ehemaligen Bergbauaktivitäten am Schneeberg geben konnte.

Der jahrhundertealte Bergbau am Schneeberg – im Jahr 1237 erstmals urkundlich erwähnt – erreichte zu Beginn des 16. Jahrhunderts seinen Höhepunkt. Zu jener Zeit schürften etwa 1.000 Bergleute in 70 Stollen nach silberhaltigem Bleiglanz. Im Laufe des 19. Jahrhunderts, als eine entsprechende Infrastruktur im Knappendorf St. Martin entstanden war, wurde die Förderung auf Zinkblende erweitert. Im Jahr 1985 folgte dann die Schließung des Bergwerks. Aus markscheiderischer Sicht besonders interessant sind die Errichtung eines Triangulationsnetzes durch Professor Gustav Ziegelheim um das Jahr 1880 sowie die verschiedenen bergbauhistorischen Zeugnisse in den heute noch teilweise zugänglichen Stollen.

Die Studenten teilten sich vor Ort in drei Gruppen, um verschiedene Arbeiten übernehmen zu können. So wurden im

Tagebaustollen ein Polygonzug angelegt und das Mundloch samt angrenzender Tagesoberfläche mittels Laserscanning aufgenommen. Dadurch soll u. a. ermittelt werden, wie weit der Altbergbau von der Tagesoberfläche entfernt ist. Eine zweite Gruppe erstellte während des Aufenthalts ein Laserscanmodell des Karlstollens und georeferenzierte dieses durch einen Polygonzug. Hierfür wurden insgesamt 25 Punkte vermarktet und bereits teilweise aufgenommen. Die GNSS-Truppe beschäftigte sich mit der Kontrolle bzw. der Auffindung von verschollen geglaubten Triangulationspunkten. Die entsprechende Suche wurde auf das benachbarte Tal ausgedehnt. Dort wurden einige neue Punkte, wie bspw. der Punkt Nummer 34, gefunden. In der Nachbereitung soll das bereits vorhandene GIS-Projekt um alle aktuellen Daten ergänzt werden.

Danksagung: Die Exkursion wurde mit dankenswerter Unterstützung des Südtiroler Landesmuseums Bergbau ermöglicht, dessen Direktor, Dr. Christian Terzer, die Teilnehmer auch während der Messungen besuchte. Zudem erhielten wir Unterstützung durch den Deutschen Markscheider-Verein und den Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg. Ein besonders herzliches Dankeschön gilt dem Hüttenwirt Heinz Widmann und seiner Frau Margit, die den Teilnehmern außer der Unterkunft auch eine vorzügliche Verpflegung boten. Es wird eine Fortführung des Projekts in etwa zwei Jahren beabsichtigt.

Die Studierenden des Studiengangs Markscheidewesen und Geodäsie

Ausfahrt West der AG Grubenwehr an der TU Bergakademie Freiberg

Vom 23. bis 26. Juni 2018 besuchten sechs Mitglieder der im letzten Jahr gegründeten Arbeitsgemeinschaft Grubenwehr im Zuge einer studentischerseits geplanten Exkursion das Ruhrgebiet. Über mehrere Tage hinweg absolvierten wir ein vielfältiges Programm, das kulturelle Angebote mit dem Besuch verschiedener Industriebetriebe verbinden sollte.

Am ersten Tag stand nach der Anreise von Freiberg her ins Ruhrgebiet der Besuch eines mit dem Steinkohlebergbau eng verbundenen Modelabels auf dem Programm. Der zweite Tag war ebenfalls den kulturellen Aspekten unserer Ausfahrt gewidmet: So konnten wir uns im Deutschen Bergbaumuseum in Bochum anhand diverser Exponate fachlich weiterbilden und uns dabei über eigene, selbst schon gesammelte praktische Erfahrungen austauschen. Anschließend besuchten wir zwei Ausstellungen rund um den Steinkohlebergbau und dessen Historie im Ruhrgebiet. Zur Thematik des Auslaufens der Steinkohleförderung in Deutschland bietet die Region eine Vielfalt an kulturellen Veranstaltungen. Am Montag, den 25. Juni, konnte unsere Exkursionsgruppe interessante Kontakte zur Bergbaubranche pflegen und vertiefen. Mit diesem Anliegen besuchten wir morgens die Epiroc Deutschland GmbH in Essen. Hier werden verschiedene Werkzeuge wie bspw. Hydraulikhämmer auch für bergbauliche Anwendungsbereiche konstruiert. Am Mittag waren wir zu Gast bei der Landesbergbehörde Nordrhein-Westfalen. Hier wurden wir besonders freundlich empfangen und konnten uns ausführlich über die Möglichkeiten der Ausbildung zum Bergassessor informieren. Den Abschluss des Tages bildete ein Besuch der Drahtseilerei Bridon International GmbH in Bochum, die verschiedene Seiltypen für bergbauliche Einsätze herstellt. Auch hier wurde uns eine Werksbesichtigung geboten, bei der wir interessante Einblicke gewinnen konnten. Am letzten Tag unserer „Ausfahrt West“ besuchten wir den Braunkohlentagebau Hambach der RWE Power AG. Hier konnten wir speziell zu verschiedenen Aspekten des bergbaulichen Rettungswesens ins Gespräch kommen: Ein Besuch der Werksfeuerwehr, der Sanitätsstation und das Vorbereiten einer weiterführenden Kooperation waren die Themen. „Vorsicht + Rücksicht = Sicherheit!“ – das war an mehreren Türen und Geräten im Tagebau Hambach der RWE Power AG zu lesen. Auch wenn die ingenieurtechnische Formel zur Risikobewertung nochmals andere Faktoren berücksichtigt (wie in der Vorlesung für Arbeitssicherheit gelehrt wird), trägt dieser unübersehbare Hinweis doch einiges an Wahrheit in sich: Ein Verständnis für Vorsicht und Rücksichtnahme im Bereich des innerbetrieblichen Sicherheitsmanagements wollen wir uns auch innerhalb der AG Grubenwehr zu eigen machen. Dafür bilden wir uns neben den Lehrangeboten auch in studentischer Eigenregie weiter, sowohl in der Theorie als auch praktisch.

Wir danken dem Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg sehr herzlich dafür, dass sie uns auf diesem Weg so freundlich und hilfsbereit unterstützten! Die Kontakte in die Betriebe hinein ergaben sich dabei auch über Alumni und Alumnae der TU Bergakademie Freiberg sowie durch die Teilnahme an einem Kolloquium an der TU Clausthal am Anfang des Jahres (ebenfalls durch den VFF gefördert). Für mehr Information zur Exkursion und zum Wirken unserer AG empfehlen wir unsere Blogseite: <https://blogs.hrz.tu-freiberg.de/grubenwehr/>

Glück Auf

■ Lukas Manthey



Foto: Reinhard Seyfarth

Exkursion der Freiburger Verfahrenstechniker zur AICHEMA 2018 und zur Evonik Technology & Infrastructure GmbH Hanau

Vom 11. bis 13. Juni 2018 ging es für 27 Studenten des Studiengangs Verfahrenstechnik unter der Leitung von Herrn Dr. Seyfarth, organisiert vom Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik (ITUN), auf eine dreitägige Exkursion nach Frankfurt am Main. Auf dem Programm standen der Besuch der weltgrößten Messe für Verfahrenstechnik (die alle drei Jahre stattfindet) sowie die Besichtigung eines Unternehmens der Spezialchemiebranche.

Unsere Reise begann am Montag um 6 Uhr, eine für uns Studenten ungewöhnliche Zeit. Das nahmen wir, 27 Studenten der Fakultät 4, aber gern auf uns, um in der verfügbaren Zeit möglichst viel über die zukünftige Tätigkeit eines Verfahrenstechnikers zu erfahren. Zur Gruppe gehörten Kommilitonen vom 4. Semester an – bis zu angehenden Masterstudenten im 10. Semester aus allen Vertiefungsrichtungen.

In Frankfurt ging es nach dem Gruppenfoto sofort auf einen geführten Rundgang über die Messe. Unsere Betreuer vom ITUN hatten im Vorfeld bereits neun Firmen als Anlaufziele ausgewählt. Dadurch erhielten wir einen Einblick in die Vielfalt der Aktionsfelder eines Ingenieurs der Verfahrenstechnik. Neben Softwareunternehmen für Simulationsprogramme (wie Chemstations Berlin), Anlagenbauern (wie DeDietrich) oder den Alexanderwerken waren dies auch Hersteller von Pelletiermaschinen und Membranmodulen.

Dabei wurden nicht nur die Unternehmen einfach vorgestellt, sondern auch interessante Informationen zu Praktika und zu Einstiegsmöglichkeiten für Absolventen vermittelt. Am Abend war das tagsüber schöne Wetter erst einmal vorbei. Zur Stunde der Ankunft in der Jugendherberge Büdingen regnete es in Strömen. Da wegen des Wetters niemand Lust hatte, noch in die Stadt zu gehen, wurde das Abendessen im Haus improvisiert. Der Herbergsvater stellte Getränke zur Verfügung, und ein Pizzadienst machte das Geschäft des Monats. Nach einigen Karten- und Würfelspielen zollten wir jedoch dem anstrengenden Tag Tribut.

Am Dienstag musste unser Busfahrer geschickt improvisieren, da die Stadt Frankfurt anscheinend nur noch aus Staus bestand. Schließlich gelangten wir dann doch zur Messe und konnten mit den am Vortrag erworbenen Kenntnissen unter den 5.000 Ausstellern jene herausfinden, die uns am meisten interessierten. Pflastermüde trafen wir uns am Abend – alle pünktlich – wieder am Bus. Zum Abendessen in der Jugendherberge hatten unsere Betreuer sich etwas Besonderes einfallen lassen. Es gab Vegetarisches und Fleisch vom Grill, zubereitet von Prof. Bräuer persönlich. Beim Essen konnten wir uns untereinander und mit den noch zu uns gestoßenen Assistenten des ITUN austauschen. Da sich auch das Wetter gebessert

hatte, wurde es ein gelungener Abend.

Der Mittwoch begann sehr zeitig, um rechtzeitig am Werkstor der Firma Evonik Technology & Infrastructure GmbH in Hanau zu sein. Dr. Laackmann und sein Team hatten dort ein umfangreiches Besichtigungsprogramm organisiert. Nach dem Vortrag eines Mitarbeiters der Firmenleitung konnten wir Miniplantanlagen in allen Einzelheiten besichtigen. Besonders informativ war der Walk & Talk-Spaziergang in kleinen Gruppen, bei dem die Gelegenheit zu individuellen Fragen an Mitarbeiter der firmeneigenen Forschungs- und Entwicklungsabteilungen wahrgenommen wurde. Während des Mittagessens gab es Gelegenheit, diese Gespräche noch zu vertiefen.

Ziel dieser Reise war es, verschiedenste Anwendungsbereiche der Verfahrenstechnik kennenzulernen, über den Rand des Universitätsalltags einmal hinauszublicken sowie Kontakte zur Industrie zu knüpfen. Ohne die finanzielle Unterstützung durch die Fakultät 4, des VFF der TU Bergakademie Freiberg sowie der DEHEMA wäre diese Exkursion nicht realisierbar gewesen. Dafür möchten wir uns ganz herzlich bedanken. Es war eine rundum erfolgreiche und informative Exkursion, die wir jedem Studenten unseres Studiengangs empfehlen können.

Reinhard Seyfarth, Lisa Lange, Rike Pfeufer, Sebastian Herrmann, Anke Seelhorst

Fachexkursion zur Hochschule Neubrandenburg

Karl-Heinz Löbel

Vom 15. bis zum 20. Juli 2018 waren sechs Studierende des 4. Semesters des Studiengangs **Marktscheidewesen und Angewandte Geodäsie** auf einer Exkursion an der Hochschule Neubrandenburg.

Nach einer herzlichen Begrüßung durch Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Heger wurde am Montagmorgen mit instrumententechnischen Untersuchungen begonnen. Für den ersten Tag standen die Komparierung der Strichcode-Latten für das Trimble DiNi mit dem sogenannten „Maurer-Komparator“ und die klassische interferometrische Prüfung (manuelle Ablesung an den Teilstrichen) der dm/2-Teilungen der Latten für das Ni005 von Carl-Zeiss JENA auf dem Programm.

Um ca. 18 Uhr wurden die Untersuchungen erfolgreich abgeschlossen. Am Dienstag standen die Frequenz-Prüfung der Totalstation Trimble S8

und Komparierungsmessungen mit diesem Instrument auf der ca. 20 km von Neubrandenburg entfernt bei dem Dorf Ganzkow gelegenen Prüfstrecke auf dem Programm. Außer der Trimble S8 konnte Herr Dipl.-Inf. A. Geier auch unseren terrestrischen Laserscanner RIEGL VZ 400 auf der 1.1 km-langen Prüfstrecke untersuchen. Gegen 20 Uhr erreichte die Exkursionsgruppe ihre Unterkunft im Hotel Kreuzbruchhof in Burg Stargard.

Der Mittwoch war für Untersuchungen an den Nivellierinstrumenten zur sogenannten Ablaufkurve der Kompensatoren, an klassischen optisch-mechanischen Theodoliten Theo 010A und Theo 015B von Carl Zeiss JENA sowie an den reichlich im Labor installierten Kollimatoren reserviert.

Der letzte Tag für studentische Aktivitäten war, wie schon im vergangenen

Jahr, ausführlich der Thematik „Orientierungsmessungen mit Vermessungskreiseln“ gewidmet. Nach einer gründlichen Wiederholung der bereits in Freiberg vermittelten grundlegenden Kenntnisse und einer detaillierten Erweiterung und Vertiefung gerätespezifischer Aspekte konnten praktische Demonstrationsmessungen mit dem von Prof. Heger entwickelten und gebauten Aufsatzkreiseln GYROMAX und dem von Prof. Heger mitentwickelten und gebauten automatischen Vermessungskreiseln GYROMAT 2000 durchgeführt werden. Am Freitag, dem 20. Juli 2018, traten wir – sehr beeindruckt – die Rückreise an.

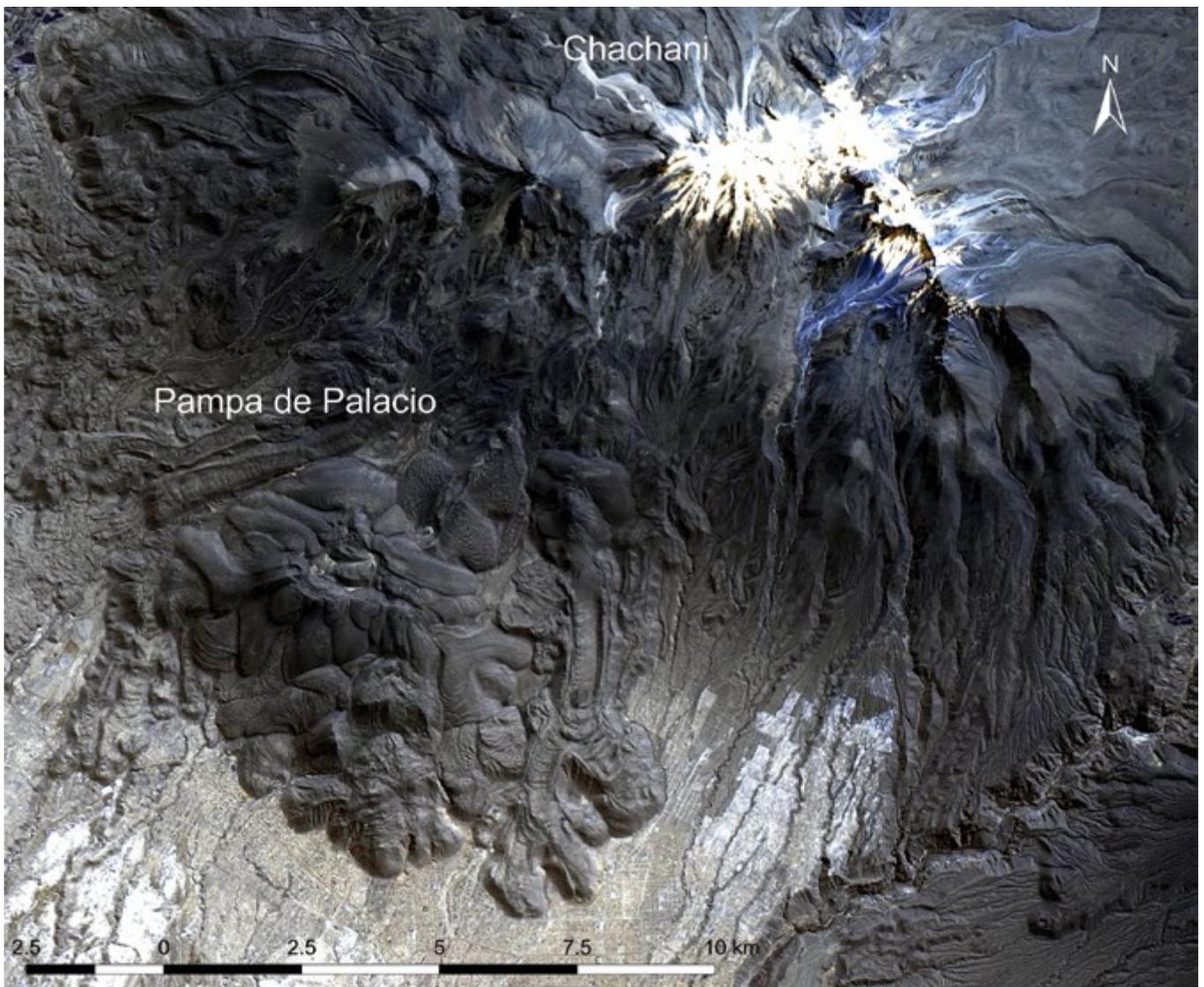
Wir bedanken uns an diese Stelle ausdrücklich für die Unterstützung dieser Fachexkursion bei den Freunden und Förderern der TU Bergakademie Freiberg e. V. und dem Deutschen Markscheider-Verein e. V. – DMV.



Vergleich – Automatische Prüfung im Komparator nach Prof. Maurer und klassische Lattenprüfung



Messung in allen Kombinationen (8 Pfeiler auf 1100 m verteilt) auf der Kalibrierstrecke bei Ganzkow



Der Pampa de Palacio Lavadom-Komplex und der Vulkan Chachani auf Satellitenbildern (Landsat 8 OLI)

Lavadom am Fuß des Vulkans Chachani (Peru)

Ai Lun

Vulkane sind großartige Naturwunder der Erde, vor allem in Südamerika! Die jüngsten und aktivsten Vulkane sind entlang der Anden verteilt – das Resultat der Subduktion der ozeanischen Nazca-Platte unter die kontinentale südamerikanische Platte.

Die Vulkane der Anden werden in drei verschiedene Zonen eingruppiert: die nördliche Vulkanzone (NVZ), die Zentrale Vulkanzone (CVZ) und die südliche Vulkanzone (SVZ). Die Zentrale Vulkanzone erstreckt sich vom Süden Perus bis nach Chile, über Teilgebiete im Südwesten Boliviens sowie im Nordwesten Argentiniens. Die beiden benachbarten Vulkane Chachani (Nevada de Chachani) und El Misti sind beide Teil der CVZ; sie befinden sich ca. 20 km nördlich der Stadt Arequipa im Süden Perus. Die erste Eruption des Vulkans Chachani hat im Pliozän stattgefunden

(Bullard, 1962); danach verlagerten sich die vulkanischen Aktivitäten nach Süden zum El Misti.

Seit der letzten Eruption des El Misti im 15. Jh. wird immer noch eine erhöhte Erdbeben- und Fumarolen-Aktivität registriert. Heute expandiert dort die Stadt Arequipa sehr schnell, und die Ansiedlungen wachsen mittlerweile sogar die Hänge der beiden Vulkane hinauf. Die Stadt und die beiden Vulkane bilden eine einzigartige Szenerie mit einer eigenartigen Schönheit, jedoch ist die Region von ernstzunehmenden vulkanischen Gefahren bedroht. Beide Vulkane stehen daher unter genauer Beobachtung durch peruanische und internationale Experten.

Forschungsgegenstand meiner kombinierten Masterarbeit und -kartierung ist der Lavadom-Komplex Pampa de Palacio,

der sich auf der Südseite des Vulkans Chachani an dessen Fuß befindet. Dieser Lavadom-Komplex hat einen Durchmesser von 8 Kilometern. Im Osten ist er aus langgezogenen Lavaströmen aufgebaut, die typische Levee-Strukturen an den Seiten und brekzierte Bereiche an der Lavafront aufweisen. Einige Einheiten im Westen bilden mächtige Dome. Der Lavadom-Komplex Pampa de Palacio besteht aus hochviskoser andesitischer Lava mit der typischen, gerippten Oberfläche (sog. Ogive-Morphologie). Diese gut erhaltene Morphologie deutet darauf hin, dass dieser Lavadom-Komplex sehr jung ist (270.000 ± 80.000 Jahre, de Silva 1990) und genetisch vermutlich mit der letzten Aktivitätsphase des Vulkans Chachani zusammenhängt.

Ein Ziel meiner Masterarbeit ist es, eine hochwertige geologische Karte des



Geländearbeiten gemeinsam mit den Kollegen des Ingemmet Perú

Pampa de Palacio Lavadom-Komplexes, basierend auf Satellitendaten, zu erstellen. Die Satellitendaten können auch für die Analyse der Oberflächenmorphologie, für die Berechnung des Volumens, der Aspect Ratios (Höhe gegen Länge), der Steigungsverteilung und anderer Parameter von jedem Lavastrom und jeder Dom-Einheit verwendet werden. Der zweite Teil meiner Masterarbeit umfasst petrologische und geochemische Analysen, um die Modalzusammensetzung und die Textureigenschaften verschiedener Lavaprobe zu charakterisieren und miteinander zu vergleichen. Die Kombination von Fernerkundungs- und petrologisch-geochemischen Methoden kann uns helfen, die Entstehungs- und Einlagerungsgeschichte dieses einzigartigen Lavadom-Komplexes zu verstehen.

Der Pampa de Palacio Lavadom-Komplex wurde bisher nicht eingehend untersucht. Es liegen kurze Beschreibungen von de Silva (1991) und Thouret (2001) vor. Um eigene Beobachtungen und eine Beprobung der Laven durchzuführen, waren Prof. Christoph Breitzkreuz vom Geologischen Institut der TU Bergakademie Freiberg und ich in diesem Jahr von 5. bis 11. Februar 2018 nach Arequipa geflogen. Dort kooperierten wir mit dem lokalen geologischen Institut Ingemmet Perú. Während der aufschlussreichen einwöchigen Geländearbeit, zusammen mit peruanischen Kollegen, tauschten wir

unsere Erfahrungen aus, beschrieben die Aufschlüsse im Detail und machten Fotos, um die auftretenden Varietäten der Lavamorphologie zu dokumentieren. Wir kehrten mit insgesamt 25 Lavaprobe nach Deutschland zurück. Von diesen Proben wurden in der Schleiferei des Geologischen Instituts der TU Bergakademie Freiberg 16 polierte Dünnschliffe hergestellt. Die restlichen Proben wurden an die Firma Bureau Veritas gesendet, um geochemische Analysen (Gesamtgestein inklusive SEE) durchführen zu lassen. Zusätzlich wird die Oberfläche einiger Lavaprobe einer Spektralanalyse unterzogen, um die spektralen Eigenschaften der Laven zu identifizieren und die Genauigkeit der geologischen Kartierung mittels Methoden der Fernerkundung zu verbessern. Die fernerkundlichen Untersuchungen und die Spektralanalyse werden am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) unter der Betreuung von Dr. Richard Gloaguen ausgewertet bzw. durchgeführt.

Während des Besuchs im Ingemmet Perú waren wir sehr beeindruckt von der dort praktizierten Überwachung mehrerer aktiver Vulkane der Region wie des El Misti, des Sabancay und Geländearbeiten gemeinsam mit den Kollegen des Ingemmet Perú u. a. sowie von den aufwändigen Informationskampagnen über die vulkanischen Gefahren für die Bevölkerung. Dieses Jahr startete Ingemmet Perú ein dreijähriges Projekt zur Aktualisierung

der geologischen Karte des Chachani, da die bisherigen geologischen Karten einen Maßstab von nur 1:50.000 besitzen. Weiterhin soll eine Gefahrenkarte für den Vulkan erarbeitet werden. Meine Masterarbeit stellt eine wertvolle Ergänzung und Referenz für das Projekt dar.

Ich bin sehr dankbar für die finanzielle Unterstützung meiner Masterarbeit durch den Verein der Freunde und Förderer der Technischen Universität Bergakademie Freiberg! Insbesondere möchte ich Herrn Prof. Christoph Breitzkreuz danken: Ohne seine finanzielle und wissenschaftliche Unterstützung wäre diese fantastische Geländearbeit nicht möglich gewesen. Des Weiteren danke ich meinen peruanischen Kollegen für die schönen Erfahrungen und Erinnerungen und meinem Zweitbetreuer, Herrn Dr. Richard Gloaguen mit seinem Fernerkundungsteam vom HIF für ihre Hilfe, die es mir ermöglichte, meine Masterarbeit erfolgreich abzuschließen.

Literatur

- Bullard, Fred M., 1962. Volcanoes of Southern Peru. *Bull Volcanol*, 24, p. 443-453
- de Silva, S.L., Francis, P.W., 1990. Potentially active volcanoes of Peru – observations using Landsat Thematic Mapper and Space Shuttle imagery. *Bull Volcanol*, 52, p. 286-301
- de Silva, S.L., Francis, P.W., 1991. Volcanoes of the Central Andes. Berlin, Springer, p. 216
- Thouret, J-C., Finizola, A., Fornari, M., Legeley-Padovani, A., Suni, J., and Frechen, M., 2001. Geology of El Misti Volcano near the city of Arequipa, Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 113(12), p. 1593-1610

Summer School im Reich der Mitte

Linus Walter, Lukas Franiel

Im Sommersemester 2018 wurde vom Internationalen Universitätszentrum angeboten, für einen Monat an einer Summer School an der China University of Mining Technology (CUMT) teilzunehmen. Wir, Lukas Franiel und Linus Walter, bewarben uns auf die zwei freien Plätze und erhielten Ende April die freudige Nachricht, dass wir für das Programm ausgewählt worden waren.

So stiegen wir am 9. Juni hochmotiviert in eine Maschine der China Southern Airlines am Frankfurter Flughafen und traten nach guten 15h Reisezeit schließlich hinaus in die brütend schwüle Hitze Pekings. Da wir, bedingt durch ein relativ günstiges Angebot für unseren Flug, ein paar Tage früher angereist waren, hatten wir die Gelegenheit, die Hauptstadt nun ein wenig auf eigene Faust zu erkunden.

Vier Tage später trafen wir auf den restlichen Teil der Gruppe, bestehend aus 35 Studierenden aus 13 verschiedenen Nationen, u. a. aus Vietnam, Schweden, Bulgarien, Südafrika und den USA, um nur einige davon zu nennen.

Nach einer Besichtigung der Chinesischen Mauer und des berühmten Himmelstempels nahmen wir den Schnellzug, um mit konstanten 300 km/h in Richtung Xuzhou zu fahren. Mit ungefähr acht Millionen Einwohnern ist Xuzhou eine größere Provinzstadt in der Region Jiangsu, gelegen an einem malerischen See und Standort der renommierten chinesischen Bergbauuniversität CUMT. Untergebracht waren wir in den Wohnheimen der Uni, die zu den besten Chinas zählen sollen. Leider waren die Matratze und die Bettdecke hinsichtlich ihrer Dicke nahezu identisch, wodurch sich die darunter befindlichen Holzbretter einen festen Platz in unseren nächtlichen Träumen sicherten. Jedoch waren wir nicht nach China gefahren, um uns über alle Unterschiede zu Deutschland zu beschweren, sondern um das Leben der chinesischen Studierenden kennenzulernen. Vor diesem Hintergrund ging es uns eigentlich ziemlich gut.

In der fachspezifischen Vorlesung „Modern Coal Mining Technologies“ lernten

wir viel über den chinesischen Kohlebergbau. Zahlreiche der Technologien werden in Deutschland schon lange eingesetzt, wobei die Chinesen diese aber fleißig weiterentwickeln und ihren Lagerstättenverhältnissen und lokalen Rahmenbedingungen anpassen. Mit unserem westlichen Blick belächeln wir China oft wegen seiner mangelhaften Standards in punkto Umweltschutz und Arbeitssicherheit. Jedoch haben die zuständigen chinesischen Stellen gerade in diesen Bereichen zahlreiche Forschungsvorhaben auf den Weg gebracht und erzielen seit den letzten Jahren erhebliche Fortschritte.

In einem der Campus Cafés kamen wir mit dem Leiter des Internationalen Universitätszentrums ins Gespräch und wurden von ihm eingeladen, das „National Key Laboratory for Rock Mechanics and



Studenten der AGH Krakau und der TU Bergakademie Freiberg auf der Chinesischen Mauer. v.l. Natalia Kowalska, Lukas Franiel, Damian Biel, Linus Walter

Underground Mining“ zu besichtigen. Was wir zu sehen bekamen, war wohl eines der bestausgestatteten Labore für Felsmechanik in ganz China. Zusammen mit zwei Doktoranden hatten wir die einmalige Möglichkeit, diverse Versuche zu besprechen und uns bisher unbekannte Versuchsaufbauten zu begutachten.

Nach einem schweißtreibenden Tag bei 35° C und gefühlten 120% Luftfeuchtigkeit war ein kühles Bierchen am Wasser mit unseren neuen Kommilitonen genau das Richtige. Bei diesen Gelegenheiten konnte man über Gott und die Welt debattieren und nebenbei erfahren, wie die Studierenden in aller Welt so leben. Beispielsweise, dass es in Indonesien kein Problem ist, im Fluss zu schwimmen, wenn man ein bisschen auf die Krokodile aufpasst und dass unsere chinesischen Kommilitonen wahre Karaoke-Talente sind, Clubs und Kneipen aber eher meiden. Ebenso stellte sich heraus, dass sowohl die Studierenden

von der AGH Krakau, der Bergbau-Universität St. Petersburg als auch die vom German Mongolian Institut of Resource and Technology bereits in Freiberg gewesen waren, und wir uns quasi fast schon einmal über den Weg gelaufen sind. So klein ist die Welt.

