



# Zeitschrift für Freunde und Förderer der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

15. Jahrgang 2008

## Editorial

Die Ausgabe 2008 ist Zeugnis für facettenreiche Aktivitäten der TU Bergakademie und unseres Vereins im Ringen um die Stärkung und Erweiterung der Potenziale der Universität.

Eine Vielfalt „bunter Bilder“ fasziniert uns in Gestalt der Exponate von „terra mineralia“. Diese in der Welt wohl beispiellose Mineralienschau – Markenzeichen der Bergakademie und Besuchermagnet für die Stadt Freiberg – ist Lohn für zielstrebige intensive Anstrengungen von Universität und Stadt mit großzügiger Unterstützung durch das Land Sachsen. Die weitere bauliche Entwicklung des Umfeldes im Kontext mit der neuen Rolle des Schlosses wird in einem Beitrag vorgestellt.

2008 als Jahr der Mathematik rückt auch die herausragende Bedeutung dieser Wissenschaftsdisziplin in den Vordergrund. Die Beiträge aus der Fakultät Mathematik und Informatik legen Zeugnis ab von vielfältigen Bemühungen um eine hohe Attraktivität der TU Bergakademie. Die Rolle der Mathematik für unsere Universität kann man wohl kaum besser definieren als es der herausragende Mathematiker und ehemalige Rektor Papperitz getan hat. Seine Einordnung der Mathematik in den Canon der an der TU Bergakademie angesiedelten Wissenschaftsdisziplinen gilt prinzipiell auch für alle anderen die Ausbildung von Studenten in den Ingenieur- und Geo-Studiengängen mitprägenden „Hilfswissenschaften“: Nur der interdisziplinäre Bund mit berufenen erstklassigen Hochschullehrern der

„Fremdwissenschaften“, nicht aber abgehalfterte „Eigenprogramme“ führen zu hoher Absolventenqualität, und die ist schließlich das wichtigste Produkt trotz aller oder gerade wegen der erfolgreichen Jagd nach Drittmitteln.

In punkto Forschungsergebnisse auf profilbestimmenden Gebieten der TU dominieren auch in diesem Heft Projekte zur Gestaltung der Umwelt sowie zum Themenkreis „Werkstoffe“. Breiter Raum wird wiederum den umweltpolitischen und umwelttechnischen Fragestellungen gewidmet, u. a. in den Beiträgen von Prof. U. Simonis, Prof. W. Förster und Prof. B. Planer-Friedrich. Deren Inhalte zeigen die hohe Dringlichkeit einer Intensivierung des Kampfes um sauberes Trinkwasser.

Das große Potenzial unserer Universität auf dem Felde der Kreation von Werkstoffen mit herausragenden Eigenschaften findet seinen Ausdruck in der Bewilligung des Sonderforschungsbereiches TRIP-MATRIX-COMPOSITE und einer Forschergruppe „Feuerfest-Initiative zur Reduzierung von Emissionen“ (FIRE) durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft. Beide Forschungsförderungsprogramme basieren maßgeblich auf Initiativen von Prof. Ch. G. Aneziris. Seine Forschungsaktivitäten befördern auch die Metallgusstechnologien, wie in einem Beitrag gezeigt wird. Hinzu kommt als neueste geförderte Initiative aus dem BMBF-Wettbewerb der Spitzencluster „Solarvalley Mitteldeutschland“, an dem die Bergakademie unter Koordination von Prof. H.-J. Möller mit Forschungsaktivitäten zum Problemkreis „flache Wafer“ beteiligt ist. Die Erfolgsgeschichte zur Synthese und Diagnostizierung der Eigenschaften

von Halbleitermaterialien setzt sich fort, dokumentiert in zwei Artikeln von Prof. J. Niklas und Dr. O. Pätzold.

Mit „Virtucon“ als weiterem herausragenden Forschungsansatz mit hohem Innovationspotenzial wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) das Zentrum für virtuelle Hochtemperaturkonversionsprozesse gefördert, das unter Leitung von Prof. B. Meyer Aktivitäten von acht Instituten der TU vereint.

Aus den zahlreichen hochschulpolitischen Ereignissen ragen die Berufung von Rektor Prof. Georg Unland zum Finanzminister Sachsens, die Ehrenpromotion von Stifter Peter Krüger und die Fortführung seines Vermächtnisses durch seine Frau Erika sowie der Wechsel in der Geschäftsführung unseres Vereins heraus.

Aus drucktechnischen Gründen war es notwendig, aktuelle Informationen zu Ereignissen an unserer Universität, so unter anderem zur Eröffnung der terra mineralia, am Ende des Heftes zu platzieren. Für einige Beiträge sind zusätzlich Literaturquellen im Internetportal angegeben.

Mein Dank gilt allen Autoren dieses Heftes. Darüber hinaus sei den Professoren W. Sprößig und M. Eiermann für das Sponsoring zusätzlicher Farbdruckbögen gedankt! So kann das Leben an unserer Universität noch eindrucksvoller illustriert werden. Prof. Peter Seidelmann ist für sorgfältige Korrekturlesung zu danken.

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

# Inhalt

## Aus Wirtschaft, Wissenschaft und Technik

Weltumweltpolitik – Entwicklung und Stand der Dinge .....	3
Arsen, <i>E. Coli</i> , was noch ...?	
Dilemma der Trinkwasserversorgung in Bangladesh .....	9
Sanierung in den Bergbaugebieten Ostdeutschlands	
dargestellt am Beispiel der Niederlausitz .....	14
Energie-Rohstoffe im kurzen Ausblick .....	23
Weißer Biotechnologie .....	26
Filter- und Speiserlösungen für innovative Metallgießtechnologien .....	29
Situationsbericht Krügerstiftung – Aktuelles	
aus dem Freiburger Hochdruckforschungszentrum .....	33
Charakterisierung von Halbleiter- und Solarmaterialien,	
produktionsintegrierte Wafer-Charakterisierung .....	36
FLK – eine Geschichte von Leder, Plastik, Plasma .....	40
Geoforschung in Mittelasien: Fossile Landökosysteme im Wandel .....	43
Kristallzüchtung von Halbleitermaterialien im Weltraum .....	45
Technomathematik an der TU Hanoi .....	48
terra mineralia – Ein einzigartiges Konzept .....	53
Wissenschaft im Herzen der Altstadt .....	55
Das Vermächtnis wird fortgeführt .....	57
Aus dem Vereinsleben .....	59

## Jahr der Mathematik

Unsichere Daten und die stochastische Finite-Element-Methode .....	62
Freiburger Roboterfußball – Forschung auf dem Gebiet	
der angewandten Robotik im Institut für Informatik .....	66
Leopoldina-Symposium zu Ehren Gustav Zeuners .....	67
Von Beugungsexperimenten zur Textur polykristalliner Materialien .....	69
Bericht über die 15. Frühjahrsakademie Mathematik .....	70
MatGeoS 2008 .....	70
Erwin Papperitz – Mathematiker, Rektor, Lehrer und Erfinder .....	72
Das Wesen der Mathematik liegt in ihrer Freiheit. (Georg Cantor) .....	75

## Hochschulnachrichten

Die Internationale Ressourcen-Universität (IUR) –	
ein Netzwerk zur Daseinsvorsorge .....	76
Graduierten- und Forschungsakademie der TU Bergakademie Freiberg .....	77
Neuartige Studienangebote/Akkreditierung .....	78
59. Berg- und Hüttenmännischer Tag 2008 .....	79
Neuer Internationaler Masterstudiengang „International Business	
in Developing & Emerging Markets“ ab Wintersemester 2008/09 .....	79
Mikrostruktur von ultraharten Cr-Al-N-Nanokompositsschichten .....	80
Pollen- und Makrorestanalyse und Diatomeen-Bestimmungskurs	
in Wilhelmshaven .....	81
Silicon Saxony 2025: Studenten und Experten	
entwerfen Szenarien für Sachsens High-Tech Cluster .....	82
Werkstoffe aus Stahl und Keramik .....	83
Acht Institute starten VIRTUHCON .....	83
DFG zündet in Freiberg das Schwerpunktprogramm FIRE .....	83
»Solarvalley Mitteldeutschland« unter Beteiligung der TU Bergakademie .....	83

## Exkursionen

Tauchexkursion .....	84
Historischer Wasserbau im Iran .....	86
Bergbauexkursion Australien .....	88
Field School in Kanada .....	90

## Historie

Der „Dresdner Silberstolln“: Bergbaulandschaft en miniature .....	91
Die Historische Freiburger Berg- und Hüttenknappschaft e.V. ....	93
Erste europäische Gasbeleuchtungsanlage	
von Wilhelm August Lampadius .....	98
200. Geburtstag des Erfinders der „Schwamkrug-Turbine“ .....	99
Christian Friedrich Brendel – Bedeutender Maschinenbauer	
für den Bergbau und das Hüttenwesen im 19. Jahrhundert .....	100
Freiberg – „Stadt auf silbernem Boden“? .....	101
Wo ist der Dampf geblieben? .....	105
Johann Gottfried Tulla (1770 – 1828) – Freiburger Bergstudent,	
„Bändiger des wilden Rheins“ und Mitbegründer	
der Universität Karlsruhe .....	112
Chronik 2009 .....	114
Historische Fakten zur Geschichte unserer Universität komplettiert: Ent-	
stehungsbericht zur 2. Auflage des Werkes „Die Technische Universität	
Bergakademie Freiberg und ihre Geschichte“ .....	115

## Essay

Zum Thema Evaluation und Leistungsvergleich – ein Gedankenspiel ...	116
---	-----

## Kuriosa

„Und denkt der Zeit, wo's Aug' zum ersten Mal das weltberühmte	
alte Freiberg schaute“. Aus dem Freiburger Studentenleben	
vor 150 Jahren .....	118
Junghans' Garten .....	119

## Personalia

Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Wolfgang Förster zum 75. Geburtstag .....	121
Prof. Dr. Jörg W. Schneider zum 60. Geburtstag .....	123
In memoriam Eckard Macherauch .....	124
In memoriam Johann Köhler .....	125
Promotionen, Habilitationen .....	125
Ehrendoktorwürde für Unternehmer Peter Koch .....	126
Dr. Tilo Flade für Förderung der Halbleiterforschung geehrt .....	126
Ehrendoktorwürde für Professor Christian Homburg .....	126
Honorarprofessur für Dr. Armin Müller .....	127
Rektor wird Finanzminister .....	128
Rektoreneuwahl .....	128
Neuberufungen .....	129
Ehrenkolloquium für Prof. Dr. Frieder Häfner .....	131

## Uni aktuell

Freiburger Erstsemester feierlich begrüßt .....	132
TU im Uni-Ranking .....	132
terra mineralia lässt Schloss Freudenstein erstrahlen .....	133
50 Jahre Diplom 2009 .....	134
Autorenverzeichnis .....	136

# Weltumweltpolitik – Entwicklung und Stand der Dinge

Udo E. Simonis



Quelle: phelofide

## Auftakt

In den letzten 15 Jahren hat es als Antwort auf drängende globale Fragen zu Umwelt und nachhaltiger Entwicklung vier Weltgipfel, vier Ministerkonferenzen, drei internationale Konventionen, zwei Umsetzungsprotokolle und die Einrichtung einer neuen Finanzinstitution gegeben. Trotz dieser großformatigen Treffen, multilateralen Verträge und weit reichenden Verpflichtungen sind die meisten globalen ökologischen Trends weiterhin negativ – und die Aussichten zur Besserung sehen derzeit nicht rosig aus. Warum ist das so?

In diesem Beitrag wird detailliert über Entwicklung, Stand und Perspektiven der internationalen Umweltpolitik berichtet – in Sonderheit zu den Themen Ozon, Klima, Biodiversität, Böden, Wasser, chemische Stoffe und Abfälle. Darüber hinaus

wird die Frage aufgeworfen, ob und wie diese sektoral verfasste, zerstückelte internationale Umweltpolitik zu einer systematischen, konsistenten Weltumweltpolitik integriert werden könnte.

## 1. Internationalisierung der Umweltpolitik

Das öffentliche Interesse an globalen Umweltproblemen ist so stark wie nie zuvor. Ist damit aber auch die Zeit gekommen für eine neue, aktive Umweltpolitik der Vereinten Nationen? Wenn ja, wer macht mit und wer blockiert? Und bietet der allgemein konstatierte Reformbedarf der Weltorganisation (Annan 2002) gar die Chance zur Entwicklung einer konsistenten Weltumweltpolitik?

Die Notwendigkeit der weiteren Internationalisierung der Umweltpolitik ergibt sich vor allem aus den Effekten der Globalisierung der Ökonomie auf die globale Ökologie. Sie ergibt sich aber auch aus der Komplexität biologisch-chemisch-physikalischer Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, der Langfristigkeit der Wirkungen und der möglichen Irreversibilität bestimmter Umweltschädigungen. Und sie ergibt sich nicht zuletzt wegen der großen Zahl umweltpolitischer Akteure, der Widersprüchlichkeit ihrer jeweiligen Interessen und der Unterschiedlichkeit ihrer spezifischen Handlungspotenziale.

Konzeptionell muss zunächst zwischen globalen und universell auftretenden Umweltproblemen unterschieden werden. Für globale Umweltprobleme kann nur eine global konzipierte Politik ursachenadäquat

sein. Ein Beispiel hierfür ist der anthropogene Treibhauseffekt, der das Klimasystem destabilisiert und nur durch internationale Kooperation eingegrenzt werden kann. Universell auftretende Umweltprobleme können dagegen lokal begrenzt sein und erfordern nicht notwendigerweise dieselbe Vorgehensweise – so kann etwa die zunehmende Wasserknappheit lokal und regional angegangen werden, obwohl es auch dazu angesichts höchst unterschiedlicher Handlungskapazitäten einer international koordinierten Strategie bedarf.

Globale bzw. universell auftretende Umweltprobleme erfordern eine Politik, die den Nationalstaat als traditionellen Hauptakteur von Politik nicht aus der Verantwortung entlässt, ihn alleine aber überfordert. Genau dies macht ökologisch effektive, ökonomisch effiziente und sozial akzeptable Lösungen auf globaler Ebene aber besonders schwierig. Um nationales Trittbrettfahrerverhalten zu verhindern, sind international vereinbarte Kooperation und geschickte globale Diplomatie erforderlich, die für aufeinander abgestimmte Ziele, für ein adäquates Instrumentarium und für angemessene institutionelle Bedingungen zur Umsetzung von Politik sorgen.

Globale bzw. universell auftretende Umweltprobleme können auf unterschiedliche Art und Weise angegangen werden. In der Fachliteratur steht vielfach die „Weltumweltformel“ von Anne und Paul Ehrlich –  $I = P \times A \times T$  – im Blickpunkt, wonach die globalen Umweltprobleme (I) bedingt sind durch das Wachstum der Weltbevölkerung (P), den zunehmenden Verbrauch an Gütern und Diensten (A) und die installierte, nicht umweltgerechte Technologie (T). (Später ist die Formel um den Faktor I – für Institutionen – erweitert worden). Für die Formulierung praktischer Politik hat diese Formel über global wirksame Triebkräfte allerdings keine unmittelbare Bedeutung gehabt: Es gibt, im strikten Sinne verstanden, keine Weltbevölkerungspolitik, keine Weltwachstumspolitik, keine Welttechnologiepolitik – und es gibt, wie noch zu beklagen sein wird, auch keine Weltumweltinstitution.

Stattdessen hat sich eine mediale bzw. sektorale Grundstruktur der internationalen Umweltpolitik herausgebildet, in der die globalen Triebkräfte unterschiedlich stark berücksichtigt sind. Entwicklung und Stand, Erfolg und Misserfolg dieser verschiedenen Umweltpolitiken sollen im Folgenden näher betrachtet werden – jeweils mit einem Fazit und mit offenen Fragen zum weiteren Vorgehen.

## 2. Ozonpolitik

Das am konsequentesten behandelte, politisch ausformulierte globale Umweltproblem ist die Schädigung der stratosphärischen Ozonschicht (das sog. Ozonloch). Auf Initiative der Vereinten Nationen entstand hierzu im Laufe insgesamt zehnjähriger Verhandlungen ein dynamisches Umweltregime, das auf einer Zweiteilung in einen stabilen, institutionellen Teil (Rahmenkonvention) und einen flexiblen, instrumentellen Teil (Protokoll) beruht.

Die „Wiener Konvention“ von 1985 definierte das Problem, das „Montrealer Protokoll“ von 1987 verpflichtete die Unterzeichnerstaaten dazu, den Verbrauch der die Ozonschicht zerstörenden Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Halone bis 1999 um 50% gegenüber 1986 zu reduzieren. Die Vertragsstaatenkonferenz in



© gnuibier/PIXELIO

Helsinki 1989 leitete die vorgesehene Revision ein, die für FCKW einen vollständigen Produktionsstopp sowie eine schrittweise Regelung für die Reduzierung der anderen ozonschädigenden Stoffe vorsah. Auf den Nachfolgekongressen in London (1990) und Kopenhagen (1992) wurden Verkürzungen der Ausstiegszeiten beschlossen. Die USA, weniger die EU und Japan, spielten in diesem Prozess eine zentrale Rolle.

Neben den verschärften Reduzierungspflichten schien aber auch eine Ausweitung der internationalen Kooperation geboten, weil sich zunächst nur Industrieländer den Regeln unterworfen hatten, nicht aber Entwicklungsländer – darunter China und Indien, die über potenziell große Binnenmärkte für Autos, Kühlschränke und Klimaanlage verfügen, für die nach herkömmlicher Technik FCKW verwendet wurden. Um diesen Ländern den Beitritt zu erleichtern,

beschlossen die Vertragsstaaten einen speziellen Mechanismus zur Finanzierung von und zum Zugang zu moderner Technologie. Auf der Konferenz in London 1990 wurde hierzu der Multilateral Ozone Fonds (MOF) eingerichtet, der die Aufgabe hat, die erhöhten Kosten (full incremental costs) zu decken, die Entwicklungsländern bei der Umstellung der Produktion auf ozonverträgliche Stoffe und Verfahren entstehen. Mit Hilfe des MOF schloss China im Juni 2007 die letzten seiner FCKW-herstellenden Unternehmen.

**Fazit:** Durch Produktionsstopp der ozonschädigenden Substanzen in den Industrieländern und internationale Finanz- und Technologietransfers in die Entwicklungsländer gelang in relativ kurzer Zeit eine Trendwende. Manche Beobachter sehen daher im Ozonregime einen Modellfall für die internationale Umweltpolitik (so Benedick 1998).

**Offene Fragen:** Die Erfolgsbedingungen der Ozonpolitik waren aber, das muss man deutlich sehen, höchst spezifischer Art und sind daher nicht ohne weiteres auf andere Problemfälle übertragbar. Der wissenschaftlich komplizierte aber relativ unstrittige Nachweis des Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs (wofür Sherwood F. Rowland, Mario Molina und Paul Crutzen 1995 den Nobelpreis erhielten) machte die politische Bedeutung von Wissenschaft deutlich; die oligopolistische Produktionsstruktur bei FCKW ermöglichte die Konversion ohne viel Widerstand seitens der Industrie; und die Gefahr erhöhter UV-Strahlung wurde von der Bevölkerung als unmittelbar bedrohlich empfunden. Alle diese Faktoren beschleunigten den Prozess der Politikformulierung und -implementierung.

Die Schädigung der stratosphärischen Ozonschicht bleibt jedoch weiterhin auf der politischen Agenda, weil von verschiedenen Ersatzstoffen ebenfalls ökologische Schäden ausgehen, weil Umsetzungsprobleme (Substitution FCKW-haltiger Produkte und Produktionsverfahren) in den Nicht-Vertragsstaaten bestehen und weil aus verschiedenen Ländern weiterhin illegale Exporte größeren Ausmaßes stattfinden. So bleibt die generelle Frage, ob die Ersatzstoffe nicht auch hätten reglementiert werden müssen. Es bleibt die spezielle Frage, wie man die verbleibenden Leckagen kontrollieren kann. Und es bleibt die grundsätzliche Frage, ob man den Konversionsprozess in solchen und anderen Fällen angesichts der enormen Gefährdung von Mensch und Natur nicht erheblich be-

schleunigen muss. Alle diese Fragen stellen sich auch an Deutschland, den bisherigen „Exportweltmeister“. Es ist beruhigend zu wissen, dass sich das Ozonloch bis zum Jahr 2050 voraussichtlich wieder schließen wird. Doch noch im Jahre 2006 war es so groß wie nie zuvor.

### 3. Klimapolitik

Das zurzeit meistdiskutierte globale Umweltproblem ist der Klimawandel (vgl. Stern et al. 2007; IPCC 2007). Die emittierten klimawirksamen Spurengase – wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Stickoxide (NO<sub>x</sub>), halogenierte und perfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFCs und PFCs) sowie Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) – stören den Wärmehaushalt der Erde, indem sie die Wärmestrahlung in den Weltraum zum Teil blockieren (daher: zusätzlicher Treibhauseffekt). Den größten Anteil (rund die Hälfte) an diesem Erwärmungsprozess hat das CO<sub>2</sub>, das – quasi ubiquitär – bei allen wirtschaftlichen Aktivitäten entsteht und dessen Volumen stark mit Niveau und Wachstum des Bruttosozialprodukts korreliert. Die CH<sub>4</sub>-Emissionen machen etwa ein Fünftel des Treibhauseffekts aus. Sie entstehen in großen Mengen in der Landwirtschaft, beim Reisanbau und beim Verdauungsvorgang der Rinderherden. Anders als bei den FCKW sind die rasche Eindämmung oder gar der Stopp der Kohlendioxid- und Methanemissionen schwierig bzw. unmöglich. Anders dürfte es bei den anderen Treibhausgasen – bei HFC-, PFC- und SF<sub>6</sub>-Emissionen – sein, die industriewirtschaftlichen Prozessen entstammen, für die sich Ersatzstoffe werden finden lassen.

Die Ursachen der künstlichen Erwärmung der Erdatmosphäre sind inzwischen gut bekannt, aber auch über deren Auswirkungen gibt es zunehmend besseres Wissen. Im Spektrum des erwarteten weiteren Temperaturanstiegs von 1,1 bis 6,4 °C (Szenarien des 4. IPCC-Sachstandsberichts, 2007) im globalen Mittel für dieses Jahrhundert ergeben sich teils gravierende Folgen: Die Winter in den gemäßigten Zonen dürften kürzer und wärmer, die Sommer länger und heißer werden. Die Klimaänderung wird regional schwerwiegende Probleme wie Wetterextreme, Trockenheit oder Bodenerosion verschärfen und die nachhaltige Entwicklung in großen Teilen der Welt gefährden (zu den sektoralen und regionalen Auswirkungen des Klimawandels siehe Arbeitsgruppe II, IPCC 2007).

Weitere gravierende Effekte globaler

Erwärmung wären das Schmelzen des Eises (Gletscher und Polkappen) und die dadurch verursachte thermische Ausdehnung des Ozeanwassers. Nach den IPCC-Szenarien kann der erwartete Temperaturanstieg in diesem Jahrhundert den Wasserspiegel der Ozeane zwischen 18 und 59 Zentimetern anheben – im Falle des Abrutschens großer Stücke polaren Eises allerdings weit höher. Da rund ein Drittel der Weltbevölkerung in nur etwa 60 Kilometer Entfernung von der jeweiligen Küstenlinie lebt, sind deren Wohn- und Arbeitsverhältnisse betroffen, für einzelne Länder (wie z. B. Bangladesch) und viele Inselstaaten (wie z. B. Tuvalu) stellt sich die Existenzfrage (vgl. nachfolgenden Beitrag von Planer-Friedrich).

Die Klimarahmenkonvention, die auf der UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro verab-



Foto: Katrin Apenburg

schiedet wurde, im März 1994 in Kraft trat und ihr Ständiges Sekretariat in Bonn hat, ist ähnlich wie das Ozonregime dynamisch konzipiert (jährliche Vertragsstaatenkonferenzen, laufende Berichtspflichten, begleitende Forschung und Beratung) und enthält eine potenziell mächtige Definition der Stabilisierungsbedingungen (Artikel 2). Sie ist auf der 3. Vertragsstaatenkonferenz in Kyoto 1997 durch ein Protokoll ergänzt worden (Kyoto-Protokoll), das zwar nur bescheidene, aber zumindest konkrete Ziel- und Zeitvorgaben und erste Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen (Quellen) bzw. zur Erhöhung der Aufnahmekapazität der Natur (Senken) enthält – und zeitlich verspätet im Februar 2005 in Kraft trat.

Die USA, aber auch Australien, die vom Klimawandel selbst massiv betroffen sein werden, haben das Kyoto-Protokoll bis in die jüngste Zeit hinein (G 8-Gipfel 2007 in

Heiligendamm) boykottiert, unter anderem mit dem vorgeschobenen Argument, dass China, Indien und andere Entwicklungsländer keinen Reduzierungsverpflichtungen unterworfen seien – was aufgrund von Gerechtigkeitsüberlegungen („common, but differentiated responsibilities“) aber explizit so beschlossen worden war.

Von Seiten der Umweltwissenschaft sind, was das Instrumentarium der internationalen Klimapolitik betrifft, mehrere strategische Vorschläge entwickelt worden. Sie reichen von globalen Ressourcensteuern (resource taxes) und Emissionsabgaben (emission charges) über die gemeinsame Umsetzung von Projekten (joint implementation) bis hin zu transnational handelbaren Emissionszertifikaten (emissions trading). Die Annahme und praktische Umsetzung dieser Vorschläge hätte drastische Änderungen im Wachstumspfad und in der Struktur der Industrieländer wie auch der Entwicklungsländer (ökologischer Strukturwandel der Wirtschaft) zur Folge.

Was die Einführung dynamischer Emissionsminderungs- bzw. Absorptionskonzepte auf der lokalen und nationalen Ebene angeht, kommen mehrere strategische Maßnahmen in Betracht, vor allem:

- (1) die Reduzierung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe durch Energieeinsparung und Erhöhung der Energieeffizienz;
- (2) die Substitution fossiler Brennstoffe durch erneuerbare Energien und
- (3) die Vergrößerung der CO<sub>2</sub>-Senken, insbesondere durch Stopp der Regenwaldvernichtung, durch nachhaltige Waldbewirtschaftung und durch (Wieder-)Aufforstung.

Bei der Umsetzung der vertraglich vereinbarten internationalen Klimapolitik stehen somit alle drei zentralen Konfliktthemen der Politik einer nachhaltigen Entwicklung (sustainable development) im Raum: die ökologische Frage nach der Stabilisierung des globalen Ökosystems, die ökonomische Frage nach Quantität und Qualität des weiteren globalen Wirtschaftswachstums und die soziale Frage nach der internationalen und intergenerativen Gerechtigkeit entsprechender Lösungsvorschläge.

**Fazit:** Mit der UN-Klimarahmenkonvention und dem Kyoto-Protokoll, als völkerrechtlich bindendem Vertrag, ist ein grundsätzlich adäquates Instrumentarium zur Bewältigung des Klimawandels geschaffen worden. Es gibt jedenfalls keine echte Alternative zu einem multilateralen Ansatz in der Klimapolitik. Die Schwächen

dieses Protokolls sind aber offensichtlich: Die Zielsetzung (5,2% Emissionsreduzierung bis 2012) ist nicht ambitiös genug; es sind zu wenige Emissionsländer (nur 35) einbezogen worden; die Sanktion (relativ statt absolut) gegen Zielverfehlung ist unzureichend; der Anreizmechanismus zur Zielerfüllung (Klimafonds, Technologietransfers) ist nicht problemadäquat.

**Offene Fragen:** Wie kann die Fortschreibung des Kyoto-Protokolls über das Jahr 2012 hinaus gelingen („Kyoto II“)? Spätestens 2009 muss das klar sein (Kopenhagen-Konferenz). Brauchen wir neben diesem primär ökonomisch konzipierten Umsetzungsprotokoll der Klimarahmenkonvention nicht auch ein technologisch konzipiertes Protokoll, um die USA und andere Bremser ins Boot zu holen? Wie bereiten sich Politik und Gesellschaft auf die mit dem Klimaproblem verbundene Gerechtigkeitsfrage (gleiche Emissionsrechte für Alle) vor? Was ist der Raum, der für die Vermeidung eines gravierenden Klimawandels noch verbleibt? Und wie muss man die Anpassung an den stattfindenden Klimawandel international organisieren? All dies sind auch und besonders Fragen an Deutschland, den häufig so genannten „Vorreiter“ der Umweltpolitik.

#### 4. Biodiversitätspolitik

Das Konzept der biologischen Vielfalt (oder: Biodiversität) umfasst alle Tier- und Pflanzenarten sowie Mikroorganismen, die genetische Variabilität innerhalb der Arten wie die unterschiedlichen Ökosysteme der Erde, in denen diese Arten zusammenleben. Trotz Einführung zahlreicher völkerrechtlicher Vereinbarungen zum Schutz bzw. zur sorgfältigen Nutzung der biologischen Vielfalt halten die Zerstörung der natürlichen Lebensräume und das damit einhergehende Artensterben weiter an. Das dürfte vor allem daran liegen, dass die bisherigen Ansätze des internationalen Arten- und Naturschutzes nicht weit genug gehen und es obendrein an politischer Durchsetzungskraft mangelt.

Das Übereinkommen über biologische Vielfalt (Biodiversitätskonvention), das während der UN-Konferenz in Rio de Janeiro 1992 von 154 Staaten unterzeichnet wurde und im Dezember 1993 in Kraft trat, erhebt den Anspruch, diese Kalamität zu überwinden. Dies kommt bereits in der Präambel der Konvention zum Ausdruck, die den Schutz der biologischen Vielfalt

zu einem gemeinsamen Anliegen der Menschheit („common concern of humankind“) erklärt. Artikel 1 definiert als Ziele: „... die Erhaltung der biologischen Vielfalt, die nachhaltige Nutzung ihrer Bestandteile sowie die ausgewogene und gerechte Aufteilung der sich aus der Nutzung der genetischen Ressourcen ergebenden Vorteile“. Als handlungsleitende Prinzipien sieht Artikel 1 den „... angemessenen Zugang zu genetischen Ressourcen, die angemessene Weitergabe einschlägiger Technologien unter Berücksichtigung aller Rechte an diesen Ressourcen und Technologien sowie eine (...) angemessene Finanzierung“ vor.

Diese Ziele der Biodiversitätskonvention bilden einen ‚Dreiklang‘, der sich auch in ihrer Umsetzung widerspiegeln soll. Aus der Verknüpfung des Naturschutzanliegens mit wirtschafts- und technologiepoli-



Foto: Brita Gelius

tischen Fragen entstand so ein komplexes Regelwerk, das den allgemeinen Rahmen für künftiges Handeln festlegt.

Neben den Artikeln, die den Schutz, die nachhaltige Nutzung der biologischen Vielfalt und den Finanz- und Technologietransfer regeln (Artikel 1 bis 22), finden sich im zweiten Teil des Vertrages (Artikel 23 bis 42) innovative Mechanismen, die sich auf den Kooperationsprozess und die Fortentwicklung des Vertragswerkes selbst beziehen. So finden u. a. in überschaubaren Abständen Vertragsstaatenkonferenzen statt, während derer die Verhandlungen zu einzelnen Teilen der Konvention fortgesetzt und die erfolgte Umsetzung der Bestimmungen überprüft werden. Ein Nebenorgan für wissenschaftliche und technologische Fragen (SBSTTA) erarbeitet entsprechende Empfehlungen. Für die laufende Betreuung und Verwaltung dieser UN-Konvention ist in Montreal ein

Ständiges Sekretariat eingerichtet worden.

Die Biodiversitätskonvention ist durch diesen dynamisch angelegten Verhandlungsprozess grundsätzlich in der Lage, neue Fragen aufzugreifen und strittige Punkte zu verfolgen, über die es bei Vertragsabschluss noch keine Einigung gab. Als besonders wichtig ist hierbei – ähnlich wie bei der Klimarahmenkonvention – die Möglichkeit zur Annahme von Umsetzungsprotokollen anzusehen, mit denen Ziele, Zeitvorgaben und Maßnahmen zu einzelnen Themenfeldern konkretisiert werden können. Im Jahr 2000 ist dementsprechend in Cartagena ein Protokoll zur biologischen Sicherheit (Biosafety-Protocol) verabschiedet worden, das Regeln über den sicheren Umgang mit sowie den internationalen Transfer von genetisch modifizierten Organismen (GMOs) festlegt. Auf der Vertragsstaatenkonferenz 2008 in Bonn sind weitere wichtige Beschlüsse zur Umsetzung der Konvention gefasst worden, unter anderem zur Ausarbeitung eines Verfahrens zum Vorteilsausgleich (Access and Benefit Sharing).

Eine höchst komplexe Teilaufgabe der Biodiversitätspolitik betrifft den Schutz der Wälder der Welt. Da in den Wäldern – besonders in den noch verbliebenen Naturwäldern – die meisten landlebenden Tier- und Pflanzenarten beheimatet sind, ist deren ökologisch verträgliche Nutzung eine wesentliche Voraussetzung für den Schutz der biologischen Vielfalt insgesamt. Die Verhandlungen zu dieser Thematik finden im Rahmen des „Zwischenstaatlichen Waldausschusses“ (IPF) der Vereinten Nationen statt, der Vorschläge für Regelungen in der internationalen Waldpolitik erarbeiten soll (vgl. Rechkemmer/Schmidt 2006). Da die Wälder eine bedeutende Senke für CO<sub>2</sub>-Emissionen darstellen, ist eine aktive Waldpolitik zugleich auch Klimapolitik, die – dementsprechend – der „Waldoption“ neben der „Energieoption“ eine größere Bedeutung zumessen sollte (hierzu Simonis 2007), vgl. auch Beitrag von Heilmeyer, Heft 2007, S. 16. Stopp der Waldvernichtung, nachhaltige Waldbewirtschaftung und weltweite Wieder-Aufforstung – dies müssten die Ziele einer zukünftigen UN-Waldkonvention sein.

Eine der Schwächen der internationalen Biodiversitätspolitik lässt sich an der geringen Finanzausstattung ausmachen. Die Globale Umweltfazilität (Global Environment Facility), als bisheriger Finanzierungsmechanismus der Biodiversitätskonvention, ist auch zuständig für die Umsetzung von Projekten zum Schutz der

Ozonschicht, des Klimas, der Meere und vor Desertifikation. Für den Schutz der biologischen Vielfalt standen so in letzter Zeit nur etwa 250 Millionen US-Dollar jährlich zur Verfügung. Angesichts des mehrfach höheren Finanzbedarfs zeugen die bisherigen, höchst unzureichenden Zusagen von dem Versagen, die Konvention wirklich effektiv werden zu lassen.

**Fazit:** Die Biodiversitätskonvention ist ein innovativer Vertrag, der ökologische, ökonomische und technische Aspekte des Schutzes der biologischen Vielfalt integriert. Sie ist jedoch angesichts divergierender Nutzungsinteressen bisher noch ein eher „ungeliebtes Kind“. Es fehlt besonders an Sanktionsmöglichkeiten gegen die Zerstörung der biologischen Vielfalt, wie aber auch an Anreizen zu ihrem Schutz und ihrer Erhaltung.

**Offene Fragen:** Wie also kann die Biodiversitätskonvention international und national implementiert werden – und mit welcher Reichweite? Bis zur nächsten Vertragsstaatenkonferenz in Nagoya 2010 steht die Konvention vor ihrer Bewährungsprobe. Was muss an Anreizen und Sanktionen geschaffen werden, damit die praktische Umsetzung dieses anspruchsvollen Vertrages gelingt? Brauchen wir zusätzlich eine eigenständige UN-Waldkonvention oder sind die Wälder mit einem Zusatzprotokoll zur Biodiversitätskonvention effektiv zu schützen? Die biologische Vielfalt in Deutschland ist stark geschrumpft – und es gibt bisher keine starke politische Kraft für den Schutz der Natur in Deutschland. Diese Schwäche könnte auch den Gestaltungsspielraum des deutschen Vorsitzes der Konvention in der Zeit bis Nagoya einengen.

## 5. Boden- und Wasserpolitik

Neben dem quantitativen Verlust vollzieht sich weltweit eine qualitative Verschlechterung ehemals ertragsreicher Böden. Es ist aber strittig, ob es sich hierbei um ein globales oder (nur) um ein universell auftretendes lokales bzw. regionales Umweltproblem handelt. Dieser Streit schlägt bis auf die entsprechenden Aktivitäten der Vereinten Nationen durch (vgl. WBGU 1994).

Die Wüstengebiete der Welt dehnen sich jährlich um rund 6 Millionen Hektar aus (sog. Desertifikation). Die Zunahme der Bevölkerung, aber auch der Viehbestände in diesen Regionen hat die Vegetation beeinträchtigt und damit wiederum

die Bodenerosion beschleunigt. Hierbei sind sozio-ökonomische und politische Faktoren im Vergleich zu natürlichen Faktoren weit bedeutsamer, als früher angenommen. Daher sind nicht nur technische Maßnahmen erforderlich, sondern auch soziale und institutionelle Innovationen. Diesen Fragen widmet sich die „UN-Konvention zur Bekämpfung der Wüstenbildung und der Dürrefolgen insbesondere in Afrika“ (kurz gefasst: Wüstenkonvention), die 1994 unterzeichnet wurde und ihr Ständiges Sekretariat in Bonn hat.

Diese UN-Konvention ist ein höchst innovativer, lokale Partizipation fördernder globaler Vertrag. Sie fordert – ähnlich wie die Klima- und die Biodiversitätskonvention – internationale Kooperation ein und kann, mit ein wenig Optimismus, als Vorläufer einer globalen Bodenpolitik angesehen werden (so Rechkemmer 2004).



© Klaus Salwender/PXELIO

In anderer Weise offen ist die Lage in Bezug auf eine künftige globale Wasserpolitik (vgl. WBGU 1997). Derzeit mangelt es rund 1,2 Milliarden Menschen an sauberem Trinkwasser. Von absoluter bzw. relativer Wasserknappheit sind etwa 80 Staaten der Welt bedroht, in denen rund 40 % der Weltbevölkerung leben (UNEP 2007). In vielen Fällen wird das quantitative Wasserangebot durch Dürre, Übernutzung von Vorräten und Entwaldung kritisch, während die Wassernachfrage aufgrund künstlicher Bewässerung in der Landwirtschaft, fortschreitender Urbanisierung und Industrialisierung und damit einhergehendem höheren individuellen Wasserverbrauch weiter ansteigt.

Global gesehen verschlechtert sich auch die Wasserqualität weiter. Oberflächengewässer und Grundwasser werden durch Nitrate und Pestizide aus der Landwirtschaft, durch Leckagen der städtischen

und industriellen Abwassersysteme, aus Kläranlagen und Mülldeponien belastet. Die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfohlenen Grenzwerte für Trinkwasserqualität werden so immer häufiger überschritten. (Auch die von der EU-Kommission gesetzten Grenzwerte werden von Tausenden von Brunnen in Europa nicht eingehalten – die folglich geschlossen werden müssten).

Neben der Anforderung, geeignete Maßnahmen zur quantitativen und qualitativen Sicherung der Wasservorräte für eine weiter zunehmende Weltbevölkerung zu treffen – wie Erschließung neuer Quellen, Schaffung integrierter Wasserkreisläufe, Verhinderung der Wasserverschmutzung durch Schadstoffe –, dürfte es angesichts der Problemhaftigkeit der Lage in Zukunft verstärkt um ein gezieltes Nachfragemanagement, d.h. um die Reduzierung des Wasserverbrauchs in Landwirtschaft, Industrie und Haushalten gehen. Die Alternative hierzu heißt Wasserrationierung – mit allen daraus wiederum entstehenden Konsequenzen.

Es besteht daher dringender Handlungsbedarf bezüglich einer pro-aktiven globalen Wasserpolitik, insbesondere der fairen Zuteilung von Wassernutzungsrechten und der Entwicklung und des Transfers von Wasserspartechniken. Ein erster Schritt in dieser Richtung wurde auf der UN-Konferenz über nachhaltige Entwicklung (World Summit on Sustainable Development) in Johannesburg 2002 getan, auf der erstmals quantifizierte Ziele und Zeitlimits beschlossen wurden: Reduzierung der Zahl der Menschen ohne Zugang zu sauberem Trinkwasser und Reduzierung der Zahl der Menschen ohne Zugang zu Abwasseranlagen jeweils auf die Hälfte bis zum Jahr 2015!

Diese Initiativen sollten zu einer international abgestimmten Wasserstrategie fortentwickelt werden und in nicht allzu ferner Zukunft in die Formulierung einer UN-Wasserkonvention münden (so auch Rechkemmer/Schmidt 2006).

**Fazit:** Im Vergleich zur Ozon-, Klima- und Biodiversitätspolitik ist die Kodifizierung der internationalen Boden- und Wasserpolitik unterentwickelt. Die Wüstenkonvention ist zwar ein interessanter internationaler Vertrag; die Lokalisierung ihres Sekretariats in Bonn aber eher seltsam. Die globale Wasserkrise ist ernst, doch für eine UN-Wasserkonvention machen sich bisher zu wenige Akteure stark.

**Offene Fragen:** Bedarf es der weiteren internationalen Kodifizierung der Bo-

den- und Wasserproblematik? Angesichts teils dramatischer Entwicklungen scheint dies unabdingbar. Die Privatisierung des Wassers ist weltweit im Gange, wo doch vieles dafür spricht, dieses elementare Gut als Gemeingut, als öffentliches Gut zu verstehen. Deutschland ist von dieser Problematik in doppeltem Sinne tangiert: Es gibt einerseits viel Erfahrung bezüglich des Schutzes der Böden und der öffentlichen Versorgung mit Wasser. Andererseits schreiten der Verbrauch an Fläche und die Privatisierung der Wasserversorgung weiter voran. Deutschland ist dabei, den Titel des „Bewahrs“ öffentlicher Güter zu verlieren.

## 6. Stoff- und Abfallpolitik

Viele Industrieprodukte, chemische Stoffe und Abfälle sind nicht bzw. nur schwer abbaubar (persistent organic pollutants – POPs) oder dauerhaft lagerungsfähig; und die wirksame internationale Kontrolle gefährlicher Abfälle ist schwierig. Nach erfolgtem Grenzüberschritt unterliegen solche Stoffe oft ganz unterschiedlichen Regulierungen. Bestehende Exportmöglichkeiten mindern wiederum die zu schwachen ökonomischen Anreize zur konsequenten Abfallvermeidung vor Ort. Sie transferieren damit einen Teil des Risikos, ohne auch das Wissen und die Technik zu dessen Eingrenzung zu transferieren.

Angesichts dieser grundsätzlichen Problematik war die Verabschiedung der „UN-Konvention über die Kontrolle des grenzüberschreitenden Verkehrs mit Sonderabfällen und ihrer Beseitigung“ (sog. Baseler Konvention) im Jahre 1989 ein wichtiger Schritt nach vorn. Die Schwierigkeit liegt aber bis heute in der praktischen Umsetzung dieses Vertrages auf der lokalen und nationalen Ebene. Auf rund 12 Milliarden Dollar pro Jahr wird das Volumen des illegalen Handels mit Giftmüll geschätzt. Es fehlt also an technischen und organisatorischen Vorkehrungen, um die latent vorhandene Bereitschaft zur Umgehung von Kontrollen zu verringern und eine für Mensch und Umwelt risikofreie Behandlung weiterhin anfallender Abfälle zu gewährleisten. Der grenzüberschreitende Transport gefährlicher Stoffe und Abfälle und deren Behandlung bleiben – so scheint es – auch in Zukunft ein ungelöstes Umweltproblem.

Was die POPs angeht, ist im Rahmen der Vereinten Nationen nach vielen Jahren zähflüssiger Verhandlungen eine Konven-

tion über die 12 gefährlichsten bzw. lang- lebigsten Stoffe unterzeichnet worden (sog. Stockholm-Konvention bzw. POP-Konvention über das dirty dozen). Auf EU-Ebene ist eine umfassende Chemikalienpolitik (REACH) in der Umsetzung, die bis zu 30.000 Chemikalien regulieren soll.

**Fazit:** Trotz vieler Diskussionen und gesetzlicher Vorkehrungen wird die Menschheit weiterhin strukturell vergiftet. Eine stringente Stoffpolitik gibt es selbst in Deutschland nicht, trotz entsprechender mehrjähriger Vorarbeiten im Deutschen Bundestag (Enquete-Kommissionen). Null-Emission ist eine Vision, aber erst fallweise Realität. Illegale Müllexporte finden weiterhin in großem Umfang statt. Problemverlagerung gilt als Problemlösung.

**Offene Fragen:** Wie kann die persistente Neigung zur Umgehung von Kontrollen von Gefahrstoffen überwunden werden? Was sind die Bedingungen einer effektiven Stoffpolitik? Ist umfassende Abfallvermeidung, ist Null-Emission in großem Stil möglich? Was kann das sich entwickelnde Konzept der Industriellen Ökologie bewirken? Deutschland ist kein „Rekordhalter“ der Abfallminderung und Abfallvermeidung und auch keine treibende Kraft bei der Umsetzung einer effektiven Chemikalienpolitik. Weiterhin zuviel Chemielobbyismus im Lande?

## 7. Institutionelle Perspektiven

Die obigen Ausführungen haben gezeigt, dass die Internationalisierung der medial konzipierten Umweltpolitik unterschiedlich weit fortgeschritten ist – eine Weltumweltpolitik (Simonis) ist zwar im Grundriss vorhanden, aber unterschiedlich institutionalisiert. Während sie der Ozonpolitik von Anfang an immanent war, ist sie in der Klima- und der Biodiversitätspolitik unbestritten anerkannt, aber erst ansatzweise implementiert. Noch in einer Frühphase der Internationalisierung befinden sich die Boden-, die Wald- und die Wasserpolitik, während die Stoff- und Abfallpolitik in dem Sinne und Umfang international ist, als lokal und national ansetzende Vermeidungsbemühungen nicht greifen, die Internationalisierung des Problems also nicht als Lösung, sondern als Ausweg gesehen wird.

Ein zentraler Grund für diesen insgesamt höchst unbefriedigenden Stand der Dinge um eine systematische, konsistente Weltumweltpolitik dürfte in der zu schwachen Institutionalisierung im UN-System

liegen. Das personell und finanziell äußerst schlecht ausgestattete, der UN-Vollversammlung angegliederte UN-Umweltprogramm (UNEP) muss dringend gestärkt und in Richtung einer Weltumweltorganisation (Global Environment Organisation – GEO) fortentwickelt werden. Die Diskussion hierzu ist im Gange, doch eine Lösung ist angesichts der Widersprüchlichkeit der entsprechenden Reformvorschläge bisher nicht in Sicht.

Bei diesem Disput geht es vor allem um die Frage der angemessenen Institutionalisierung der internationalen Umweltpolitik (Hierarchisierung vs. Horizontale Institutionalisierung) und um deren fachliche Reichweite (Umweltpolitik vs. Nachhaltigkeitspolitik). Entsprechend stehen sich das Modell einer mit zentraler Sanktionsgewalt ausgestatteten, nationale Souveränität einschränkenden Weltumweltorganisation und das Modell einer kommunikativen, auf inhaltliche Integration abzielenden Weltumweltorganisation gegenüber (hierzu Biermann/Simonis 2000; Charnovitz 2005; Esty et al. 2002; Rechkemmer et al. 2005).

Wie dieser Disput enden wird, ist zurzeit offen. Er kann einerseits nach fachlichen Gesichtspunkten wie Angemessenheit und Dringlichkeit, andererseits aber auch nach politischen Gesichtspunkten wie Opportunität und Machterhalt entschieden werden. Für beide möglichen Entwicklungen gibt es hinreichend Beispiele in der Geschichte der Vereinten Nationen.

**Fazit:** Die Institutionalisierung der Umweltpolitik im System der Vereinten Nationen ist höchst unbefriedigend. Die Überwindung dieser institutionellen Schwäche erscheint dringend notwendig für die Lösung der anstehenden globalen Umweltprobleme.

**Offene Fragen:** Wieso gibt es eine Weltbank und eine Welthandelsorganisation, aber keine Weltumweltorganisation? Auf welche Form einer solchen Organisation kann man sich in naher Zukunft verständigen? Angesichts seiner eigenen institutionellen Erfahrungen müsste Deutschland eigentlich eine „treibende Kraft“ zur Effektivierung der Umweltkompetenz der Vereinten Nationen sein. Statt nunmehr seit 18 Jahren vergeblich daran zu arbeiten, ständiges Mitglied des UN-Sicherheitsrates zu werden, wären Initiativen zur Stärkung der umweltpolitischen Kompetenz der Vereinten Nationen nicht nur sinnvoller, sondern auch aussichtsreicher gewesen.

Literaturangaben zu diesem Beitrag siehe: <http://tu-freiberg.de/vereine/vff/index.html>

# Arsen, *E. coli*, was noch ...? Dilemma der Trinkwasser- versorgung in Bangladesh

Britta Planer-Friedrich

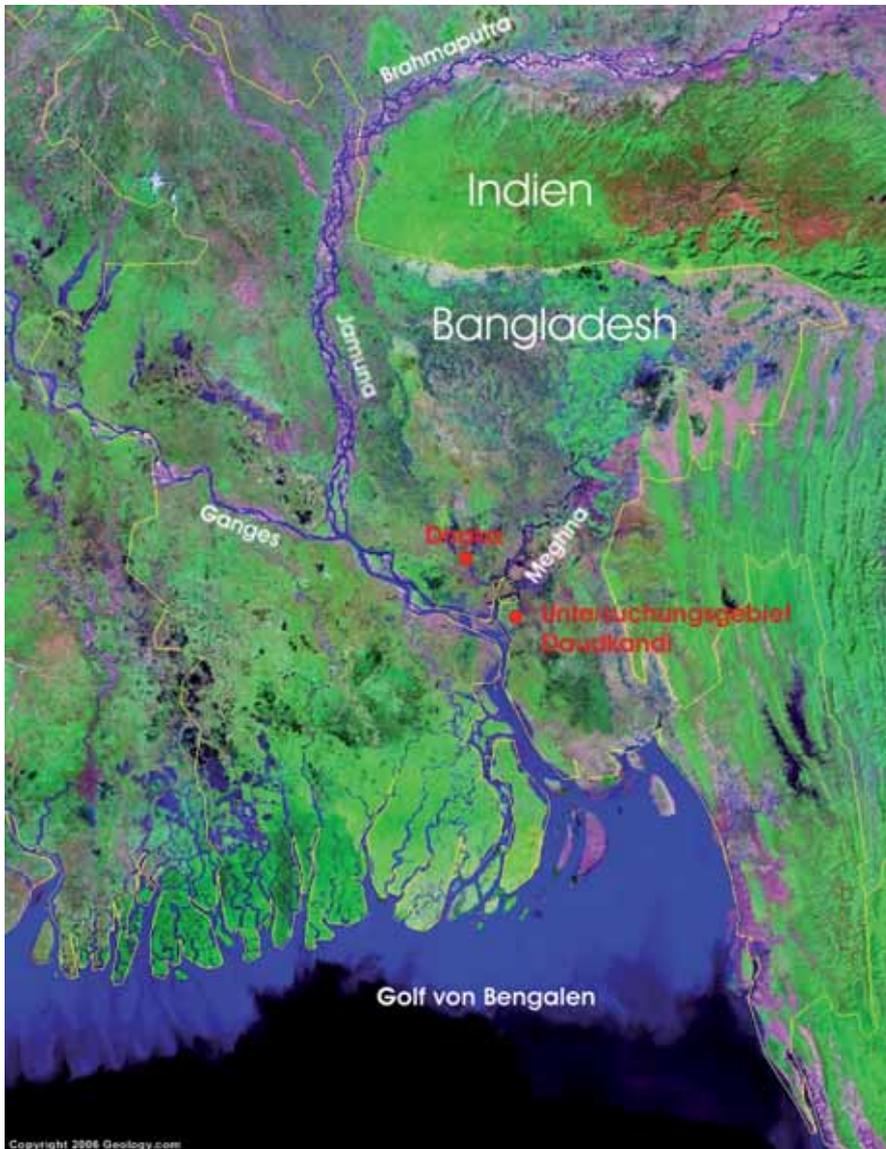


Abb. 1: Lage von Bangladesh im Bengalen-Delta

Mit einer Bevölkerung von ca. 153 Millionen Menschen auf 144.000 km<sup>2</sup> Fläche und einem Pro-Kopf-Jahreseinkommen von ca. 400 \$ ist Bangladesh eines der bevölkerungsreichsten und ärmsten Länder der Welt. Mit seinem Nachbarstaat Indien verbindet es eine wechselvolle Geschichte. 1947 wurde es aufgrund seiner muslimischen Bevölkerungsmehrheit von Indien abgespalten und zunächst als „Ostpakistan“ Bestandteil Pakistans, von dem es 1971 die Unabhängigkeit erlangte. Geographisch liegt Bangladesh im Becken von Benga-

len, dessen Entwicklung im Permo-Carbon begann und das heute geprägt ist durch 1–15 km mächtige Sedimentablagerungen, die von den Flüssen Brahmaputra, Ganges und Meghna seit dem Miozän im Zuge der Heraushebung des Himalaya herantransportiert wurden (Abb. 1).

Der überwiegende Teil Bangladeshs liegt nur wenige Meter über dem Meeresspiegel, Monsun bestimmt das Klima. Während einer der größten Fluten der letzten Jahrzehnte im September 1998 standen zwei Drittel des Landes unter Wasser.

Oberflächenwasser war auch bis in die siebziger Jahre hinein die Hauptquelle für die Trinkwasserversorgung der damals ca. 70 Millionen Menschen. Zunehmende Industrieansiedlungen, die ihre Abwässer ungeklärt in die Flüsse entsorgten sowie Übernutzung und Eintrag pathogener Keime, wie *E. coli*, infolge eines starken Bevölkerungsanstiegs und unzureichender Abwassertechnologie führten dazu, dass das Trinkwasser zur Hauptkrankheitsquelle avancierte. Ab Mitte der 1970er Jahre wurde mit Unterstützung von UNICEF, der Weltbank und zahlreichen weiteren Hilfsorganisationen Grundwasser dezentral in heute ca. 10 Millionen Brunnen erschlossen. Mehr als 90 % der Bevölkerung wurden bis heute in groß angelegten Aufklärungskampagnen zur Abkehr von der traditionellen Nutzung des Oberflächenwassers bewegt. Die Kindersterblichkeit sank von 23,9 % (1970) auf 6,9 % (2006).

In den 1980er Jahren mehrten sich Hinweise darauf, dass vermehrt auftretende Hautveränderungen und Hautkrebs auf arsenkontaminiertes Trinkwasser zurückzuführen seien. Diese geogene Kontamination erstreckt sich über viele Teile Asiens und betrifft allein in Bangladesh geschätzte 35–60 Millionen Menschen. Ende der 90er Jahre wurde klar, dass in schätzungsweise 30 % aller Brunnen der Arsengehalt den lokalen Grenzwert von 50 µg/L überschreitet, in ca. 45 % den von der Weltgesundheitsorganisation vorgegebenen Grenzwert von 10 µg/L (Abb. 2). Dieser provisorisch akzeptierte Grenzwert ist übrigens immer noch gleichbedeutend mit einem arsenbedingten Krebsrisiko von 1:500!

Dabei sind die Arsen-Gehalte in den aus dem Himalaya stammenden Sedimenten des Beckens von Bengalen mit 2 bis 20 mg/kg im Vergleich zur durchschnittlichen Konzentration in der Erdkruste (2 bis 6 mg/kg) nicht einmal besonders hoch. Es muss daher einen sehr effizienten Mobilisierungsmechanismus geben, der Arsen freisetzt. Eine erste Hypothese war, dass Pyritoxidation durch Eintrag von Sauerstoff infolge massiver Absenkungen Desorption von reduziertem Arsen (Arsenit) und dessen Oxidation zu Arsenat auslöst. Allerdings wurden die höchsten Arsen-Gehalte weder in den Gebieten intensivster Nutzung, noch in den geringsten Tiefen gefunden, wie man dann annehmen sollte, wenn Sauerstoffeintrag eine Rolle spielt. Auch die angenommene Mobilisierung von Arsenat durch Sorption von Phosphat, die in Anbetracht des raschen Anstiegs der

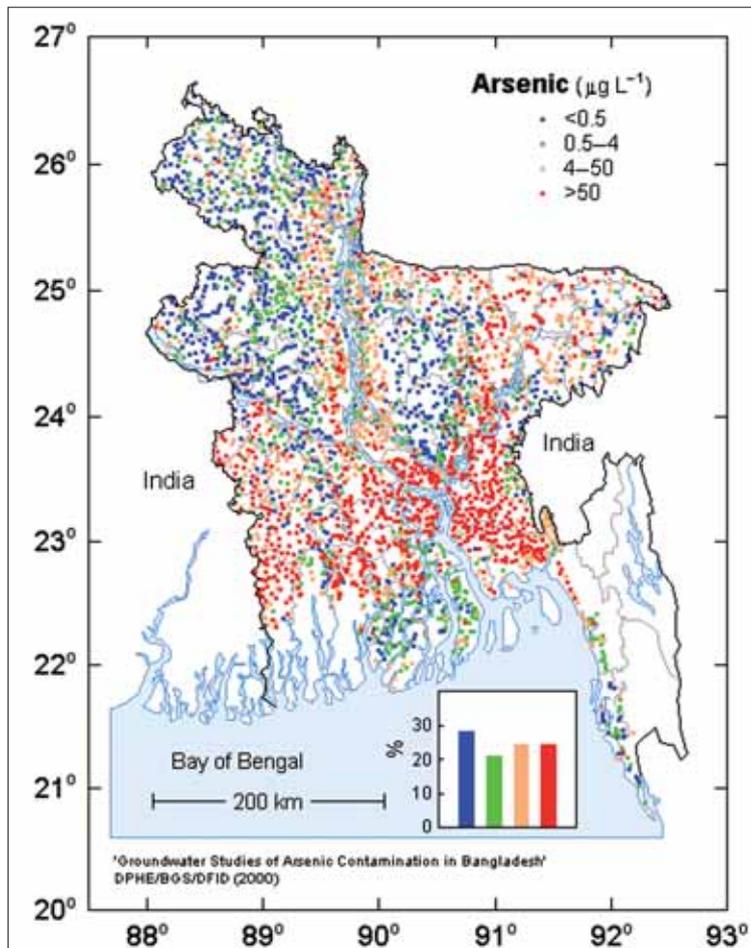


Abb. 2:  
Verteilung der  
Arsen-Gehalte  
in Bangladesh

Phosphatdüngung und eines ähnlichen Sorptions- und Austauschverhaltens von Arsen und Phosphor zunächst plausibel schien, ist zumindest überregional nicht haltbar. Gerade die jüngsten Wässer, die demzufolge die höchsten Arsen-Gehalte aufweisen sollten, sind nahezu arsenfrei. Die größte Zustimmung findet bislang die Hypothese, dass bei der Reduktion von Eisenhydroxiden sorbiertes Arsenat zu Arsenit reduziert und damit mobilisiert wird. Als Reduktionsmittel wird organischer Kohlenstoff angenommen, z.B. aus dem Sediment, aus Torflinsen oder rezent aus der Versickerung von Fäkalien.