Des Weiteren beleuchteten wir im Rahmen des Moduls „International Politics“ diverse globale Bündnisse und Abkommen. Hierbei zählte die Vorlesung zur gigantischen chinesischen „One Belt, One Road“-Initiative (Wiederbelebung der historischen Seidenstraße) zu den wohl beeindruckendsten Unterrichtseinheiten. Kritische Themen, wie die Territorialpolitik Chinas, wurden dabei jedoch meistens umschifft – aber auch das gehört zur Realität in diesem Land: Zu bestimmten Themen schweigt man lieber.

Abseits des Stundenplans hatten wir ein vielseitiges und straffes Kulturprogramm. Neben der Besichtigung des Geburtsorts des Konfuzius nahmen wir an einer Teezeremonie teil, lernten ein wenig Chinesisch, studierten eine Taj-Chi-Choreografie ein, besuchten ein Kaisergrab mit einer Terrakottaarmee und bereiteten chinesische Spezialitäten zu. Gerade das Essen war für uns jeden Tag ein Erlebnis. So wussten wir fast nie, was wir bestellten; man zeigte einfach auf ein Essen und hoffte, dass es schmeckt. Auf diese Weise be-

kamen wir einen wunderbaren Eindruck von der schier unendlichen Vielfalt der chinesischen Küche.

In Shanghai fand die Summer School schließlich ihren Abschluss, und es wurde Zeit, die zahlreichen tollen Menschen zu verabschieden, die wir in den vergangenen vier Wochen kennenlernen durften. Im Flieger hoch über der Dunstglocke von Shanghai machte sich schließlich ein äußerst befriedigendes Gefühl in uns breit: Wir hatten es geschafft. Das zuvor so weit entfernte und unnahbare China mit seinen riesigen Dimensionen war für uns nun begreifbarer geworden. Weiterhin hatten wir ein Netzwerk mit Studierenden aus aller Welt aufbauen können und werden die vielen, wundervollen Begegnungen für immer in Erinnerung behalten. An dieser Stelle bedanken wir uns ausdrücklich beim Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg für die großartige Unterstützung unserer Exkursion.



SEISMIX 2018 in Polen

„Die SEISMIX“ ist ein internationales Symposium zu seismischen Abbildungsverfahren, das alle zwei Jahre gehalten wird.

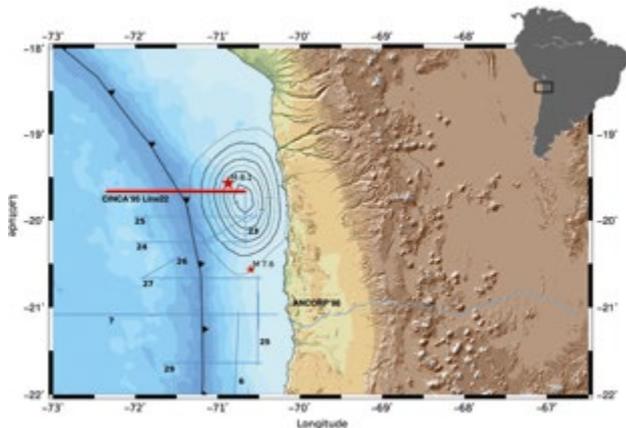
Die Tagung fand erstmalig 1984 in Cornell (USA) statt und seitdem auch in Kanada, Australien, Finnland, China, Spanien und vielen weiteren Ländern der Welt. Die ursprüngliche Motivation zur „SEISMIX“ stammt von einer Gruppe von Seismikern, die sämtliche nationalen Programme mit reflexionsseismischen Profilen auf den Kontinenten und ihren Rändern verfolgen wollten. Innerhalb des letzten Jahrzehnts hat sich die SEISMIX erheblich diversifiziert – von reflexionsseismischen Profilen über kontinentale Krusten bis hin zu sämtlichen Methoden seismischer Abbildungsverfahren, die auf große Tiefen angewendet werden können – zur Abbildung der Kruste und der darunterliegenden Lithosphäre. Der Schwerpunkt liegt somit bei neuen Methoden und ihren Anwendungen und darin, unser Verständnis der Kruste und Lithosphäre bezüglich Dynamik, Struktur und der in ihr ablaufenden Prozesse voranzubringen.

In diesem Jahr kamen ca. 100 Teil-

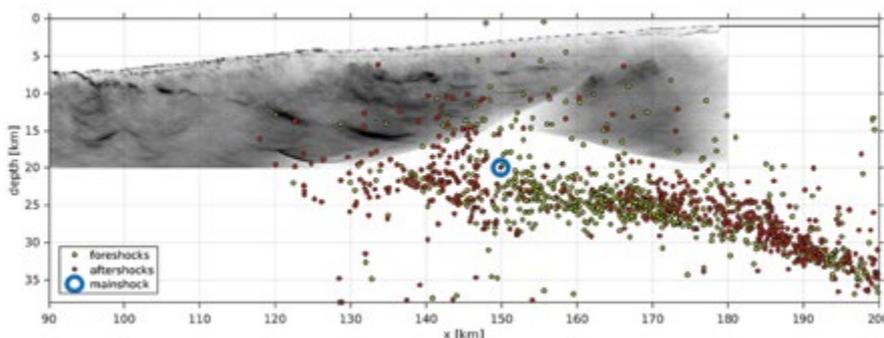
nehmer aus Nordamerika, Asien, Australien und Europa nach Krakau. Es gab 66 Vorträge (13 % Frauenanteil) und 48 Poster. Wir sind in einer Gruppe aus vier Wissenschaftlern und unserem Prof. Buske aus Freiberg angereist. Mein Vortrag hatte den Titel „Seismic images of the North Chilean subduction zone prior to the 2014 Iquique earthquake“. Das Hauptanliegen meiner Arbeit besteht darin, ein seismisches Abbild der Subduktionszone vor Nordchile zu berechnen, und zwar genau in dem Bereich, wo 2014 ein großes Erdbeben stattgefunden hat. Solch ein seismisches Abbild kann man vergleichen mit einem Ultraschallbild in der Medizin. Nur dass hier ganz andere Größenskalen betrachtet werden und die Erde mit elastischen Wellen „durchleuchtet“ wird. Mein seismisches Abbild zeigt viele tektonisch interessante Strukturen und ergänzt sich hervorragend mit den bisherigen Erkenntnissen zu den in diesem Gebiet lokalisierten Beben. Ich habe auf dieser Tagung hilfreiche Hinweise zur Interpretation von Strukturen erhalten, neue Ideen gesammelt und vor allem eine starke Motivation für meine weiterführende Arbeit erhalten. Daher danke ich dem Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg für die finanzielle Unterstützung zur Teilnahme an dieser Tagung.

Ina Storch

Lage des seismischen Profils und Bruchzone des Iquique Erdbebens von 2014 vor der Küste Nordchiles, Südamerika



Seismisches Tiefenabbild der nordchilenischen Subduktionszone bei ca. 19,5° S. Dem hinzugefügt sind lokalisierte Beben dieser Region (Sippl et al., 2018) vor und nach dem großen M8.1 Iquique Erdbeben von 2014.



SOMP 2018 in China

Die 29. Jahrestagung und Konferenz der Society of Mining Professors – Societät der Bergbaukunde (SOMP) fand vom 3. bis 6. Juli 2018 in Peking, China, statt. Das Treffen wurde unter der Schirmherrschaft des Bildungsministeriums der Volksrepublik China gemeinsam mit der University of Science and Technology Beijing, der China University of Mining and Technology (Beijing) und dem North China Institute of Science and Technology veranstaltet. Als Juniormitglied der Society of Mining Professors habe ich an der SOMP Jahrestagung 2018 als Vertreter der TU Bergakademie Freiberg teilgenommen. Es war das erste Mal, dass dieses Jahrestreffen in Asien stattfand, was den Teilnehmern die Möglichkeit gab, Einblicke in die asiatische Bergbauindustrie und die dortige Kultur zu bekommen. Die Konferenz thematisierte die Bergwerke der Zukunft und die nächste Generation von Bergleuten im Hinblick auf die Möglichkeiten und Herausforderungen der Zusammenarbeit mit China's Belt and Road Initiative. Im Rahmen dieses Themas hatte ich einen Artikel eingereicht und hielt einen Vortrag mit dem Titel *The Potentials of scientific and industrial collaborations in the field of rare earth elements through China's Belt and Road Initiative*. Das Thema weckte das Interesse vieler Konferenzteilnehmer. Daher ist mit einer zukünftigen Zusammenarbeit zwischen der TU Bergakademie und chinesischen Forschungsinstituten zu rechnen.

Ich konnte auch an der Sitzung des Ausschusses für den Aufbau von Kapazitäten (Capacity Building Committee) als eines seiner Mitglieder teilnehmen. Im Mittelpunkt stand dabei die Suche nach Möglichkeiten, der Society of Mining Professors neue Mitglieder aus aller Welt vorzustellen. Im Anschluss an die Sitzung des Komitees koordinierte ich eine Diskussionsrunde mit allen Konferenzteilnehmern, in der die Erstellung eines Leitfadens mit Informationen und Hinweisen zu Fördermöglichkeiten für Nachwuchs- und Senior-Forscher weltweit beschlossen wurde.

Nach Abschluss der Jahrestagung nahm ich an Exkursionen teil. Die Fachexkursionen boten die Besichtigung eines untertägigen Steinkohlenbergwerks in der Provinz Shanxi und des Steinkohlentagebaus Antaibao in der Provinz Shanxi. Abschließend gesagt, bot mir diese Konferenz eine großartige Gelegenheit, die chinesische Bergbaukultur kennenzulernen, neue akademische Kontakte zu knüpfen und neue Kooperationsmöglichkeiten für das Institut für Bergbau der TU Bergakademie Freiberg zu erschließen.

George Barakos

Chronik 2019

1244–775 Jahre

- Münzstätte in Freiberg erstmals urkundlich erwähnt

1494 – 525 Jahre

- (24.03.) Georgius Agricola geboren, bedeutender Montanwissenschaftler und Universalgelehrter, Weltberühmtheit erlangte er durch sein Hauptwerk „De re metallica libri XII“

1594 – 425 Jahre

- (07.01.) Lazarus Ercker gestorben, Berg- und Münzmeister in Sachsen, Braunschweig und Böhmen, erste Darstellungen der Probierkunde in seinen zwei 1556 und 1573 erschienenen Probierbüchern

1719 – 300 Jahre

- (13.03.) Johann Friedrich Böttger gestorben, Alchemist, Chemiker und Erfinder, erfand 1708/10 auf Grundlage der Arbeiten von Ehrenfried Walter Graf von Tschirnhaus (1651–1708) und unter Beteiligung von Freiburger Hüttenleuten das europäische Hartporzellan

1744 – 275 Jahre

- (26.01.) Johann Friedrich Henckel gestorben, Arzt, Mineraloge, Metallurg und Chemiker, 1732 Bergrat, unterrichtet seit 1721 Interessenten in Montanwissenschaften und erteilt seit 1733 in seinem Freiburger Laboratorium v.a. chemisch-metallurgischen Unterricht

1769 – 250 Jahre

- (04.02.) Friedrich Wilhelm von Oppel gestorben, seit 1763 Oberberghauptmann, Mitbegründer der Bergakademie Freiberg
- (05.02.) James Watt jun. geboren, Student 1787, Sohn des Erfinders der Dampfmaschine James Watt (1736–1819), Teilhaber der Firma Boulton & Watt in Soho, förderte die Dampfschiffahrt in England

- (17.08.) Jean François d'Aubuisson de Voisins geboren, Student 1797/1802, Chefingenieur im französischen Corps des Mines

- (14.09.) Alexander von Humboldt geboren, Student 1791/92, preußischer Bergbeamter, Privatgelehrter, universeller Naturforscher

1794 – 225 Jahre

- (02.09.) Friedrich August Köttig geboren, Student 1811/15, Arkanist (Chemiker) und später Betriebsinspektor an der Porzellanmanufaktur Meißen, 1828 Erfinder des sog. Meißner Laurussteinblaus (Ultramarin)

- (03.09.) Kurt Alexander Winkler geboren, Student 1811/13, Oberhüttenamtsassessor und Oberschiedswarden in Freiberg, später Faktor und Hütteninspektor der Blaufarbenwerke Zschopenthal und Niederpfannenstiel

1819 – 200 Jahre

- Erster Student aus Nordamerika, William Keating (Matr.-Nr. 919)
- (23.05.) Oswald Erhard Römisch geboren, 1849/56 Professor für Bergrecht und bergmännischen Geschäftsstil, Geheimer Rat und Präsident der Oberrechnungskammer in Dresden
- (16.07.) Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra gestorben, Student 1766/67, erster Student der Bergakademie, 1801–1819 Oberberghauptmann in Freiberg

1844 – 175 Jahre

- erste Dampfmaschine im Freiburger Bergbau auf der Grube „Reicher Bergsegen“ bei Brand-Erbisdorf in Betrieb genommen
- Baubeginn des Rothschnöberger Stollns

- (11.08.) Hermann Undeutsch geboren, 1874–1910 Professor für Mechanik und Bergmaschinenlehre

1869 – 150 Jahre

- 1. austral. Student, William Matheson (Matr. 2597)
- Bildung einer dreiköpfigen Bergakademie-Direktion; Ende August 1871 Aufhebung und Einführung der Direktors-Verfassung

- (03.01.) Das allgemeine Berggesetz für das Königreich Sachsen tritt in Kraft; Aufhebung des Direktionsprinzips und des Oberbergamts, Einführung des Inspektionsprinzips

- (01.03.) Eröffnung der Eisenbahnstrecke von Freiberg nach Chemnitz

- (30.04.) Ernst Wilhelm Ziervogel gestorben, Student 1824/26, Hütteningenieur in England und Brasilien, Hüttenmeister in Mansfeld, erfand Verfahren der Nassmetallurgischen Silber-Abtrennung aus Kupferstein

- (26.05.) Hermann Pfeifer geboren, 1925 Ehren-doktor, Generaldirektor der Sächsischen Gussstahlwerke AG, Döhlen

- (24.06.) Carl August Junge gestorben, 1855/69 Professor für Mathematik, 1856 darstellende Geometrie, ab 1859 praktische Markscheidekunst

- (03.09.) Albert Rys gestorben, 1930 Ehren-doktor, Abteilungsdirektor und Prokurist der Fa. Krupp, Essen

1894 – 125 Jahre

- (15.02.) Anatoli N. Pochwisnew geboren, 1955 Ehrensenator, Professor am Moskauer Institut für Stähle und Legierungen, 1954/56 Gastprofessor am Eisenhütten-Inst. der Bergakademie

- (27.03.) Alexander Krupkowski geboren, 1961 Ehren-doktor, Professor für Nichteisen-Metallurgie, Bergakademie Kraków

- (11.06.) Franz Sauerwald geboren, 1965 Ehren-doktor, em. Professor für physikalische Chemie, Universität Halle

1919 – 100 Jahre

- 1919 Bildung eines Allgemeinen Studentenausschusses (ASTA)

- (10.01.) Herbert Krug geboren, 1966–1984 Professor für Brikkettieren, ab 1969 für Verfahrenstechnik (Agglomerations-, Trocknungs- und Entstaubungstechnik), 1985 Ehrensenator

- (18.01.) Erika Pohl-Ströher geboren, 2005 Ehrensenatorin, 2008 Ehren-doktorin, Stiftung einer bedeutenden, umfangreichen Mineraliensammlung für die TU Bergakademie Freiberg

- (31.03.) Adolph Julius Hugo Kochinke gestorben, Oberhüttenmeister in Muldenhütten, Oberhüttenvorsteher und Direktor des Oberhüttenamts in Freiberg

- (06.04.) Theodor Erhard gestorben

- (24.04.) Emilio Bahlsen gestorben, Student 1881/85, Professor für Metallhüttenkunde an der Universität Tokio

- (01.05.) Vom 1913 stillgelegten Bergwerk „Himmelfahrt Fundgrube“ übernimmt die Bergakademie die Schächte „Reiche Zeche“ und „Alte Elisabeth“ als Lehrbergwerk

- (06.06.) Josef Hojdar geboren, 1981 Ehren-doktor, Professor für Mechanisierung im Tagebau an der Hochschule für Bergbau und Hüttenwesen Ostrava

- (29.06.) Wataru Watanabe gestorben, Student 1882/85, Professor für Bergbaukunde an der Universität Tokio

- (22.07.) Wladimir W. Rshewski geboren, 1967 Ehren-doktor, Professor und Rektor des Bergbau-Instituts Moskau

- (18.08.) Richard Beck gestorben, 1895–1919

- Professor für Geologie, Lagerstättenlehre und Versteinerungslehre, Direktor des Geologischen Instituts

- (02.10.) Oldrich Hajkr geboren, 1980 Ehrendoktor, Professor und Rektor der Bergbau-Hochschule Ostrava

- (24.11.) Pavle Pavlovic geboren, Student 1941/1945, 1979 Ehrendoktor, Professor und Direktor des Metallurgischen Instituts Sisak

1944 – 75 Jahre

- (26.01.) Willy Heike gestorben, 1906–09 Dozent für Eisenprobierkunde, 1909/36 Professor für Metallographie und Physikalische Chemie

- (15.05.) Eberhard Rimann gestorben, Student 1906/08, 1920–1944 Professor für Mineralogie und Geologie an der TH Dresden

- (07.06.) Theodor Ludwig Julius Choulant gestorben, Student 1882/86, Leiter der Münze in Muldenhütten, Oberhüttenverwalter der Muldner Schmelzhütte

- (07.10) Luftangriff auf Freiberg (Ziel Bahnhof): 172 Tote, Zerstörung des Treibehauses der Roten Grube

- (28.12.) Arnold Picot geboren, 1998 Ehrendoktor, Professor sowie Vorstand des Instituts für Information, Organisation und Management der LMU München

1969 – 50 Jahre

- (Tag unbekannt) Otto Schubert gestorben, 1953/62 Professor für Bergbaukunde und Direktor des Instituts für Bergbaukunde/Tiefbau

- (21.02.) Eduard Maurer gestorben, 1925/46 Professor für Eisenhüttenkunde, Institutsdirektor

- (17.09.) Hermann Jung gestorben, 1954/64 Professor für Staub- und technische Silikoseforschung und Direktor des Instituts für Grubensicherheit und Arbeitsschutz

- (12.10.) Kurt Ebert gestorben, 1953/66 Professor für Rechtswissenschaften, 1954/62 kommissarischer Direktor des Instituts für Geschichte des Bergbaus und Hüttenwesens, 1965 Ehrensenator der Bergakademie

1994 – 25 Jahre

- (01.02.) Aus den zwei noch bestehenden Fakultäten (Mathematik und Naturwissenschaften sowie Technische Wissenschaften) und dem Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften werden sechs neue Fakultäten gebildet

- (16.02.) Horst Winterhoff gestorben, 1955/88 Dozent, ab 1967 Professor, zuletzt ab 1969 Professor für Sozialistische Betriebswirtschaft (Preise)

- (07.04.) Kooperationsvertrag mit der Norwegian University of Science and Technology Trondheim (NTNU)

- (23.04.) Fritz Reuter gestorben, 1967–90 Professor für Ingenieurgeologie

- (01.08.) Bildung des Landkreises Freiberg als Vereinigung der bisherigen Landkreise Freiberg, Flöha und Brand-Erbisdorf

- (17.08.) Herbert Grün gestoben, 1958–61 Professor für Walzenkalibrierung, Hüttenmaschinenkunde und Projektierung von Walzwerksanlagen und Schmieden am Institut für Metallformung

- (22.08.) Berufung eines Kuratoriums als beratendes Lenkungsgremium gemäß dem damals gültigen Sächsischen Hochschulgesetz (bestand bis zum 31. Dezember 2008)

- (24.10.) Werner Beck gestorben, 1954/72 Dozent, ab 1958 Professor für Strömungstechnik, 1969 Umberufung zum Professor für Hydraulische und pneumatische Antriebe

■ Roland Volkmer

Jubiläen im Jahr 2018 in Freiberg

Uwe Richter

In der Bergstadt Freiberg werden im Jahre 2018 zwei Jubiläen begangen. Zum einen jährt sich zum 800. Mal der Zeitpunkt der Ersterwähnung des Ortnamens Freiberg und zum anderen wurden vor etwa 850 Jahren silberhaltige Erze auf der heute zu Freiberg gehörenden Flur von Christiansdorf entdeckt.

Stadtjubiläen gab es in Freiberg bereits vor mehr als 350 Jahren. Zusammen mit dem Freiburger Gregoriusfest beging die städtische Lateinschule 1663 eine 500-Jahr-Feier zum ersten Erzfund und zum Gründungsdatum der Stadt.¹ Bereits acht Jahre später, 1671, veranstaltete die Schule wiederum eine 500-Jahr-Feier zur eigentlichen Stadtgründung. Bei diesen Festen handelte es sich um die ersten Stadtjubiläen, die in Sachsen gefeiert wurden. Sie sind zusammen mit dem Gregoriusfest im Rahmen von Schulfeiern begangen worden. Man hatte damals ausgehend von der Datierung des ersten Silberfundes in das Jahr 1163 durch den Freiburger Chronisten und Konrektor der Lateinschule, Andreas Möller,² angenommen, dass 1163 die ersten Erzfunde gemacht worden sein müssten. 1671 wurde wiederum eine 500-Jahr-Feier im Rahmen des Gregoriusfestes begangen, da man zu diesem Zeitpunkt davon ausging, dass sich 1171 aus Christiansdorf eine Stadt entwickelt hat, die zuerst *civitas saxorum* (Sachsenstadt) und später Freiberg genannt wurde.³ Auch hier lieferte Möller die zeitliche Einordnung.⁴ Die zu beiden Festlichkeiten veranstalteten Umzüge, an denen kostümierte Darsteller teilnahmen – so inszenierten Schüler der Lateinschule den ersten Erzfund und das Gründungsdatum der Stadt –, gelten als die ältesten historischen Stadtumzüge Sachsens.⁵

Für Freiberg wie für alle anderen sächsischen Städte gibt es keine Gründungsurkunde. Eine Ausnahme bildet lediglich der zwischen 1156 und 1170 datierte Leipziger Stadtbrief, der in einer jüngeren Handschrift aus dem frühen 13. Jahrhundert vorliegt, aber sicherlich auf Tatsachen beruht.⁶ Wir können uns deshalb nur auf andere historische Quellen zur Besiedlung des Freiburger Raumes und zur Frühgeschichte der Stadt sowie auf die Ergebnisse historischer und archäologischer Forschungen berufen.

Im Jahr 1938 feierte man 750 Jahre Stadt Freiberg.⁷ Der Zeitpunkt dieser Feier

war letztendlich politisch motiviert. Die historischen Argumente dafür hatten die beiden Freiburger Historiker Johannes Langer, der die Gründung der Stadt auf um 1180 datierte, und Walter Schellhas, der den Beginn des Bergbaus zeitlich auf um 1180/81 ansetzte, geliefert.⁸

Im Jahr 1986, also 48 Jahre nach der 750-Jahr-Feier der Stadt, wurde das 800-jährige Jubiläum Freibergs begangen. Durch historische Forschungen zur frühen Stadtgeschichte Freibergs, die insbesondere von Manfred Unger ausgeführt worden sind,⁹ und durch die Datierung des Fundes von silberhaltigen Erzen auf Christiansdorfer Flur in die Zeit um 1168/69 durch Walter Herrmann¹⁰ nahm man seit den 60er-Jahren des 20. Jahrhunderts an, dass 1186 eine Stadterhebung der etwas älteren Siedlungen um die Jakobikirche, die Nikolaikirche und die Kirche Unser Lieben Frauen zur Stadt Freiberg vorgenommen worden war. Zwischen 1210 und 1218 sei dann mit der planvollen Anlage der Oberstadt mit Obermarkt und Petrikerche eine Stadterweiterung erfolgt, so der Forschungsstand 1986.

Im Jahr 2012 wurde eine 850-Jahr-Feier zur Besiedlung des Freiburger Landes begangen. Eine zuvor für 2011 geplante 825-Jahr-Feier Freibergs hätte dem neuen Wissensstand zur Frühgeschichte der Stadt nicht mehr entsprochen. Durch archäologische Untersuchungen in der Freiburger Altstadt in den Jahren 1992 und 1993 konnte nachgewiesen werden, dass das jüngste der Freiburger Stadtviertel, die Oberstadt bzw. das Petriviertel, sich spätestens Anfang der 1180er-Jahre im Bau befand. Deshalb muss die Stadtentstehung Freibergs deutlich eher, d. h. um oder kurz nach 1170, angesetzt werden. Die wissenschaftliche Begründung für die 850-Jahr-Feier zur Besiedlung des Freiburger Landes lieferten drei Urkunden aus der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts. Aus ihnen lässt sich schlussfolgern, dass zwischen 1156 und 1162 das Gebiet um Freiberg besiedelt und dabei auch das Dorf Christiansdorf – sozusagen die Vorgängersiedlung Freibergs – gegründet wurde.

Zwischenzeitlich, d. h. zwischen 2012, dem Zeitpunkt des letzten Jubiläums, und heute wurde die zeitliche Einordnung der Entstehung der Freiburger Oberstadt bereits seit den 80er-Jahren des

12. Jahrhunderts durch die Ergebnisse archäologischer Untersuchungen im Petriviertel bestätigt. So ließ der Ausgräber Matthias Schubert vom Landesamt für Archäologie auf dem Grundstück Am Marstall 13 Konstruktionshölzer einer Latrine dendrochronologisch untersuchen. Dabei wurden als Fällzeit die Jahre 1202 bis 1211 ermittelt.¹¹ Auf der Parzelle des ehemaligen Hotels Roter Hirsch, Korngasse 9, fand der ebenfalls am Landesamt tätige Archäologe Josephus Janssen einen Keller. Hier konnte bei einem Tannenpfosten, der die Holzterasse stützte, das Fälldatum auf 1182/83 Winterwaldkante datiert werden.¹²

Im Jahr 2018 werden bzw. wurden nun gleich zwei Jubiläen begangen: 850 Jahre Silberfund und 800 Jahre Ersterwähnung des Ortnamens Freiberg.

Wie oben bereits beschrieben, ist das Entstehungsjahr der Stadt Freiberg nicht bekannt. Die städtische Entwicklung setzte aber nur kurze Zeit nach der Entdeckung silberhaltiger Erze auf Christiansdorfer Flur, also kurz nach 1170, ein. Freiberg wird erstmalig in einer Urkunde aus dem Jahr 1218 genannt. In der Urkunde von Bischof Bruno II. von Meißen, die am 11. Juni 1218 ausgestellt worden ist, geht es um einen Vergleich zwischen dem Kloster Altzelle und Gertrud, der Witwe des Ritters Matthäus von Meißen, über Hufen in Begerwitz sowie um eine Vereinbarung, die zwischen dem Kloster und Hartwig von Meißen über einen Weinberg in Zadel getroffen worden ist.¹³ Begerwitz war eine Grangie (Klostergut) des Klosters Altzelle nördlich von Döbeln, und das Dorf Zadel ist heute ein Ortsteil der Gemeinde Diera-Zehren bei Meißen.

Freiberg spielt in dieser Urkunde insofern eine Rolle, als unter den Zeugen *Hermannus et Winandus et Godefridus de Friberch* genannt werden. An der Urkunde ist das an roten Seidenfäden hängende spitzovale Siegel von Bischof Bruno II. von Meißen befestigt. In diesem Dokument wird erstmals urkundlich die Ortsbezeichnung Freiberg erwähnt. Bei Hermannus und Godefridus, also Hermann und Gottfried, handelte es sich um zwei Priester, wie aus einer Urkunde aus dem Jahre 1223 deutlich wird, in der sie als *sacerdotes* bezeichnet werden.¹⁴ Aus zwei weiteren Urkunden wird ersichtlich, dass

Hermann als Pleban, d. h. als Priester mit pfarrlichen Rechten oder als Pfarrer an der Petrikerkirche tätig war. So wird er 1230 bezeichnet.¹⁵ In einer weiteren Urkunde aus dem Jahr 1233 nennt man ihn Vicar zu St. Peter.¹⁶ Aus diesen unterschiedlichen Bezeichnungen geht hervor, dass beide Prädikate gleichwertig gebraucht wurden. Der Inhalt der Urkunde von 1218 ist also für die Entwicklung und die Geschichte der Stadt Freiberg insoweit von Bedeutung, als darin erstmals der Ortsname Freiberg Erwähnung findet. Weiterhin wird mit Hermann, der als Geistlicher an der Petrikerkirche tätig war, indirekt auch erstmalig die Petrikerkirche genannt. Das ist umso bemerkenswerter, weil damit die jüngste aller fünf Freiburger Pfarrkirchen als erste in den Quellen auftaucht. Sie stand zu dieser Zeit an der Spitze aller Freiburger Gotteshäuser und war noch im Bau.¹⁷ Die anderen vier älteren Pfarrkirchen und das zu Beginn des 13. Jahrhunderts gestiftete Hospital werden 1225 zusammen mit der Petrikerkirche erstmals genannt.¹⁸

Noch etwas später als die Ersterwähnung des Ortsnamens erfolgt in den Quellen die Erklärung, um welchen Typ einer Ortschaft es sich handelt, also ob die Siedlung ein Dorf, einen Markt oder eine Stadt darstellt. Dies hängt natürlich mit dem jeweils erreichten Entwicklungsstand und dem Rechtsstatus des jeweiligen Ortes zusammen. Dresden¹⁹ und Leipzig²⁰ werden 1216 als *civitas*, also als Stadt im rechtlichen Sinne bezeichnet.

Bei Freiberg geschieht dies einige Jahre später. In der bereits im Zusammenhang mit den Priestern Hermann und Gottfried vorgestellten Urkunde aus dem Jahre 1223 ist auch der Passus *in civitate Vriberc* enthalten.²¹ Damit wird auch Freiberg als vollwertige Rechtsstadt angegeben.

Das zweite Jubiläum im Jahr 2018 bezieht sich auf den vor etwa 850 Jahren erfolgten Silberfund.