Aufgrund der Ablagerung der Sedimente in einem verzweigten Flussdeltabereich mit ausgeprägter Ton-Sand-Wechselagerung, Linsenbildung, und Einlagerung organischen Materials und aufgrund des Monsuns mit ausgeprägten Trocken- und Regenzeiten ist damit zu rechnen, dass Reduktions- und Oxidationsprozesse (und damit die Arsenmobilisierung) sowohl räumlich als auch zeitlich stark variieren. Dies ist dann ein Problem, wenn von punktuellen Messungen auf die Fläche geschlossen bzw. mit mehr oder weniger zufälligen Stichtagsmessungen eine generelle Charakterisierung vorgenommen

werden muss. Zielstellung meines DFG-Forschungsprojektes in Bangladesh von November 2006 bis April 2008 war daher, Probenahmen durchzuführen – mit hoher räumlicher Auflösung in unterschiedlichen Tiefen und über eine bestimmte Fläche, mit hoher zeitlicher Auflösung durch wöchentliches Monitoring möglichst über einen gesamten Jahreszyklus und mit einer detaillierten Speziesanalytik für redoxsensitive Elemente (Arsen, Phosphor, Schwefel, Stickstoff, Eisen, Mangan). Während Sulfid, Stickstoff, Eisen und Mangan direkt vor Ort photometrisch untersucht wurden, konnte ich für die Spezierung von Arsen und Phosphor dank eines Postdoc-Auslandsstipendiums der Akademie der Naturforscher Leopoldina auf die exzellente Ausstattung der Trent University, Peterborough, Kanada, zurückgreifen, u. a. auf eine Ionenchromatographie, verknüpft mit einem induktiv-gekoppelten Plasma-Massenspektrometer (IC-ICP-MS).

Im November 2006 trafen wir uns das erste Mal für zwei Wochen in Dhaka mit unseren Kooperationspartnern Prof. Hassan, Prof. Alam und Prof. Khan von der Dhaka University. Geplant war, unsere Probenahmen in drei Testgebieten des British Geological Survey in Chapai Naw-

abganj, Faridpur and Lakshmpur durchzuführen und ein Gebiet festzulegen, in dem eine detaillierte tiefenabhängige Untersuchung der Arsenspezierung und -mobilisierung stattfinden sollte. Als wir in Bangladesh mit den Untersuchungen begannen, entwickelte sich die politische Lage im Land dramatisch. Zur bevorstehenden Wahl sollte eine Übergangsregierung eingesetzt werden, die freie und faire Wahlen garantieren sollte. Vorwürfe zu Korruption und Bevorzugung der regierenden Bangladesh National Party führten zu massiven Protesten der Oppositionsanhänger der Awami League, gefolgt von Handelsblockaden im Hafen Chittagong, Schließung aller öffentlichen Einrichtungen, Ausgangssperren in Dhaka und zahlreichen Verhaftungen. Mit viel Unterstützung unserer lokalen Kooperationspartner, einschließlich des Vizepräsidenten der Universität, konnten wir schließlich einige Tagestouren nach Brahmanbaria, Manikganj, Kachua, Daudkandi und Dhamrai unternehmen. Mehrtagestrips waren jedoch ausgeschlossen.

Basierend auf den Ergebnissen dieses ersten Aufenthalts entschieden wir uns für Detailuntersuchungen im Gebiet Daudkandi. In diesem Distrikt östlich des Meghna weisen 80% aller Brunnen erhöhte Arsen-Gehalte auf. Bohrgenehmigungen, um dort ein eigenes Testfeld anzulegen, erhielten wir im Januar 2007. In der Zwischenzeit hatte ich auch zwei Diplomanden, Heidi Lißner und Jörg Steinborn, gefunden, die ihre Diplomarbeit im Rahmen des Projektes durchführen wollten. Im Januar 2007 verabschiedete die stark durch das Militär unterstützte Übergangsregierung ein Ausnahmegesetz. Die Neuwahlen wurden zunächst auf unbestimmte Zeit verschoben. Entgegen unseren Befürchtungen waren unsere Projektpläne dadurch nicht betroffen, und wir flogen wie geplant Anfang Februar nach Dhaka, wo wir zunächst an einem Workshop des Goethe-Instituts zum Thema "Borderless-Humans and the Environment in a global world" mit Vorstellung unseres Projektes teilnahmen.

Auf unserem Testfeld wurde zunächst mit der 275 Fuß tiefen Kernbohrung begonnen, aus der wir Proben zur Sedimentcharakterisierung und für spätere Säulenversuche im Labor gewannen, die unter Abschluss von Sauerstoff vor Ort in Stickstoff verpackt und nach Deutschland bzw. Kanada verschickt wurden. Für die Anlage der Beobachtungsmessstellen unseres Testfelds kam die lokale Bohrfirma mit



Abb. 3a: Maschinelle Kernbohrung



Abb. 3b: Manuelles Rotary-Bohren



Abb. 3c: Die lokale „handflapping“-Methode



Abb. 4a: Verpacken der Sedimentproben unter Sauerstoffabschluss



Abb. 4b: Vor-Ort-Photometrie

wesentlich weniger Maschinenaufwand aus; vier Jungs zeigten uns, wie man auf 280 Fuß auch mit reiner Muskelkraft innerhalb von zwei Tagen bohren kann (Abb. 3). Die erstaunlichste Technik ist aber die lokale „Hand-Flapping“-Methode, mit der innerhalb von nur drei Tagen unsere weiteren Beobachtungsmessstellen in 30, 50, 70, 85, 90 und 115 Fuß Tiefe fertig gestellt waren. Dabei wird ein PVC-Rohr (früher wurden Bambusrohre verwendet) mittels eines Hebelarms in den sandigen Untergrund gerüttelt. Der eigentliche Trick besteht darin, die tonhaltige Bohrspülung über den Ringraum des PVC-Rohres nach oben zu transportieren, indem die Hand als Klappventil benutzt wird. Das Entscheidende ist die Synchronisation der Auf- und Abbewegung des Rohres mit dem Öffnen und Schließen des Rohres an seiner Oberkante: Beim Hochziehen schließt die

Handfläche die Öffnung der Hohlstange ab und das somit erzeugte Vakuum zieht Wasser und Sediment nach oben, das gezielt in eine kleine Absetzmulde gespritzt wird. Ein 1-m-Rohr verschwindet auf diese Weise innerhalb einer Minute im Boden, und das nächste Rohr wird aufgeschraubt. Tiefen bis zu 150 Fuß können auf diese Weise erreicht werden.

Nach dem Ausbau mit kurzen Filterstrecken in der gewünschten Tiefe (um eine gezielte tiefenabhängige Probenahme zu garantieren) wurden alle Beobachtungsmessstellen mit einem sog. Low-Flow-Sampling System ausgestattet, das es ermöglicht, nur geringste Mengen einer Wasserprobe abzupumpen. Somit werden Störungen des Fluss- und Oxidationsregimes des Grundwasserleiters minimiert. Das erste Monitoring aller Brunnen im Testfeld sowie einiger Brun-

nen in der Umgebung war beendet, als ich Ende Februar zurück nach Kanada flog. Jörg Steinborn und später eine dritte Diplomandin, Cornelia Härtig, setzten das Monitoring von Februar bis Ende Juli bzw. von September bis Dezember in ein- bis zweiwöchentlichem Rhythmus fort und beprobten weitere ca. 50 Brunnen in der Umgebung. Heidi Lißner charakterisierte zunächst die gewonnenen Sedimentproben bezüglich Korngrößenverteilung, Calcit-Gehalt und Boden-pH an der Universität von Dhaka und bestimmte in Freiberg den Gehalt an organischem Kohlenstoff sowie die Mineralzusammensetzung (mittels Röntgen-Diffraktometrie). Mit einem Auslandsstipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes führte sie anschließend an den gewonnenen Sedimentproben Sorptionsversuche bei mir in Kanada durch.

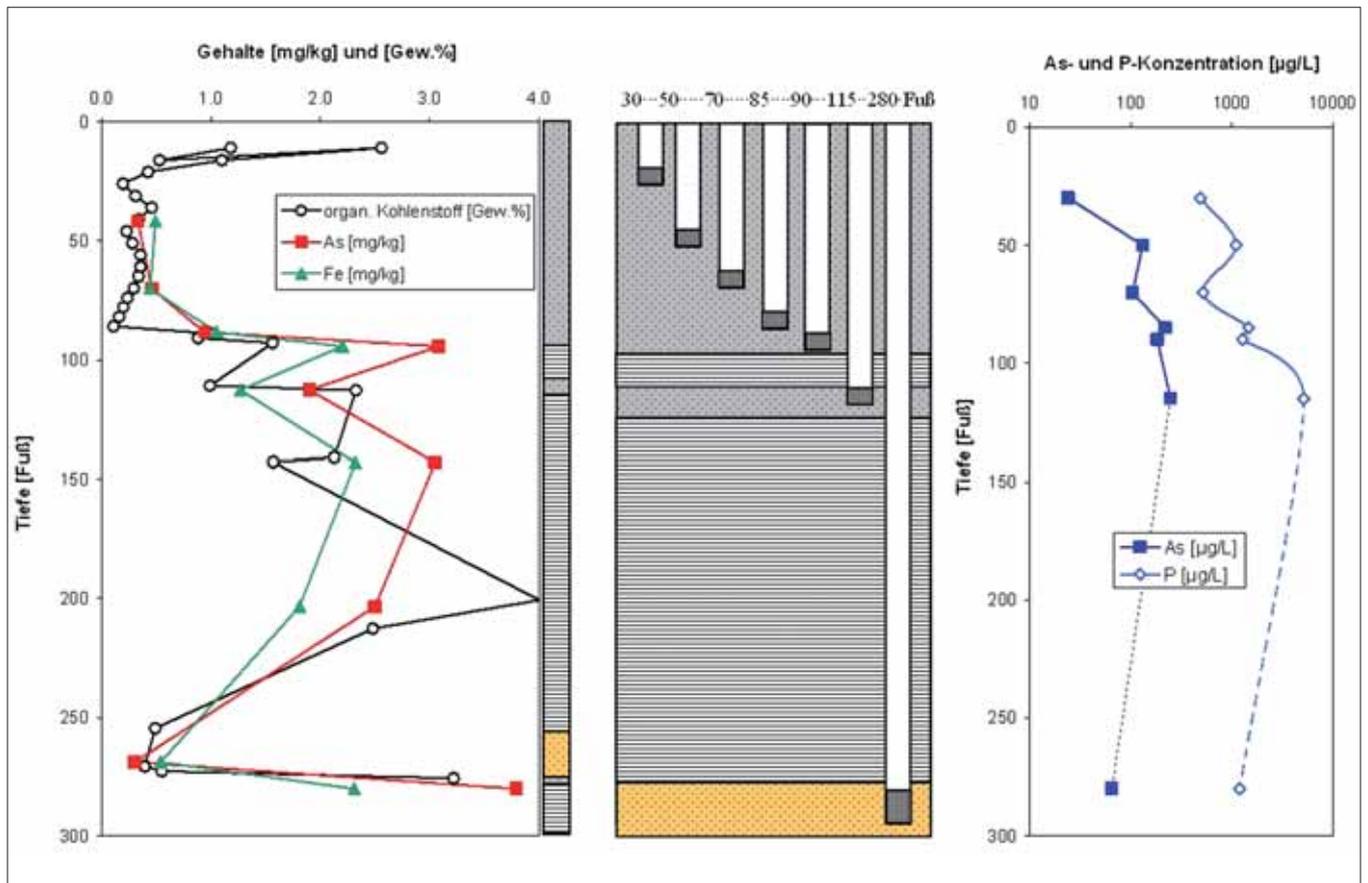
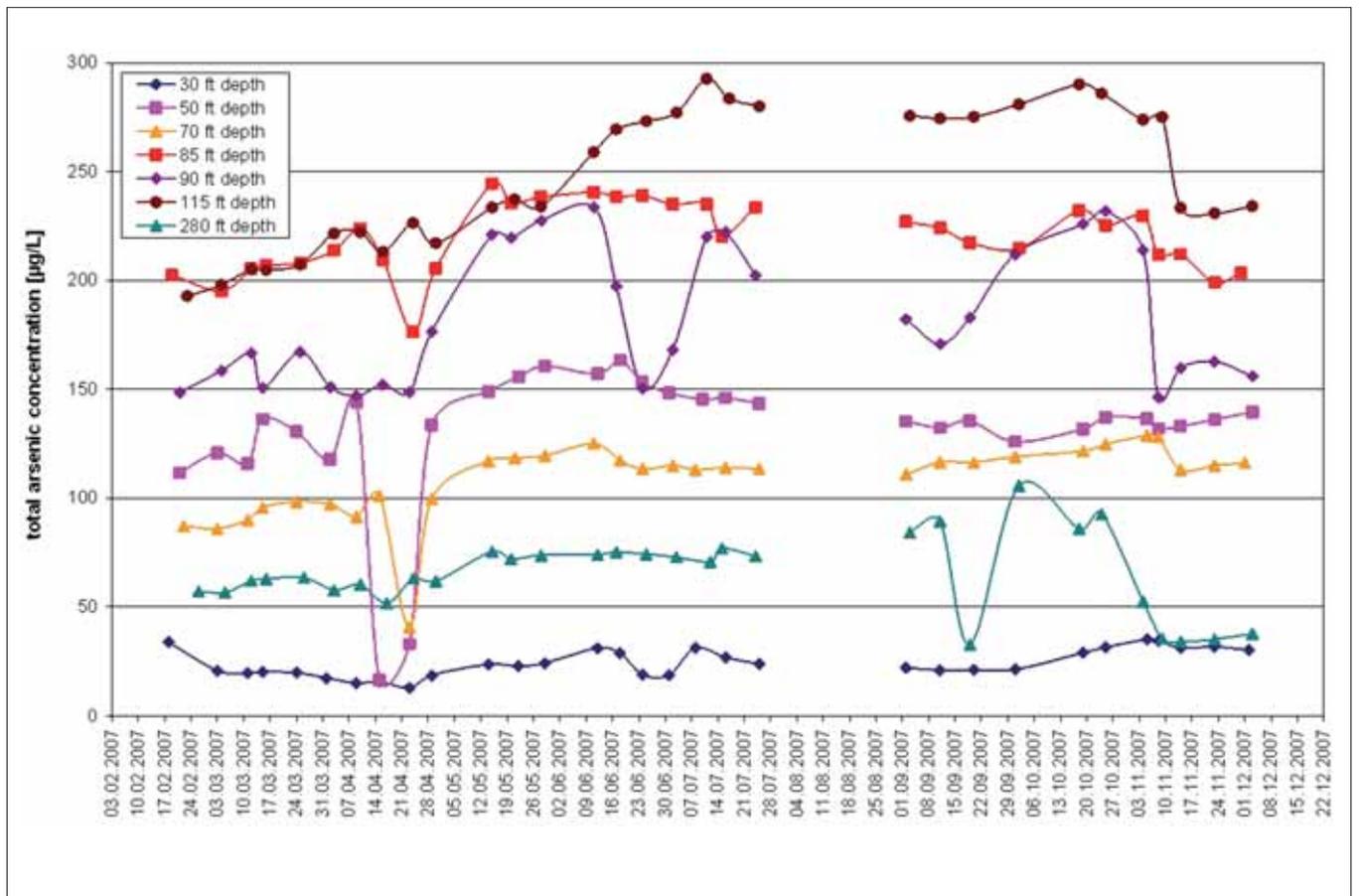


Abb. 5: Tiefenabhängige Verteilung von Arsen, organischem Kohlenstoff und Eisen im Sediment mit Litholog der Kernbohrung rechts, Litholog vom Testfeld mit Ausbau der Grundwasserbeobachtungsstellen in 30 bis 280 Fuß Tiefe, tiefenabhängige Arsen- und Phosphor-Verteilung im Grundwasser

Abb. 6: Saisonale Änderungen im Arsengehalt in verschiedenen Tiefen des Testfeldes



Unsere ersten Ergebnisse vom Testfeld zeigen eine ausgeprägte Tiefenabhängigkeit der Arsenverteilung sowohl im Sediment (Abb. 5 links) als auch im Grundwasser (Abb. 5 rechts). Alle Arsenkonzentrationen im Grundwasser überschreiten den derzeitigen Grenzwert der Weltgesundheitsorganisation von  $10 \mu\text{g/L}$  deutlich. Die Tatsache, dass die geringsten Arsenbelastungen in den geringsten Tiefen gefunden wurden sowie identische Tiefen-Trends in der Arsen- und Phosphorverteilung sprechen auch in unserem Fall gegen eine anthropogen beeinflusste Arsenmobilisierung, wie Sauerstoffzufuhr durch Übernutzung oder Austausch gegen Düngemittelphosphat. Die höchsten Arsen-Gehalte mit bis zu  $300 \mu\text{g/L}$  wurden in Tiefen von 85–115 Fuß gefunden. In diesen Tiefen ist der graue Feinsand zunehmend von Tonlinsen und Torflagen durchsetzt und der Gehalt an organischem Kohlenstoff im Sediment deutlich erhöht, was Arsen-Mobilisierung durch Reduktion infolge von Kohlenstoff-Oxidation plausibel erscheinen lässt.

Geringe Arsen-Gehalte wurden im tiefen Grundwasserleiter (280 Fuß Tiefe) gemessen. Säulenexperimente bestätigten einerseits eine erhöhte Sorptionskapazität des braunen, feinsandigen Sediments für Arsenat im Vergleich zum oberen grauen Feinsand, andererseits eine starke Oxidationskapazität. In Labor-Versuchen zugegebenes Arsenit wurde zu 65% zu Arsenat oxidiert und entsprechend gut sorbiert. Dass tiefere Aquifere deutlich geringere Arsenkonzentrationen aufweisen oder gar arsenfrei sind, wurde auch bereits in einigen anderen Untersuchungen festgestellt und daraufhin vorgeschlagen, diese für die Trinkwasserversorgung zu nutzen. Abgesehen davon, dass bislang nicht klar ist, ob man mit einer Absenkung des Grundwasserspiegels nicht auch die Arsen-Kontamination mit nach unten zieht, zeigten unsere Untersuchungen eine erhöhte Gesamtmineralisation des Wassers (vor allem mit erhöhten NaCl-Gehalten), hohe Eisengehalte (bis  $80 \text{ mg/L}$ ), hohe Gehalte an gelöstem organischem Kohlenstoff ( $12 \text{ mg/L}$ ), hohe Bromid-Gehalte ( $3.8 \text{ g/L}$ ) und hohe Ammoniumgehalte ( $100 \text{ mg/L}$ , der deutsche Trinkwassergrenzwert liegt bei  $0.5 \text{ mg/L}$ ).

Eine Nutzung dieses Grundwassers würde den Menschen als Alternative zu *E.coli* und Arsen einen weiteren „Beelzebub“ schaffen. Allerdings variieren gerade die Gehalte der sogenannten redoxsensitiven Elemente, also der Elemente, die

wie Arsen in Abhängigkeit vom Redoxpotential in verschiedenen Oxidationsstufen auftreten können, sehr stark. In anderen Brunnen in der Umgebung lagen die maximalen Ammonium-Gehalte „nur“ bei  $2 \text{ mg/L}$ .

Neben der starken räumlichen Variation über die Tiefe und in der Fläche, beobachteten wir auch große saisonale Schwankungen in den Arsenkonzentrationen (Abb. 6). Dabei handelte es sich einerseits in verschiedenen Tiefen um kurzzeitige, deutliche Erniedrigungen im Arsengehalt, andererseits in den Tiefen mit den höchsten Arsengehalten um einen kontinuierlichen Konzentrationsanstieg von Mai bis Juli und einen dementsprechenden Abfall von August bis November. Noch deutlicher war dieser saisonale Trend in Zu- und Abnahme der Arsenkonzentrationen zu sehen. Dies deutet saisonal bedingte stärker reduzierende Bedingungen an, die anscheinend nicht nur zu Arsenatreduktion führen, sondern zusätzliches, im Sediment gebundenes Arsen mobilisieren und so zu einem Anstieg in der Gesamtkonzentration führen. Eine entsprechende Phosphorab- und -zunahme läuft dem Arsen-Trend entgegen. Was diese saisonalen Trends bedingt, ist bislang unklar. In jedem Fall stellen die Ergebnisse die Aussagekraft einer zufälligen Stichtagsmessung gewaltig in Frage. Der 50 Fuß tiefe Brunnen wäre z.B. am 14. April als nur gering kontaminiert eingestuft worden, während er im Mittel ca.  $150 \mu\text{g/L}$  Arsen aufweist. Die kleinräumige Variabilität zeigt sich auch noch einmal deutlich im unterschiedlichen Jahresgang der Arsenkonzentrationen in 85 und 90 Fuß Tiefe (horizontale Distanz ca.  $8 \text{ m}$ !).

Sehr detaillierte speziessensitive Messungen für Arsen und Phosphor erlaubten uns zudem zwei weitere Entdeckungen. Als dritte Arsenspezies neben Arsenit und Arsenat konnten wir eine Arsen-Schwefel-Spezies, sog. Monothioarsenat ( $\text{H}_3\text{AsO}_3\text{S}$ ), nachweisen. Die höchsten Konzentrationen ( $32 \mu\text{g/L}$  oder 20% des Gesamtarsens) wurden in 90 Fuß Tiefe im Februar/März entdeckt. Im Lauf des Sommers nahmen sie stark ab. Die Bildung von Monothioarsenat ist an die Reduktion von Schwefel zu Sulfid gekoppelt, so dass in Gebieten oder zu Zeiten erhöhter Sulfidkonzentrationen mit deutlich höheren Gehalten gerechnet werden muss. Entscheidend für die Beurteilung der Arsenmobilisierung ist hierbei, dass einerseits mit der traditionellen Speziierungsmethode Hydridgenerierung-Atomabsorptions-



Abb. 7: Probenahme unter regem Interesse der Bevölkerung (rechts: Britta Planer-Friedrich)

spektroskopie Monothioarsenat nicht von Arsenat unterschieden werden kann, wir andererseits in Sorptionsversuchen aber feststellen mussten, dass Monothioarsenat deutlich leichter mobilisiert werden kann als Arsenat. Das Nichtbeachten dieser „neuen“ Spezies kann also dazu führen, dass die Arsenmobilität deutlich unterschätzt wird. Eine unerwartete Entdeckung war das Auftreten einer weiteren Phosphor-Spezies neben Phosphat, das generell als nicht bis wenig redoxsensitiv eingestuft wird. Diese Phosphorspezies, die teils bis zu 70% des Gesamtphosphorgehalts ausmachte, konnte bislang nicht identifiziert werden. Ausgeschlossen werden konnte, dass es sich um die reduzierten Spezies Hypophosphit oder Phosphit handelt. Ob auch diese Spezies ein weiteres Dilemma für die Trinkwasserversorgung in Bangladesh sein wird, ist völlig offen.

Datenauswertung, Modellierung und Folgeuntersuchungen werden in den nächsten Monaten weitergehen, dann jedoch an der Universität Bayreuth, wo ich ab Oktober 2009 die Juniorprofessur Umweltgeochemie übernehme. Herzlich bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei unseren Kooperationspartnern in Bangladesh und den Diplomanden Heidi, Jörg und Conny, ohne deren enormen Einsatz unter teils schwierigsten Bedingungen in Bangladesh diese Untersuchungen nie möglich gewesen wären. Ganz besonderer Dank geht an dieser Stelle aber auch noch einmal an die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die uns nicht nur die Arbeit mit diesem Projekt in Bangladesh ermöglicht hat, sondern mir mit der Bewilligung einer eigenen IC-ICP-MS sowie drei Promotionsstellen im Rahmen einer DFG Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe nun einmalige Möglichkeiten bietet, spannende Forschung mit jungen Wissenschaftlern in Deutschland fortzusetzen.

# Sanierung in den Bergbauegebieten Ostdeutschlands dargestellt am Beispiel der Niederlausitz

Wolfgang Förster, Gert Gockel

## 1 Situation in der Niederlausitz 1990

### 1.1 Geologische Verhältnisse

Ca. 200 m mächtige tertiäre und quartäre Sedimente prägen die Lagerungsverhältnisse im Lausitzer Braunkohlenrevier. Während im Liegenden des heute abzubauenen 2. Lausitzer Flözhorizontes durch flächenhaft verbreitete schluffig, tonig oder kohlig ausgebildete Schichten eine klare Stockwerksgliederung besteht, weisen die Kohlenfelder selbst im Hangenden einen weitestgehend rolligen Aufbau auf, unterbrochen von bindigen Schichten, teils geringer Verbreitung. Abbildung 1.1 zeigt schematisiert die Ablagerungsverhältnisse im zentralen Bereich der Lausitz.

Zentrale geologische Strukturen im Lausitzer Braunkohlenrevier sind die beiden in Abbildung 1.2 dargestellten, vorwiegend mit rolligem Sediment gefüllten Urstromtäler, das Lausitzer Urstromtal im Süden und das Baruther Urstromtal im Norden. Sie werden durch die glazie-

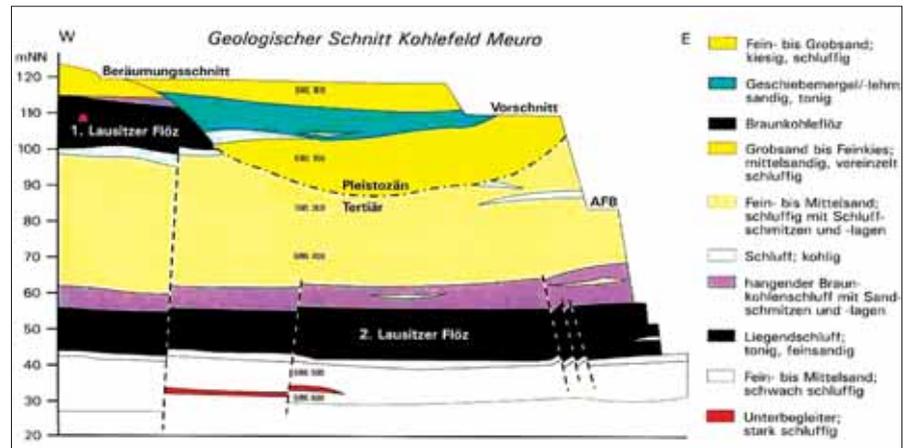


Abb. 1.1: Geologische Verhältnisse im zentralen Bereich der Lausitz nach [1.1]

nen Stauchendmoränen des Lausitzer Grenzwall es sowie die im Pleistozän erhalten gebliebenen tertiären Hochflächen getrennt. Eine Besonderheit bildet das Durchbruchstal der Spree zwischen Spremberg und Cottbus, mit dem eine wasserwegsame Verbindung zwischen beiden Urstromtälern entstanden ist.

Auf etwa 10% der Gesamtfläche des Lausitzer Reviers sind im oberflächennah-

en Bereich stauende Schichten abgelagert. Sie begründen schwebendes Grundwasser, das nur aus dem Niederschlag gespeist wird und für die Ökologie und den Oberflächenabfluss von besonderer Bedeutung ist. Die bodenphysikalischen und bodengeologischen Eigenschaften im Bereich der Kippenflächen haben durch den Bergbau eine erhebliche Veränderung erfahren. Für die land- und

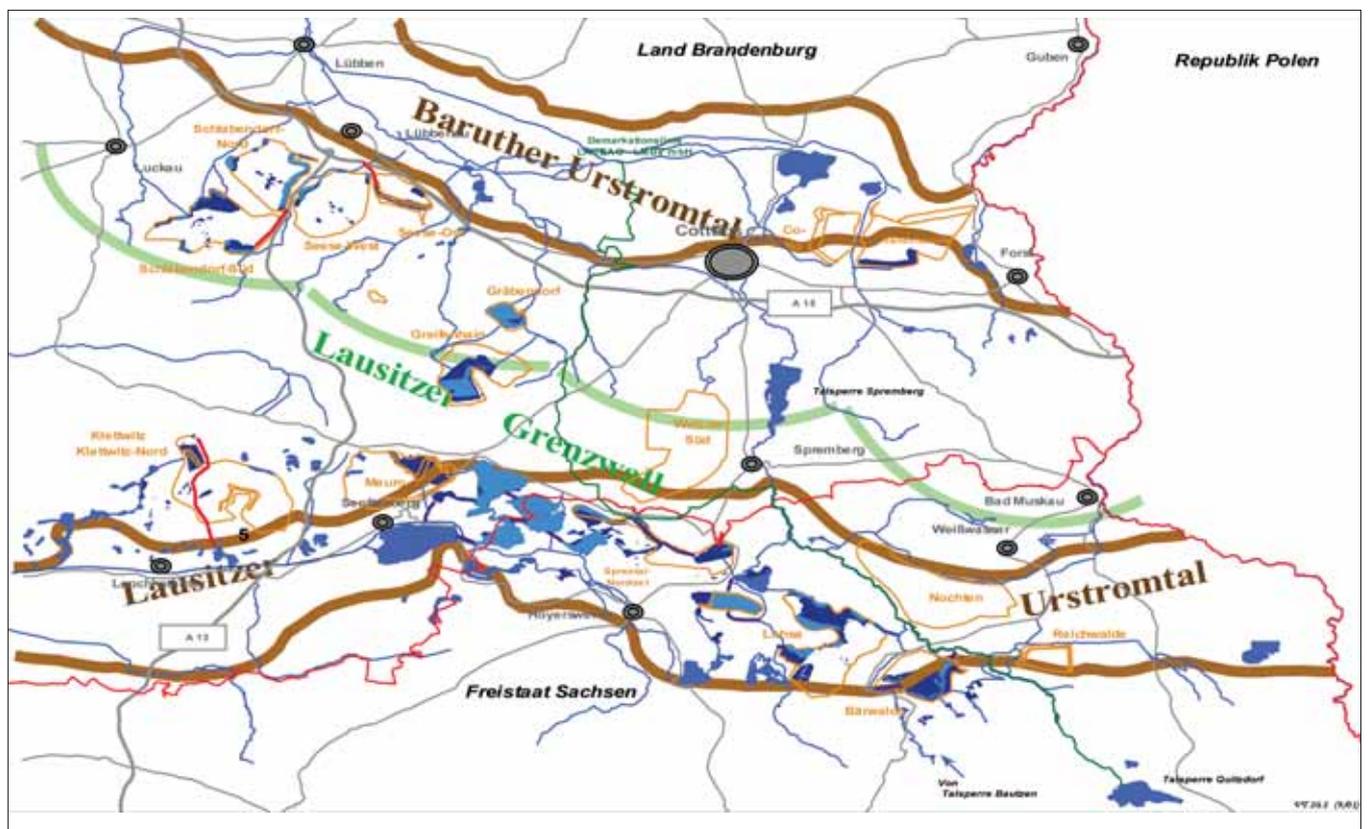


Abb. 1.2: Zentrale Strukturen im Lausitzer Braunkohlenrevier nach [1.2]

forstwirtschaftliche Nutzung ist das von wesentlicher Bedeutung.

Aus den regionalgeologischen Verhältnissen resultiert, dass Kippenflächen und die Kippenböschungen überwiegend aus sehr gleichförmigem Sand bestehen, der locker abgelagert ist und beim Ansteigen des Grundwasserspiegels zum Verflüssigen neigt. Über eine Gesamtlänge von ca. 130 km musste man 1990 daher mit Böschungsbrüchen rechnen. Dort, wo die Restlochböschungen im Gewachsenen standen, waren für die Böschungsgestaltung die üblichen geologischen Bedingungen, nämlich Einfallen von Trennflächen zwischen den verschiedenen stratigraphischen Schichten, eiszeitliche Störungen, Harnischbildungen in überkonsolidierten Tonen und die unterschiedliche Festigkeit der anstehenden Schichten in Verbindung mit dem Wirken des später im Hinterland der Böschungen und im Restloch selbst anstehenden Wassers zu beachten.

Die regionalgeologischen Verhältnisse sind aber genauso bedeutsam für eine eventuelle spätere Bebauung der Kippen insofern, als bei Bauwerken auf diesen mit erheblichen Setzungen zu rechnen ist. Es treten zuerst Eigensetzungen im Korngerüst ohne ersichtliche äußere Einwirkungen ein. Steigt der Grundwasserspiegel in den Kippen wieder an, kommt es zu weiteren Umordnungen im Korngerüst, die Setzungen, als Sackungen bezeichnet, nach sich ziehen. Sie sind abhängig vom Spannungszustand in den Kippen. Sie sind gering im Liegenden der Kippe und größer an der Oberfläche. Hinzu kommen die eigentlichen Setzungen unter Bauwerkslast. Es ist außerordentlich problematisch, zuverlässige Werte für den für diese Setzungen maßgebenden Verformungsmodul zu erhalten. Am ehesten werden brauchbare Werte aus Rückrechnungen nach ziemlich aufwändigen Probelastungen gefunden.

## 1.2 Braunkohleförderung

Mit dem Abteufen des ersten Schachtes im Jahre 1815 bei Kostebrau (in der Nähe von Lauchhammer) begann die eigentliche Braunkohleförderung in der Lausitz. Vorher bauten Kleinbetriebe die oberflächennah liegende Braunkohle ab. Waren diese Vorkommen erschöpft, musste man zur Förderung im Tiefbau übergehen. Die bergbauliche Tätigkeit blieb aus Gründen des Beherrschens der Wasserzuflüsse auf den Abbau des 1. Lausitzer Flözes und somit auf die Gebiete des Lausitzer Kernreviers um die Ortschaften Lauchhammer,

Plessa und Senftenberg beschränkt. Am Ende des 19. Jahrhunderts konnte der Tiefbau den Bedarf nicht mehr decken. Es wurden die ersten Tagebaue aufgeschlossen. Die sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts stürmisch entwickelnde Industrie in der Lausitz stellte neue Forderungen. Die Folge war eine deutliche Steigerung der Braunkohleförderung und der Beginn des Abbaus des 2. Lausitzer Flözes. Die Größe der Tagebaue nahm zu, sie verlagerten sich in das Lausitzer Urstromtal. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde die Braunkohleförderung weiter gesteigert und verlagerte sich auf Lagerstätten im Baruther Urstromtal. Die Orientierung allein auf die Braunkohle als Energieträger führte zu einer Jahresförderung in der Lausitz bis 1990 auf ca. 200 Mio. t/a. In der Lausitz arbeiteten in den Tagebauen 138.800 Arbeitskräfte. 820 km<sup>2</sup> an Bodenfläche hatte der Tagebau in Anspruch genommen.

Mit der politischen Wende 1990 veränderte sich der Bedarf an Braunkohle und machte sich eine Anpassung der Förderung erforderlich [1.3]. Die Tabelle 1 zeigt die Entwicklung nach 1980 und verdeutlicht den notwendigen Anpassungsprozess mit den nachfolgend dargestellten Problemen. Die erhebliche Verminderung der Zahl der Tagebaue auf 4 (voraussichtlich künftig wieder 5), deren unplanmäßiges Auslaufen und die Tatsache, dass nutzungsvorbereitende Arbeiten nicht mehr ausgeführt werden konnten, führten dazu, dass allein in der Lausitz 97 Restlöcher zu sanieren und zu gestalten waren.

Tabelle 1: Entwicklung des Braunkohlebergbaus in der Lausitz nach 1980

	1980	1990	2000	2005
Kohleförderung in Mio. t	162	200	55	57
Anzahl der Tagebaue	14	17	4+1	4+1
Wasserhebung in Mrd. m <sup>3</sup>	1,05	1,20	0,53	0,50

## 1.3 Wasserwirtschaftliche Verhältnisse

Der fast 100 Jahre währende Eingriff bergbaulicher Entwässerungsmaßnahmen in den Wasserhaushalt hat die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse der Region nachhaltig beeinflusst. Mit dem Verlagern der Tagebaue in die Urstromtäler stieg die Wasserhebung bedeutend an. Zunächst bildeten sich regionale Absenkungstrichter im Umfeld des jeweiligen Tagebaus. Bald aber entstand ein zusammenhängender, weite Teile des Lausitzer Urstrom-

tals erfassender Absenkungstrichter.

Im Jahr 1970 wurden ca. 730 Mio. m<sup>3</sup>/a, im Jahr 1980 1.050 Mio. m<sup>3</sup>/a und im Jahr 1989 1.220 Mio. m<sup>3</sup>/a Wasser gehoben. Der Absenkungstrichters dehnte sich auf ca. 2.100 km<sup>2</sup> aus (1934 550 km<sup>2</sup> [1.4]). Das innerhalb dieses Absenkungstrichters 1990 fehlende Wasservolumen betrug ca. 13 Mrd. m<sup>3</sup>. 5 Mrd. m<sup>3</sup> davon entfallen auf die mit Flutung und Grundwasserwiederanstieg entstehenden Bergbaufolgen.

Mit dem Reduzieren der Kohleförderung erfolgte ein Reduzieren der Wasserhebung. Allerdings war das erst nach Abschluss einzelner Etappen der Sanierung bzw. der Böschungsgestaltung tatsächlich möglich. Dadurch ergab sich ein zeitliches Verschieben zwischen dem Rückgang der Kohleförderung und der Wasserhebung von ca. 3 bis 5 Jahren.

## 2. Landesplanerische Vorgaben für die Sanierung

Das „Bundesberggesetz“ [2.1] kennt den Begriff der Wiedernutzbarmachung und definiert ihn als ordnungsgemäßes Gestalten der vom Bergbau in Anspruch genommenen Oberfläche unter Beachtung des öffentlichen Interesses. Das bedeutet eine nach landesplanerischen Gesichtspunkten und für eine vorgesehene Nutzung zu gestaltende Bergbaufolgelandschaft. Es ergeben sich zum Beispiel für die Nutzung als Bergbaufolgesee Anforderungen

- an die Böschungssanierung und -gestaltung des Tagebaurestloches,
- an die Sicherung und Gestaltung der künftigen Ufer unter Beachtung naturschutzfachlicher Vorgaben,
- an die im Bergbaufolgesee zu erreichende Wasserbeschaffenheit sowie
- an die Gestaltung des Umfeldes zur Gewährleistung der außerhalb der Verpflichtung des Bergbaus stehenden infrastrukturellen Entwicklung.

Von der „Richtlinie zur Feststellung des Endes der Bergaufsicht“ des Sächsischen Oberbergamtes [2.2] wird die Forderung des Bundesberggesetzes speziell für den Braunkohlenbergbau weiter untersetzt.

## 3. Strategie der Sanierung

### 3.1 Vorbereitende Arbeiten

Alle im Rahmen der Sanierung anfallenden Arbeiten wurden der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesell-

schaft mbH (LMBV) als verantwortlichem Projektträger übertragen. Sie verlangen eine abgestimmte, nach geotechnischen und sicherheitlichen Zwängen orientierte Zeitplanung. Der Bau der Flutungsanlagen bedingt einen bestimmten Stand der Sicherungsarbeiten [3.1]. Ein Schema für das Aufeinanderfolgen der einzelnen Arbeitsschritte vermittelt Abbildung 3.1.

### 3.2 Nötige Sicherungsmaßnahmen

Normalerweise wird angestrebt, die Gestaltung der Tagebaurestlöcher unter Berücksichtigung der späteren Nutzung bereits vor dem Auslauf des Tagebaus zu planen und die vom Tagebau hinterlassenen Restlöcher mit geringstem Aufwand der späteren Nutzung anzupassen. Das war unter den sich entwickelnden Bedingungen nach 1990 nur in den wenigsten Fällen möglich. Deshalb wurde ein komplexes Programm zur Entwicklung effektiver Sanierungstechnologien zum Schaffen stabiler Böschungen und Uferzonen für den Zeitraum 1995 bis 2000 aufgelegt [3.3].

### 3.3 Wasserhaushaltliche Sanierung

Ziel aller Maßnahmen ist das Wiederherstellen eines sich weitgehend selbst regulierenden Wasserhaushaltes, bei dem die durch den Bergbau gestörten Abflussverhältnisse normalisiert werden und sich ein durch den Niederschlag gesteuertes Abflussgeschehen einstellt.

Mit der Außerbetriebnahme der bergbaulichen Entwässerungsanlagen bleibt das zum Tagebaurestloch gerichtete Strömungssystem in den Grundwasserleitern zunächst erhalten. Die künstlich geschaffenen Gefälleverhältnisse bewirken Zuflüsse zum Tagebaurestloch in zunächst gleicher Größenordnung. Dadurch werden zuerst die Tiefbereiche des Absenkungstrichters aufgefüllt und ein Anheben des Wasserstandes im entstehenden Bergbaufolgese bewirkt. Dies führt zu einer allmählichen Reduzierung der Zuflüsse. Ein nennenswertes Reduzieren der Fläche des Absenkungstrichters tritt zunächst nicht ein. Erst später, wenn sich im Bergbaufolgese ein Wasserstand eingestellt hat, der dem Gleichgewichtszustand zwischen Zufluss und Reichweite der Grundwasserabsenkung entspricht, ist mit einem Flächenreduzieren zu rechnen [3.4].

Bekannt ist, dass die Zuflüsse vornehmlich aus Kippenbereichen durch eine hohe Acidität gekennzeichnet sind. Sie resultiert aus den durch den Zustrom ausgetragenen Zerfallsprodukten des Pyrits. Hauptsächlich sind Sulfat- und



Abb. 3.1: Ablauf der Sanierung in Anlehnung an [3.2]

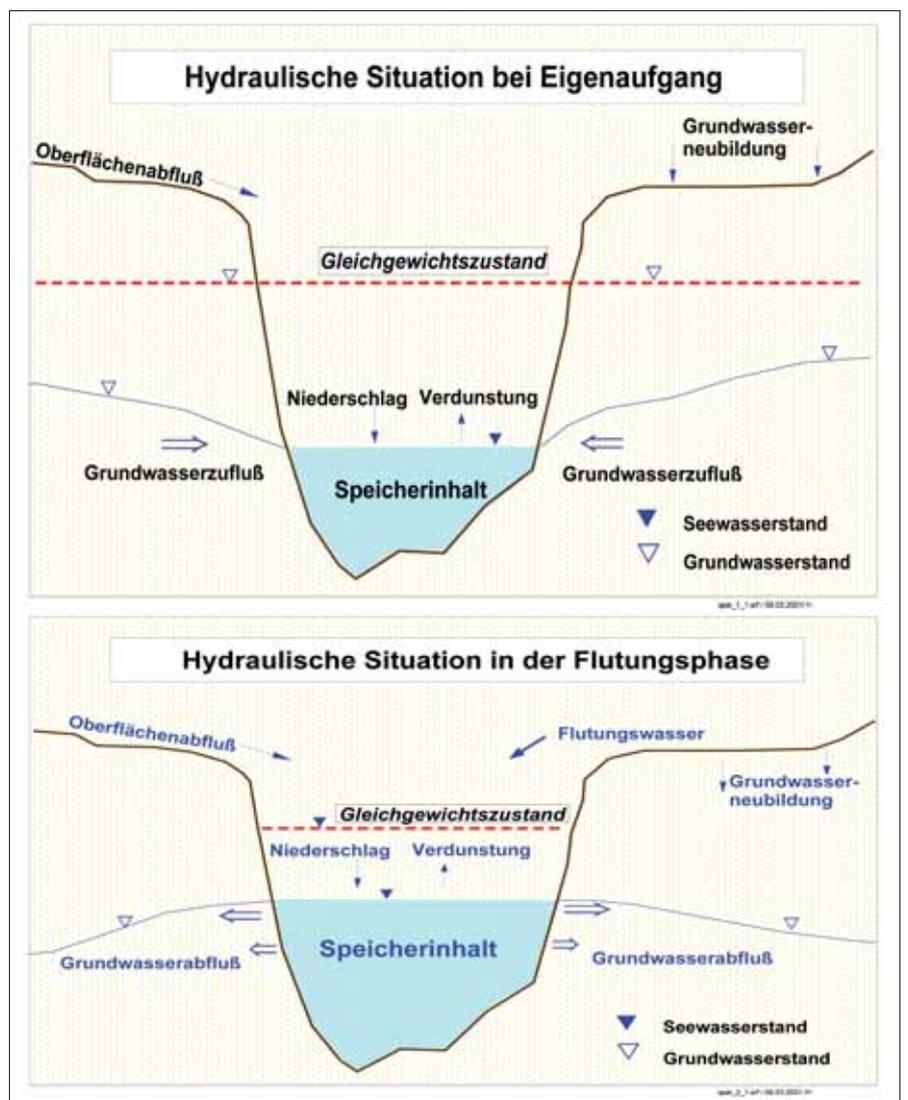


Abb. 3.2: Hydraulische Situation an einem Bergbaufolgese mit und ohne Zuführung von Flutungswasser

Eisen(III)-Ionen Träger der Acidität. Die Reaktionsgleichung (3.) beschreibt diesen Prozess:



Um diesen, die Nutzungsmöglichkeiten einschränkenden Einfluss abzuwehren, wird durch Fremdwasserzuführung aus

dem Oberflächenwasseraufkommen – nachfolgend als Flutung bezeichnet – der Wasserspiegel in den Bergbaufolgeseen künstlich angehoben, um den Zufluss aciditätsreichen Wassers zu bremsen.

Die sich dadurch ergebende hydraulische Situation ist in der Abbildung 3.2 dargestellt.

## 4. Gestaltung gewachsener und geschütteter Böschungen

### 4.1. Gewachsene Böschungen

In der Regel werden nach Auslauf des Tagebaus Endböschungssysteme hinterlassen, die aus mehreren Einzelböschungen bestehen. Deren Höhe und Neigung hängen von den während des Betriebes eingesetzten Geräten und den Bodenverhältnissen ab. Im Rahmen der Sanierung ist fast immer ein Abflachen der Böschungen erforderlich. Es gelten zum einen für die bleibenden Restlochböschungen größere Anforderungen an die Standsicherheit. Zum anderen sind Beanspruchungen zu erwarten, mit denen im Tagebaubetrieb nicht gerechnet werden musste. Aus bodenmechanischen und wasserwirtschaftlichen Gründen ist ein Voreilen des Wasserspiegels im Restloch gegenüber dem im Gebirge zu bevorzugen. Besondere Bedeutung besitzen daher die Wellenschlagkräfte bei Wind. Ist der Uferbereich durch keinen ausreichend dimensionierten Verbau gesichert, bewirken sie erhebliche Abflachungen der Böschungen in der Wellenschlagzone mit Neigungen von 1:15 bis 1:20 [4.1]. Bedeutsam sind solche Überlegungen besonders dann, wenn die Restlöcher als Wasserspeicher genutzt werden sollen, in denen Schwankungen in der Höhe des Wasserspiegels bis zu mehreren Metern denkbar sind. Dann kann es zu Abflachungen kommen, die sehr weit ins Hinterland reichen, oder es muss dort, wo die Restlochnutzung bzw. das Abflachen nicht zulässig ist, die Böschung durch einen Verbau – zumeist

durch Steine – gesichert werden. In einigen wenigen Fällen hat man das Abflachen nicht technisch ausgeführt, sondern überlässt es dem späteren Wirken des Wassers selbst.

### 4.2. Geschüttete Böschungen: Kippenböschungen, Uferbereich hinter Kippenböschungen

Eingangs wurde bereits erläutert, dass in den Kippen der Lausitz Sande mit überwiegend gleicher Korngröße vorherrschen. Aufgrund des Verkippenprozesses ist ihr Gefüge sehr locker, die Körner sind relativ zueinander so angeordnet, dass ein großer Porenraum entsteht. Steigt der Wasserspiegel in den Kippen an, füllen sich die Poren mit Wasser. Bei einer Störung, die auch von Verschiebungen in der Kippe ausgehen kann, bricht das lockere Gefüge zusammen, die Körner versuchen, sich dichter zu lagern und verlieren dabei für kurze Zeit ihren Kontakt zueinander. Bestand vor der Störung ein mit Wasser gefülltes Korngerüst, entsteht danach eine Suspension, die nur über eine geringe, im Extremfall über keinerlei Festigkeit verfügt. Das Lockergestein hat sich in einem begrenzten Bereich verflüssigt. Das Gewicht der diesen Bereich überlagernden Massen, das bisher vom Korngerüst getragen wurde, muss jetzt vom Wasser übernommen werden. Es kommt zu einer Erhöhung des Porenwasserdrucks (PWD). Bild 4.1 verdeutlicht den Vorgang [4.2, 4.3]. Stellt sich eine solche Verflüssigung in der Nähe einer Böschung ein, kommt es zu einem speziellen, Setzungsfließen genannten Bruch der Böschung, der sehr weit ins Hinterland

reicht; genauso weit fließen die Massen ins Restloch hinein und lagern sich sehr flach (1:10 ... 1:20) ab. Das Volumen der ausfließenden Massen kann mehrere Millionen Kubikmeter erreichen. Mehrere solcher großen Setzungsfließen sind in der Niederlausitz, weniger auch im Mitteldeutschen Raum eingetreten [4.4, 4.5].

Es gibt im Prinzip nur wenige Möglichkeiten, um Setzungsfließen zu verhindern. Die erste Möglichkeit ist die, das Lockergestein zu verdichten, ehe es zu einem Verflüssigen kommen kann. Die zweite Möglichkeit besteht darin, den bei der Verflüssigung entstehenden Porenwasserüberdruck sehr rasch abzubauen. Schließlich ist es noch denkbar, die Böschungen so flach zu gestalten, dass es auch bei einer eintretenden Verflüssigung zumindest zu keinem Ausfließen mehr kommt [4.6, 4.7].

Überwiegend hat man sich in der Lausitz für die erste Möglichkeit entschieden und ordnet bei noch niedrigem Wasserstand im Restloch und in dessen Hinterland in einem exakt festzulegenden Abstand zur Böschungsschulter und parallel zu ihr einen mehrere Dekameter (bis zu 160 m) breiten verdichteten Steifen, den sogenannten „versteckten“ Damm, an, der und dessen Hinterland mit Sicherheit von keinem Setzungsfließen mehr erfasst werden können. Danach versucht man, ausgehend vom Damm, den restlochseitigen Bereich entweder in dammparallelen Streifen ebenfalls zu verdichten, ihn durch Abspülen zu verflachen oder – seltener – seine weitere Gestaltung der „Natur“ zu überlassen.

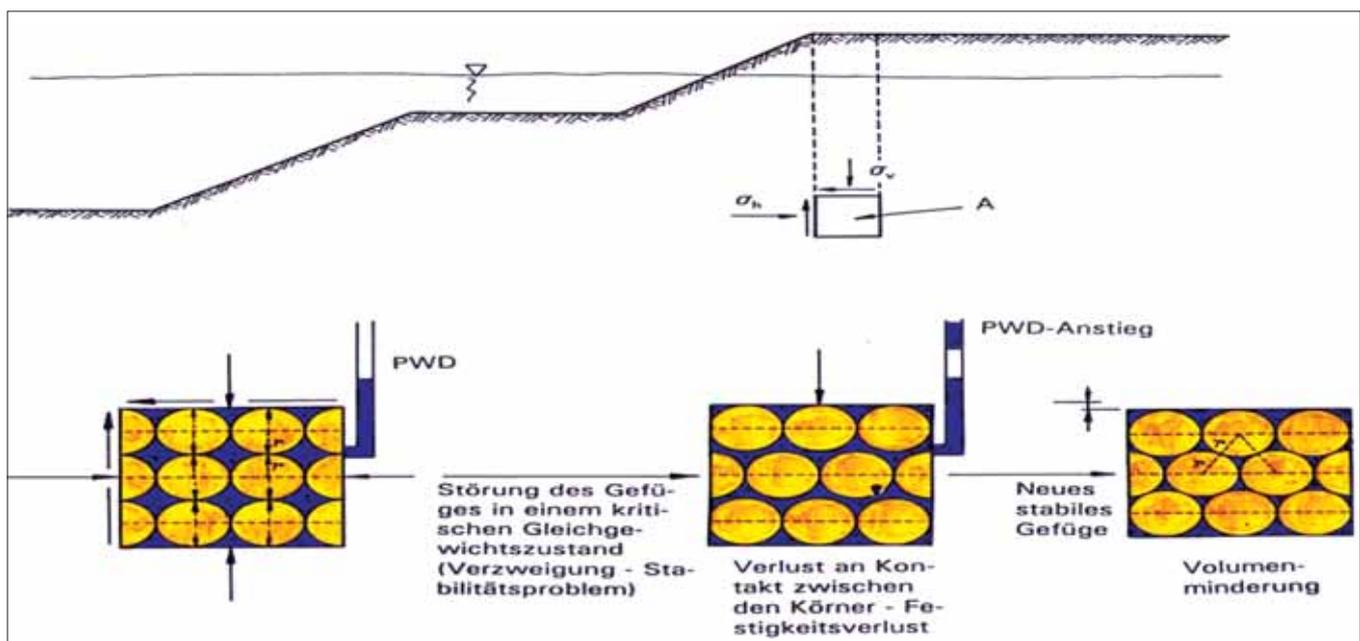


Abb. 4.1: Vorgang der Verflüssigung

Als Verfahren zur Verdichtung wurden in der Niederlausitz angewandt:

- die Sprengverdichtung
- die Rütteldruckverdichtung
- in einigen Fällen die Rüttelstopfverdichtung und
- manchmal eine Verdichtung mit Hilfe von Fallplatten. Dieses Verfahren ist auch unter dem Namen „Dynamische Intensivverdichtung“ bekannt.

Der Begriff „Verdichtung durch Sprengen“ ist nicht genau zutreffend [4.8]. Die Sprengung selbst hat lediglich die Aufgabe, das Gefüge des anstehenden Lockergesteines zu stören und die Wasser-Sand-Suspension entstehen zu lassen. Die eigentliche Verdichtung erfolgt dann unter der Wirkung der Auflast. Die Größe der Sprengladung hat kaum Einfluss auf die durch die Sprengung erreichte Dichte. Die Ladungsgröße selbst muss so bemessen werden, dass sie das Lockergestein in einem zu wählenden Bereich tatsächlich verflüssigt. In Modellversuchen am Institut für Geotechnik der Bergakademie Freiberg wurden Anhalte für sinnvolle Ladungsgrößen ermittelt. Sie können zwischen 5,0 ... 50,0 kg (zumeist TNT-Sprengstoff) liegen. Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist, dass der Wasserspiegel in dem zu verdichtenden Kippenbereich bereits eine Mindesthöhe erreicht hat, denn ein Sprengen ist nur unterhalb des Wasserspiegels sinnvoll. Der Bereich, in dem gesprengt wird, sollte sich in ausreichendem Abstand vom Restloch bzw. von der Böschungsschulter befinden. Im Sanierungsbetrieb hat es während solcher Verdichtungsmaßnahmen einige wenige Setzungsließen gegeben. Praktisch werden in Bohrlöcher zumeist in verschiedenen Tiefen (bis zu 3) Einzeladungen eingebracht, die größere in der größten vorgesehenen Tiefe, kleinere darüber. Als zweckmäßig in Hinblick auf die Wirkung hat sich erwiesen, auch die Ladungen, beginnend mit der im Bohrloch am tiefsten liegenden, in Abständen von Millisekunden zu zünden. Die Bohrlöcher werden im Abstand von 10,0 ... 20,0 m angeordnet. Meist wurden die Ladungen in drei Bohrlöchern gleichzeitig gezündet.

Bei der Rütteldruckverdichtung wird ein sogenannter Tiefenrüttler eingesetzt. Das ist ein Stahlrohr mit Spitze, in dem eine Unwucht mit einer Frequenz von 25 ... 60 Hz umläuft, die eine Schlagkraft bewirkt. Er hängt, mit ihm verbunden durch eine Kupplung, an einem Gestänge. Der Durchmesser des Rüttlers liegt bei 25 ... 45 cm, seine Länge beträgt 2,5 ... 4,5 m, das Gewicht 800 ... 2.600 kg.

Der Rüttler dringt aufgrund seiner Vibration überwiegend allein durch sein Eigengewicht und das des Gestänges in den Boden ein. Er wird für eine vorgegebene Zeitspanne in einer bestimmten Tiefe gehalten und dann weiter abgesenkt oder arbeitet im Pilgerschrittverfahren. Erreicht werden Tiefen bis zu 40 m oder mehr. An der Geländeoberfläche entsteht eine Setzungsmulde, die stets wieder durch Lockergestein aufgefüllt wird. Kommt der Rüttler unterhalb des Wasserspiegels zum Einsatz, ist seine Wirkung die gleiche wie beim Sprengen. Er „verflüssigt“ das Lockergestein. Allerdings ist sein Wirkungsradius selbstverständlich wesentlich geringer. Andernfalls kommt es in unmittelbarer Umgebung des Rüttlers einerseits zur Verdichtung durch Bodenverdrängung und andererseits zur Erweiterung des Durchmessers des Loches durch die Arbeit des Rüttlers. In sehr lockerem Boden bildet sich an der Wandung des Loches ein Mantel geringer Dicke verdichteten Materials, der das Loch stabilisiert. Außerhalb dieses Mantels bis in größere Entfernung vom Zentrum des Loches wird das Lockergestein dynamisch angeregt. Abhängig vom Widerstand des Bodens gegenüber einer Gefügestörung kommt es zur Verdichtung in mehr oder weniger großem Maße. Das Rütteldruckverfahren ist überwiegend im naturfeuchten Lockergestein zum Einsatz gekommen, zum Teil oberhalb einer vorangehend durch Sprengen verdichteten Schicht. Beim Einsatz unterhalb des Grundwasserspiegels sind auch durch den Rüttler dann, wenn der Abstand zur Uferlinie zu gering war, erhebliche Setzungsließvorgänge ausgelöst worden. Die Abstände der Rüttelansatzpunkte voneinander liegen bei 1,5 ... 4,5 m. Das Verfahren ist also zum Schaffen der beschriebenen versteckten Dämme relativ aufwändig.