Der Freiburger Chronist und Konrektor der Lateinschule, Andreas Möller, gibt in seiner 1653 erschienenen Chronik von Freiberg die von Georgius Agricola überlieferte Sage zum Silberfund wieder.²² Möller berichtet, dass Goslarer Fuhrleute in einem Wagengleis Bleierz gefunden haben, das dem Goslarer Erz ähnlich sah. Davon haben sie ein Stück mit nach Goslar genommen und untersuchen lassen. Dort stellte man fest, dass der Silbergehalt noch viel höher als beim Goslarer Erz war. Daraufhin zogen Bergleute in die Gegend, in der sich heute die Stadt Freiberg befindet. Über den Zeitpunkt der

Erzauffindung gibt es unterschiedliche Angaben. Agricola gibt 1157 an, andere Autoren 1153, 1169 und 1180. Andreas Möller selbst schreibt, dass sich der Silberfund nach der Gründung des Klosters Altzelle, also nach 1162, ereignet haben muss, weil ansonsten Markgraf Otto Christiansdorf und die anderen Dörfer nicht dem Kloster übertragen hätte. Möller sieht den Zeitpunkt der Entdeckung des Silbers bei ungefähr um 1163.²³

Der bedeutende sächsische Archivar, Quelleneditor und Landeshistoriker Hubert Ermisch hat mit seinem in drei Bänden erschienenen Urkundenbuch der Stadt Freiberg nicht nur die Grundlagen für die wissenschaftliche Erforschung der mittelalterlichen Geschichte der Stadt gelegt, sondern in seinem Vorbericht zum ersten Band auch den damaligen Forschungsstand analysiert und eine bemerkenswerte, zu großen Teilen bis heute gültige Neubewertung dieser Epoche vorgenommen. Ermisch setzt den Zeitpunkt der Entdeckung der Silbererze in den Zeitraum von 1162 bis 1170.²⁴

Zu anderen Ergebnissen kamen die beiden Freiburger Historiker Walter Schellhas und Johannes Langer. Sie datierten den Beginn des Bergbaus auf um 1180/81, was sie in mehreren Aufsätzen in den zwanziger und dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts auch der Öffentlichkeit kundtaten.²⁵ Es war der schon erwähnte Lehrer und Historiker Walther Herrmann, der die Darstellung von Schellhas und Langer kritisch analysierte und zu jener Neubewertung kam, die bis heute Bestand hat.²⁶ Im Jahr 1162 gründete Otto das Zisterzienserkloster Altzelle. Nach klösterlicher Überlieferung ist man auf Silber im siebenten Jahr nach der Klostergründung gestoßen. Über das Gründungsjahr gab es aber zwei Ansichten: 1162, das Jahr, in dem Otto das Land zwischen Striegis und Mulde dem Kloster aufließ und in dem Friedrich Barbarossa dieses Land dem Kloster übereignete – oder 1175, das Jahr, in dem das Kloster mit Mönchen besetzt und geweiht wurde. Dem Reich gegenüber war Otto nicht mehr Eigentümer. Die von ihm gegründeten Dörfer waren seitdem Klosterdörfer.²⁷

Im Kloster Altzelle sind von Beginn an Annalen geführt worden, d. h. wichtige Ereignisse wurden aufgeschrieben. So entstanden die kleinen *Annales Veterocellenses*. Sie verzeichnen: „1175 *iniciu[m] Celle*“. Am Ende des 13. Jahrhunderts ist in diesen Annalen die Notiz nachgetragen worden: „1181 *iniciu[m] Fribergensis civitatis*“. Die Entdeckung des Silbers vermelden

diese Annalen nicht.²⁸ Hubert Ermisch verweist darauf, dass diese Nachrichten nicht als gleichzeitige aufzufassen sind, sondern der Handschrift nach aus dem späten 13. Jahrhundert stammen.²⁹

In den sogenannten großen Altzeller Annalen aus dem 14. oder 15. Jahrhundert wird als Zeitpunkt der Entdeckung des Silbers sechs Jahre nach Gründung angegeben. Da hier aber als Gründungsdatum des Klosters gleich drei Jahreszahlen 1175, 1162 und 1166 genannt werden, kommt man bei der Suche nach dem Zeitpunkt der Entdeckung des Silbers nicht weiter.

In der Altzeller Klosterkirche gab es eine Inschrift aus dem 15. oder sogar erst aus dem 16. Jahrhundert. Sie wurde von Georg Fabricius, der als Konrektor in Freiberg tätig war, unmittelbar nach der Säkularisation (1540) in der Klosterkirche zu Altzelle gefunden. Darin wird erwähnt, dass im siebenten Jahr nach der Gründung des Klosters in Christiansdorf Silberadern gefunden worden seien. Als Gründungsjahr wird 1162 angegeben, wodurch sich 1168 als Jahr des Erzfundes ergibt.³⁰ Demgegenüber kommt man nach den Angaben aus den kleinen Altzeller Annalen auf das Jahr 1181.

Um die Frage nach dem Zeitpunkt der Entdeckung des Silbers zu klären, nahm Herrmann zuerst die drei für das Freiburger Gebiet vorliegenden Urkunden aus dem späten 12. Jahrhundert zur Hand. Aus der Stiftungsurkunde von Kloster Altzelle aus dem Jahre 1162 geht hervor, dass Markgraf Otto begonnen hatte, das Gebiet zwischen Striegis und Mulde auf eigene Kosten zu roden, also zwischen 1156, dem Jahr seines Herrschaftsantritts, und 1162, dem Zeitpunkt der Abfassung der Urkunde. Silber wird in dieser Urkunde nicht erwähnt. Es muss deshalb nach Ausstellung der Urkunde entdeckt worden sein. Der Markgraf hätte, wäre das Silber schon gefunden worden, dieses Gebiet auch nicht verschenkt.³¹

Aus dem Jahr 1183 ist eine Urkunde von Bischof Martin von Meißen überliefert. Darin wird berichtet, dass zur Zeit des Bischofs Gerung die Kanoniker des Bischofs von Meißen als Bauplatz für Altzelle das Gebiet an Otto abgetreten haben, das einst die Benediktiner von Tammo von Strehla erhalten hatten. Gerungs Amtszeit reichte von 1152 bis 1170. Als Entschädigung erhielt Meißen alljährlich den Sexagenarius, eine Abgabe von 60 Garben von jeder Hufe Ackerland in der ganzen Mark Meißen. Der Bischof erhielt aber noch eine weitere Entschädigung. Weil das Kloster auf

einem Gelände gebaut wurde, das den Meißner Kanonikern gehört hatte, sind als Ersatz für diesen Baugrund mit allen seinen Zugaben die Kirchenzehnten der drei Dörfer Tuttendorf, Christiansdorf und Berthelsdorf und anderer, die der Markgraf dort gründen könnte, den Kanonikern mit Zustimmung des Bischofs Gerung wiedergegeben worden. Wiedergegeben deshalb, da bis 1162 deren Zehnt dem Bischof zustand, seitdem aber dem Kloster Altzelle. Wenn nun Otto diesen Zehnten zu Gerungs Zeit den Domherren des Bischofs übertragen hat, so musste er diese drei Dörfer aus der großen Schenkung von 800 Hufen wieder an sich gebracht haben, und zwar vor dem 20. November 1170, dem Todestag Gerungs. Warum er das tat, sagt die Urkunde nicht.³²

Aus der Grenzurkunde von Kloster Altzelle von 1185 geht hervor, warum Otto die drei genannten Dörfer wieder an sich gebracht hatte. Die Ursache lag in der Entdeckung des Silbers. Da aber aus der Urkunde von 1183 hervorgeht, dass Otto zu Gerungs Lebzeiten die drei Dörfer wieder in seiner Hand hatte, und da Gerung am 20. November 1170 gestorben ist, muss die Entdeckung des Silbers vor diesem Zeitpunkt liegen. Herrmann hatte bereits festgestellt, dass die erste Schürfung nach dem 26. Februar 1162, dem Ausstellungsdatum der Urkunde von 1162, erfolgt sein muss. Die drei Urkunden weisen das Ereignis des Silberfundes mit Sicherheit in den Zeitraum zwischen 1162 und 1170.³³ Damit bestätigt Herrmann die Erkenntnisse Ermischs.

Außer den drei genannten Urkunden stehen keine weiteren Schriftquellen zur Verfügung, aus denen sich Rückschlüsse auf den Zeitpunkt des Silberfundes ziehen lassen könnten.

Herrmann nutzt deshalb ergänzend die Klostertradition von Altzelle. In der klösterlichen Überlieferung ist man sich einig, dass das Silber im siebenten Jahr nach der Klostergründung gefunden wurde. Dies stimmt mit den Urkunden überein, wenn man 1162 als Gründungsjahr wählt. Auch die Wandinschrift in der Altzeller Klosterkirche stimmt völlig mit dem aus den Urkunden gewonnenen Ergebnis überein. Herrmann nimmt an, dass dieser erst im 15. Jahrhundert geschriebene Text einen älteren gleichen Inhalts ersetzt hat. Deshalb kommt Walther Herrmann zu dem Schluss, dass das Jahr 1168 mit großer Wahrscheinlichkeit das der Silberentdeckung ist.³⁴

Eine indirekte Bestätigung für den

Zeitraum der Auffindung des Silbers zwischen 1162 und 1170 und somit auch für das Jahr 1168 liefert auch eine aus dem 15. Jahrhundert stammende Inschrift, die sich in der Vorkapelle der einstigen Klosterkirche der Dominikaner in Freiberg befand.³⁵ Darin wurde als Gründungsdatum der Stadt Freiberg das Jahr 1171 angegeben.

Auch die jüngeren Forschungen zur Bergbau- und zur Stadtgeschichte geben Herrmann recht, wenn auch der letzte Beweis für das genaue Jahr 1168 fehlt. Sicher ist aber, dass die silberhaltigen Erze zwischen 1162 und 1170 gefunden wurden.

Anmerkungen

- 1 Richter, Anja: Ein Fest für Schule und Stadt. Das Freiburger Gregoriusfest bis zu seiner Aufhebung 1835. In: *Volkskunde in Sachsen* 17 [2005], S. 31–55; dies.: *Schulfeste der Freiburger Lateinschule und des Gymnasiums Albertinum*. In: *Von der Lateinschule zum Gymnasium*. Freiberg 2015, S. 92–105, hier S. 93 f. Das Gregoriusfest ist ein Schul- und Kinderfest. Als Stifter wird Papst Gregor IV. angesehen, der 830 anlässlich der Umbettung der Gebeine von Papst Gregor I. eine Kinderprozession anordnete. Papst Gregor I. gilt u.a. als Patron der Studenten und Schüler. In Freiberg wurde dieses mit einem Umzug verbundene Fest bis 1835 begangen.
- 2 Möller, Andreas: *Theatrum Freibergense Chronicum*. Beschreibung der Stad Freyberg in Meissen. Freybergk 1653, S. 18.
- 3 Bibliothek des Freiburger Altertumsvereins Ba 94, Gregoriusfeier 1671; Richter 2005 (wie Anm. 1), S. 45.
- 4 Möller 1653 (wie Anm. 2), S. 19 f.
- 5 Richter 2015 (wie Anm. 1), S. 94.
- 6 Bünz, Enno: IV. Entstehung und Entwicklung der Stadt im 12. und 13. Jahrhundert. Der Stadtbrief von 1156/70. In: Bünz, Enno (Hrsg.): *Geschichte der Stadt Leipzig*. Band 1. Von den Anfängen bis zur Reformation. Leipzig 2015, S. 127–134.
- 7 Fleischer, Jens: Die 750-Jahr-Feier der Stadt Freiberg 1938. Freiberg o. J. = *Befahrungen* 2; Richter, Uwe: Die 750-Jahr-Feier Freibergs 1938 – Ein Stadtjubiläum im „Dritten Reich“. In: Herrmann, Konstantin: *Führerschule, Thingplatz, „Judenhaus“*. Orte und Gebäude der nationalsozialistischen Diktatur in Sachsen. Dresden 2014, S. 82–85.
- 8 Langer, Johannes: Die Anfänge Freibergs und seines Bergbaus. In: *Neues Archiv für sächsische Geschichte und Altertumskunde* 52 (1931), S. 1–17; Schellhas, Walter: Zur Entstehung Freibergs und seines Stadtrechtes. In: *MFA* 54 (1923), S. 1–8.
- 9 Unger, Manfred: *Stadtgemeinde und Bergwesen Freibergs im Mittelalter*. Weimar 1963. = *Abhandlungen zur Handels- und Sozialgeschichte* 5.
- 10 Herrmann, Walther: Der Zeitpunkt der Entdeckung der Freiburger Silbererze. In: *Freiberger Forschungshefte D 2* (1953), S. 7–22.
- 11 Schubert, Matthias und Mathias Bertuch: Schlegelschall und Rauch. Neue Erkenntnisse aus Freibergs Oberstadt. In: *Ausgrabungen*

in Sachsen 5. Dresden 2016, S. 386–406, hier S. 388 = *Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege*, Beiheft 31; Schubert, Matthias und Christoph Herbig: *Buntmetallurgische Prozesse aus mittelalterlichen Bergbausiedlungen im internationalen Vergleich mit einem Ausblick auf die (exquisiten) Ernährungsgewohnheiten der Dippoldiswalder und Freiburger Bergleute*. In: *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit* 30 (2017), S. 195–208.

- 12 Janssen, Josephus: Ein Keller aus dem Ende des 12. Jahrhunderts zu Freiberg. Ein Beitrag zur Siedlungsgenese der Freiburger Oberstadt. In: *Mitteilungsheft des Freiburger Altertumsvereins* 111/112 (2018), S. 39–48.
- 13 Ermisch, Hubert (Hrsg.): *Urkundenbuch der Stadt Freiberg in Sachsen*. III. Band, Leipzig 1891, S. 477, Nr. 2b = *Codex diplomaticus Saxoniae regiae*, 2. Haupttheil, XIV. Band; Gräber, Tom (Bearb.): *Urkundenbuch des Zisterzienserklosters Altzelle*. Erster Teil 1162 – 1249, Hannover 2006, S. 83 f., Nr. 56 = *Codex diplomaticus Saxoniae*, Zweiter Hauptteil, Die Urkunden der Städte und geistlichen Institutionen in Sachsen, Band 19.
- 14 Ermisch, Hubert: *Urkundenbuch der Stadt Freiberg in Sachsen*. I. Band, Leipzig 1883, S. 2, Nr. 4 = *Codex diplomaticus Saxoniae regiae*, 2. Haupttheil, XII. Band.
- 15 Ebd., S. 7 f., Nr. 11.
- 16 Ebd., S. 9 f., Nr. 13.
- 17 Richter, Uwe: *Freiberger Bauchronik*. Zur Geschichte der Petrikirche in Freiberg. In: *MFA* 93 (2003), S. 185–212; Hoffmann, Yves und Uwe Richter: *Entstehung und Blüte der Stadt Freiberg*. Die bauliche Entwicklung der Bergstadt vom 12. bis zum Ende des 17. Jahrhunderts. Halle (Saale) 2012, S. 145 f.
- 18 Ermisch 1883 (wie Anm. 14), S. 3, Nr. 6.
- 19 Posse, Otto (Hrsg.): *Urkunden der Markgrafen von Meißen und Landgrafen von Thüringen 1196–1234*. Leipzig 1898, S. 162 f., Nr. 217 = *Codex diplomaticus Saxoniae regiae*, 2. Haupttheil, VIII. Band
- 20 von Posern-Klett, Carl Friedrich (Hrsg.): *Urkundenbuch der Stadt Leipzig*. I. Band. Leipzig 1868, S. 2–4, Nr. 3 = *Codex diplomaticus Saxoniae regiae*, 1. Haupttheil, III. Band.
- 21 Ermisch 1883 (wie Anm. 14).
- 22 Agricola, Georgius: *Vermischte Schriften I*. *Libellus de prima ac simplici institutione grammatica* 1520, *de veteribus et novis metallis libri II* 1546, *de animantibus subterraneis libri* 1549, *de peste libri III* 1554. Berlin 1961, S. 85f. = *Georgius Agricola – Ausgewählte Werke*; Möller, Andreas: *Theatrum Freibergense Chronicum*. Beschreibung der Stad Freyberg in Meissen. Freybergk 1653, S. 16 f.
- 23 Möller 1653 (wie Anm. 2), S. 17–19.
- 24 Ermisch 1883 (wie Anm. 14), S. XVI f.
- 25 Langer 1931 (wie Anm. 8), S. 1–17; Schellhas 1923 (wie Anm. 8), S. 1–8.
- 26 Herrmann 1953 (wie Anm. 10), S. 7–22.
- 27 Ebd., S. 8 f.
- 28 Ebd.
- 29 Ermisch 1883 (wie Anm. 14), S. XVIII.
- 30 Herrmann 1953 (wie Anm. 10), S. 8 f.
- 31 Ebd., S. 10.
- 32 Ebd., S. 10 f.
- 33 Ebd., S. 12.
- 34 Ebd., S. 13.
- 35 Ermisch 1883 (wie Anm. 14), S. XIX, 374, Nr. 572.

Unser Julius Weisbach war der Erste

Dietrich Stoyan

Jeder Leser, der an der Bergakademie studiert hat, weiß, was eine Ausgleichsgerade ist. Gegeben ist eine Wolke von Punkten (x_i, y_i) , und durch sie soll eine Gerade gezogen werden, die einen vermuteten Zusammenhang zwischen den x - und y -Werten wiedergibt. Ein beliebtes Beispiel ist der Fall, wo x die Größe eines Menschen ist und y sein Gewicht. Der Augenschein lehrt, dass große Menschen in der Regel auch schwerer sind, dass es aber auch Ausnahmen gibt. Darüber kann ein Professor schön erzählen.

Dies Problem wird im Zusammenhang mit der Methode der kleinsten Quadrate (MKQ) behandelt, die auf Carl Friedrich Gauß und Adrien-Marie Legendre zurückgeht. Man macht für die Gerade den Ansatz

$$y = a + bx \quad (1)$$

und bestimmt die Terme a und b , die Regressionskoeffizienten genannt werden. Dazu werden die Abstände der Punkte (x_i, y_i) von der Geraden betrachtet, wie in *Abbildung 1*. Die Summe der quadrierten Abstände wird minimiert, daher der Ausdruck „kleinste Quadrate“. Die Lösung erhält man, indem man die Minimalstelle einer Funktion $f(a, b)$ bestimmt, was dem Professor Gelegenheit bietet, eine Funktion zweier Variablen zu betrachten. Die Lösung, also Formeln für a und b , steht in jedem Statistikbuch.

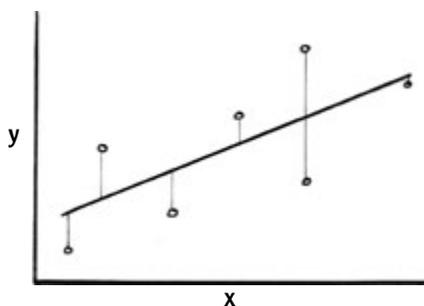


Abb. 1: Sieben Messpunkte und die zugehörige Ausgleichsgerade, ermittelt durch einfache lineare Regression. Der Anstieg der Ausgleichsgerade ist gleich 0,4262.

Während *Abbildung 1* genau zeigt, was „die Abstände“ sind, ist der obige Text bewusst etwas ungenau formuliert. Die

vertikalen Abstände parallel zur y -Achse, die üblicherweise in den Vorlesungen betrachtet werden, sind eigentlich korrekt nur in dem Fall, wenn die x -Werte ohne Messfehler vorliegen. Das ist bei dem Beispiel mit Körpergröße und -gewicht nun gar nicht der Fall. Aber das zu diskutieren hat normalerweise kein Professor die Zeit, außer er spricht zu Mathematikstudenten. Allenfalls wird er vermerken, dass sich eine andere Ausgleichsgerade ergibt, wenn man die Rollen von x und y vertauscht, also die horizontalen Abstände betrachtet.

Aber warum sollte man nicht die richtigen Abstände der Punkte von der Geraden betrachten, also die senkrechten Abstände, wie in *Abbildung 2*? In richtig dicken Statistikbüchern wird auch dieser Fall behandelt. Das ist ja auch kein großes Problem, die Formeln sind etwas komplizierter und ihre Herleitung auch. Man spricht von „orthogonaler linearer Regression“.

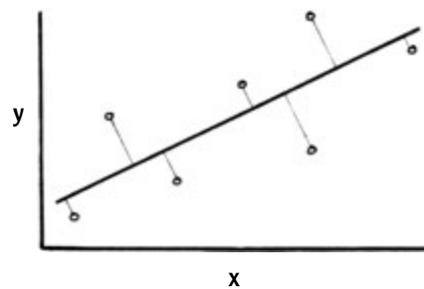


Abb. 2: Ausgleichsgerade mittels orthogonaler linearer Regression für dieselben Punkte wie in Abb. 1. Der Anstieg der Ausgleichsgeraden ist nun gleich 0,5004.

Wer sich dafür interessierte, wer denn die orthogonale lineare Regression zuerst benutzt und die zugehörigen Formeln gefunden hat, stieß bis vor kurzen bei Wikipedia auf einen Amerikaner namens Richard James Adcock, der einen entsprechenden Artikel 1878 publizierte. Offensichtlich war das für ihn eine Art Sport, er hatte keine Anwendung für seine Formeln, und man weiß nur sehr wenig über ihn.

Seit kurzem gibt aber Wikipedia andere Informationen. Nun steht dort, dass Julius Weisbach das Problem schon 1840 gelöst hat [1]. Wobei man anmerken kann, dass Gauß selbst, hätte es ihn interessiert,

es als leichte Fingerübung betrachtend hätte lösen können. Ausgehend von der Dissertation des Franzosen Thomas Morel (vgl. die Rezension im ACAMONTA-Heft von 2017) verfassten der Autor und Morel einen Aufsatz, in dem die Priorität Weisbachs bewiesen wird [2]. Dabei sind zwei Punkte bemerkenswert:

1. Es ging Weisbach nicht darum, einen funktionalen Zusammenhang zu ermitteln. Nein, er betrachtete – wie Gauss, Legendre und die meisten seiner Zeitgenossen – ein Problem der Geodäsie, genauer: des Markscheidewesens. (Sicher wissen einige Leser, dass Gauß durch die Anwendung der MKQ auf ein astronomisches Problem berühmt wurde). Er wollte das Hauptstreichen eines Ganges bestimmen, mathematisch gesprochen: den Anstieg b der Ausgleichsgeraden in Gleichung (1). Dabei ging er von einer Reihe von Messpunkten (x_i, y_i) aus, bei denen natürlich beide Koordinaten Messfehler hatten.
2. Auch für Weisbach war die Herleitung der Formeln für a und b nur eine leichte Fingerübung. Aber er glaubte, seine Freiburger zu kennen! Denen wollte er die damals brandneue MKQ nicht zumuten. Also nutzte er seine Kenntnisse von der MKQ-Lösung und ersann einen rein geometrischen Beweis, von dem er glaubte, dass seine Leser ihn besser verstehen könnten. Der Verfasser weiß nicht, wie der Beweis 1840 aufgenommen wurde. Er selbst, der als Student die MKQ als etwas Selbstverständliches erlernt hat, findet ihn jedenfalls schrecklich kompliziert, garniert mit zahlreichen Formeln der Trigonometrie, die er erst in einer mathematischen Formelsammlung aufsuchen musste.

Aber Weisbachs Formeln stimmen! Er ist also der Vater der orthogonalen linearen Regression. Er stellte damit die Bergakademie in die Reihe der Universitäten, an denen schon sehr früh richtige mathematische Statistik betrieben wurde. Sein berühmtester Nachfolger ist Gustav Zeuner, der Autor eines der weltweit ersten Bücher, das im Titel den Begriff „mathematische Statistik“ führt.

Literatur

- 1 J. Weisbach: Bestimmung des Hauptstreichens und Hauptfallens von Lagerstätten. Archiv für Mineralogie, Geognosie, Bergbau und Hüttenkunde 14 (1840), 159-174.
- 2 D. Stoyan; Th. Morel: Julius Weisbach's pioneering contribution to orthogonal linear regression. Historia Mathematica 45 (2018), 75-84.

Der Freiburger Professor und der Bergakademist im Lichte der Uniformvorschriften des sächsischen Bergstaates (Teil 1¹)

Knut Neumann

Fast gleichzeitig mit der Gründung der Bergakademie Freiberg wurden die Bekleidungsbestimmungen des sächsischen Berg- und Hüttenstaates überarbeitet und konkretisiert. Veranlasst wurde dies durch den Prinzen Franz Xaver von Sachsen (1730–1806). Er führte in dieser Zeit die Staatsgeschäfte für seinen noch minderjährigen Neffen Friedrich August (1750–1827), zusammen mit dessen Mutter Maria Antonia (1724–1780).

Der sächsische Berg- und auch der Hüttenmann trug zur Gründung der Bergakademie eine vorgeschriebene Kleidung, auf die 1668 erstmals von außen her Einfluss genommen wurde.² In dem genannten Jahr griff der Kurfürst in das Bekleidungswesen ein, und damit verlor die Parade- und Festtagskleidung eines der Merkmale, die die Tracht eines Berufsstandes ausmachen.³ Als dann den Berg- und Hüttenleuten 1719 vorgeschrieben wurde, wie sie sich für die Hochzeitsfeierlichkeiten des Kurprinzen Friedrich August II. (1696–1763) und der kaiserlichen Prinzessin Maria Josepha von Österreich (1699–1757) zu kleiden hätten⁴, war ein weiterer, entscheidender Schritt in Richtung Uniformierung getan. Die Hochzeitsfeierlichkeiten fanden im September an sieben Tagen in und um Dresden statt und waren jeweils einem Planeten gewidmet. Der große Auftritt der im Montanwesen Beschäftigten fand zum Saturnusfest im romantischen Plauenschen Grund außerhalb von Dresden am 26. September 1719 statt. Von dem Jahr an beinhaltet die von Abraham von Schönberg in seinen Berginformationen⁵ 1693 auch als „Habit“⁶ bezeichnete Bekleidung nachweislich weitere Merkmale einer Uniform.

Als der sächsische Prinz und Administrator⁷ Vorschläge des Generalbergkommissars Friedrich Anton von Heynitz⁸ (172–1802) und des Oberberghauptmanns Friedrich Wilhelm von Opperl (1720–1769) zur Umgestaltung des sächsischen Berg- und Hüttenwesens und für die Gründung der Bergakademie befürwortete, stellte er fest, dass das Tragen der vorgeschriebenen Bekleidung bei den Berg- und Hüttenleuten nicht üblich war. Sie trugen zivile Kleidung, und die schon seit Jahrzehnten vorgeschriebene Paradekleidung, deren Anschaffung von ihnen selbst bezahlt

werden musste, wurde nur widerwillig beschafft und angezogen. Es gab immer wieder Aufforderungen zur Einhaltung der Vorschriften, aber immer nur von kurzem Erfolg.⁹ Die Bergbehörde in Freiberg bekam deshalb vom uniform- und militärbegeisterten Prinzen den Auftrag, die bis dahin gültige Bekleidung der Berg- und Hüttenleute zu reformieren und für deren Umsetzung und Einhaltung einzutreten.¹⁰ Die Einführung der Uniformen nach den aktuellen, neuen Vorschriften wurde am 17. Juli 1768 befohlen. Damit jährt sich in diesem Jahr der Schritt hin zur vollkommenen Uniformierung des sächsischen Berg- und Hüttenstaates zum 250. Mal.



Bild 1: Friedrich Anton von Heynitz als sächsischer Generalbergkommissar in der Uniform nach der Vorschrift von 1768¹¹

Den Auftrag zur Neugestaltung der Bekleidung der Berg- und Hüttenleute leitete Heynitz an die Mitarbeiter seiner Behörde weiter, und diese unterbreiteten ihm Vorschläge zum Aufbau der neuen Beamten-, Offizianten- (niedere Beamte) und Arbeiterbekleidung. Die daraufhin bei Hofe eingereichten Vorschläge¹² sind Inhalt mehrerer Blätter, die der erste Professor der Bergakademie Freiberg (Mathematik und Zeichenkunst), Johann Friedrich Wilhelm Toussaint von Charpentier (1738–1805), im Jahr 1766 erstellt hatte. Die Blätter, geheftet zu einer Broschüre, gehören heute zum Bestand des

Bergarchivs Freiberg.¹³ In dieser stellt er Kupferstiche mit der vorgeschriebenen Bekleidung des Berg- und Hüttenmannes von 1719 seinen eigenen Vorschlägen in Form von Kupferstichen und Beschreibungen gegenüber. In einem reinen Textteil findet man auch einen Hinweis auf die Uniform des Bergakademisten, den er in der XIV. Klasse ansiedelt: „Die Kleidung der Akademischen Stipendiaten ist völlig, wie die VI Classe, jedoch mit Wegfall der Krause, und daß statt goldener Treßen silberne, sowohl zum Kleide, als Weste genommen werden.“¹⁴ Für den Professor schlägt er keine eigene Uniform vor.

Mit einem Anschreiben schickt v. Heynitz am 3. November 1766 hoffnungsvoll die Charpentierschen Vorschläge nach Dresden zum „Administrator Königl. Hoheit“¹⁶. Da v. Charpentier nur wenige Änderungen im Aufbau der Uniform und dafür eine größere Anzahl von Klassen gegenüber 1719 vorschlägt, werden seine Ideen nicht akzeptiert, und es dauert noch zwei Jahre bis zur Umsetzung einer neuen Uniformvorschrift.

Ob die Broschüre „nach dem Freiburger Fuß“ im wissenschaftlichen Altbestand der Bibliothek der Technischen Universität Bergakademie Freiberg weitere Vorschläge enthält oder den umzusetzenden „höchsten Spezialbefehl vom 17. Juni 1768“¹⁷ unterstützt, lässt sich nicht eindeutig ermitteln. Fakt ist, dass ein Großteil der Uniformbestimmungen von 1768 mit diesen Bildern konformgehen, es aber – nach wenig später entstandenen Abbildungen und Beschreibungen zu urteilen – Abweichungen gibt. Diese Abbildungen entstanden im Jahr 1769, als zur Erbhuldigung aufmarschiert werden musste, sie gehören heute zum Bestand des Stadt- und Bergbaumuseums Freiberg.