Bei der Rüttelstopfverdichtung wird über eine Schleuse zumeist einem speziell dafür vorgerichteten Rüttler Schotter oder Kies zugeführt. Nach dem Abteufen des Rüttlers und beim nachfolgenden Ziehen tritt das Material an dessen Spitze aus. Durch mehrfaches Wiederabsenken des Rüttlers kann dieses Material weiter verdichtet werden. Das Verfahren ist weniger zum Herstellen der versteckten Dämme als vielmehr im Kippenhinterland als Verfahren zur Baugrundverbesserung dort eingesetzt worden, wo Bauwerke, z. B. Windkraftanlagen oder Straßen, gebaut werden sollten. Der Baugrund der Kippenflächen hinter den versteckten Dämmen ist nur in Ausnahmefällen dann weiter

vergütet worden, wenn er tatsächlich in absehbarer Zeit als Baugrund für Straßen, Windparks u. a. zu nutzen war. Allerdings ist immer zu gewährleisten, dass auch bei land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung, zumindest ein ausreichender Abstand – abhängig von der konkreten Nutzung 1,0 ... 2,5 m – vom späteren Grundwasserspiegel gegeben ist.

Sehr viele Bergbaufolgeseen existierten bereits zum Zeitpunkt, als in der Lausitz umfassende Sanierungsmaßnahmen einsetzten, wassergefüllt schon über einen längeren Zeitraum. Wendete man die üblichen Kriterien zur Beurteilung des Setzungsließens an, war dieses nicht mit absoluter Sicherheit auszuschließen. Umfangreiche Sanierungen, wie oben beschrieben, wären erforderlich gewesen. Der Impuls, der den Gefügezusammenbruch als erste Phase des Verflüssigens bewirkt, ist hinsichtlich seiner Größe schwierig zu beurteilen. Das, was man ermitteln konnte, war die nutzungsabhängige, zu erwartende Größe äußerer dynamischer Anregungen.

Um die Notwendigkeit erforderlicher Sanierungen besser abschätzen zu können, wurden an kritischen Stellen durch Vibratoren (Rüttelwalzen o. ä.) oder auch Sprengungen mit einem Sicherheitsfaktor vergrößerte Anregungen in den Untergrund eingetragen und begleitende Messungen, vor allem Porenwasserdruckmessungen durchgeführt [4.9]. Nur dort, wo die entstehenden Porenwasserdrücke die Gefahr einer Verflüssigung erkennen ließen, folgten Verdichtungsmaßnahmen oder auch Böschungsverflachungen bzw. -sicherungen. An anderen Stellen konnte man sich auch durch Nutzungseinschränkungen behelfen. Dort, wo man konsequent so vorging, ließen sich aufwändige Sanierungsmaßnahmen vermeiden und erhebliche Finanzmittel einsparen.

#### 4.3 Beispiel: Speichersystem (SB) Lohsa II (angelehnt an [4.10])

Grundprinzip der Kippensanierung war das Herstellen der vom erläuterten Stützkörper, der „versteckten“ Dämme. An den Kippenböschungen des SB Lohsa II verbanden die Stützkörper nahezu vollständig die ehemalige Tagebausohele (Kippenliegendes) und die Geländeoberfläche. Kippen bis zu ca. 50 m Dicke waren zu verdichten. Die Breite der Stützkörper folgt zum einen aus ihrer stützenden Funktion gegenüber dem Hinterland, zum anderen aus der Notwendigkeit, im späteren Uferbereich eine stabile und daher relativ

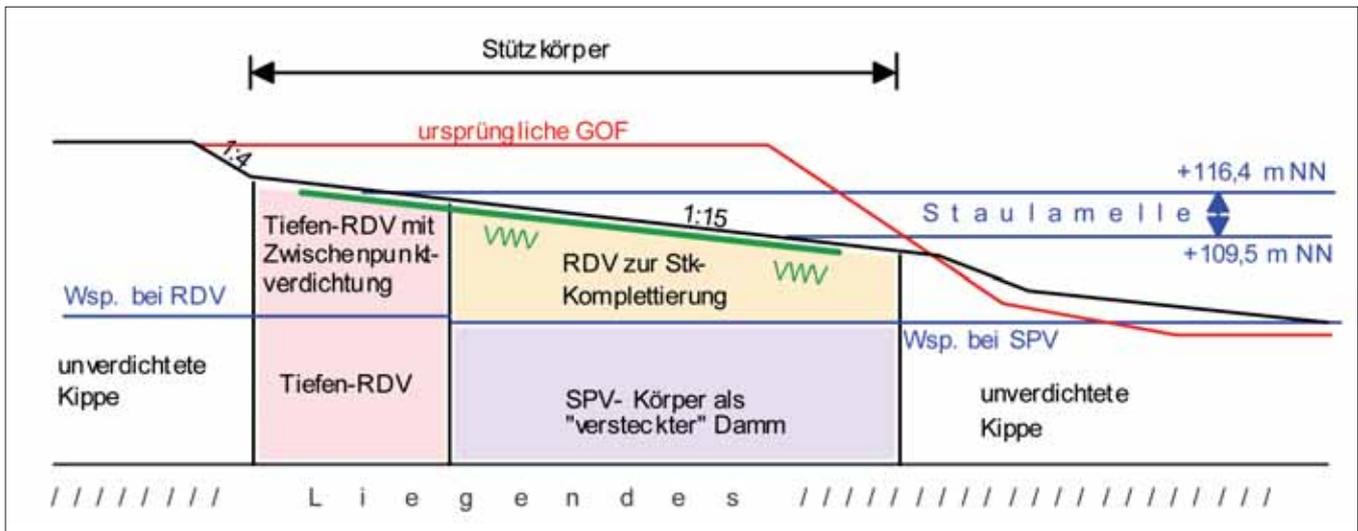


Abb. 4.2: Schematische Darstellung der Böschungssanierung [4.10]

flach geneigte Böschung (zwischen 1:15 und 1:20) zu gestalten (siehe Abb. 4.2). Das Bergamt verlangt eine Begehbarkeit der Böschungen bis zu 2,0 m unter das Minimalstauniveau (+109,5 m NN). Diese Bedingung und die Staulamelle von 6,9 m führen letztlich zu Stützkörperbreiten von ca. 160 m. Zur Böschungssicherung wurden in Lohsa II die Sprengverdichtung (SPV) und die Rütteldruckverdichtung (RDV) eingesetzt. Diese Verfahren wurden durch eine Oberflächenverdichtung mittels Vibrationswalzen und durch eine sogenannte Leichte Rütteldruckverdichtung, eine oberflächennahe Verdichtung mittels Rüttelflaschen an einem schwimmenden Trägergerät in Flachwasserbereichen, ergänzt. Das Herstellen der Böschungsneigung erfolgte durch Erdbaugeräte oder durch Abspülen.

In ausgewählten Bereichen sowohl des SB Lohsa II als auch der SB Dreiweibern und Burghammer erfolgte die Böschungssicherung an gewachsenen Böschungen mittels Linienverbau (Gabionen) oder Flächenverbau (definiert aufgebaute Steinschüttung) vor allem dort, wo große hydrodynamische Belastungen der Böschungen zu erwarten waren oder aus Platzgründen nicht das erforderliche Ausgleichsprofil hergestellt werden konnte.

Die meisten Flächen im Hinterland der Böschungen werden nur land- und forstwirtschaftlich genutzt oder als Landschaftsschutzgebiet bzw. Biosphärenreservat ausgewiesen. Es ist weder möglich noch sinnvoll, sie zu verdichten. Ausnahmen bilden einzelne Bereiche, z. B. für Flussläufe, Kanäle, Teiche, für Ausbau und Sicherung der Infrastruktur und für Windparksanlagen. Dort erfolgte eine Vorwegnahme zu erwartender Sackungen durch Tiefensprengun-

gen bzw. das Herstellen von Stützkörpern durch Rütteldruckverdichtung, eventuell ergänzt durch Verdichten durch Fallgewichte. Hier wurden auch Stützkörper ausgeführt, die nicht bis zum Liegenden reichten („schwebende“ Stützkörper).

Der Erfolg der Arbeiten wird am Wasserspeicher Lohsa II seit mehreren Jahren durch ein komplexes geotechnisch-geohydraulisches Monitoringsystem überwacht. Alle Elemente des Monitoringsystems sind so angelegt bzw. miteinander verbunden, dass sich ihre Aussagen stützen und ergänzen. Die Ergebnisse der Messungen dienen einerseits der Erfolgskontrolle, andererseits bilden sie auch eine Basis für an anderen Objekten zu treffenden Entscheidungen.

## 5. Maßnahmen zur Sanierung des Wasserhaushaltes

### 5.1 Grundsätzliches

Die Herangehensweise zum Wiederherstellen eines sich weitgehend selbst regulierenden Wasserhaushaltes wird durch die Lage der entstehenden Bergbaufolgeseen zu den Vorflutsystemen maßgeblich bestimmt. Vorzugslösung ist das Fluten der vom Bergbau hinterlassenen Restlöcher. Es bewirkt neben dem beschleunigten Füllen der entstehenden Bergbaufolgeseen auch ein Auffüllen des Absenkungstrichters in deren Umfeld und hilft, Nachteile der bergbaulichen Grundwasserabsenkung zu vermindern [3.1]. Es werden folgende Möglichkeiten zum Zuführen von Flutungswasser unterschieden [3.2]:

- direktes Anbinden an das Gewässernetz im freien Gefälle zur Entnahme großer Wassermengen, z. B. Abschöpfen von Hochwasserwellen und

- die Zuleitung über Rohrleitungen im Pumpbetrieb mit gleichbleibender, aber deutlich geringerer Entnahme bei möglichst hoher zeitlicher Auslastung. Ein zusätzliches Element für das Erschließen maximaler Wassermengen sind Wasserüberleitungen über die Einzugsgebietsgrenzen hinweg. Sie verlangen den Transport des Wassers über Rohrleitung und einen Pumpbetrieb zur Überwindung der Einzugsgebietsgrenze.

### 5.2 Technische Lösungen für die Anbindung im freien Gefälle

Die Entnahme von Wassermengen für das Fluten erfolgt, je nach Durchflussmenge des Vorfluters, in der Größe 3 ... 15 m<sup>3</sup>/s und beginnt, wenn ein nach wasserwirtschaftlichen und ökologischen Aspekten festgelegter Mindestdurchfluss garantiert ist. Sie geschieht über am Ufer des Vorfluters seitlich und innerhalb des Hochwasserabflussprofils ebenerdig angeordnete Entnahmebauwerke.

Vor allem in der Anfangsphase des Flutens besteht eine bedeutende Höhendifferenz zwischen Entnahmestelle und Wasserspiegel im entstehenden Bergbaufolgensee. Zum Schutz der Böschungen vor Erosion haben sich in der Böschung eingeordnete „Energievernichtungsanlagen“ mit nachfolgendem Tosbecken bewährt.

Bei sehr großen Differenzen zwischen Niveau im Vorfluter und dem Seewasserspiegel wird als eine Sonderform der Einleitung ein auf einem Ponton schwimmender Auslauf angeordnet. Das Flutungswasser gelangt von der Einlaufkammer über Rohrleitungen zum Auslauf. Bei ansteigendem Seewasserspiegel werden die Rohrleitungen gekürzt. Dabei bleibt das zum Schutz der dem Auslauf gegen-



Abb. 5.1: Auslauf vom schwimmenden Ponton aus. Foto P. Radke



Abb. 5.2: Hydromechanische Rechenreinigung. Foto P. Radke

überliegenden Böschung auf dem Ponton schwimmende Rohrende mit der „Aus-

lauftrumpete“ erhalten. Eine solche Anlage zeigt das Bild 5.1.

### 5.3 Technische Lösungen für die Anbindung im Pumpbetrieb

Für die auf dem Lausitzer Grenzwall gelegenen Bergbaufolgeseen macht sich für das Füllen ein Zuführen des Flutungswassers im Pumpbetrieb erforderlich. Die Entnahmemenge wird so gewählt, dass ein hohes zeitliches Auslasten der Anlagen gesichert werden kann. Den Dargebotsverhältnissen der Lausitz entsprechend sind die Anlagen auf eine maximale Förderleistung von  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  ausgelegt.

Über Rohrleitungen gelangt das Flutungswasser im freien Gefälle in die außerhalb des Hochwasserprofils gelegene Pumpenkammer, in der auch die Mess- und Regeltechnik untergebracht ist. Das Bild 5.2 zeigt ein Entnahmebauwerk mit Rechen. Eine elektrische Fischeiche verhindert, dass Fische in die Pumpen gelangen können. Am Rechen angeschwemmtes Treibgut wird hydromechanisch durch Wasserstrahl entfernt. Das Bild 5.2 zeigt ein Entnahmebauwerk bei der Reinigung. Von der Pumpenkammer aus erfolgt der Transport des Flutungswassers über Rohrleitungen zum jeweiligen Bergbaufolgensee. Zum Schutz der Böschungen vor Erosion wird das Einleiten des Flutungswassers von der Böschung entfernt vorgenommen. Bevorzugt eingesetzt werden auch hier schwimmende Rohrleitungen. Die nur selten  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  Auslaufwassermenge überschreitenden Anlagen haben keine „Auslauftrumpete“.

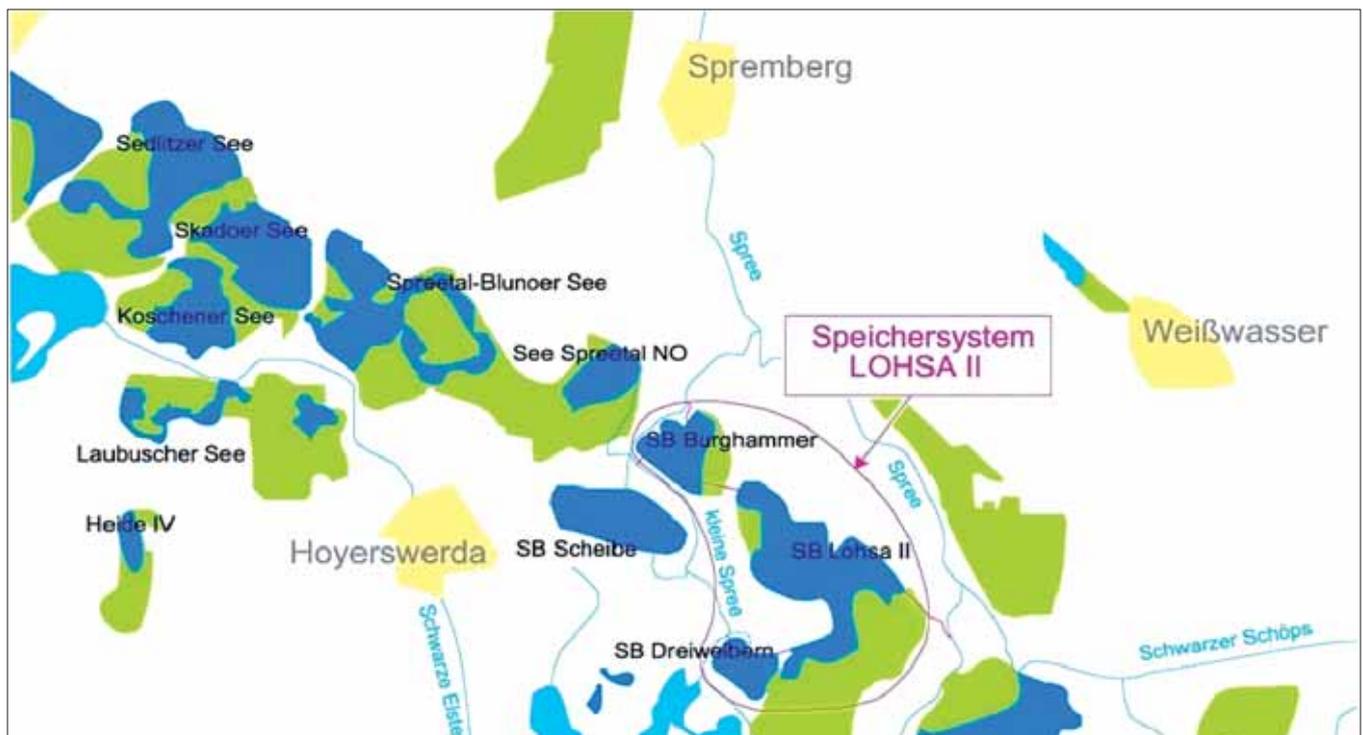


Abb. 5.3: Speichersystem Lohsa II im wasserwirtschaftlichen Planungskonzept Ostsachsen/Brandenburg nach [5.1]

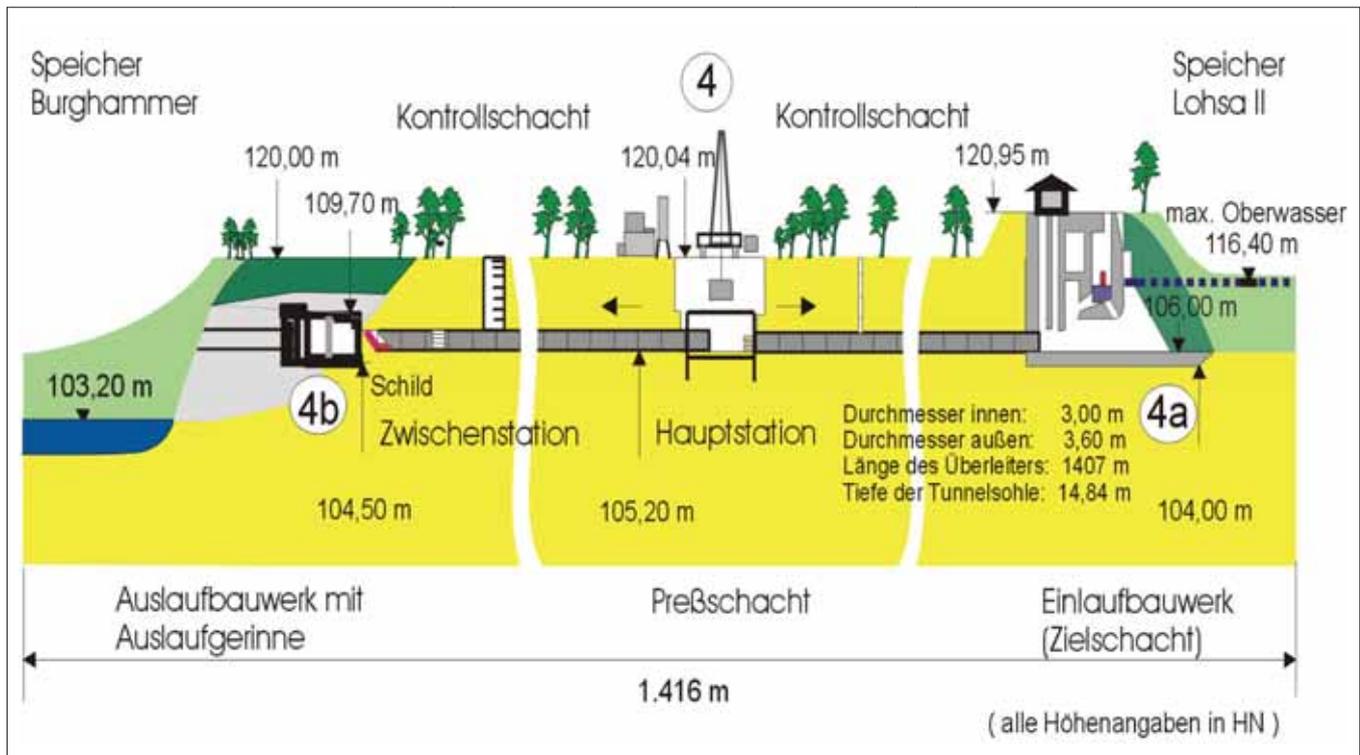


Abb. 5.4: Tunnelbauwerk zwischen den Speicherbecken Lohsa und Burghammer nach [5.1]

#### 5.4 Schaffung von wasserwirtschaftlichen Speichern

Bei Anbindungen der Bergbaufolgeseen an das Gewässernetz im freien Gefälle bieten sich die mehrere 1.000 ha umfassenden Wasserflächen für eine Nutzung als Wasserspeicher an. Die Lage des jeweiligen Bergbaufolgesees zum öffentlichen Gewässernetz sowie die Möglichkeiten, im freien Gefälle Wasser ein- bzw. ausleiten zu können, bestimmen die Stauspiegellagen und die Maßnahmen zur Ufergestaltung. Das Speichersystem Lohsa II mit den drei Speicherbecken (SB) Lohsa II, Dreiweibern und Burghammer ist das Kernelement des ostsächsischen Seenverbundes (siehe Abb. 5.3). Die Hauptaufgabe des Speichersystems besteht in der Niedrigwasseraufhöhung der Spree. Mit einem voraussichtlichen nutzbaren Speichervolumen von ca. 61 Mio. m<sup>3</sup> bildet das Speicherbecken Lohsa II das Hauptelement des Speichersystems Lohsa II.

Die Speicherbecken Dreiweibern, Lohsa II und Burghammer sind durch wasserbauliche Anlagen sowohl mit den Vorflutern (Spree und Kleine Spree) als auch untereinander verbunden. Die einzelnen Seen besitzen bis zu 8,5 m unterschiedliche Wasserspiegellagen. Das am höchsten gelegene SB Dreiweibern kann von der Kleinen Spree gespeist werden. Es ist durch ein Absturzbauwerk und ein regelbares Wehr mit dem SB Lohsa II verbunden. Zur Wasserversorgung des

SB Lohsa II wird jedoch hauptsächlich Wasser aus der Spree eingeleitet. Aus dem SB Lohsa II wird das Wasser zum SB Burghammer durch einen 1,416 km langen Tunnel mit einem Innendurchmesser von 3,0 m geführt. Abbildung 5.4 zeigt das Verbindungsbauwerk. Das im Speichersystem am tiefsten liegende SB Burghammer erhält Wasser sowohl aus dem SB Lohsa II als auch aus der Kleinen Spree. Die Ausleitung aus dem SB Burghammer und damit aus dem Speichersystem Lohsa II erfolgt über den Ableiter Burghammer wiederum in die Kleine Spree, die bei Spreewitz in die Spree einmündet.

### 6 Steuern des Flutens

#### 6.1 Prinzip der Wasserbewirtschaftung

Zum Vermeiden wirtschaftlicher Schäden ist eine intensive Abstimmung zwischen den die Bewirtschaftung steuernden Behörden und den Wassernutzern erforderlich. In Zeiten geringer Wasserführung in den Vorflutsystemen von Spree und Schwarzer Elster genießen die Füllung der Wasserspeicher, das Abdecken des Bedarfs der Hauptnutzer sowie das Füllen der Scheitelhaltung des Oder-Spree-Kanals Priorität vor der Flutung [6.1]. Zudem wurden in Bewirtschaftungsgrundsätzen Mindestdurchflussmengen an definierten Referenzmessstellen festgelegt, ab denen eine Flutungswasserentnahme erlaubt ist.

Das Schaffen einer zentralen Einrichtung bot sich an, von der aus eine nach vorgegebenen Regeln gestaltete Steuerung vorgenommen wird.

#### 6.2 Flutungszentrale Lausitz

Zum Steuern des Flutens unter den Bedingungen der parallel laufenden Sanierung in den Bergbaufolgeseen wurde im September 2000 die Flutungszentrale Lausitz bei der LMBV in Betrieb genommen. Entscheidend für das Zuordnen der Flutungszentrale zur LMBV waren der dort verfügbare Kenntnisstand über die Sanierung, die Möglichkeiten der Steuerung der Flutungsanlagen sowie die Kompetenz der Mitarbeiter.

Zum Wahren der hoheitlichen Interessen der Länder Sachsen und Brandenburg für die Wasserbewirtschaftung wurden Bewirtschaftungsgrundsätze vorgegeben. Für das Ermitteln der Entnahmemengen und deren Verteilung wurde ein das Spree/Schwarze Elster-Gebiet erfassendes Flutungssteuermodell entwickelt.

Die Organisation der Flutungsteuerung und die Informationswege sind in der Abbildung 6.1 dargestellt. Die Steuerung der einzelnen Anlagen erfolgt von zentraler Stelle über Fernbedienung per Bildschirm in Umsetzung der Steueranweisung aus der Flutungszentrale Lausitz. Die aktuelle Situation an den jeweiligen Entnahmestellen bildet die Grundlage für die Regulierung.

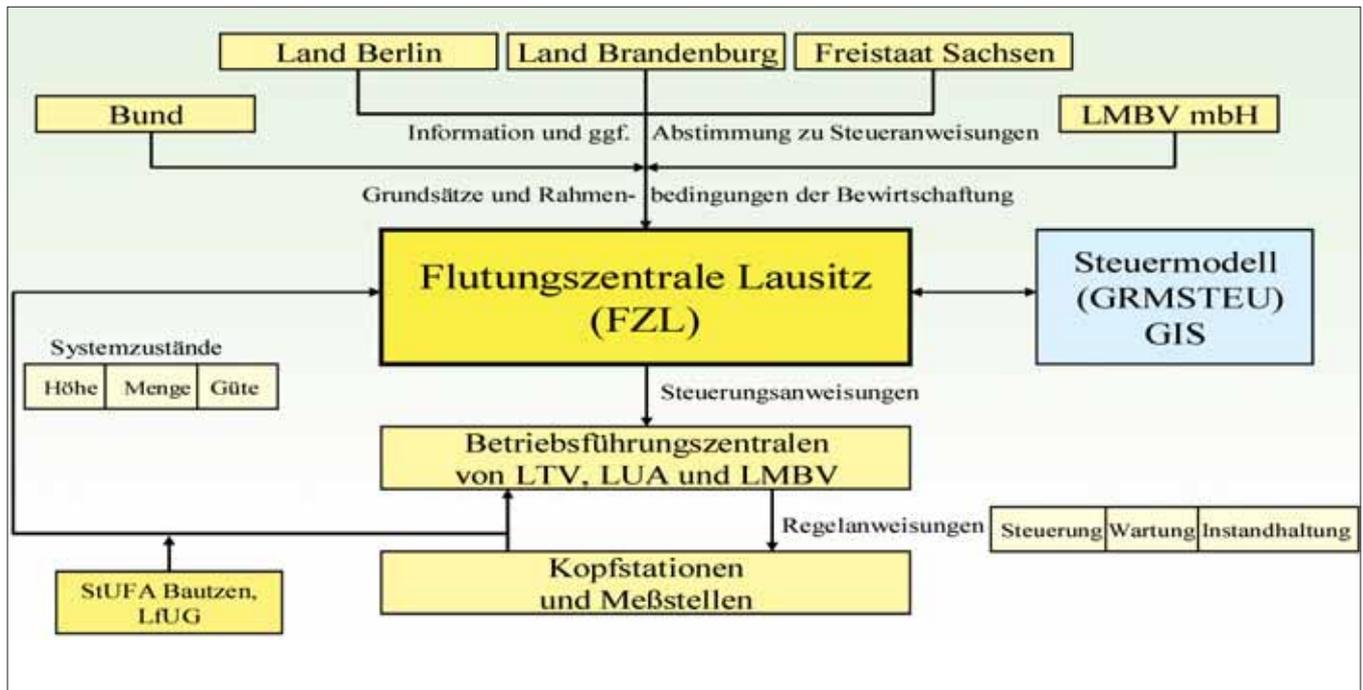


Abbildung 6.1: Organisation der Wasserbewirtschaftung nach [6.1]

## 7 Wasserbeschaffenheit in den Bergbaufolgeseen

Die vorhin beschriebenen Umsetzungsprozesse des in den Grundwasserleitern enthaltenen Eisendisulfids sind die Ursache für das Entstehen schwefelsaurer Seen bei ungesteuertem natürlichen Wasseranstieg. Schwefelsaure Seen sind über lange Zeit nicht öffentlich nutzbar. Im Einklang mit dem in der EU-Wasserrahmenrichtlinie [71] verfügbaren Verschlechterungsverbot für die öffentlichen Gewässer wurden Beschaffenheitsanforderungen an das Ausleiten von Wasser aus den Bergbaufolgeseen erlassen. Sie verlangen zum Abbau der Acidität und zum Reduzieren des Eisengehaltes das Fluten mit gepuffertem Wasser aus dem öffentlichen Gewässernetz, erforderlichenfalls unterstützt durch technische Maßnahmen zum Konditionieren.

Favorisiert wird für die technische Beeinflussung der Wasserbeschaffenheit das Einbringen basischer Stoffe (Kalk) mit Hilfe der in-lake-Technik. Sie ermöglicht durch das Behandeln des gesamten Wasserkörpers das Einhalten der Nutzungsziele und das direkte Anbinden des Bergbaufolgesees an das öffentliche Gewässernetz. Direkt von Land bzw. von schwimmenden Anlagen aus werden neutralisierende basische Stoffe meist als Suspensionen eingebracht. Die Verteilung übernehmen bei den ortsfesten Einleitungen von Land aus die thermisch bedingte periodische Zirkulation sowie die durch Wind induzierte oder durch die Flutungssteuerung

erzeugte Wasserströmung. Unterstützt werden die technischen Maßnahmen durch die im Bergbaufolgesees natürlich ablaufenden biogenen Prozesse.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Das Reduzieren der Braunkohlegewinnung in Ostdeutschland und speziell in der Niederlausitz führte zu einer großen Zahl von Tagebaurestlöchern. Sie waren so zu gestalten, dass von ihnen nach dem Wiederanstieg des Grundwassers und dem Füllen der Restlöcher keine Gefahr durch Rutschungen mehr ausging und im Gegenteil eine Nutzung der Bergbaufolgesees als Wasserspeicher, zur Erholung oder zu anderen Zwecken möglich war. Die geologischen Gegebenheiten in der Lausitz ließen vor allem an den Kippenböschungen größere Rutschungen, sogenannte Setzungsfließen, wahrscheinlich werden. Spezielle Maßnahmen, um alle Böschungen zu sichern oder so zu gestalten, dass keine Rutschungen mehr auftreten konnten, waren erforderlich.

Die zweite Aufgabe bestand bzw. besteht heute noch darin, den Restlöchern das notwendige Wasser zuzuführen und seine Qualität zu garantieren. Erhebliche Wassermengen werden den Vorflutern Neiße, Spree und Schwarze Elster entnommen. Dabei ist zu gewährleisten, dass in den Flüssen noch eine ausreichende Wassermenge verbleibt, um Schädigungen der Gewässer zu vermeiden und an-

deren Nutzern des Flusswassers notwendige Wassermengen zu erhalten. Diese Aufgabe übernimmt die „Flutungszentrale Lausitz“.

In den Grundwasserleitern der Lausitz enthaltene Eisensulfide lassen aus dem Gebirge den Bergbaufolgesees saures Wasser zuströmen und beeinflussen deren Wasserbeschaffenheit. Das Zuführen von Flusswasser auch nach Erreichen des Endwasserstandes wirkt dem entgegen. Bei nicht ausreichendem Wasserdargebot sind technische Maßnahmen zur Stabilisierung der Wasserbeschaffenheit erforderlich.

Im Jahre 2020 dürfte die Sanierung der Bergbaufolgelandschaft in der Lausitz weitestgehend abgeschlossen sein. Dann wurden ca. 105.000 ha ehemaliges Bergbaugesamt sicher, naturnah und für eine Nachnutzung gestaltet. Es sind dann 29 Bergbaufolgesees mit einer Wasserfläche von ca. 14.200 ha entstanden. Die Lausitz wird sich aus einem Industriegebiet auch in ein Erholungsgebiet verwandelt haben.

Das im Rahmen der Sanierungsarbeiten durch die LMBV erarbeitete „know-how“ gilt es, in anderen mit ähnlichen Problemen behafteten Regionen auch außerhalb der Bundesrepublik Deutschland nutzbar zu machen. Zu diesem Zweck wurde als eine Tochterfirma der LMBV die Firma „LMBV International“ gegründet, die die internationale Vermarktung übernimmt.

Literaturangaben zu diesem Beitrag siehe: <http://tu-freiberg.de/vereine/vff/index.html>

# Energie-Rohstoffe im kurzen Ausblick

Hans-Jürgen Kretzschmar

## 1 Einleitung

Industriell-technische Entwicklung braucht eine ausreichende Energieverfügbarkeit. Das führt zu einer globalen Energie-Rohstoff-Wirtschaft, die besonders für die entwickelten Industrieländer mit abnehmenden Rohstoffquellen gebraucht, die marktwirtschaftlich über die Preise an den Börsen gesteuert wird. Diese und weniger die nationalen Vorgaben steuern damit die Energie-Technologie-Entwicklungen.

Die fossilen Energie-Rohstoffe Kohle, Öl, Gas bestreiten gegenwärtig die Welt-Energieversorgung zu ca. 80%. Diese Dominanz wird sich auch in den nächsten Jahrzehnten nicht wesentlich ändern lassen, auch wenn energie-ideologische Wünsche das manchmal anders darstellen.

Wenn also die fossilen Energieträger bedeutungsvoll sind und bleiben, dann ist ihre globale Verfügbarkeit laufend in zwei Linien zu betrachten:

- Gewinnbare geologische Energie-Rohstoff-Vorräte (Energie-Vorräte)
- Energetischer Wirkungsgrad der Energienutzung (Energie-Effizienz).

Einer solchen Betrachtung widmet sich das an der TU Bergakademie Freiberg im Juni 2005 gegründete Exzellenzzentrum Energie, das die wissenschaftlichen Freiburger Aktivitäten zu Technologieentwicklungen der Energiegewinnung und -nutzung bündelt. Unter diesem universitären Dach kooperieren Institute der TU und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und Unternehmen. In diesem Zentrum wird auch die wirtschaftlich orientierte Symbiose von fossilen und erneuerbaren Energien sowie die CO<sub>2</sub>-arme Energieerzeugung technologisch untersucht. Das Zentrum bewegt sich also unter den vier Säulen der TU Bergakademie: Rohstoffe, Energie, Materialien und Umwelt.

## 2 Energievorräte

Bild 1 zeigt die Reichweiten der fossilen Energie-Rohstoffe, die auf seriösen geologischen Vorratsberechnungen basieren. Die (statische) Reichweite ist als Quotient des Vorrates durch den aktuellen Jahresverbrauch definiert. Sie ist anschaulicher als eine Massen- oder Volumenangabe für



Bild 2: Brennendes Gashydrat aus dem Meer

Vorräte. Die Definition „Reserve“ steht für einen im Abbau befindlichen und damit sicher berechneten Rohstoffvorrat. Die Definition „Ressource“ weist auf Vorratsentdeckungen, aber auch noch unsichere Vorratsberechnungen hin. Diese Reichweiten haben die zwei Merkmale:

- Endlichkeit der Vorratszahl (trivial)
- annähernde Konstanz der Reichweiten seit langer Zeit.

Das zweite Merkmal ist das wesentliche und beruhigendere, weil die laufende Vorratserschöpfung durch ebensolche Entdeckungen kompensiert wird. Das Volumen der Neuentdeckungen wird vom aktuellen Preis des Energie-Rohstoffes bestimmt. Beispielsweise steigen gegenwärtig die Reichweiten für Öl und Gas wieder, weil deren Preisanstieg zu einer starken Erkundungstätigkeit geführt hat. Die höheren Öl-Gas-Preise sind also an einen Nachfrageanstieg, nicht an eine globale Vorratsverknappung gebunden, obwohl allerdings auch die schwierigeren geologischen Entdeckungsbedingungen (Tiefen, Weltmeere) höhere Investitionen und damit Preise verlangen. Hier besteht ein Arbeitsgebiet der Freiburger Energieforscher, an der Entwicklung effektiver, also zuverlässigerer und kostengeringerer Erkundungs- und Gewinnungsverfahren mitzuwirken.

Für Erdgas besteht noch eine Vorrats-zukunftsspezialität: Gashydratvorkommen im Permafrostboden und in den Schelfen der Weltmeere. Gashydrate sind Methan-Eis, wie das brennende „Fest-Gas“ auf der Hand in Bild 2 zeigt. Die geologischen Schätzungen für Gas – gegenwärtig gibt es noch keine belastbaren Vorratsberechnungen wie in Bild 1 – prognostizieren Vorratsreichweiten zwischen 1000 und 4000 Jahren. Weitere Gaspreis-Erhöhun-

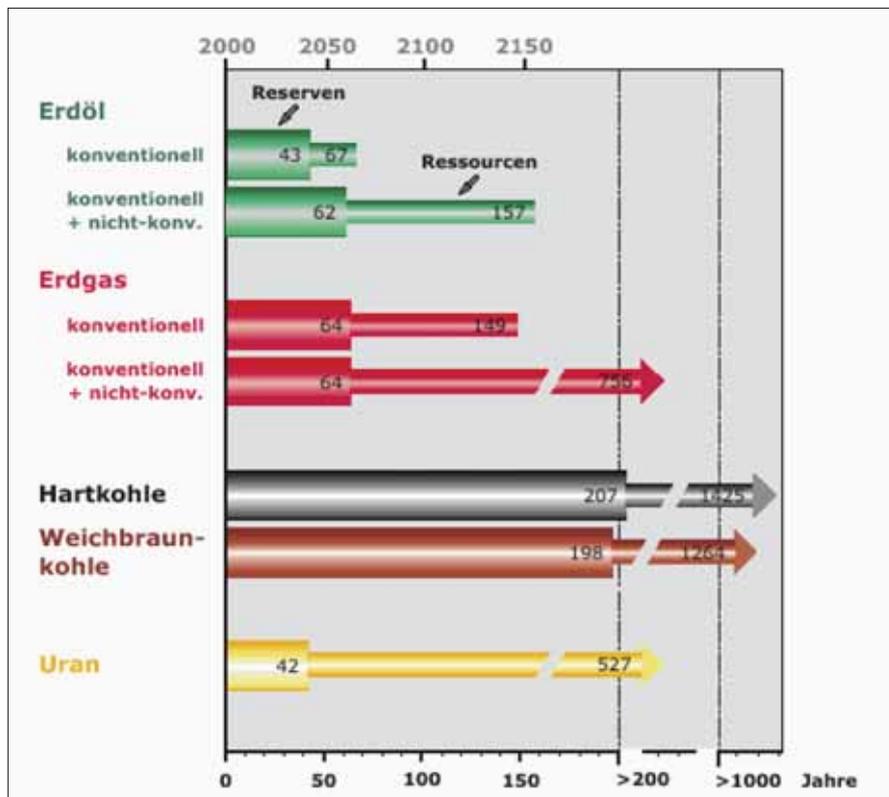


Bild 1: Weltvorräte an Öl, Gas, Kohle, Uran

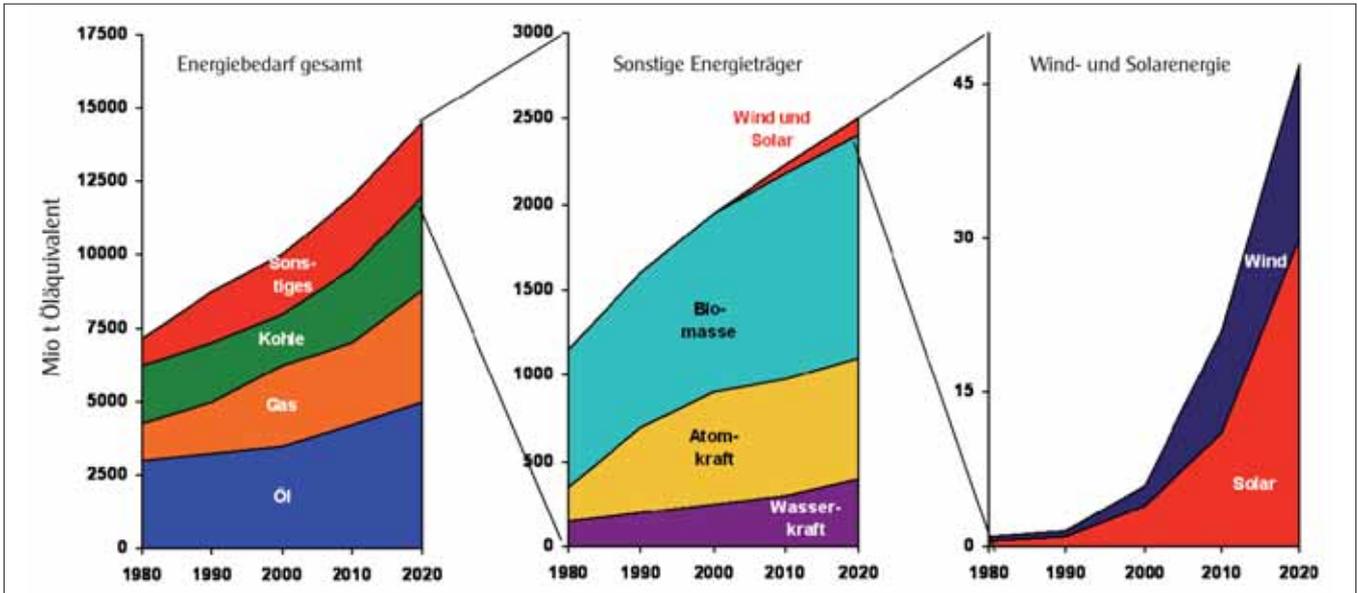


Bild 3: Welt-Energiebedarf 1980–2020 (nach ExxonMobil)

gen sind erforderlich, um diesen Rohstoff-Vorrat zuverlässig zu erkunden und abzubauen. Trotz dieser passablen Vorratslage bei den Energie-Rohstoffen ergeben sich wichtige Fragen:

- Wie schnell steigt der Energiebedarf, damit die Vorratsänderung für die gesamte Menschheit, speziell die bevölkerungsreichen „Entwicklungsländer“?
- Wie können wir weltweit – nicht nur vorrangig in den Industrieländern – einen höheren Energienutzungsgrad durch intelligentere Energietechnologien erreichen?
- Welche Umweltlast durch CO<sub>2</sub>-Abgas aus den Prozessen der fossilen Energienutzung ist klimatisch tragbar?
- Wie ordnen wir die erneuerbaren Energiearten künftig in einen intelligenten Energiemix ein, um deren Wirtschaftlichkeit subventionsfrei zu erreichen?

Das sind genügend Fragen, an deren Beantwortung sich die Wissenschaftler des Freiburger Exzellenzzentrums beteiligen.

### 3 Energieprognose

Auch Energieprognosen müssen sein, trotz der Unsicherheiten einer Zukunftsschau. Bild 3 zeigt eine solche Prognose bis zum Jahr 2020, die vom Öl/Gas-Konzern ExxonMobil stammt. Global wird der Energiebedarf um ca. ein Drittel des heutigen steigen. Der Deckungsanteil der fossilen Energie-Rohstoffe verharrt relativ bei 80 % des gesamten Energiebedarfs, absolut werden die Förderzahlen steigen.

Die sonstigen Energieträger setzen sich ungefähr hälftig aus Atom- und Wasserkraft (kein Neubau von Atomkraftwerken angenommen) sowie aus Biomasse (Holz und Müllverbrennung) nebst den sich ent-

wickelnden erneuerbaren Energien Wind und Solar zusammen. Wind und Solar weisen dank Subventionen den stärksten Anstieg bis 2020 auf. Beide Energiearten bestreiten jedoch weltweit zusammen nur 0,002 % an der Bedarfsdeckung, auch wenn das in Deutschland mehr ist.

Die zweifellos fortzusetzende stärkere Entwicklung und Einbeziehung der erneuerbaren Energien braucht noch lange die wirtschaftliche Basis der fossilen Energien, deren Effektivität die Subventionen dafür erwirtschaftet.

### 4 Energieeffizienz

Steigende Energiepreise sind die Triebkraft für höhere Energieeffizienz. Billige Energie führt zur Energieverschwendung bei

niedrigen Energienutzungsgraden. Bild 4 veranschaulicht diese Binsenweisheit in einem Vergleich ausgewählter Länder, davon die meisten mit einem hohen Vorrat oder Verbrauch an fossilen Energie-Rohstoffen. Die entwickelten Industrieländer mit hohen Energiepreisen weisen die 5- bis 10fache höhere Energieeffizienz gegenüber Ländern mit hohem Energievorrat und/oder niedrigen Energiepreisen auf. Die Energiepreinsniveaus unterscheiden sich dabei um das 10- bis 50fache. Gesellschaftlich billig gemachte Energie ist zwar politisch gutmütig, aber für die Entwicklung von effektiven Energietechnologien schädlich. Unter dem Begriff „Energie sparen“, der einen hohen Energienutzungsgrad zur Streckung der Energie-

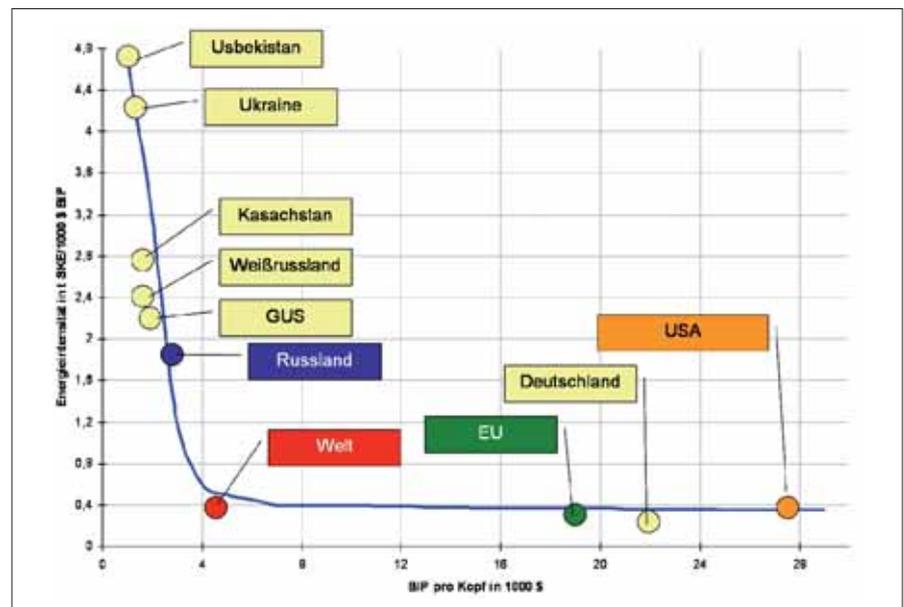


Bild 4: Energie-Verbrauchsintensität (Energieeffizienz) ausgewählter Länder (BIP = Bruttoinlandsprodukt, SKE = Steinkohleneinheiten)

Reichweiten kein Darben mit drastischer Senkung der Lebensqualität meint, muss es also zur Entwicklung und Markteinführung intelligenter Energietechnologien im Mix kommen.

## 5 Energienutzung

Die Geschichte der Energienutzung in den vergangenen 200 Jahren weist die Entwicklungsmerkmale auf:

- Energie-Rohstoffe mit immer höherer Energiedichte
  - Energie-Rohstoffe mit immer geringerer Umweltlast,
- also von – zu
- Holz, Holzkohle
  - Stein- und Braunkohlen
  - Erdöl/Erdgas
  - Kernenergie

Dabei fand einerseits in Übergangsphasen eine Rohstoffverdrängung durch den jeweils intelligenteren statt, andererseits dann ein Nebeneinanderwirken im Mix.

Drei Nutzenergiearten sind heute in entwickelten Ländern gefragt:

- Strom als vielseitigste Nutzenergie
- Wärme/Hitze
- Kälte/Klima

Die Energiesysteme bildeten sich in Form von Landesnetzen historisch heraus:

- Stromverteilungsnetze mit Großkraftwerken als Versorgungsbasis
  - Gasleitungsnetze und Öltanklager zur Wärmeversorgung mit Importhandel
- Intelligente Energietechnologien verknüpfen die Vorteile, die sich aus diesen Netzexistenzen ergeben, wie Bild 5 andeutet.

Strom-Großkraftwerke bleiben Rückgrat des Stromnetzes, weisen aber immanente Nachteile auf:

- Elektrischer Wirkungsgrad max. 50 % (die andere Hälfte ist Wärmemüll)
- CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre (das CO<sub>2</sub>-arme Kraftwerk mit
- CO<sub>2</sub>-Untergroßspeicherung befindet sich bereits in Entwicklung).

Diese Nachteile der zentralen Energieerzeugung lassen sich mildern durch eine dezentrale Tri-Generation beim Energieverbraucher. Diese ermöglicht energetische Wirkungsgrade bis 90 % und damit eine Halbierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Energieerzeugung. Solche Kleinkraftwerke basieren auf Gas oder Öl und erzeugen Strom, Wärme oder Kälte beim Energieanwender (Haushalt, Gewerbe, Industrie) in erforderlicher Relation. Bild 6 zeigt einige solcher Energieanlagen, die sich in der Demonstrationsphase deutschlandweit befinden. An diesen Technologie-

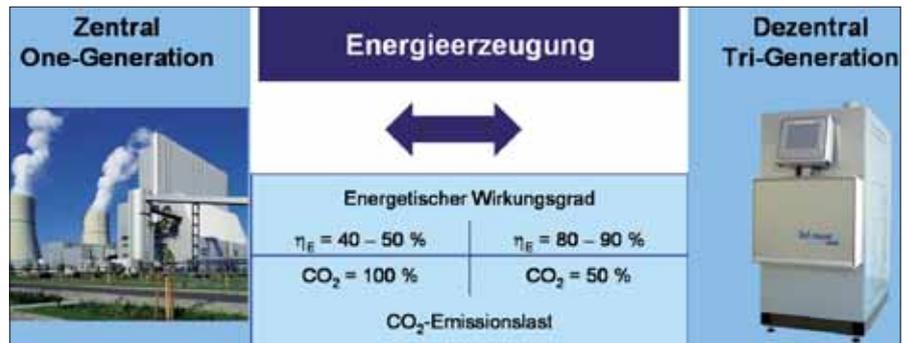


Bild 5: Energie- und Umweltmerkmale zentraler und dezentraler Erzeugung



Bild 6: Gerätetypen-Beispiele für dezentrale Trigeneration:

a) Gas-Otto-Motor,  $P_{el} = 4,7 \text{ kW}$ ,  $P_{th} = 20,5 \text{ kW}$

b) Dampfzelle,  $P_{el} = 3 \text{ kW}$ ,  $P_{th} = 16 \text{ kW}$

c) PEM-Brennstoffzellen-System,  $P_{el} = 4 \text{ kW}$ ,  $P_{th} = 8,5 \text{ kW}$

und Ingenieure des Energie-Exzellenzzentrums maßgeblich beteiligt. Die Energieerzeugung für die Verkehrs-Mobilität hat einen Anteil von ca. 25 % am ganzen Energiespektrum in Deutschland. Zur Entwicklung kraftstoffsparender Motoren gehört die von alternativen Kraftstoffen,

welche über Erdgas auch zum abgasfreien Wasserstoff-Auto führen (Bild 7). An den wissenschaftlichen Lösungen der Wasserstoffspeicherung im Auto und der alternativen H<sub>2</sub>-Erzeugung, nicht nur über Reforming aus Kohlenwasserstoffen, wird in Freiberg ebenfalls gearbeitet.



Bild 7: Brennstoffzellenbus auf Wasserstoffbasis

## 6 Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien nach Bild 8 bleiben auf lange Sicht Additive für die fossilen Energien. Ihre Entwicklung wird dank der Subventionsförderung rasant weitergehen, weshalb ihre optimierte Einbindung in das Energienetz und/oder beim lokalen Energienutzer künftig zu bewerkstelligen ist. Hierzu liegen Konzepte eines „Freiberger Energiehauses“ vor, das für die dezentrale Trigeneration neben der Gasbasis die additiven Energiearten Geothermie und Solar nutzt. Diese Verbundtechnologie folgt den Prinzipien der Tabelle 1.

## 7 Schluss

Das Angebot an verschiedenen Energie-Rohstoffarten und Energienutzungstechnologien hat sich durch wissenschaftlich-technische Entwicklungen verbreitert, so dass Ängste vor Energie-Rohstoff-Verknappungen unbegründet sind. Der marktwirtschaftliche Preis jedes Rohstoffs wird unter Einbezug seiner Umweltwirkung die besten Technologien befördern. Breite regulierende Preiseingriffe, erst recht wenn sie auf energiepolitischen Ideologien basieren, sind nachweislich gesellschaftlich schädigend, indem sie die Technologieentwicklung verbiegen. Innerhalb des Freiberger Energie-Exzellenzzentrums wird an den verschiedenen Technologien der sicheren Energiegewinnung und effizienten Energienutzung mitgearbeitet.



Bild 8: Erneuerbare Energien

Trigeneration-Energieanlagen EG + EE	
<b>Ökologische Güte</b>	
„Weiche“ fossile Energie (EG) + klimaneutrale Energien (EE) = Geringste Umweltlast	
<b>Ökonomische Merkmale</b>	
- Betriebskosten sind gleich oder geringer als Bezug aus Zentralnetz - Investkosten zurzeit höher, deshalb Förderprojekte (Serie führt zur Kostendegression)	
<b>Optimales Energiemanagement</b>	
Energieversorgung = sicher, EE maximal + EG flexibel, dominant	

Tabelle 1: Verbundtechnologie Erdgas (EG) + Erneuerbare Energien (EE)

# Weißer Biotechnologie

Martin Bertau

Weißer Biotechnologie ist der Einsatz biologischer Prozesse im Rahmen technischer Verfahren und industrieller Produktion. Der globale Wettbewerb in der Chemieindustrie erfordert moderne industrielle Produktionsverfahren und neue, innovative Synthesekonzepte. So liegt das Potenzial der Weißer Biotechnologie kurz- bis mittelfristig in der Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und der europäischen Industrie in einer Phase der globalen Neuorientierung. Mittelfristig wird vor dem Hintergrund der Diskussion um CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte für die Chemieindustrie eine Verbesserung der Nachhaltigkeit der industriellen Produktion im Sinne des produktionsintegrierten Umweltschutzes angestrebt. Langfristig zielt die Weißer

Biotechnologie auf die Erschließung nachwachsender Rohstoffe.

Innerhalb der Industriellen Chemie stellen vor allem der Fein- und der Spezialchemikaliensektor stetig wachsende Herausforderungen an die Synthesetechnologie. In diesen Bereichen ist die Weißer Biotechnologie (Industrielle Biokatalyse) eine leistungsfähige Ergänzung zu der enormen Vielfalt existierender klassisch-chemischer Verfahren. In den letzten Jahren hat sie nicht nur massiv an Bedeutung gewonnen, sondern alle Erwartungen und Prognosen deutlich übertroffen:

- Bereits im Jahr 2006 wurden ~30 % aller synthetischen Pharmawirkstoffe mit Hilfe der Weißer Biotechnologie hergestellt.
- Bis zum Jahr 2010 werden weltweit

~20 % der Umsätze der gesamten Chemieindustrie (rund 300 Mrd. US\$) auf die Nutzung der Weißer Biotechnologie zurückzuführen sein.

Der Umstand, dass in zwei Jahren jeder fünfte (!) Dollar in der gesamten Chemiebranche weltweit über biotechnologisch-chemische Verfahren erwirtschaftet werden wird, zeigt, dass die Weißer Biotechnologie im Hochpreis- und damit im Hochtechnologiesegment der Industriellen Chemie angesiedelt ist. Gleichzeitig drückt sich in diesen Zahlen auch eine klare Erwartungshaltung der Chemischen Industrie an die Qualifikation der Hochschulabsolventen aus.

Die Weißer Biotechnologie befasst sich mit hochselektiven katalytischen Stoffumwandlungen. Als Katalysatoren dienen Enzyme. Diese können isoliert vorliegen oder als Bestandteil lebender Zellen. Vor allem die asymmetrische Synthese wurde durch den großtechnischen Einsatz von isolierten Enzymen und ganzen Zellen re-

volutioniert. Die Weiße Biotechnologie hat insbesondere dort Vorteile, wo klassisch-chemische Methoden ungeeignet sind. Auf diese Weise stellt sie in der Industriellen Chemie eine hochleistungsfähige Ergänzung zu bestehenden katalytischen Syntheseverfahren dar. Zudem ist die Weiße Biotechnologie eine Schnittstellenwissenschaft par excellence. Ihre besondere Stellung als leistungsfähiges Synthesewerkzeug und als reizvolles Forschungsgebiet erhält sie durch ihren hohen interdisziplinären Charakter. Wie kaum ein anderes Gebiet vereint sie Chemie, Bio- und Ingenieurwissenschaften.

Nachfolgend soll beispielhaft anhand der Reduktion von 2-Cyclohexanoncarbonsäureethylester gezeigt werden, welches Leistungspotenzial der Weißen Biotechnologie innewohnt, aber auch welche Schwierigkeiten auftreten können und wie man sie überwinden kann.

## Mit einer Tasse Kaffee zu neuen Wirkstoffen

### Chirale pharmazeutische Intermediate in höherer Stereoisomerenreinheit

Für die Synthese von chiralen pharmazeutischen Intermediaten (CPI) ist die Weiße Biotechnologie von besonderer Bedeutung. Mit lebenden Zellen lassen sich Strukturen generieren, die anderweitig nicht zugänglich sind. Die mikrobielle Reduktion von 2-Cyclohexanoncarbonsäureethylester ist ein klassisches Beispiel dafür. Die Zugabe von Coffein gestattet es, physiologisch bedingte Limitierungen zu überwinden und zu verbesserten Stereoselektivitäten zu gelangen.

Stereoisomerenreine cyclische  $\beta$ -Hydroxyester sind wichtige chirale Bausteine für pharmazeutische Wirkstoffe. Insbesondere für die Herstellung von Oxazolidinonantibiotika sind sie von großem Interesse [1]. Die Bildung der hierfür benötigten cis-konfigurierten Hydroxyester ist jedoch wegen der sterischen Interaktion der Substituenten thermodynamisch ungünstig, weswegen es bis heute kein klassisches chemisches Verfahren gibt, mit dem sie sich in der erforderlichen hohen Stereoisomerenreinheit herstellen lassen.

Mit Hilfe der Biokatalyse lässt sich dieses Problem effektiv umgehen, wie das Beispiel 2-Cyclohexanoncarbonsäureethylester (CHE) zeigt, der enzymatisch zum chiralen  $\beta$ -Hydroxyester HCHE reduziert wird (Abbildung 1).