Mit den Festlegungen, die 1768 getroffen wurden, kann man eindeutig von einer Uniform sprechen, die der sächsische Berg- und Hüttenmann bis zur Aufhebung des Direktionsprinzips im Jahr 1868 zum Dienst, zu Paraden, Aufzügen und zu Feierlichkeiten tragen musste. Diese Uniformierung wird durch folgende Punkte geprägt:

- Das Aussehen der Bekleidung wurde durch die Bergbehörde fest vorgeschrieben,



Bild 2: Ein Geschworener der Rangklasse VI, Ausschnitt aus den von v. Charpentier gezeichneten Vorlagen¹⁵

- eigenmächtige Veränderungen (etwa eine Ausschmückung mit breiteren Tresen, Spitzen und Borten) wurden mit Strafen belegt,
- anhand der Kleidung war die Berufsgruppe, zu der der Träger gehörte, erkennbar (Beamter, Offiziant, Bergmann, Hüttenarbeiter usw.),
- Stoffqualitäten und Ausschmückungen zeigten die Stellung des Trägers (Beamter, Arbeiter),
- die Farbgestaltung gab Auskunft, in welchem Revier der Beschäftigte arbeitete (Freiberg, Marienberg, Schneeberg usw.),
- natürlich gab es auch eine Rangeinteilung in Anlehnung an das Militär – das wohl Typischste für eine Uniform (1. bis 12. Klasse),
- es wurde festgelegt, wann und wie die Kleidung zu tragen war,
- Abweichungen von den Vorschriften wurden nicht zugelassen,
- und die Bergbehörde ging mit Strafen gegen die Nichteinhaltung der Tragevorschriften vor, so z. B., wenn das Anlegen der Paradeuniform vorgeschrieben war, der Beamte aber in Zivilkleidung erschien.

Innerhalb der Paraden, Aufzüge und bei Zusammenkünften der Knappschaft wurde in Sachsen jahrhundertlang zwischen den Gruppen Bergbau und

Hüttenwesen unterschieden – und auch in der Vorschrift von 1768 kommt diese Trennung zum Tragen. Die Zugehörigkeit des Uniformträgers zum Berg- oder zum Hüttenwesen erkennt man klar an der Farbe der Jacke und des Hutes, die er benutzte. Alle Beamten, Offizianten und ein Großteil der einfachen Arbeiter des Bergbaus trugen eine schwarze Jacke und den grünen Schachthut²⁰. Die Beamten und Offizianten des Hüttenwesens hatten eine lichtgraue Jacke (später wurde sie auch als perl- oder hechtgrau bezeichnet)²¹ und den schwarzen Hut. Die Jacken der Arbeiter im Hüttenwesen und generell derjenigen, die mit dem Feuer zu tun hatten (so z. B. die der Schmiede) waren weiß. Auch sie trugen alle den schwarzen Schachthut, jedoch in einfacherer Ausführung. Eine Ausnahme bildete der Bergschmied: Ihm war der grüne Schachthut zur weißen Jacke vorbehalten.

Als einzigen Beamten mit der lichtgrauen Uniformjacke war es dem Professor der Bergakademie und dem Bergarzt (Physicus) nach den Vorschriften von 1768 erlaubt und vorgeschrieben, neben dem Arschleder weitere Standessymbole des Bergwesens, nämlich Kniebügel und Tzscherpertasche²², zu tragen. Ihre Sonderstellung wurde auch dadurch noch

betont, dass sie zur grauen Jacke als einzige einen grünen Hut und einen weißen Schalkragen trugen. Zu beachten ist dabei, dass diese Uniformbestimmung nur für einen einzigen Professor entworfen wurde. In der Zeit der Entstehung der Uniformvorschriften „hatte nur der Lehrer für Mathematik und Zeichenkunst an der Bergakademie Freiberg den Status eines Professors, es war Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier. Dieser hatte die Bergstudenten auszubilden. Er las mittwochs und sonnabends am Vormittag Grundsätze der Mathematik in Arithmetik, der Geometrie, der Trigonometrie und der Mechanik. Am Nachmittag gab er Zeichnen. Die zwei weiteren Lehrer an der Bergakademie in dieser Zeit, die aber nicht den Titel des Professors trugen, waren Commissionsrat Christlieb Ehregott Gellert (1725–1802), der Metallurgie und Chemie unterrichtete, und der Inspektor der Bergakademie. Darüber hinaus wurden bei Bedarf Fachleute aus der Praxis zum Unterricht herangezogen, so z. B. der Marktscheider für das Markscheidewesen und der Berggardein für die Probierkunde.“²³

Interessant ist, dass v. Charpentier zu der Zeit, als er zum Professor in Freiberg berufen wurde, mit der Matrikelnummer 4 Student an der Bergakademie war – heute einfach unvorstellbar! Er hörte in dieser

Bild 3 (links):
Geschworener aus der
Broschüre „nach dem
Freiberger Fuß“¹⁸



Bild 4 (rechts):
Geschworener, gezeichnet
1769, ein Jahr nach der
Festlegung der Vorschrif-
ten¹⁹



Zeit im „Fernstudium“ Bergwissenschaften. Der erste Inspektor der Bergakademie war Christian Hieronymus Lommer²⁴.

In der Kombination von Uniformbestandteilen des Bergwesens mit denen des Hüttenwesens sollte wahrscheinlich zum Ausdruck kommen, dass der Professor der Bergakademie und der Arzt sowohl für den Bergbau als auch für das Hüttenwesen zuständig waren. Das Gleiche galt auch für die erste Uniform der Akademisten von 1768, die aber – soweit überhaupt – nur wenige Jahre Bestand hatte.

Der Bergstudent – der Akademist der Freiberg Bergakademie, wie er auch genannt wurde – nahm in der Vorschrift ebenfalls eine Sonderstellung ein. Alexander Wilhelm Köhler (1756–1832) schreibt, dass nur die Studenten sich eine Uniform zulegen mussten, die durch ein Stipendium der Bergbehörde oder einer Grube unterstützt wurden, d. h. aber auch, dass sie ihre Uniform selbst finanzieren mussten. Allen anderen Studenten war es freigestellt, ob sie sich den neuen Vorschriften unterordneten.²⁵ – Ende Teil 1

Abkürzungen

- BAF Bergakademie Freiberg
- WA Wissenschaftlicher Altbestand der Universitätsbibliothek
- BergA Sächsisches Staatsarchiv, Bergarchiv Freiberg
- SBM Stadt- und Bergbaumuseum Freiberg
- StAF Stadtarchiv Freiberg

Anmerkungen

1 Unter Hinzunahme des vom Autor verfassten Buches „Uniformen der Berg- und Hüttenleu-

te im sächsischen Montanwesen, Nach dem Freiberg Fuß aus dem Jahr 1768“, Saxoniam-Freiberg-Stiftung, Freiberg, 2005

- 2 StAF: FAV-HS, Ab, 117a, „Fasciculus betr. Bergparadekleidung 1668–1794
- 3 BergA: Bergamt Annaberg, 40007, 756, „Bergmännische Kleidung, Rangordnung und Reglement der Uniform der Bergleute, 1854–1862
- 4 BergA: Bergamt Johannegeorgenstadt, 40012, 746 „Bergmännischer Aufzug in Dresden anlässlich der Heimführung des Kurprinzen Friedrich August, 1719
- 5 Schönberg, Abraham von: „Ausführliche Berg-Information“ Reprint, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1987, S. 18
- 6 StAF: Anordnung des Oberbergamts vom 13. Juli 1692, Stadtarchiv Freiberg „Fasciculus betr. Bergparadekleidung 1668–1794“; FAV-HS, Ab, 117a, Seite 3–4
- 7 Als Administrator bezeichnete man einen Verwalter.
- 8 Sächsische Staatshandbücher 1768: „Der gegenwärtige Chursächsische Berg-Staat aufs Jahr 1768“
- 9 StAF: FAV-HS, Ab, 117a, „Fasciculus betr. Bergparadekleidung 1668–1794“; S. 7, Brief des Regenten an das Oberbergamt Freiberg, unterzeichnet Hanns Christoph Poigk und Christian Heinrich Kettner,
- 10 BergA: Oberbergamt Freiberg: 40001, 98, Bergamt Geyer, Marienberg und Ehrenfriedersdorf: „Die höchst Orts gnädigst anbefohlene Paradekleidung 1768“
- 11 BAF: Gemäldekopie Generalbergkommissar Friedrich Anton von Heynitz, Das originale „Bildnis Friedrich Anton von Heynitz von Anton Graff“, das früher in der Bergakademie hing, ist in den Wirren des Zweiten Weltkrieges in Breslau verloren gegangen. Bei dem sich heute in der Bergakademie befindlichen Gemälde handelt es sich um eine Kopie, die ein früherer Erbe auf seine Kosten anfertigen ließ. Wer dieser Porträtmaler war, ist nicht bekannt.
- 12 BergA: Bergamt Johannegeorgenstadt, 40012, 1010, „Anschaffung der landesherrlich befohlenen Kleidung zur Bergparade“, Dresden, 17.06.1768

13 BergA: Oberbergamt Freiberg, 40001, Ü 3539; Johann Friedrich Wilhelm Toussaint von Charpentier: „Paradekleidung churf. Sächs. Bergbedienter in Kupferstichen nach der 1719 gegebenen Vorschrift und in Zeichnungen nach einem der 1766 vorgefertigten Entwürfe“

- 14 Wie Anm. 13, linkes Blatt der Seite 17
- 15 BergA: Oberbergamt Freiberg, 40001, Ü3539, Seite 11B, Geschworener, beschnitten
- 16 BergA: Oberhüttenamt, 10008, Das höchst gnädigste approbirt Regulativ die Parade-Berg-Kleidung für die Bedienten betr. 1768, S. 2b
- 17 Wie Anm. 16, S. 33
- 18 BAF, WA: „Uniformen, Wie solche vermöge gnädigsten Befehls, alle hohe und niedere Chur Fürstliche, Ober-Berg- Ober-Hütten und Berg-Officianten, sowohl Fabriken und Bergwercks-Bediente, Hütten- und Berg-Arbeiter zutragen haben; nach dem Freyberger Fuß“, TU BA Freiberg, Altbestand 1768
- 19 SBM: 49/58, Geschworener, Paradebekleidung bei einem Bergaufzuge in Freyberg bei Gelegenheit der Erbhuldigung am 11. Mai 1769
- 20 Der Schachhut ist ein zylinderförmiger Hut, der keine Krempe besitzt. Er hat oben und unten den gleichen Durchmesser. Dieser wird durch die Kopfgröße des Trägers bestimmt.
- 21 G. E. Rost: Trachten der Berg- und Hüttenleute im Königreich Sachsen, Freiberg, 1831, Blaufarbenältester
- 22 Bei der Tzscherpertasche handelt es sich um eine Ledertasche zur Aufbewahrung der Geleuchtzutaten. Die Tzscherper, ein Kurzmesser ohne Spitze und eine Metallspitze, beide mit Griff, sind außen an der Tasche so angebracht, dass man sie leicht benutzen kann.
- 23 BergA: Oberbergamt, 40001, 236, UA S. 17 und „Hauptplan zur neuen Institutio Freyberg, BAF: UA, OBA 236, von 1776, S. 131 (vielleicht 40010, 1697)
- 24 Sächsische Staatshandbücher: „Der gegenwärtige Chursächsische Berg-Staat aufs Jahr 1768“ Bergarchiv Freiberg, 01, A, 83 (CD)
- 25 Köhler, Alexander Wilhelm: „Bergmännischer Kalender für das Jahr 1791“, Freiberg und Annaberg in der Crazischen[??] Buchhandlung, S. 56

Die Geschichte einer verbotenen Fahne

Dieter Slaby, Andreas Trillhose¹

Wir schreiben das Jahr 1961. Das Leben der Menschen in der DDR steht unter den Slogans *Der Sozialismus siegt* und *Mit Ingrid Krämers Elan erfüllen wir den Plan*². Die Bergakademie Freiberg erfährt viel Anerkennung und Förderung. Der Auf- und Ausbau einer Hochschulstadt mit neuen Instituten, Hörsälen und Wohnheimen am nördlichen Stadtrand von Freiberg ist weitgehend abgeschlossen. Die Zahl der Direktstudenten hat sich in den vorangegangenen zehn Jahren etwa verdreifacht und erreicht mit ca. 2.900 einen für die Hochschule und die Stadt zu dieser Zeit kritischen Wert.

Das Leben der Studenten außerhalb der Hörsäle, Labors und Technika ist geprägt vom Stolz auf ihre Hochschule und von einem Wettbewerb um Anerkennung der eigenen Fachrichtung. Die Geselligkeiten finden vorrangig in den jeweiligen Fachschaften und damit weitgehend außerhalb des Einflusses der staatlichen und politischen Leitung der Hochschule und der gesellschaftlichen Organisationen statt.

Den abendlichen Durst und Hunger kann der Freiburger Student in einer der ca. 60 Gaststätten und Kneipen stillen. Die Häuser Lindengarten³, der Bergmannsgruß und die Roßschlächtereibaldauf⁴ haben bei den Studenten geradezu Kultstatus.

Ein Wesensmerkmal des geselligen Lebens ist die Übermacht männlicher Studierender.⁵ Die im wöchentlichen Wechsel zwischen Tivoli und Studentenmensa veranstalteten Tanzabende – in der Mensa mit dem legendären Akademie-Tanz-Orchester ATO –, der 14-tägig jeweils am Sonntag-nachmittag stattfindende Tanztee im Saal des Brauhofs und die Aka-Faschingswoche sind fest in der Hand der Studenten und finden das rege Interesse der Freiburger Damenwelt, damit aber zugleich den Unmut der Freiburger Männer.⁶

Die zu Fachschaftsabenden, Semesterbällen, den Festen der Heiligen Barbara und anderen Anlässen zelebrierten Rituale, besonders die von den Studenten häufig nach dem bergakademischen Schichtwechsel angestimmten Lieder

und Schlachtrufe, finden nicht immer den Beifall ihrer Professoren, der Freiburger Bevölkerung und schon gar nicht den der Hochschulleitung. Facetten des Zusammenlebens der Studenten mit den Bürgern der Stadt hat das zu dieser Zeit entstandene Studentenlied „Die Plage der Stadt Freiberg“ zum Inhalt.

Eine Gepflogenheit dieser Zeit war die feierliche Begehung eines bevorstehenden Studienabschlusses, verbunden mit einem Gedenken an die Kommilitonen, die das Studienziel nicht erreicht hatten. Anders als in den Jahren zuvor vereinbarten 1961 Vertreter aller 20 Fachrichtungen des Studienjahrgangs 1957/1962 eine ge-

Anlass. Für die Ingenieurökonomen des Bergbaus war das erstere nicht möglich und das zweite nicht zureichend. Die ersten Immatrikulationen in den Fachrichtungen Ingenieurökonomie des Bergbaus (IÖB) bzw. des Hüttenwesens (IÖH) waren nämlich erst 1955 erfolgt. Die 1962 vor dem Studienabschluss stehenden Bergbauökonomen waren also erst der dritte Jahrgang einer noch sehr jungen Fachrichtung. Die Fahne sollte über den aktuellen Anlass hinaus nachhaltig als Symbol der neuen Fachschaft IÖB fungieren.

Vor diesem Hintergrund und mit diesen Absichten standen die acht vor einem erfolgreichen Abschluss stehenden Bergbau-

ökonomen (von ursprünglich 18 Immatrikulierten) vor der Aufgabe des Entwurfs einer Fachschaftsfahne. Was die Wahl der Farbe für die Fahne betraf, so konnte man sich schnell verständigen. Die Deutschlandfarben schwarz-rot-gold sollten es sein. Das Fahnenlogo wurde nach dem den Ökonomen in der bergakademischen Hymne (dem Steigerlied) gewidmeten Vers gestaltet.

*Die Ökonomen sein, seins
kreuzbrave Leut,
denn sie sitzen auf dem
Leder
und beschießen mit der
Feder
und saufen auch*

Die Plage der Stadt Freiberg

*Im hintersten Winkel von Sachsen, im grauen Algonkium,
erbaute man einst unsere Aka und später Freiberg drumrum.
Den Leuten außer den Kneipern, den wurde es bald klar,
im Hinblick auf ihre Weiblein, dass das ein Fehler war.*

*Ein Fehler, der ist es gewesen, denn ihnen war nichts bekannt,
vom Treiben wilder Horden, die man Studenten genannt.
Von ihren wilden Sitten, von ihrem Naturell,
vom Durst an dem sie litten, die Bergleut ganz speziell.*

*Sie kamen aus allen Städten des deutschen Landes nach hier.
Man sagt zu lernen sie hätten, nichts als das Trinken von Bier,
nichts als die Löwen zu reiten, zu ärgern die Polizei,
auf dass nach Lustbarkeiten, die Stadt nicht geräuschlos sei.*

*Die Zeiten, sie gingen vorüber, die Sitten, sie wurden patent.
Der Freiburger Bürger kennt heut' nur noch den braven Student,
der immer fleißig studieret bis in die Nacht um vier,
ein Klosterleben führet und Milch nur trinkt statt Bier.*

meinsame Veranstaltung. Als Höhepunkte wurden eine Letzte Vorlesung, ein Umzug von der Hochschulstadt durch die Freiburger Innenstadt zum Obermarkt und ein feierlicher Abschlussball vorgesehen. Bei aller Gemeinsamkeit: Das Bekenntnis zur eigenen Fachrichtung sollte durch auf die jeweilige Fachrichtung hinweisende Symbole und Losungen auf Schildern, Transparenten oder Fahnen auch nach draußen getragen werden.

Im Fokus der meisten Fachrichtungen standen der Entwurf und die Gestaltung einer Fahne. Alteingesessene Fachrichtungen konnten sich hierbei an lange Traditionen anlehnen. Einige beschieden sich mit einem Hinweis auf den zeitaktuellen

Das Ergebnis dieser Überlegungen: Das Fahnentuch rot, das aufgesetzte Logo golden mit in schwarz gehaltenem Schlegel und Eisen als Symbole für den Bergbau sowie einer Feder und dem Abbild einer Deutschen Mark als Zeichen des Kaufmanns. Und alles das versehen mit dem golden gehaltenen Schriftzug IÖB für Ingenieurökonomie des Bergbaus.⁷

Mit diesen Vorschlägen wurden die Studenten bei ihrem Professor, dem Fachrichtungsleiter und Direktor des Fachrichtungsinstituts, damals zugleich Rektor der Bergakademie, Prof. Hollweg,⁸ vorstellig. Hollweg erteilte dem Vorhaben nicht nur seinen Segen. Er unterstützte es auch mit einer Spende in Höhe von



1



4



7



2



5



8



3



6



9

Bild 1: Fachschaftsfahne IÖB am Fenster des Freiburger Rathauses

Bild 2: Die Fahnenträger der Fachschaften 1957/1962 besetzen am 17. März 1962 das Denkmal Otto des Reichen

Bild 3: 50 Jahre später – Die Fachschaft IÖB 1957/1962 am 1. Oktober 2012 am Denkmal Otto des Reichen

Bild 4: Umzug der Fachschaften 1957/1962 am 17. März 1962 vor dem Sitz des Instituts für Gesellschaftswissenschaften in der Korngasse

Bild 5: Technik allein ist nicht – die Fachschaft IÖB 1957/1962 am 17. März 1962

Bild 6: Goldenes Diplom für die Fachschaft IÖB 1959/1964 im Jahr 2014

Bild 7: Hommage der Fachschaften 1957/1962 am 17. März 1962 vor der Roßschlächtereibaldauf in der Moritzstraße

Bild 8: 50 Jahre später – Umzug der Fachschaften 1957/1962 am 1. Oktober 2012 in der Burgstraße

Bild 9: Goldenes Diplom für die Fachschaft IÖB 1962/1967 im Jahr 2017

50 Mark.⁹ Es wurde vereinbart, dass die Fahne in der treuhänderischen Verwaltung der Studenten verbleibt und nach dem Erreichen des Vordiploms an den dann nachfolgenden Studienjahrgang übergeben wird. Dadurch hätten die Praxis der feierlichen Aufnahme der vordiplomierten Studenten in die Fachschaft und der damit verbundene Auftrag zur Vorbereitung der nächststehenden Veranstaltungen der Fachschaft einen symbolträchtigen Rahmen bekommen.

Die Weihe der Fachschaftsfahne IÖB erfolgte am 17. März 1962 im Rahmen des geplanten Umzugs von ca. 300 Studenten aller 20 Fachrichtungen des Jahrgangs 1957/1962. Hierbei war zunächst nicht vorhersehbar, dass diese Veranstaltung in die Annalen der Bergakademie eingehen würde. Bereits am Mittag des Tages gerieten Studenten in der Mensa in eine heftige

verbale Auseinandersetzung mit einem der Sekretäre der Hochschulparteilitung der SED. Die Studenten mussten sich des Vorwurfs einer nicht angemeldeten und nicht genehmigten Veranstaltung und eines unwürdigen Verhaltens während des Umzugs erwehren. Die Auseinandersetzung eskalierte und erhielt eine politische Dimension, als der Westberliner Radiosender RIAS in den Mittagsnachrichten des Tages über die Ereignisse in Freiberg berichtete und diese als eine Aktion des Widerstands gegen die kürzlich eingeführte Wehrpflicht deutete. Einige der Initiatoren und Wortführer des Umzugs mussten sich Disziplinarverfahren stellen, und ca. 80 Teilnehmer des Umzugs waren von der Streichung ihrer Sonder- und Leistungsstipendien betroffen.¹⁰ Die Reaktionen der Hochschulleitung auf die Ereignisse des Umzugs betrafen auch das

weitere Schicksal der Fachschaftsfahnen. In der Sitzung des Senats am 10. April 1962 wurde in Auswertung der Ereignisse vom 17. März hierzu u. a. der folgende Beschluss gefasst: „Die von keiner Hochschulinstitution oder demokratischen Organisation genehmigten sog. Fachschaftsfahnen sind vom Institutsdirektor einzuziehen und dem Prorektor für Studienangelegenheiten zu übergeben. Es dürfen nur die Fahnen des Jugendverbandes der Freien Deutschen Jugend geführt werden. Sie ist die einzige dazu berechnigte Institution.“

Die Fahne der Fachschaft IÖB betreffend wurde diesem Beschluss nicht Folge geleistet. Die Fahne wurde von den jungen Assistenten am Fachrichtungsinstitut, selbst Absolventen der ersten Jahrgänge der Fachrichtung IÖB, in Obhut und Verwahrung genommen und damit dem Zugriff der zentralen Hochschulleitung

entzogen. Weitere öffentliche Auftritte mit und unter der Fahne waren in dieser Zeit nicht opportun. Das hielt die Behüter der Fahne aber nicht davon ab, den im Rahmen der Feierlichkeiten zum 10-jährigen Bestehen der Fakultät für Ingenieurökonomie stattfindenden Fachschaftsabend bereits wieder unter der Fahne ihrer Fachrichtung durchzuführen. Die Veranstaltung am Abend des 1. Juli 1966 fand vorsorglich außerhalb der durch die Sicht- und Hörweite der Hochschulleitung bestimmten Bannmeile für Fachschaftsfahnen und hiermit im Zusammenhang stehender studentischer Rituale außerhalb der Stadt Freiberg im Waldcafé in Kleinwaltersdorf statt.

Das weitere Schicksal der Fahne wurde über die 1962 gefassten Senatsbeschlüsse hinaus ab 1968 nachhaltig von der 3. Hochschulreform bestimmt. Die Fakultät für Ingenieurökonomie wurde in eine Fakultät für Gesellschaftswissenschaften überführt. Das Fachrichtungsinstitut Ökonomie, Organisation und Planung des Bergbaus wurde aufgelöst und seine Bereiche als Teile des neu gegründeten Großinstituts (alsbald einer Sektion) Sozialistische Betriebswirtschaft (SBW) neu profiliert. Die die Fachrichtung IÖB und deren drei Spezialisierungen tragenden Professuren wurden umgewidmet und neu zugeordnet: die Professur für Organisation und Planung des Bergbaus (Braunkohlenbergbau) in Professur für Sozialistische Wirtschaftsführung am Institut für Sozialistische Wirtschaftsführung, die Professur für Organisation und Planung des Bergbaus (Tiefbau) in Professur für Bergbautechnologie und Projektierung an der Sektion Geotechnik und Bergbau und die Professur Organisation und Planung der geologischen Erkundung in Professur für Sozialistische Betriebswirtschaft (Prognose, Planung und Marktforschung) an der Sektion SBW.¹¹ Die Bergakademie wurde mit der Ausbildung in der Fachrichtung Sozialistische Betriebswirtschaft/Ingenieurökonomie der Grundstoffindustrie beauftragt. Grundlage hierfür war ein einheitlicher und verbindlicher Grundstudienplan für die wirtschaftswissenschaftliche Ausbildung an den Universitäten und Hochschulen der DDR. Dem Fortbestehen und der weiteren Entwicklung einer Fachschaft IÖB war damit der Boden entzogen, und die Fahne hatte ihre Bedeutung als Symbol einer eigenständigen Fachrichtung und als Element der Förderung des Gemeinsinns in der Fachschaft verloren. Das änderte sich auch nicht, als 1974 der

Minister für das Hoch- und Fachschulwesen auf Drängen der für die Wirtschaftsbereiche Bergbau und Metallurgie zuständigen Minister festlegte, dass in Freiberg wieder in zwei Fachrichtungen, in SBW/Ingenieurökonomie des Bergbaus (IÖB) und in SBW/Ingenieurökonomie der Metallurgie (IÖM), auszubilden ist. Der Umsetzung dieser Festlegung waren durch den verbindlichen Grundstudienplan¹² und das veränderte wissenschaftliche Profil der Sektion¹³ Grenzen gesetzt. Darüber hinaus fand dieser Beschluss bei der zu dieser Zeit von der Hallenser Schule einer Industrieökonomik dominierten Leitung der Sektion keine uneingeschränkte Zustimmung. Die Sektion favorisierte statt einer zweigorientierten eine allgemeine betriebswirtschaftliche Lehre.¹⁴

Die Fachschaftsfahne IÖB verblieb derweil in sicherer Obhut von Mitarbeitern der Sektion, die entsprechend ihrer eigenen Ausbildung sich mit den Ursprüngen ihrer Fachschaft IÖB verbunden zeigten. Offizielle, von der Leitung der Hochschule und deren Organisationen getragene Auftritte der Fahne waren weiterhin nicht erwünscht, und die Entwicklung der Sektion seit 1968 lieferte auch nicht die hierfür erforderlichen Anlässe. Die Verbundenheit der ersten Jahrgänge IÖB mit ihrer Fachschaft und untereinander hatte aber Bestand. Hiervon zeugen die regelmäßig in turnusmäßigen Abständen durchgeführten Treffen. Als 1982 bei einem Treffen des Jahrgangs 1957/1962 aus Anlass des 25. Jahrestags der Immatrikulation infolge von Irritationen kein Zugang zu der noch immer verborgen gehaltenen Fahne gefunden wurde, entschloss man sich zur Anfertigung eines Duplikats. Damit existieren zumindest für diesen Jahrgang zwei Exemplare der IÖB-Fachschaftsfahne.

Die Verschmelzung der bis zur 3. Hochschulreform auf Eigenständigkeit bedachten zwei wirtschaftswissenschaftlichen Fachrichtungen und Fachrichtungsinstitute IÖB und IÖH zu allgemeinen betriebswirtschaftlich ausgerichteten Strukturen und Fachrichtungsprofilen beeinflusste natürlich auch das wissenschaftliche und gesellige Leben in der Sektion. Spezielle auf IÖB oder IÖM ausgerichtete Veranstaltungen fanden nicht mehr statt, und die zu dieser Zeit Studierenden hatten nur noch eine lockere emotionale Bindung zu einer in ihrer ursprünglichen Ausprägung gar nicht mehr existierenden Fachschaft. Es überrascht also nicht, dass 1996, als auf Initiative von Absolventen

der 1970er-Jahre an der neu gegründeten Fakultät für Wirtschaftswissenschaften ein Absolventenverein der Ingenieurökonomien und Kaufleute ins Leben gerufen wurde¹⁵, die Fahne der Fachschaft IÖB und ihre Geschichte keine Rolle spielten. Die Existenz einer zu ihrer Studentenzeit verbotenen und verborgen gehaltenen Fahne war den Initiatoren gar nicht bekannt. Die Veranstaltungen des Vereins wurden zunehmend und letztlich nahezu ausschließlich von den zu dieser Zeit noch um die Anerkennung ihrer Berufsabschlüsse kämpfenden Absolventen der Vorwendezeit besucht. Diese ältere Absolventengeneration und die an die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften neu berufene Professorenschaft fanden (von Ausnahmen abgesehen) nicht zueinander, und die anfängliche Unterstützung der Vereinstätigkeit schwand. Der Verein stellte 2003 seine Tätigkeit ein.¹⁶

Beachtung und Bedeutung erlangten die Fachschaftsfahne und ihre Botschaft wieder in den 1980er-Jahren. Es wuchsen zu dieser Zeit an der damaligen Sektion die Bedenken bezüglich des erhobenen Prioritäts- oder gar Ausschließlichkeitsanspruchs einer Allgemeinen und Sozialistischen Betriebswirtschaftslehre. Die Befürworter einer über eine allgemeine hinausgehende zweig- und ingenieurbezogenen Lehre gewannen die Oberhand. Es erfolgte eine Um- bzw. Rückumwandlung von Professuren der Allgemeinen Sozialistischen Betriebswirtschaft, u. a. in Ökonomie der Metallurgie (1980), in Ökonomie Mineralischer Rohstoffe (1984) und in Ökonomie des Bergbaus (1987). Hiermit waren Voraussetzungen für die Wiedereinführung zweigökonomischer Lehrinhalte geschaffen, und die Fachrichtungen SBW/IÖB und SBW/IÖM erhielten wieder ein zweigspezifisches Profil. Folgerichtig wurde auf bis in die Mitte der 1980er-Jahre zurückreichende Bemühungen¹⁷ aufbauend durch den Hochschulminister 1989 eine Umbenennung der Sektion in eine für Ingenieurökonomie verfügt. Bei allen diesen Bemühungen um die Wiederbelebung Hollwegscher Visionen einer Ingenieurökonomie fungierte die Fahne, seit 1984 in den Händen des wieder geschaffenen Fachrichtungsleiters für SBW/IÖB – wenn auch nicht immer sichtbar nach außen getragen – orientierend und motivierend.

Ein jähes Ende fand diese Entwicklung und mit ihr die Fortschreibung der Geschichte der Fahne durch die nach der Wiedervereinigung der beiden deutschen

Staaten erfolgte Abwicklung der Sektion im Jahr 1991. Ingenieurökonomische und auf das Profil der Bergakademie Freiberg ausgerichtete Akzente hatten im Konzept der neu zu gründenden Fakultät für Wirtschaftswissenschaften zu dieser Zeit noch keine Priorität. Die Ausbildung in Studiengängen des Wirtschaftsingenieurwesens begann erst 1996 mit einem Aufbaustudiengang. Eine Fahne mit dem Stallgeruch einer DDR-Vergangenheit und dem Stigma des von einigen der Protagonisten für tot erklärten Bergbaus¹⁸ sowie eines mit Ingenieurwissen und Sachkenntnis vom Bergbau gerüsteten Ökonomen galt aber als nicht akzeptabel. Das sich dahinter verbergende Ausblenden der Vorgeschichte der heutigen Freiburger Wirtschaftswissenschaften ist aber schon deshalb nicht gerechtfertigt, weil ohne diese die Frage der Neugründung einer Fakultät für Wirtschaftswissenschaften im Jahr 1991 gar nicht gestanden hätte. Es ist nicht abwegig, darüberhinausgehend hierin auch eine Voraussetzung für den Fortbestand der Bergakademie Freiberg und ihrer Entwicklung zu einer Universität zu sehen.