Solche enzymkatalysierten Reduktionen werden durch Dehydrogenasen ver-

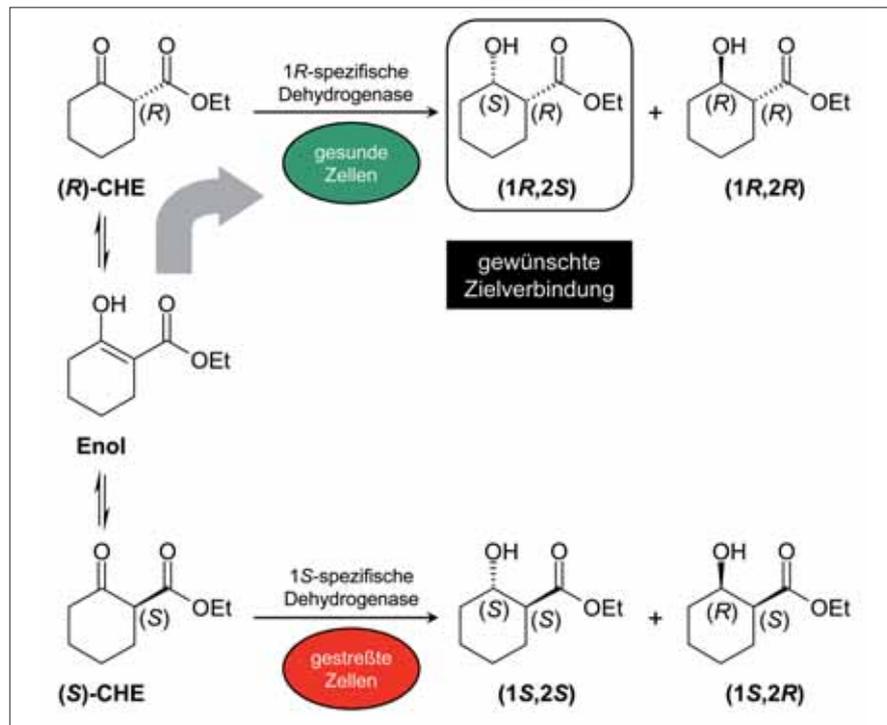


Abb. 1: Das Substrat CHE ist chiral. Bei der Reduktion von CHE wird lediglich das Chiralitätszentrum am Carbinolkohlenstoff erzeugt. (1R)-spezifische Dehydrogenasen bilden ausschließlich (1R)-konfigurierte Produkte. In gestressten Zellen ist die (1S)-spezifische Reduktaseaktivität ungewöhnlich hoch.

mittelt. Unter diesem Begriff vereint man Enzyme (Biokatalysatoren), die in der Lage sind, Reduktionen durch die formale Übertragung von Wasserstoff auf das Substrat (Hydrierung) zu katalysieren. In obiger Reaktion bildet CHE zunächst mit einer Dehydrogenase einen Enzym-Substrat-Komplex. Anders als in klassischen Ansätzen ist jedoch dieser Komplex und nicht das in Lösung solvatisierte CHE das eigentliche Substrat für die Hydrierung. Damit entfällt zugleich die Wahlfreiheit, in welcher Form, *cis* oder *trans*, das Produkt gebildet wird, denn hierüber wird

bereits bei der Bildung des Enzym-Substrat-Komplexes entschieden (Abbildung 2). Dabei fixiert das Enzym den estertragenden Kohlenstoff bereits in seiner späteren Konfiguration, so dass durch die Reduktion lediglich die Konfiguration des carbinolischen Kohlenstoffs beeinflusst wird. Da die Hydridübertragung durch NAD(P)H auf die Ketogruppe hochselektiv erfolgt, kann aus einer enzymkatalysierten Reduktion lediglich das *cis*- oder *trans*-Produkt gebildet werden, nicht aber beide gleichzeitig.

Kommt nur eine einzige Dehydrogenase zur Anwendung, ist die Stereoisomeren-

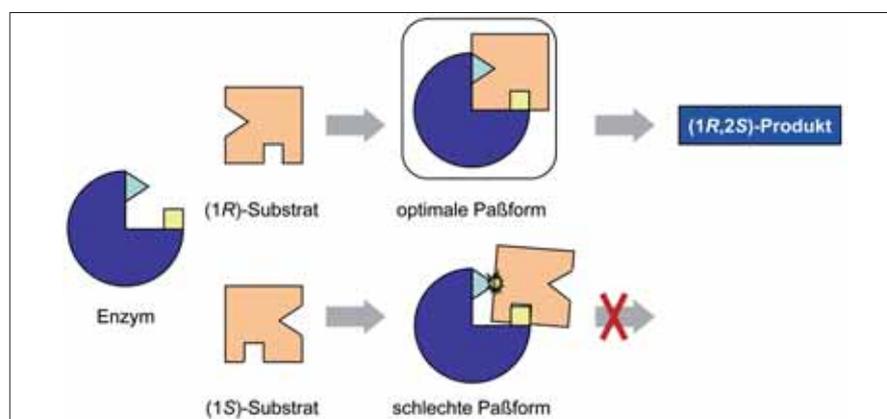


Abb. 2: Das Substrat für die enzymatische Reaktion besitzt bereits eine Stereoinformation. Es existieren zwei Formen, Enantiomere, die sich zueinander wie Bild und Spiegelbild verhalten. Wegen der Analogie zu unseren spiegelbildlich geformten Händen, spricht man auch von Händigkeit bzw. Chiralität. Genauso, wie unsere Hände nicht in den falschen Handschuh passen, besitzt das Substrat in einer Vorzugskonfiguration die ideale Passform für das Enzym. Nur bei einer optimalen Passform kommt es zur chemischen Umsetzung zum Zielprodukt, hier dem (1R,2S)-konfigurierten  $\beta$ -Hydroxyester.

merenreinheit des Produktes vorgegeben. Komplizierter wird es, wenn statt des Enzyms mit ganzen Zellen gearbeitet wird. Letztere haben den Vorteil, dass die Dehydrogenase nicht isoliert werden muss und zugleich die Cofaktorregenerierung *in situ* durch die Zelle erfolgt. Ein klarer Nachteil aber ist, dass mehrere Enzyme gleichzeitig um das Substrat, hier CHE, konkurrieren können. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Zellen unter Stress stehen. Für die industrielle Produktion von chiralen pharmazeutischen Intermediaten (CPI) ist die Bäckerhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) besonders interessant, da sie in allen Quantitäten billig verfügbar ist [2]. Geliefert wird sie als Presshefe, und genau darin liegt das Problem.

Während der Herstellung, Lagerung und des Transports sind die Zellen verschiedenen Stressfaktoren ausgesetzt, z.B. Scherkräften beim Pressen oder Nährstoffmangel. Die Gesamtheit dieser nicht-optimalen Umweltbedingungen veranlasst die Zellen dazu, zu ihrem Schutz Stressproteine zu bilden, von denen in vielen Fällen eines oder gar mehrere Dehydrogenaseaktivität besitzen. Somit kann Umweltstress erheblichen Einfluss auf die Stereoselektivität der Reaktion nehmen, da jede Dehydrogenase spezifische Eigenschaften hinsichtlich der Bildung des Enzym-Substrat-Komplexes und der Konfiguration der Stereozentren hat [3].

Im Falle der Reduktion von CHE war besonders die Diastereoisomerenreinheit davon berührt. Gegenüber nicht gestressten Hefezellen lag der Diastereomerenüberschuss statt bei 90% nur bei 75% *de*. Unter Temperaturstress (38 °C) fiel er sogar auf 67% *de* ab. So also Umweltstress die Zellphysiologie beeinflusst, stellt sich die Frage, ob nicht eine Substanz, von der bekannt ist, dass sie zellphysiologisch wirksam ist, das Ausmaß des Umweltstresses dahingehend beeinflussen kann, dass das Produkt in höheren Stereoisomerenreinheiten erhalten wird. Dies wurde mit Coffein erreicht. Bei Zugabe von Coffein (50 mM) erhöhte sich die Enantiomerenreinheit von 90,8% auf 92,1% *ee*<sup>1</sup> und die Diastereoisomerenreinheit von 75,0 auf 90,0% *de*. Doch welche Ursachen liegen diesem Effekt zugrunde? Coffein beein-

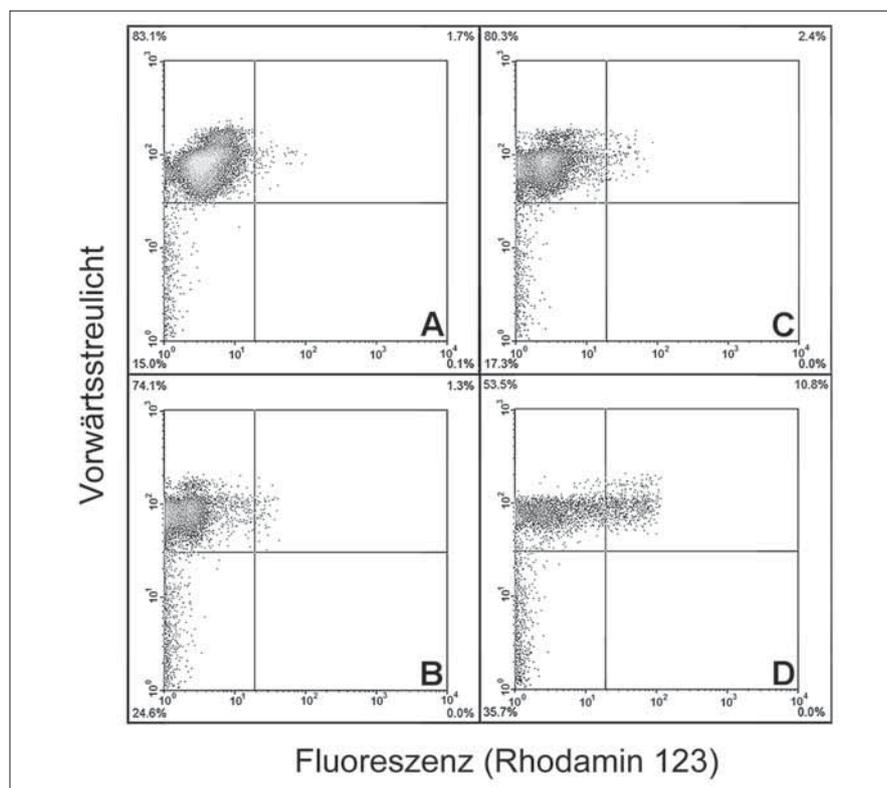


Abb. 3: Durchflusszytometrische Analyse von mit Rhodamin 123 gefärbten Hefezellen: (A) Blindprobe, (B) Coffein, (C) CHE, (D) CHE und Coffein (50 mM).

flusst einerseits den Calciumhaushalt der Zelle und veranlasst andererseits gestresste Zellen, den programmierten Zelltod<sup>2</sup> (Apoptose) einzuleiten [4].

#### **Einfluss von Coffein auf den Calciumhaushalt der Zelle**

Coffein blockiert die Calciumkanäle der Zelle (z. B. Mid1p und Cch1p) und damit einhergehend die Calciumaufnahme von außen [5]. In welcher Weise  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen die Stereoselektivitäten von Ganzzell-Biotransformationen beeinflussen, bedarf weiterer Untersuchungen. Bekannt ist dieser Effekt indes schon lange [6]. So konnte gezeigt werden, dass die Enantiomerenreinheit von HCHE in Gegenwart von 100 mM  $\text{CaCl}_2$  unverändert blieb, wogegen die Diastereoisomerenreinheit von 75,0 auf 60,5% *de* einbrach. Dagegen zeigte  $\text{Ca}^{2+}$  in Gegenwart von Coffein keinen Effekt [4].

#### **Coffein-induzierte Apoptose**

Untersuchungen zum Einfluss von Coffein auf die Zellvitalität der Ganzzell-Biotransformatoren ergaben eine Verringerung der

Lebendzellzahl – allerdings ohne dass sich der Umsatz veränderte. Vielmehr erhöhte sich zugleich die Stereoselektivität der Reaktion auf o.g. Werte. Ganz offensichtlich reichte die Lebendzellzahl in Hochzelldichtebiotransformationen ( $10^{10}$  Zellen/mL) bei weitem aus, um den Substratumsatz zu gewährleisten. Das – unter industriellen Produktionsbedingungen – als Presshefe eingesetzte Zellmaterial bestand aus zwei Fraktionen: Intakte Zellen, die das gewünschte (1*R*,2*S*)-Produkt produzierten, und ein kleinerer Anteil, der in der Lage war, auch die unerwünschten (1*S*,2*S*)- und (1*S*,2*R*)-Isomere herzustellen – die durch Umweltstress geschädigten Zellen. Durchflusszytometrisch zeigt sich, dass die Zellen in Gegenwart von CHE und/oder Coffein vermehrt reaktive Sauerstoffspezies (ROS) bildeten, was auf einen apoptotischen Vorgang hinwies (Abbildung 3). Zusätzlich wurde zur Bestimmung der Zellvitalität mit Propidiumiodid (PI) angefärbt [7]. Bei dieser Methode erscheinen abgestorbene Zellen als einheitlicher Peak mit hoher Fluoreszenzaktivität.

1 Die Stereoisomerenreinheit einer Substanz wird durch den Enantiomerenüberschuss (enantiomeric excess, *ee*) sowie den Diastereomerenüberschuss (diastereomeric excess, *de*) angegeben. Sie sind definiert wie folgt: Enantiomerenüberschuss:  $ee = \frac{(R)-(S)}{(R)+(S)} [\%]$ ; Diastereomerenüberschuss:  $de = \frac{D-\sum D_i}{D+\sum D_i} [\%]$

Enantiomere sind Stereoisomere, die sich zueinander wie Bild und Spiegelbild verhalten, wogegen Diastereomere (D) Stereoisomere einer Verbindung mit mindestens zwei Stereozentren sind, welche zueinander nicht enantiomer sind. Eine Verbindung mit *n* Stereozentren besitzt  $2^n$  Stereoisomere.

2 Apoptose, auch programmierter Zelltod, bezeichnet das physiologische Zugrundegehen von Zellen. Ihre Hauptaufgabe ist es, Zellen, die der Entwicklung oder dem Fortbestand einer Zellkultur oder eines Organismus hinderlich sind, gezielt zu entfernen. Im Gegensatz dazu steht die Nekrose, die ein pathologisches Geschehen darstellt.

Daneben zeigten die Histogramme der Proben, denen sowohl Coffein als auch CHE zugesetzt worden waren, PI-positive Peaks mit geringerer Fluoreszenzintensität, sogenannten Sub-G1-Peaks [8] die, wie auch die vermehrte Bildung reaktiver Sauerstoffspezies, eindeutig auf apoptotische Vorgänge hinweisen.

Coffein wirkt auf vorgestresste Hefezellen, indem es sie zum Einleiten des programmierten Zelltodes<sup>2</sup> veranlasst. Gleichzeitig wirkt es sich auf die Biotransformation aus, bei der sich der Anteil der unerwünschten (1*S*,2*S*)- und (1*S*,2*R*)-Stereoisomere verringert. Denn nur die gestresste Subpopulation besitzt eine besonders hohe (1*S*)-spezifische Reduktaseaktivität. Diese Ergebnisse

stehen in Einklang mit der Beobachtung, dass die Zugabe von Coffein den Umsatz der Hydrierreaktion nicht beeinflusste, obwohl die Lebendzellzahl geringer war als in unbehandelten Kulturen. Denn die vorgestressten Zellen produzieren vornehmlich die unerwünschten Stereoisomere, was heißt, dass sie nur zu einem geringen Teil zur Bildung der (1*R*,2*S*)-Zielverbindung beitragen. Auf diese Weise blieben selbst Lebendzellzahlverluste von bis zu 20 % ohne messbare Auswirkung auf den Umsatz.

### **Neue Möglichkeiten für die Wirkstoffentwicklung**

Die ganzzell-biokatalytische Synthese von CPI über Hochzelldichte-Biotransforma-

tionen wurde durch ein neues Konzept deutlich verbessert: Die Störung des zellulären Enzymnetzwerkes durch eine physiologisch aktive Substanz (PAS). Zwei Mechanismen werden bei der Zugabe von Coffein wirksam: (1) Vorgestresste Zellen werden stimuliert, den programmierten Zelltod (Apoptose) einzuleiten, (2) die intrazelluläre Calciumionen-Konzentration nimmt ab. Die Kombination beider Effekte führt zu dem beobachteten Anstieg der Stereoselektivität. Gegenwärtig laufen Untersuchungen mit dem Ziel, diese durch Kombination mit anderen PAS weiter zu optimieren.

Literatur zu diesem Beitrag siehe unter <http://tu-freiberg.de/vereine/vff/index.html>

# Filter- und Speiserlösungen für innovative Metallgießtechnologien

Christos G. Aneziris, H. Jaunich, A. Ansorge

## 1 Einleitung

Nichtmetallische Einschlüsse sind für Stahlgießereien und deren Kunden eine arge Last. Es wächst der Wunsch, Stahlgussprodukte mit niedrigen Einschlusswerten zu erzeugen, denn bereits ein 10 kg schweres Stahlgussstück kann mehr als eine Billion nichtmetallischer Einschlüsse enthalten [1]. Abhilfe kann mit maßgeschneiderten Einwegsystemen geschaffen werden, die der Erfüllung bestimmter Eigenschaften des Stahls, der Erhöhung der Produktivität, der Senkung des Energieverbrauchs sowie der Verringerung der Herstellungskosten dienen. Zu diesen Systemen gehören u.a. Filter und Speiser. Die Filter dienen insbesondere der Entfernung nichtmetallischer Einschlüsse aus dem Metallstrom, bevor er in den Formhohlraum eindringt. Sie können aus einer Schaumkeramik oder schaumlosen Keramik gefertigt werden. Die in den Gießereien eingesetzten Speiser haben die Funktion, unerwünschte Hohlräume durch die Schrumpfung des Metalls während der Erstarrung zu verhindern.

Die Firma Foseco GmbH beliefert weltweit Stahlerzeuger mit Produkten und Verfahren, die die Herstellung von Stahl unterstützen. Von der „Theorie“, wie z.B. der computergestützten Simulation und der Berechnung, bis zur praktischen Erprobung in der Versuchsgießerei stehen alle Möglichkeiten zur Verfügung. Darüber hi-

naus pflegt und fördert Foseco die Verbindung zu Universitäten und Forschungsinstituten. So wird in enger Kooperation mit dem Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik der TU Bergakademie Freiberg an der Weiterentwicklung der Filter- und Speisertechnik für die Gießereindustrie gearbeitet.

## 2 Filtertechnik

### 2.1 Stand der Technik

Für die Filtration von Metallschmelzen werden heutzutage zu etwa 70 % Schaumkeramikfilter eingesetzt. Schaumkeramikfilter für den Formguss werden in der ganzen Welt hergestellt, hauptsächlich aber dort, wo Automotive Gießereien angesiedelt sind. In Europa beträgt die derzeitige Belieferung mit Filterprodukten 140 Mio. Stück für den Eisenguss, 20 Mio. Stück für den Aluminiumguss und 2 Mio. Stück für den Stahlguss. Damit wird der Eisengussmarkt zu zwei Dritteln, der Aluminiumgussmarkt zur Hälfte und der Stahlgussmarkt zu einem Drittel in Europa abgedeckt. Die jährliche Steigerungsrate beträgt noch immer 3,5 % und verteilt sich dabei auch auf gepresste und extrudierte Filter mit insgesamt 222 Mio. Filtern in Europa [2].

Das heute am weitesten verbreitete Verfahren zur Herstellung offenzelliger Schaumkeramiken beruht auf der kerami-

schen Abformung von Polymerschäumstoffen, wie in [3] beschrieben. Die wichtigsten Verfahrensschritte sind das Imprägnieren des Polymerschaums, Entfernen des überschüssigen Schlickers, Aufsprühen weiterer keramischer Schichten, Ausbrennen des Polymerschaums und anschließende Sinterung der Schaumkeramik. Abhängig von der anfänglichen Porenverteilung und der Geometrie der Kunststoffschwämme können unterschiedlichste Funktionsporositäten im Endprodukt generiert werden. Wesentliche Nachteile dieser Technologie sind das umweltbelastende Ausbrennen der Polymerschäume und die damit verbundene Bildung von Hohlstegen, die sich negativ auf die Festigkeit der Filter auswirken. Bei Filterdimensionen >100 mm steigt aufgrund der großen Schwindung zusätzlich die Wahrscheinlichkeit von Fehlern. Häufig auftretende Fehler sind Mikro- und Makrorisse, Fissuring und Chipping, Abb. 1.

### 2.2 Funktion und Wirkungsweise der Filter

Die Filter werden so nah wie praktisch möglich am Formhohlraum platziert. Die Schaumkeramikfilter, Abb. 2, weisen den höchsten Abscheidegrad für nichtmetallische Einschlüsse insbesondere für Oxide und Sulfide auf. Partikel mit einer Größenordnung von weniger als 0,1 mm werden überwiegend ausfiltriert. Begründet wird die hohe Filtrationswirkung mit dem Strömungsverlauf der Schmelze in den miteinander verbundenen Poren (Abb. 3a). Die Partikel lagern sich in den Filterporen ab, welche näherungsweise die Gestalt von Pentagondodekaedern haben (Abb. 3b) [4].

Die abzufilternden Einschlüsse können in verschiedenster Form vorliegen

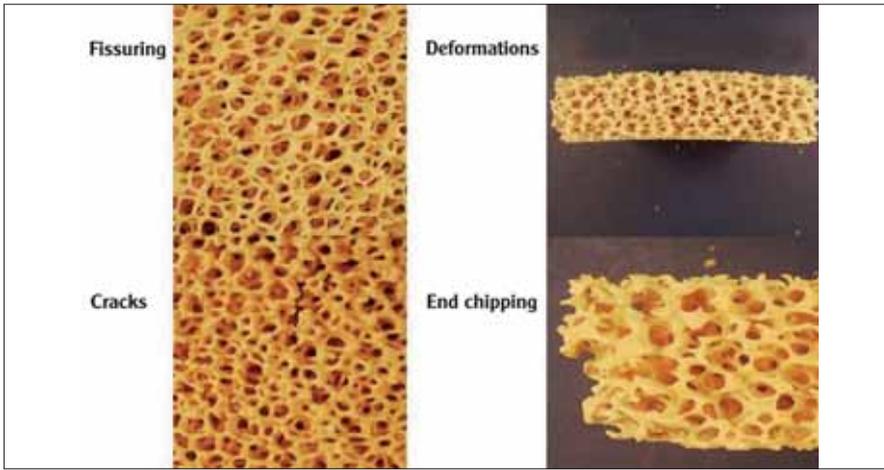


Abb. 1: Fehler in Schaumkeramikfiltern

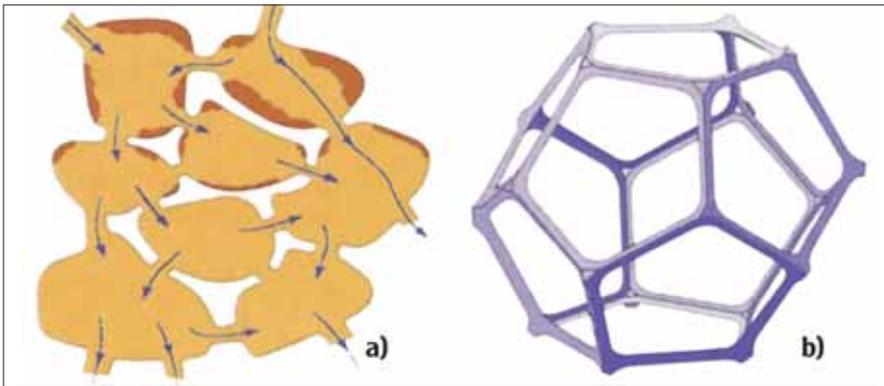


Abb. 3: a) Strömungsverlauf im Schaumkeramikfilter (Ablagerung von Einschlüssen), b) Struktur einer Schaumstoffzelle

und reichen vom leicht sichtbaren Feststoff- und Schlackeneinschluss bis zu Desoxydationsprodukten im Mikron- und Submikronbereich.

Im Endprodukt müssen insbesondere Makroeinschlüsse, wie z. B. Pfannenschlacken, Ofenfutterpartikel oder Sand durch kostspieliges Ausbrennen und Schweißen oder Ausschleifen beseitigt werden. Wenn sie in der Gießerei nicht entdeckt und entfernt werden, zeigen sie sich möglicherweise erst am Ende einer aufwändigen Bearbeitung, oft erst beim Endkunden. Weiterhin können sich Mikroinschlüsse in erheblichem Maße negativ auf die mechanischen Eigenschaften auswirken und die Bearbeitbarkeit beeinträchtigen [5].

Bei dem Stofftrennprozess spielen, in Abhängigkeit von der geometrischen Filtergestaltung, die Diffusions-, Trägheits-, Gravitations- und elektrostatische Kräfte eine bedeutende Rolle. Der Abscheidegrad ist von der Partikelgröße, der Anströmgeschwindigkeit sowie der Partikelhaftung an den keramischen Filterwänden abhängig. Die Partikelhaftung wird dominierend von dem Benetzungsverhalten an der Grenzfläche Filterwand/Metallschmelze/Partikelverunreinigung beeinflusst [6].

Die Regulierung der Metallströmung

und die Erleichterung des turbulenzfreien Füllens der Form machen eine weitere Funktion der Schaumkeramikfilter aus. Mit einer turbulenzfreien Strömung werden das Risiko einer Reoxidation des Metalls, Überlappungsfehler und Luftpneinschlüsse verringert. Die Verbesserung der Oberflächengüte wird gefördert und kürzere Gießzeiten werden ermöglicht. Abb. 4 soll die Beruhigung des Metallstroms verdeutlichen.

### 2.3 Filterentwicklung

Ziel der Zusammenarbeit zwischen der Foseco GmbH Borken und dem Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnologie der TU Bergakademie Freiberg ist es, einen schaumlosen Keramikfilter auf den Markt zu bringen. Dieser Filter würde die bestehenden Schaumkeramikfilter in einem darunter angesiedelten Marktsegment absichern und die Anwendung von Filtration in der Gießereitechnik erheblich erweitern. Damit würden nicht nur sicherheitsrelevante Gussteile, sondern schlussendlich alle Gussteile gefiltert werden können, sowohl mit Schaumkeramikfiltern wie auch mit schaumlosen Keramikfiltern.

Aus der Kombination einer bildsamen Formgebung mit einem SiC-haltigen Werk-

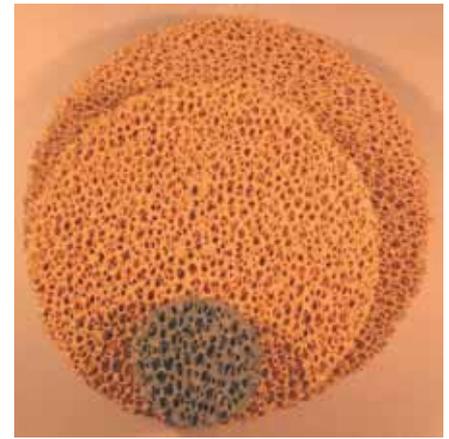


Abb. 2: Schaumkeramik-Filter auf Zirkondioxid- und SiC-Basis

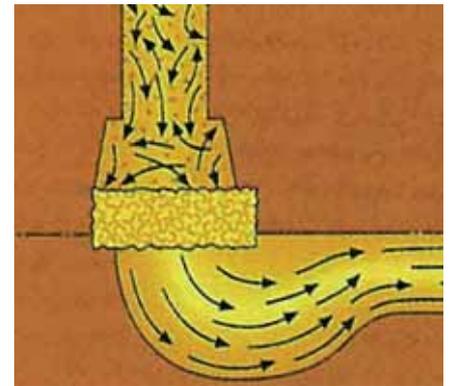


Abb. 4: Beruhigung der Strömung

stoffsystem mit nur einem rein anorganischen Bindersystem geringer Schwindung wird ein neues Herstellungsverfahren für schaumlose Filter entwickelt. Die bildsame Masse wird mittels Strangpressens in Filtergeometrie umgesetzt. Gewölbte Innenflächen und Lochungen können mit einem Pressvorgang realisiert werden. Vorteilhaft ist das fehlende Ausbrennen von umweltbelastenden Materialien. Durch die anorganischen Binder werden schwindungsbedingte Makro- und Mikrorisse ausgeschlossen. Schließlich führen die Vollstrukturen zu verbesserten mechanischen, thermischen und chemischen Eigenschaften und erlauben die Großfilterfertigung mit einem Durchmesser von ca. 400 mm, Abb. 5 (linkes Bild). Diese Fertigungstechnologie kann auf kohlenstoffhaltige Werkstoffsysteme mit den entsprechenden positiven Funktionseigenschaften übertragen werden, so dass die Filtration auch von Metallmengen, wie sie üblicherweise im Stahlwerks-Tundish angewendet werden, allmählich realisierbarer erscheint. Zum Testen der Funktionalität wird der so genannte Impinchment-Test durchgeführt: Auf einen 50 × 50 mm-Filter mit einer Dicke von ca. 15 mm fällt eine 50 kg-Metallschmelze aus 0,5 m Höhe.



Abb. 5: 400 mm-Spaghettifilter (links) und Impinchment-Test an  $50 \times 50 \times 15 \text{ mm}^3$ -Proben (rechts)

Es folgt eine optische Auswertung zur Klassifizierung des thermomechanischen Verhaltens und der Filterfunktion, Abb. 5 (rechtes Bild). Alle Spaghetti-Filterkonfigurationen (Variation der Sintertemperatur, der SiC-Körnung und der anorganischen Bindemittel/Plastifizierer) überleben den Impinchment-Test.

### 3. Speisertechnik

#### 3.1 Stand der Technik

Die Speisertechnik stellt ein weiteres Entwicklungsfeld für eine anwendungsorientierte Hochschulforschung dar. Durch eine vertrauensvolle Zusammenarbeit der Fa. Foseco mit dem IKGB werden die üblicherweise ausgeprägten Hemmnisse zwischen Labor und Fertigung überbrückt und neue wirtschaftlich relevante Entwicklungsinhalte abgeleitet. Beim Gießen

von Eisen, Stahl und Aluminium in Sandformen werden die Hohlräume im Guss durch Kerne geformt. Oft sind für komplizierte geometrische Formen ganze Kernpakete erforderlich [9]. Die in Gießereien eingesetzten Speiser haben die Funktion, unerwünschte Hohlräume durch die Schrumpfung des Metalls während der Erstarrung zu verhindern. Die Speiser werden in die Gussform eingesetzt. Sobald sie mit der Metallschmelze in Berührung kommen, zündet der Speiser und unterstützt die Wärmebilanz des Gießvorgangs. Die frühzeitige Erstarrung der Schmelze wird verhindert, und sie kann in die Gussform zurückfließen und damit der Bildung von Lunkern entgegenwirken.

#### 3.2 Speisertechnologie

In der Firma Foseco werden die Speiser durch zwei wesentliche Formgebungsverfahren hergestellt, das Kernschießen und

das Slurry-Verfahren. Sie sind entweder offen (Eingussspeiser) oder geschlossen (Kappenspeiser).

Beim Kernschießen wird eine 4–5% feuchte Masse bei einem Druck von 7–8 bar mittels Luftimpuls zu Speisern geformt. Die Verdichtung beträgt etwa 50%. Nach der Formgebung werden die Artikel bei 160 °C im Durchlaufofen wärmebehandelt. Diese Speiser haben eine Dichte von etwa 1,4 g/cm<sup>3</sup>. Die Festigkeit von 50 × 50 mm-Probekörpern beträgt 25–30 kN. In Abb. 6 werden kerngeschossene Speiser und REM-Aufnahmen gezeigt.

Beim Herstellungsverfahren mittels Slurry wird mit einem Feststoffgehalt zwischen 10 und 20% gearbeitet. Als Dispergierhilfsmittel wird Papier eingesetzt. Die Slurry wird im Vakuum über einem Sieb entwässert, wobei das Sieb die Form des Speisers darstellt. Anschließend findet eine Wärmebehandlung wie bei den

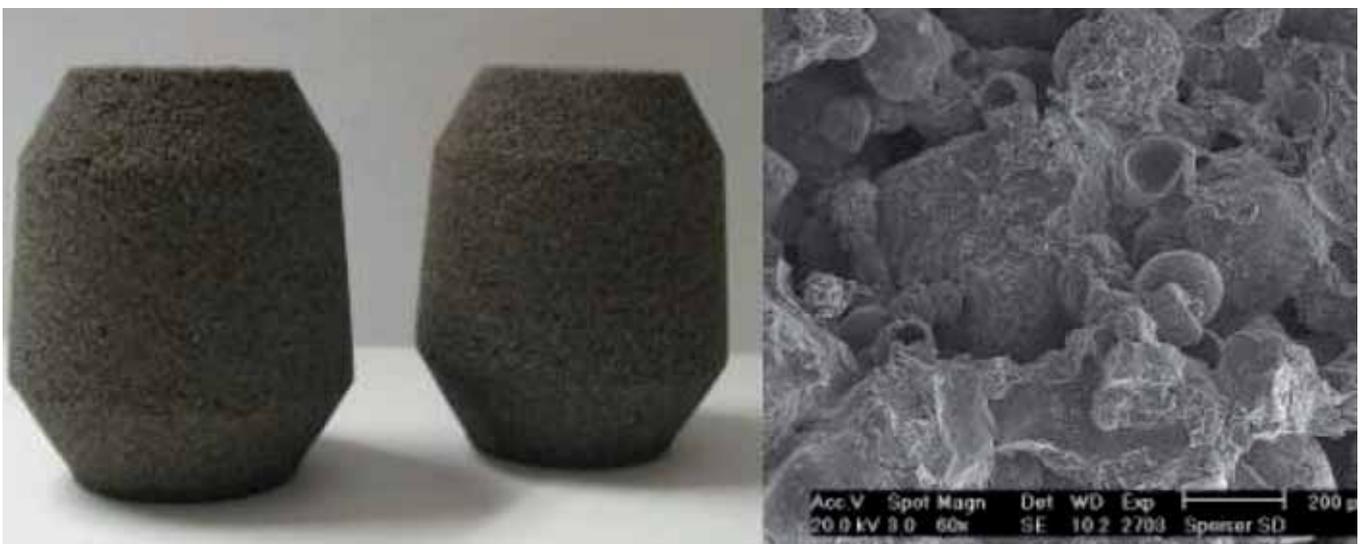


Abb. 6: Kerngeschossene Speiser, REM-Gefügeaufnahmen

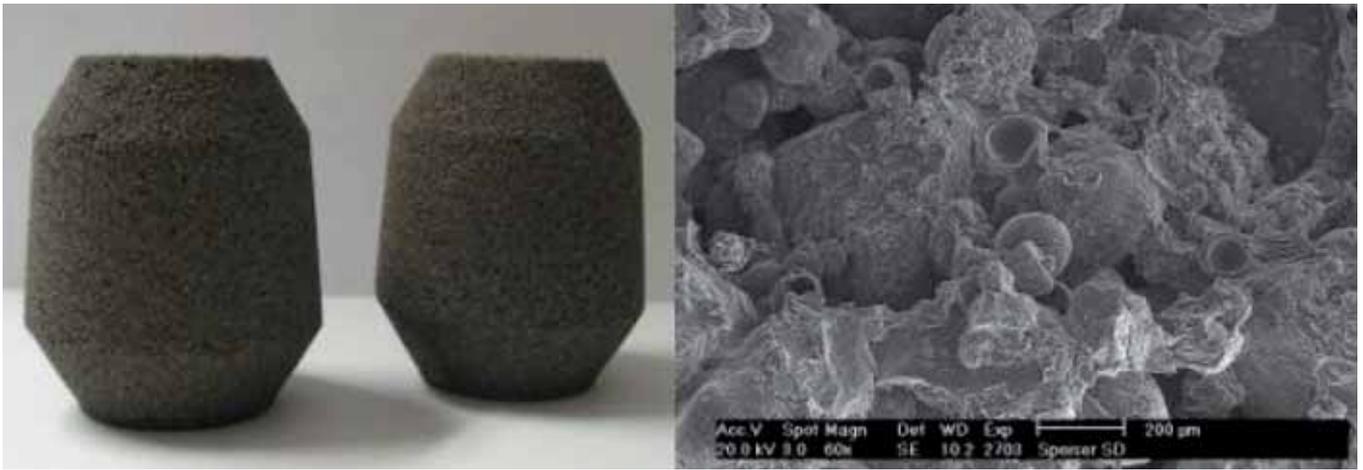


Abb. 7: Leichtspeiser und REM-Gefügeaufnahmen

kerngeschossenen Speisern statt. Die über diese Methode hergestellten Speiser, als Leichtspeiser bezeichnet, haben eine Dichte von  $\sim 0,6 \text{ g/cm}^3$ . Bei  $50 \times 50 \text{ mm}$ -Körpern beträgt ihre Festigkeit  $6\text{--}15 \text{ kN}$ . Auch in Abb. 7 werden Beispiele der Speiser und Aufnahmen des Gefüges gezeigt.

### 3.3 Speiserentwicklung

Bei der werkstofftechnischen Entwicklung der Speiser ist davon auszugehen, dass ihre Funktion auf einer starken exothermen Reaktion basiert. Diese hält die Schmelze flüssig, sodass sie in den Formenhohlraum zurückfließen kann. Die Zielsetzung der stofflichen Veränderungen ist somit an die exotherme Reaktion gebunden. In Zusammenarbeit mit der Fa. Foseco werden im Technikum des IKGB Speiser mit einer Zieldichte von  $1,0 \text{ g/cm}^3$  und einer Festigkeit von etwa  $20 \text{ kN}$  entwickelt. Dieses Speisermaterial liegt mit seinen Anforderungen zwischen den kerngeschossenen, dichten Speisern und den Leichtspeisern.

Alternative Füllmaterialien, wie z. B. geeignete Abfallprodukte, sollen zu dieser Entwicklung ihren Beitrag leisten. Ein solches Abfallprodukt ist der Blähperlitstaub [10]. Er ist ein Abfallprodukt aus der Blähperlitzerzeugung von Blähperlitgranulaten. Der Perlitstaub hat im Gegensatz zu den organischen Porosierungsmitteln den Vorteil, dass er beim Brand keine Schadstoffemission verursacht. Des Weiteren verändert er seine Struktur weder beim Pressvorgang noch beim Trocknen und Brennen. Er bleibt als Korn erhalten. Durch den Blähperlit und den Blähperlitstaub soll die notwendige Porosität, Dichte und Festigkeit der Speiser realisiert werden. In der Abb. 8 ist der Blähperlitstaub in Form eines gepressten, wasserglasimprägnierten und mittels Mikrowellenstrahlung



Abb. 8: Gepresster Zylinder auf Blähperlitstaubbasis

wärmebehandelten Zylinders abgebildet.

Im Rahmen der Entwicklung der Speisertechnik soll die Behandlung der Speiser mit Mikrowellen vertieft werden. Die Untersuchungen werden in einem in der Abb. 9 dargestellten neuartigen Mikrowel-

len-Durchlaufofen der Firma Linn im Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik durchgeführt.

Der Mikrowellenofen hat eine Länge von  $5 \text{ m}$  mit  $5$  Magnetrons bei einer Frequenz von  $2,45 \text{ GHz}$  und  $5$  Magnetrons bei  $5,8 \text{ GHz}$ . Durch die frequenzabhängige Einstellbarkeit der Leistung wird es möglich, auf die Veränderung des Gefüges (Porosität) in situ während der Wärmebehandlung zu reagieren.

Umweltfreundliche Verfahren, kostengünstigere Werkstoffe mit verbesserten Eigenschaften und neue Filter- und Speiserkonzepte unterstreichen die vielseitigen Facetten einer Industrie-Hochschul-Forschungskooperation. Diese ist für beide Partner, insbesondere für den Hochschulnachwuchs, ein wichtiger Anziehungspol.

Literatur zu diesem Beitrag siehe unter:  
<http://tu-freiberg.de/vereine/vff/index.html>

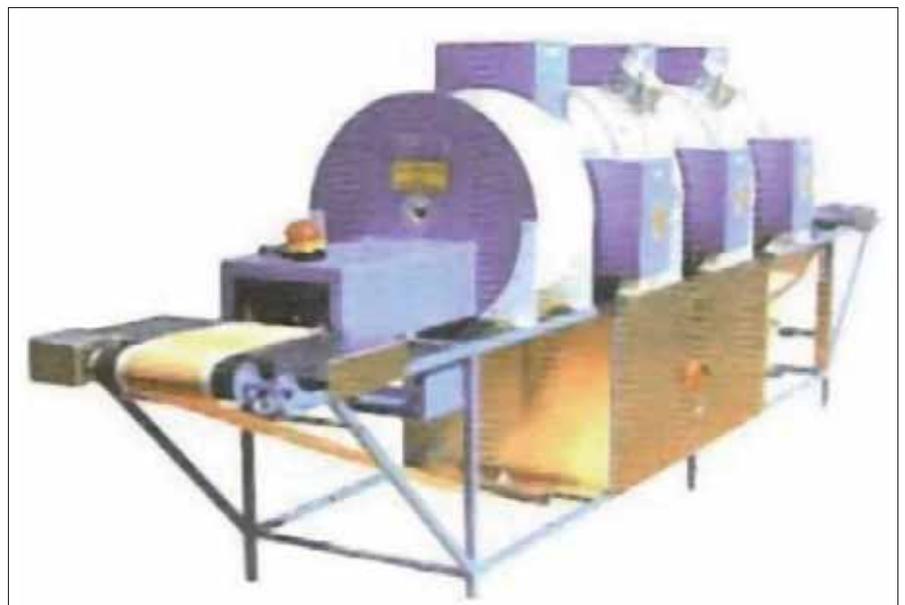


Abb. 9: Mikrowellen-Durchlaufofen

# Situationsbericht Krügerstiftung – Aktuelles aus dem Freiburger Hochdruckforschungszentrum

Jens Kortus

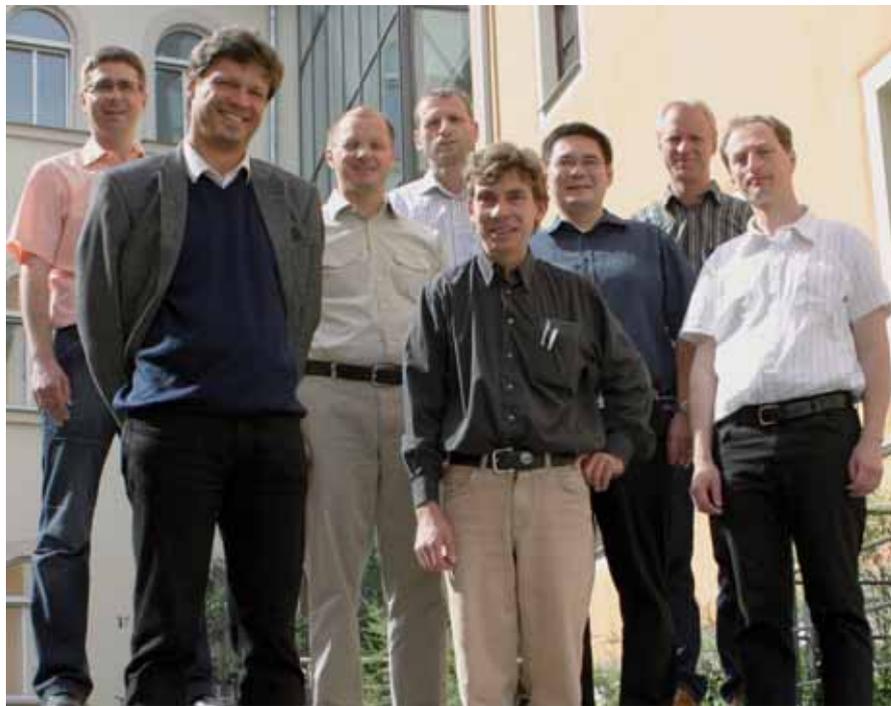
## Grundkonzept

Wesentliche technologische Fortschritte, welche den Standort Deutschland nachhaltig stärken, werden immer mehr durch neue Werkstoffe und optimierte Technologien realisiert. Im Spannungsfeld zwischen der Schonung von Ressourcen und gesteigerter Produktivität nehmen Werkstoffentwicklungen durch innovative Herstellungsverfahren einen immer höheren Stellenwert ein. Übergeordnetes Ziel des Freiburger Hochdruckforschungszentrums (FHP) ist die Nutzung hoher Drücke zur Materialentwicklung und Optimierung sowie Charakterisierung ihrer Eigenschaften mit dem Ziel, die gewonnenen Erkenntnisse in ein Endprodukt zu überführen. Unsere Vision ist die Herstellung extrem harter Werkstoffe. Im Vergleich zu Diamant sollen diese Materialien kostengünstiger herstellbar sein sowie eine höhere Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit aufweisen.

Ein anwendungsnahe Beispiel stellt die bisher nicht gelungene Synthese von Schneidwerkstoffen für Bohrkronen in der Tiefbohrtechnik im Hartgestein oder in Werkzeugen für die Gewinnung von Rohstoffen dar. Eine deutlich verbesserte Standzeit könnte erhebliche Fortschritte in der Geothermie, einer Schlüsseltechnologie zur nachhaltigen Nutzung von Energie, bringen. Verbundwerkstoffe könnten weiterhin völlig neue Anwendungsgebiete erschließen oder in bestehenden Technologien, wie dem Turbinenbau, zu erheblichen Leistungssteigerungen führen. Ein weiteres Beispiel stellt die Entwicklung von Hartstoffen für die Hochgeschwindigkeitszerspannung im Maschinenbau dar.

Gerade vor dem Hintergrund der Profillinien der TU Bergakademie Freiberg – Geo, Material, Energie und Umwelt – von denen die zwei erstgenannten aktuell einen hohen Forschungsbedarf im Bereich extremer mechanischer Kräfte aufweisen, stellt sich die Einrichtung eines langfristig wirkenden und interdisziplinären „Freiberg High Pressure Research Centre (FHP)“ vielversprechend und zukunftsweisend dar. Im FHP werden bereits bestehende Kompetenzen an der TU Bergakademie auf den Gebieten

- Hochdrucksynthese,



„Wir machen Druck!“ Lutz Krüger, David Rafaja, Hans-Jürgen Seifert, Heinz Konietzky, Edwin Kroke, Jens Kortus, Matthias Reich und Gerhard Heide (v. l.)

- Prüfung unter extremen Belastungen (Druck, Temperatur, Geschwindigkeit),
- Mikrostrukturcharakterisierung,
- Schockbelastung (Stoßwellen) sowie
- Modellierung von Werkstoffbildungsvorgängen und anwendungsorientierte Forschung

fakultätsübergreifend gebündelt. Durch die Zusammenführung ganz unterschiedlicher aber komplementärer Arbeitsgebiete sollen neue Hochleistungswerkstoffe entwickelt werden. Für die im Fokus stehenden Materialien und Bedingungen ist bewusst der Technik- und Geobereich gewählt worden.

## Gründung und aktueller Entwicklungsstand

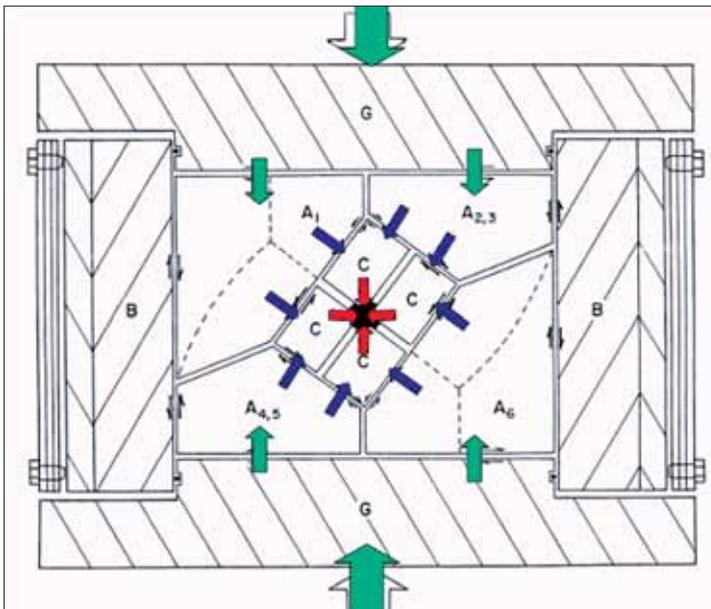
Der Stifterrat der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung und die Leitung der TU hatten Anfang Februar 2007 eine Ausschreibung zur Vergabe der ersten Stiftungserträge für ein Forschungskolleg gestartet. In dem Kolleg sollten Hochschullehrer aus mindestens drei Fakultäten der Universität gemeinsam an einem Oberthema interdisziplinär forschen. Bis zum Stichtag Ende April

2007 wurden insgesamt 14 Projektskizzen eingereicht. Nach eingehender Beurteilung durch unabhängige Gutachter und einer vergleichenden Bewertung wurde unter Federführung des Stifters, Herrn Dr. Peter Krüger, das Freiburger Hochdruckforschungszentrum am 11. Juni 2007 im Rahmen der „Kompetenzoffensive Nachhaltigkeit“ der TU Bergakademie Freiberg gegründet. Dank der großzügigen Spende des Stifters, Ehrensenator Dr. Peter Krüger, fließen nun seit dem 1. Oktober 2007 für fünf Jahre Mittel in Höhe von jährlich ca. 600.000 € aus den Erträgen der Stiftung. Im Rahmen des Hochdruckforschungszentrums arbeiten acht junge Professoren zusammen, deren Durchschnittsalter bei Antragstellung unter 43 Jahren lag. Sie gehören den Fakultäten für Chemie und Physik, für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau und für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie an. Durch die Stiftungsmittel werden acht Doktorandenstellen für fünf Jahre, zwei Technikerstellen für drei Jahre sowie Investitionen und Verbrauchsmittel finanziert.

Kurz nach der Gründung des FHP wurde am 18. Juni 2007 mit dem Bau eines Hochdrucktechnikums auf dem Campus



Bild der Spark Plasma Sintering Anlage



Oben: Blick in das Hochdrucktechnikum.

Links: Wirkungsweise des Hochdruck-Presswerkzeuges: Die Kraft wird zum Zentrum hin auf eine immer kleinere Fläche konzentriert.

hinter dem Clemens-Winkler-Bau unter Regie der TU Bergakademie mit Hilfe des Staatsbetriebes Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB) begonnen. Inzwischen wurde der Umbau des Gebäudes fertiggestellt und eine sog. Multi-Anvil-Press (MAP) im Dezember 2007 installiert, deren Anschaffung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und das Land Sachsen ermöglicht wurde. Mit dieser 1000-Tonnen-Pressen lassen sich Drücke von bis etwa 200.000 Atmosphären erzeugen, was etwa dem Vierfachen des Druckes entspricht, welcher zur Umwandlung von amorphem oder graphitischem Kohlenstoff in Diamant erforderlich ist.

Neben der MAP nutzen die Freiburger Forscher ein zweites Verfahren zur Gene-

rierung extrem hoher Drücke, die Stoßwellentechnik. Eine am FHP eingesetzte Methode zur Erzeugung von Stoßwellen ist der sog. „planar impact“. Mit Sprengstoff wird dabei eine Platte so beschleunigt, dass sie mit einer zweiten Platte zusammenstößt, unterhalb derer sich das Probenmaterial befindet. Die entstehenden Druckwellen wirken zwar nur kurzzeitig, sind aber erheblich höher als beim statischen Pressen. Bei der Entwicklung dieser Explosionstechnik kommt der TU Bergakademie ihr einzigartiges Lehr- und Forschungsbergwerk „Reiche Zeche“ zugute. Dort befinden sich unter Tage die für die Experimente notwendigen Sprengkammern. Weitere Sprengkammern sind an einem An-Institut der TU Bergakademie

Freiberg, der IBEXU GmbH, verfügbar. Erste Vorversuche werden bereits seit Juli 2007 durchgeführt.

Eine weitere Methode zur Herstellung von größeren Probenkörpern aus superharten Werkstoffen ist das Spark-Plasma-Sintering (SPS). Durch kurze Stromstöße lassen sich Materialien sintern, die sonst praktisch nicht verdichtet und zu Bauteilen verarbeitet werden können. Durch die Bereitstellung von zusätzlichen Investitionsmitteln aus der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung konnte die SPS-Anlage bereits direkt nach Gründung des FHP bestellt werden. Dieses innovative Gerät wurde am 28. November 2007 geliefert.

Neben den genannten Synthesenanlagen zur Darstellung von super- und ultraharten Werkstoffen sind zur umfassenden Charakterisierung weitere moderne Großgeräte in das FHP integriert. Im Aufbau befindet sich eine weltweit einmalige Großscher-Apparatur, in der Probenkörper unter sehr großer Last vertikal und gleichzeitig horizontal dynamisch belastet werden können. In Renovierung ist derzeit ein Großbohrstand, mit dem die Hartwerkstoffe bezüglich ihrer Eignung für Bohrköpfe untersucht werden. Typische Gesteinsproben für diese Tests besitzen Abmessungen von ca. 1 m<sup>3</sup>. Daneben ist eine Split-Hopkinson-Anlage im Aufbau, mit der die neuen Werkstoffe unter schlagdynamischer Hochdruckbelastung getestet werden. Darüber hinaus werden an allen beteiligten Instituten weitere Analysegeräte zur Aufklärung der Mik-

rostruktur intensiv für die Forschungsarbeiten im Rahmen des FHP genutzt. Zu nennen sind hier beispielsweise hochauflösende Elektronenmikroskope, Röntgengeräte, Spektrometer und nicht zuletzt Großrechner, mit deren Hilfe die Herstellungsprozesse, Materialstrukturen und Eigenschaften simuliert und vorhergesagt werden können.

Bereits seit 2006 laufen an der TU Freiberg Arbeiten zum Aufbau eines Forschungsschwerpunktes im Bereich Hochdrucktechnik. So gibt es auf diesem Gebiet schon zwei fakultätsübergreifende Projekte, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert werden. Das FHP bündelt und stärkt diese Aktivitäten.

## Teilprojekte

Die für die acht Einzelprojekte konzipierten Themen sowie die im Vordergrund stehenden Werkstoffe wurden gezielt dahingehend ausgewählt, dass industriell relevante neue Materialentwicklungen zu erwarten sind. Bereits in der Vergangenheit haben einige der Hochschullehrer eng mit Industrieunternehmen auf unterschiedlichen Gebieten mit direktem und indirektem Bezug zu Materialeigenschaften und extremen mechanischen Belastungen zusammengearbeitet. Durch folgende Kurztitel und Kurzbeschreibungen lassen sich die Einzelprojekte skizzieren:

### Teilprojekt (TP) 1: Vorhersage neuer Kristallstrukturen (Prof. Kortus)

Durch eine Neuentwicklung von Simulationssoftware sollen neuartige Hochdruckphasen und (Ultra)hartstoffe vorhersagbar werden.

### TP 2: Neue Hartstoffe und Hochdruckphasen (Prof. Kroke)

Nach chemischen Synthesen von geeigneten Ausgangsstoffen werden durch das o.g. MAP-Verfahren neue Hochdruckphasen und (Ultra)hartstoffe erzeugt.

### TP 3: Schockwellensynthese (Prof. Heide)

Mit unterschiedlichen Stoßwellentechniken werden größere Mengen von Hartstoffphasen in Pulverform hergestellt. Diese werden in TP 2 und TP 8 weiterverarbeitet.

### TP 4: Mikro-mechanische Bruchsimulation (Prof. Konietzky)

Das Bruchverhalten von Hartstoffen wird

theoretisch und experimentell in der o.g. Großscheranlage untersucht.

### TP 5: Entwicklung und Praxistest neuer Bohrwerkzeuge (Prof. Reich)

Die Leistungsfähigkeit und Praxistauglichkeit der in den übrigen Teilprojekten entwickelten Werkstoffe wird durch Bohrtests und Analysen verifiziert.

### TP 6: Hochgeschwindigkeitswerkstoffverhalten (Prof. Krüger)

Da bei vielen Hartstoffanwendungen sehr schnelle mechanische Belastungen auftreten, müssen die neuen Werkstoffe entsprechend getestet werden.

### TP 7: Struktur-Eigenschaftskorrelationen (Prof. Rafaja)

Durch Röntgenbeugung und hochauflösende Elektronenmikroskopie werden strukturelle Ursachen für die Härte und für weitere wichtige Eigenschaften untersucht.

### TP 8: Spark-Plasma-Sintering (Prof. Seifert)

Um für TP 5 geeignete Testkörper zu erzeugen und die in TP 3 generierten Edukte sowie weitere Hartstoffe zu verdichten, wird das SPS-Verfahren genutzt.

In jedem der Teilprojekte wird mindestens ein Doktorand an den genannten Themen forschen. Ab September 2008 bearbeiten zehn Doktoranden im Rahmen des FHP diese Fragestellungen. Die Koordination der Forschungsarbeiten und des Aufbaus des FHP wird neben den genannten Hochschullehrern ein besonders qualifizierter, promovierter Wissenschaftler übernehmen (Dr. Marcus Schwarz, Institut für Anorganische Chemie). Er besitzt als Materialwissenschaftler und Hochdruckexperte bei einem Großteil der erwähnten Methoden bereits mehrjährige Erfahrung.

## Organisation der Doktoranden-Ausbildung

Um die Ausbildung der Doktoranden so effektiv und praxisnah wie möglich zu gestalten, sollen folgende Aspekte beim Aufbau des FHP Berücksichtigung finden:

- Die Teilnahme an mindestens einer internationalen Konferenz mit einem eigenen Beitrag ist Voraussetzung für die Promotion.
- International ausgewiesene Kollegen aus dem geplanten Forschungsgebiet sol-

len für kürzere Arbeitsaufenthalte und Blocklehrveranstaltungen eingeladen werden. Durch die Bekanntschaft mit führenden Wissenschaftlern sollen die Doktoranden schon frühzeitig in die Forschungslandschaft eingebunden werden.

- Gemeinsame Kolloquien (Vorträge) und Vernetzung der Institutsseminare.
- Regelmäßige Berichtskolloquien der Doktoranden einmal pro Jahr.
- Sommerschulen unter Einbeziehung kompetenter Gastdozenten.
- Einbindung in die Doktorandenausbildung des SFB „TRIP Matrix Composite“.
- Erarbeiten von kleineren eigenen Projekten ab dem 2. Promotionsjahr durch die Doktoranden.

Strukturierte Promotionsverfahren sollen die üblichen Promotionszeiten reduzieren. In Zusammenarbeit mit dem Betreuer wird ein Arbeitsplan mit Meilensteinen erstellt. Darin werden Termine für Fortschrittsberichte und Vortragstermine festgelegt. Nach einer definierten Einarbeitungsphase, in der vorwiegend Literaturarbeit geleistet wird, beginnt die eigentliche Forschungsarbeit mit einem „Kick-Off-Meeting“. Alle sechs Monate erfolgt durch den Betreuer eine Kontrolle des Arbeitsplanes. Jedes Jahr stellen alle Doktoranden ihre Ergebnisse in Form eines gemeinsamen Berichtskolloquiums vor. Durch stetige Überprüfung und eventuelle Anpassung des Arbeitsplanes wird gesichert, dass Probleme schon frühzeitig erkannt und behoben werden.

Kumulative Promotionen – basierend auf Veröffentlichungen in referierten internationalen Zeitschriften – sollen ermöglicht und gefördert werden. Dies gilt für besonders herausragende Doktoranden, welche dadurch bis zu sechs Monaten Zeitersparnis erzielen können.

## 1. Internationales Kolloquium

Mit Paul S. DeCarli vom Stanford Research Institut (SRI International, Californien, USA), dem Pionier auf dem Gebiet der Schockwellen-Diamantensynthese, hat das Freiburger Hochdruckzentrum in der Woche vom 30. Juni bis 5. Juli 2008 seinen ersten wissenschaftlichen Gast begrüßen dürfen. Am Nachmittag des 1. Juli hielt er im Senatssaal des Universitätshauptgebäudes einen Vortrag mit dem Titel „Diamanten, Meteoriten und der Ursprung des Sonnensystems“, in dem er auf die Bedeutung von Erkenntnissen der Stoßwellenphysik für viele andere Bereiche der Wissenschaften,



Paul de Carli bei seinem begeisternden Vortrag

angefangen von der Synthese superharter Werkstoffe bis hin zur Rolle von Meteoriteneinschlägen und Kollisionen planetarer Körper bei der Entstehung unseres Sonnensystems, einging.

Bereits 1959 hatte er die seinerzeit bahnbrechende Entdeckung gemacht, dass Graphit durch intensive Stoßwellen einer Sprengstoffdetonation teilweise in Diamant umgewandelt wird. Das von ihm daraufhin entwickelte Verfahren zur Explosivsynthese von Diamantpulver findet heute noch kommerzielle Anwendung und wird derzeit in abgewandelter Form für die Schockwellensynthese neuer keramischer Hartstoffe am Hochdruckzentrum erprobt. Am Vormittag vor seinem Vortrag fuhr er mit dem Sprengteam des FHP in das Forschungs- und Lehrbergwerk ein, um die dort im Aufbau befindlichen

Schockwellenexperimente in Augenschein zu nehmen. Höhepunkt war die Zündung einer Versuchssprengung mit 350 g hochbrisantem Explosivstoff zur Erzeugung einer Hochdruck-Keramik. DeCarli zeigte sich erfreut über die Möglichkeiten und wissenschaftlichen Freiheiten, die dem Freiburger Hochdruckforschungszentrum mit seinem Teststand unter Tage zur Verfügung stehen.

Die übrige Zeit der Woche wurde für einen intensiven Gedanken- und Erfahrungsaustausch mit dem Schockwellen-Team sowie mit den Professoren des FHP genutzt. Außerdem war für de Carli, der abgesehen von einem nur wenige Tage dauernden Besuch des Rieskraters bei Nördlingen in den 1990er Jahren Deutschland das letzte Mal in den 1950er Jahren als amerikanischer Soldat betreten hatte, ein kulturelles Rahmenprogramm mit Besuch des Grünen Gewölbes in Dresden sowie eines Orgelkonzertes im Freiburger Dom zusammengestellt worden.

### Langfristige Perspektiven

Hervorzuheben ist, dass bundesweit keine DFG-Sonderforschungsbereiche, Forschungszentren oder Ähnliches existieren, die dem Profil des FHP entsprechen. Insbesondere die Kombination von dynamischen und statischen Hochdrucktechniken mit dem Ziel innovativer Materialentwicklungen ist einzigartig in Deutschland. Während ein Teil der beteiligten Forscher bereits seit mehreren Jahren in den skizzierten Themenbereichen tätig ist, betreten andere Arbeitsgruppen Neuland.

Das FHP soll die Keimzelle für weitere Aktivitäten auf dem Gebiet der Materialforschung bilden. Das Krüger-Kolleg bietet die notwendige Voraussetzung für die von der DFG geforderten Vorleistungen und den Nachweis einer effizienten Vernetzung zwischen den Arbeitsgruppen. Bei erfolgreicher Entwicklung und Ausweitung der Aktivitäten auf weitere Gebiete wie z.B. Hochtemperaturwerkstoffe oder Korrosionsbeständigkeit, erscheint der Ausbau in Form eines Sonderforschungsbereiches mit typischerweise 20 beteiligten Wissenschaftlern realistisch. In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass gerade die Antragsteller als motivierte junge und neu berufene Professoren eine große Chance im beantragten FHP-Krüger-Kolleg sehen, geo- und materialrelevante Fragestellungen interdisziplinär und längerfristig zu bearbeiten.

Um neue Entwicklungen frühzeitig zu schützen und für eine zukünftige (auch finanzielle) Verwertung zu sichern, werden möglichst viele Erfindungen patentrechtlich geschützt. Die teilnehmenden Hochschullehrer haben sich mit privaten Beiträgen an der Stiftung TU Bergakademie Freiberg beteiligt. Außerdem werden alle Möglichkeiten zur ideellen und finanziellen Förderung der Stiftung durch die Mitglieder des FHP ausgeschöpft werden. Ein Anteil der durch die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erworbenen Schutzrechte (vorwiegend Patente) sowie die zukünftig durch deren Verwertung anfallenden Finanzmittel (Erfindervergütung, Lizenzentnahmen, etc.) werden von allen FHP-Beteiligten an die Stiftung abgetreten.

## Charakterisierung von Halbleiter- und Solarmaterialien, produktionsintegrierte Wafer-Charakterisierung

J. R. Niklas und K. Dornich

Der gesamte Bereich der Mikroelektronik gilt inzwischen geradezu als Synonym dessen, was man heute in gutem Neuhochdeutsch als „High-Tech“ bezeichnet. Die Bemühungen in Naturwissenschaften, Ingenieurwissenschaften und Technologien, die erforderlich sind, bis aus einem Haufen Quarzsand schließlich etwa ein Mikroprozessor geworden ist, sind erheb-

lich und erreichen an vielen Stellen die Grenzen dessen, was man zur Zeit „gerade so“ schon beherrscht. Ebenso gewaltig sind die Auswirkungen dieser Entwicklungen in ökonomischer, politischer, sozialer und kultureller Hinsicht. Die Fähigkeiten zu High-Tech werden politisch instrumentalisiert und geradezu als Waffe benutzt im Verteilungskampf der Nationen zu-

mindest um ökonomische Vormachtstellungen. Eine Konsequenz daraus ist der zunehmende Zwang zu Innovation und Optimierung. Wir haben nur die Chance, uns dieser Entwicklung zu stellen und zu versuchen, an der Spitze zu bestehen.

Die Fähigkeit zu High-Tech in der Mikroelektronik mag für jemanden, der fachlich nicht unmittelbar involviert ist, implizit selbstverständlich bedeuten, man hätte die Materie im wissenschaftlichen Sinne auch verstanden. Genau genommen trifft das aber weitgehend nicht zu. Selbstverständlich weiß man genau, welche Eigenschaften („Spezifikationen“) ein fertiges Produkt haben sollte, um auf dem Weltmarkt diesen oder jenen Vorteil zu eringen. Bedenkt man dabei aber, dass es für die Produktion von Spitzenprodukten

unter den „Chips“ bis über 400 teilweise technologisch sehr anspruchsvoller Prozessschritte bedarf, so mag man die Dimension der Aufgabe einer entsprechenden Produktoptimierung ermessen. In der Tat ist man weit davon entfernt, etwa eine umfassende verlässliche Theorie zu besitzen, mit deren Hilfe man einfach berechnen könnte, durch welche Prozessmaßnahmen man welche Eigenschaften eines Produkts erlangen könnte. Optimierung heißt hier nach wie vor schlichtweg „trial and error“.

Neben der Tatsache, dass große Kenntnislücken bei den Zusammenhängen zwischen Produktionsmethoden und fertigen Produkteigenschaften bestehen, gibt es aber noch einen weiteren wichtigen Punkt: Einzelne Prozessschritte sind technologisch so anspruchsvoll, dass man sie einfach nicht absolut sicher beherrscht. Mit anderen Worten, hin und wieder, eher regelmäßig „geht einfach etwas schief“. In der Regel merkt man das erst daran, dass das fertige Produkt in seinen Eigenschaften nicht allen Erwartungen entspricht oder gänzlich nicht funktioniert. Ein bestimmter Prozentsatz der Produktion wird also stets als unverkäuflich entsorgt. Das kann für eine Firma gravierende wirtschaftliche Folgen haben. Der Ausbeute genannte Anteil funktionierender produzierter Elemente gehört zu den bestens gehüteten Geheimnissen eines Betriebes. Selbstverständlich werden größte Anstrengungen unternommen, die Ursachen schlechter Ausbeuten zu ergründen und die Ausbeuten generell zu optimieren. In vielen Fällen findet man solche Ursachen irgendwo in einem nicht optimalen Produktionsschritt, den man dann verbessern kann. Weit unangenehmer für die Produktion, aber für die Grundlagenforschung wesentlich interessanter ist der andere ebenfalls häufige Fall: Ein Chip funktioniert nicht oder nicht gut genug, aber auch bei intensiver Anwendung aller bekannten Methoden ist eine Ursache für das Problem nicht auszumachen. Es kommt dabei durchaus vor, dass so ein Problem quasi über Nacht scheinbar aus dem Nichts hereinbricht. Ist ein plötzlicher Einbruch bei der Ausbeute von relevanter Größenordnung, so kann dies für einen Betrieb schicksalhafte Züge annehmen.

Für Grundlagenforschung und Entwicklung ergeben sich hier große Herausforderungen, aber auch erste Lösungsansätze, die nachfolgend betrachtet werden sollen. Ein paar wesentliche Punkte sollen zunächst hervorgehoben werden:

(1) Erkennt man ein Problem in irgendeinem Prozessschritt erst an der Fehlfunktion des fertigen Produkts, so ist das viel zu spät. In der Zwischenzeit wurden dann größere Mengen weiterer Chips produziert, die alle unbrauchbar sind. Man benötigt eine sofortige Kontrolle eines jeden teilweise prozessierten Wafers so früh wie möglich in der Produktionskette, grundsätzlich nach jedem Prozessschritt unter laufender Produktion („produktionsintegrierte Messungen“, „inline“-Messungen). Das stellt enorme Anforderungen an die Messmethodik. Die Messung muss zudem hinreichend schnell erfolgen, um den Produktionsfluss nicht zu beeinträchtigen. Weiter muss sie selbstverständlich für den Wafer vollkommen zerstörungsfrei sein. Und schließlich soll sie hinreichend aussagekräftige Informationen liefern.

(2) Wenn ein Chip nicht funktioniert, ohne dass man mit bekannten Methoden hierfür eine direkte Ursache finden kann, so ist einerseits das vorhandene Wissen über wesentliche Zusammenhänge offenbar nicht ausreichend und gleichzeitig fehlt es an geeigneten Messverfahren, die notwendigen Untersuchungen durchführen und in Folge auch die Ursachen der Probleme messtechnisch dingfest machen zu können. Hier ist die Grundlagenforschung bis hin zur darauf basierenden technischen Geräteentwicklung hart gefordert.

(3) Will man auch ohne konkreten Notfall die Eigenschaften eines Bauelements durch Optimierung von Prozessschritten verbessern, so ist es eine äußerst kostenträchtige, umständliche und langwierige Prozedur, wenn man den Erfolg solcher Optimierungen erst an den Eigenschaften fertiger Test-Bauelemente beurteilen kann. Das ist aber die gängige Praxis. Viel effizienter wäre es, könnte man einzelne Prozessschritte direkt durch Messungen an dem Wafer unmittelbar nach Durchführung der Prozessierung beurteilen.

Es hat sich gezeigt, dass Lösungsansätze für den zweiten erwähnten Punkt gleichzeitig auch die Aufgaben aus den anderen Punkten lösen können. Daher soll Punkt 2 nachfolgend näher betrachtet werden. Hierzu ist es nötig, einleitend einige Besonderheiten der so genannten Halbleiter näher zu benennen. Alle hier interessierenden Vorgänge in Halbleiter-Bauelementen, seien es nun Mikroprozessoren, Daten-Speicherchips, oder auch Solarzellen, sind letztlich elektrische Vorgänge. Elektrischer Strom wird transpor-

tiert durch bewegte elektrische Ladungen. Wohlbekannt sind in Metallen hier die Elektronen als stromtransportierende Elementarteilchen mit ihrer negativen elektrischen Ladung. Bei Halbleitern besteht demgegenüber die Besonderheit darin, dass neben den Elektronen als Stromtransporteure noch andere Ladungsträger mit positiver elektrischer Ladung beweglich sind und somit elektrischen Strom transportieren können. Diese Gebilde werden aus historischen Gründen Löcher genannt. Hinzu kommt, dass Elektronen und Löcher unter Mitwirkung von Licht und Wärme miteinander vielfältige Reaktionen eingehen können, die letztlich die Funktion der entsprechenden Halbleiter-Bauelemente bestimmen. Hierzu einige Beispiele: Durch Einwirkung von Strahlung können Elektronen und Löcher paarweise erzeugt werden. Dies wird z.B. in Photoelementen und Solarzellen ausgenutzt. Elektronen und Löcher können sich aber auch gegenseitig vernichten, wobei Wärme und Licht entstehen. Hierauf basieren die bekannten Leuchtdioden (LEDs), Laser und in naher Zukunft vielleicht ganze Beleuchtungselemente, die Glühlampen und Leuchtstofflampen ersetzen.

Ohne Fachkenntnisse mag bereits intuitiv klar sein, dass die Eigenschaften der fertigen Halbleiterbauelemente empfindlich davon abhängen, welche Eigenschaften die stromtransportierenden Elektronen und Löcher in dem jeweiligen Material haben. Zunächst kann man die Konzentration von Elektronen und Löchern technologisch gezielt beeinflussen, bekannt als „Dotierung“. Werden nun darüber hinaus für das Bauelement wesentliche zusätzliche Elektronen und Löcher etwa durch Licht erzeugt oder durch Kontakte in das Material eingebracht, so interessieren weitere Punkte: Wie gut beweglich sind die zusätzlich erzeugten Ladungsträger für den Stromtransport („Ladungsträger-Beweglichkeit“)? Wie lange leben einmal erzeugte Ladungsträger-Paare, ehe sie sich gegenseitig vernichten („Ladungsträger-Lebensdauer“)? Wie weit kommen sie voran, ehe sie sterben („Ladungsträger-Diffusionslänge“)? Der Wirkungsgrad von Solarzellen beispielsweise hängt empfindlich von allen genannten Parametern ab. Auf ihrem Weg durch das Material können Ladungsträger der einen oder anderen Sorte zudem an bestimmten Stellen eingefangen und festgehalten werden („Fallen“, „traps“, „trapping“). Die Einfangdauer kann dabei einige Mikrosekunden bis zu Jahrzehnten betragen.

Letzteren Effekt nutzt man zur Informationsspeicherung, etwa bei den bekannten „Speichersticks“. Es ist gesicherter Stand des Wissens, dass alle genannten Eigenschaften der beiden Sorten von Ladungsträgern zunächst durch das Grundmaterial gegeben werden: Ge, Si, GaAs, GaN, usw. Für das jeweilige Grundmaterial wiederum werden die Eigenschaften entscheidend durch Strukturfehler im jeweiligen Material beeinflusst, etwa durch atomare Verunreinigungen. Das ist aber nur ein Beispiel von vielen. In einigen – den „Lehrbuchfällen“ – ist der Zusammenhang zwischen Material, Strukturdefekten und Eigenschaften der Ladungsträger bis teilweise hin zu prinzipiellen Eigenschaften von Bauelementen auch quantitativ aufgeklärt. Gemessen an den Anforderungen der Praxis, wie oben skizziert, ist dieses Wissen aber eher als rudimentär bis unzureichend zu bezeichnen. Erschwerend kommt hinzu, dass Strukturdefekte in den Wafern durch Prozessschritte auch erzeugt oder modifiziert werden können. Details hierzu sind wiederum noch nicht hinreichend erforscht.

Bei der vorliegenden Situation mag es zunächst als hoffnungslos erscheinen, überhaupt zu versuchen, Näheres über Zusammenhänge zwischen Material, Defekten und letztlich Bauelementeigenschaften unter Berücksichtigung von Prozessparametern bei der Produktion erforschen zu wollen. Jüngste Forschungsergebnisse haben jedoch gezeigt, dass sich dies aber nicht so verhält, wenn man über geeignete innovative Messmethoden verfügt. Solche Methoden existierten bisher nicht und mussten neu geschaffen werden. Dies geschah im Institut für Experimentelle Physik an der TU Bergakademie Freiberg, Arbeitsgruppe Niklas, im Rahmen verschiedener Kooperationsprojekte mit der Halbleiterindustrie im Raum Dresden/Freiberg. Kernidee des Messverfahrens ist, dass durch Laserblitz erzeugte Elektronenloch-Paare berührungslos durch Mikrowellenabsorption untersucht werden.

Alle oben erwähnten Eigenschaften der Ladungsträger, wie Lebensdauer, Diffusionslänge, Beweglichkeit und Trappingeffekte lassen sich durch entsprechende Auswertung der Zeitabhängigkeit wie auch der Phasenlage der Mikrowellenabsorption durch teilweise aufwändige numerische Auswerteverfahren erschließen. Das Verfahren funktioniert nebenbei topographisch mit hoher Ortsauflösung, da die Erzeugung der Ladungsträger durch einen sehr kleinen Laser-Spot lokal erfolgt.

Entscheidend war die Erkenntnis, dass die Eigenschaften der Ladungsträger in ihrer Wechselbeziehung zu Bauelement-Daten stark von deren Konzentration abhängen.

Realistische Messergebnisse – oder im genannten Sinne Messinformationen überhaupt – gewinnt man zuweilen nur, wenn die zur Messung verwendete Konzentration der Ladungsträger in der Größenordnung liegt, wie sie bei normalem Betrieb der jeweiligen fertigen Bauelemente auch auftritt. Das führt insbesondere im Bereich der Mikroelektronik bei allen Nebenbedingungen zu exorbitanten Ansprüchen an die Nachweisempfindlichkeit der Apparatur. Erst die Lösung dieser Probleme gab der Aussagefähigkeit der Verfahren einen Durchbruch.

Das Verfahren ist als MDP („microwave detected photoconductivity“) in die Literatur eingegangen. Eine Erweiterung des MDP erlaubt es zudem, topographisch und kontaktlos Informationen über die für die Eigenschaften der Ladungsträger verantwortlichen Strukturdefekte selbst zu erlangen (hier: Energielage und Einfangquerschnitte für Elektronen oder Löcher der Defekte). Es eröffnet sich die Möglichkeit einer orts aufgelösten berührungslosen Defekt-Spektroskopie mit Namen MD-PICTS („microwave detected photo induced current transient spectroscopy“). Dieses Verfahren ist jedoch nicht für produktionsintegrierte Anwendungen, sondern eher für Forschungsanwendungen geeignet.

Die hohe Nachweisempfindlichkeit erlaubt auch schnelle berührungslose topographische Messungen ganzer Wafer im normalen Produktionsdurchlauf („inline“). In der Solarindustrie kann z.B. ein Wafer in weniger als einer Sekunde mit einer speziell dazu optimierten Apparaturversion analysiert werden.

Die anfänglichen Forschungskooperationspartner bekundeten bald Interesse, die verwendeten Apparaturen selbst einzusetzen. Allerdings war die weitere Entwicklung und Produktion der Anlagen innerhalb einer Universität nicht mehr möglich. Dies führte schließlich zu einer Ausgründung als „Freiberg Instruments GmbH“. Den Kooperationspartnern, zugleich Erstkunden der Firma, sowie vor allem auch der Universität sei an dieser Stelle nochmals herzlich gedankt! Erfahrungen dieser Kunden liefern nach wie vor sehr wertvolle Anhaltspunkte für die Weiterentwicklung der Messverfahren.

Hier soll noch kurz auf bisher gewonnene allgemeine Erkenntnisse eingegangen werden, die etliche Überraschungen

gebracht haben:

- So ist erwiesen, dass bislang nicht beachtete, aber jetzt messbare spezielle elektrische Eigenschaften sogar der Ausgangswafer durch alle Prozessschritte hindurch nachvollziehbar auf die Eigenschaften der fertigen Bauelemente einwirken. Anders ausgedrückt: Reagiert ein Bauelement durch seine Eigenschaften sensitiv auf elektrische Materialeigenschaften, so sind diese Eigenschaften auch messbar. Inzwischen ist dies auch am fertigen Bauelement-Chip gelungen.
- Auch kleine Produktionsunpässlichkeiten bei der Herstellung der derzeit hochwertigsten Wafer für die Mikroelektronik (Silicium-300-mm-Scheiben) sind messtechnisch – beinahe „gnadenlos“ – quantitativ erfassbar. Große Versuchsreihen zur jeweiligen Relevanz solcher Misslichkeiten für unterschiedliche Bauelemente und Prozessstrategien stehen noch aus.
- Die unmittelbare Prozesskontrolle durch inline-Messungen an jedem durchlaufenden Wafer ohne Produktionsbeeinträchtigungen ist machbar.
- Eine standardmäßige topographische Messung jedes einzelnen produzierten Wafers liefert in kurzer Zeit „nebenbei“ eine große Menge Datenmaterial. Dessen statistische Auswertung, etwa mit Methoden der Bildverarbeitung, ergibt z.B. überraschend präzise Anhaltspunkte für die Herstellungsoptimierung der Wafer.

Anschließend soll noch ein konkretes Beispiel zu dem Problem „nicht verstandene Fehlfunktion von Bauelementen“ (aus einer Kooperation mit der Fa. ZMD, Dresden) gezeigt werden. In einer Studie wurden Wafer verschiedener Lieferanten in einem normalen Produktionsprozess der Firma zu Fotosensoren verarbeitet. Jeder einzelne Wafer wurde jedoch identisch mit MDP-Messungen über die Prozesskette hinweg verfolgt. Bild 1 zeigt zunächst ein Topogramm mit Diffusionslängen-Kontrast an einem der Originalwafer. Man sieht im rechten Teil des Bildes deutliche Schattierungen mit verminderter Ladungsträger-Diffusionslänge. Dieses Problem des Wafers war offenbar weder dem Lieferanten bewusst, noch hätte normalerweise der Verarbeiter (hier ZMD) etwas davon bemerkt. (Der Lieferant dieses Wafers ist namentlich nicht bekannt).

Bild 2 zeigt ein technisch identisches Topogramm, jedoch hat der Wafer etliche Prozessschritte zur Herstellung der Fotoelemente bereits durchlaufen. Unerwartet ist hier zunächst das ursprüngliche Problem des Wafers erhalten geblieben.

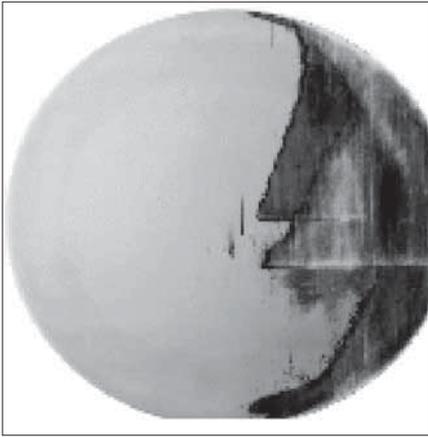


Bild 1: Topogramm der Ladungsträger-Diffusionslänge an einem Eingangswafer für die im Text beschriebene Studie

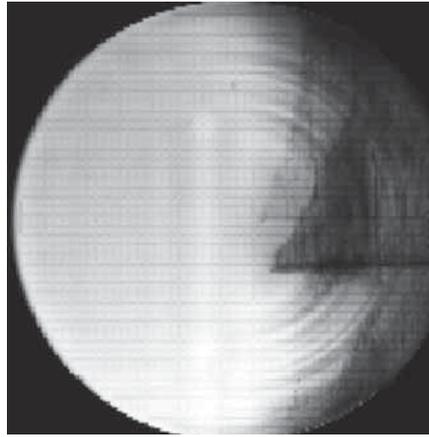


Bild 2: Technisch identisches Topogramm am Wafer aus Bild 1, jedoch hat der Wafer schon einige Prozessschritte zur Produktion von Test-Fotosensoren durchlaufen.

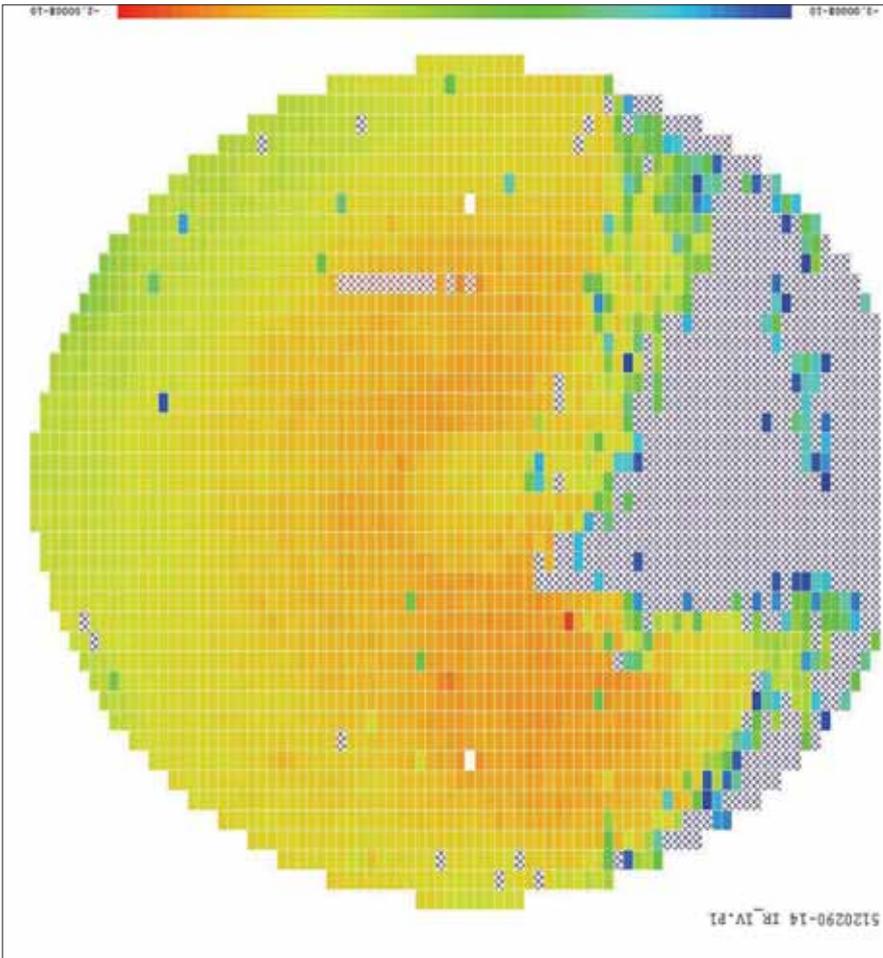


Bild 3: Fertig produzierte Fotosensoren auf dem Wafer. Der Farbkontrast bezeichnet an jeder Zelle gemessene elektrische Daten. Die grauen Zellen sind Ausschuss. Man vergleiche die Topografien der Bilder 1–3.

Die Prozessschritte konnten die Defekte im Material offenbar nicht elektrisch unschädlich machen. Das ist umso überraschender, als der Wafer an dieser Stelle bereits eine Ionenimplantation mit anschließender Temperung durchlaufen hat. Für die Bauelement-Produktion hat der Wafer auch bereits Schritte einer Strukturierung durchlaufen. Erkennbar ist das an den kontrastschwachen kleinen Rechteck-

Strukturen im Topogramm. Die konzentrischen Kreisstrukturen im rechten Teil des Bildes rühren von Instabilitäten bei der Kristallzüchtung des Waferherstellers („Striations“). Man blickt hier messtechnisch „in das Schlafzimmer“ des Waferherstellers. Die teilweise Prozessierung des Wafers hat die Messbarkeit mit MDP offenbar nicht beeinträchtigt. (Inzwischen hat sich ergeben, dass sogar eine Bele-

gung des Wafers mit Metallkontakten auf einem Flächenanteil von über 95 Prozent nicht stört).

Bild 3 zeigt schließlich die fertigen Fotozellen auf dem Wafer, vorläufig also noch nicht vereinzelt. Jedes kleine Rechteck entspricht einem Element. Mit speziellen Kontaktspitzen wurde jede Zelle bei ZMD bezüglich ihrer elektrischen Parameter vermessen. Der gezeigte Farbkontrast entspricht dabei dem jeweiligen Sperrstrom der Elemente unter bestimmten Messbedingungen. Die grau gekennzeichneten Elemente sind Ausschuss. Man vergleiche die Topografie dieses Bildes mit Bild 1. Die Übereinstimmung ist auch ohne eingehende Analyse ziemlich auffällig. Bei genauer Auswertung der Details ergibt sich darüber hinaus, dass man die MDP-Daten des ursprünglichen Wafers bezüglich der Messwerte am fertigen Produkt kalibrieren kann. Etwa in der oberen Mitte von Bild 3 ist eine Linie mit ausgefallenen Sensoren zu sehen, die aber im MDP-Topogramm des ursprünglichen Wafers in Bild 1 nicht angezeigt wird. Hier offenbart ein MDP-Topogramm mit hoher Ortsauflösung nach weiteren Prozessschritten (weiter als bei Bild 2), dass bei diesen Sensoren Kontaktmetall in den Wafer teilweise eindiffundiert ist und dort die Wafereigenschaften lokal verdrängt hat (also ein prozessinduziertes Problem). Das hier gezeigte Problem der nicht funktionierenden Bauelemente hätte man nach herkömmlichem Stand des Wissens und der Technologie als „nicht erklärbar“ eingestuft.

Das Beispiel zeigt auch, dass einerseits der Waferhersteller keiner Produktion von Test-Bauelementen mehr bedarf, um die Qualität seiner Wafer zu optimieren. Andererseits braucht der Bauteilproduzent nicht mehr größere Mengen von Wafern verschiedener Lieferanten durch Pilotserien zu testen, um herauszubekommen, wer die für ihn besten Wafer liefert. Mit entsprechend hochentwickelten Apparaturen sind inzwischen auch Topogramme wie in Bild 1 und 2 in etwa einer Sekunde pro Wafer erhältlich.

Die hier dargestellten Ergebnisse sind nicht ohne weiteres auf beliebige Bauelemente und beliebige Prozessstrategien übertragbar. Man muss vielmehr solche Untersuchungen für jeden Fall spezifisch durchführen. Dennoch zeigen bereits diese Beispiele, welches Potenzial in der dargestellten Methodik einer produktionsintegrierten Wafer-Charakterisierung mit MDP vorhanden sein mag.

# FILK – eine Geschichte von Leder, Plastik, Plasma

Michael Stoll



## Wieso Freiberg

Wieso ausgerechnet in Freiberg das Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen seinen Sitz hat, ist schnell erzählt. Der erzgebirgische Silberbergbau und die nachgelagerte Verhüttung hatten großen Bedarf an dem robusten Naturwerkstoff Leder. Gummi und Kunststoffe waren noch lange nicht bekannt und so war Leder neben Holz, Wolle und Metall einer der wichtigsten Werkstoffe. Kein Zufall also, dass in Freiberg eine große Zahl von Gerbereien existierte, die von hier aus den gesamten mittelsächsischen Raum mit Leder belieferten. Bevölkerungswachstum und industrielle Revolution trieben den Bedarf in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts weiter in die Höhe, und die kleinen Handwerksbetriebe waren diesen Mengen nicht mehr gewachsen. Für den Einsatz von Leder in der Industrie wurden außerdem völlig neue Materialeigenschaften nötig. Eine standardisierte Ausbildung im Gerberhandwerk und eine gezielte Forschung für neue Produktqualitäten und effizientere Gerbverfahren wurden vom „Centralverband der Deutschen Lederindustrie“ gefordert.

Freiberg war ein idealer Standort aufgrund der vorhandenen Infrastruktur, der Konzentration an Gerbereien und Industrie sowie der bestehenden Forschungs- und Lehrkultur an der damals schon über 100 Jahre bestehenden Bergakademie. Und so wurden 1889 an einem der ältesten sächsischen Industriestandorte die erste „Deutsche Gerberschule“ und acht Jahre später die „Deutsche Versuchsanstalt für Lederindustrie“ gegründet.

Die beiden Einrichtungen, bis zu ihrer Vereinigung 1938 zunächst noch eigenständig, entwickelten sich zügig zu den national und international geschätzten „Freiberger Gerberei-Instituten“. Viele Freiberger jedoch verbinden mit den Gebäuden am Meißner Ring, damals wie heute Institutssitz, immer noch den Namen „Deutsches Lederinstitut (DLI)“, so hieß die Forschungs- und Ausbildungsstätte bis in die 1970er Jahre, bevor sie den Namen „Forschungsinstitut für Leder- und Kunstledertechnologie“ erhielt. Auch über

die „Nachwendewirren“ hinweg konnte das heute selbstständige Institut, das seit 2001 den Namen „Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen“ trägt, bestehen. Heute ist die Forschungseinrichtung ein fester Bestandteil des wirtschaftlichen Lebens am Standort Freiberg und beschäftigt mehr als doppelt so viele Mitarbeiter wie noch zur Nachwendezeit.

Die Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Bergakademie Freiberg wurde 1993 mit einer Kooperationsvereinbarung intensiviert. Im selben Jahr erhielt die Forschungseinrichtung auch den Status „An-Institut der TU Bergakademie Freiberg“. Gemäß der Vereinbarung erhielt Prof. Dr. Michael Stoll, Institutsdirektor seit 1993, den Lehrauftrag für die Vorlesung „Polymerwerkstoffe“ als Teilgebiet der Materialwissenschaften. 1996 erfolgte dann seine Berufung zum Honorarprofessor für „Polymerverarbeitung“ an die TU Bergakademie. Seitdem finden in den Gebäuden des Instituts regelmäßig Vorlesungen und Praktika für Studenten der Bergakademie statt – eine schöne und wertvolle Bereicherung für Prof. Stoll und seine Kollegen, hatte man doch nach der Wiedervereinigung sämtliche Lehrtätigkeiten am Institut einstellen müssen. Neben den Lehrveranstaltungen betreuen die Wissenschaftler am FILK immer wieder Diplomanden und Doktoranden der Bergakademie auf ihrem Weg zu ihrem akademischen Abschluss und nicht selten bleibt ein Absolvent dann als wissenschaftlicher Mitarbeiter am FILK.

Im Gegenzug ist die TU Bergakademie Gründungs- und von Beginn an auch Vorstandsmitglied des Fördervereins des Institutes. Mit dessen Gründung wurde 1992 die Privatisierung des Institutes erfolgreich abgeschlossen. Der Verein ist 100%iger Anteilseigner des Institutes und als Mitglied der AiF das wichtigste Instrument, um an der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF), die aus Mitteln des BMWi gefördert wird, teilzunehmen. Deshalb ist eine fachkundige Steuerung der Vereinsaktivitäten durch den Vorstand und so auch die Mitwirkung der Bergakademie, zur Zeit vertreten durch Prof. Dr. Horst Biermann, sehr bedeutungsvoll.



Prof. Dr. Michael Stoll, Institutsdirektor am FILK und Honorarprofessor an der TU Bergakademie Freiberg

## Leder, Plastik und Plasma

### Von der Tradition der Lederforschung

Leder – ein Werkstoff, der so alt ist wie die frühen Hochkulturen der Menschheit. Zusammen mit Holz, Stein und Wolle gehört Leder zu den ältesten vom Menschen genutzten Werkstoffen. Vegetabile Gerbverfahren waren schon im 4. Jahrtausend v. Chr. bei den alten Ägyptern bekannt. Man könnte also meinen, dass die Menschheit im Zeitalter des beginnenden Weltraumtourismus alles über diesen alten Naturwerkstoff weiß. Den Wissenschaftlern am Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen gehen trotzdem nicht die Themen aus.

Obwohl seit den Anfängen der Menschheit für Schutz- und Schmuckerzeugnisse genutzt und in den Grundoperationen seiner Herstellung unverändert, muss sich Leder bisher nicht gekannten Qualitätsanforderungen hinsichtlich Verarbeitbarkeit, Gebrauchswert und Langlebigkeit stellen. Anders als bei technischen Werkstoffen, deren Eigenschaften sich innerhalb der technologischen Grenzen sehr genau einstellen lassen, ist Leder ein Naturwerkstoff, also jede Haut ist ein Unikat mit individuellen Merkmalen. Dennoch steigen die Anforderungen der Verarbeiter und Anwender an dieses Material ständig. Verlässliche, anwendungsspezifische Eigenschaften und gleich bleibende Qualitätsmerkmale sind gewünscht, Werkstoffe nach Maß eben, aber ohne den Verlust der natürlichen Eigenschaften des Leders. Leder wurde zum „High-Tech“-Erzeugnis. Und so wächst der Bedarf an hochwertigen, d. h. fehlerfreien Häuten und an wei-



Gerber Stefan Gütling befüllt ein Gerbfass mit Gare für die Glacé-Gerbung

terentwickelten Produktqualitäten. Aber auch an neuartigen Ergänzungsmaterialien, die in Kombination mit Leder zum Einsatz kommen, wird gearbeitet.

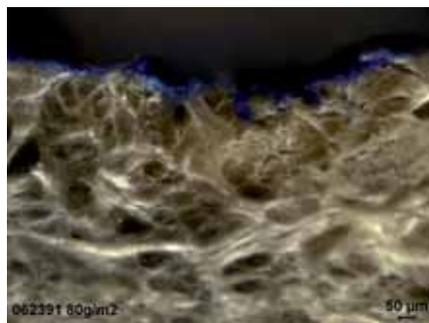
Früher standen u.a. die Entwicklung neuer Rezepturen und Gerbverfahren sowie die Mechanisierung der Prozesse in der Gerberei im Mittelpunkt der Arbeiten am Institut. Hinzu kamen die Entwicklung synthetischer Gerbstoffe, so z. B. die Entwicklung des Chromgerbverfahrens in den 20er und 30er Jahren des letzten Jahrhunderts, und die Entwicklung von analytischen Verfahren zur Untersuchung von Häuten, Ledern und Gerbereihilfsstoffen. Und auch heute noch wird traditionsgemäß in Forschungsprojekten an Teilprozessen der Lederherstellung gearbeitet, werden diese optimiert oder umweltfreundlicher gestaltet.

Immer wieder mal entstehen Kooperationen, die die Restaurierung von historischen Kunst- und Kulturgegenständen aus Leder zum Ziel haben. Letztes Jahr ging beispielsweise ein Projekt zu Ende, im Rahmen dessen ein sehr altes Gerbverfahren, die Glacé-Gerbung, zur Restaurierung von Orgeln wiederbelebt wurde. Aufgefallen war den Orgelbauern, dass die in Orgeln verbauten Leder (für Bälge, Pulpeten etc.) aus jüngerer Zeit sehr viel schneller altern und ihren Dienst versagen als so manches mehrere 100 Jahre alte Leder. Also wurde nach einer Technologie gesucht, die diesen speziellen Orgelledern genau jene Eigenschaften gibt, wie man sie für den Orgelbau benötigt. Und so wurden am FILK mit alten Rezepturen und Verfahren so lange Gerbversuche durchgeführt, bis die Leder für den Orgel-

bau geeignet waren. Bei der Restaurierung der Silbermann-Orgel der Freiburger Petrikirche wurden sie erstmalig verbaut. Für andere Restaurierungsprojekte sollen weitere Kleinchargen dieses Glacé-Leders hergestellt werden.

Ein anderes Restaurierungsprojekt läuft gerade noch: Die Ledertapeten August des Starken im Schloss Moritzburg. Auch hier steht das Problem, dass heutige Gerbverfahren andere Materialeigenschaften erzeugen als damals. Man möchte aber dem ursprünglichen Charakter der reich und kunstvoll verzierten Ledertapeten so nahe wie möglich kommen, und das beginnt nun mal beim Leder selbst.

Mehr und mehr aber rückte über die letzten Jahrzehnte die Charakterisierung, Eigenschaftsbestimmung sowie die gezielte Eigenschaftseinstellung des Naturwerkstoffes in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit. Das Leder muss ganzheitlich erfasst und verstanden werden. Deshalb sind Tribologie, Adsorptionsverhalten, Geruch, Haptik, Schrumpfverhalten oder Oberflächenmodifizierungen von Leder heute Gegenstand aktueller Forschungsprojekte. Vorgänge auf molekularer Ebene müssen im Leder nachvollzogen werden,



Lichtmikroskopaufnahme: Querschnitt eines Leders mit blauer Zurichtschicht

um sein Verhalten in der Herstellung, Verarbeitung und Anwendung zu verstehen und schließlich auch vorher zu sagen.

Im Zuge vieler Arbeiten zu diesen Themen haben sich die Wissenschaftler am FILK ein hohes Materialverständnis erarbeitet. Das spiegelt auch die Fachkompetenz im akkreditierten Prüflabor wider. Vor allem automobiles Interieur und besonders Leder aus der ganzen Welt stehen hier auf dem Prüfstand. Auch die Entwicklung neuer Prüfmethode und die Standardisierung und Harmonisierung von Prüfungen gehören zum Aufgabenbereich der FILK-Mitarbeiter. Dazu bringen sie ihr Fachwissen in den entsprechenden Gremien und Normungsausschüssen, wie z. B. VDA, EN, CEN, engagiert ein.



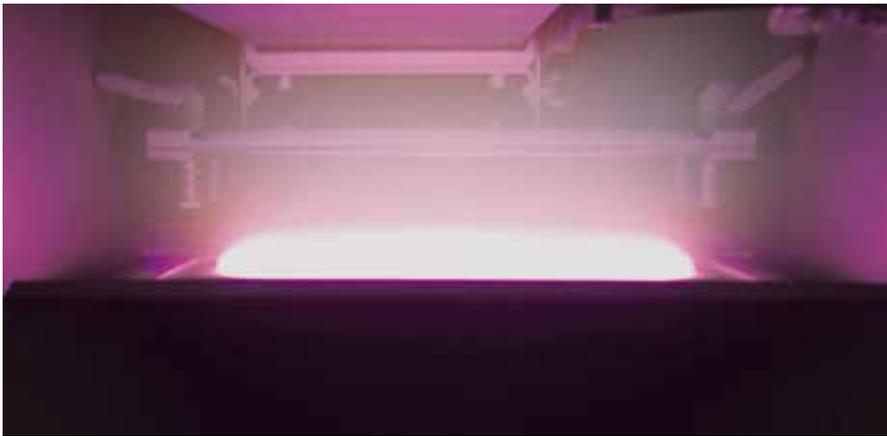
Emissionsuntersuchung: Dr. Bernd Matthes, Absolvent der TU Bergakademie Freiberg

### Zum Rohstoff Kollagen

Wie der Werkstoff Leder unter einer typischen Lederoberfläche aufgebaut ist, damit beschäftigt sich inzwischen ein ganzer Fachbereich am FILK. Kollagen heißt er und ist ein nachwachsender Rohstoff – ein Biopolymer. Tiere und ihre Häute bestehen zu einem hohen Anteil aus Kollagen. Nur wenig von dem, was weltweit an Kollagen heranwächst, wird im Moment durch den Menschen genutzt, außer eben Leder. Und das wollen die Wissenschaftler am FILK ändern. Der komplexe Prozess der Gewinnung und Verarbeitung von tierischem Kollagen für medizinische, pharmazeutische, kosmetische und lebensmitteltechnische Anwendungen steht im Mittelpunkt ihrer Arbeiten. Die Herausforderung besteht vor allem in der Aufbereitung des Materials, da es zum einen nicht unbegrenzt haltbar und zum anderen sehr wärmesensitiv ist. Auf diesem hochspezialisierten Fachgebiet steht das FILK in sehr vielen europäischen und internationalen Kooperationen. Am 11. und 12. September 2008 trafen sich die Experten aus der europäischen Leder- und Kollagenindustrie zum 4. Freiburger Kollagensymposium am FILK.

### Vom Substitut Kunstleder zu Kunststoffbahnen

Der Beginn der industriellen Massenproduktion sorgte dafür, dass man nach Alternativen für herkömmliche Naturwerkstoffe suchen musste. Auch im Falle von Leder begann man mit Beschichtungsversuchen mit Zellulosenitrat. In den 40er Jahren des letzten Jahrhunderts dann setzten PVC und die beginnende Polyurethanchemie zu ihrem weltweiten



Barriereentladung bei Plasmabeschichtung

Siegeszug und dem Beginn einer gezielten Substitution von Leder an. Und so erlangte auch am FILK die Forschung und Entwicklung in der Kunstledertechnologie rasch einen wichtigen Stellenwert. Heute beschäftigen sich die Wissenschaftler mit allen flexiblen und laminaren Werkstoffen und Werkstoffverbunden wie beispielsweise Verpackungen, Fußbodenbeläge und technische Textilien.

#### Plasma und mehr – das FILK heute

Heute beschäftigt das FILK über 90 Mitarbeiter, die ein interdisziplinäres Team aus Chemikern, Biologen, Physikern, Mathematikern und Ingenieuren verschiedener Fachrichtungen bilden. Fachlich gliedert sich das Institut in drei Bereiche.

Im Fachbereich Leder/Biopolymere sind neben dem Leder auch Gerbereiebenenprodukte wie Gelatine und Kollagen bedeutsam. Die Technologieentwicklung für die Herstellung von kollagenhaltigen Produkten sowie ihre thermo- und hydroplastische Verarbeitung sind Gegenstand aktueller Forschungsvorhaben. Auch die Lederveredlung und die Herstellverfahren für Leder sind weiterhin aktuell. Es werden neue Technologien, z. B. umweltfreundlichere Äscherverfahren, entwickelt, Lederoberflächen funktionalisiert und Kleinstmengen an Spezialleder produziert.

Im Fachbereich Kunststoffbahnen stehen Rezepturenentwicklung und Technologieoptimierung bei der Beschichtung von Bahnenware (z. B. Folien, Papiere, Textilien) mit Polymeren im Vordergrund. Mit Schichten, die unter anderem durch Plasmapolymerisation aufgebracht werden, werden Oberflächenfunktionalitäten erzielt, so z. B. antimikrobielle Eigenschaften oder UV-Beständigkeit. Eigenschaftsänderungen, wie beispielsweise eine verbesserte Haftung und hydrophobe Werkstoffeigenschaften, sind durchaus bereits durch eine

Oberflächenmodifizierung, bei der funktionelle Schichten von einigen Nanometern erzeugt werden, erreichbar. Ein noch junges Forschungsgebiet ist die Charakterisierung von Werkstoffoberflächen. Dabei wird versucht, aus physikalischen Messgrößen auf das Materialverhalten, wie beispielsweise haptische Eigenschaften, Knarz-Verhalten oder hautsensorisches Empfinden, zu schließen. Ein weiteres Team befasst sich mit der Substitution von phthalathaltigen Weichmachern in PVC. Hier konnten schon Erfolge verbucht werden. Mit epoxidierten Fettsäureestern, hergestellt aus nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Raps oder Sonnenblumen), können Phthalate ersetzt werden, ohne dass die vorteilhaften Materialeigenschaften von PVC beeinträchtigt werden.

Werkstoffanalysen und -prüfungen werden im Fachbereich Materialcharakterisierung, zu dem auch das akkreditierte Prüflabor gehört, erbracht. Neben klassischen chemischen und physikalischen Tests stehen auch unterschiedlichste Spezialuntersuchungen und Analysemethoden im Dienstleistungsangebot. Zusammen mit dem technologischen Hintergrund aus den anderen Fachbereichen können damit Schadens- und Verfahrensfehleranalysen erstellt und Kunden zusätzlich umfassend beraten werden. Des Weiteren sind die Wissenschaftler am FILK an der Entwicklung neuer Prüfmethoden und Analyseverfahren beteiligt.

Die Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg wurde seit der Kooperationsvereinbarung weiter intensiviert. Ein regelmäßiger Informationsaustausch, u. a. bei Institutskolloquien und Treffen der Vereinsgremien, ist die Basis dafür. Und inzwischen finden zum Teil in den Hörsälen am FILK für die Fakultät Werkstoffwissenschaften und Werkstofftechnologie Lehrveranstaltungen statt. Zur Vorlesung „Polymerwerkstoffe“ kamen 2003 noch „Polymerwerkstoffe II“ und das dazugehörige Praktikum sowie 2005 „Fahrzeugkomponenten I und II (Interieur)“ hinzu. Prof. Stoll und seine Kollegen geben im Rahmen dessen ihr breites Fachwissen über Leder, Plastik und Plasma an die nachwachsenden Generationen weiter.



Schmelzwalzenkalandrier für thermoplastische Beschichtung unterschiedlicher Substrate. Fotos (6): FILK

# Geoforschung in Mittelasien: Fossile Landökosysteme im Wandel

In den letzten Jahren sind Zentral- und Ostasien immer mehr zum Ziel geowissenschaftlicher Forschung der TU Bergakademie Freiberg geworden. Im Rahmen des DFG-Projekts VO1466/1-1, das seit 2006 am Institut für Geologie, Bereich Paläontologie, besteht, erforschen Freiburger Geowissenschaftler und Studenten die Lagerstätte Madygen im abgelegenen Südwesten Kirgisistans. Der geförderte Bodenschatz sind fossile Tiere, Pflanzen und Lebensspuren. Sie zeugen vom Umbruch der kontinentalen Ökosysteme vor mehr als 200 Millionen Jahren.

**Warum Kirgisien?** Die fossilführenden Gesteine der Madygen-Formation stammen aus einer Zeit, für die kaum andere kontinentale Ablagerungsgesteine aus Mittelasien belegt sind. Neben seiner früheren geographischen Lage an einem Kreuzungspunkt verschiedener Faunen- und Florenprovinzen zeichnet sich die Fundstätte Madygen dadurch aus, dass viele Fossilien eine besondere Form der Erhaltung zeigen: Nicht nur die widerstandsfähige Skelettsubstanz, auch Eindrücke des Weichgewebes von Insekten, Fischen und Landwirbeltieren sowie eine artenreiche Flora wurden bisher zu Tage gefördert. Ähnlich brillant wie die gefiederten Dinosaurier Nordostchinas sind Hautstrukturen von Reptilien im Detail erhalten.



Schädel, Halsskelett und Hautabdruck eines kleinen Reptils

**Der Zeitschnitt**, in dem die Gesteine der Madygen-Formation zur Ablagerung kamen, ist evolutionsbiologisch besonders spannend: In der Trias (250 bis 200 Millionen Jahre vor heute) wandelten sich die Lebensgemeinschaften an Land grundlegend. So traten erstmals viele moder-



Grabungsstelle in den Seesedimenten der Madygen-Formation

ne Gruppen der Insekten auf. Vielfältige Fraßspuren an fossilen Blättern belegen, wie sich viele dieser Insektengruppen auf pflanzliche Nahrung spezialisierten. Auch bei den großen Landwirbeltieren nahm der Anteil der Pflanzenfresser zu. Die ältesten Vertreter der Schuppenreptilien, Säugtiere, Krokodile und Dinosaurier sowie der modernen Amphibien sind aus der Triaszeit nachgewiesen, während andere Gruppen wie die säugetierähnlichen Reptilien in ihrer Bedeutung zurückgingen. Eine Fossilagerstätte wie Madygen kann helfen, die Bedingungen und Ursachen des Wandels aufzuklären und ein detaillierteres Bild dieses wichtigen Abschnittes in der Entwicklung hin zu den modernen Landökosystemen zu liefern.

**Das Projekt.** Ziel der derzeitigen Forschung der Freiburger Paläontologen ist ein Modell des Bildungsraumes der Madygen-Ablagerungen. Neben der Bergung und Untersuchung von Fossilien stehen geowissenschaftliche und paläobiologische Fragestellungen im Vordergrund: An welche Bedingungen ist die Anreicherung und besondere Erhaltung von Fossilien geknüpft und wo muss man nach Tier- oder Pflanzenresten einer bestimmten Gruppe suchen? Wie sah der Lebensraum der Madygen-Lebensgemeinschaft aus? Kann man Aussagen zum früheren Relief

und zur räumlichen Beziehung von Ablagerungssystemen wie Flüssen, Deltas und Schuttfächern treffen? Welche Hinweise für die Interaktion zwischen den Lebewesen und der unbelebten Umwelt gibt es? – Dafür können z. B. Spurenfossilien ein wichtiges Indiz sein. So bezeugen Grabspuren in Seesedimenten der Madygen-Formation die Anfänge der Besiedlung des Grundes von Süßwasserseen mit Würmern und Larven. Unterschiedliche Typen von Spuren und Spurengemeinschaften lassen auf eine Zonierung und auf Stadien in der Entwicklung des triaszeitlichen Sees schließen. Ein weiteres Beispiel sind fossile Böden – ähnlich wie bei heutigen Böden können Färbung, Mineralbestand sowie die Art und Form der Wurzeln und Wurzelspuren Hinweise auf die Umweltbedingungen zum Zeitpunkt der Bodenbildung liefern. Mehrmonatige Geländeaufenthalte sind notwendig, um die Gesteine der Madygen-Formation im Detail zu kartieren und ihre Abfolge und Bildungsbedingungen zu verstehen. Hinzu kommen systematische Fossiliengrabungen an aussichtsreichen Stellen. Im Rahmen von Belegarbeiten sind Freiburger Studenten der Geologie/Mineralogie als Kartierer, Dokumentierende und Grabende bei jeder Geländesaison vor Ort beteiligt.



Oase am Madygen-Bach, von Süden aus gesehen

**Die Expedition 2008.** Unterstützt vom Verein Freunde und Förderer der Bergakademie e.V., dem Deutschen Akademischen Austausch Dienst (DAAD) und von der DFG (Projekte VO1466/1-1 und SCHN 408/14-1) begab sich von Juli bis August 2008 erneut eine Gruppe von zehn deutschen Studenten und Wissenschaftlern sowie zwei kirgisischen Studenten der Universität Osh, mit der nun ein Kooperationsvertrag abgeschlossen wurde, auf den Weg nach Madygen. Das kleine Dorf, das für die Fossilagerstätte namensgebend war, liegt an einer Oase, die neben dem Wasser auch Platz für die Errichtung eines Feldlagers bietet. Alle Dinge, die vor Ort für die Arbeit sowie das Überleben notwendig sind, müssen über mehrere hundert Kilometer aus der Großstadt Osh antransportiert werden; beim Rücktransport kommen zusätzlich Gesteinsproben und Fundstücke hinzu.

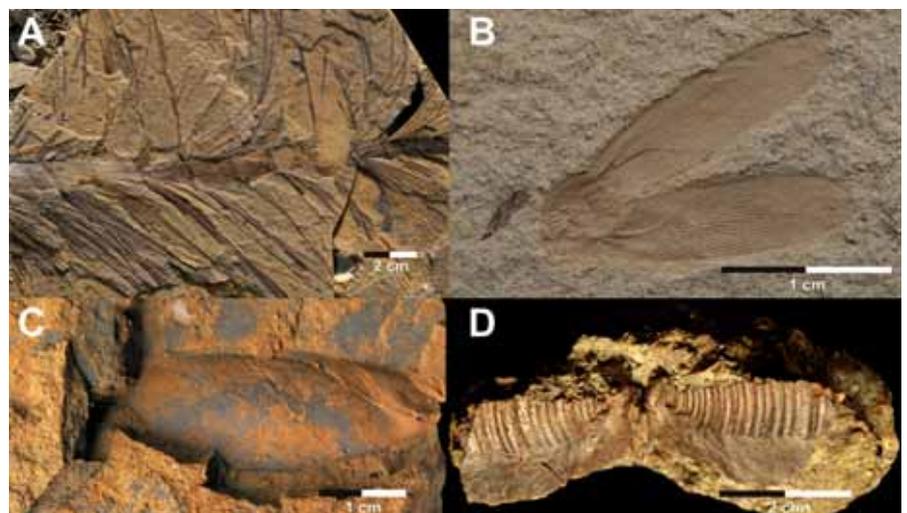
Die große Teilnehmerzahl dieser Geländesaison erlaubt zeitgleich an drei verschiedenen vielversprechenden Fossilfundpunkten paläontologisch zu graben und geologisch zu dokumentieren – zum einen in Seesedimenten, in denen die

Chance der Haut- und Weichkörpererhaltung besonders hoch ist, zum anderen an einer Fundstelle, an der Skeletteile und Einzelknochen in mehreren Lagen besonders konzentriert auftreten. Die dritte Gruppe wird sich eine Fundstelle vornehmen, die bereits mehrere Abdrücke von Eikapseln fossiler Haie hervorgebracht hat. Eine Präparation und wissenschaftliche Analyse der Funde ist im Anschluss an

die Expedition die Aufgabe der beteiligten Forscher und Studenten.

**Insekten, Hai-Eikapseln und Saurier.**

Bereits die jetzigen Funde vermitteln ein detailreiches Bild der Madygen-Lebensgemeinschaft. Vollständige Insekten sowie Flügel von Schaben, Käfern, Zweiflüglern und von riesigen Titanopteriden sind die häufigsten Reste der triassischen Fauna. Sie veranlassten russische Paläobiologen



Madygen-Fossilien: A – Schachtelhalm, B – Schabe, C – Hai-Eikapsel, D – Amphibien-Panzerplatte

in den 1960er Jahren zu den ersten Madygen-Grabungen. Seesedimente beinhalten zudem häufig Spurenfossilien wirbelloser Tieren, verschiedene Knochenfische, Muscheln, Schnecken, Krebstiere sowie in den See eingespülte Reste der ufernahen Vegetation, darunter Blätter, Früchte, Zapfen und Sprossachsenfragmente von Schachtelhalmen. Ein urtümliches Element der Fauna sind verschiedene Süßwasserhaie, welche durch fossile Eikapseln belegt sind. Die Fundumstände zeigen, dass sich ihre Laichplätze am Ufer des Sees oder zuströmender Flüsse befanden.

Durch die Auswertung der Skelettfunde von 2007 hat besonders die Kenntnis über die Landwirbeltiere zugenommen: Waren bisher Reste eines Schwanzlurchs,

zwei unvollständige Exemplare kleiner rätselhafter Reptilien und die Fragmente eines säugetierähnlichen Reptils bekannt, so liegen nun auch Panzerplatten, Knochen und der Schädel eines mardergroßen reptilienartigen Amphibs vor. Dessen ungewöhnlicher Rückenpanzer besteht aus zueinander beweglichen Einzelschilden. Ein Indiz für die zeitliche Einordnung der Madygen-Formation ist der Nachweis sogenannter Herrscherreptilien (Archosaurier), einer zur damaligen Zeit modernen Gruppe, der auch die Dinosaurier und Krokodile angehören. Archosaurier sind ebenfalls seit 2007 durch einen Gliedmaßenfund belegt. Dass im Verlauf der diesjährigen Expedition auch weitaus größere Saurier folgen könnten, legt der

Fund eines über sechs Zentimeter langen Wirbelbruchstücks nahe. Ob sich manche der erwarteten Fossilfunde einstellen, wird neben den Ergebnissen der geologischen Geländeaufnahme den Erfolg der Feldsaison 2008 ausmachen.