Die Bedeutung der Fachschaftsfahne IÖB war auf die eines Relikts einer ca. 40 Jahre währenden wechselhaften Geschichte der Ingenieurökonomie des Bergbaus geschrumpft.

Wir schreiben das Jahr 2018. Die Einheit Deutschlands wurde vor 28 Jahren vollzogen. Die Wertschätzung der Lebensleistung der Menschen in Ost und West erfolgt in der Regel nicht nach gleichen Maßstäben. Die Bergakademie hat sich weiter zu einer weltweit anerkannten Technischen Universität für Lehre und Forschung auf den Gebieten Rohstoffe, Energie und Umwelt profiliert. Die Hochschulstadt wurde zu einem modernen Hochschulcampus ausgebaut. In 65 Studiengängen sind ca. 4.200 Studenten eingeschrieben.

Das Angebot der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften umfasst 16 Studiengänge. Fachschaften aber haben als strukturbestimmende Segmente und als Rahmen für Veranstaltungen des geselligen Lebens an Bedeutung verloren. Die Gefahren von Unmutsreaktionen der Universitätsleitung und der Freiburger Bevölkerung auf lauten Gesang deftiger Lieder und auf *das Treiben wilder Horden, auch Studenten genannt*, sind merklich geringer als sie es vor 60 Jahren waren.

Die letzten Absolventen der Ingenieurökonomie des Bergbaus wurden 1993 exmatrikuliert.¹⁹ Ein Ordinariat für Berg-

wirtschaftslehre an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften wurde 2004 mit der Emeritierung des hierfür vorerst letztberufenen ordentlichen Professors und letzten Leiters einer ingenieurökonomischen Fachrichtung beendet.²⁰ Die Verbundenheit und der Gemeinsinn der Absolventen der ehemaligen Fachrichtung Ingenieurökonomie des Bergbaus mit ihrer Hochschule und untereinander sind aber ungebrochen stark. Alle bereits unter Hollweg²¹ immatrikulierten Absolventen sind nun Träger des Goldenen Diploms. Sechs dieser acht Jahrgänge trafen sich allein im vergangenen Jahr. Die Reihen der Teilnehmer an diesen Treffen werden naturgemäß lichter, und es ist eine Entscheidung über das weitere Schicksal der IÖB-Fachschaftsfahne zu treffen. Es wurde vereinbart, dass die Fahne als Zeitzeugnis von ca. 40 Jahren Freiburger Hochschulgeschichte in der Kustodie unserer Universität Aufnahme findet. Es besteht damit auch fortan die Möglichkeit, sich bei gegebenen Anlässen anhand der Fahne der Freiburger Ingenieurökonomie der mit ihr 1955 beginnenden Ausbildung in wirtschaftswissenschaftlichen Fachrichtungen an der Bergakademie Freiberg zu erinnern.

Anmerkungen

- 1 Die Autoren sind Absolventen der Fachrichtung Ingenieurökonomie des Bergbaus (IÖB) der Studienjahrgänge 1959/1964 bzw. 1957/1962.
- 2 Doppelolympiasiegerin im Kunst- und Turmspringen der Olympischen Spiele Rom 1960.
- 3 Bei Martin, von seinen Studenten zum Professor berufen, konnte man in Zeiten größter finanzieller Not anschreiben lassen und bekam auch einmal ein Freibier geschenkt.
- 4 Pferdegulasch war bei Rudi für 0,85 M erhältlich. Trinkgeld und das Tragen von Krawatten waren untersagt.
- 5 Weibliche Studierende waren zu dieser Zeit in Freiberg Exoten. Im Studienjahrgang 1957/1962 waren von 362 Absolventen nur elf weiblichen Geschlechts, davon allein fünf in der „Frauenfachrichtung“ Metallkunde.
- 6 Dieser Unmut war berechtigt. Einige Fachschaften bemühten sich durch die Einladung von Berufsschulklassen der großen Freiburger Frauenbetriebe (Schuhfabrik, Nikator) zu ihnen nicht öffentlichen Geselligkeiten auch um die Gunst der noch jüngeren Generation Freiburger Mädels. Gefühlt jeder zweite Student dieser Zeit fand seine Lebenspartnerin durch Wilderei in der Freiburger Region.
- 7 In einer Geburtsurkunde der Fahne müssten als Väter die Namen Jürgen Lübke, Klaus-Dieter Mund und Andreas Trillhose stehen.
- 8 Nestor der Freiburger Ingenieurökonomie. Hierzu auch Slaby in Bergakademische Geschichten. Mitteldt. Verlag 2015. S. 231–246.
- 9 Ein Betrag, der aus heutiger Sicht nicht der Erwähnung wert scheint. Zur damaligen Zeit entsprach er aber einem Wertäquivalent von fünf Monatsmieten in einem der Studentenwohnheime oder von 1.000 Brötchen oder von

104 Glas Pils in einer der zahlreichen Freiburger Gaststätten.

- 10 Die Ereignisse des Umzugs und seine Folgen werden von Ernst Schlegel, Jürgen Lübke, Andreas Trillhose und Manfred Born in einer Dokumentation „50 Jahre Diplom-Fachrichtungen 1957 bis 1962“ geschildert. Saxonia Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft Freiberg 2012.
- 11 In gleicher Weise wurde mit dem Fachrichtungsinstitut der Schwesterfachrichtung Ingenieurökonomie des Hüttenwesens und deren Fachrichtungsprofessuren Organisation und Planung der NE-Metallurgie bzw. der Eisenhüttenindustrie verfahren. Auch sie wurden aufgelöst bzw. nach Neuprofilierung Teil der neu gegründeten Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft.
- 12 Der Anteil der fachrichtungsspezifischen geo- und ingenieurwissenschaftlichen Lehrveranstaltungen war auf 10 Prozent begrenzt und damit auf ca. ein Drittel des ursprünglichen Volumens reduziert.
- 13 Die Sektion war in vier Wissenschaftsbereiche strukturiert: WB I Politische Ökonomie, Volkswirtschaft und Recht; WB II Planung, Abrechnung und Analyse; WB III Ökonomie der Phasen und Elemente der Produktion; WB IV Geschichte der Produktivkräfte.
- 14 In einer Stellungnahme vom 15. Februar 1972 zur Studienreform hatte sich die Sektion bereits gegen den Zusatz Ingenieurökonomie in der Fachrichtungsbezeichnung und gegen eine Zweiorientierung ausgesprochen. Sie sah die hierfür erforderlichen Voraussetzungen nicht mehr erfüllt und erachtete sie auch nicht als erstrebenswert.
- 15 Die Initiatoren der Vereinsgründung Hans-Christoph Moser, Bernd-Erwin Schramm und Jürgen Zuchan hatten anfänglich die Unterstützung der neu gegründeten Fakultät in Person ihres späteren Dekans, Prof. Dr. Egon Franck.
- 16 Die Kontaktpflege zu den Absolventen erfolgt fortan durch die Alumni-Beauftragten der Hochschule und durch den Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg.
- 17 Zu überwinden war vor allem der bestehende Argwohn, dass der auf Änderung des Namens zielende Antrag gegen eine Sozialistische Betriebswirtschaftslehre an sich gerichtet sei.
- 18 Das Sächsische Rohstoffkataster weist allein für Spate und Erze in Sachsen 139 Vorkommen von wirtschaftlichem Interesse aus. Mit Stand 1/2018 sind vom SOBA 463 Berechtigte nach § 7-9 BBergG erteilt worden, davon 18 Erlaubnisse, 176 Bewilligungen und 269 solche für Bergwerksfelder im Bergwerkseigentum.
- 19 Insgesamt wurden 2.863 Ingenieurökonominnen ausgebildet, 1.862 im Direktstudium und 1.001 im Fernstudium.
- 20 Die 2018 erfolgte Berufung eines Honorarprofessors für Bergwirtschaft an die Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau führt die Bergwirtschaftslehre wieder zurück an ihren Ursprung. Bis 1956 war Bergwirtschaft ein Lehr- und Berufungsgebiet der Bergbaufakultät. Der von 1956 bis 2004 in Freiberg beschrittene Weg einer Zuordnung zur Wirtschaftsfakultät war für die Entwicklung der Bergwirtschaftslehre als wirtschaftswissenschaftliche Disziplin und auch für die der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften ein hilfreicher Sonderfall. Die von der Wirtschaft und von der Landesregierung mit der Rohstoffstrategie für Sachsen 2012 und 2016 geforderte Wiedereinrichtung eines Ordinariats für Bergwirtschaft wurde damit aber noch nicht erfüllt.
- 21 Hollweg ist bereits 1963 im Alter von nur 61 Jahren verstorben.

Der Medailleur Friedrich Wilhelm Hörnlein und die Bergakademie Freiberg

Udo Becker*

Friedrich Wilhelm Hörnlein, der sich selber gern nur Fritz Hörnlein nannte, wurde am 16. August 1873 in Suhl als Sohn eines Tischlers geboren. Nach einer Lehre in der Kunst-Gravieranstalt Robert Fritz in Suhl begab er sich auf Wanderschaft nach Lüdenscheid, Elberfeld, Wien und Dresden. In Dresden bekam er 1894 eine Anstellung beim Graveur Northmann. Von 1896 bis 1898 konnte er neben seiner Arbeit die dortige Kunstgewerbeschule besuchen und in der Bildhauerklasse von Prof. H. Spieler das Modellieren erlernen. Danach wechselte er an die Akademie der Künste, wo er bis 1905 Malerei studierte. Für die Gestaltung von Medaillen und Plaketten erhielt er schon in seiner Studienzeit zahlreiche Preise und Prämien. Wenig wissen wir über seine Zeit bei der Firma Cohne & Northmann, um so mehr von den zahlreichen Medaillen, die er von 1903 bis 1911 für die Firmen Glaser & Sohn in Dresden sowie für HITL bzw. Poellath in Schrobenshausen geschaffen hat. Im Jahr 1911 bekam er eine Anstellung als Graveur bei der Königlich-Sächsischen Münze in Muldenhütten, die es ihm erlaubte, auch weiterhin freischaffend als Medailleur tätig zu sein. Diese Anstellung behielt er bis zu seinem tragischen Tod in der Dresdner Bombennacht vom 13. auf den 14. Februar 1945.

Den meisten Sammlern sächsischer Münzen und Medaillen des 20. Jahrhunderts sind Hörnleins Werke durch die massenhafte Ausprägung des 3-Mark-Stücks zur Einweihung des Völkerschlachtdenkmal 1913, das überaus seltene und als schönste Münze der Kaiserzeit geltende 3-Mark-Stück auf Friedrich den Weisen anlässlich des 400. Jahrestages der Reformation 1917 und durch die recht häufigen Inflationsmedaillen von 1923 bestens bekannt. Wenngleich wir dank der Publikationen von Fischer¹ und Arnold/Fischer/Arnold (AFA)² sowie Arnold/Stein³ recht gut über sein künstlerisches Schaffen informiert sind, gibt es noch weiteren Forschungsbedarf. Dazu erscheint demnächst eine Hörnlein-Biografie von Hans-Günther Hartmann,⁴ die um einige ergänzende Kapitel des Herausgebers erweitert wurde, da der bereits 2015 verstorbene Autor seine letzten Gedanken nicht mehr dokumentieren konnte und bislang unbekannt Stücke gerade in den Jahren 2016–2018 noch aufgetaucht sind.

Stand in den bisherigen Publikationen über Hörnlein der Bezug zu Dresden verstärkt im Vordergrund der Betrachtungen, so hat die jüngste Forschung hervorgehoben, dass auch Freiberg und die hiesige Hüttenindustrie sowie die Bergakademie eine herausragende Rolle im Schaffen unseres Künstlers einnahmen. Das begann 1912 mit der Medaille zur 300-Jahrfeier der Schmelzhütten Halsbrücke, die mit 50 und 30 mm Durchmesser in Silber oder Bronze in einer Auflage von insgesamt 4.235 Stück ausgeprägt wurde.

* Kontakt:
u.becker-freiberg@t-online.de
Tel.: 03731 73924



Bild 1: Erinnerungsmedaille 300 Jahre Schmelzhütten Halsbrücke 1912



Bild 2: Auszeichnungsmedaille der Erzgebirgsausstellung Freiberg 1912

Ebenfalls 1912 schuf Hörnlein eine Auszeichnungsmedaille zur Erzgebirgsausstellung in Freiberg, die es in Silber, Bronze und Bronze vergoldet gab.



Bild 3:
Gedenkmedaille zur Emeritierung
von Prof. Dr. Erhard 1912



Bild 4:
Erinnerungsmedaille 150 Jahre
Bergakademie Freiberg 1916



Bild 5:
Erinnerungsmedaille zum 100. Todestag
von Abraham Gottlob Werner



Die Emeritierung des Rektors der Bergakademie Freiberg, Prof. Dr. Erhard, war 1912 ebenfalls Anlass für eine Medailleprägung in Silber und Bronze. Als 1916 die 150-Jahrfeier der Bergakademie begangen wurde, durfte natürlich eine Medaille nicht fehlen. Hierfür schuf Hörnlein eine der schönsten Stadtansichten von Freiberg. Geprägt wurde das Stück ebenfalls in Silber und Bronze. Im Jahr 1917 wurde an der Bergakademie des 100. To-

destages von Abraham Gottlob Werner gedacht, wozu Hörnlein eine Medaille mit dem seitlichen Brustbild des Gelehrten schuf. Diese Medaille wurde kriegsbedingt hauptsächlich in Eisen ausgeprägt. Neben wenigen Exemplaren in Silber und Bronze gibt es jedoch auch ein Stück aus Gold.

Im Zusammenhang mit dem Bergbau hatte sich in Freiberg auch die Lederindustrie stark entwickelt. Eine führende Stellung



Bild 6: Jubiläumsmedaille 60 Jahre Lederwerke Stecher Freiberg 1919



Bild 7: Notgeld 1 Million Mark der Sächsischen Hüttenwerke Freiberg 1923

nahmen hierbei die Lederwerke von Moritz Stecher ein, der 1919 sein 60-jähriges Firmenjubiläum feierte. Die großformatige Medaille, auf der neben dem Porträt des Firmeninhabers alle drei Werke dargestellt sind, wurde zu 15 Exemplaren in Silber sowie zu 101 Exemplaren in Bronze ausgeprägt.

Kriegszeit und Inflation hatten auch bei der Münzprägung in Muldenhütten Spuren hinterlassen. Dafür steht als besonders schönes Beispiel eine Hörnleinsche Notgeldprägung für die Sächsischen Hüttenwerke in Aluminium.

Im Jahr 1923 feierte auch der legendäre Freiburger Schwimm- und Skiclub sein 25-jähriges Jubiläum. Für diesen Anlass wurde von Hörnlein eine Medaille gestaltet, die mit ihrem großen



Bild 8: Medaille des Freiburger Schwimm- und Skiclubs 1923



Bild 9: Agricolamedaille zum Treffen der Metallhütten- und Bergleute in Freiberg 1924

Freifeld auf der Rückseite oft auch als Siegermedaille Verwendung fand und in Bronze und Aluminium ausgeprägt wurde.

Die Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute besuchte 1924 die Freiburger Hüttenwerke, wofür Hörnlein eine schöne Medaille mit dem Brustbild von Georgius Agricola fertigte, von der nur 10 Exemplare in Silber und 51 Stück original in Bronze geprägt wurden. Seit 1954 folgten aber zur Verleihung an Absolventen Nachprägungen, die an der fehlenden Signatur „FH“ erkenntlich sind.

Auch die 1926 entstandene Silbermedaille des Deutschen Braunkohlen-Industrie-Vereins für 25 Jahre treue Mitarbeit dürfen wir sicher den Freiburger Kontakten Hörnleins zuschreiben.



Bild 10: Ehrenmedaille „Dank des Bergbaus für 25 Jahre treue Mitarbeit“



Bild 11: Plakette 1. Sternfahrt des Freiburger Motorradclubs 1927

Von dieser Medaille wurden 9.006 Exemplare in Silber und 30 in Gold mit einer 50 auf dem Grenzstein ausgeprägt. Der Autor hat nach 1990 davon abgeraten, weitere Neuprägungen in Auftrag zu geben, da aus dem Münzhandel die benötigten Stückzahlen an gut erhaltenen Originalen stets beschaffbar waren.

1927 entstand eine Plakette zur 1. Sternfahrt des sehr aktiven Freiburger Motorradclubs.



Bild 12: Erinnerungsmedaille zum 14. Wettin-Bundesschießen Freiberg 1927



Bild 13: Senatorenmedaille der Bergakademie Freiberg

Ebenfalls 1927 entstand in Hörnleins Dresdner Atelier eine Silbermedaille anlässlich des 14. Wettin-Bundesschießens in Freiberg, die in der Münze Muldenhütten geprägt und mit einem Tragering versehen wurde. Damit knüpfte der Künstler an die zuvor für die Firmen Glaser & Sohn sowie Poellath geschaffenen Schützenmedaillen an, brachte die Aufträge zur Prägung aber nun an die Münze Muldenhütten. Weitere derartige Aufträge folgten 1929 für Zittau und 1931 für Suhl.

Die Senatorenmedaille mit dem Bildnis der stehenden Minerva gestaltete Hörnlein 1928 für die Amtsketten der Senatoren der Bergakademie Freiberg.



Bild 14: Jubiläumsmedaille „75 Jahre Bleiwarenfabrik Halsbrücke“

Eine besonders eindrucksvolle Arbeiterdarstellung begegnet uns in der Hörnleinmedaille auf das 75-jährige Bestehen der Bleiwarenfabrik Halsbrücke, von der 1928 nur 34 Exemplare in Silber, aber über 1.000 in Bronze geprägt wurden.

1933 bestellte der Freiburger Schwimm- und Skiclub eine Siegermedaille bei Hörnlein, bei der man auf das Motiv mit dem Stadtwappen von 1923 zurückgriff und nur die Rückseite neugestalten ließ.

Zur 750-Jahrfeier 1938 entwarf Hörnlein die Medaille für die Amtskette des Oberbürgermeisters von Freiberg. Eine kleinere Medaille mit dem knienden Bergmann in Arbeitshaltung erschien aus dem gleichen Anlass.

Als sich 1944 die urkundliche Ersterwähnung der Freiburger Münze zum 700. Mal jährte², sollte auch eine Medaille entstehen. Diese letzte Medaille mit Bezug auf Freiberg kam aber kriegsbedingt nicht mehr zur Ausprägung. Es existiert davon nur ein Probeabschlag in Blei im Münzkabinett Dresden.

Frau Margit Luther aus Freiberg erinnert sich, dass ihr Großvater Hermann Bär, der an der Staatlichen Münze Muldenhütten als leitender Münzschlosser angestellt war, einen guten persönlichen Kontakt zu Hörnlein pflegte. Herrmann Bär ist im Freiburger Einwohnerbuch von 1940 auf der Gabelsberger Straße 53 als Münzschlosser eingetragen. Von dort ging man über die Frauensteiner Straße und den Stangenberg auf direktem Wege zur etwa 1 km entfernten Münze in Muldenhütten. Dass Hörnlein oft in Freiberg weilte, ist aus dem im Münzkabinett Dresden erhaltenen Schriftwechsel ersichtlich.

Die Mutter von Frau Luther, Edith Bär, geb. 17. Mai 1917, nannte Hörnlein sogar ihren Patenonkel, wie wir das ähnlich auch von seinem Umgang mit den Kindern seines Freundes Oskar Merker in Dresden erfahren haben. Dessen 1901, 1902 und 1905 geborene Kinder waren 1917 ja schon groß und da

² Dazu in diesem Heft: Uwe Richter: Jubiläen im Jahr 2018 in Freiberg.



Bild 15: Erinnerungsmedaille „750 Jahre Freiberg 1938“



Bild 16: Entwurf einer Gedenkmedaille „700 Jahre Landesmünzstätte Freiberg 1944“

können wir gut nachvollziehen, dass Hörnlein in Freiberg gern erneut die Rolle des Patenonkels spielte. Er war ein häufiger Gast der Familie und brachte „seinem Patenkind“ oft schöne Medaillen als Geschenk mit. Die zehn Jahre ältere Schwester Erna Bär bekam stets das gleiche Stück von ihm geschenkt, was von der kleinen Schwester oft moniert wurde mit der Bemerkung: „Aber es ist doch mein Patenonkel ...!“ Die geschenkten Medaillen wurden von der Familie in hohen Ehren gehalten, nach dem Kriegsende 1945 davon aber auch viele Stücke an „Butter-Lange“ auf der Ehernen Schlange 25 in Freiberg gegen Quark vertauscht. Es liegt die Vermutung nahe, dass hauptsächlich die silbernen Medaillen als Tauschobjekte dienten, denn genau diese fehlten später in der Freiburger Sammlung und waren in der Kollektion der zwischenzeitlich nach Hamburg verzogenen Schwester Erna hingegen noch vorhanden.

Die Kontakte Hörnleins zu seinen Kollegen waren von großer Herzlichkeit geprägt, und es steht zu vermuten, dass sie in Freiberg nicht nur die Familie Bär umfassten. Da sein gesamter persönlicher Schriftwechsel aber ein Opfer jener tragischen Bombennacht im Februar 1945 wurde, sind wir auf die spärlichen sonstigen Quellen und Überlieferungen angewiesen.

Die Forschung zum Thema Hörnlein ist noch lange nicht abgeschlossen, und jede neue Meldung wird gern entgegengenommen.

Literatur

- 1 Fischer, Max: Friedrich Wilhelm Hörnlein 1873–1945, Gedächtnisausstellung des Münzkabinetts Dresden anlässlich seines 100. Geburtstages. In II. Kreismünzausstellung 1973, hrsg. vom Kulturbund, Kreisfachgruppe Dresden 1973
- 2 Arnold, Paul, Fischer Max und Arnold Uli: Friedrich Wilhelm Hörnlein 1873–1945, Staatliche Kunstsammlungen Dresden 1992
- 3 Arnold, Paul und Stein, Sven: Friedrich Wilhelm Hörnlein – Nachtrag zum Werkverzeichnis, Hrsg. Numismatischer Verein zu Dresden 2017
- 4 Hartmann, Hans-Günther: Friedrich Wilhelm Hörnlein – ein bedeutender deutscher Medailleur des 20. Jh. und der Märzbund, Hrsg. Freiburger Münzfreunde 2018

Bildnachweis: Bild 1–2, 4–10, 12, 13, 16: Roger Paul, Münzkabinett Dresden

25 Jahre TU Bergakademie Freiberg

Dietrich Stoyan



Foto: Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg

Blick in die alte Mensa bei der Festveranstaltung am 6. Juni 2018

Vor 25 Jahren erhielt die Bergakademie ihren heutigen Namen: „Technische Universität Bergakademie Freiberg“, oder abgekürzt: „TU Bergakademie Freiberg“. Unsere Universität ist natürlich viel älter, denn sie wurde schon 1765 gegründet – damals mit dem Namen „Kurfürstlich-Sächsische Bergakademie zu Freiberg“ (ab 1806: „Königlich-Sächsische Bergakademie zu Freiberg“). Die Bergakademie ist somit nicht nur die älteste noch bestehende höhere montanwissenschaftliche Bildungseinrichtung der Welt, sondern auch – nach der TU Braunschweig – die zweitälteste Technische Hochschule in Deutschland. Bis zur Gründung der TH Dresden im Jahr 1871 war die Bergakademie Freiberg außerdem die höchste technische Bildungseinrichtung des Königreichs Sachsen. Sie wurde 1899 einer Technischen Hochschule gleichgestellt, 1905 erhielt sie das Promotionsrecht und erreichte damit den vollen Status einer Technischen Hochschule; heute würde man von einer Technischen Universität sprechen.

Zu DDR-Zeiten war die Bergakademie wie vorher schon eine Technische Hochschule mit dem ehrwürdigen und weltweit unter den Fachleuten bekannten Namen „Bergakademie Freiberg“. Damals wurde sie enorm ausgebaut, und sie hatte am Ende fast alle Studiengänge einer Technischen Universität plus die bergakademie-spezifischen. Die Lehre und Forschung an der Bergakademie Freiberg waren überall im „Westen“ anerkannt. Der Wissenschaftsrat schrieb dementsprechend

in seinem Bericht über die Evaluierung der Universitäten und Hochschulen der Neuen Bundesländer im Jahr 1991: „Nach der Wiedereröffnung der Bergakademie Freiberg im Jahr 1946 erfolgte durch eine beträchtliche Ausweitung des traditionellen Fächerspektrums der allmähliche Ausbau zu einer technischen Universität.“

Nach der Wiedervereinigung Deutschlands im Oktober 1990 wurden nun – wie überall auf dem Boden der ehemaligen DDR – die Karten neu gemischt. Das betraf auch die ostdeutschen Hochschulen. Die Bergakademie Freiberg konnte dabei auf ihre beeindruckende Tradition und exzellente Lehre und Forschung verweisen. Deshalb nahmen die gesamtdeutschen Wissenschaftsgremien (DFG, DAAD und Rektorenkonferenz) die Bergakademie nach der Wiedervereinigung bereits früh auf, vor vielen anderen ostdeutschen Universitäten.

In der Zeit der politischen Umwälzungen von 1991 bis 1993 waren der Bestand und der Status der Bergakademie nie gefährdet, aber sie waren auch keineswegs Selbstläufer. Sie hatte dabei allerdings prominente Unterstützer: den damaligen Ministerpräsidenten Prof. Kurt Biedenkopf und den Staatsminister für Wissenschaft und Kunst, Prof. Hans Joachim Meyer. Es versteht sich, dass sich auch Wissenschaftler und Politiker aus Freiberg für die Bergakademie und ihre Benennung

als „TU Bergakademie Freiberg“ eingesetzt haben. Als Vorkämpfer seien hier genannt die Rektoren der Bergakademie Horst Gerhardt und Dietrich Stoyan sowie der direkt gewählte Landtagsabgeordnete und Staatssekretär Dr. Klaus Husemann.

Interessanterweise gab es in der vom Minister eingesetzten Hochschulstrukturkommission mit prominenten Mitgliedern aus Ost und West Diskussionen über den zukünftigen Namen der Bergakademie Freiberg. Eine diskutierte Variante war „TU Freiberg“ nach dem Vorbild der TU Clausthal – die bekanntlich früher einmal Bergakademie Clausthal geheißen hatte.

Man erkennt die Entwicklung in den frühen 1990er-Jahren in den drei Gesetzen, die der Sächsische Landtag beschlossen hatte und die damit auch für die Bergakademie verbindlich wurden:

- Sächsisches Hochschülerneuerungs-gesetz vom 25.7.1991: Es enthält keine Hochschulnamen.
- Sächsisches Hochschulstruktur-gesetz vom 10.4.1992: Die Bergakademie Freiberg wird als zweite Universität Sachsens genannt (ihrem Alter entsprechend), und zwar schon mit dem auch heute noch gültigen Fächerprofil Mathematik, Natur-, Geo-, Montan-, Ingenieur-, Werkstoff- und Wirtschaftswissenschaften, aber noch mit dem alten Namen.
- Sächsisches Hochschulgesetz vom 4.8.1993: Hier erhält die Bergakademie endlich den angestrebten Namen „Technische Universität Bergakademie Freiberg“ bzw. abgekürzt: „TU Bergakademie Freiberg“.

Dem Drängen des Freiburger Rektorats entsprechend sandte Minister Meyer bereits am 11. März 1993 einen Brief nach Freiberg, in dem er die Genehmigung erteilte, den Namen „TU Bergakademie Freiberg“ ab sofort zu führen. Mit dem alten Namen „Bergakademie Freiberg“ hatte es nämlich im gesamtdeutschen Rahmen Missverständnisse gegeben: Der Name klang fast wie „Berufsakademie“, und in Hochschulverzeichnissen stand die Bergakademie unter „B“ und nicht, wie es viel besser gewesen wäre, unter „T“.

Auch die E-Mail-Adresse wurde damals geändert, von zuerst ...@... .ba-freiberg.d400.de zu ...@... .tu-freiberg.de.

Der heutige Name hat sich bewährt, die Studentenzahlen stiegen erfreulich an. Er hat, wie immer gedacht, zwei sehr verschiedene Funktionen. Der Namensteil „Bergakademie Freiberg“ ist ein weltweit be- und anerkanntes Markenzeichen,



Altmagnifizenz Professor Horst Gerhardt während der Podiumsdiskussion.

während der Namensteil „Technische Universität“ eindeutig den Status klar macht. Dabei weist das klassische „Bergakademie“ auch auf den Unterschied zu den Nachbar-TU in Dresden und Chemnitz hin, wobei ja nur noch die Freiburger eine klassische Technische Universität ist. Sie hat auf dem Gebiet der Forschung große Erfolge zu verzeichnen und vermarktet sich hier erfolgreich mit dem zusätzlichen Namen „Ressourcenuniversität“.

Insgesamt stellt der Name die Freiburger Universität vor die Aufgabe, Tradition und Modernes zu verbinden, sich ständig zu erneuern und für die heutigen Studenten attraktiv zu sein. Vielleicht müssen wir es hinnehmen, dass für die Studenten der „TU“-Teil des Namens der wichtigere ist – mit dem Fächerspektrum von 1992 und, natürlich, den besonderen Freiburger Studiengängen. Für sie sehr wichtige Traditionen der Bergakademie sind die engen Beziehungen zwischen Studenten und Lehrkörper sowie ihre ausgeprägte Praxisverbundenheit Markenzeichen.

Am 6. Juni fand in der Alten Mensa eine schöne Feier statt, in der der vor 25 Jahren erfolgten Namensgebung gedacht wurde. Höhepunkt war eine von Rektor Klaus-Dieter Barbknecht geleitete Podiumsdiskussion, an der die von 1988 bis 2000 amtierenden Rektoren sowie Klaus Husemann teilnahmen. Viele der in den frühen 1990er-Jahren Aktiven waren erschienen, während die jüngeren Professoren (von den Studenten ganz zu schweigen) überwiegend vermisst wurden. Vielleicht gelingt es in der Zukunft, die Verbundenheit aller Universitätsangehörigen mit ihrer Alma mater wieder stärker zum Ausdruck zu bringen.