■ **Sebastian Voigt, Michael Buchwitz, Jan Fischer**

Autoren: Dr. Sebastian Voigt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Paläontologie des Instituts für Geologie an der TU Bergakademie Freiberg. Als Spezialist für Spurenfossilien und kontinentale Sedimentationsräume leitet er das Freiburger DFG-Projekt VO 1466/1-1 über Madygen. Michael Buchwitz bearbeitet als Freiburger Promotionsstudent die Skelettfunde der letzten Grabungssaison. Jan Fischer befasst sich in seiner Dissertation im Rahmen des DFG-Projekts SCHN 408/14-1 in Freiberg mit fossilen Süßwasserhaien, unter anderem denen von Madygen.

# Kristallzüchtung von Halbleitermaterialien im Weltraum

Olf Pätzold

## 1. Einleitung

Kristallisationsexperimente im Weltraum bieten faszinierende Möglichkeiten für die material-wissenschaftliche Grundlagenforschung. Durch die vernachlässigbare Gravitation<sup>1</sup> können schwerkraftunabhängige Phänomene und deren Auswirkungen auf den Erstarrungsprozess und die Kristallqualität separat untersucht und aufgeklärt werden. Die Arbeitsgruppe Halbleiterwerkstoffe des Instituts für NE-Metallurgie und Reinstoffe ist seit vielen Jahren maßgeblich an der Planung, Vorbereitung und Auswertung von Weltraumexperimenten zur Gradient Freeze-(GF-) bzw. Bridgman-Züchtung von Germanium-Einkristallen beteiligt. Im Zeitraum 1997–2007 wurden auf der russischen Raumstation MIR sowie im Rahmen von unbemannten FOTON-Missionen mehrere Experimente entwickelt, wobei grundlegende Untersuchungen zur thermokapillaren und magnetfeldinduzierten Konvektion und deren Einfluss auf die Verteilung von Dotierstoffen in der Schmelze bzw. im Kristall im Mittelpunkt des Interesses standen. Die entsprechenden Forschungsprojekte wurden in enger Kooperation mit den Firmen

Kayser-Threde und KBOM mit Sitz in München bzw. Moskau sowie mit dem Kristallographischen Institut der Universität Freiburg/Br. bearbeitet und vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) finanziell gefördert. Die Finanzierung der eigentlichen Weltraummissionen erfolgte durch die europäische Raumfahrtbehörde ESA. In diesem Artikel werden nach einer kurzen Einführung zu den betrachteten Züchtungsverfahren einige wesentliche Resultate der Weltraumexperimente am Beispiel von Untersuchungen zur Dotierung über die Gasphase sowie zum Einfluss eines rotierenden Magnetfeldes (RMF) unter Mikrogravitation vorgestellt und näher erläutert.

## 2. Experimentelles

Grundsätzliches zum GF- und Bridgman-Prozess: Hierbei handelt es sich um zwei sich ähnelnde Technologien zur Züchtung von einkristallinen Halbleitern. Die Prozessierung des Ausgangsmaterials, von dem mindestens ein Teil als einkristalliner Keim vorliegt, erfolgt dabei in Öfen mit mehreren Heizzonen, um die variable Einstellung von Temperaturprofilen entlang der Ofenachse zu ermöglichen. Der typische Züchtungsprozess kann in mehrere Phasen unterteilt werden. Während des Aufheizens werden das Ausgangsmaterial und ein Teil des Keims geschmolzen. Das erreichte Temperaturprofil wird während

der Homogenisierungsphase aufrecht erhalten, um eine gleichmäßige Durchmischung der Schmelze mit Fremdelementen zu erreichen. Daran schließt sich der eigentliche Erstarrungsprozess an, wobei die gerichtete Kristallisation, ausgehend vom einkristallinen Keim entweder durch die elektronisch geregelte Absenkung des äußeren Temperaturfeldes (GF-Technologie) oder durch die mechanische Bewegung des Ausgangsmaterials relativ zum fest eingestellten Temperaturprofil des Ofens (Bridgman-Technologie), erreicht wird. Die Phasengrenze fest-flüssig verschiebt sich dabei mit einer durch die Prozess- und Materialparameter festgelegten Wachstumsgeschwindigkeit in axialer Richtung. Die Kristallorientierung wird durch den Keim und die Form des wachsenden Kristalls durch den Züchtungstiegel vorgegeben.

GF-Züchtungsexperimente mit Dotierung über die Gasphase: In Abbildung 1 ist die für die Experimente zur GF-Züchtung von Zn-dotiertem Germanium (Ge:Zn) mit Dotierung über die Gasphase entwickelte Züchtungsampulle zusammen mit den prinzipiellen Temperatur- und Prozessregimes dargestellt. Die wichtigste Zielstellung bei diesem Versuch war die Untersuchung der Verteilung von Dotierstoffen in der Schmelze bei vernachlässigbarer schwerkraftgetriebener Auftriebskonvektion. Als Ausgangsmaterial dienten in diesem Fall zylindrische, undotierte Ge-Einkristalle mit einem Durchmesser von 6 mm. In der Aufheizphase wurden die Kristalle teilweise geschmolzen. Der verbleibende feste Teil diente als Keim für die nachfolgende gerichtete Erstarrung. Für die Dotierung der Schmelze wurde

1 Die Restgravitation in einer stationären Erdumlaufbahn beträgt ca.  $10^{-6}g$ . Die unter diesen Bedingungen durchgeführten Experimente werden deshalb häufig als Experimente unter Mikrogravitation bzw. kurz als  $\mu g$ -Experimente bezeichnet.

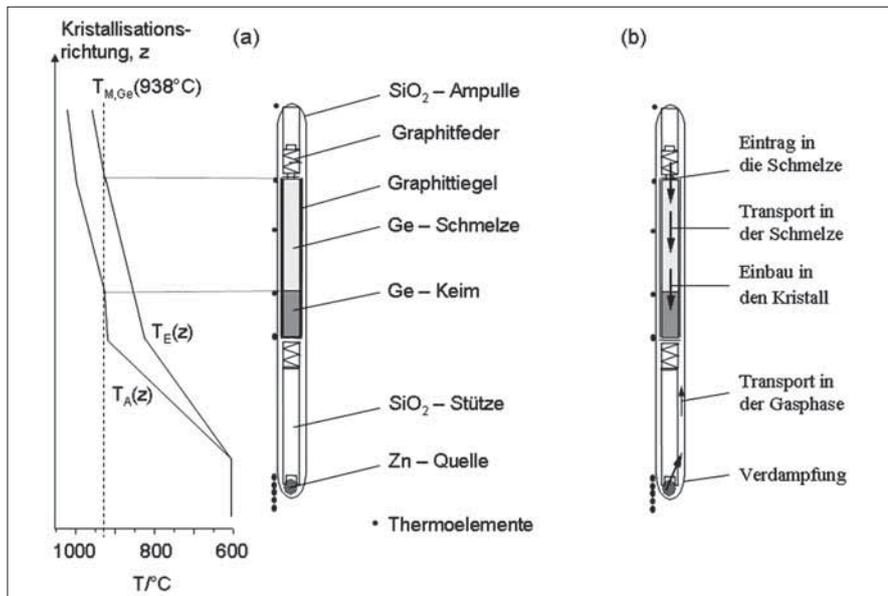


Abb. 1: (a) Skizze der Züchtungsampulle sowie der Temperaturprofile ( $T_A(z)/T_E(z)$  – Temperaturverlauf zu Beginn/am Ende des GF-Prozesses) für das Experiment zur Gasphasendotierung. (b) Schematische Darstellung der während der Züchtung zu erwartenden Prozesse.

das Zink in einer separaten Dampfdruckquelle innerhalb der evakuierten Ampulle verdampft. Die Parameter der Heizer wurden dabei so gewählt, dass im Bereich der Zn-Quelle während des gesamten Prozesses eine annähernd konstante Temperatur aufrecht erhalten wurde, woraus ein konstanter Partialdruck in der Ampulle resultierte. Weiterhin war im Bereich der Schmelzoberfläche der ständige Kontakt zwischen der Zn-Atmosphäre und der Ge-Schmelze gewährleistet, so dass ein effektiver Eintrag des Zinks in das Germanium erfolgen konnte. Die in Abbildung 1 dargestellten Federn dienen der Kompensation der Längenänderung der Systems Kristall – Schmelze, die aufgrund der Dichteunterschiede zwischen festem und flüssigem Germanium im Prozessverlauf unvermeidlich auftreten.

Bridgman-Züchtungsexperimente mit rotierendem Magnetfeld: Abbildung 2 zeigt ein Photo sowie das Schema der Züchtungsampulle für die Experimente zur Bridgman-Züchtung mit RMF. Dabei lag der Fokus auf Untersuchungen zur Magnetfeldbeeinflussung der Strömung und des Dotierstofftransportes in der Schmelze unter  $\mu\text{g}$ -Bedingungen. Als Ausgangsmaterial wurden diesmal Ga-dotierte Ge-Einkristalle mit einem Durchmesser von 16mm verwendet, die wiederum teilweise aufgeschmolzen und anschließend erneut gerichtet erstarrt wurden. Durch die Vordotierung mit Gallium erübrigte sich der Einsatz einer Dampfdruckquelle. Zur Vermeidung einer freien Schmelzoberfläche und der damit verbundenen

thermokatillaren Konvektion wurde eine spezielle Graphitabdeckung entwickelt (Abb. 2). Zusammen mit einer Feder ermöglichte diese Abdeckung wiederum den Ausgleich der Ausdehnung des Kristalls bzw. der Schmelze während der Züchtung. Parameter und Abmessungen von Feder und Abdeckung wurden in diesem Fall jedoch gezielt so gewählt, dass in der ersten Phase der gerichteten Kristallisation keine vollständige Kompensation der Längenänderung erfolgte. Aufgrund des fehlenden hydrostatischen Drucks bei der Züchtung unter Schwerelosigkeit kann sich die Schmelze unter diesen Bedingungen von der seitlichen Tiegelwand ablösen, so dass der Kristall anfangs ohne Tiegelkontakt erstarrt.

Abschließend zu diesem Abschnitt sei erwähnt, dass für jedes Weltraumexperiment jeweils umfangreiche und systematische Untersuchungen unter terrestrischen Bedingungen erforderlich waren. Diese Arbeiten umfassten die Entwicklung und Qualifizierung der Züchtungskonfigurationen, die Festlegung und Verifizierung der Prozessparameter sowie die Durchführung von Referenzexperimenten zur Abschätzung der zu erwartenden Effekte und zum Vergleich der Ergebnisse.

### 3. Resultate und Diskussion

GF-Züchtungsexperimente mit Dotierung über die Gasphase: In Abbildung 3 ist der im Weltraum gezüchtete Kristall gezeigt. Die elektrische Charakterisierung lieferte einen im Vergleich zum undotierten Keim drastischen Abfall des spezifischen Wider-

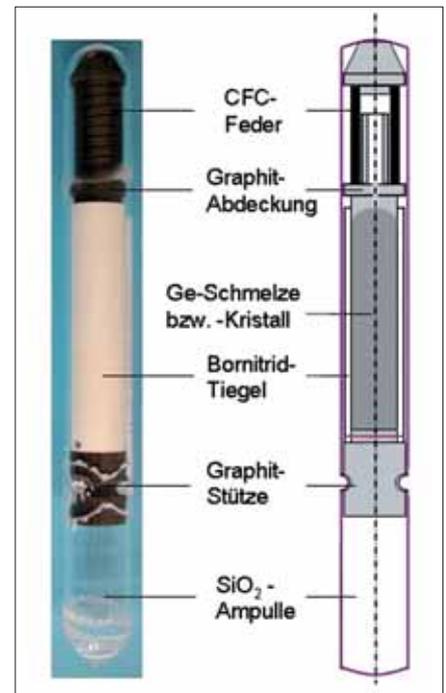


Abb. 2: Foto sowie Schnittbild der Züchtungsampulle für das Experiment zur Bridgman-Züchtung mit rotierendem Magnetfeld

standes im erstarrten Teil der Probe (vgl. Abb. 3b), was auf eine deutlich erhöhte Ladungsträgerkonzentration als Folge der Dotierung mit Zn schließen lässt. Ein ähnliches Resultat wurde auch bei den Referenzexperimenten beobachtet. Die gemessene Ladungsträgerkonzentration entspricht dabei bereits am Ankeimpunkt annähernd dem Gleichgewichtswert, der sich unter Vernachlässigung von reaktions- und transportkinetischen Effekten allein aus thermodynamischen Überlegungen ergibt. Offensichtlich war auch unter  $\mu\text{g}$ -Bedingungen eine nahezu vollständige Durchmischung des über die Oberfläche eingetragenen Zinks in der Schmelze gegeben. Dieses sehr interessante Resultat deutete darauf hin, dass schwerkraftunabhängige Strömungsphänomene bei der GF-Züchtung einen viel stärkeren Einfluss haben könnten, als bis dato angenommen. Für eine Erklärung kam vor allem die thermokatillare Konvektion an freien Schmelzoberflächen in Frage, die durch die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung hervorgerufen wird. Tatsächlich zeigte eine genaue Inspektion der Kristalloberfläche, dass nicht nur am Ende des Kristalls sondern aufgrund einer teilweisen Erstarrung ohne Tiegelkontakt auch auf dem Zylindermantel ausgedehnte freie Oberflächen existierten (vgl. Abb. 3c). Durch numerische Rechnungen konnte schließlich nachgewiesen werden, dass der im Experiment beobachtete Effekt

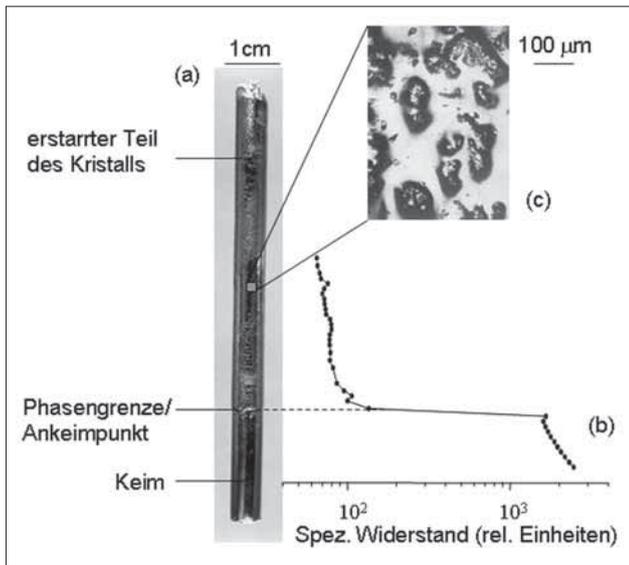


Abb. 3: (a) Foto des beim Experiment zur Gasphasendotierung unter  $\mu\text{g}$ -Bedingungen gezüchteten Kristalls. (b) Verlauf des spezifischen Widerstandes im Bereich des Keims und im sich anschließenden erstarrten Bereich des Kristalls. (c) Vergrößerter Ausschnitt von der Kristalloberfläche. Die hellen, glatten Gebiete sind charakteristisch für die Erstarrung ohne Tiegelkontakt.

einer vollständig durchmischten Schmelze durch die Berücksichtigung der thermokapillaren Konvektion in diesen Bereichen erklärt werden kann.

Bridgman-Züchtungsexperimente mit rotierendem Magnetfeld (RIUF): In Abbildung 4 sind der  $\mu\text{g}$ -Kristall und der mit identischen thermischen und RMF-Parametern gezüchtete Referenzkristall gegenübergestellt. Deutlich sichtbar ist die Einschnürung des Weltraumkristalls zu Beginn der Erstarrung aufgrund der bereits erwähnten unvollständigen Kompensation der Längenausdehnung. Durch den fehlenden Tiegelkontakt ist im Bereich der seitlichen Oberfläche mit einer ausgeprägten thermokapillaren Konvektion in der Schmelze zu rechnen. Wegen des hydrostatischen Druckes wird die Schmelze unter terrestrischen Bedingungen dagegen stets gegen die Tiegelwand gedrückt, so dass beim Referenzkristall keine Einschnürung auftritt. Das rotierende Feld, das primär eine gleichgerichtete Rotationsbewegung der Schmelze induziert, wurde in beiden Experimenten zu Beginn der Erstarrung für 1,5 h zugeschaltet. Die gewählte Feldstärke lag dabei oberhalb des kritischen Wertes für den Übergang von einer laminaren zu einer zeitabhängigen induzierten Strömung in der Schmelze. Eine zeitabhängige Strömung ist mit Fluktuationen der Wachstumsgeschwindigkeit verbunden, die sich wiederum auf den Einbau von Fremdelementen in den Kristall auswirken. Unter diesen Bedingungen erhält man daher eine schwankende Dotierstoffkonzentration, die sich auf geätzten Kristallscheiben als typisches Streifenmuster, so genannte Dotierstoffstreifen oder Striations, eindeutig nachweisen lässt. In Abbildung 4 sind

die in den Kristallen gefundenen Striations jeweils schematisch angedeutet. Erwartungsgemäß erzeugt die RMF-induzierte Strömung bei der Züchtung unter Schwerkräfteinfluss deutliche Dotierstoffstreifen. Das Verschwinden der Streifen nach dem Ausschalten des Feldes weist auf eine stationäre Auftriebströmung in der Schmelze hin. Beim  $\mu\text{g}$ -Kristall liegt eine komplett andere Situation vor. Deutliche Striations existieren nur nach dem Ausschalten des RMF, solange das Kristallwachstum ohne Tiegelkontakt erfolgt. Daraus kann zunächst auf eine instationäre thermokapillare Konvektion geschlossen werden. Unter Magnetfeldeinfluss, d.h. bei überlagerter thermokapillarer und elektromagnetischer Strömung sind die Streifen dagegen nur sehr schwach ausgeprägt. Das ist ein klares Indiz für die stabilisierende Wirkung der RMF-induzierten, azimuthalen Strömung auf eine instationäre Schmelze.

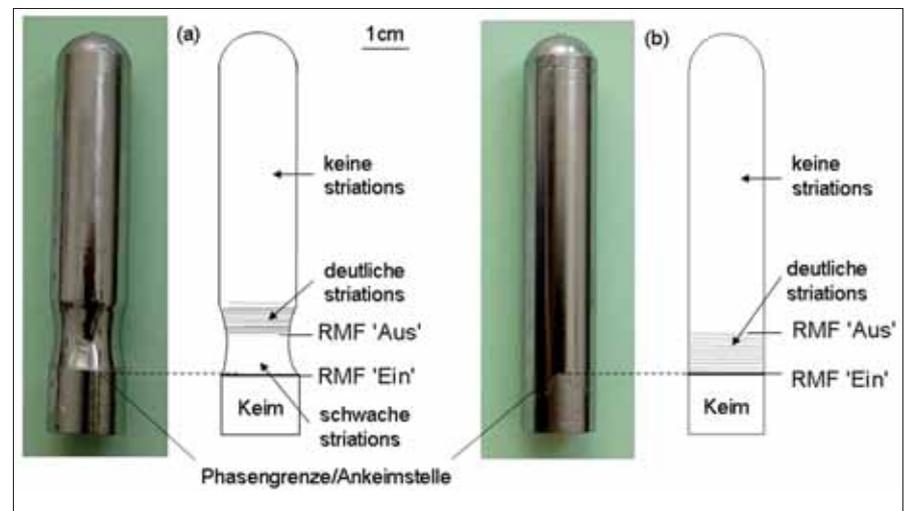


Abb. 4: (a)  $\mu\text{g}$ -Kristall und (b) 1g-Referenzkristall der Experimente zur Bridgman-Züchtung mit RMF. Rechts daneben sind jeweils Längsscheiben der Kristalle mit angedeuteten Dotierstoffstreifen skizziert.

Die erzielten Ergebnisse verdeutlichen die unterschiedlichen Effekte, die ein RMF bei der Kristallzüchtung hervorrufen kann. Unter nominal laminaren Strömungsbedingungen können durch ein Magnetfeld mit hoher Feldstärke Geschwindigkeitsfluktuationen in der Schmelze induziert werden, die mit aus Sicht des Kristallzüchters unerwünschten Schwankungen der Dotierstoffkonzentration verbunden sind.

Wird das Magnetfeld dagegen auf eine instationäre Schmelze angewendet, bewirkt es eine Stabilisierung der zeitabhängigen Strömung mit einer deutlichen verringerten Schwankungsamplitude der Strömungsgeschwindigkeit und einer entsprechend homogeneren Dotierstoffkonzentration im Kristall. Daraus folgt, dass die Magnetfeldparameter für die Erzielung optimaler Resultate bei der Bridgman-Züchtung mit RMF sorgfältig auf die konkrete technologische Situation abgestimmt werden müssen.

#### 4. Zusammenfassung

Es wurden zwei Weltraumexperimente vorgestellt, um die Bedeutung der Kristallzüchtung unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit zu veranschaulichen. Anhand von Resultaten zur Gasphasendotierung und zur Bridgman-RMF-Züchtung wurde erläutert, wie diese Experimente zu einem grundlegenden Verständnis von züchtungsrelevanten Phänomenen beitragen. In den dargestellten Beispielen betrifft das konkret die Rolle der thermokapillaren Konvektion beim GF-Prozess sowie den Einfluss eines rotierenden Feldes auf die Schmelzströmung und die Verteilung von Dotierstoffen im Kristall bei der Bridgman-Züchtung.

# Technomathematik an der TU Hanoi

Wolfgang Spröbig

## Technomathematik als modernes integratives Studienprogramm

Die rasante Entwicklung der Computertechnik macht es heute möglich, kostspielige technische Experimente durch mathematische Modelle und Algorithmen (durch Gleichungen definiert) abzulösen. So können Real-Life-Probleme von ingenieurwissenschaftlich-mathematischer Grundlage aus bearbeitet werden. Technomathematik ist nun gerade ein Studienprogramm, welches den Dialog zwischen Mathematikern, Ingenieuren und Naturwissenschaftlern sucht und dadurch Eigenschaften und Fähigkeiten der Studierenden befördert, praktische Aufgabenstellungen in Angriff zu nehmen. Technomathematik unterscheidet sich vom üblichen Studiengang Mathematik dadurch, dass zusätzlich zwei Nebenfächer studiert werden, nämlich ein technisches Fach und Angewandte Informatik. Auf Empfehlung der GAMM (Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik) sollen 60% Mathematik, 20% Informatik und 20% angewandtes (technisches) Fach studiert werden. Dieser Studiengang wurde auf Initiative und unter wesentlicher Einflussnahme von Prof. Dr. Helmut Neunzert an der Universität Kaiserslautern im Jahre 1980 eingeführt.

Anfangs setzte sich der mitunter als Schmalspurnmathematik abgewertete Studiengang nur zögernd an einigen wenigen Universitäten, wie z. B. in Karlsruhe, Clausthal-Zellerfeld und Aachen, durch. Ich hatte Gelegenheit, im Mai 1992 an einer der ersten Diskussionsrunden zur Entwicklung des Studienganges „Technomathematik“ im deutschsprachigen Raum in St. Wolfgang (Österreich) teilzunehmen. Unter der Leitung von o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Heinz-W. Engl (Linz) wurde dort unter anderem mit Prof. H. Neunzert (Universität Kaiserslautern), Prof. U. Mertins (TU Clausthal), Prof. G. Jank (RWTH Aachen), Prof. E. Martensen (Universität Karlsruhe [TH]), Prof. M. Weber (TU Dresden), Prof. V. Friedrich (TU Chemnitz) das Studienprogramm präzisiert und weiterentwickelt. Auf dieser Basis entstand auch der Studiengang „Angewandte Mathematik“ an der TU Freiberg (der Name Technomathematik

wurde seinerzeit aus taktischen Gründen in Freiberg nicht gewählt, da Technomathematik zur gleichen Zeit bereits in Chemnitz und Dresden eingeführt wurde). Das Europäische Konsortium für Mathematik in der Industrie (ECMI) machte den Studiengang international bekannt und ergänzte ihn durch das so genannte Leonardo-Programm, das Studenten Praktika in europäischen Großunternehmen ermöglicht. Heute kann Technomathematik an nahezu 50 europäischen Universitäten studiert werden.

## Langjährige fruchtbare Beziehungen zur TU Hanoi

Zwar gibt es erst seit 1996 zwischen der Hanoi University of Technology (HUT) und der TU Bergakademie Freiberg ein Universitäts-Partnerschaftsabkommen, die wissenschaftlichen Beziehungen zwischen Vietnam und der TU Freiberg bestehen jedoch bereits viel länger. So weilten die ersten vietnamesischen Studenten schon 1960 an unserer Universität. Viele dieser ehemaligen Studenten bekleiden heute in der vietnamesischen Gesellschaft Schlüsselpositionen. In den Jahren 1997–2001 wurden insbesondere auf den Gebieten der Silikatechnik und der Metallurgie intensive Beziehungen gepflegt. So führte das Freiburger Institut für Gießereitechnik an der TU Hanoi Weiterbildungskurse zu Modellierungsproblemen durch. Schon viele Jahre gibt es zwischen dem Institut für Angewandte Analysis unserer Universität und Prof. Dr. Le Hung Son (Institut für Angewandte Mathematik an der TU Hanoi) einen regen wissenschaftlichen Gedankenaustausch zu speziellen Fragen der Clifford-Analysis. Er ist einer von insgesamt vier (!) Mathematikprofessoren an der TU Hanoi. Da Prof. Dr. Schaeben (Lehrstuhl für Mathematische Geologie und Geoinformatik) im Herbst 2002 im Rahmen eines Wissenschaftlerausstausches DAAD-NCST am Institut für Angewandte Mathematik an der TU Hanoi eine Vortragsserie hielt, wurde die Idee geboren, gemeinsam einen Masterstudiengang Technomathematik an der HUT einzurichten.

## Ein Studiengang zum Nutzen des Landes

Die Sozialistische Republik Vietnam mit ihren knapp 86 Millionen Einwohnern ist nach wie vor ein relativ armes Land. Aber seit umfassenden ökonomischen Reformen mit marktwirtschaftlichen Elementen nach dem 6. Parteitag 1986 ist Vietnam ein Land im Aufbruch. Die jährlichen Zuwachsraten von 7% bis 8% der Industrieproduktion sind internationale Spitzenwerte. Heute ist Vietnam bereits der drittgrößte südostasiatische Ölproduzent, die High-Tech-Industrie des Landes wächst kontinuierlich. Der prozentuale Anteil derer, die weniger als einen Dollar pro Tag zur Verfügung haben, liegt nunmehr niedriger als in China, Indien und den Philippinen. 2007 wurde Vietnam in die Welthandelsorganisation aufgenommen und ist seit diesem Jahr Nichtständiges Mitglied des Sicherheitsrates der Vereinten Nationen.

Die Nachfrage nach „Angewandten Mathematikern“ wächst ständig. Wie uns Prof. Le Hung Son mitteilte, werden jährlich bis zu 10.000 so ausgebildete Mathematiker benötigt. Insbesondere sind Absolventen des Studienganges Technomathematik entsprechend ihrer Ausbildung in der Lage, den Anforderungen aus den Bereichen der Erdölindustrie, der Wasserwirtschaft, der Geologie, der Meteorologie sowie der Landesentwicklung gerecht zu werden. Um dem besonderen Bedarf der vietnamesischen Erdölindustrie Genüge zu tun, werden neben den bereits integrierten Anwendungsfächern, wie Elektrotechnik, Maschinenbau und Materialwirtschaft, auch geowissenschaftliche Anwendungen der Mathematik aufgenommen und damit das Studienprogramm Technomathematik selbst weiterentwickelt.

## Ausgangssituation 2004

An der TU Hanoi sind etwa 9.000 Studenten eingeschrieben. Diese doch recht bemerkenswerte Anzahl reicht nicht annähernd aus, um dem gewachsenen Bedarf gerecht zu werden. Neben dem Masterstudiengang Technomathematik gibt es noch zwei weitere anwendungsorientierte Masterprogramme im Fachbereich Mathematik: „Mathematical foundations for computers and computing systems“ und „Applied Mathematics“. Der erste Studiengang hat den Schwerpunkt Informatik; in „Applied Mathematics“ mit dem Schwerpunkt Optimierung stehen besonders



Eröffnungs-  
veranstaltung.  
Im Hintergrund:  
Herr Ehmann,  
Prof. Gürlebeck,  
Prof. Schaeben,  
Frau Löttsch, vorn  
u. a. Frau Melzer

wirtschaftswissenschaftliche Fragen im Vordergrund; also besteht keine wesentliche Konkurrenz zur Technomathematik. Während die ingenieurwissenschaftlichen Anwendungsfächer von der HUT selbst angeboten werden können, verfügt die TU Bergakademie Freiberg über die nötige Kompetenz auf dem Gebiet der Geowissenschaften und der entsprechenden mathematischen Modellierung (Prof. Dr. Schaeben, Prof. Dr. Merkel). Das Profil der Angewandten Analysis entspricht den Vorstellungen unserer vietnamesischen Partner, d.h. neben mehrdimensionalen funktionen-theoretischen Methoden (Prof. Dr. Sprößig, Priv. Doz. Dr. Bernstein) spielen besonders partielle Differentialgleichungen sowie deren Anfangs- und Randwertprobleme eine wichtige Rolle. Für numerische Verfahren in Zusammenhang mit dynamischen Systemen konnte Prof. Dr. K. Gürlebeck von der Bauhaus-Universität Weimar gewonnen werden. Die mehrdimensionale Funktionentheorie wurde im ersten Kurs von Prof. Dr. Sprößig und im zweiten von Frau Priv. Doz. Dr. S. Bernstein gehalten.

Die bereits bestehenden Masterprogramme bauen auf dem 6-semesterigen Bachelor-Studiengang Applied Mathematics auf. Die sehr breit angelegte Grundausbildung in Mathematik, Naturwissenschaften und Informatik bietet ideale Voraussetzungen für unser Masterprogramm Technomathematik. Der Bachelor-Studiengang entspricht bei Berücksichtigung der nur in Deutschland unterrichteten Fächer 170–180 Kreditpunkten, ist also absolut vergleichbar. Für das 4-semesterige Masterprogramm werden 120 Kreditpunkte vergeben, also 30 Punkte

pro Semester. Jeder Kurs endet mit einem Testat. Die Lehrveranstaltungen sind in fünf Module gegliedert, die jeweils mit einer Prüfung abgeschlossen werden. Die Betreuung der Master Thesis kann sowohl in Hanoi als auch in Freiberg erfolgen. Jede bestandene Prüfung bringt zwei Kreditpunkte. Die Master Thesis wird mit 24 Punkten gewertet.

### **Konzeptionelles und Organisatorisches**

Nach dieser Bestandsaufnahme konnte man nun an die Umsetzung denken. Dazu fand eine ganze Reihe von Beratungen statt, an denen neben mir Prof. Dr. Schaeben, Prof. Dr. Reissig und die Direktorin des Internationalen Universitätszentrums, Frau K. Polanski, teilnahmen. Prof. Le Hung Son weilte im Oktober 2003 zu vorbereitenden Konsultationen in Freiberg. Ein Entwurf eines entsprechenden Curriculums zur Technomathematik in Hanoi wurde erstellt und ein gemeinsamer Antrag an den DAAD formuliert, der am 10. November 2004 vom DAAD zunächst für die Jahre 2005 und 2006 genehmigt wurde. Wir hatten für jede Jahresscheibe, wie bei allen Verträgen zu fachbezogenen Partnerschaften mit Hochschulen in Entwicklungsländern, ein Finanzvolumen von etwa 14.000 Euro zur Verfügung. Eine Verlängerung für die Jahre 2007 und 2008 wurde in Aussicht gestellt. Die konkreten Vorbereitungen konnten beginnen. Insbesondere möchte ich hier die umfangreiche konzeptionelle Arbeit von Frau Polanski hervorheben. Kulturelle Unterschiede, sehr verschiedenartige Lebensstrategien

und unterschiedliche politische Systeme spiegelten sich in den Auffassungen und Handlungen beider Vertragspartner wider. Es dauerte schon geraume Zeit bis wir eine handlungsfähige Homogenität erreicht hatten.

Die Lehrveranstaltungen bestehen aus Vorlesungen (2 SWS) mit Übungen (2 SWS). Sie werden durch Blockkurse von zwei Wochen pro Fach zu je 60 SWS in der vorlesungsfreien Zeit ergänzt. Die Vorlesungen finden in vietnamesischer und englischer Sprache statt. Die sprachliche Kompetenz der Studenten wurde in den ersten zwei Semestern durch zusätzlich 2 SWS Englisch gefördert. Unsererseits war hier zunächst Frau Löttsch eingebunden, später wurde diese Ausbildung von der vietnamesischen Seite übernommen. Ähnlich wie an vielen das Studienfach Technomathematik anbietenden europäischen Universitäten wollten wir ein dem Leonardo-Programm entsprechendes Industriepraktikum realisieren. Prof. Dr. Schaeben hatte sich während seiner Aufenthalte in Hanoi in Gesprächen mit Vertretern der dortigen Industrie sowie der deutschen Industrie- und Handelskammer für ein Praktikum stark gemacht. So gab es Gespräche mit Herrn W. Ehmann, Herrn Le Trang (beide DIHK) und im Ministerium für Industrie mit Dr. Truong Huu Chi, President of Industrial Machinery and Instruments (IMI). Dieser hatte ein Studium an der TU in Karl-Marx-Stadt absolviert. Trotz positiver Signale besteht hier noch Handlungsbedarf. Die termingerechte Akkreditierung des Studiengangs erwies sich als ein durchaus schwieriges Problem, was letztlich aber gelöst werden konnte. Durch sehr strenge Auswahlverfahren werden nunmehr in jedem Jahr zwischen 10 und 15 Studenten für die Technomathematik gewonnen. Die Anzahl erscheint zunächst klein, aber auch in Deutschland waren es anfangs nur wenige. Mit einer von verschiedenen Seiten vorgeschlagenen Lockerung der Auswahlprinzipien könnte da schon bald Abhilfe geschaffen werden.

Am 26. September 2005 fand im feierlichen Rahmen die erste offizielle Immatrikulation von Studenten des Master-Studiengangs Technomathematik statt. Von deutscher Seite nahmen an dieser Veranstaltung unter anderem Prof. Dr. Schaeben (TU Freiberg), Prof. Dr. K. Gürlebeck (Bauhausuniversität Weimar), Dr. Polster von der Deutschen Botschaft in Hanoi, Herr W. Ehmann von der Deutschen Industrie- und Handelskammer, Frau Dr. Ch. Klaus als Vertreterin des Vietnamesisch-Deut-



Prof. Dr. Le Hung Son, Prof. Dr. Spröbzig



Prof. Dr. Schaeben mit Kursteilnehmern

schen Zentrums sowie Frau K. Löttsch und Frau P. Melzer von der TU Freiberg teil. Von vietnamesischer Seite waren neben Prof. Dr. Le Hung Son der Vice-Rektor der HUT und weitere Repräsentanten der TU Hanoi anwesend. Die Namen der ersten Studierenden in diesem Studiengang sind: Dao Phan Vu, Nguyen Manh Hung, Le Chi Ngoc, Nguyen Hoang Ngan, Vo Van Vinh, Do Van Hiep, Nguyen Thi Thu Huong, Tran Quoc Tuan, Tran Thi Thuy.

## Dozenten und Vorlesungen

### 1. Semester

- Dr. Phan Huu San, Faculty of Applied Mathematics and Informatics – HUT: *Nonlinear methods in functional analysis*
- Prof. Dr. Le Hung Son, Faculty of Applied Mathematics and Informatics – HUT: *Complex function theory*
- Prof. Dr. K. Gürlebeck, Weimar University: *Dynamical systems*
- Prof. Dr. H. Schaeben, TU Bergakademie Freiberg: *Geoscience information systems*
- Dr. Huynh Quyet Thang, Faculty of Information Technology – HUT: *Visualisation/Computer graphics*
- Dr. Dang Van Chuyet, Faculty of Information Technology – HUT: *Internet multimedia*
- Prof. Dr. Nguyen Ngoc Chan, Institute of Engineering Physics: *Electrodynamics*
- Prof. Dr. W. Spröbzig, TU Bergakademie Freiberg: *Function theoretic methods in  $R^n$*
- K. Loetzsch, TU Bergakademie Freiberg: *Academic reading*

### 2. Semester

- Prof. Dr. Nguyen Dinh Tri, Faculty of Applied Mathematics and Informatics – HUT: *Partial differential equations*
- Prof. Dr. Phan Tang Da, Faculty of Applied Mathematics and Informatics – HUT: *Integral transformations*
- Prof. Dr. Nguyen Trong Giang, Post-Graduate Centre – HUT: *Vector and tensor analysis*
- Prof. Dr. Phan Trung Huy, Faculty of Applied Mathematics and Informatics – HUT: *Algebra and combinatorial application*
- Prof. Dr. Nguyen The Mich, Faculty of Mechanical Engineering – HUT: *Fluid mechanics*
- Prof. Dr. Pham Van Khoi, Faculty of Material Science and Technology – HUT: *Mathematical modeling of physical-technological processes*

### 3. Semester

- Prof. Dr. Le Trong Vinh, Faculty of Applied Mathematics and Informatics – HUT: *Numerical analysis*
- Prof. Dr. Nhu Phuong Mai, Faculty of Mechanical Engineering – HUT: *Mathematical modeling of real world problems*
- Prof. Dr. Dinh Nho Hao, Hanoi Institute of Mathematics: *Signal theory*
- Prof. Dr. M. Reissig, TU Bergakademie Freiberg: *Systems of partial differential equations of first order*
- Prof. Dr. B. Merkel, TU Bergakademie Freiberg: *Complex simulation of groundwater flow, transportation, thermodynamics and chemistry*
- Prof. Dr. H. Schaeben, TU Freiberg: *Mathematical texture analysis*

- Prof. Dr. Nguyen Thi Hoang Lan, Faculty of Information Technology – HUT: *Digital image processing*

### 4. Semester

- Prof. Dr. Le Hung Son, Faculty of Applied Mathematics and Informatics – HUT: *Spherical approximation theory*
- Dr. Tong Dinh Quy, Faculty of Applied Mathematics and Informatics – HUT: *Stochastic models and models of mathematical economics*
- MSc Thesis

## Zwei Vorlesungstage an der TU Hanoi – persönliche Eindrücke

**Donnerstag – 23. Februar 2006.** Ich wohne in der 3. Etage des Hotels Asean in der Nähe des Universitäts-Campus, habe einen kleinen ummauerten Balkon und kann daher nachts die Tür offen lassen. Es ist kühler geworden. Gegen 8 Uhr gehe ich zum Frühstück in die 1. Etage. Mit dem Angebot kann man als Europäer wirklich zufrieden sein. Es fällt auf, dass hier alles ohne Zucker gereicht wird, insbesondere Tee und Kaffee. Um 9 Uhr werde ich von einem der Studenten in der Hotel-Lobby abgeholt. Das Taxi steht vor der Tür. Der Fahrer fährt orthogonal in den dicht fließenden Verkehr, der zu 80 % aus Kleinkrafträdern besteht und zwingt die anderen zum Stoppen. Gehupt wird alle zehn Meter und alle machen mit, was eine Art Konzert ergibt. Heute finden am Vormittag zwei Stunden Vorlesung im Postgraduate training center statt, einem relativ kleinen Raum mit nicht verschließbaren Fenstern und auf der Gegenseite mit Türen mit Löchern; es zieht ständig bei etwa 19 °C. Die Straße ist nur 50 m entfernt, ein Höllenlärm. Erschwerend kommt hinzu, dass in Vorbereitung des 50. Geburtstages der TU Hanoi im Hochschulgelände eine Straße gebaut wird. Bulldozer lassen den Boden vibrieren. Es ist wirklich nicht einfach, hier zu arbeiten. Ich muss fast schreien, um auf fünf Meter gehört zu werden, komme im Stoff dennoch gut voran. Zum Mittag haben mich die Studenten mit Früchten und Joghurt versorgt. Von 13.30 bis 16.30 Uhr gestalte ich ein Seminar zu Problemen der Strömungsmechanik. Man organisiert von irgendwoher einen Overhead-Projektor. Ich glaube, meine Vorträge von heute Nachmittag überfordern die Studenten etwas. Inzwischen hat es etwas zu regnen begonnen. Wieder im Hotel, lasse ich erst einmal die Badewanne voll laufen, da ich

befürchten muss, mich erkältet zu haben. Etwas abruhen, im Hotel gut essen und dann noch bis 23.00 Uhr Vorlesungen vorbereiten.

**Freitag – 24. Februar.** Es ist alles grau in grau, teils Smog, teils Wolken. Die Außentemperatur ist auch nur um die 17 °C, also nichts mit Baden im Open-Air-Pool des Hotels. Heute Morgen habe ich einmal die Gemüse-Nudelsuppe versucht, aber bald wieder aufgegeben, da ich die enthaltenen Fleischstückchen nicht identifizieren konnte. Geschmacklich gibt es allerdings nichts auszusetzen. Wieder wartet ein Taxi vor dem Hotel und mein heutiger Begleiter im Foyer. Das Verstehen strengt schon an. Sie bemühen sich um ein Gespräch, um ihr Englisch anwenden zu können. Vokabeln wissen sie eine ganze Menge, aber bei vietnamesischer Intonation ist die Verständigung schwierig und strengt etwas an. Ich freue mich auf die tägliche Taxifahrt. Autofahren ist hier eine Kunst. Im Hotel kann man auch Autos mieten, ich würde nicht einen Gedanken daran verschwenden dies zu tun. Nachdem ich gestern mein Unverständnis über die Auswahl des Vorlesungsraums geäußert hatte, wurde sofort reagiert. Wir sind heute in dem vor fünf Jahren erbauten Sprachenzentrum. Dort ist es deutlich ruhiger, und es zieht nicht, der Baulärm ist nur abgeschwächt zu hören. Ich komme ganz gut voran, die Studenten lesen mir die Wünsche von den Augen ab und entschuldigen sich mehrmals, wenn etwas nicht gleich klappt. Zum Tafel abwischen hat man jetzt einen Dienst eingeteilt, der in die nächste Toilette (70 m entfernt) läuft, um den Lappen anzufeuchten. Es ist noch nicht gelungen, einen Eimer mit Wasser zu organisieren. Die ganze Uni ist ein einziger Bauplatz. Bis Oktober soll alles fertig sein, derzeit nicht vorstellbar. Der Vorlesungsraum am Nachmittag ist neu und recht ansprechend. Wir müssen nach einer Einheit leider den Raum wechseln, da natürlich, wie überall, Raumknappheit besteht. Weil jedoch der neue Raum keine Fenster hat und gerade partiell der Strom abgeschaltet wurde, ist es im Raum stockdunkel, was andere Vorlesende nicht abhält, dennoch an die kaum sichtbare Tafel zu schreiben. Das erscheint mir allerdings widersinnig. Wir gehen zurück ins Department und haben dann recht gute Bedingungen. Gegen 16 Uhr hänge ich etwas durch und bin froh, dass es bald zum Hotel geht. Kopfschmerzen stellen sich ein. Ich nehme ein Bad und gehe essen. Dann muss ich mich zwingen, mich noch-



Punkthochhäuser in Hanoi

mals hinzusetzen, um die morgige Vorlesung vorzubereiten. Die Studenten sind wissbegierig und fleißig und versuchen, soviel wie möglich an Wissen aufzunehmen. Es macht Freude, vor gut motivierten und überaus interessierten Studenten zu lesen.

### Wochenende – Ausflug aufs Land

**Sonnabend – 25. Februar.** Samstags sind auch in Hanoi keine Vorlesungen. Die Studenten wollen mit mir einen Ausflug in die Umgebung von Hanoi machen. Zwei kommen ins Foyer, zwei weitere und der Fahrer eines großen Jeeps, ein Freund, der in den USA studiert hat, warten vor dem Hotel. Zu sechst fahren wir in Richtung Westen aufs Land, um einige Pagoden zu besichtigen. Ich genieße es, einfach nur aus dem Fenster zu schauen und den Straßenverkehr sowie die Leute am Straßenrand zu beobachten. Jeder Meter bringt neue Eindrücke. Die Verständigung mit den Studenten klappt mittlerweile viel besser. Sie fragen mir Löcher in den Bauch. Ich weiß nicht so recht, was mich erwartet, aber der Weg ist das Ziel. Zunächst müssen wir aus der Stadt raus, das dauert eine Weile, da die Durchschnittsgeschwindigkeit auf Grund der Verkehrs- und Straßenverhältnisse nicht mehr als 30 km/h betragen kann. Wieder fallen mir die schmalen hoch aufragenden Punkthäuser auf, die an der Vorderseite bunt gestaltet sind. Einige sind Schmuckstücke, andere in einem desolaten Zustand, den man kaum beschreiben kann. Die Häuser sind ca. 5 m breit, in der untersten Etage irgendwelche Geschäfte bzw. Werkstätten mit oft vorsintflutlichem

Equipment. Davor sitzen bzw. hocken Vietnamesen und bieten auf kleinen Tischen Waren an bzw. essen. Dann wieder durchqueren wir Stadtteile, die ganz prächtig aussehen. Es wird überall gebaut, so entstehen auch 10-Geschosser, sieht nicht schlecht aus. Auch ein Kongress-Zentrum ist im Bau. Die Verkehrsdichte nimmt ab, je weiter wir uns zum Rand von Hanoi bewegen, dennoch muss der Fahrer höllisch aufpassen und fortwährend von der Hupe Gebrauch machen. Wir kommen an kräftig grünen Reisfeldern vorbei und können vereinzelt Frauen mit ihren typischen Kopfbedeckungen sehen. Das Land ist hier für den Reisanbau sehr fruchtbar. Manche Bauern lassen sich auf ihrem Reisfeld begraben. Die Familien haben dort ein richtiges Grabmal mit Stein und Blumen angelegt. Über die zur Zeit bei uns heiß diskutierte Vogelgrippe können die Vietnamesen nur lächeln. Was sollen die armen Bauern auch tun, Ställe für Geflügel habe ich nicht gesehen. Eine neue Straße wird gebaut. Ich beobachte Bauern, die mit Schaufeln den Schlamm auf Ochsenkarren aufladen und abtransportieren – eine Wahnsinnsarbeit. Dann schöpfen Frauen Wasser von einem großen Reisfeld – über einen Wall in ein anderes – mit einfachen Wasserschüsseln. Eine Aktion, die mir völlig absurd erscheint. Wir sind abgezweigt, die Straße ist nun ein unbefestigter Weg. Uns kommen Radfahrer entgegen, die 10 m lange Bambusstangenbündel transportieren – bemerkenswert. Mit mittelalterlicher Technik wird ein Damm gebaut, so könnten bereits die Pyramiden errichtet worden sein. Nun geht es in eine Ortschaft hinein. Hier scheint die Zeit stillzustehen. Was man hier sieht, kann man gar nicht so schnell aufnehmen, noch weniger beschreiben. Auf der unbefestigten Dorfstraße herrscht reges Treiben. Den wenigen Platz teilen sich Autos, Ochsenkarren, diverses Getier, spielende Kinder und vor allem dient die halbe Straße als Materiallager für die ansässigen Handwerksbetriebe



Vietnamesisches Brettspiel



Allgegenwärtige Reisfelder

und Manufakturen. Türen gibt es nicht, es fehlt einfach die Vorderwand des Hauses. Das vereinfacht Vieles. Für einen an „deutsche Ordnung“ gewöhnten Menschen ist das ein Albtraum. Aber die Leute sind freundlich und finden das alles wohl ganz okay. Ein großes Problem ist der „moderne“ Müll, der früher von allein vergangen ist, aber nun fliegt die Plaste der neuen Zeit in der Gegend herum. Müllberäumung gibt es hier nicht.

Schließlich sind wir am Tempel angekommen. Frauen und Männer sitzen am Rand und wollen etwas verkaufen. Ich bin sofort von alten Frauen und kleinen Mädchen umringt. Natürlich komme ich nicht umhin, etwas zu erwerben und lasse die Studenten verhandeln. Dann lausche ich einer vietnamesischen Erklärung zur religiösen Bedeutung des Tempels, was mich nicht viel weiterbringt. Die Studenten erklären mir dann die Geschichte noch einmal.

Innen sind recht interessante Holzfiguren zu sehen. In einem Raum gibt es einen weiblichen Gott. Ich fotografiere einige Figuren und Pflanzen und fasse einen Stein an bestimmten Stellen an. Die Stellen entsprechen Körperteilen und sollen vor Erkrankung schützen. Besser ist besser! Die rote Farbe überall, teils mit kommunistischen Losungen, teils mit religiösen Beschriftungen, bestimmt das Bild. Alles ist sehr bunt. Wir steigen einen ziemlich hohen Berg hinauf, verweilen dort etwas und lassen die Umgebung (Reisfelder weit unten) auf uns wirken. Die Studenten sind immer in meiner Nähe und helfen mir über Klippen hinweg. Dann beginnt der Abstieg, ich in Sandalen. Es hat etwas

geregnet, die Steine sind wie Speckstein, Treppen gibt's nun nicht mehr. Es ist schon ziemlich halsbrecherisch. Der Weg ist steil. Nun kommt der Abstieg in eine Höhle, an der Seite Ketten, einer hält eine Lampe, ich muss in gebückter Haltung fast senkrecht nach unten gehen. Die Stufen sind extrem hoch, wenn überhaupt vorhanden. Man gewöhnt sich langsam an die Dunkelheit. Dort, wo nach oben die Natur ein Loch gelassen hat, machen wir Picknick. Die Studenten haben Cola und etwas zu essen mit hierher geschleppt. Alle Achtung! Wir unterhalten uns über das Leben und ihre Zukunft. Es gibt viele Fragen. Dann geht es zum Ausstieg und hinunter zu den Reisfeldern.

Hier leben einige Bauern unter sehr bescheidenen Bedingungen. Es sieht pittoresk aus. Wir stoppen noch bei einem weiteren Tempel, erleben eine Zeremonie und fahren dann nach Hanoi zurück.

Es war ein interessanter Tag. Von 16.00 Uhr bis 22.00 Uhr wird an weiteren Vorlesungen gearbeitet.

### Nachhaltigkeit

Gerade in diesen Wochen, im August 2008, werden nunmehr zum fünften Male Studenten der Technomathematik ausgewählt und immatrikuliert. Der Studiengang scheint sich langsam zu etablieren, und die Mühen haben sich gelohnt. Um jedoch ein solch breites Leistungsangebot an verschiedenen Lehrveranstaltungen aufrecht zu erhalten, bedarf es großer Anstrengungen, zumal es ein deutliches Defizit an qualifizierten Lehrkräften gibt.

Durch gezielte Aufenthalte von vietnamesischen Nachwuchswissenschaftlern an der TU Freiberg ist erreicht worden, dass die von uns gelesenen Lektionen durch vietnamesische Kollegen übernommen werden können. Die Zusammenarbeit mit weiteren vietnamesischen Partnern, wie der Hanoi University of Mining and Geology (HUMG) und der Hanoi University for Natural Sciences (HUNS), wird angestrebt. Über verschiedene Programme des DAAD sollen talentierte vietnamesische Nachwuchswissenschaftler in Freiberg und Hanoi zu einer Dissertation geführt werden. Erste Studenten werden derzeit für einen Qualifizierungsaufenthalt in Freiberg vorbereitet.

Weiter wird nach Möglichkeiten gesucht, die Einrichtung eines International Graduate Training Centers am Department of Applied Mathematics der TU Hanoi wirkungsvoll zu unterstützen. Sowohl der DAAD in Bonn, vertreten durch Frau Schönfeld, sowie auch Herr Dr. Heinz-Ludwig Nastansky als Repräsentant des Vietnamesisch-Deutschen Zentrums in Hanoi haben Unterstützung zugesagt. Mit der Wahl von Prof. Dr. Nguyen Trong Giang zum neuen Rektor der TU Hanoi wird derzeit der Plan diskutiert, ein „Hanoi International Center for Industrial Mathematics“ zu schaffen. Die Wiederbelebung von Kontakten zu den vietnamesischen Absolventen der TU Bergakademie Freiberg soll durch Alumni-Treffen intensiviert werden. Hierzu trägt auch der Freiburger Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie bei, der den entsprechenden Alumni-Verein an der TU Hanoi im Rahmen seiner Möglichkeiten unterstützt.



Mrs. Thu Le Hoai, Prof. Dr. Spröbzig, Mr. Le Cuong



# terra mineralia

## Ein einzigartiges Konzept

Gerhard Heide

Für die Präsentation der Stiftungssammlung wurde ein einzigartiges Domizil gefunden: das Schloss Freudenstein. Das Gebäude erzählt sehr eindrucksvoll von seiner bewegten Geschichte. Und nun ist auch die neue Nutzung an den Fassaden und am Schlosshof unmittelbar ablesbar. Betritt der Besucher den Schlosshof, verlässt er den Alltag und begibt sich auf eine Reise in die Welt der Minerale. Granitplatten in der Gestalt von Kristallformen breiten sich über den gesamten Innenhof aus. Ihre abstrakten Formen sind dann ein Reisebegleiter beim Gang durch die Schlossräume.

Der außerordentliche Formen- und Farbenreichtum und die Fülle der Minerale der Pohlschen Sammlung erlauben einen emotionalen Zugang in die Welt der Minerale. Phantasievoll, aber klaren Regeln unterworfen, wurde dazu die Raum- und Vitrinengestaltung angepasst. Fußböden, Decken und Vitrinen in Schwarz stehen den weiß gestrichenen historischen Wänden gegenüber. Fensterläden verdunkeln die Räume; so kann Sonnenlicht nicht die Ausleuchtung der einzelnen Mineralstufen beeinträchtigen. Die Säle werden durch das Licht in den Vitrinen erleuchtet, die Minerale wirken dank ihrer fachgerechten Komposition von selbst. Sie stehen im Mittelpunkt der Ausstellung, faszinieren jeden und wecken Neugierde. Dies ist das Grundkonzept – die „Wunder“ der Natur erfahr- und erlebbar zu machen. Im Sinne der Stifterin wird ihr Sammlungsgut

der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht und bietet besonders jungen Menschen einen spannenden Zugang in die Welt der Minerale.

### Die mineralogische Weltreise

Die einzelnen Ausstellungsräume unterscheiden sich sowohl inhaltlich als auch gestalterisch. Unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten werden Mineralfundstellen zu Regionen und diese zu Kontinenten zusammengefasst und den neu geschaffenen großen Räumen im „Langen Haus“ zugeordnet. Asien und Amerika besetzen die obere Etage, Afrika und Europa die darunterliegende. Diese vier Säle sind durch das Renaissancetreppenhaus miteinander verbunden. Bei einem Rundgang bietet es sich an, eine „mineralogische Weltreise“ zu unternehmen, von Kontinent zu Kontinent, von Region zu Region, von Fundort zu Fundort. Die weltweite Verteilung der Mineralfundpunkte ermöglicht ein Naturerlebnis auf über 1.500 Quadratmetern der ganz besonderen Art. Jeder der Ausstellungsräume wird durch einen eigenen, spezifischen Vitrinentyp geprägt und erhält damit trotz seiner klaren Formen ein charakteristisches Gesicht. Die Weltreise wird in jedem Raum durch „Expeditionen“ noch spannender. So können die Besucher im Saal Amerika eine „Reise ins Licht“, in Asien „Gullivers Reisen“, im Saal Afrika eine „Zeitreise“ und in Europa eine „Reise zum Ursprung“ sowie eine „Forschungsreise“ wagen.



### Vom Spiegelsaal in den Drusengang

Beginn der Reise durch die Welt der Minerale sollte im obersten Stockwerk, der sogenannten Aussichtsplattform, sein. Sie ist durch einen „Shuttle“ direkt vom Eingangsbereich aus erreichbar. Hier teilen die kräftigen Holzbalken des ehemaligen Getreidespeichers den Raum in vier Zwischengeschosse auf. Über die zwei oberen Etagen erstreckt sich eine riesige Weltkarte mit den zahlreichen Fundpunkten und Namen der in terra mineralia ausgestellten Minerale.

Die erste Station der Weltreise ist der Saal Amerika, in dem Spiegel den Glanz der Minerale ins Unendliche projizieren. Die Vollglasvitrinen mit den speziell beleuchteten Mineralien spiegeln sich in den Wänden und schaffen ein besonderes Raumerlebnis. In einem abgedunkelten Teil des Raumes sind mit UV-Licht bestrahlte Minerale zu sehen, denen auf diese Weise die vielfältigsten und wunderschönsten Farben entlockt werden; sie fluoreszieren.

Weiter geht der Weg über das Renaissancetreppenhaus geradewegs in den Saal Asien. Aus großen, raumbestimmenden Körpern wurden die Vitrinen förmlich „herausgeschnitten“. Die Gänge aus den Vitrinenkörpern springen unverhofft auf und geben Platz frei zum Verweilen. In der Raummitte lockt ein begehbarer Erzgang ins Innere. Drei darin originalgetreu nachgebaute Fluoritdrusen vermitteln dem Besucher einen Eindruck davon, in welcher Form die Kristalle untertage gefunden werden können. Mitarbeiter der TU Bergakademie Freiberg haben in Chi-

na diese herrlichen Stufen ausgesucht, die nun fachgerecht angeordnet als „Dru-sengang“ ihre volle Schönheit entfalten. Verlässt man diesen Gang, warten schon „Gullivers Reisen“ auf die Besucher. Auf einer anschließenden Exkursion können sie stufenweise in das Innere eines Minerals und sogar bis in die Kristallstruktur reisen.

Eine Etage tiefer steht im Saal Afrika das Mineral im Mittelpunkt seiner Landschaft. Manche der scheinbar schwebenden Vitrinen tragen topographische Modelle der Fundregion, und der Mineralschatz scheint noch im Berg verborgen zu sein. Die Expedition „Zeitreise“ stellt in 17 Doppelvitrinen das Mineral Quarz vor und zeigt auf, wie sich seine Anwendung im Laufe der Geschichte der Menschheit verändert hat. Am Anfang stehen der Quarz und der Faustkeil, am Ende der Quarz und die Solarzelle. Kleine Experimente zur Doppelbrechung, Pyroelektrizität, Piezoelektrizität und Radioaktivität ergänzen den Zeitstrahl und lassen die Zeit wie im Fluge vergehen.