Der Bergwerksanteil Johann Sebastian Bachs – Schlüssel für musikwissenschaftliche Forschungen über seine Familie

Eberhard Spree

Im Nachlassverzeichnis von Johann Sebastian Bach, der am 28. Juli 1750 verstarb, lautet der erste Eintrag „*Ein Kux, genannt Ursula Erbstolln, zu Klein Voigtsberg*“. Ein Kux ist ein ideeller Anteil an einem Bergwerk. Ein solcher Bergwerksanteil wurde auch Berganteil oder Bergteil genannt. In diesem Falle gehörte er zum Ursula Erbstolln, einem kursächsischen Silberbergwerk. Obwohl dieser Besitz Bachs der Musikwissenschaft seit langem bekannt war, hatte man dazu keine weiterführenden Forschungen betrieben. 2010 fand ich in den quartalsweise verfassten Abrechnungen dieser Grube, den Zechenregistern, den Namen Johann Sebastian Bach vierundvierzig Mal in dreizehn verschiedenen Aussagen erwähnt. Diese Dokumente aus dem Bergarchiv in Freiberg waren der Ausgangspunkt zu umfangreichen Untersuchungen zu diesem Bergwerksanteil sowie dem Verhalten Johann Sebastian Bachs und dem seiner Erben als Anteilseigner dieses Bergwerks.

Dabei führten neue Erkenntnisse zu neuen Fragen. Ich untersuchte das Nachlassverzeichnis, die Erbteilung und das Verhalten der Witwe Anna Magdalena Bach genauer. Dafür waren Beschäftigungen mit montanwissenschaftlichen Themen, dem Erbrecht, musikwissenschaftlichen und sozialgeschichtlichen Aspekten oder auch mit der Witwenforschung notwendig. Meine Forschungsergebnisse fasste ich in einer Dissertation mit dem Titel „Die verwitwete Frau Capellmeisterin Bach. Studie zur Verteilung des Nachlasses von Johann Sebastian Bach“ zusammen, die ich im Januar 2018 erfolgreich an der Hochschule für Musik Carl Maria von Weber Dresden verteidigte.

In den Ausgaben der ACAMONTA

von 2012 und 2013 hatte ich die Möglichkeit, Forschungsergebnisse über den Bergwerksanteil Johann Sebastian Bachs vorzustellen, von denen ich einige Punkte hier noch einmal kurz zusammenfassen möchte:

Der Ursula Erbstolln war eine Zubeßzeche. Er gehörte zu den mehr als hundert Bergwerken im Freiburger Revier, bei denen von den Anteilseignern quartalsweise Zahlungen – die sogenannten Zubeßen – erwartet wurden, damit der Betrieb aufrechterhalten werden konnte.

1741 hatte Bach bei einer Neuverteilung von Anteilen des Ursula Erbstollns, welche ihre Vorbesitzer verfallen ließen und die deshalb neu verteilt wurden, einen Kux umsonst erhalten. Er entrichtete seine Zubeße, stellte dann aber 1744 seine Zahlungen ein. Spätestens jetzt erlebte er, dass ein Anteil in diesem Fall nicht so schnell seinem Eigentümer entzogen wurde, wie es die Bergresolution von 1709 vorschrieb. Es war möglich, jahrelang keine Zubeße zu zahlen, ohne dass der Anteil im Retardat verstanden wurde und damit für den Eigentümer verfiel. Bach trennte sich 1745 von seinem Anteil.

Im vierten Quartal 1746 wurde er aber erneut Anteilseigner des Ursula Erbstollns und zahlte bis zu seinem Lebensende die fälligen Zubeßen. Insgesamt unterstützte er dieses Bergwerk mit mehr als 30 Talern. Das entsprach ungefähr der Summe, die ein Doppelhäuer – also ein ausgebildeter Bergmann – in einem halben Jahr in dieser Grube verdiente.

Obwohl als Taxierung für einen Kux des Ursula Erbstollns durch das Bergamt 60 Taler angegeben wurden, verteilte man 1750 erneut Anteile dieses Bergwerks umsonst, die ihre vormaligen Besitzer hatten

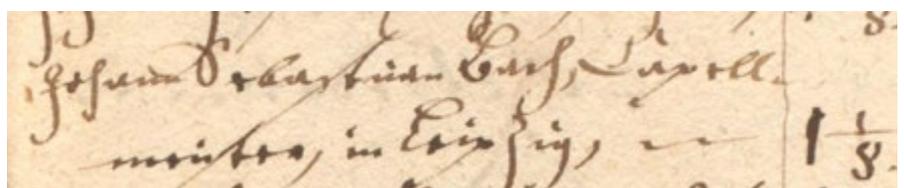


Abbildung 1: Eintrag im Gewerkenverzeichnis des Zechenregisters vom Ursula Erbstolln für das 1. Quartal 1750

verfallen lassen. Bach übernahm davon $\frac{1}{8}$ Kux und besaß nun $1\frac{1}{8}$ Kuxe. Diese Taxierung durch das Bergamt war aber auch kein Handelswert, sondern orientierte sich am Wert der Grubenanlagen.

Bachs Erben, das waren die Ehefrau Anna Magdalena und neun Kinder, von denen die meisten bereits erwachsen waren, übernahmen den Bergwerksanteil gemeinsam. Dafür vereinbarten sie, dass die Witwe für die Zahlung der Zubeße verantwortlich sein solle und selbst ein Drittel davon übernehmen würde.

Aus den Zechenregistern des Ursula Erbstillns geht hervor, dass im Januar/Februar 1751 aufgelaufene Zubeßreste und die fällige neue Zubeße – insgesamt 3 Taler und 9 Groschen – für Bachs Bergwerksanteil gezahlt wurden. Mit diesem Betrag konnten zum Beispiel die Wochenlöhne für einen Lehrhauer, der pro Woche 21 Groschen erhielt, und für drei Bergknechte, die pro Woche je 20 Groschen bekamen, bezahlt werden.

Wie bereits vorher bei Johann Sebastian Bach war das eine Beteiligung am Bergbau, die in einem Bergwerkslexikon von 1743 mit folgenden Worten beschrieben wird: „*Berg-Bau [...] ist eine solche Sache, wodurch einem Lande viel Nahrung zugebracht, und das Commercium dabey erhalten wird, viel armes Volck ihren Unterhalt davon bekommt, im übrigen aber eine milde, und freygebige Hand haben will.*“

Die Witwe Anna Magdalena Bach verfügte also über Gelder, die sie nicht für das tägliche Überleben benötigte. Das steht aber im Widerspruch zu der Ansicht, dass sie nach seinem Tod sofort verarmte. Aus diesem Grund beschäftigte ich mich intensiver mit dem damaligen Erbrecht und der Verteilung des Erbes von Johann Sebastian Bach.

Er war kein armer Mann. Mit 700 Talern gab er 1730 in einem Brief seine Einkünfte in Leipzig an. Dabei gibt es Hinweise, dass er zusätzliche private Einnahmen nicht berücksichtigt hatte. Es war für ihn rechtlich aber nicht möglich, seine Frau als Alleinerbin einzusetzen. Testamentarischen Verfügungen waren enge Grenzen gesetzt, wenn auch leibliche Kinder erbberechtigt waren. Dafür, dass dabei auch unmündige Kinder den ihnen zustehenden Anteil erhielten, sorgten für solche Fragen eingesetzte Gremien. Unabhängig von der Stadt Leipzig, welcher der Rat vorstand, hatte die Leipziger Universität ihre eigene Rechtsprechung. Dort war die Vormundschaftsdeputation für derartige Aufgaben eingerichtet

worden, welche die Erbteilung der Familie Bach überwachte. Dabei wurde verlangt, dass die Anteile unmündiger Kinder von verantwortlichen Personen zu verwalten seien. Für ihre vier unmündigen Kinder übernahm Anna Magdalena diese Aufgabe. Dazu erklärte sie einen Verzicht auf Wiederverheiratung. Damit war eine spätere Eheschließung aber nicht ausgeschlossen. Die Vormundschaftsordnung legte für einen solchen Fall nur fest, dass dann eine andere Person mit der Verwaltung der Güter der unmündigen Kinder betraut werden müsse.

Im Vorfeld der Verteilung musste ein Nachlassverzeichnis aufgestellt werden, wofür Anna Magdalena Bach verantwortlich war. Dort erscheint dann auch als erster Posten – wie bereits am Anfang erwähnt – der Bergwerksanteil.

Dass im Nachlassverzeichnis Bachs keine Musikalien erscheinen, ist in der Musikwissenschaft schon oft thematisiert worden. Ansonsten ging man aber davon aus, dass diese Aufstellung Bachs Vermögensstand am Ende seines Lebens wiedergeben würde. Es fehlen dort aber zum Beispiel auch zahlreiche Gegenstände, die zur Ausstattung eines Haushalts gehörten. Eine Lücke konnte ich durch meine Forschungsergebnisse schließen. Die Witwe erhielt die „Gerade“. Unter diesem Begriff wurden alle Gegenstände zusammengefasst, mit denen die Ehefrau im täglichen Leben Umgang hatte. Dazu gehörten zum Beispiel auch die Bücher, in denen sie regelmäßig las. Es ist bekannt, dass Anna Magdalena Bach über Bücher verfügen konnte. Somit ist davon auszugehen, dass der Bestand an geistlicher Literatur im Nachlassverzeichnis nicht alle Bücher enthält, die es in diesem Haushalt gab und dass die Weltsicht Bachs daraus nur bedingt abzuleiten ist. Vor allen Dingen gehörten aber zur Gerade Haus- und Wohntextilien, Truhen zu deren Aufbewahrung, verschiedene Arbeitsgeräte oder auch Schmuck. Diese Gegenstände erscheinen nicht im Nachlassverzeichnis. Dort sind zum Beispiel sieben „*hölzerne Betten*“ aufgeführt. Ober- und Unterbetten, Matratzen, Kissen und Bezüge fehlen aber. Sie gehörten zur Gerade, die Anna Magdalena erhielt. Allein schon das Bettzeug für sieben Betten dürfte einen Zeitwert von mehr als einhundert Talern besessen haben.

Damit können nicht alle Lücken im Nachlassverzeichnis erklärt werden. Es ist aber auch nachweisbar, dass Johann Sebastian Bach Schenkungen vornahm. Dabei war es möglich, dass diese erst im

Todesfall wirksam wurden. Es gibt Hinweise darauf, dass er diese Möglichkeit zum Beispiel bei der Verteilung der Musikalien nutzte. Die These, dass man sie im Nachlassverzeichnis nicht aufführte, weil ihnen kein Wert beigemessen wurde, ist nicht haltbar. In einem 1761 vom Verlag Breitkopf herausgegebenen Katalog werden mehr als fünfundzwanzig Kantaten von Johann Sebastian Bach angeboten. Für die Abschrift eines Stimmensatzes verlangte man dabei im Durchschnitt mehr als einen Taler, für Partituren etwas weniger. Pro Jahrgang hätten die Stimmensätze und die Partituren dann einen Verkaufswert von mehr als 100 Talern gehabt. Johann Sebastian Bach komponierte fünf Jahrgänge. Er besaß zudem weitere Musikalien, die bei einer Betrachtung über den Verkaufswert seiner Musikalien ebenfalls berücksichtigt werden müssen.

Die Vormundschaftsdeputation verließ sich auf die Informationen der Erben. In Bachs Fall waren dies vier unmündige Kinder, fünf erwachsene Kinder und die Witwe. Teilweise wurden diese durch Kuratoren unterstützt. Da diese Parteien Eigeninteressen vertraten und es das Recht auf Einspruch gab, stand das Verfahren auf einer soliden Basis. Der Vorgang wurde auf Seiten der Vormundschaftsdeputation von mehreren Juristen überwacht. Auch auf Seiten der Erben wirkten Personen mit, die juristische Ausbildungen hatten. Anna Magdalena Bach wurde bei der Erbteilung – wie auch bei anderen rechtlichen Fragen – von Dr. Friedrich Heinrich Graff, einem ausgewiesenen Rechtsexperten, unterstützt. Kontakt zu ihm bestand schon zu Lebzeiten ihres Mannes. Dr. Graff war Pate der Tochter Regina Susanna.

Somit ist davon auszugehen, dass sich die Art und Weise, wie das Nachlassverzeichnis verfasst wurde, im Rahmen des rechtlich Möglichen bewegte.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass man dem Nachlassverzeichnis Johann Sebastian Bachs zwar Information über eine größere Anzahl seiner Besitztümer entnehmen kann, es aber keine vollständige Auskunft darüber gibt, was er an seinem Lebensende wirklich besaß.

Dem Protokoll, in dem Vereinbarungen zur Aufteilung der im Nachlassverzeichnis aufgeführten Posten am 11. November 1750 festgehalten wurden, sind einige Grundsätze der Erbteilung zu entnehmen:

- Alle Erben hatten das Recht auf Einspruch vor der Vormundschaftsdeputation der Universität bei der Teilung der gesamten Hinterlassenschaft.



Abbildung 2: Dr. Friedrich Heinrich Graff

- Gegenstände, die niemand haben wollte, wurden verkauft und der Erlös dem Verteilungsmodus entsprechend verteilt. Die Witwe erhielt ein Drittel, die Kinder zwei Drittel.
- Für Posten, die ein Erbe allein übernahm, musste er den anderen Erben den entsprechenden Ausgleich zahlen.

So musste auch Anna Magdalena Bach nur die Gegenstände übernehmen, die sie wirklich haben wollte. Dafür gab sie fast 35 Taler mehr aus, als sie gemäß protokollierter Erbteilung erhielt. Sie legte Wert auf den Besitz der gesamten Ausstattung für die Führung des Haushalts, der auf mindestens sieben Personen ausgelegt war. Dazu gehörte auch ein wertvoller Schrank, der den siebenfachen Wert eines normalen Kleiderschranks hatte. Sie erwarb auch Männerkleidung. Vor allem aber bezahlte sie etwas mehr als 38 Taler, um die Schuldbobligation ihrer Schwester zu erhalten. Eine eventuelle Rückzahlung dieser Schulden von 58 Talern war nunmehr Angelegenheit dieser beiden Frauen. Die wirtschaftlichen Verhältnisse dieser verwitweten Schwester waren so schlecht, dass Anna Magdalena Bach sich wohl keine Hoffnungen machen konnte, dieses Geld zurück zu erhalten.

Ihr Verhalten bei dieser Erbteilung scheint aber im Widerspruch dazu zu stehen, dass sie bereits ab Oktober 1750 regelmäßig Zuwendungen aus dem Graffschen Legat erhielt. Diese Unterstützungen waren ausdrücklich für „*arme Witben*“ bestimmt. Dieser Begriff musste in der Frühen Neuzeit aber nicht zwingend auf eine lebensbedrohende Armut hindeuten. Er wurde auch als Topos angewandt, der

für jede Witwe galt – unabhängig von ihrem finanziellen Vermögen.

Die Witwe Anna Magdalena Bach erhielt weitere Unterstützungen. Ein neu entdecktes Dokument von 1753 zeigt, dass sie vom Almosenamnt der Stadt wöchentlich 16 Groschen bekam. Zwei Ratsherren-Witwen erhielten zu dieser Zeit 24 Groschen. Die durchschnittliche Almosenzahlung lag bei 6 Groschen. Bis 1756 wurde der Betrag für Anna Magdalena Bach auf 24 Groschen (24 Groschen = 1 Taler) erhöht. Für die Witwe eines Ratsherrn, die Geld vom Almosenamnt bezog, kann nachgewiesen werden, dass sie eine Köchin, eine junge Magd und einen Perückenmacher angestellt hatte. Auch als sie eine Erbschaft von mehr als 1.000 Talern erhielt, wurden die Zahlungen des Almosenamts nicht eingestellt. Diese Zahlungen müssen also nicht auf eine große Armut hindeuten. Sie wurden standesabhängig gezahlt. So gibt der Begriff „Almosenfrau“, der nach dem Tod von Anna Magdalena Bach im Ratsleichenbuch erscheint, auch nur wieder, dass sie Unterstützungen erhielt, eine lebensbedrohende finanzielle Armut belegt er nicht.

Von der Universität erhielt Witwe Anna Magdalena Bach alle vier Wochen 1 Taler und 8 Groschen. Das war der Höchstsatz. Dass sie und ihre Kinder von 1753 bis 1757 auch Gelder aus dem Stiftsrat Bornschen Legat bekamen, war bisher noch nicht bekannt.

Im Haushalt der Witwe Anna Magdalena Bach lebten ihre beiden unmündigen Töchter, die beim Tod des Vaters acht und zwölf Jahre alt waren. Im Zuge dieser Arbeit fand ich ein Schriftstück, dem zu entnehmen ist, dass auch ihr erwachsener Sohn Gottfried Heinrich, der geistig behindert war, bei ihr wohnte. Da er regelmäßige Unterstützungen durch die Stadt erhielt, ist davon auszugehen, dass er nach dem Tod seines Vaters nicht nach Naumburg zu seiner Schwester zog. Diese kam 1760, nachdem ihr Mann verstorben war, auch wieder zurück nach Leipzig. Es ist nicht bekannt, warum Gottfried Heinrich 1763 in Naumburg verstarb und ungewiss, ob er dort jemals für längere Zeit lebte.

Somit wurde die Familie nach dem Tod von Johann Sebastian Bach nicht auseinandergerissen. Nur für den zum Zeitpunkt der Erbteilung vierzehnjährigen Sohn Johann Christian ist nachweisbar, dass er nach dem Tod des Vaters die Familie verließ. Er zog zu seinem Halbbruder Carl Philipp Emanuel nach Berlin, wo er eine musikalische Ausbildung erhielt.

Die bisher bekannten Unterstützungen für die Witwe Anna Magdalena Bach hätten aber kaum ausgereicht, das Überleben der Familie abzusichern. Es war zu dieser Zeit auch nicht üblich, dass Witwen durch Institutionen versorgt wurden. Man erwartete, dass sie entsprechend ihrem Stand, ihren Fähigkeiten und ihren Möglichkeiten tätig waren und zu ihrem Auskommen beitrugen. Es ist naheliegend, dass sie dabei versuchten, in Bereichen zu arbeiten, in denen sie bereits gemeinsam mit ihren Ehemännern gewirkt hatten. So erscheinen zum Beispiel im Leipziger Adressbuch von 1753 unter „*Kramer nach dem Alphabet, nebst Gewölbem*“ 250 Personen. Davon sind 29 Witwen, die die Aktivitäten ihrer Männer weiterführten.

Als ihr Mann starb, war Anna Magdalena Bach 48 Jahre alt. Dass sie die Verwaltung der Erbanteile der unmündigen Kinder übernahm, dass der erwachsene, geistig behinderte Sohn in ihrer Obhut blieb und sie für zwei weitere unmündige Kinder die Verantwortung übernahm, sind deutliche Hinweise, dass sie in der Lage war, selbst aktiv zu sein und Einkünfte zu erwirtschaften. So stellt sich also nicht die Frage, ob sie für ihr Auskommen auch arbeitete (das wurde von ihr erwartet), sondern die, welche Tätigkeiten sie ausgeübt haben könnte.

Dazu gibt es Hinweise: Für die Übernahme eines Hausstandes, der auf mindestens sieben Personen ausgelegt war, hatte Anna Magdalena Bach Ausgleichszahlungen an die anderen Erben geleistet. Dadurch schuf sie eine materielle Basis, die sie in die Lage versetzte, möblierten Wohnraum zu vermieten. Daran gab es in Leipzig einen großen Bedarf. Erfahrungen damit besaß Anna Magdalena bereits. Privatschüler, die ihr Mann unterrichtete, lebten in ihrem Haushalt, und damit war man auch für deren Unterbringung und Versorgung verantwortlich. Dabei wurde auf die Unterstützung durch Dienstpersonal zurückgegriffen.

Die Witwe Anna Magdalena Bach war zudem als Musikalienhändlerin tätig. Nachweisbar ist ihre Mitwirkung am Vertrieb der „*Kunst der Fuge*“. Dieses Werk hatten die Erben nach Bachs Tod drucken lassen. Anna Magdalena war es dann auch, die im Mai 1752 dem Rat der Stadt Leipzig dieses Werk in gedruckter Form übergab. Diese Musikalien wurden dem Rat aber nicht etwa zum Kauf angeboten. Der Vorgang der Übereignung ist in der Jahreshauptrechnung des Rates unter der Rubrik „*Außgab Vff Geschenck Fürsten*“

vnnd Herren und andere verehrungen ins gemein.“ aufgeführt. Es handelte sich also um ein in Verehrung überreichtes Geschenk. Für eine gleichzeitige Bitte um Unterstützung mit dem Hinweis auf die eigene, lebensbedrohende Armut wäre die „Kunst der Fuge“ denkbar ungeeignet gewesen. Die Publikation hatte durch die gewählten Qualitätsansprüche hohe Kosten verursacht. Darauf wurde durch die Herausgeber in einer Zeitungsanzeige extra hingewiesen. Dass die 40 Taler, welche Anna Magdalena Bach dafür erhielt, „auch sonst in Ansehung deren Dürfftigkeit“ ausgewiesen wurden, war ihrem Status als Witwe geschuldet.

Für sein Lehrwerk „Versuch über die wahre Art das Clavier zu spielen“ ließ Carl Philipp Emanuel Bach, der ein geschickter Geschäftsmann war, den Leipziger Vertrieb durch seine Stiefmutter Anna Magdalena Bach abwickeln. In Zeitungsanzeigen wurden 1752, 1753, 1754 und 1759 Interessenten aufgefordert, die „*Frau Capellmeisterin Bachin*“ in Leipzig zu kontaktieren, um das Werk vorab zu bezahlen und nach erfolgtem Druck zu erhalten oder dort auch vorrätige Druckexemplare zu erwerben. Carl Philipp Emanuel Bach baute sein Vertriebsnetz ständig aus. Auch wechselte er die Vertreiber in einzelnen Städten. In der Universitäts- und Messestadt Leipzig blieb es seine Stiefmutter. Auch 1759 gab er für die Kontaktaufnahme nur „*Frau Capellmeisterin Bachin – Leipzig*“ an, obwohl es in Leipzig Straßennamen und Häuserbezeichnungen gab. Offensichtlich ging er davon aus, dass sie auch zu dieser Zeit noch einen entsprechenden Bekanntheitsgrad besaß, der durch den Vertrieb weiterer Musikalien begründet sein könnte.

Als ausgebildete Sängerin und mit den Fähigkeiten, die sie durch die Zusammenarbeit mit ihrem Mann erworben hatte, war Anna Magdalena Bach für die Weiterführung des Musikalienhandels, den ihr Mann bereits betrieben hatte und in den sie höchstwahrscheinlich involviert war, qualifiziert. Sie kannte sich in den Beständen der Aufführungsmaterialien aus. Es sind in größerem Umfang von ihrer Hand gefertigte Kopien bekannt. Nach Bachs Tod wurde 1750 die Kantate zur Ratswahl bei ihr bestellt.

Die Prinzipien der Erbteilung liefern Hinweise, dass Anna Magdalena Bach nach dem Tod ihres Mannes mindestens ein Drittel seines Musikalienbestandes erhielt. Sie verwaltete auch die Erbteile der unmündigen Kinder. Somit war sie



Abbildung 3: Carl Philipp Emanuel Bach, Stiefsohn von Anna Magdalena Bach

in der Lage, als Musikalienhändlerin die Kompositionen ihres Mannes für Abschriften zur Verfügung zu stellen und Kopien davon anzubieten, die sie selbst anfertigte. Einige Jahre später gab der Leipziger Verlag Breitkopf einen Katalog heraus, in dem er die Kopien von Werken verschiedener Komponisten anbot, darunter auch Kompositionen von Johann Sebastian Bach. In ähnlicher Weise war später auch die verwitwete Ehefrau ihres Stiefsohnes Carl Philipp Emanuel Bach tätig.

Es ist nicht bekannt, wie hoch die Einnahmen waren, die Anna Magdalena durch eigene Tätigkeiten erzielte. Aber auch wenn sie ein Vielfaches von den Einkünften eines Bergmanns betragen haben können, so waren dies doch nicht annähernd die Beträge, die zu Lebzeiten ihres Mannes zur Verfügung standen. Ihre Einnahmen reichten nicht aus, um ein Leben zu führen, das ihrem Stand entsprach. Das machte sie in der Gesellschaft der Frühen Neuzeit unterstützungswürdig.

Die Geschäftsbeziehungen zu ihrem Stiefsohn Carl Philipp Emanuel Bach, die durch Zeitungsanzeigen bis kurz vor ihrem Tod am 27. Februar 1760 nachgewiesen werden können, sind ohne einen persönlichen Austausch nicht vorstellbar. So ist davon auszugehen, dass auch er sie finanziell unterstützt hätte, wenn es nötig gewesen wäre. In späteren Jahren ließ er seiner verwitweten Stiefschwester regelmäßig Geld zukommen. Mehrfach unterstützte er auch seinen Bruder Wilhelm Friedemann.

In seinen Zeitungsanzeigen nennt Carl Philipp Emanuel Bach seine Stiefmutter „*Frau Capellmeisterin*“. Dieser Titel weckt andere Assoziationen, als der Begriff

„*Almosenfrau*“ aus dem Ratsleichenbuch der Stadt Leipzig, welcher wohl bisher das Bild der Witwe Anna Magdalena Bach verfälschend prägte.

Wie lange und in welchem Umfang die verwitwete Frau Capellmeisterin Bach in der Lage war, für ihren Unterhalt selbst aktiv zu sorgen, wie hoch ihre Gesamteinnahmen waren, in welchem Umfang in späteren Jahren die herangewachsenen Töchter zum Unterhalt beitragen konnten oder welche Auswirkungen der Siebenjährige Krieg für sie hatte, sind Fragen, denen sich weitere Forschungen widmen müssten. Die Zeitungsanzeigen von Carl Philipp Emanuel Bach von 1759 zeigen aber, dass Anna Magdalena Bach auch noch zu dieser Zeit in Lebensumständen lebte, die für eine Frau Capellmeisterin und ihren Stiefsohn Carl Philipp Emanuel keine Schande darstellten.

Für die These, dass sie nach dem Tod ihres Mannes aus finanziellen Gründen in eine lebensbedrohende Armut geraten sei, gibt es also nach eingehender Prüfung keine Belege. Somit besitzen Vorwürfe in der Richtung, dass ihr Mann keine Vorsorge für sie getroffen habe und sie von ihren Angehörigen im Elend allein gelassen worden wäre, keine Grundlage.

Mit diesem Beitrag können die Ergebnisse meiner Forschungen natürlich nur angedeutet werden. Es dürfte aber deutlich geworden sein, welche Auswirkungen die Beschäftigung mit einem Bergwerksanteil haben kann.

Bildnachweis

1 BergAFG, 40186: Zechenregister sächsischer Bergreviere, Nr. 135015, Gewerkenverzeichnis, unpaginiert; 2 Stadtgeschichtliches Museum Leipzig, Inv.-Nr. Stadtrichter Nr. 47; 3 Staatsbibliothek zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz, Musikabteilung mit Mendelssohn-Archiv

Ergänzender Hinweis

Die im Beitrag erwähnte Dissertation soll 2019 im Verlag Klaus-Jürgen Kamprad/Altenburg unter dem Titel „Die verwitwete Frau Capellmeisterin Bach. Studie über die Verteilung des Nachlasses von Johann Sebastian Bach“ erscheinen. Weitere Informationen zum Bergwerksanteil Johann Sebastian Bachs sind auch in „Der Kapellmeister Johann Sebastian Bach als Anteilseigner des Ursula Erbstillns. Eine Studie über Zubußen und Zubußezen“ zu finden. Dieser Beitrag ist Teil der 2018 durch die Saxonia-Freiberg-Stiftung herausgegebenen Publikation „Gelebte Tradition. Die Silberstadt Freiberg im Spiegel der Montangeschichte“.

Buchrezension

Michail Vasil'evič Lomonosov: *Schriften zur Geologie und zum Berg- und Hüttenwesen (1742–1765)*, hrsg. und kommentiert von Friedrich Naumann. Verlag De Gruyter/Oldenbourg, Berlin/Boston 2018, 356 Seiten, 27 Abb.

Der aus dem hohen russischen Norden stammende Michail Vasil'evič Lomonosov (1711–1765) war 1736 von der russischen Regierung nach Freiberg und anschließend nach Marburg zum Studium entsandt worden, worüber Friedrich Naumann bereits in einer Sonderbeilage der „Acamonta“ berichtete.¹ Der russische Student geriet jedoch nicht nur in einen oft schon geschilderten Konflikt mit dem Chemiker und Bergbauspezialisten Johann Friedrich Henckel (1678–1744), dessen Lehrmethoden Lomonosov als unfruchtbar ansah, sondern erhielt in Kursachsen auch zahlreiche Anregungen, die zum Beispiel zur Begründung eines chemischen Laboratoriums in St. Petersburg führten.² Die Beobachtungen des jungen Russen im Freiburger Bergbaurevier wie auch in anderen deutschen Territorien flossen in seine Schriften zur Geologie und zum Berg- und Hüttenwesen (1742–1765) ein.

Der an der Bergakademie Freiberg ausgebildete Professor Friedrich Naumann, Emeritus der TU Chemnitz, Experte für Technikgeschichte und Informatik sowie für die sächsisch-russischen Bergbaubeziehungen, gab zehn Arbeiten Lomonosovs in einer neuen deutschen Übersetzung heraus. Allerdings waren bereits 1961 im Rahmen einer zweibändigen Werkausgabe³ einige seiner geowissenschaftlichen Arbeiten in deutscher Sprache erschienen.