Der vierte Saal der Weltreise führt in die Länder Europas mit Russland. Langgestreckte Vitrinen sind wechselständig in Reihen angeordnet und ergeben ein liches, lebendiges Raumgefühl, das durch die vier Etagen des Holzspeichers am Ende des Saals noch verstärkt wird. Dieser denkmalgeschützte Einbau verbindet galerieartig den Saal Europa mit dem Saal Amerika und gibt eine weitere Expedition frei, die „Forschungsreise“ im ersten Zwischengeschoss. Wer möchte, kann hier seine eigenen, von zu Hause mitgebrachten Mineralien oder Urlaubsfundsteine an modernen Mikroskopen analysieren und sogar mit Hilfe eines Elektronenmikroskops bis in eine dreißigtausendfache Vergrößerung vorstoßen und die chemischen Elemente seiner Probe bestimmen. Eine kleine mineralogische Bibliothek und



Computer laden zum weiteren Forschen ein. Wendet man den Blick zurück nach Europa, geben die Vitrinen mit ihren Kostbarkeiten bei der „Reise zum Ursprung“ Interessantes über die Entstehung von Mineralien preis.

#### Schatzkammer bietet Augenschmaus

Die Weltreise endet in der Schatzkammer. Drei der vier Räume faszinieren durch ihr Kreuzgewölbe; in einem befand sich früher die Schlossküche, was noch sehr eindrucksvoll an der rußgeschwärzten Decke zu erkennen ist. Auf engstem Raum wird in diesem Ausstellungsteil eine ganz besondere Reise durch die Welt der Minerale geboten. Im „Tresorraum“ werden großartige Schmuck- und Edelsteine und in der „Schlossküche“ die schönsten und größten Objekte der Pohl-Ströher-Mineralienstiftung präsentiert. Den Abschluss bilden Minerale bzw. Gesteine, die von unvorstellbaren Schätzen und Ereignissen des Weltraums künden. Verschiedene Meteorite, Tektite und acht große Impaktplatten aus dem Vredefort-Krater in Südafrika, dem größten und ältesten bisher bekannten Meteoritenkrater der Erde, erscheinen eher unauffällig, sind aber ebenso außergewöhnlich wie die anderen Objekte der Schatzkammer. Die im Erdgeschoss liegende Schatzkammer eignet sich auch für einen Kurzbesuch der Ausstellung.

Neben der wissenschaftlichen oder fachlichen Neugierde setzt terra mineralia vor allem auf die sinnliche Wahrnehmung der Ausstellungsbesucher. Jeder Besucher kann sich auf seine Weise das Mineralreich erobern. Die Weltreise bedarf keiner

speziellen Vorkenntnisse. Die gestaffelten Ausstellungselemente, von der Weltreise bis zur Forschungsreise, ermöglichen es, drei verschiedene Besuchergruppen anzusprechen: Touristen und Familien, Schüler und Jugendgruppen sowie Fachbesucher. Wissenschaftler und Studenten werden drüber hinaus aktiv terra mineralia in Forschung und Lehre nutzen. Ihnen steht das Depot im „Neuen Haus“ zur Verfügung, das sich über sieben Etagen erstreckt und Platz für über 75.000 Stufen bietet. Terra mineralia stehen damit über 3.000 Quadratmeter Nutzfläche zur Verfügung. Sie ergänzt und vergrößert die traditionsreiche mineralogische Lehr- und Forschungssammlung, die auf den Begründer der Mineralogie Abraham Gottlob Werner zurückgeht, auf enorme Weise. Eine Dopplung dieser Ausstellung auf der Grundlage der kristallchemischen Systematik wird mit dem neuen Ausstellungskonzept vermieden und so die international führende Stellung der Freiburger Geowissenschaftlichen Sammlungen erheblich ausgebaut. Die terra mineralia ermöglicht dem Fachmann eine völlig neue Form der Kommunikation mit dem Laien.

Die alten sächsischen Herzöge würden sich bestimmt über die moderne Nutzung ihres Schlosses freuen: Diente es zu ihrer Zeit der Repräsentation und später zur Lagerung von Waffen und Getreide, so ist seine Aufgabe heute beides: Präsentation und Bewahrung, aber in ganz neuer, unerwarteter Weise. Sammlungen sind Datenbanken, Lehrmittel, Kulturgut, und mit terra mineralia werden sie zum Erlebnisort.



# Wissenschaft im Herzen der Altstadt

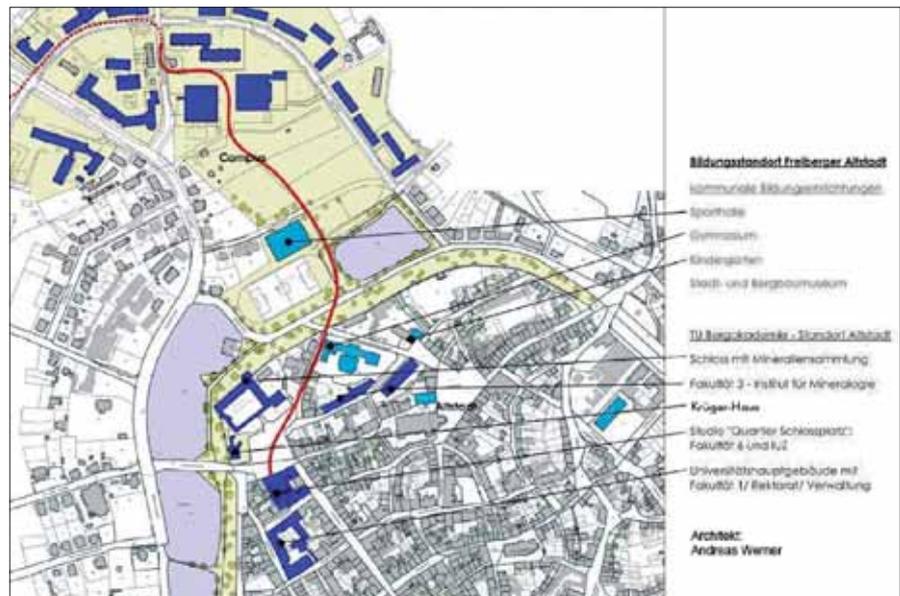
Der Geburtsort der Bergakademie Freiberg liegt in der Freiburger Altstadt. Im ehemaligen Wohnhaus von Friedrich Wilhelm von Oppel, der heutigen Akademiestraße 6, nahm 1765 alles seinen Anfang. Nun rückt die Freiburger Campusuniversität wieder näher an diese Wurzeln heran. Mit dem Schlossplatzquartier vis-à-vis von Schloss Freudenstein entsteht in den nächsten Jahren ein neuer Lehr- und Forschungsstandort im historischen Stadtkern. Er bildet mit weiteren innerstädtischen universitären Einrichtungen den Ausgangspunkt für einen Wissenschaftskorridor, der eine Verbindung zwischen dem nordöstlichen Campusgelände an der Leipziger Straße und der Innenstadt schafft.

Schon mit der Sanierung der Gebäude- teile Akademiestraße, Nonnengasse und Prüferstraße als Universitätshauptgebäude setzte die TU Bergakademie 2000 ein Zeichen. Die Universitätsleitung entschied sich damals gezielt für den Verbleib im Stadtzentrum und gegen einen Wegzug der Verwaltung auf den Campus. „Dies ist ein Bekenntnis zur Tradition der Universität“, erklärte der Rektor Prof. Georg Unland anlässlich der feierlichen Schlüsselübergabe des sanierten Hauptgebäudes am 3. Februar 2005. „Zudem wollen wir mit der Nutzung des Gebäudes einen positiven Beitrag zur Stadtentwicklung und zur Belebung der Innenstadt leisten.“

Nach der Sanierung erstrahlt nun in der Innenstadt das historische Uni-Gebäude in modernem Glanz und ist Anziehungspunkt für viele Besucher. Nicht nur Touristen erkunden den Komplex unweit des Obermarktes. Auch für Studierende und Gäste der Universität ist er eine wichtige Anlaufstelle. Gleichzeitig blieben im Zentrum so über 100 Arbeitsplätze erhalten und beleben den historischen Stadtkern.

## Wissenschaftskorridor zwischen Campus und Zentrum

„Wir möchten auch in Zukunft stärker die Universität mit der Innenstadt verbinden“, beschreibt Dr. Andreas Handschuh, Kanzler der TU Bergakademie Freiberg, die



Baupläne. „Dazu werden wir mit verschiedenen Baumaßnahmen einen „Wissenschaftskorridor“ errichten.“ Mit einer Kette aus Gebäuden wird sich dieser Korridor vom Zentrum über den Meißner Ring, vorbei am Schlüsseleichen, bis zum Campus erstrecken.

Ein nächster großer Schritt hierzu wird das neue Schlossplatzquartier sein. In dem Gemeinschaftsprojekt von Universität und Stadt soll zwischen Prüferstraße und Schlossplatz ein neuer Standort für die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und das Internationale Universitätszentrum (IUZ) entstehen. Anlass für diese Baumaßnahme ist der Umstand, dass der derzeit genutzte Gebäudekomplex an der Lessingstraße für eine dauerhafte universitäre Nutzung aufgrund der Raumgeometrien unzuweckmäßig ist. Zudem

müsste der gesamte Komplex mit einem hohen finanziellen Mittelaufwand grundhaft saniert werden. In Fortschreibung der Baulichen Entwicklungsplanung der TU Bergakademie hat daher die Universität entschieden, einen neuen Standort für die Fakultät 6 und das IUZ zu erschließen.

Dabei wurde von der Stadt und der Universität eine Lösung favorisiert, bei der große, leerstehende Immobilien in der Innenstadt genutzt werden sollen. Die Wahl fiel auf den Gebäudekomplex zwischen Schlossplatz und Prüferstraße, Burgstraße und Wallstraße/Nonnengasse. Hier sollen nun ein Hörsaal plus zwei Seminarräume in Verbindung mit dem bestehenden historischen Ensemble für etwa 1.200 Studenten, rund 100 Mitarbeiter der Fakultät Wirtschaftswissenschaften und das IUZ entstehen.





Forum des Schlossplatzquartiers

Im März dieses Jahres schrieb die Stadt Freiberg dazu einen Architektenwettbewerb aus. In den Vorgaben legten sie dabei von vornherein großen Wert auf die Erhaltung des historischen Gebäudecharakters. So galt es etwa, am Schlossplatz 1 die spätklassizistische Fassade von 1834 zu erhalten und den Balkon über dem Hauptportal wieder zu rekonstruieren. Doch auch Platz für Neues wurde eingeräumt, etwa für den Bau eines Hörsaalgebäudes. In ihm sollen bis zu 400 Studierende Platz finden. Als Standort wurden die Grundstücke Prüferstraße 2a und 4 sowie der Hofbereich Schlossplatz 1a vorgegeben.

Rund 100 Architekturbüros beteiligten sich an dieser Ausschreibung. Aus ihnen wählte das Preisgericht, dem acht Fach- und sieben Sachpreisrichter sowie vier Sachverständige angehören, am 9. und 10. Juli die besten Entwürfe aus. Einstimmig setzte das Gremium auf den mit 20.000 Euro dotierten 1. Preis: Er ging an Thomas Obermann, Architekten BKSP, Hannover. In der Begründung hieß es, die Arbeit schaffe nachvollziehbare Verbindung von alten denkmalgeschützten Gebäuden und Neuem.

Die Wahl der Jury wird nun dem Stadtrat zur Entscheidung vorgelegt. „Wir streben bis Oktober 2008 die Bildung einer Trägergesellschaft an“, kündigt Kanzler Dr. Andreas Handschuh an. Vorgesehen ist, dass die Baumaßnahmen am Schlossplatzquartier Ende 2010 abgeschlossen sind.



Ansicht Prüferstraße

## Stärkung des Geo-Standortes Freiberg

Mit dem neuen Uni-Standort wird im geplanten Wissenschaftskorridor ein wichtiges Areal im Zentrum zwischen Hauptgebäude und Schloss Freudenstein ergänzt. Gerade das Beispiel der Schlosssanierung zeigte dabei, wie fruchtbar die Zusammenarbeit verschiedener Institutionen sein kann. Angestoßen durch die TU Bergakademie Freiberg, arbeiteten neben der Stadt Freiberg noch drei sächsische Ministerien in dem Projekt „Sanierung Schloss Freudenstein“ erfolgreich zusammen: das Innenministerium, das Ministerium für Wissenschaft und Kunst sowie das Finanzministerium. In den Bau flossen insgesamt rund 35 Millionen Euro. Gefördert von Bund und Land sowie mit Zuwendungen aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung musste die Stadt einen Eigenanteil von etwa 6,5 Millionen Euro aufbringen. Mit dem ersten Bauabschnitt, der den Rohbau der beiden Schmalen Häuser beinhaltete, war 2004 begonnen worden, im März 2006 schloss sich der zweite und zugleich größte Bauabschnitt an. Anfang des Jahres nahmen die Nutzer die Schlüssel ihres neuen Domizils entgegen. Neben der Dienststelle Bergarchiv Freiberg des Sächsischen Staatsarchivs, die bereits ihre Räume bezogen hat, werden

derzeit die Ausstellungsräume der „terra mineralia“ für die Eröffnung im Oktober 2008 hergerichtet.

Das Sanierungsprojekt „Schloss Freudenstein“ ist ein gelungenes Beispiel für eine Arbeitsteilung zum Nutzen aller. Denn nun ist die Region nicht nur um ein touristisches Highlight reicher, sondern der Geo-Standort Freiberg erhält mit „terra mineralia“ eine weitere Stärkung (siehe auch Beitrag ab S. 53). Durch einen Mietvertrag mit dem Freistaat Sachsen ist eine langfristige Nutzung gesichert.

Zu der Kette aus Hauptgebäude, Schlossplatzquartier und Schloss Freudenstein wird im neuen Wissenschaftskorridor sogar noch ein weiteres Glied hinzukommen: das Amtshaus. Das Gebäude neben dem Schloss soll zum Sitz einer Mineralogischen Stiftung Deutschlands umgebaut werden. „Nationale Stiftungen dieser Art gibt es bereits in allen namhaften europäischen Ländern“, so der Initiator dieses Projektes, Prof. Georg Unland. „Nur Deutschland, das eigentlich die längste ungebrochene Tradition in der Nutzung der Georessourcen und einen Großteil der Technologien dazu entwickelt hat, besitzt so etwas bisher nicht.“ Seine Ansiedlung in unmittelbarer Nähe der Mineralienausstellung „terra mineralia“ im Schloss Freudenstein bietet sich als idealer Platz dafür an.



Das Krüger-Haus

Diesem ehrgeizigen Bauprojekt hat sich Erika Krüger verschrieben. Das Mitglied im Vorstand der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung und Ehefrau des verstorbenen Stifters Dr. Peter Krüger kaufte 2004 das leerstehende Gebäude. Zurzeit befindet sich das historische Bauwerk in einem maroden Zustand. An einigen Stellen blitzt aber noch die einst sehr schöne Bausubstanz durch. Dazu gehören vor allem Zimmerdecken mit Barock- und Renaissanceelementen sowie das Dachgeschoss. Bereits im September 2008 wurde mit den Bauarbeiten begonnen. Zunächst wird der Anbau abgerissen und der Dachstuhl des Amtshauses saniert. Mit den Innenarbeiten kann dann voraussichtlich im nächsten Jahr gestartet werden. Wenn alles nach Plan läuft, wird das „Krüger-Haus“ 2010 übergeben werden. Dann bietet das Gebäude neben der Mineralogischen Stiftung Deutschland auch Raum für Seminare, Tagungen und die Sitzungen des Stifterrates.

### Tor der Wissenschaft

Den Übergang vom Universitätsstandort Altstadt zum Campus wird ein „Tor der Wissenschaft“ markieren. Sein Standort ist am Meißner Ring zwischen Schlüsselteich und dem Sportplatz des Geschwister-Scholl-Gymnasiums vorgesehen. Durch das Tor setzen Studierenden und Mitarbeiter, Besucher und Gäste des Campus ihren Weg auf dem Wissenschaftskorridor fort. Entlang seiner Stecke bis zur Neuen Mensa bieten freie Flächen weitere Möglichkeiten für eine bauliche Aufwertung. So könnten hier neue Gebäude für Forschung und Lehre, beispielsweise mit neuen Hörsälen, entstehen.

Das Augenmerk bei den Bauvorhaben auf dem Campus richtet sich auf die Sanierung des Winklerbaus inklusive Neubau des Praktikumsflügels, den Neubau einer Halle für die Fakultät Maschinenbau sowie die Innensanierung des Karl-Kegel bzw. Erich-Rammeler-Baus.

Der geplante Wissenschaftskorridor ist eine doppelte Verbindung von Universität und Stadt. Durch ihn wird nicht nur ein attraktiver Weg entlang wissenschaftlicher Einrichtungen entstehen. Mit ihm greift auch die bauliche Planung der Universität mit der städtischen Entwicklung zusammen. Dies ist für beide, die TU Bergakademie und die Stadt Freiberg, eine große Chance.

■ **Andreas Handschuh, Christian Möls**

# Das Vermächtnis wird fortgeführt

## Neue Perspektiven für die interdisziplinäre Forschung und für die Förderung der Nachwuchswissenschaftler an unserer Universität



Die Vorstandsvorsitzende der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung, Frau Erika Krüger. Foto: Eckardt Mildner

Als am 14. Dezember 2006 die „Dr.-Erich-Krüger-Stiftung“ gegründet wurde, sorgte sie deutschlandweit für Aufsehen. Der private Stifter Dr. Peter Krüger stellte im Rahmen dieser nach seinem Vater benannten Stiftung unserer Technischen Universität Bergakademie Freiberg ein mehrere Millionen schweres Immobilienvermögen für den Ausbau der Forschung zur Verfügung. Damals hatte die TU Bergakademie Freiberg durch die Einrichtung dieser Stiftung die höchste Zuwendung eines privaten Stifters erhalten, die bis dahin an eine staatliche Universität in Deutschland übergeben wurde. In der Zeitschrift für Freunde und Förderer der Technischen Universität

Bergakademie Freiberg des Jahres 2007 war bereits ausführlich über die Einrichtung und das Anliegen dieser Stiftung informiert worden. Die Stiftungsaktivitäten wurden seitdem kontinuierlich fortgeführt. Als bisher wichtigste Aktivität der „Dr. Erich Krüger-Stiftung“ erfolgte im Frühjahr 2007 die Ausschreibung für ein sogenanntes „Krüger-Forschungskolleg“, also eine Graduiertenschule. Der Vorstand der „Dr. Erich Krüger-Stiftung“ wählte aus den eingegangenen 14 Anträgen das interdisziplinäre Projekt „Freiberger Hochdruck-Forschungszentrum“ aus. In diesem Projekt arbeiten inzwischen Professoren von drei Fakultäten interdisziplinär zusammen.

Ein Anliegen Herrn Krügers war es auch, mit der Einrichtung seiner Stiftung zugleich einen Stein für die Entwicklung des Stiftungsgeschehens an der TU Bergakademie Freiberg ins Rollen zu bringen. So war Herr Peter Krüger sehr am weiteren Aufbau der Stiftung „Technische Universität Bergakademie Freiberg“ interessiert und deshalb sehr erfreut darüber, dass sich alle Professoren des ersten Krüger-Forschungskollegs an dieser Stiftung beteiligt haben.

Bemerkenswert ist darüber hinaus, dass sich Herr Krüger nicht nur für die Universität, sondern auch für die Stadt Freiberg engagierte. Seiner Geburtsstadt Freiberg fühlte er sich Zeit seines Lebens verbunden. So hatte er in Freiberg Bekannte und Verwandte und verfolgte die Entwicklung



Zur Vorstandssitzung im Dezember 2007 lernte Frau Krüger u. a. am Krüger-Forschungskolleg beteiligte Wissenschaftler kennen. V.l.: Prof. Groll, Prof. Reich, Frau Krüger, Prof. Kortus, Herr Lütke-Uhlenbrock. Foto: Christel-Maria Höppner

der Stadt sehr aufmerksam. Als Kenner im Bau- und Immobilienbereich lag ihm dabei insbesondere die Entwicklung der Freiburger Innenstadt am Herzen. Deshalb hatte er sich auch entschlossen, diese aktiv mit zu gestalten.

Mit seinem Engagement für die TU Bergakademie Freiberg hat Herr Dr. Krüger wichtige Impulse insbesondere für die Forschung und Nachwuchsförderung gesetzt. Die Früchte seines vielseitigen Wirkens kann er selbst leider nicht mehr ernten, denn er verstarb im Juli 2007. Für seine Verdienste wurde ihm im Juni 2007 die höchste Auszeichnung unserer Universität, die Ehrensatorwürde, verliehen. Noch zu seinen Lebzeiten wurde des Weiteren das Verfahren zur Verleihung der Ehrendoktorwürde der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie an Herrn Krüger eingeleitet. Die Verleihung der Ehrendoktorwürde konnte Herr Peter Krüger jedoch nicht mehr persönlich erleben. Die Ehrung wurde ihm inzwischen posthum zuteil. Seine Gattin, Erika Krüger, nahm sie im Rahmen einer Festveranstaltung am 18. Juli dieses Jahres entgegen.

Seit dem Tode ihres Gatten engagiert sich nun Frau Erika Krüger aktiv im Vorstand der „Dr.-Erich-Krüger-Stiftung“. Sie führt das Vermächtnis ihres Mannes fort und unterstützt das Anliegen der Stiftung sowie damit die TU Bergakademie Freiberg. Der Stiftungsvorstand hat neben Frau Krüger noch drei weitere Mitglieder: den Rektor der TU Bergakademie Freiberg, den Münchener Rechtsanwalt Prof. Dr. Klaus Michael Groll sowie das Vorstandsmitglied der Bremer Landesbank, Herrn Fritz Lütke-Uhlenbrock.

Erika Krüger wurde geboren als Erika Maria von Rendrop in Prien. Sie besuchte die Grundschule und das Gymnasium in Marquartstein. Nach ihrer Ausbildung arbeitete sie als Leiterin und Erzieherin im familieneigenen internationalen Kinderheim. Ihre Hochzeit mit Peter Krüger fand im Jahr 1971 statt. Gemeinsam gründete das Ehepaar die Firma Schlemmermeyer und baute sie zu einer Delikatessen-Kette auf. Nach dem Verkauf des erfolgreichen Unternehmens widmete sich das Ehepaar Krüger dem Immobiliengeschäft. Heute ist Erika Krüger Geschäftsführerin der Renta GmbH Versicherungsvermittlungs- und Vermögensverwaltungsgesellschaft mbH, München.

Regelmäßig besucht Frau Krüger nun die Geburtsstadt Peter Krügers und verfolgt zum einen die Entwicklung der Stadt,



Das „Amtshaus“ am Schlossplatz 3. Foto: Birgit Seidel

zum anderen aber vor allem das Geschehen an der TU Bergakademie Freiberg. Mit den Professoren und Promovenden des „Freiberger Hochdruck-Forschungszentrums“ und dem Anlaufen dieses ersten Krüger-Forschungskollegs hat sie sich erstmals im Dezember 2007 vertraut gemacht und das Vorhaben seitdem intensiv begleitet. Inzwischen sind für das Projekt Promovenden und ein Postdoktorand eingestellt worden. Nach und nach wurden auch verschiedene Geräte, wie z. B. eine Multianvil-Hochdruck-Pressen (MAP), eine Spark Plasma Sintering Anlage (SPS), eine Split-Hopkins-Anlage und das weltweit einmalige Großschergerät angeschafft, so dass die Forschungsarbeiten inzwischen erfolgreich angelaufen sind (vgl. den Beitrag auf S. 33).

Frau Krüger hat die jungen Nachwuchswissenschaftler bereits kennen gelernt. Während ihres Besuches im Juli 2008 in Freiberg zeigte sich Frau Krüger sehr beeindruckt vom Engagement der Promovenden sowie von der Aufbruchstimmung, die sie in Freiberg bemerkt hat. Im Oktober dieses Jahres nutzte sie erneut einen Besuch in Freiberg, um sich mit Vertretern des „Freiberger Hochdruck-Forschungszentrums“ auszutauschen.

Das Krüger-Forschungskolleg ist nicht das einzige Projekt, das durch die „Dr.-Erich-Krüger-Stiftung“ unterstützt wird. So wird beispielsweise die Graduierten- und Forschungsakademie, die im Juli 2008 an der TU Bergakademie Freiberg gegründet wurde, ebenfalls durch die Stiftung getragen. Die Förderung der Nachwuchswissenschaftler liegt Frau Krüger, die nun das Lebenswerk ihres verstorbenen Mannes fortsetzt, sehr am Herzen. Die Graduierten- und Forschungsakademie bildet dabei den Rahmen bzw. das Dach für verschiedene Möglichkeiten der Nachwuchsförderung. Eines der Anliegen der Graduierten- und Forschungsakademie ist

es, neben der herkömmlichen Promotion auch eine stärker strukturierte Doktorandenausbildung, insbesondere in Form von so genannten Promotionskollegs, zu fördern. Als erstes an der TU Bergakademie Freiberg eingerichtetes derartiges Promotionskolleg kann man das o. g. „Freiberger Hochdruck-Forschungszentrum“ betrachten. Inzwischen sind zwei weitere Promotionskollegs entstanden: die Graduiertenschule des SFB „TRIP-Matrix-Composite“ sowie eine Graduiertenschule „Photovoltaik“. Doch diese werden nicht die einzigen bleiben, es gibt bereits konkrete Vorstellungen für die nächsten Kollegs. Der Graduierten- und Forschungsakademie ist in dieser Ausgabe der Vereinszeitschrift ebenfalls ein Artikel gewidmet (vgl. Beitrag auf S. 77).

Wie bereits erwähnt, interessierte sich Herr Dr. Krüger auch für die Entwicklung der Freiburger Innenstadt. Ein weiteres Vorhaben, das durch ihn angeschoben wurde und das nicht nur der TU Bergakademie Freiberg, sondern der gesamten Stadt zugute kommt, ist die Sanierung des sogenannten „Amtshauses“ am Schlossplatz 3 in unmittelbarer Nachbarschaft zum Schloss Freudenstein. Die Sanierung dieses Hauses wird nunmehr durch die „Dr.-Erich-Krüger-Stiftung“ sowie durch Frau Erika Krüger persönlich weiter verfolgt. Das Gebäude wurde vermutlich 1510 bis 1512 direkt an der Stadtmauer errichtet. Es befand sich zunächst im Besitz der Familie von Büнау, später im Besitz der Familie von Schönberg. Während die Besitzer wechselten, wurden mehrfach auch Umbauten vorgenommen. So weist das Gebäude heute interessante Spuren der Spätgotik, der Renaissance und des Barock auf. Genutzt wurde das Haus im Laufe seiner Geschichte sowohl für Verwaltungszwecke – u. a. befand sich hier zeitweise das Finanzamt – als auch für Wohnzwecke. Als Wohnhaus diente es dann auch bis zum Jahr 1997. Seitdem steht es leer. Mit der Sanierung des Amtshauses soll in Kürze begonnen werden (siehe auch S. 56). Nach Abschluss der Sanierungsarbeiten ist eine museale Nutzung vorgesehen. Daneben soll es Präsentations- und Seminarmöglichkeiten für öffentliche Belange sowie für Lehre und Forschung geben. Die Eröffnung ist für das Frühjahr 2010 geplant.

Die TU Bergakademie Freiberg ist dankbar für das engagierte und couragierte Wirken, mit dem Frau Erika Krüger die Stiftung und die Universität unterstützt.

■ Birgit Seidel

# Aus dem Vereinsleben

## INHALT

- Jahresmitgliederversammlung 2007
- Der gewählte Vorstand
- Wechsel des Geschäftsführers
- Wesentliche Vereinsaktivitäten 2008
- Spenden an den Verein
- † Wir trauern um Vereinsmitglieder
- Geburtstage unserer Vereinsmitglieder

## In eigener Sache: Die Jahresmitgliederversammlung 2007

Die Jahresmitgliederversammlung 2007 war satzungsgemäß für den 23. November 2007 nach Freiberg in den Großen Saal der Alten Mensa einberufen und die Tagesordnung fristgerecht bekannt gegeben worden. Erfreulicherweise konnte Herr Prof. Dr. Klaus-Ewald Holst, Vorsitzender des Vereins und Versammlungsleiter, 198 Mitglieder begrüßen.

Der Tätigkeitsbericht des Vorstands wurde vom Schatzmeister Prof. Dr. Brezinski vorgetragen. Schwerpunkte der Förderung waren, wie auch in den vergangenen Jahren, Exkursionen von Studenten ins Ausland, studentische Arbeiten und Tagungsbesuche im Ausland. Auch die Vergabe von Stipendien an ausländische Studenten in Kooperation mit dem DAAD konnte aufrecht erhalten bleiben. Weiterhin wurden verschiedene Publikationen gefördert. Die Mitgliederzahl ist im Berichtsjahr auf 1.077 angestiegen. Der Vorstand berichtete auch über die Entwicklung der Gesellschaft für Universitäre Weiterbildung und Forschung gGmbH (UWF). Die Bilanz 2005 der UWF ist verlustfrei.

Im Finanzteil des Berichtes wurde auf einzelne geförderte Projekte eingegangen. Das Finanzjahr 2006 wurde gewollt mit einem Saldo von -5,4 T€ abgeschlossen, d.h. das Vermögen des Vereins um diesen Betrag abgeschmolzen. Anschließend gab der Rechnungsprüfer, Herr Knull (Kreissparkasse Freiberg), seinen Bericht. Da weder Rechnungslegungen und Rechnungsführung Anlass zu Beanstandungen gaben, beantragte er die Entlastung des Vorstandes. Dem Antrag wurde stattgegeben.

Der Vorstand hatte beschlossen, die Ehrenmedaille des Vereins an ausscheidende, überwiegend langjährige Vorstandsmitglieder als Dank für ihr Engage-

ment zu verleihen. Das betrifft die Herren Dr.-Ing. Hans Michael Eßlinger, Dipl.-Ing. Siegfried Körber, Dipl.-Kfm. Christoph Lüdecke und Dr. Gert Rütger.

Im gleichen Block übergab Herr Dipl.-Ing. Thomas Nicolai seine Briefmarkensammlungen „Bergbaumotive auf Briefmarken“, „Bodenschätze und ihre Gewinnung und Verarbeitung“. Die Sammlungen sollen in Zukunft repräsentativ ausgestellt werden. Die zunächst vorgesehene Kopplung mit „Terra Mineralia“ konnte nicht realisiert werden.

Der vom Verein gestiftete Bernhard-von-Cotta Preis konnte wieder in den Kategorien Dissertation (2.000 €) sowie Diplomarbeit (1.000 €) vergeben werden. In der Kategorie Dissertation erhielt den Preis Herr Dr. rer. nat. Ralf Hielscher für seine Arbeit „The Inversion of the Radon Transform on the Rotational Group – an HS Application to Texture Analysis“. Anschließend trug Dr. Hielscher den Inhalt seiner Arbeit in gekürzter Fassung vor. In der Kategorie Diplomarbeit erhielt den Preis Frau Dipl.-Ing. Christina Wüstefeld für ihre Diplomarbeit „Mikrostruktur von ultraharten Cr-Al-N-Nanokompositen“. Sie befand sich zum Zeitpunkt der Verleihung zu einem Arbeitsaufenthalt im Ausland.

Nach der geheimen Wahl des Vorstands wurden von Herrn Professor Breitkreuz, Prorektor für Außenbeziehungen, in Vertretung von Magnifizenz Unland Informationen zur Entwicklung der Universität gegeben. Er informierte über die Entwicklung von Lehre und Forschung an der TU Bergakademie. In dem sehr instruktiven und informativen Bericht wurde auf die Studentenzahlen, die Studienrichtungen und den Stand des sogenannten „Bologna-Prozesses“, das Volumen eingeworbener Drittmittel und die Forschungsschwerpunkte eingegangen.

Für den abschließenden Festvortrag war Prof. Dr. Bernd Meyer gewonnen worden. Er trug vor zum Thema „Entwicklungen auf dem Gebiet Vergasungstechnik und Chemieingenieurwesen/DeZeV“. Der sehr interessante Vortrag wurde mit regem Interesse verfolgt.

## Aus der Arbeit des Vorstandes

Satzungsgemäße Beratungen des Vorstandes fanden am 24. November 2007 („Herbstberatung“) und am 4. Mai 2007

(„Frühjahrs-Sitzung“) statt. Wesentliche Beratungsthemen waren jeweils der Stand der Einnahmen und Ausgaben und die Mitgliederentwicklung. Beschlossen wurde die Durchführung einer Informationsveranstaltung über den Verein. Dazu waren Vertreter größerer und mittlerer sächsischer Firmen zwecks Gewinnung als juristische Mitglieder einzuladen. Der gewünschte Effekt wurde nicht erzielt, da trotz verbindlicher Zusagen die Teilnehmerzahl sehr klein war. Beratungsgegenstand war auch die „Universitäre Weiterbildung und Forschung gGmbH“ (UWF). Gesellschafter dieser gemeinnützigen GmbH sind mit 48% der Verein und mit 52% die Stiftung TU Bergakademie Freiberg.

Wichtigster Tagesordnungspunkt der „Frühjahrsitzung“ war die Vorbereitung der Mitgliederversammlung zur Wahl eines neuen Vorstands am 24. November 2007. Die meisten Vorstandsmitglieder haben sich bereit erklärt, für eine weitere Wahlperiode zu kandidieren.

■ Christian Oelsner

## Der gewählte Vereinsvorstand für die Wahlperiode 2007 bis 2010\*

- Prof. Dr. phil. habil. **Helmuth Albrecht** (1998);  
Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Lehrstuhl für  
Technikgeschichte und Industriearchäologie
- Prof. Dr.-Ing. habil. **Klaus-Dieter Bilkenroth** (1990);  
Hochschullehrer im Ruhestand, Ehrensensator der  
TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. pol. habil. **Horst Brezinski** (1993);  
Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Lehrstuhl für  
internationale Wirtschaftsbeziehungen
- Dipl.-Ing. oec. **Gerlinde Dietze** (1990);  
Kanzlerin im Ruhestand
- Dipl.-Ing. **Reinhard Fuchs** (2007);  
Vattenfall Europe Mining AG, Tagebauleiter in den  
Tagebauen Nochten/Reichwalde
- Dr.-Ing. habil. **Manfred Goedecke** (2007);  
IHK Chemnitz, stellv. Hauptgeschäftsführer
- Dr. **Walter A. Hagn** (1998);  
Abteilungsleiter Kreissparkasse Freiberg
- Dr. **Andreas Handschuh** (2007);  
Kanzler der TU Bergakademie Freiberg
- Prof. e. h. Dr.-Ing. **Klaus-Ewald Holst** (1995);  
Vorstandsvorsitzender der Verbundnetz Gas AG  
Leipzig, Ehrensensator der TU Bergakademie Freiberg

\* Vorstandsmitglieder in alphabetischer Reihenfolge, (Mitglied seit), Tätigkeit

- Prof. Dr.-Ing. **Volker Köckritz** (1991);  
Fakultät Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau,  
Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau
- Dr.-Ing. habil. **Harald Kohlstock** (1995);  
Ehrenszenator der TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. **Hans-Jürgen Kretzschmar** (1991);  
DBI – Gasttechnologisches Institut gGmbH Freiberg
- Dr. **Thomas Müller** (2007);  
Wirtschaftsförderer der Stadt Freiberg
- Prof. i. R. Dr. rer. nat. habil. **Christian Oelsner** (1990);  
Hochschullehrer im Ruhestand
- Prof. Dr. rer. nat. habil. **Gerhard Roewer** (1999);  
Hochschullehrer im Ruhestand
- Prof. Dr. **Michael Schlömann** (1999);  
Amtierender Rektor der TU Bergakademie Freiberg.  
Gemäß der Vereinssatzung § 7 (2) ist der Rektor  
Mitglied des Vorstandes.
- Prof. Dr.-Ing. **Wolf-Dieter Schneider** (1996);  
Aufsichtsratsvorsitzender der DIHAG Essen
- **Christian Schröder** (2007);  
Stellvertretender Vorsitzender des Verwaltungsrates des  
Studentenwerks Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. **Christian Wegerdt** (1990);  
IMA Materialforschung und Anwendungstechnik  
GmbH Dresden

**Rechnungsprüfer**

- Dr. **Wilhelm Haase** (1999);  
Rechtsanwalt, Steuerberater, Wirtschaftsprüfer
- Dipl.-Sparkassenbetriebswirt **Thomas Knoll** (2004);  
Stellv. Abteilungsdirektor Kreissparkasse Freiberg

**Geschäftsführerwechsel im Verein**

Der neu gewählte Vereinsvorstand beschloss auf seiner Vorstandssitzung am 6. Mai 2008 den personellen Wechsel in der Vereinsgeschäftsführung – auf Wunsch des bisherigen Geschäftsführers Herrn Prof. Dr. Christian Oelsner – zum neuen Geschäftsführer, Herrn Prof. Dr. Hans-Jürgen Kretzschmar. Der Vorstand sprach Prof. Oelsner seinen herzlichen Dank für das langjährige und erfolgreiche Wirken als Geschäftsführer und Stellvertreter des Vorsitzenden seit 1998 aus. In dieser Dankbarkeit verlieh ihm der Vorsitzende die St. Barbara-Ehrenmedaille unseres Vereins. In seiner Zeit als Geschäftsführer hat sich der Verein stetig entwickelt, was sich nicht zuletzt im Überschreiten der 1.000er Zahl persönlicher Mitglieder und im Annähern an die 100er Zahl bei den juristischen Mitgliedern ausdrückt. Prof. Oelsner bleibt dankenswerterweise dem Vorstand aktiv erhalten und wird seine Erfahrung dem neuen Geschäftsführer und stellvertretendem Vorsitzenden zugutekommen lassen. Vorstand und Vereinsmitglieder wünschen Prof. Oelsner weiterhin beste Gesundheit und tätiges Wirken im Verein.



Prof. Dr. Christian Oelsner



Prof. Dr. Hans-Jürgen Kretzschmar

Prof. Kretzschmar ist seit 1991 Mitglied im Verein und seit 1996 im Vorstand als Schriftführer tätig. Er erwarb 1967 an der Bergakademie Freiberg das Diplom für Tiefbohrtechnik und Erdöl-Erdgasgewinnung im gleichnamigen Institut des Wiedergründers unseres Vereins und ehemaligen Vorsitzenden sowie Geschäftsführers, Prof. Arnold. Prof. Kretzschmar war Geschäftsführer im Ingenieurunternehmen DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH Leipzig/Freiberg sowie Direktor des An-Institutes DBI-Gasttechnologisches Institut gGmbH Freiberg der TU Bergakademie Freiberg. Außerdem war er als Honorarprofessor für Gasspeichertechnik an das Institut Erdöl-Erdgas der TU Clausthal berufen worden. Mit Erreichen des 65. Lebensjahres 2008 kann er sich dem Verein stärker widmen. Dazu wünschen wir ihm kräftige Gesundheit und gutes Gelingen mit einem frischen Freiburger Glück auf.

**Wesentliche Vereinsaktivitäten des Jahres 2008**

- **Finanzielle Studienförderung** für Auslandsreisen, Fachkonferenzen im In- und Ausland, Diplomarbeiten im Ausland, ausländische Studenten in Freiberg
- **Finanzielle Unterstützung der Studentenwerbung** der TU Bergakademie
- **Beteiligung an der Absolventenvermittlung** für die nachwuchssuchende Wirtschaft
- **Vorbereitung einer würdigen Promovendenfeier** als jährliches Periodikum der TU Bergakademie Freiberg
- **Vereinszeitschrift** zur Information aller Mitglieder über den Verein und die TU

Bergakademie Freiberg

- **Jahresmitgliederversammlung** mit Führung durch die neue Mineraliensammlung im wiedereröffneten Schloss Freudenstein und Barbarafeier zur abendlichen geselligen Begegnung
- **Ständige Mitgliederwerbung:** Je stärker wir sind, um so besser können wir fördern. Bitte überlegen auch Sie, wie Sie in Ihrem Umkreis neue Mitglieder gewinnen können.

**Förderspenden von mehr als 50 € an den Verein bis 31. August 2008**

**Persönliche Mitglieder:**

- Herr Wolf von Oppel, Hamburg, 500 €
- Familie Dipl.-Ing. oec. Rico Wiegand, Freiberg, 120 €
- Familie Dr. Uwe Jansen, Freiberg, 100 €
- Herr Dipl.-Ing. Horst Juhlemann, Bad Lausick, 100 €
- Herr Eberhard Schneider, Freiberg, 100 €
- Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Dieter Bilkenroth, Hohenmölsen, 85 €
- Herr Dr.-Ing. Dieter Schönherr, Senftenberg, 85 €
- Herr Reinhard Boeckh, Heiligenhaus, 80 €
- Herr Tiefbohring. Rolf Goldowsky, Neuss, 80 €
- Herr Dipl.-Ing. Manfred Hagelüken, Erfstadt-Bliesheim, 80 €
- Herr Dipl.-Ing. Gerd Hammer, Magdeburg, 80 €
- Herr Dr. phil. Dr.-Ing. E. h. Werner Freiesleben, Pullach, 60 €
- Herr Dipl.-Ing. (FH) Peter Günzler, Kempen, 60 €
- Familie Dr. Klaus Piefke, Vienenburg, 60 €
- Herr Dipl.-Ing. Eberhard Scholz, Staßfurt, 60 €

**Juristische Mitglieder:**

- Vattenfall Europe Mining AG, Cottbus, 2.410 €
- Kreissparkasse Freiberg, Freiberg, 600 €
- RWE Power AG, Essen, 100 €
- Freiberger Compound Materials GmbH, Freiberg, 70 €

**Der Vorstand dankt Ihnen herzlich.**

**Wir können damit besser fördern!**

† Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder  
 Dr.-Ing. **August Buckeley**, Ratingen-Lintorf  
 \* 17. April 1909, † 25. Februar 2008  
 Dr. **Volker Fritzsche**, München  
 \* 23. Dezember 1921, † 9. April 2008  
 Dr.-Ing. **Ferdinand Heising**, Werne  
 \* 25. Mai 1929, † 15. März 2008  
 Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. **Dieter Henning**, Düren  
 \* 5. Juni 1936, † 13. Dezember 2007  
 Prof. em. Dr. oec. habil. **Johann Köhler**, Freiberg  
 \* 27. Dezember 1920, † 30. Dezember 2007  
 Prof. em. Dr. rer. nat. **Eckard Macherauch**, Karlsruhe  
 \* 30. September 1926, † 10. Juli 2008  
 Prof. Dr. **Marvin D. Rausch**, Massachusetts  
 † 2. Mai 2008  
 Doz. Dr. habil. **Gerhard Tischendorf**, Zittau  
 \* 25. Dezember 1927, † 10. Dezember 2007  
 Ingenieur **Karl-Heinz Windorf**, Schleusingen  
 \* 25. September 1940, † August 2008  
 Dipl.-Ing. **Randolf Kahle**, Leipzig  
 \* 16. März 1940, † 4. Oktober 2008  
 Wir werden ihnen ein ehrendes Angedenken bewahren.

## Geburtstage unserer Vereinsmitglieder

Herzliche Glückwünsche und Glück auf!

### 60. Geburtstag

- Dr. Bether, Wolfgang, Hoyerswerda
- Frau Brezinski, Helene, Oberschöna
- Dr. Eckardt, Elke, Freiberg
- Dr. Fischer, Gerd, Weinheim
- Dr.-Ing. Gollnast, Wolfgang, Heckelberg
- Dipl.-Ing. Horezky, Reinhardt, Dresden
- Dipl.-Journ. Höppner, Christel-Maria, Striegestal
- Dipl.-Ing. Höppner, Wolfram, Hoyerswerda
- Dr.-Ing. habil. Keßler, Jürgen, Oberschöna
- Prof. Dr.-Ing. habil. Lippold, Joachim, Oelsnitz
- Prof. Dr.-Ing. habil. Meier, Günter, Wegefardth
- Dr. rer. pol. Middendorf, Rolf, Radebeul
- Dipl.-Ing. Raßbach, Kurt, Chemnitz
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Schneider, Jörg, Freiberg
- Dipl.-Ing. oec. Schramm, Bernd-E., Oberschöna
- Prof. Dr.-Ing. habil. Sroka, Anton, Dresden
- Dipl.-Ing. Welsch, Wolfgang, Gleichamberg
- Dipl.-Ing. Zehmisch, Bernd, Borsdorf

### 65. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Brandt, Wulf, Königs Wusterhausen
- Dr. Cukalla, Martin, Tirana
- Dipl.-Ing. oec. Dietze, Gerlinde, Großhartmannsdorf
- Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Fasold, Hans-Georg, Essen
- Prof. Dr. habil. Hebert, Detlef, Freiberg
- Prof. e. h. Dr.-Ing. Holst, Klaus-Ewald, Leipzig
- Dr. oec. Hummitzsch, Rudolf, Leipzig
- Dr. Jesse, Jürgen, Machern
- Dr.-Ing. e. h. Koch, Peter, Aue
- Prof. Dr.-Ing. habil. Kretschmar, Hans-Jürgen, Freiberg
- Prof. Dr. Niklas, Jürgen, Kleinschirma
- Prof. Dr. Dr. h. c. Reichwald, Ralf, Wolftratshausen
- Dr. phil. Runge, Monika, Freiberg
- Dipl.-Ing. Scheibe, Manfred, Großpösna
- Dipl.-Ing. Specht, Klaus-Peter, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Tilch, Werner, Freiberg

### 70. Geburtstag

- Dr.-Ing. Bayer, Manfred, Oberschöna
- Dipl.-Ing. Berger, Klaus, Motten
- Dr. Bittner, Horst, Mohorn
- Dipl.-Ing. Bormann, Frank, Großpösna
- Prof. Dr.-Ing. habil. Bom, Manfred, Freiberg
- Dipl.-Ing. Breitreutz, Egon, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Egemann, Heinz, Aschersleben
- Dr. Engelhardt, Reiner, Freiberg
- Dr.-Ing. Eulenberger, Heinz, Freiberg
- Dipl.-Ing. Fischer, Rudolf, Kassel
- Dr.-Ing. Hempel, Dieter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Herold, Horst, Taucha
- Dipl.-Ing. (FH) Illing, Dieter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Kloppe, Klaus, Berlin
- Dr.-Ing. habil. Kohlstock, Harald, Freiberg
- Dr. sc. oec. Kretzer, Johannes, Freiberg
- Dipl.-Ing. Regierungsdirektor i. R. Kutzer, Hans-Joachim W., Windach
- Dipl.-Ing. Link, Joachim, Freiberg
- Dipl.-Ing. Linke, Hans, Gera

- Dipl.-Ing. Lust, Alfred, Dahlenwarsleben
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Metzging, Peter, Senftenberg
- Dr.-Ing. habil. Michalzik, Günter, Dresden
- Dr. Dipl.-Geol. Richter, Horst, Freiberg
- Dr.-Ing. Seifert, Harald, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Sitz, Peter, Freiberg
- Prof. i. R. Dr. oec. habil. Slaby, Dieter, Freiberg
- Dr.-Ing. Wehrsig, Hartmut, Freiberg
- Dipl.-Ing. Wilde, Peter, Glienicke
- Dipl.-Ing. Dr. oec. Zinke, Hans-Georg, Freiberg

### 75. Geburtstag

- Dipl.-Geophys. Albin, Siegfried, Leipzig
- Dipl.-Ing. Bergemann, Heinz, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. habil. Bilkenroth, Klaus-Dieter, Hohenmölsen
- Dr.-Ing. Denecke, Albrecht, Buchholz
- Prof. Dr. Dr. h. c. Förster, Wolfgang, Niederschöna
- Prof. Dr. Guntau, Martin, Rostock
- Markscheider Dipl.-Ing. König, Dietrich, Lübbenau
- Bergassessor Lensing-Hebben, Wilhelm, Moers
- Kfm. Angestellter Neumann, Manfred, Hameln
- Prof. Dr.-Ing. habil. Piatkowiak, Norbert, Großschirma
- Dr.-Ing. Ramdohr, Harald, Weinheim
- Prof. Dr.-Ing. Scharf, Gerhard, Freital
- Markscheider Dr.-Ing. Schmidt, Tankred, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Textor, Horst-Ulrich, Mülheim
- Prof. Dr. Toffel, Rolf, Lehre
- Dipl.-Ing. oec. Wegmann, Georg, Erfurt

### 80. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Berger, Gerhardt, Freiberg
- Markscheider Dr.-Ing. Bognitz, Horst, Halle
- Dr.-Ing. Gappa, Konrad, Dinslaken
- Dipl.-Ing. (FH) Günßler, Peter, Kempen
- Dipl.-Ing. Hirsch, Wolfram, Erkrath
- Dr.-Ing. Klepel, Gottfried
- Dr. rer. nat. Knothe, Christian, Freiberg
- Markscheider Dipl.-Ing. Marx, Hans-Joachim, Freiberg
- Prof. Dr. Pfeiffer, Ludwig, Freiberg
- Dr.-Ing. Severin, Gerd, Dresden
- Prof. Dr.-Ing. Steinhardt, Rolf, Freiberg
- Dipl.-Geol. Dr. rer. nat. Ullrich, Hellmuth, Sondershausen
- Prof. Dr.-Ing. Wild, Heinz Walter, Dinslaken

### 81. Geburtstag

- Herrn Flach, Siegfried, Damme
- Dipl.-Met. Gerischer, Karl, Köln
- Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. Kratzsch, Helmut, Berlin
- Dipl.-Ing. Matthes, Günter, Luxemburg
- Dr.-Ing. e. h. Rauhut, Franz Josef, Bottrop
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schmidt, Martin, Berlin
- Prof. Dr. sc. techn. Schmidt, Reinhardt, Weimar
- Dipl.-Ing. Stolpe, Egon Emanuel, Nürnberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Wagenbreth, Otfried, Freiberg

### 82. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. habil. Dulinski, Wladyslaw, Krakau
- Prof. Dr.-Ing. habil. Lewandowski, Jan Lech, Krakau
- Prof. em. Dr. rer. nat. Macherauch, Eckard, Karlsruhe
- Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Röbert, Siegfried, Weimar
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Schneider, Herbert A., Freiberg
- Prof. Dr. sc. techn. Drs. h. c. Schubert, Heinrich, Freiberg
- Prof. em. Dr. Dr. h. c. Weber, Franz, Leoben

### 83. Geburtstag

- Dr.-Ing. Bartelt, Dietrich, Essen
- Dr.-Ing. Boltz, Gerhard, Lutherstadt Eisleben
- Markscheider Dipl.-Ing. Hartnick, Dieter, Freiberg
- Prof. em. Dr. Junghans, Rudolf, Freiberg
- Dipl.-Ing. Reimann, Dieter, Kronberg
- Dr. Schmid, Alfred, Wolfenbüttel
- Oberingenieur Unland, Johann, Hofheim
- Prof. Dr. habil. Wünsche, Manfred, Freiberg

### 84. Geburtstag

- Prof. em. Dr.-Ing. Dietze, Wolfgang, Freiberg
- Prof. Dr. Heitfeld, Karl-Heinrich, Aachen
- Prof. Podzucki, Czeslaw, Krakau
- Dr. Rudolf, Heinz, Merseburg
- Prof. em. Dr. sc. oec. Dr. jur. Zienert, Hans, Freiberg

### 85. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Hagelüken, Manfred, Erfstadt-Bliesheim
- Dipl.-Berging. Katzmann, Otto, Nordhausen
- Prof. em. Dr. phil. habil. Uhlmann, Harro, Freiberg

### 86. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Kögler, Erhard, Wiesbaden
- Prof. Dr. Dr. h. c. Moser, Heribert, Hechendorf
- Prof. Dr. jur. Dipl.-Ing. Weißflog, Johannes, Leipzig

### 87. Geburtstag

- Dr.-Ing. Baunack, Fritz, Bad Hersfeld

### 88. Geburtstag

- Doz.-Ing. Bauer, Jaroslav, Prag
- Markscheider Dipl.-Ing. Beyer, Kurt, Dresden
- Prof. em. Dr. habil. Rösler, Hans-Jürgen, Freiberg

### 91. Geburtstag

- Prof. em. Dr.-Ing. Neumann, Alfred, Schöneiche

### 92. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Samtleben, Werner, Hildesheim

### 94. Geburtstag

- Dipl.-Berging. Rüsse, Horst, Bad Wörishofen

### 97. Geburtstag

- Dr.-Ing. Kootz, Karl Richard, Salzburg

### 98. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Dürr, Hans, Bad Laasphe

Geburtstagsjubiläen nach dem 21.11.2008

### 60. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Lesniewski, Bernd, Gera
- Dipl.-Ing. Lewitzki, Wolfgang, Cottbus
- Dipl.-Ing. Nagel, Ulrich, Halle/Saale
- Dipl.-Ing. Pinninghoff, Winfried, Leipzig

### 65. Geburtstag

- Dipl.-Geophys. Heinze, Konrad, Freiberg
- Gastwirt Imhof, Dietmar, Freiberg

### 70. Geburtstag

- Dr. Bernhardt, Claus, Freiberg

### 75. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Freymann, Manfred, Halle/Saale

### 80. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Bannert, Horst, Neuhof
- Prof. Dr.-Ing. Duchrow, Günther, Sondershausen

### 82. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Krug, Günther, Lutherstadt Eisleben

### 83. Geburtstag

- Prof. i. R. Köhler, Johannes, Mülheim a. d. Ruhr

### 87. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Gärtner, Jürgen, Radebeul

# Unsichere Daten und die stochastische Finite-Element-Methode

Michael Eiermann, Oliver G. Ernst und Elisabeth Ullmann

## Zusammenfassung

Numerische Simulationen, die auf partiellen Differentialgleichungen basieren, spielen in allen Natur- und Ingenieurwissenschaften eine immer wichtigere Rolle. Gewaltige Fortschritte der Computertechnik sowie die Entwicklung sehr leistungsfähiger numerischer Methoden erlauben heute Berechnungen in extrem komplexen mathematischen Modellen. Oft sind allerdings die Daten, die als Parameter entweder in die Gleichungen oder in Nebenbedingungen eingehen, mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Man denke etwa an den Durchlässigkeitsbeiwert eines porösen Mediums oder an die Kraft, die Wellen auf eine Kaimauer ausüben. Die stochastische Finite-Element-Methode ermöglicht eine Quantifizierung der Effekte, die diese Unsicherheiten in den Daten verursachen.

## Unsicherheit in den Daten mathematischer Modelle

Es gibt wohl keinen Bereich der Ingenieur- und Naturwissenschaften, der ohne numerische Simulation mathematischer Modelle auskommt. Zum einen ist die rechnerische Simulation dann unumgänglich, wenn reale Experimente mit den Untersuchungsobjekten undurchführbar sind: Man denke zum Beispiel an die Entstehung von Galaxien oder an Objekte, die erst geplant sind, also real noch gar nicht existieren. Aber auch wenn reale Experimente möglich sind, ist es oft kostengünstiger und ressourcenschonender, stattdessen numerische Simulationen durchzuführen. Beim *mathematischen Modell* handelt es sich oft um partielle Differentialgleichungen, die gewisse *physikalische oder chemische Phänomene* beschreiben. Die Lösungen dieser Gleichungen werden mit Hilfe *numerischer Methoden* näherungsweise durch Berechnungen auf *Computern* bestimmt. Diese vier Komponenten sind in Abb. 1 mit ihren Wechselwirkungen schematisch dargestellt. Die enormen Fortschritte, die auf dem Gebiet der Computersimulation in den vergangenen Jahrzehnten erzielt wurden, sind natürlich auf erhöhte Rechengeschwindigkeit und

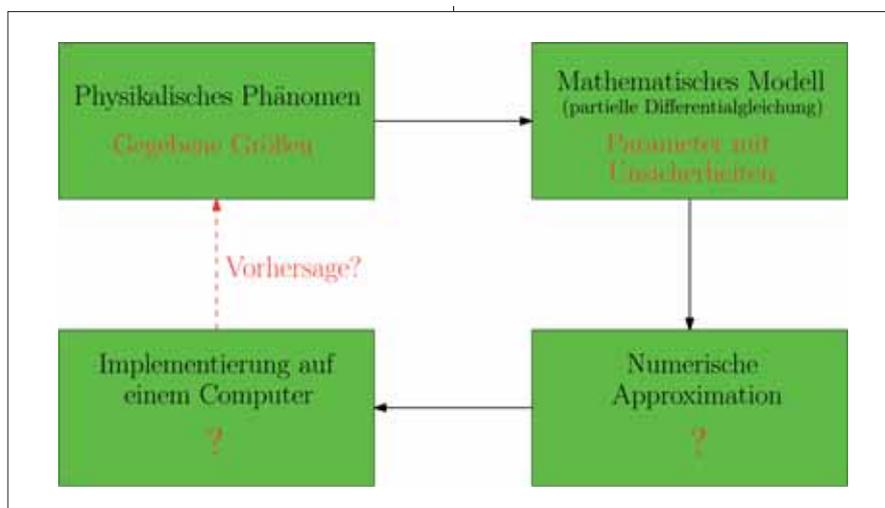


Abb. 1: Unsicherheiten in den Daten: Gegebene Größen (wie etwa Materialkonstanten) gehen in das mathematische Modell als Parameter ein. Ihre Werte werden entweder gemessen oder beruhen auf gewissen Annahmen, sind aber in jedem Fall mit Unsicherheiten behaftet. Die Fragezeichen sollen andeuten, dass unklar ist, wie diesen Unsicherheiten bei der numerischen Approximation Rechnung getragen wird und welche Probleme diese bei der Implementierung auf einem Computer verursachen. Das Ziel ist letztlich, Effekte zu quantifizieren, die Unsicherheiten in den Daten verursachen, um so fundiertere Aussagen über die zu modellierenden Phänomene zu ermöglichen.

Speicherkapazität, aber auch auf Verbesserungen im Bereich der Softwaretechnologie zurückzuführen. Die Entwicklung von Programmbibliotheken für elementare Operationen der linearen Algebra (BLAS, basic linear algebra subroutines) oder die Konstruktion adaptiver Diskretisierungsmethoden und Mehrgitterverfahren sind Beispiele dafür, dass die Fortschritte auf dem Gebiet der numerischen Methoden ähnlich spektakulär ausfielen. Viele komplizierte Differentialgleichungssysteme können heute schnell und mit nahezu beliebiger Genauigkeit gelöst werden.