Doch das Wissen über Lomonosov, den „Historiker, Rhetoriker, Physiker, Ingenieur, Chemiker, Geologen, Mineralogen, Künstler, Autor bemerkenswerter Entdeckungen und Schöpfer fundamentaler und origineller Arbeiten“ (Vorwort von F. Naumann, S. V) hat sich in den zurückliegenden fünf Jahrzehnten beträchtlich erweitert und war 2011 anlässlich seines 250. Geburtstags in der umfassenden Biografie von Peter Hoffmann (*1924) zusammengefasst dargestellt worden.⁴ In seiner Einführung würdigt Friedrich Naumann, gestützt auf neuere Forschungen, den wissenschaftlichen Aufstieg Lomonosovs und dessen Leidenschaft für die jeweilige Materie. Er ordnet die Leistungen des Universalgelehrten in die internationale Entwicklung der Geowissenschaften ein. Neben Texten, die nur wenige Zeilen umfassen, wie das „Programm einer Allgemeinen Mineralogie“

(S. 322) und die „Petrificatio Artificialis“ (S. 323), beherrschen vor allem die „Anfangsgründe des Berg- und Hüttenwesens“ (S. 101–208), die Lomonosov am Ende seiner wissenschaftlichen Laufbahn 1763 erscheinen ließ und die den Beamten in den russischen Bergbauzentren in Form eines Handbuchs zugeschickt wurden, von ihrem beträchtlichen Umfang her die Edition. Anhand der Beilage „Über die Erdschichten“ (1763) wird erkennbar, dass Lomonosov mit diesem Werk die Grundlagen für mehrere geowissenschaftliche Disziplinen legte und in diesen das damalige europäische Niveau mitbestimmte. Die auf Beobachtungen in Ländern aller damals bekannten Kontinente beruhende Seditimentenlehre wurde von ihm zeitgleich mit dem Schaffen J. G. Lehmanns und G. Ch. Fücksels weiterentwickelt. Lomonosov stellte die Paläozoologie in der Nachfolge des russischen Bergbauspezialisten und Geographen V. N. Tatiščev (1686–1750), gestützt unter anderem auf die Funde von Überresten des Mammuts in Sibirien und des europäischen Waldelefanten im thüringischen Burgtonna, auf eine erstaunlich modern anmutende Grundlage. Sogar zur Unterwasser-Archäologie lieferte Lomonosov wegweisende Anregungen: „So frage ich jene, was sie von einem Taucher halten würden, der aus den Tiefen des Meeres Münzen, Waffen oder Gefäße, die während einer Seeschlacht oder infolge eines Sturmes untergegangen“ (S. 269) sind, als „von der kühlen Natur“ selbst erzeugt ansehen würde. Mit dieser Analogie wollte Lomonosov demonstrieren, dass er die Deutung solcher Artefakte als Resultat einer „spielerischen Laune der Natur“ ablehnte.

Lomonosovs Sprache ist bildreich und kraftvoll, was auch die Übersetzung gut erkennen lässt. Sie lässt erahnen, dass er als Dramatiker und Poet eine neue Etappe der russischen Literaturentwicklung einzuleiten vermochte: „Wenn wir, die wir auf der Oberfläche der Erde leben und uns auf ihr bewegen, sehen könnten, was unter unseren Füßen in ihrem Innern verborgen ist, würden wir manchmal alle Möglichkeiten ausschöpfen, um in ihr tiefstes Inneres einzudringen“ (S. 225). Der russische Gelehrte verwandte Formulierungen, die die biblische Legende von der Erschaffung der Welt hätten in Frage stellen können – so jene, wonach der Zustand der Erdoberfläche „nicht mit dem bei der Entstehung der Welt gleichzusetzen ist, sondern mit der Zeit eine andere Gestalt angenommen hat“ (S. 267). Alles sei ununterbrochen in Bewegung, Berge und Täler entstünden ständig

und zur gleichen Zeit an verschiedenen Orten. Doch die Zensoren der russisch-orthodoxen Kirche merkten davon nichts. Lomonosov, der immer ein gläubiger Christ geblieben war, hatte festgehalten, dass er naturwissenschaftliche Entdeckungen von der Welt des religiösen Glaubens konsequent getrennt sehen wollte.⁵

Die von Friedrich Naumann in seiner Neuübersetzung im Anschluss an das Werk „Anfangsgründe des Berg- und Hüttenwesens“ platzierten Abbildungen (S. 209–216) lassen erkennen, wie hierzu auf das Vorbild des Georgius Agricola (1494–1555)⁶ in dessen reich illustriertem Werk „De re metallica“ zurückgegriffen wurde, von dem Lomonosov die lateinische Ausgabe aus dem Jahr 1657 besaß.

Im Anhang werden dann russische Gewichts- und Längenmaße erläutert. Eine Biografie und eine Chronik der Schriften Lomonosovs, ein Verzeichnis der Archivalquellen (Marbach, Dresden, Freiberg, St. Petersburg), der zeitgenössischen Drucke, der Literatur zu einschlägigen Forschungen sowie ein Personenregister helfen dem Leser bei der Erschließung des Bandes.

Friedrich Naumann hat dem heutigen Rezipienten die bedeutsamen geowissenschaftlichen Erkenntnisse und die hochinteressanten Mitteilungen Lomonosovs über das Berg- und Hüttenwesen seiner Zeit wieder zugänglich gemacht, die bisher in diversen in West- und Mitteleuropa erschienenen Handbüchern und Überblicksdarstellungen zu Unrecht überhaupt nicht oder nicht ausreichend gewürdigt worden sind.

Michael Schippan

Anmerkungen

- 1 Naumann, F.: Michail Vasil'evič Lomonosovs Beitrag zur Herausbildung der geologischen Wissenschaften in Russland. In: Sonderbeilage zur ACAMONTA, 23 (2016).
- 2 Moiseeva, T.: Nach Henckels Vorbild: Das chemische Laboratorium Lomonosovs. In: Bilder-Wechsel. Sächsisch-russischer Kulturtransfer im Zeitalter der Aufklärung: Hg. von Volkmar Billig u. a., Böhlau Verlag Köln - Weimar - Wien 2009, S. 83–100.
- 3 Lomonosov, M. W.: Ausgewählte Schriften in zwei Bänden. Bd. 1: Naturwissenschaften. Akademie-Verlag, Berlin 1961.
- 4 Hoffmann, P.: Michail Vasil'evič Lomonosov (1711–1765). Ein Enzyklopädist im Zeitalter der Aufklärung. Peter Lang Verlag GmbH, Frankfurt/M. 2011; ders.: Lomonosov-Studien. Aufsätze aus fünf Jahrzehnten. Nora Verlag, Berlin 2015.
- 5 Vgl. Schippan, M.: Die Anfänge der geowissenschaftlichen Forschung in Russland. Zum 300. Geburtstag M. V. Lomonosovs. In: Beschreibung, Vermessung und Visualisierung der Welt. Hg. von Ingrid Kästner und Jürgen Kiefer (Europäische Wissenschaftsbeziehungen. Bd. 4). Shaker Verlag, Aachen 2012, S. 109–136.
- 6 Naumann, F.: Georgius Agricola, „... ein Riese an Denkkraft, Leidenschaft und Charakter, an Vielseitigkeit und Gelehrsamkeit“. Selbstverlag, Chemnitz 2018.

Zum 75. Todestag von Friedrich Ludwig Wilhelm Kolbeck, dem anerkannten Diagnostiker auf dem Gebiet der Mineralogie und Geologie

Friedrich Kolbecks Streben galt der Vervollkommnung der Mineraldiagnostik. Er war ein passionierter Analytiker auf diesem Gebiet. Nach Kolbeck wurde ein äußerst seltenes, intensiv blaugefärbtes Scandium-Phosphat „Kolbeckit“ benannt. Besondere Verdienste erwarb er sich bei der Umordnung und Neuaufstellung der prachtvollen Mineraliensammlung der Bergakademie Freiberg.

Friedrich Kolbeck wurde am 12. Januar 1860 in Dresden geboren. Er besuchte die dortige Annenrealschule bis zur Reife und studierte von 1879 bis 1882/83 an der Universität Leipzig Naturwissenschaften, wobei er sich hauptsächlich der Chemie, der Mineralogie und der Geologie widmete. Anfang 1883 promovierte er zum Dr. phil. mit der Dissertation „Porphyrgesteine des südöstlichen China“. Von 1883 bis 1884 studierte er an der Bergakademie Freiberg mit der Absicht, die Diplomprüfung abzulegen. Er sah aber davon ab, weil er bereits als Assistent für Hütten-, Probier- und Lötrohrprobierkunde angestellt worden war. 1893 wurde er zum Dozenten und 1896 zum Professor für Probier- und Lötrohrprobierkunde ernannt. Nach Erkrankung des damaligen Professors für Mineralogie, Albin Weisbach, übernahm er 1901 zunächst vertretungsweise dessen Vorlesungen über Mineralogie, bis er im Oktober 1901 zum ordentlichen Professor für Mineralogie und Lötrohrprobierkunde berufen wurde. Seine wissenschaftlichen Verdienste ehrte die Deutsche Technische Hochschule Prag im Jahr 1922 durch Verleihung der Würde eines Dr. der Technischen Wissenschaften E.h.

In den Jahren 1913 bis 1915 und 1922 bis 1923 leitete er – also anfangs des Ersten Weltkriegs und in der sozialpolitisch äußerst schwierigen Nachkriegszeit – erfolgreich die Geschicke der Bergakademie Freiberg als deren Rektor.

Im März 1928 wurde Friedrich Kolbeck pensioniert und damit von seinen amtlichen Pflichten entbunden. 1930 bis 1931 weilte Kolbeck drei Semester lang in Heidelberg, um die Mineraliensammlung des Geheimrats Bosch zu ordnen.

Besonders verdient machte sich F. Kolbeck um die Umordnung und Neuaufstellung der prachtvollen Mineraliensammlung der Bergakademie Freiberg im 1916 eingeweihten Neubau des mineralogisch-geologischen Instituts. Nach Kolbeck sind zwei Mineralien benannt, nämlich das in der Kupfergrube zu Sadisdorf im Erzgebirge gefundene Berylliumsilikophosphat und das in Oruro/Bolivien entdeckte Schwefelzinnmineral. Ausgestattet mit einem glänzenden Erinnerungsvermögen und einer überaus scharfen Beobachtungsgabe war Kolbeck ein Meister im Bestimmen von Mineralien nach ihren äußeren Kennzeichen und zugleich ein Könnler in der für Berg- und Hüttenleute so unentbehrlich gewesenen Lötrohrprobierkunst, die er im Sinne seiner Vorgänger Plattner und Theodor Richter weiter ausbaute.

Noch in seinem Ruhestand erinnerte er sich der Namen, der Gesichter und der näheren Verhältnisse der vielen Hundert von in- und ausländischen Studenten, die einst durch seine Schule gegangen waren. Friedrich Kolbeck starb am 6. Februar 1943 in Freiberg. ■ Gerd Grabow

Bergbauhistorie im Bild bei Michael Merkel

Zur Serie „Im Cynwald“

Handwerkliche Traditionen, Baustile und der Umgang mit der Landschaft spielen in Michael Merkels Serie „Im Cynwald“ eine große Rolle.

Auf den vergilbten Seiten ausrangierter Bücher bannt er mit feinen Linien und Silberfolie die Geschichte und den besonderen Charakter des Erzgebirges. Kraftvoll kontrastierend setzt der Künstler Flächigkeit gegen Zartheit, Materialhistorie gegen die im Bild aufgegriffene Geschichte.

Formale Schichtungen und Brüche finden in Michael Merkels collagierten Zeichnungen ihre inhaltlichen Entsprechungen, lassen verborgene Erzählungen aufblitzen und bringen dem Betrachter die versteckten Schätze einer Region auf künstlerisch komplexe Weise näher.

Zeichnungen | 2015–2017

Buchseiten, Tusche, Fineliner, Folie

je 20 × 14 cm

Kontakt

www.michael-merkel.eu

info@michael-merkel.eu



Ehrendoktorwürde für Prof. Hans-Jürgen Kretzschmar

Die TU Bergakademie Freiberg verlieh am 24. April die Ehrendoktorwürde an Prof. Hans-Jürgen Kretzschmar. Prof. Kretzschmar ist seit 2007 Geschäftsführer des Vereins Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg (VFF) und seit 2013 Ehrenbürger der Universität.

„Prof. Kretzschmar war und ist gleich in doppelter Weise wichtig für die Außenwirkung der Bergakademie – einmal durch seinen engen Bezug zur Industrie und zum anderen durch sein weitgespanntes Netz internationaler Kontakte“, würdigte Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht, Rektor der TU Bergakademie, den Jubilar, der am 22. April seinen 75. Geburtstag begangen hat.

Im Jahr 2017 erhielt Prof. Kretzschmar sein Goldenes Diplom – er hatte von 1962 bis 1967 am neugegründeten Tiefbohrtechnik-Institut studiert, das von seinem späteren Doktorvater Prof. Werner Arnold geleitet wurde. Diesem verdankt die Universität auch die Wiedergründung des VFF im Jahr 1990.

Nach seinem Studium war Hans-Jürgen Kretzschmar zunächst in der Erdölindustrie und bei DBI Freiberg tätig, später, von 1993 bis 2006,

dann als Geschäftsführer der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH in Leipzig und Freiberg. Seit 1995 hielt er Vorlesungen zur Technologie und Modellierung untertägiger Erdgasspeicher an der TU Clausthal, wo er 2002 zum Honorarprofessor für das Fachgebiet der Untertagespeichertechnik (Porenspeicher) ernannt wurde.

1998 gründete er an der TU Bergakademie Freiberg das An-Institut „DBI-Gastechologisches Institut (DBI-GTI)“, um die Gasforschung zwischen DBI und Bergakademie zu bündeln.

Seine internationalen Kooperationen erstrecken sich über die Montanuniversität Leoben, die Berg- und Hüttenakademie Krakau, die TU Miskolc, Frankreich und die Niederlande bis nach Mailand und Ankara. Seit 1993 ist er Mitglied des VFF.



© Eckardt Müller

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Grabow zum 90. Geburtstag

Aus Anlass des 90. Geburtstags von Prof. Dr. Gerd Grabow veranstaltete die Professur für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen der TU Bergakademie Freiberg am 17. September ein Ehrenkolloquium. Damit wurden sein weithin anerkanntes fachliches Wirken auf dem Gebiet der Fluidenergiemaschinen und sein bis heute andauerndes Engagement für die TU Bergakademie Freiberg gewürdigt. Zu den über 50 Teilnehmern des Ehrenkolloquiums zählten neben früheren Kollegen und Mitarbeitern der Professur auch ehemalige Doktoranden, Kooperationspartner und weitere Gäste.

In der Laudatio wurde Prof. Grabows Wirken als Wissenschaftler und Hochschullehrer vorgestellt, der als Fachmann von den Kollegen geschätzt und als Vorgesetzter und Hochschullehrer bei den Mitarbeitern und Studenten sehr beliebt war. Nach dieser Würdigung und der Gratulation wurde in mehreren Fachvorträgen aufgezeigt, dass sich die wissenschaftlichen Forschungsansätze von Prof. Grabow bis heute in aktuellen Projekten der Professur für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen wiederfinden.

Als Wissenschaftler beschäftigte sich Gerd Grabow mit den Energiewandlungsprozessen in Pumpen und Verdichtern. Zu seinen wissenschaftlichen Schwerpunkten gehörte neben der Analyse des Betriebsverhaltens von Seitenkanalmaschinen auch die Erforschung der Mehrphasenströmungen in Pumpen beim hydraulischen Feststofftransport, ein bis heute aktuelles Gebiet mit Bedeutung für die submarine Rohstoffgewinnung. In der

Fachwelt wurde er u. a. durch das von ihm erweiterte Cordier-Diagramm weit bekannt. Im klassischen Cordier-Diagramm waren zunächst nur die relevanten Maschinenparameter für optimal arbeitende Strömungsmaschinen zusammengefasst. Prof. Grabow fügte dem Diagramm noch die entsprechenden Parameter für optimal arbeitende Kolbenmaschinen hinzu und ergänzte außerdem die entsprechenden Größen für Seitenkanalmaschinen. Das erweiterte Cordier-Diagramm nach Grabow ist heute ein Standardwerkzeug für jeden Maschinenbauingenieur, der eine Fluidenergiemaschine schnell und optimal auslegen möchte. Das wissenschaftliche Werk von Prof. Grabow ist in mehreren hundert Fachartikeln, in Konferenzbeiträgen, Freiburger Forschungsheften und Patenten veröffentlicht.

Zur Unterstützung seiner Lehre entwickelte er verschiedene Vorlesungsskripte zur Energiewandlung in Fluidenergiemaschinen, die in mehreren Auflagen vertrieben wurden. Diese sogenannten „Leitfäden“ sind didaktisch sehr gut gestaltet und waren auch an anderen Hochschulen anerkannt und sehr beliebt. Von seinem Streben nach Anschaulichkeit in Forschung und Lehre zeugen auch zahlreiche von ihm angefertigte Modelle aktueller und historischer Fluidenergiemaschinen, von denen der Nachbau des bekannten Schwarzenberg-Gebläses noch heute die Blicke



© Mario Köhler

von Interessierten auf sich zieht. Verdient gemacht hat sich Prof. Grabow auch um das wissenschaftliche Erbe der Bergakademie. Er überführte den Nachlass Julius Weisbachs in eine moderne Wissenschaftssammlung, die heute im Weisbach-Bau zu besichtigen ist. Bereits während seiner Zeit als Hochschullehrer beschäftigte sich Gerd Grabow mit der Geschichte der Bergakademie und berichtete bisher in über 300 Fachbeiträgen über das Wirken bedeutender Persönlichkeiten der Freiburger Montanwissenschaften.

Zur Person: Gerd Grabow wurde am 15. September 1928 in Weißenfels/Saale geboren. Nach der Schulbildung in Weißenfels und einer Berufsausbildung zum Dreher in Halle folgten das Abitur in Halle und 1949–1953 ein Studium des Maschinenbaus an der TH Dresden in der Fachrichtung Kraft- und Arbeitsmaschinen. Von 1953 bis 1972 war Gerd Grabow im VEB Kombinat Pumpen und Verdichter in Halle/Saale in verschiedenen Positionen in der Forschung und Entwicklung tätig. In diese Zeit fallen zwischen 1958 und 1969 die Übernahme von Lehraufträgen zum Thema Pumpen und Verdichter an der TH Magdeburg, seine externe Promotion A, die Facultas Docendi 1969 und seine externe Promotion B im Jahr 1972, jeweils an der TH Magdeburg. 1972 übernahm Prof. Grabow in Freiberg den Lehrstuhl Energieumwandlungsmaschinen und in dessen historischem Wandel bis zu seinem Ausscheiden aus dem aktiven Hochschuldienst im Jahre 1995 die Lehrstühle Thermodynamik und Energieumwandlungsprozesse, Fluidenergiemaschinen sowie Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen. Prof. Gerd Grabow ist verheiratet und hat zwei Kinder und drei Enkel.

Rüdiger Schwarze, Ingo Riehl, Rhena Wulf

Neue Professoren berufen

- Dr.-Ing. habil. **Andreas Siegfried Bräuer** zum Professor für Thermische Verfahrenstechnik an der Fakultät 4 zum 01.01.2018
Prof. Dr. rer. nat. habil. **Hermann Ehrlich** zum Professor für Biomineralogie und Extreme Biomimetik an der Fakultät 5 zum 01.08.2018
Dr. **Thomas Nagel** zum Professor für Bodenmechanik und Grundbau an der Fakultät 3 zum 01.09.2018
Dr. rer. nat. **Christian Gerhards** zum Professor für Geoinformatik und Geomathematik an der Fakultät 3 zum 01.10.2018
PD Dr. rer. nat. **Felix Alois Plamper** zum Professor für Physikalische Chemie – Grenzflächen und Kolloide an der Fakultät 2 zum 01.10.2018
PD Dr. rer. nat. **Traugott Scheytt** zum Professor für Hydrogeologie und Hydrochemie an der Fakultät 3 zum 01.10.2018
Jun.-Prof. Dr.-Ing. **Sebastian Zug** zum Professor für Softwareentwicklung und Robotik an der Fakultät 1 zum 01.10.2018

Geburtstage unserer Vereinsmitglieder

60. Geburtstag

- Prof. Dr. Barbknecht, Klaus-Dieter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Bilsing, Andreas, Leipzig
- Dipl.-Ing. Fromm, Peter, Drebkau
- Dipl.-Ing. Hartwig, Steffen, Limbach-Oberfrohna
- Dipl.-Ing. Kuchling, Petra, Oberschöna
- Dr. Lorz, Udo, Lichtenberg
- Ing. Möhler, Bernd, Klipphausen
- Prof. Reissig, Michael, Freiberg
- Dr.-Ing. Riehl, Ingo, Freiberg
- Frau Schulze, Sabine, Heidenau
- Dipl.-Ing. Sontag, Eva-Maria, Weißwasser
- Prof. Dr. Spitzer, Klaus, Freiberg
- Dr.-Ing. Tauchnitz, Frank, Berlin
- Dr.-Ing. Walther, Jens, Königstein
- Frau Wienhold-Engelhardt, Simone, Elgersburg

65. Geburtstag

- Dr.-Ing. Arnold, Claudius, Leipzig
- Dipl.-Ing. Binde, Wulf, Berlin
- Dr. phil. Kaden, Herbert E., Freiberg
- Dr.-Ing. habil. Kögel, Wieland, Gera
- Dipl.-Ing. Lange, Stefan, Chemnitz
- Dipl.-Ing. Ponert, Günter, Dresden
- Dipl.-BW. (FH) Ronneburger, Petra, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schellig, Jürgen, Segnas
- Prof. Dr. Schmidt, Jürgen, Dresden
- Dr. rer. nat. Schwan, Martin, Dresden
- Prof. Dr. Unland, Georg, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Volkmann, Norbert, Großschirma

70. Geburtstag

- Dr. Bether, Wolfgang, Hoyerswerda
- Frau Brezinski, Helene, Oberschöna
- Dr. Eckardt, Elke, Freiberg
- Dr.-Ing. Gollnast, Wolfgang, Heckelberg
- Dipl.-Ing. Hesse, Dieter, Leipzig
- Dipl.-Journ. Höppner, Christel-Maria, Berlin
- Dipl.-Ing. Höppner, Wolfram, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Horezky, Reinhardt, Dresden
- Dr.-Ing. habil. Keßler, Jürgen, Mülheim an der Ruhr
- Dipl.-Ing. Lesniewski, Bernd, Gera
- Dipl.-Ing. Lewitzki, Wolfgang, Cottbus
- Prof. Dr.-Ing. habil. Meier, Günter, Wegfarth
- Dr. rer. pol. Middendorf, Rolf, Radebeul
- Prof. Dr. Mönch, Wolfgang, Freiberg
- Dipl.-Ing. Raßbach, Kurt, Chemnitz
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Schneider, Jörg, Freiberg
- Dipl.-Ing. oec. Schramm, Bernd-Erwin, Wegfarth
- Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Sroka, Anton, Dresden
- Dipl.-Ing. Welsch, Wolfgang, Gleichamberg

75. Geburtstag

- Dr. Böttcher, Arnd, Freiberg
- Dipl.-Ing. Brandt, Wulf, Königs Wusterhausen
- Dipl.-Ing. oec. Dietze, Gerlinde, Großhartmannsdorf
- Prof. Dr. Fasold, Hans-Georg, Essen
- Dipl.-Ing. Gruhlke, Peter, Neschwitz
- Dipl.-Geophys. Heinze, Konrad, Freiberg
- Prof. e. h. Dr.-Ing. Holst, Klaus-Ewald, Leipzig
- Dr. oec. Hummitzsch, Rudolf, Leipzig
- Dr. Jesse, Jürgen, Machern
- Dr.-Ing. Kleinitz, Wolfram, Hannover
- Dr.-Ing. e. h. Koch, Peter, Bad Schlema
- Prof. Dr.-Ing. habil. Kretschmar, Hans-Jürgen, Freiberg
- Dipl.-Ing. Neumann, Klaus, Wendisch Rietz
- Prof. Dr. Niklas, Jürgen, Kleinschirma
- Prof. Dr. Dr. h. c. Reichwald, Ralf, München-Bogenhausen
- Dipl.-Ing. Richter, Hans Ulrich, Chemnitz
- Dipl.-Ing. Rückert, Gerhard, Leipzig
- Dr. phil. Runge, Monika, Freiberg
- Herr Schiemann, Dieter, Berlin
- Dipl.-Ing. Specht, Klaus-Peter, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Tilch, Werner, Freiberg
- Herr Turba, Eike, Freiberg
- Dipl.-Ing. Wienhold, Bernd, Sayda

80. Geburtstag

- Dr.-Ing. Bayer, Manfred, Oberschöna
- Dipl.-Ing. Berger, Klaus, Fulda
- Dr.-Ing. Bittner, Horst, Wilsdruff
- Dipl.-Ing. Bormann, Frank, Großpösna
- Prof. Dr.-Ing. habil. Born, Manfred, Freiberg
- Dipl.-Ing. Egemann, Heinz, Aschersleben
- Dr.-Ing. Engelhardt, Reiner, Freiberg
- Dr.-Ing. Eulenberger, Karl-Heinz, Freiberg
- Dipl.-Ing. Fischer, Rudolf, Kassel
- Dr.-Ing. Hempel, Dieter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Herold, Horst, Taucha
- Dipl.-Ing. (FH) Illing, Dieter, Freiberg
- Dr.-Ing. Kirchberg, Wolfgang, Limbach-Oberfrohna
- Dipl.-Ing. Kloppe, Klaus, Berlin
- Dr.-Ing. habil. Kohlstock, Harald, Freiberg
- Dr. sc. oec. Kretzer, Johannes, Freiberg
- Dipl.-Ing. Reg.Dir. a. D. Kutzer, Hans-Joachim W., Windach
- Dipl.-Ing. Link, Joachim, Freiberg
- Dipl.-Ing. Lust, Alfred, Dahlenwarleben
- Prof. Dr.-Ing. habil. Michel, Wolfgang, Magdeburg
- Dr.-Ing. Papendick, Gero, Freiberg
- Dr. Dipl.-Geol. Richter, Horst, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schneider, Klaus, Berlin
- Dr.-Ing. Seifert, Harald, Freiberg
- Prof. i. R. Dr. oec. habil. Slaby, Dieter, Freiberg

- Dr.-Ing. Wehrsig, Hartmut, Freiberg
- Dr.-Ing. Zichel, Joachim, Markkleeberg
- Dipl.-Ing. Dr. oec. Zinke, Hans-Georg, Freiberg

81. 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. Dunger, Egon, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Eger, Wolfgang, Langenfeld/Rheinland
- Dr. med. habil. Freiesleben, Heiner, Lübeck
- Prof. Dr.-Ing. Gatzweiler, Rimbart, Saarbrücken
- Herr Hachenberger, Johannes, Hannover
- Dr. Hein, Stefan, Freiberg
- Dr.-Ing. Lawrenz, Manfred, Freiberg
- Dr.-Ing. Liersch, Wolfgang, Cottbus
- Dr.-Ing. habil. Lietzmann, Klaus-Dieter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Nauke, Herbert, Magdeburg
- Frau Roth, Gerlinde, Leipzig
- Dr. Rütger, Gert, Freiberg
- Doz. Dr.-Ing. habil. Schab, Dietmar, Freiberg
- Dr.-Ing. Schlauderer, Henry, Dippoldiswalde
- Dipl.-Geologe Schmitz, Wolfgang, Hoyerswerda
- Prof. Dr. rer. oec. habil. Seidelmann, Peter, Freiberg
- Dr. rer. oec. Stürzebecher, Klaus, Freiberg
- Dipl.-Ing. Teubner, Werner, Merseburg
- Dr.-Ing. Wieschebrink, Günter, Markranstädt
- Dr. rer. nat. Zänker, Günter, Wolmirstedt

82. Geburtstag

- Dr.-Ing. habil. Altmann, Walter, Leipzig
- Dr. Bechstein, Dietrich, Delitzsch
- Prof. em. Dr.-Ing. Fenk, Jürgen, Dresden
- Dipl.-Ing. Günther, Erdmann, Schönwalde
- Frau Hegenberg, Brigitte, Freiberg
- Dipl.-Ing. Irmer, Dieter, Chemnitz
- Dr.-Ing. Jagnow, Hans-Joachim, Dortmund
- Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Kasig, Werner, Aachen
- Assessor d. Bergfachs Kegel, Karl-Ernst, Köln
- 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. Pipek, 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. Träger, Hans-Jürgen, Chemnitz
- Dipl.-Ing. Unger, Peter, Markkleeberg
- Assessor des Bergfachs Wahnschaffe, Horst, Essen
- Prof. Dr.-Ing. habil. i. R. Wiehe, Jürgen, Freiberg
- Dr.-Ing. Zschoke, Klaus, Freiberg

83. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. habil. Budde, Klaus, Bitterfeld
- Dr. rer. nat. Burghardt, Oskar, Krefeld-Bockum
- Dr. rer. nat. Gärtner, Karl-Heinz, Freiberg

- Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Gerhardt, Horst, Freiberg
- Dipl.-Ing. Hofmann, Lothar, Leipzig
- Prof. Dr.-Ing. habil. Krauß, Armin, Freiberg
- Dipl.-Ing. Lehmann, Rudolf, Borna
- Oberlehrer i. R. Menzel, Ernst, Freiberg
- Dr.-Ing. Müller, Helmut, Freiberg
- Dr.-Ing. Rehling, Peter, Aachen
- Dipl.-Ing. Schulze, Hans-Joachim, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. Wegerdt, Christian, Freiberg

84. Geburtstag

- Prof. Buhrig, Eberhard, Dresden
- Dr.-Ing. Ebel, Klaus, Ingersleben
- Dipl.-Ing. Gottschalk, Jürgen, Hamburg
- Dipl.-Ing. oec. Hofmann, Johannes, Freiberg
- Dr.-Ing. John, Manfred, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Kochs, Adolf, Lichtentanne
- Prof. Dr.-Ing. habil. Köpsel, Ralf, Dresden
- Dr.-Ing. Kulke, Horst, Freiberg
- Dipl.-Ing. Nicolai, Thomas, Dresden
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Oelsner, Christian, Freiberg
- Dipl.-Ing. Pysarczuk, Theodor, Bannewitz
- Prof. Dr.-Ing. habil. Spies, Heinz-Joachim, Freiberg
- Assessor des Bergfachs Spruth, Fritz, Werne
- PD Dr.-Ing. habil. Ulbricht, Joachim, Freiberg
- Prof. i. R. Dr.-Ing. Walde, Manfred, Freiberg
- Dipl.-Ing. Wiesenfeldt, Ludwig, Mülheim a. d. Ruhr

85. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. habil. Bilkenroth, Klaus-Dieter, Hohenmölsen
- Prof. em. Dr. Dr. h. c. Förster, Wolfgang, Halsbrücke
- Prof. Dr. Guntau, Martin, Rostock
- Dr.-Ing. Hahn, Manfred, Freiberg
- Dr.-Ing. Harzt, Dietmar, Freiberg
- Markscheider i. R. Dipl.-Ing. König, Dietrich, Lübbenau
- Doz. Dr.-Ing. Krüger, Walter, Freiberg
- Frau Michel, Gudrun, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. habil. Piatkowiak, Norbert, Großschirma
- Dr.-Ing. Rocktaeschel, Gottfried O., Dresden
- Dr.-Ing. Schmidt, Tankred, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Textor, Horst-Ulrich, Mülheim a. d. Ruhr
- Prof. Dr. Toffel, Rolf, Lehre

86. Geburtstag

- Doz. Dr.-Ing. habil. Förster, Siegfried, Freiberg
- Prof. em. Dr. rer. nat. habil. Hofmann, Joachim, Großschirma
- Dipl.-Ing. Hohoff, Wilhelm, Lingen (Ems)
- Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Lehnert, Wolfgang, Freiberg
- Dipl.-Ing. Lenz, Louis, Wittenberg
- Dipl.-Ing. Milz, Karl-Heinz, Markkleeberg
- Dr. oec. Mitzinger, Wolfgang, Berlin
- Dr.-Ing. Nitsche, Joachim, Düsseldorf
- Dipl.-Ing. Schölzel, Helmut, Muldestausee
- Prof. Dr.-Ing. habil. Straßburger, Christian, Dinslaken

87. Geburtstag

- Prof. Dr. rer. nat. habil. Brand, Paul, Freiberg
- Dr.-Ing. Eidner, Dieter, Freiberg
- Dr.-Ing. Göhler, Peter, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Hensel, Arno, Chemnitz
- Prof. em. Dr. Klose, Erhard, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Marx, Claus, Owingen
- Dipl.-Berging. Mertens, Volkmar, Essen
- Dr.-Ing. Pforr, Herbert, Freiberg
- Dr.-Ing. habil. Schaeff, Hans Jürgen, Dresden

- Dr.-Ing. Träger, Heiner, Büdingen

88. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. Engshuber, Manfred, Ilmenau
- Prof. i. R. Dr. Franek, Heinzjoachim, Dresden
- Prof. Dr. Heyne, Karl-Heinz, Leipzig
- Dipl.-Ing. Knickmeyer, Wilhelm, Essen
- Dr.-Ing. Kraft, Heinz, Bad Reichenhall
- Dipl.-Ing. Meinig, Klaus, Dresden
- Herr Mester, Egon, Buxtehude
- Dr.-Ing. habil. Mohry, Herbert, Leipzig
- Markscheider Dr.-Ing. Schulze, Günter, Bad Liebenwerda
- Prof. Dr. sc. techn. Uhlig, Dieter, Altenberg
- Prof. i. R. Dipl.-Geol. Voigt, Günter, Cottbus
- Assessor des Bergfachs Worringer, Dieter, Essen

89. Geburtstag

- Dr. rer. nat. Heeg, Klaus, Ravensburg
- Prof. Dr. Dr. h. c. Kolditz, Lothar, Fürstenberg/Havel
- Dipl.-Ing. Schubert, Wolfgang, Bad Elster
- Dipl.-Ing. Schulz, Lothar, Gotha

90. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Bannert, Horst, Neuhof
- Dipl.-Ing. (FH) Günßler, Peter, Kempen
- Dr.-Ing. Klepel, Gottfried, Markkleeberg
- Dr.-Ing. Severin, Gerd, Dresden
- Prof. Dr.-Ing. Steinhardt, Rolf, Freiberg

91. Geburtstag

- Herr Flach, Siegfried, Damme
- Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Kratzsch, Helmut, Berlin
- Dipl.-Ing. Matthes, Günter, Luxembourg
- Dr. Ing. E. h. Rauhut, Franz Josef, Bottrop
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schmidt, Martin, Berlin

92. Geburtstag

- Dr.-Ing. Löhn, Johannes, Freiberg

93. Geburtstag

- Dr.-Ing. Bartelt, Dietrich, Essen

94. Geburtstag

- Prof. Dr. Dr. h. c. Heitfeld, Karl-Heinrich, Bad Neuenahr-Ahrweiler

95. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Hagelüken, Manfred, Erfstadt-Bliesheim

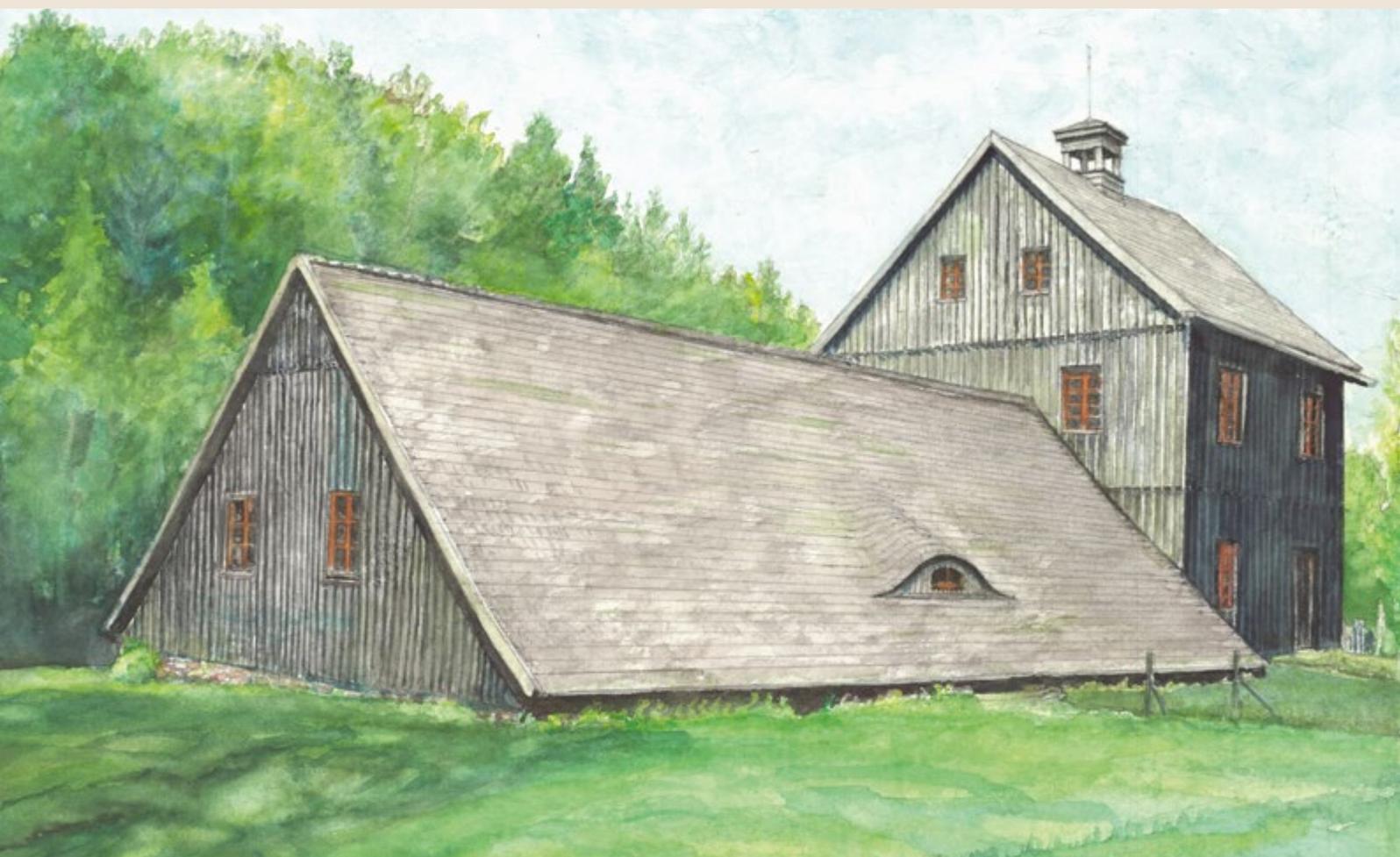
98. Geburtstag

- Markscheider Dipl.-Ing. Beyer, Kurt, Dresden

Geburtstagsjubiläen nach dem 30. November 2018:

- Dr.-Ing. Finken, Holger, Bonn – 65 Jahre
- Dr.-Ing. Wersch, Matthias, Freiberg – 65 Jahre
- Dipl.-Ing. Nagel, Ulrich, Halle/Saale – 70 Jahre
- Dipl.-Ing. Eberius, Hans-Joachim, Meerane – 75 Jahre
- Herr Grosse, Christian A., München – 80 Jahre
- Dr. Pälchen, Werner, Halsbrücke – 80 Jahre
- Dr. oec. Trillhose, Andreas, Freiberg – 80 Jahre
- Dr.-Ing. Fröhling, Ernst-Peter, Kerpen – 81 Jahre
- Frau Kutzer, Annerose, Windach – 82 Jahre
- Dipl.-Ing. Tobies, Alfred, Freiberg – 82 Jahre
- Dr. Hildmann, Eckart, Fulda – 83 Jahre
- Dipl.-Ing. Ök. Richter, Heinz, Großschirma – 83 Jahre
- Dr.-Ing. Winter, Siegfried, Dippoldiswalde – 83 Jahre
- Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Knissel, Walter, Bad Gandersheim – 84 Jahre
- Dr.-Ing. Strasse, Wolfgang, Berlin – 86 Jahre
- Dipl.-Ing. Vielmuth, Alfred, Gera – 87 Jahre
- Dipl.-Geologe Waltemate, Günther, Eichwalde – 87 Jahre
- Dr. rer. nat. Hiersemann, Lothar, Leipzig – 89 Jahre
- Dipl.-Ing. Hülsenbeck, Otto, Leipzig – 89 Jahre
- Prof. i. R. Köhler, Johannes, Köln – 93 Jahre

Herzliche Glückwünsche und Glückauf allen Jubilaren!



Peter Czolbe: 4. Lichtloch des Rothschönberger Stollns in Reinsberg, Aquarell, 2018

Nachruf Prof. Dr. Günter Blobel

Am 18. Februar 2018 verstarb der Medizin-Nobelpreisträger Prof. Günther Blobel. Neben seinen zahlreichen, weiteren Auszeichnungen erhielt er auch den Ehrendokortitel der Technischen Universität Bergakademie Freiberg und die Ehrenbürgerwürde der Universitätsstadt. Obwohl er die meiste Zeit seines Lebens in den USA gelebt hat und amerikanischer Staatsbürger wurde, hat er immer eine enge Verbindung zu Freiberg behalten, seitdem er hier zur Schule gegangen ist. Mit dem Ehrendokortitel der Fakultät für Chemie und Physik hat unsere Technische Universität im Jahr 2001 damals nicht nur seine wissenschaftlichen Leistungen und sein Wirken zur Förderung der kulturellen Beziehungen zwischen den USA und Deutschland, sondern auch diese Verbundenheit zu Freiberg gewürdigt.

Günter Blobel war nicht nur ein hervorragender Wissenschaftler, sondern auch eine sehr bemerkenswerte Persönlichkeit. Er hatte den Ruf ein beharrlicher Querdenker zu sein, der „dran“ bleibt an einer Sache und gerne auch unkonventionelle Wege geht. Das trifft auf die wissenschaftliche Karriere ebenso zu wie auf sein kulturelles Engagement.

Sein Leben begann am 21. Mai 1936 im schlesischen Waltersdorf, dem heutigen polnischen Niegoslawice. Wie so viele andere flüchtete seine Familie 1945 vor der anrückenden sowjetischen Armee und fand nach verschiedenen Zwischenstationen schließlich Zuflucht in Freiberg, wo sie in einem Haus auf der Bachstraße wohnen konnte. In den folgenden Jahren ging Günter Blobel auf das Geschwister-Scholl Gymnasium, wo er 1954 das Abitur ablegte. Als Sohn eines Tierarztes lag ein Medizinstudium nahe, das er in Frankfurt, München, Kiel und schließlich Tübingen absolvierte, wo er dann 1960 sein Examen in Medizin ablegte. Seinem wissenschaftlichen Drang nach grundlegender Erkenntnis konnte er nicht nur allein innerhalb der Medizin folgen. Mit einem Chemiestudium wollte er sich deswegen die notwendigen Voraussetzungen für die Erweiterung des wissenschaftlichen Arbeitsfeldes schaffen und glaubte, die besten Bedingungen dafür in den USA zu finden. 1962 zog es ihn daher zunächst an die Universität von Wisconsin in Madison an das McArdle Laboratorium für Krebsforschung, wo er 1967 dann einen Doktorgrad in Onkologie erwarb. Nach diesem Abschluss wechselte er als Postdoc an die Rockefeller Universität in New



Foto: TU Bergakademie Freiberg

Prof. Günter Blobel wurde 2001 von der TU Bergakademie Freiberg ehrenpromoviert

York, damals eines der weltweit führenden Zentren für Zellbiologie, wo er schließlich auch Full Professor wurde und zeitlebens blieb. In ca. 300 Publikationen seit 1965 sind die Ergebnisse seiner Forschungen veröffentlicht worden. Nachdem sich seine Grundideen durchgesetzt hatten, wurde er mit vielen Ehrungen ausgezeichnet, von denen der Nobelpreis in Medizin 1999 nur der krönende Abschluss seiner langjährigen Forschung war.

Günter Blobel beschäftigte sich mit der grundsätzlichen Frage, wie ein Eiweißmolekül in einer Zelle, die mehr als eine Milliarde Proteine mit unterschiedlichen Funktionen und Aufgaben enthält, seinen Weg und den richtigen Zielort in diesem vermeintlichen Chaos findet. Verbunden damit war ein zweites wesentliches Problem. Da komplexere Zellen aus kleineren, funktionellen Einheiten (Organellen) bestehen, die durch Membranen getrennt sind, müssen die Proteine diese beim Transport durchdringen können, um an ihren jeweiligen Bestimmungsort zu gelangen. Auf diese beiden grundlegenden Fragen der Zellbiologie hat Günter Blobel durch seine wissenschaftliche Arbeit eine Antwort gefunden. Er entdeckte, dass Proteine ein eingebautes Signal besitzen, das sie zu der richtigen Einheit und durch deren Membran hindurch dirigiert. Bedenkt man, dass zu jener Zeit noch keineswegs klar war, dass Proteine aus einer begrenzten Zahl strukturverwandter Bausteine aufgebaut sind, so war die Annahme von darin kodierten Signalstrukturen für die Organellenadressierung eine revolutionäre Idee. Seine Hypothesen wurden lange Zeit von der wissenschaftlichen Fachwelt

angezweifelt oder sogar abgelehnt, haben sich aber in den letzten Jahrzehnten als sehr universelle Prinzipien herausgestellt, die nicht nur bei menschlichen Zellen den Proteintransport beschreiben.

Trotz seines erfolgreichen Lebens in den USA ist er seiner Heimat stets verbunden geblieben. Das geht sicherlich auf die Erlebnisse in seiner Kindheit und Jugendzeit zurück, die durch Vertreibung und Wechsel der Lebensumstände gekennzeichnet waren. Als Achtjähriger hat er die Dresdener Innenstadt und die Frauenkirche noch im alten Glanz gesehen und dann erleben müssen, von einem Dorf am Rande Dresdens aus, wie dies alles in einer Nacht zerstört wurde. Das ist für ihn ein sehr prägendes Erlebnis gewesen, und es entstand schon früh der Wunsch, an einem möglichen Wiederaufbau mitzuwirken. Nach der politischen Wende in Deutschland sah er diese Möglichkeit gekommen, und er hat 1994 mit der Gründung der gemeinnützigen Organisation „Friends of Dresden“ in den USA, deren Vorsitzender er auch war, erste Schritte in diese Richtung unternommen. Diese Initiative zum Wiederaufbau der Dresdner Frauenkirche ist äußerst erfolgreich gewesen und hat beträchtliche Geldsummen nach Dresden geleitet. Dabei hat er auch noch einen wesentlichen Teil des Nobelpreisgeldes für den Wiederaufbau der Frauenkirche und einiger anderer Gebäude in Dresden gespendet.

Sein Engagement für den Wiederaufbau der Dresdner Innenstadt hat nicht aufgehört, auch wenn es nicht immer auf Gegenliebe stieß, wenn er zum Beispiel eigene Vorstellungen realisieren wollte. So kündigte er verärgert seine Ehrenmitgliedschaft im Kuratorium Frauenkirche auf, als sich abzeichnete, dass es keinen Nachbau der einstigen Silbermannorgel für die Frauenkirche geben wird, was sein Traum war. Trotzdem wollte er noch im Januar dieses Jahres beim Richtfest der Rekonstruktion eines ehemaligen Kaufhauses auf einem Grundstück am Dresdner Neumarkt, das er selbst erworben hatte, teilnehmen. Das war gesundheitlich schon nicht mehr möglich, er versprach aber noch: „Zur Eröffnung werde ich da sein.“ Leider war ihm dies nicht mehr vergönnt.

Die Technische Universität Bergakademie Freiberg hat mit der Ehrenpromotion für Prof. Blobel ein Vorbild für wissenschaftliches und kulturelles Handeln ausgezeichnet und wird ihn als herausragende Persönlichkeit in Erinnerung halten.

Hans-Joachim Möller

Nachruf auf Prof. Heinrich Schubert (1926–2018)

Am 9. April diesen Jahres verstarb im Alter von 92 Jahren der langjährige Direktor des Instituts für Aufbereitung und später des Wissenschaftsbereichs Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik an der TU Bergakademie Freiberg, Prof. Dr. sc. techn. Drs. h. c. Heinrich Schubert.

Prof. Heinrich Schubert zählte weltweit zu den angesehensten Wissenschaftlern und Hochschullehrern auf seinen Fachgebieten Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik. Er hat damit maßgeblich zum Ansehen der TU Bergakademie im In- und Ausland beigetragen und gehörte auch bis zuletzt zu ihren Freunden und Förderern.

Geboren wurde Heinrich Schubert am 23. Januar 1926 in Pirna-Jessen bei Dresden. 1947 bis 1952 studierte er an der Bergakademie Freiberg (1951 Dipl.-Ing. für Aufbereitungstechnik, 1952 Dipl.-Ing. für Bergbau). Nach seinem Studium arbeitete er bis 1960 im Mansfelder Kupferschieferbergbau, unter anderem als Technischer Direktor in der Vereinigung Volkseigener Betriebe (VVB) der Nichteisen-Metallindustrie in Eisleben.

1956 promovierte H. Schubert zum Dr.-Ing. („Flotierbarkeit und Strukturbeziehungen bei kationaktiver Flotation“) und 1971 zum Dr. sc. techn. („Die Rolle der Assoziation der unpolaren Gruppen bei der Sammleradsorption“).

1960 wurde Heinrich Schubert als Professor an die Bergakademie Freiberg berufen und blieb es ohne Unterbrechung 31 Jahre bis zu seiner Emeritierung 1991: Zunächst als Professor für Aufbereitungstechnik und ab 1969 als Professor für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik. Er übernahm das damalige Institut für Aufbereitung in der Nachfolge von Prof. Helmut Kirchberg und entwickelte es in den folgenden Jahren zu einer modern ausgerüsteten Stätte der Lehre und Forschung. Prof. Schubert erweiterte das Lehr- und Forschungsspektrum des Instituts in Richtung Mechanische Verfahrenstechnik, was sich auch in der Umbildung des „Instituts für Aufbereitung“ in den Wissenschaftsbereich „Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik“ gezeigt hat.

Im Laufe seiner langjährigen Tätigkeit sind am Institut 550 Studenten sowie 60



Prof. Schubert an seinem Schreibtisch

Aspiranten und Doktoranden ausgebildet worden. Davon arbeiten bzw. arbeiteten acht selbst als Hochschullehrer. Prof. Schubert lehrte auch an den Universitäten in Queensland (Australien), Iowa (USA) und Wuhan (China).

Hervorzuheben sind seine Lehr- und Handbücher, die nicht nur in Deutschland zum Maßstab wurden, und es immer noch sind: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe (drei Bände in mehreren Auflagen), Mechanische Verfahrenstechnik (federführender Autor, drei Auflagen) Handbuch der Mechanischen Verfahrenstechnik, zwei Bände (Herausgeber und Mitautor).

Prof. Schubert verfolgte immer das Konzept, zur Lösung verfahrenstechnischer Problemstellungen eine physikalisch begründete Theorie bzw. ein Prozessmodell zu entwickeln, um eine umfassende Durchdringung von Prozessen der Mechanischen Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik zu ermöglichen.

Wichtig waren ihm dabei der enge Zusammenhang zwischen Theorie und Experiment und die Einheit von Lehre und Forschung. Die Schwerpunkte der Forschungstätigkeit von Prof. Schubert und seiner Mitarbeiter auf seinen Fachgebieten Aufbereitung, Mechanische Verfahrenstechnik und Partikeltechnologie lassen sich wegen ihres großen Umfangs leider nur kurz benennen: Trennprozesse, Einzel- und Kollektivkornzerkleinerung, Aufbereitung und Recycling von Abfällen und Sekundärrohstoffen, turbulente Mehrphasenströmungen, Fließeigenschaften von Schüttgütern und Wechselwirkungen (Haftkräfte) zwischen den Partikeln. Die Ergebnisse dieser Forschungen sind in über 300 Publikationen und vielen Patenten dokumentiert.

Prof. Schubert war Mitglied in zahlreichen nationalen und internationalen wissenschaftlichen Gremien und in den Beiräten mehrerer international anerkannter Zeitschriften, wie z. B. Int. Journal of Mineral Processing, Particle Characterisation, Advanced Particle Technology (Japan) und KONA (Japan). Von seinen Auszeichnungen seien hier genannt: Nationalpreis der DDR für Wissenschaft und Technik, Dr. h. c. TU Miskolc (Ungarn), Dr.-Ing. e. h. TH Leuna-Merseburg, Hans-Rumpf-Medaille der Deutschen Vereinigung für Chemie- und Verfahrenstechnik und Life Time Achievement Award of IMPC (International Mineral Processing Congress).

Nicht unerwähnt bleiben darf auch Prof. Schuberts Engagement in der Hochschulverwaltung (1963 bis 1975 Prorektor für Wissenschaftsentwicklung bzw. Forschung, 1980 bis 1991 Dekan der Fakultät für Technischen Wissenschaften).

Klaus Husemann

Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder

† Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Walter Knissel, Bad Gandersheim
13.12.1934–20.03.2018

† Prof. Dr. sc. techn. Drs. h. c. Heinrich Schubert, Freiberg
23.01.1926–09.04.2018

† Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Metzger, Senftenberg
19.04.1938–03.05.2018

† Dipl.-Ing. Eberhard Scholz, Staßfurt
26.11.1942–30.05.2018

† Frau Anita Linström, Halle
12.06.1941–29.07.2018

† Markscheider Dipl.-Ing. Dieter Hartnick, Freiberg
17.06.1925–10.08.2018

† Dr.-Ing. Ernst-Peter Fröhling, Kerpen
02.12.1937–12.10.2018

Autorenverzeichnis

- Dr. Barbara Abendroth, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Helmut Albrecht, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Erik Anders, TU Dresden
- Dr. Pál Árki, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Kffr. Julia Bachmann, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. George Barakos, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Matthias E. Bauer, TU Bergakademie Freiberg
- Udo Becker, Freiberg
- Stefan Benkert, Freiberg
- Dr. Andreas Benz, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Martin Bertau, TU Bergakademie Freiberg
- Oliver Boblest, Dresden
- Dr. Constance Bornkamp, VFF
- M.Sc. Robert Braun, HZDR
- Dr. Mathias Burisch, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Christoph Butscher, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Philipp Büttner, HZDR
- Dr. Charaf Cherkouk, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Bernhard Cramer, Freiberg
- Jessica Dittmann
- Prof. Dr. Carsten Drebenstedt, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Alexander Dressler, TU Bergakademie Freiberg
- Katharina Dressler
- Sabine Ebert, Dresden
- Dipl.-Ing. Peter Eckert, Rodenberg
- Prof. Dr. Hermann Ehrlich, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Enno Eßer, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Karsten Flade, TU Bergakademie Freiberg
- Lukas Franiel
- Dr. Max Frenzel, HZDR
- Dipl.-Ing. Sven Füger, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Claudia Funke, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Sandro Gierth, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Gerd Grabow, Freiberg
- Dipl.-Ing. Steve Grehl, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Jens Grigoleit, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Klaus Michael Groll, München
- Dipl.-Ing. Matthias Groll, Riesa
- Dipl.-Ing. Franziska Günther, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Frederic Güth, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Jens Gutzmer, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Nat. Juliane Hanzig, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Anthea Hartmann, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Christian Hasse, TU Darmstadt
- Prof. Dr. Gerhard Heide, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Olaf Hellwig, TU Bergakademie Freiberg
- Sebastian Herrmann
- Dipl.-Ing. Alexander Hesse, TU Bergakademie Freiberg
- Uwe Hofmann, HZDR
- Prof. Dr. Andreas Horsch, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Klaus Husemann, Freiberg
- M.Sc. Thomas Ihling, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Sven Jachalke, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Gottfried Jäckel, Freiberg
- Prof. Dr. Yvonne Joseph, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Bernhard Jung, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Susanne Kandler, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Alexandra Käbner, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Rudolf Kawalla, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Christin Kehler, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Denise Klinger, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Thomas Köhler, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Heinz Konietzky, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Michael Kraft, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Hans-Jürgen Kretzschmar, VFF
- Prof. Dr. Matthias Kröger, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Simone Kühne, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Dana Kuhnert, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Sven Kureti, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Ingrid Lange, TU Bergakademie Freiberg
- Lisa Lange
- Dr. Franziska Lederer, HZDR
- Dipl.-Ing. Franziska Lehmann, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Tilmann Leisegang, TU Bergakademie Freiberg
- Ass. jur. Theresa Lemser, TU Bergakademie Freiberg
- Ai Lun, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Karl-Heinz Löbel, TU Bergakademie Freiberg
- Ass. jur. Katrin Lorenz, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Robert Lösch, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Nadja Lumme, TU Bergakademie Freiberg
- Lukas Manthey
- Dipl.-Min. Andreas Massanek, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Jörg Matschullat, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Erik Mehner, TU Bergakademie Freiberg
- Michael Merkel, Dresden
- Prof. Dr. Bernd Meyer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Dirk C. Meyer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Helmut Mischo, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Hans-Joachim Möller, Freiberg
- Dipl.-Ing. Toni Müller, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Thomas Nagel, TU Bergakademie Freiberg
- Knut Neumann, Freiberg
- Dr. Christiane Oestreich, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Min. Jörg Ostendorf, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Urs Alexander Peuker, TU Bergakademie Freiberg
- Rike Pfeufer
- Dr. Alexander Pleßow, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Norman Pohl, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Katrin Pollmann, HZDR
- Dipl.-Ing. Stefan Pöttsch, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ind. Arch. Stefanie Preißler, VFF
- Prof. Dr. Matthias Reich, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Nasrin Rezaei-Abadchi, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Uwe Richter, Freiberg
- Dr. Ingo Riehl, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Silvia Rogler, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Andreas Roppertz, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Anne Routschek, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Dirk Rübbelke, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Carsten Rühlemann, Hannover
- Prof. Dr. Stefan Sandfeld, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Sabine Schellbach, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Mathias Scheunert, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Michael Schippan, Berlin
- B.A. Klara Schönfelder, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Rüdiger Schwarze, TU Bergakademie Freiberg
- Anke Seelhorst
- Dipl.-Slaw. Birgit Seidel-Bachmann, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Thomas Seifert, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Reinhard Seyfarth, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Taras Shepel, TU Bergakademie Freiberg
- Cornelia Skovgaard-Sörensen, Freiberg
- Prof. Dr. Dieter Slaby, Freiberg
- Prof. Dr. Klaus Spitzer, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Eberhard Spree, Leipzig
- Dr. Volker Steinbach, Hannover
- Prof. Dr. Michael Stelter, TU Bergakademie Freiberg
- Max StirI
- Dr. Hartmut Stöcker, TU Bergakademie Freiberg
- Ina Storch, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Dietrich Stoyan, Freiberg
- Prof. Dr. Jutta Stumpf-Wollersheim, TU Bergakademie Freiberg
- Eva Stützer, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. (FH) Jens Then, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Marion Tichomirowa, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Andreas Trillhose, Freiberg
- M.Sc. Steffen Trümper, Chemnitz
- Prof. Dr. Georg Unland, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Matthias Voigt, TU Dresden
- Dipl.-Archiv. Roland Volkmer, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Geophys. Bernhard Wagenbreth, TU Bergakademie Freiberg
- Linus Walter
- Dr. Ellen Weißmantel, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Kristina Wopat, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Rhena Wulf, TU Bergakademie Freiberg
- M.A. Willem Zank, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Gennadi Zikoridse, TU Dresden
- Dr. Matthias Zschornack, TU Bergakademie Freiberg

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

Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V.

Vorsitzender: Prof. Hans-Ferdinand Schramm

Geschäftsführer: Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar

Postanschrift: Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V.,
09596 Freiberg

Geschäftsstelle: Nonnengasse 22, 09599 Freiberg

Telefon: +49 (0)3731 39-2559, 39-2661

Fax: +49 (0)3731 39-2554

E-Mail: freunde@zuv.tu-freiberg.de

Internet: <http://tu-freiberg.de/wirtschaft/stiften-foerdern/freunde-foerdere>

Jahresbeitrag: 30 EUR Einzelmitglieder; 250 EUR juristische Mitglieder

Redaktionsleitung: Annett Wulkow Moreira da Silva

Redaktionskollegium: Prof. Dr. Gerhard Roewer (Wissenschaftsredaktion)

Prof. Dr. Peter Seidelmann, Dipl.-Slaw. Birgit Seidel-Bachmann,

Prof. Dr. Helmut Albrecht, Prof. Dr. Ulrich Groß

Gestaltung/Satz: Brita Gelius

Druck: Erzdruck GmbH, Marienberg

Auflage: 1700

Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung der Herausgeber und der Redaktion wieder. Keine Haftung für unverlangt eingesandte Manuskripte. Die Autoren stellen die Beiträge honorarfrei zur Verfügung. Auszugsweiser Nachdruck von Beiträgen bei Angabe von Verfasser und Quelle ist gestattet. Im Sinne der Wünsche von Autoren und Lesern nach detaillierterer Information hat das Redaktionskollegium eine relativ hohe Anzahl von Quellenangaben für einzelne Beiträge akzeptiert. Die Art der Literaturzitation wurde aufgrund der unterschiedlichen Fachgebiete dabei jeweils den Autoren überlassen.

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

© Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V., 2018

ISSN 2193-309X