Die Daten, die in das mathematische Modell eingehen, werden in der Regel als genau bekannt vorausgesetzt. Es handelt sich hier um zahlreiche Parameter wie etwa die räumliche Verteilung von Materialkoeffizienten, aber auch um Rand- und Anfangsbedingungen oder Quellterme. In Wirklichkeit werden diese Daten aber gemessen oder basieren auf den unterschiedlichsten Annahmen, was letztlich immer mit Unsicherheiten verbunden ist. Tatsächlich überwiegen diese Fehler in den Daten oft die Rundungs- und Diskretisierungsfehler. Man unterscheidet prinzipiell zwischen *epistemischer* und *aleatorischer* Unsicherheit. Erstere resultiert aus unvollständiger Kenntnis der

geltenden Naturgesetze, etwa gewisser deterministischer Konstanten (z.B. Materialkonstanten) und kann durch zusätzliche Informationen reduziert werden. Die letztere entsteht durch Zufallseinflüsse oder inhärente Variabilitäten von Größen, die sich eigentlich nur probabilistisch beschreiben lassen (wie etwa die Belastung eines Gebäudes durch Wind).

Natürlich können technologische oder politische Entscheidungen, die auf Ergebnissen numerischer Simulationen beruhen, erheblich fundierter getroffen werden, wenn die Unsicherheiten in diesen Ergebnissen sinnvoll quantifiziert sind. Daher wird das Problem, Unsicherheiten zu quantifizieren (UQ, uncertainty quantification), d.h. die Größe des Einflusses unsicherer Daten auf die Berechnungsergebnisse zu bestimmen, seit Kurzem intensiv diskutiert.

Die am meisten verbreitete Technik, den Unsicherheiten in den Daten Rechnung zu tragen, besteht sicherlich darin, die ganze Problematik zu ignorieren und Durchschnittsgrößen als Eingangsdaten zu verwenden. Andere Methoden beruhen auf unscharfer Mengenlehre (fuzzy set theory) oder der Analyse des schlechtesten Falls (worst-case analysis). Ein stochastischer Ansatz modelliert die

unsicheren Größen als Zufallsvariablen, die – wenn sie als Parameter in partielle Differentialgleichungen eingehen – zu *stochastischen partiellen Differentialgleichungen* führen. Die Lösungen solcher Gleichungen sind ebenfalls vom Zufall abhängig, sie stellen stochastische Prozesse dar und können mit der Monte-Carlo-Methode „berechnet“ werden: Man erzeugt Realisierungen der Zufallsvariablen, die die Daten repräsentieren. Jede von ihnen führt zu einem deterministischen Modell, d. h. zu deterministischen partiellen Differentialgleichungen, die mit einer geeigneten Methode gelöst werden. Auf diese Weise erhält man eine Stichprobe des Lösungsprozesses, aus der man statistische Informationen über die Variabilität der Lösung gewinnen kann. Verlässliche Informationen erfordern jedoch in der Regel umfangreiche Stichproben, was wiederum die Lösung zahlreicher deterministischer partieller Differentialgleichungen erfordert. Die Monte-Carlo-Lösung einer stochastischen partiellen Differentialgleichung ist deshalb üblicherweise sehr aufwändig. Das Ziel der *stochastischen Finite-Element-Methoden* (SFEM) ist ambitionierter: Hier soll der gesamte stochastische Prozess, der die Lösung darstellt, approximiert werden und nicht nur einige seiner Realisierungen. Man kann danach etwa Erwartungswert, Varianz und weitere Momente der Lösung, aber auch die Wahrscheinlichkeit von Ereignissen berechnen, die durch die partiellen Differentialgleichungen definiert sind.

Methoden der Stochastischen Finiten Elemente wurden ursprünglich von Ingenieuren entwickelt und auf Probleme der Strukturmechanik angewandt. In der Zwischenzeit haben sie sich als eine der wichtigsten Verfahrensklassen zur Quantifizierung des Einflusses unsicherer Daten auf die Lösung partieller Differentialgleichungen etabliert. Ihre Anwendung erfordert allerdings die numerische Lösung zahlreicher Teilprobleme. Wir wollen hier die Idee der SFEM an einem einfachen Modellproblem skizzieren und erläutern, welche rechnerischen Aufgaben bei ihrer Implementierung gelöst werden müssen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützt im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Mathematische Methoden zur Extraktion quantifizierbarer Informationen aus komplexen Systemen“ die Entwicklung und Analyse entsprechender Algorithmen am Institut für Numerische Mathematik und Optimierung. Eine detaillierte Beschreibung der SFEM findet man

in [1] und der Dissertation [2], die auch numerische Beispiele sowie ein ausführliches Literaturverzeichnis enthält.

## Randwertprobleme mit stochastischen Daten

Ausgangspunkt ist das (zunächst deterministische) homogene Randwertproblem

$$\begin{aligned} -\nabla \cdot (\kappa(x) \nabla u(x)) &= f(x), & x \in D, \\ u(x) &= 0, & x \in \partial D, \end{aligned} \quad (\text{RWP})$$

das zum Beispiel die stationäre Temperaturverteilung in einem inhomogenen Körper  $D$  beschreibt, an dessen Rand  $\partial D$  die Temperatur konstant auf  $u=0$  gehalten wird. Gesucht ist hier die Temperatur  $u(x)$  in jedem Punkt  $x$  im Innern des Körpers; Daten sind der Wärmeleitkoeffizient  $\kappa(x)$ , der im Körper variieren darf, sowie der Term  $f(x)$ , der eine Wärmequelle oder -senke im Körper darstellt.

Die (deterministische) Finite-Element-Methode (FEM) ist eine nahezu universell einsetzbare Methode zur Lösung von Randwertaufgaben bei Differentialgleichungen. (Sehr) grob gesagt wird dabei das Gebiet, auf dem die Lösung gesucht wird, (in unserem Fall also der Körper  $D$ ) in endlich viele Teilgebiete zerlegt (in die Finiten Elemente). Oft sind diese Teilgebiete Dreiecke (in 2-D) oder Tetraeder (in 3-D), weshalb man auch von einer Triangulierung spricht. Im nächsten Schritt werden so genannte Basisfunktionen  $\Phi_j$  definiert, von denen jede einzelne – und das ist entscheidend – nur auf sehr wenigen der Teilgebiete von Null verschieden ist (vgl. Abb. 2). Die gesuchte Lösung  $u$  von (RWP) wird als gewichtete Summe dieser Basisfunktionen angesetzt,  $u(x) = \sum \alpha_j \Phi_j(x)$ ,

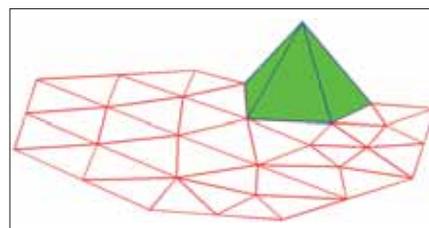
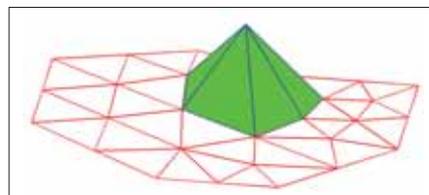


Abb. 2: Zwei Basisfunktionen über einer Finiten-Element-Triangulierung eines Grundgebiets

wobei die Gewichte  $\alpha_j$  mit Hilfe von Variationsprinzipien (in den ursprünglichen Anwendungen Prinzipien der Energieminimierung) bestimmt werden. Praktisch bedeutet das, dass man die Lösung (mit den unbekanntem Gewichten) in das Problem (RWP) einsetzt, diese Gleichung dann mit gewissen Testfunktionen multipliziert und anschließend über  $D$  integriert. Dies führt auf ein (in unserem Fall lineares) System algebraischer Gleichungen für die Gewichte, dessen Koeffizientenmatrix *Steifigkeitsmatrix* genannt wird.

Die Qualität der FEM-Näherungslösung, d. h. die Größe des Diskretisierungsfehlers, hängt im Wesentlichen von der Anzahl  $N_x$  der Basisfunktionen ab, die wiederum die Anzahl der Unbekannten des Gleichungssystems bestimmt. Um eine akzeptable Genauigkeit garantieren zu können, wird man daher oft sehr große Systeme lösen müssen. Zum Glück sind die Steifigkeitsmatrizen schwach besetzt, d. h. in jeder einzelnen Gleichung treten nur wenige der Unbekannten auf, was aus der Eigenschaft der Basisfunktionen folgt, auf fast allen Elementen zu verschwinden. Aus diesem Grund werden (zumindest bei großen dreidimensionalen Problemen) *Iterationsverfahren* wie Mehrgridverfahren zur Lösung der FEM-Gleichungssysteme verwendet. Dies soll hier nicht vertieft werden, bemerkt werden soll nur, dass es nicht ungewöhnlich ist, bei der numerischen Lösung einer Randwertaufgabe durch die FEM auf einem Computer bis zu 95% der gesamten Laufzeit zur Lösung dieses Gleichungssystems zu verwenden, weshalb diese Teilaufgabe besondere Aufmerksamkeit verdient.

Hängt das Randwertproblem (RWP) vom Zufall ab, so ist die FEM nicht direkt anwendbar und muss modifiziert werden. Um die Darstellung allgemein verständlich zu halten, nehmen wir an, dass nur der Wärmeleitkoeffizient  $\kappa$  zufallsbehaftet ist, während der Quellterm  $f$  deterministisch ist.  $\kappa$  hängt also nicht nur von der Ortsvariablen  $x \in D$ , sondern auch vom Zufall ab. Die Schreibweise  $\kappa = \kappa(x, \omega)$  soll dies verdeutlichen; man spricht von einem *Zufallsfeld*. Für jeden festen Punkt  $x \in D$  im Körper ist  $\kappa(x, \cdot)$  eine *Zufallsvariable*, also eine Funktion, deren Werte (hier die Leitfähigkeit im Punkt  $x$ ) vom Zufall abhängen. Man beschreibt eine Zufallsvariable in der Regel durch ihre Verteilungsfunktion  $F(k)$ , die angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Ereignis  $\{\kappa(x, \cdot) \leq k\}$  eintritt (mit welcher Wahrscheinlichkeit der Wärmeleitkoeffizient an der Stelle  $x$

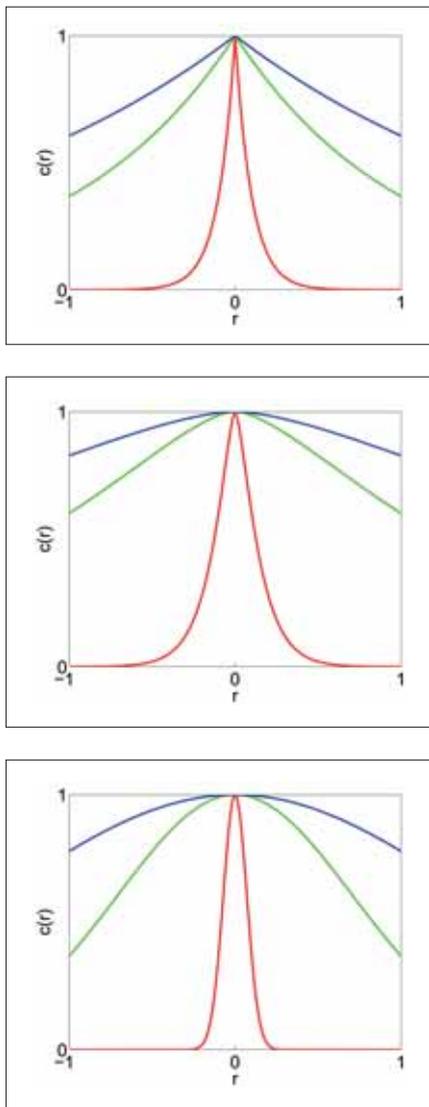


Abb. 3: Gebräuchliche Kovarianzfunktionen homogener isotroper Zufallsfelder: Exponentielle (oben), Besselsche (Mitte) sowie eine Gaußsche Korrelation (unten). In jeder der drei Abbildungen hat die Korrelationslänge die Werte  $\alpha = 0.1$  (untere, rote Kurve),  $\alpha = 1$  (mittlere, grüne Kurve) bzw.  $\alpha = 2$  (obere, blaue Kurve).

den Wert  $k$  nicht übersteigt). Als konkretes Beispiel kann man sich vorstellen, dass  $\kappa(x, \cdot)$  gleichverteilt zwischen einer unteren  $k_u = k_u(x)$  und einer oberen Schranke  $k_o = k_o(x)$  variiert. Für jedes  $k$  zwischen  $k_u$  und  $k_o$  ist die Verteilungsfunktion dann durch  $F(k) = (k - k_u) / (k_o - k_u)$  gegeben. Andererseits kann  $\kappa(\cdot, \omega)$  bei festem  $\omega$  als eine Stichprobe aus der Menge aller möglichen Leitfähigkeitsverteilungen über  $D$  interpretiert werden. Natürlich ist mit  $\kappa$  auch die gesuchte Lösung  $u = u(x, \omega)$  von (RWP) ein Zufallsfeld.

Wir benötigen zwei weitere technische Begriffe aus der Stochastik. Der **Erwartungswert** oder Mittelwert  $\bar{\kappa}(x)$  des Zufallsfeldes  $\kappa(x, \omega)$  ist der (vom Ort abhängige) Wert, der sich als Durchschnitt einer großen Anzahl von Realisierungen

ergibt. Eine zwischen  $k_u$  und  $k_o$  gleichverteilte Zufallsgröße  $\kappa(x)$  besitzt den Erwartungswert  $\bar{\kappa}(x) = (k_u + k_o) / 2$ . Die **Kovarianz** zweier Zufallsgrößen ist ein Maß für ihren linearen Zusammenhang. Ist sie dem Betrag nach sehr groß, so kann man davon ausgehen, dass zwischen den beiden Zufallsvariablen ein nahezu linearer Zusammenhang besteht. Ist die Kovarianz gleich Null, so spricht man von unkorrelierten Größen. In unserem Beispiel ist die Kovarianz  $\text{Kov}_\kappa(x, y)$  also ein Maß für den Zusammenhang zwischen den Wärmeleitkoeffizienten an den Stellen  $x$  und  $y$  im Körper  $D$ . In der Praxis nimmt man oft an, dass die Zufallsfelder homogen und isotrop sind, was unter anderem bedeutet, dass der Erwartungswert ortsunabhängig ist und die Kovarianzfunktion  $\text{Kov}_\kappa(x, y)$  nicht von den Punkten  $x$  und  $y$ , sondern nur von deren Abstand  $r$  abhängt. Abb. 3 zeigt Kovarianzfunktionen, die in der praktischen Modellierung sehr beliebt sind. Sie enthalten neben dem Abstand  $r$  einen weiteren wichtigen Parameter: die so genannte Korrelationslänge  $\alpha$  ist ein Maß für den Abstand, bei dem das Zufallsfeld eine signifikante Korrelation aufweist.

### Die Diskretisierung des Zufalls und die SFEM

Unser Interesse gilt dem stochastischen Analogon des Randwertproblems (RWP), nämlich

$$\begin{aligned} -\nabla \cdot (\kappa(x, \omega) \nabla u(x, \omega)) &= f(x), & x \in D, \\ u(x, \omega) &= 0, & x \in \partial D, \end{aligned} \quad (\text{S-RWP})$$

dessen Lösung, die Temperaturverteilung  $u = u(x, \omega)$ , ein Zufallsfeld ist. Sie hängt von zwei Variablen ab: einmal vom Ort  $x \in D$ , zum andern vom Zufall, repräsentiert durch die stochastische Variable  $\omega$ . Der Zufall kam ins Spiel, weil der Wärmeleitkoeffizient  $\kappa$  als Zufallsfeld modelliert wurde. Die SFEM behandelt die beiden Variablen, die deterministische Variable  $x$  und die stochastische Variable  $\omega$ , getrennt voneinander. Dazu müssen diese Variablen zunächst in den zufallsbehafteten Daten, hier also in  $\kappa(x, \omega)$ , separiert werden. Ein möglicher Ansatz ist eine (abgebrochene) **Karhunen-Loève-Entwicklung**, bei der  $\kappa$  näherungsweise als endliche Summe von Produkten von Funktionen dargestellt wird, die jeweils nur von einer Variablen abhängen:  $\kappa(x, \omega) = \sum \mu_j(x) \xi_j(\omega)$ . Die Bestandteile dieser Entwicklung, die eng mit

der Hauptkomponentenanalyse aus der multivariaten Statistik verwandt ist, sind die unkorrelierten Zufallsvariablen  $\xi_j(\omega)$  und die deterministischen Funktionen  $\mu_j(x)$ , die nur vom Ort abhängen. Man kann diese Funktionen  $\mu_j(x)$  aus einem Eigenproblem berechnen, das durch die Kovarianzfunktion des Zufallsfeldes festgelegt ist. Abb. 4 zeigt Eigenfunktionen mit Index  $j = 1, 2, 4$  und  $6$ , die zur Besselschen Kovarianzfunktion über dem Quadrat  $D = [-1, 1] \times [-1, 1]$  gehören. Es ist wichtig festzuhalten, dass die stochastische Variabilität von  $\kappa$  jetzt durch **endlich** viele Zufallsvariablen  $\xi_1(\omega), \xi_2(\omega), \dots, \xi_M(\omega)$  beschrieben wird. Aus numerischer Sicht müssen dazu die dominanten Eigenwerte und zugehörige Eigenvektoren einer im Allgemeinen sehr großen und **voll besetzten** Matrix berechnet werden, was spezielle Techniken (Approximation durch **hierarchische Matrizen**) erfordert.

Wie erwähnt, besitzt die SFEM den entscheidenden Vorteil, dass stochastische und deterministische Variablen getrennt voneinander behandelt werden. Der deterministische Anteil wird wie bei einem deterministischen Randwertproblem mit der üblichen FEM gelöst. In der Praxis bedeutet das, dass die umfangreiche FEM-Software, die über Jahrzehnte entstanden ist, unverändert eingesetzt werden kann. Sie muss nur um eine stochastische Komponente erweitert werden.

Wie bei der FEM, so setzt man auch bei der SFEM die gesuchte Lösung von (S-RWP) als gewichtete Summe einfacher Basisfunktionen an,  $u(x, \omega) = \sum \alpha_{i,j} \Psi_i(\omega) \Phi_j(x)$ . Für die räumliche Variable  $x$  verwendet man als Basisfunktionen  $\Phi_j$  solche, die auch bei der deterministischen FEM zum Einsatz kommen (vgl. Abb. 2). Eine Möglichkeit, Basisfunktionen für den stochastischen Anteil zu gewinnen, geht auf Norbert Wiener zurück und ist mit dem Schlagwort **polynomielles Chaos** verknüpft: Mit Hilfe einer Karhunen-Loève-Entwicklung ist es gelungen, den Einfluss des Zufalls durch endlich viele Zufallsvariable  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_M$  zu beschreiben. Wir betrachten jetzt alle Polynome in den  $M$  Variablen  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_M$ , deren Grad eine vorgegebene Zahl  $p$  nicht übersteigt, d. h. gewichtete Summen von Ausdrücken der Bauart  $\xi_1^{k_1} \xi_2^{k_2} \dots \xi_M^{k_M}$  mit  $\sum k_j \leq p$ . Welche Basis  $\Psi_1(\omega), \Psi_2(\omega), \dots, \Psi_{N_\omega}(\omega)$  dieses Polynomraums geeignete Ansatzfunktionen liefert, hängt von der Verteilung der Zufallsgrößen  $\xi_j$  ab.

Sind die Basisfunktionen  $\Phi_j(x)$  und  $\Psi_i(\omega)$  festgelegt, so müssen noch die

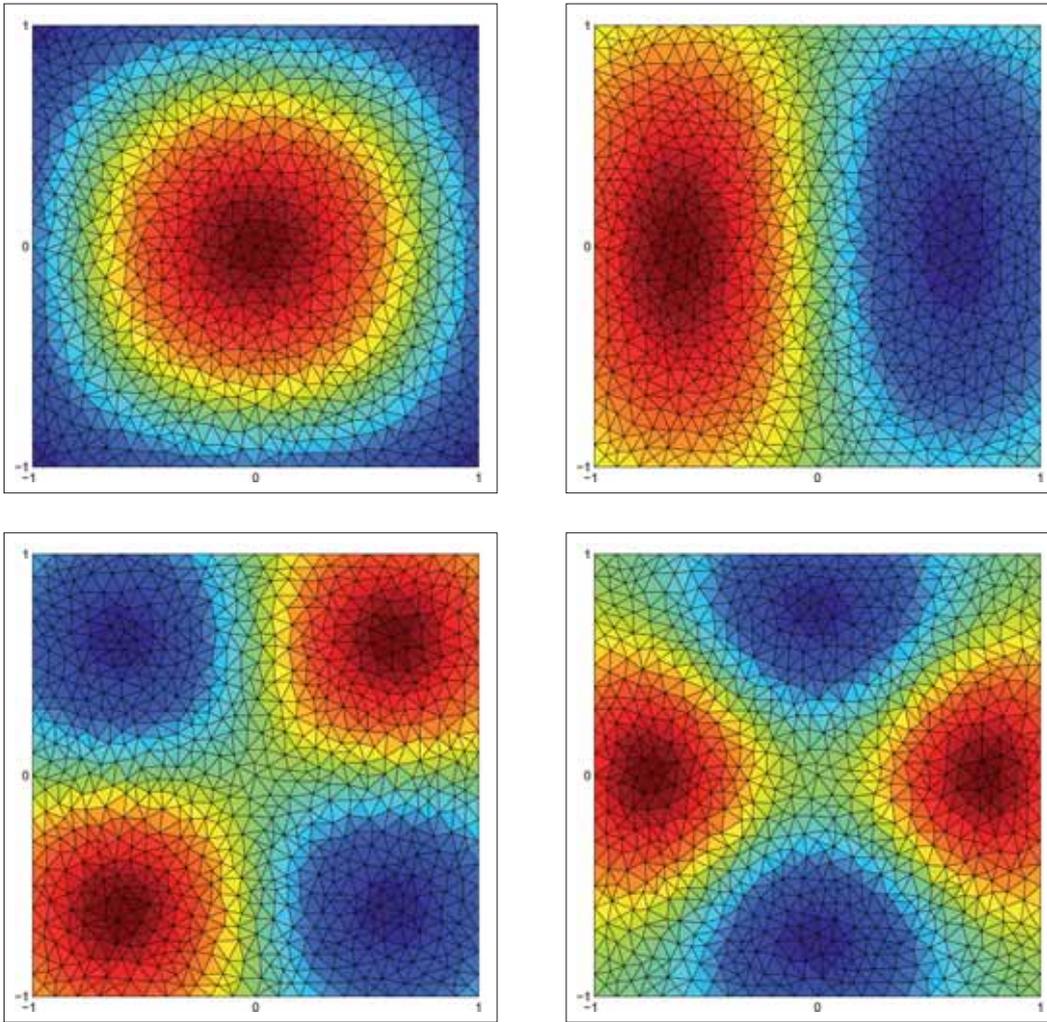


Abb. 4: Eigenfunktionen vom Index 1, 2, 4 und 6, die zu einer Bessel-schen Kovarianzfunktion gehören

Gewichte  $\alpha_{i,j}$  bestimmt werden. Unter Verwendung gewisser Variationsprinzipien zeigt sich (analog zur gewöhnlichen FEM), dass man sie als Lösung eines linearen Gleichungssystems erhält. Bei der SFEM treten neben den  $N_x$  deterministischen Freiheitsgraden aber noch  $N_\omega$  stochastische auf, so dass man insgesamt  $N_x N_\omega$  Gleichungen in ebenso vielen Unbekannten lösen muss. Abb. 5 zeigt die Struktur der entsprechenden Koeffizientenmatrix-

zen für den Fall, dass die Karhunen-Loève-Entwicklung nach dem vierten Term abgeschnitten wird und Polynome vom Grad  $p = 1$  (links),  $p = 2$  (Mitte) bzw.  $p = 3$  (rechts) verwendet werden. Jedes der Quadrate symbolisiert die Steifigkeitsmatrix einer deterministischen FEM. Da bereits diese Matrizen groß sind, ist das Lösen von Gleichungssystemen mit SFEM-Matrizen eine wirkliche Herausforderung: in der Regel handelt es sich hier um Probleme

mit mehreren Millionen Unbekannten, die nur mit eigens zu diesem Zweck konzipierten Iterationsverfahren gelöst werden können.

**Literatur:**

- [1] M. Eiermann, O. G. Ernst, E. Ullmann. Computational aspects of the stochastic finite element method. *Comput. Visual Sci.* 10: 3–15 (2007).
- [2] E. Ullmann. Solution strategies for stochastic finite element discretizations. Dissertation. Fakultät für Mathematik und Informatik. TU Bergakademie Freiberg (2008).

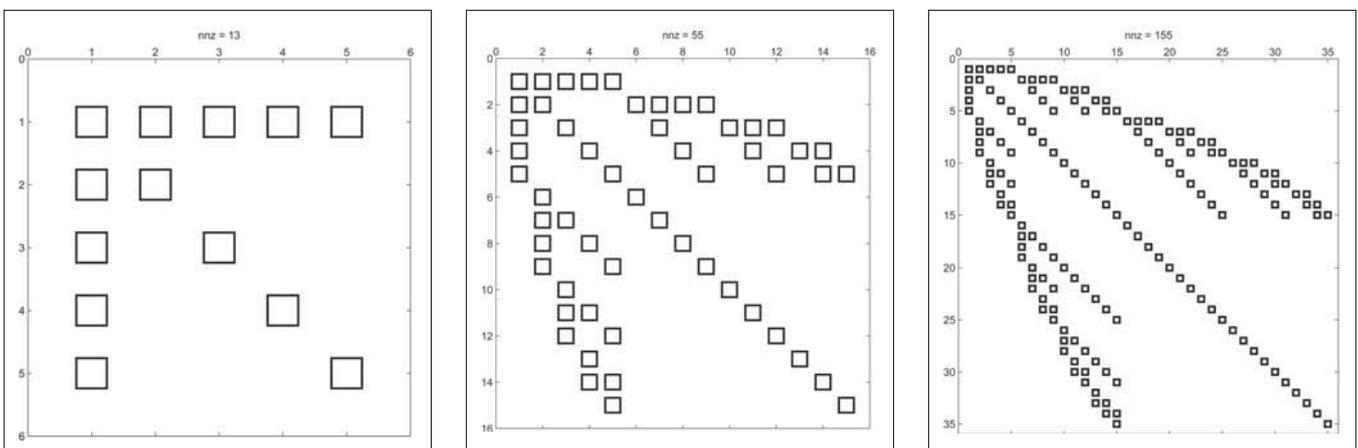


Abb. 5: Beispiele für die Besetzungsstruktur einer stochastischen Steifigkeitsmatrix

# Freiberger Roboterfußball

## Forschung auf dem Gebiet der angewandten Robotik im Institut für Informatik

Roboter entfachen die Phantasie der Menschen seit dem Altertum. Sie treten schon seit vielen Jahren in Filmen, Büchern und anderen Medien auf, um dem Menschen zu helfen oder sich selbstständig zu machen und Unheil anzurichten. In kaum einem Gebiet ist jedoch die Diskrepanz zwischen populärer Darstellung und Realität so groß wie in der Robotik. Während die Roboter in Filmen denken, sprechen, laufen und sich stundenlang autonom bewegen, können real existierende Roboter eher selten auch nur eine dieser Aufgaben ordentlich bewältigen. Dies liegt daran, dass hier viele wissenschaftlich und technisch sehr anspruchsvolle Probleme aufeinander treffen, an denen absehbar noch lange geforscht werden muss. Da gibt es mechanische, technische, physikalische und chemische Probleme wie ungenügende Batteriekapazität und zu hohes Gewicht von Bauteilen und Motoren. Energieeffiziente Rechenleistung ist ebenfalls eine große Herausforderung. Bei der Software zählen zu den Problemen die Verarbeitung und Interpretation von gesehenen Bildern, die Steuerung von menschenähnlichen Bewegungen, die Entwicklung künstlicher Intelligenz, damit die Roboter zwischen Handlungsalternativen entscheiden können, die Verarbeitung und Synthese von Sprache und vieles mehr, was für uns Menschen selbstverständlich ist.

So besteht eine Zielvorstellung für zukünftige Roboter darin, diese in die Alltagswelt des Menschen zu integrieren, etwa zur Durchführung von Service-Aufgaben. Dies erfordert aber Eigenschaften, die wesentlich über diejenigen der heute etablierten Industrieroboter hinausgehen. So kommen letztere nur in stark strukturierten Umgebungen zum Einsatz, wozu in vielen Fällen sogar auf jegliche Sensorik verzichtet werden kann. Damit die Roboter der Zukunft sich in unserer Alltagswelt und nicht nur in Industriehallen zurecht finden, orientiert sich deren Körperbau oft an dem des Menschen. Als Voraussetzung zur Bewältigung so alltäglicher Hindernisse wie Treppenstufen oder verschlossene Türen bis hin zur Ermöglichung einer für Menschen verständlichen Körpersprache, werden die sog. „humanoiden“ Roboter mit menschenähnlicher Skelettstruktur,

also Armen und Beinen ausgestattet. Insbesondere müssen die Roboter aber auch über viele intelligente Fähigkeiten wie Mustererkennung, Sprechen, Laufen und Greifen verfügen. Gerade diese Fähigkeiten muten uns Menschen zwar einfach an, stellen aber die Softwareentwickler für Roboter vor besondere Herausforderungen. Als Beispiel mag das Gehen dienen: Humanoide Roboter verfügen dazu über zwei Beine, von denen jedes zumindest vier Motoren hat. Die Software im Roboter muss nun die acht Motoren so ansteuern, dass der Roboter immer schön im Gleichgewicht bleibt, während er einen Fuß vor den anderen setzt. Natürlich muss der Steuercomputer dabei ständig Gyroskop-Sensoren abfragen, die seinen Gleichgewichtssinn bilden und auf Ausnahmesituationen wie Schwanken und Stolpern sofort ausgleichend reagieren. Erschwerend kommt hinzu, dass Roboter in dynamischen Umgebungen wie der menschlichen Alltagswelt über Fähigkeiten verfügen müssen, auf unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren. So muss der Roboter etwaige Hindernisse mittels entsprechender Sensoren wie Abstandsmessern und Videokameras erkennen und Bewegungsabläufe selbstständig an die aktuelle Situation anpassen. Der Informatiker hat hier zwei Möglichkeiten, das zu programmieren:

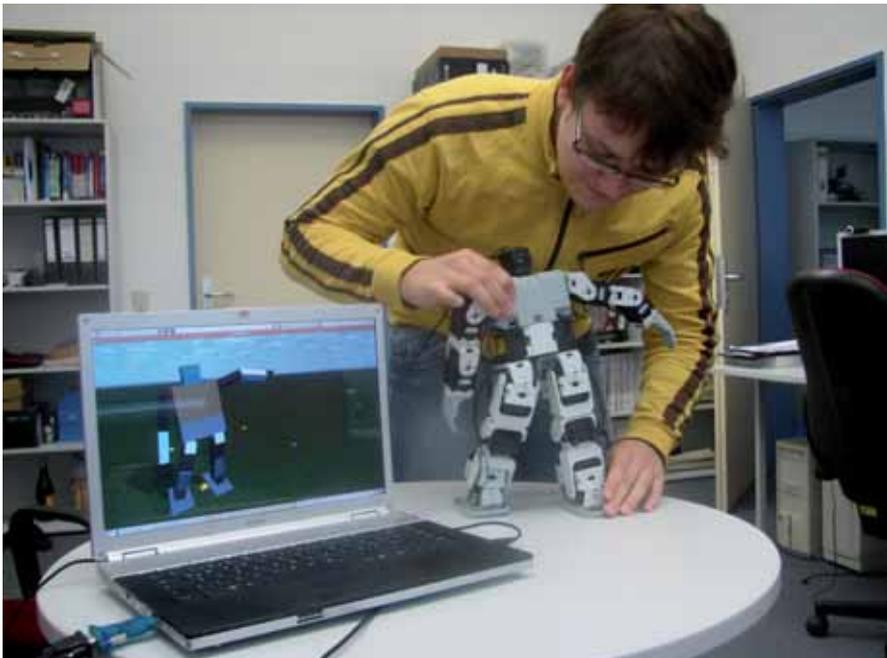
- Ablegen der Bewegungsabläufe in Form von detaillierten Motorbefehlen im Programm. Das bedeutet aber unendlich viel Kleinarbeit und sobald sich etwas an der Gewichtsverteilung im Roboter oder im Umfeld ändert (Konstruktion, Lasten, Neigung des Bodens, Hindernisse), muss das neu programmiert werden.
- Entwicklung eines Lernprogramms für den Roboter, so dass er selbst gehen lernt. Das eigentliche Lernen kann man sich dann vorstellen wie bei einem Kleinkind, das ständig hinfällt, wenn es seine ersten Schritte tut. Allerdings verstehen wir noch sehr wenig vom menschlichen Lernen, so dass wir Lernen in unsere Roboter nur sehr rudimentär implementieren können. Hier liegt eine der ganz großen Herausforderungen der Robotik.

Am Institut für Informatik der Technischen Universität Freiberg werden einige dieser Fragestellungen in einem gemein-



Kinder steuern unsere Roboter bei der Veranstaltung „Kunst trifft Wissenschaft“ im Freiberger Theater im Sommer 2008

samen Projekt der Professuren Virtuelle Realität und Multimedia (Prof. Jung) und Betriebssysteme und Kommunikationstechnologien (Prof. Froitzheim) angegangen. In dem Projekt sollen Roboter entwickelt werden, die über das Internet gesteuert werden. Ähnlich wie bereits die berühmte Freiberger Internet-Eisenbahn, sollen die Roboter von Menschen aus aller Welt steuerbar sein. Im Unterschied zu der Modellbahn werden die Roboter jedoch gegeneinander auf einem Fußballfeld antreten und ein Match bestreiten. Die Anwender bekommen mithilfe der Internet-Videotechnologien des Institutes Bilder über die aktuelle Situation auf dem Fußballfeld: sie sehen, wo die Roboterspieler stehen, wo der Ball liegt und natürlich wo das Tor ist. Dann können die Internet-Coaches ihren Robotern Bewegungsbefehle geben – auf den Ball zuzulaufen, zwischen Ball und Tor stellen – oder mit dem Roboterbein zu treten, um den Ball zu schießen. Dieses spielerische Szenario erlaubt es, komplexe wissenschaftliche Fragestellungen (Laufen, Taktik, Zusammenwirken im Team, ...) in einer motivierenden Domäne zu untersuchen. Insbesondere können dabei die verschiedenen Strategien und Verhaltensweisen der menschlichen Benutzer im Internet analysiert und untersucht werden. Verfahren des maschinellen Lernens sollen in diesem Zusammenhang angewandt werden, damit unsere Roboter von den Menschen im Internet lernen. Weiterhin können die



Eric Berger mit einem einfachen humanoiden Roboter am Institut für Informatik. Auf dem Bildschirm sieht man, wie der Computer die von Herrn Berger ‚vorgemachten‘ Bewegungen erfasst und lernt.

am Institut entwickelten Videostreamingverfahren getestet und verbessert werden.

Die optimale Steuerung der Roboter ist ein weiteres Problem, das erforscht werden muss. Hierzu entwickeln wir u.a. dreidimensionale virtuelle Umgebungen, welche die Roboter und deren Spielfeld realitätsnah simulieren. Ein Vorteil der virtuellen Realität ist, dass die jeweiligen Spielsituationen exakt reproduzierbar sind, was eine Grundlage für viele maschinelle Lernverfahren darstellt. Auf diese Weise

können die Roboter ihr Verhalten durch wiederholtes, unter Umständen stundenlanges Ausprobieren optimieren.

Mit Roboterfußball können Studenten dafür gewonnen werden, anspruchsvolle wissenschaftliche Fragestellungen selbstständig und mit Motivation anzugehen und eigene innovative Lösungen zu finden. So entwickelten die Freiburger Studenten Eric Berger, David Vogt und Henry Lehman eine neuartige Steuerung für die Roboter, indem sie das Eingabegerät der

Nintendo Wii Spielekonsole verwendet haben. Die sogenannten Wii-Sticks erlauben es, kabellos mithilfe der Bluetooth-Technologie Befehle an einen Rechner zu schicken. Der Rechner schickt dann die Bewegungsbefehle an den Roboter, der solche High-Level-Befehle in viele kleine Motorbewegungen umsetzt. Dadurch können Roboter ähnlich wie die Charaktere in einem Videospiel ferngesteuert werden.

Am „Tag der offenen Tür“ und der Veranstaltung „Kunst trifft Wissenschaft“ konnten diese Ergebnisse im Jahr 2008 einem breiten Publikum vorgestellt werden. Insbesondere beim jüngeren Publikum kamen die Roboterfußballer gut an.

Zurzeit wird die WWW-Benutzungsschnittstelle entwickelt, damit Menschen aus der ganzen Welt mit unseren Robotern Fußball spielen können. Dazu müssen aber auch noch so profane Probleme gelöst werden wie das automatische Aufladen der Roboterakku, Verteilen von E-Mails im Fehlerfall (Roboter umgefallen und andere mechanische Probleme), Entwicklung eines narrensicheren Spielfeldes und die Programmierung eines Computerschiedsrichters.

Bei der Lösung all dieser Herausforderungen wollen wir zusammen mit unseren Studenten Algorithmen entwickeln, die nicht nur die Robotik voranbringen, sondern auch uns Menschen helfen sollen, uns selbst besser zu verstehen.

■ Heni Ben Amor, Konrad Froitzheim,  
Bernhard Jung

## Leopoldina-Symposium zu Ehren Gustav Zeuners

Am 17. Oktober 2007 jährte sich Gustav Anton Zeuners Todestag zum 100. Male. Aus diesem Anlass wurde von der TU Bergakademie Freiberg ein Kranz an Zeuners Grab niedergelegt. Es befindet sich, in gutem Zustand, auf dem Alten Annenfriedhof in Dresden nordwestlich vom Haupteingang. Zeuner liegt dort gemeinsam mit seiner Frau und seinen beiden Töchtern und deren Ehemännern. Die Kranzniederlegung hatte zur Folge, dass Nachfahren Zeuners Kontakt mit der Bergakademie aufnahmen. Durch sie wurden interessante Einzelheiten über Zeuners Nachkommenschaft bekannt. Zeuner hatte vier Kinder, die das Erwachsenenalter erreichten. Zwei Töchter heirateten später wohlhabende Herren: Elise war die Frau Georg Helms, eines Mathematikers, der von 1910 bis 1911 Rektor der TH Dresden war, Bertha

Emmy heiratete einen Juristen, den späteren Oberlandesgerichtsrat Emil Johannes Schmidt, von dem die Dresdner Hans-Joachim Kretzschmar und seine beiden Söhne Hagen und Holger abstammen, die zur vierten Generation nach Gustav Zeuner gehören. Zeuners Ältester, Victor, verstarb schon 1883 in Winterthur kinderlos. Der jüngere Sohn, Dipl.-Ing. Fritz Zeuner, der 1864 in Zürich geboren wurde, wurde sehr alt, und nach der Bombardierung Dresdens gelang es ihm, in die Schweiz auszuwandern, wo er 1949 verstarb.

Wohl die meisten Leser dieses Texts werden Zeuner als berühmten Ingenieur einordnen und wissen, dass er in der Geschichte der sächsischen technischen Hochschulen eine wichtige Rolle spielte. Er reformierte zunächst die Bergakademie als ihr Direktor von 1871 bis 1875, so dass

sie mit einem wesentlich erweiterten Tätigkeitsfeld überlebte. Als ehemaliger Direktor des Polytechnikums Zürich, der heutigen ETH Zürich, war er prominent genug, um Pläne, die in Freiberg schon lange bestanden hatten, beim Dresdner Ministerium durchzusetzen. Danach leistete er, in größerem Maßstab, eine ähnliche Arbeit am Polytechnikum Dresden, das unter ihm zu einer modernen TH wurde.

Tatsächlich aber war Zeuner auch ein bedeutender angewandter Mathematiker, der etliche Publikationen in mathematischen Zeitschriften verfasste. Er wird noch heute in Statistiker-Kreisen für seine Pioniertaten auf dem Gebiet der mathematischen Statistik geehrt. Am Max-Planck-Institut Rostock für Demographie wurde im Jahre 2003 ein Gustav-Zeuner-Seminarraum eingeweiht.



Nachfahren Zeuners am 1. November 2007 in der Universitätsbibliothek: Urenkel Hans-Joachim Kretzschmar, Jahrgang 1931 (Mitte), und seine beiden Söhne Holger (rechts) und Hagen Kretzschmar. Foto: Torsten Mayer

In der Absicht, die Verdienste Zeuners als Statistiker zu ehren, führte die Deutsche Akademie der Wissenschaften Leopoldina zu Halle vom 9. bis 11. Januar 2008 in Freiberg (Sachsen) das Symposium „Recent Challenges for Statistics in the Biosciences – 100 years after Gustav Zeuner“ durch, gemeinsam mit der TU Bergakademie Freiberg und dem International Statistical Institute (ISI); die Veranstaltung galt auch als Auftakt des „Jahres der Mathematik“ in Sachsen. Dort wurde interdisziplinär über Anwendungen der mathematischen Statistik in den Biowissenschaften diskutiert, mit den Schwerpunkten Bioinformatik, Demographie, Epidemiologie und räumliche Statistik.

Höhepunkt der Eröffnungsveranstaltung war die Festrede des berühmten dänischen Statistikers Niels Keiding, des langjährigen Präsidenten des ISI. Keiding berichtete, dass der Begriff `mathematische Statistik` in den 1860er Jahren in Deutschland geprägt wurde und nicht, wie oft geglaubt, einige Jahrzehnte später in England. Zeuner war der zweite Wissenschaftler, der ein Buch publizierte, in dessen Titel das Wort `mathematische Statistik` vorkommt. Noch vor seinem Buch erschien 1867 das Werk Theodor Wittsteins „Mathematische Statistik und deren Anwendung auf National-Ökonomie und Versicherungs-Wissenschaft“. In dessen Einleitung schrieb Wittstein prophetisch unter dem Titel „Ueber eine zur Zeit noch

nicht existierende Wissenschaft“:

„Das Ziel aller Naturforschung besteht darin, von den Beobachtungen zu den Naturgesetzen aufzusteigen und diese letzteren zur Erkenntnis zu bringen, und es ist mithin dieses diejenige Aufgabe, welche auch im vorliegenden Falle der Wissenschaft anheimfällt. In dieser Richtung hat die bisherige Statistik – getreu ihrer Definition – beinahe nichts gethan, nämlich nur das Wenige ausgehoben, was beim Anblicke der Zahlen unmittelbar in die Augen springt, und demnach fängt mit der bewussten Stellung dieser Aufgabe ein wesentlich Neues an. Sie hat da anzuknüpfen, wo die bisherige Statistik aufhört. Und da die Data dieser neuen Wissenschaft wesentlich Zahlen sind, so muss die Mathematik dasjenige Hilfs-

mittel sein, durch welches sie die Lösung ihrer Aufgabe zu Stande bringt. Die neue Wissenschaft kann demnach durch die Benennung mathematische Statistik, oder wie ein Mathematiker vielleicht lieber sagen wird, analytische Statistik bezeichnet werden, letzteres nach der Analogie von analytischer Optik, analytischer Mechanik u. a.“ Zeuner dachte ähnlich und hielt zu diesem Thema bereits Vorlesungen in Zürich. Er schrieb in der Einleitung zu seinem Buch „Abhandlungen aus der Mathematischen Statistik“ von 1869: „Unter den Wissenschaftszweigen, die man häufig unter dem allgemeinen Namen ‚angewandte Mathematik‘ zusammenfasst, befindet sich derjenige Zweig, der es sich zur Aufgabe macht, die Mathematik, speziell die Sätze der Wahrscheinlichkeits-Rechnung bei Behandlung statistischer Fragen anzuwenden, noch in der ersten Entwicklung. Die geringe Anzahl von Arbeiten dieser Richtung, die bis jetzt bekannt geworden sind ... sind als die ersten Anfänge einer neuen Wissenschaft anzusehen, für welche der Name ‚mathematische oder analytische Statistik‘ in Vorschlag gekommen ist. Schon diese Anfänge zeigen aber, welche große Zukunft unserer heutigen Statistik noch bevorsteht und lassen erwarten, dass in der Statistik im Verein mit der Analysis eine Wissenschaft erblühen wird, die wie keine andere auf die Mathematik gegründete, selbst Astronomie, Mechanik, Physik nicht ausgenommen, den grössten Einfluss auf die Entwicklung unserer Cultur üben wird.“ Damals waren die Demographie und das Versicherungswesen die Hauptanwendungsgebiete der mathematischen Statistik, während heute keine wissenschaftliche Disziplin mehr ohne sie auskommt, wie es Zeuner und Wittstein vorhergesagt haben.

■ Dietrich Stoyan



Zeuners Grab und die Gräber seiner Töchter auf dem Alten Annenfriedhof in Dresden, 2007. Foto: Dietrich Stoyan

# Von Beugungsexperimenten zur Textur polykristalliner Materialien

Ralf Hielscher, Bernhard-von-Cotta-Preisträger 2007

## Texturanalyse

Ein traditioneller Schwerpunkt der Forschung der TU Bergakademie Freiberg liegt bei kristallinen Materialien. Im Bergbau betrifft dies Eigenschaften von Erzen. In der Materialwissenschaft werden die Eigenschaften von Stahl und Keramiken untersucht und auf die jeweilige Anwendung optimiert. Die Geologie analysiert Minerale, um Aufschluss über den erdgeschichtlichen Werdegang zu erlangen. Bei allen genannten Materialien handelt es sich um kristalline Stoffe. Deren Eigenschaften werden ganz wesentlich durch die Anordnung der Kristalle, aus denen sie aufgebaut sind, bestimmt. Die Anordnung der Kristalle bezeichnet man auch als Textur des Materials.

In Eis aus der Gefriertruhe liegen die Kristalle zum Beispiel völlig ungerichtet. In diesem Fall spricht man von einem isotropen Material. In Materialien wie Muschelkalk oder Siliziumwafern sind deren Kristalle alle in gleicher Weise ausgerichtet. Man spricht von anisotropen Materialien. Bei einem isotropen Material sind seine Eigenschaften richtungsunabhängig, beim anisotropen hängen sie von der vorherrschenden Ausrichtung der Kristalle ab. So richten sich beim Walzen von Stahl die Eisenkristalle parallel zur Walzrichtung aus. Dies hat zur Folge, dass die Festigkeit, die elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnung und Magnetisierbarkeit von gewalztem Stahl in Walzrichtung anders sind als senkrecht zur Walzrichtung.

In den 1960er Jahren begannen Bunge und Roe die Texturen von Metallen systematisch zu untersuchen. Sie ordneten jedem Kristall drei Winkel zu, welche seine Ausrichtung innerhalb des Probenkörpers beschreiben – die so genannten Euler-Winkel. Die Funktion, welche jedem Tripel von Euler-Winkeln das Volumen aller Kristalle mit genau dieser Ausrichtung zuordnet, wird als Orientierungsverteilungsfunktion (OVF) bezeichnet und erlaubt es, die oben genannten makroskopischen Materialeigenschaften zu berechnen.

## Beugungsexperimente

Um die OVF eines Probenkörpers experimentell zu bestimmen, müsste man die

Ausrichtung aller Kristallite messen. Dies ist bis zum heutigen Zeitpunkt unmöglich. Einen Ausweg bieten solche Beugungsexperimente, mit denen die Ausrichtung von ausgesuchten Kristallebenen bestimmt werden kann. Die Zuordnung von Kristallvolumen und Ausrichtung einer bestimmten Kristallebene wird Polfigur genannt.

Ist die OVF eines Probekörpers bekannt, lassen sich die Polfiguren zu jeder beliebigen Kristallebene berechnen. Komplizierter, aber praktisch relevanter ist die umgekehrte Fragestellung: Lässt sich die OVF aus einer bestimmten Anzahl von Polfiguren rekonstruieren? Die Antwort auf diese Frage ist im Allgemeinen ein Nein. Die Berechnung der OVF aus Polfiguren ist ein schlecht gestelltes inverses Problem, welches nur näherungsweise gelöst werden kann.

## Ergebnisse der Dissertation

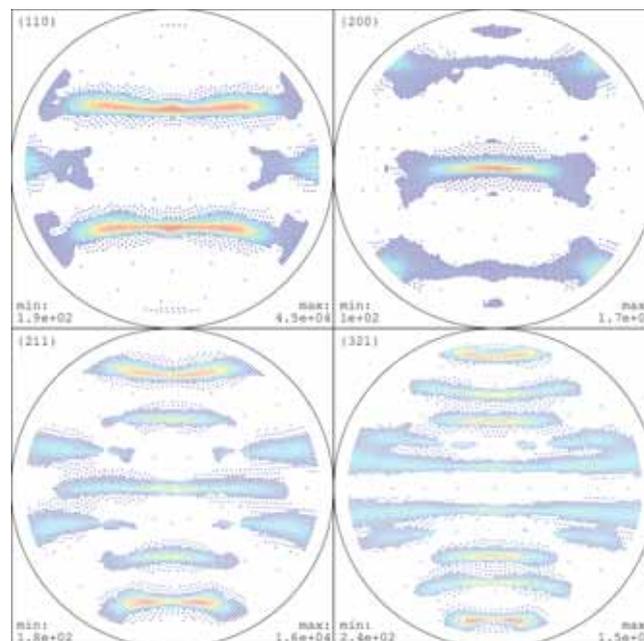
Im Rahmen meiner Dissertation habe ich untersucht, bis zu welcher Genauigkeit die OVF aus Polfiguren berechnet werden kann und dabei herausgefunden, dass der theoretische Fehler für ein einzelnes Tripel von Euler-Winkeln unendlich groß werden kann. Andererseits konnte ich Fehlerschranken finden unter der Voraussetzung, dass nicht nach dem Wert der OVF für eine bestimmte Ausrichtung gefragt wird, sondern nach dem Mittelwert über

einen ganzen Bereich. Die gefundenen Fehlerschranken hängen stark von der gemessenen Textur ab. Die besten Fehlerschranken erhält man im Fall von stark isotropen Materialien. Im Fall anisotroper Materialien sind genauere Aussagen über die Textur anhand von Polfigurmessungen nicht möglich.

Aufbauend auf den theoretischen Ergebnissen entwickelte ich einen neuartigen Algorithmus zur Berechnung der OVF aus Polfiguren. Dieser ist sowohl robuster als auch genauer als herkömmliche Algorithmen und wird nun als Teil der MATLAB Toolbox MTEX auch an anderen Universitäten und Forschungsinstituten zur quantitativen Texturanalyse genutzt. Außerdem erlaubt der Algorithmus die Anwendung neuartiger Messstrategien. So konnten wir ein Verfahren zur adaptiven Messung von Polfiguren entwickeln. Dazu hält die TU Bergakademie Freiberg nun ein Patent.

## Danksagung

Alle oben genannten Ergebnisse wären nicht möglich gewesen ohne die wunderbare Betreuung durch Prof. Helmut Schaeben, der mich nicht nur auf einen fruchtbaren Weg geschickt hat, sondern auch immer wieder neue Anregungen und Tipps parat hatte. Weiterhin möchte ich Prof. Jürgen Prestin, Prof. Daniel Potts und Prof. Gerald van den Boogaart für ihre ausdauernde Unterstützung während meiner Promotion danken. Ganz besonders habe ich mich über den Bernhard-von-Cotta-Preis des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg gefreut, für den ich mich herzlichst bedanken möchte.



Polfiguren einer Nickelprobe, gemessen mit Hilfe des patentierten adaptiven Messverfahrens

# Bericht über die 15. Frühjahrsakademie Mathematik



Die diesjährige Frühjahrsakademie der Fakultät für Mathematik und Informatik fand vom 10. bis 13. März 2008 statt. Damit blicken wir bereits auf eine 15-jährige Erfolgsgeschichte dieser Veranstaltung zurück, mit der wir das Interesse der Schüler an Mathematik und Informatik fördern, ihnen den Nutzen dieser Wissenschaften aufzeigen und sie über unsere mathematischen Studiengänge informieren wollen. In diesem Sinne ordnete sich die 15. Frühjahrsakademie auch in die weiteren Aktivitäten unserer Fakultät zum Wissenschaftsjahr der Mathematik 2008 ein.

Es nahmen 19 Schülerinnen und Schüler teil, überwiegend aus Sachsen, in einem Fall auch aus Rostock. Damit hat sich die Teilnehmerzahl gegenüber dem letzten Jahr (11 Schüler) wieder vergrößert. Dies ist sicher auch der finanziellen Unterstützung durch den Verein der Freunde und Förderer zu danken, durch die die Schüler von einem Teil der insgesamt recht beträchtlichen Kosten (Übernachtung, Verpflegung, Fahrtkosten und Eintrittsgelder für das Rahmenprogramm) entlastet werden konnten. Wir sind sehr dankbar, dass wir diese Unterstützung erhalten haben, und würden uns freuen, wenn dies auch im kommenden Jahr möglich wäre. Der folgende kurze Bericht gibt den Verlauf der Frühjahrsakademie aus der Sicht zweier Teilnehmer wieder.

■ Uwe Weber

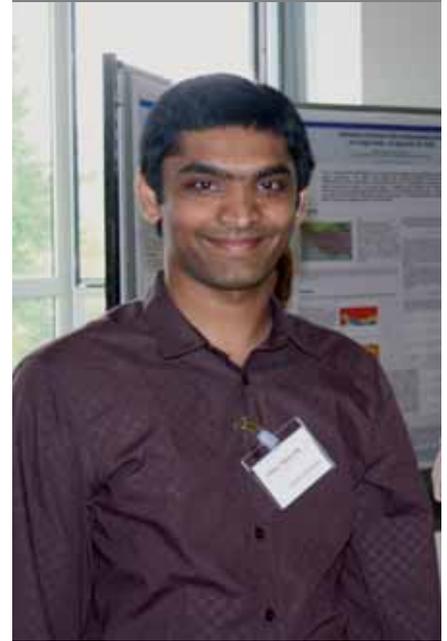
## Mathematikstudium im Blick

Mit der Frühjahrsakademie bietet die TU Bergakademie Freiberg eine wunderbare Möglichkeit, schon vor einem Studium in die Fakultät für Mathematik und Informatik hineinzuschnuppern. Gleich nach unserer Ankunft in Freiberg wurden wir von unseren Betreuern begrüßt. Nach den Formalitäten und dem Verteilen des Materials ging es direkt zu unserer Unterkunft, dem Pi-Haus. Der Begrüßungsabend des Fachschaftsrates war bestens geeignet, um sich über Interessen auszutauschen und neue Freundschaften zu schließen. Danach ging es auf ins Freiburger Nachtleben. „Zum Teufel“, eine von Studenten geführte Kneipe, ist bei allen Frühjahrsakademikern sehr gut angekommen. Auch wenn wir am nächsten Morgen kaum aus dem Bett kamen, war der erste Abend rundum gelungen. Neben zahlreichen mathematischen Vorlesungen statteten wir auch dem Freiburger Dom und der Reichen Zeche einen Besuch ab. Sehr beeindruckend war der Bericht des Kumpels, der uns durch die Stollen führte. Die interessanteste Vorlesung war für viele die von Stefan Güttel, der über Gesichtserkennung referierte. Alles in allem waren die drei Tage überaus lehrreich und besonders hilfreich, um das Mathematikstudium kennenzulernen.

■ Christoph und Markus

## MatGeoS 2008

Workshop für Mathematik  
in den Geowissenschaften



Der Vorsitzende des IAMG Student Chapter Freiberg, der Doktorand Prashanth Reddy Marpu. Foto: Arief Wijaya

IAMG Student-Chapter sind studentische Vereine, die von der IAMG (International Association for Mathematical Geosciences) unterstützt werden. Studierende, die sich für Mathematik in den Geowissenschaften interessieren, können diese Vereine bilden. Die IAMG bietet ihnen unter anderem Reisestipendien an, um an internationalen Konferenzen teilnehmen zu können und schickt jedes Jahr einen ausgewählten Lehrenden um die Welt, der Vorträge in seinem Spezialgebiet hält.

Das IAMG Student-Chapter Freiberg wurde als erstes in Europa im August 2006 gegründet. Damals gab es schon IAMG Student-Chapters in China, den USA und Kanada. Nach dem Erfolg mit MATGEOS 2008 erwarten wir, dass neue Student-Chapter in Polen und im Iran aufgebaut werden.

Die Student-Chapter sind angehalten selbstständig zu arbeiten. Somit entwickeln Studierende Führungsqualitäten und erlernen selbständiges und fachübergreifendes Arbeiten. Newsletters und Konferenzen geben den Mitgliedern die Gelegenheit, ihre künftige Berufswelt besser kennen zu lernen und Kontakte mit Kommilitonen auf der ganzen Welt aufzubauen.

Das IAMG Student-Chapter in Freiberg besteht derzeit aus 28 Studenten

und Doktoranden der Fakultäten 1 und 3 (Angewandte Mathematik und Informatik, Geowissenschaften und Bergbau). Es zielt darauf ab, dass Studenten ihr Wissen und ihre Ideen austauschen und bildet somit eine wertvolle Plattform für wissenschaftliche Zusammenarbeit. Jedes Jahr veranstaltet das Student-Chapter Kompaktkurse zu Themen wie „Programmieren in Matlab“ und „Grundlagen der digitalen Bildverarbeitung“. Außerdem werden Professoren aus Deutschland und anderen Ländern eingeladen, in Freiberg Vorträge zu halten. MATGEOS 2008 war die erste Konferenz, die vom IAMG Student-Chapter veranstaltet wurde.

Es war im November 2007, als wir anfangen, über die Organisation unserer eigenen Konferenz nachzudenken. Dort könnten wir Wissenschaftler und Studenten, die sich für die mathematische Herangehensweise an geowissenschaftliche Probleme interessieren, zusammenbringen. Wir wollten Studierenden und Doktoranden die Möglichkeit geben, ihre Arbeit zu präsentieren, von einander zu lernen und Erfahrungen auszutauschen. Da es um aktuelle Forschungsthemen der Mathematik in den Geowissenschaften gehen sollte, haben wir die Konferenz MATGEOS 2008 – 1st Workshop on Mathematical Geosciences genannt.

Sie fand in Freiberg am 11./12. Juni 2008 statt. Das Hauptthema waren mathematische Methoden innerhalb der Geowissenschaften. Das beinhaltet z. B. Simulation, Modellierung, inverse Probleme, Geostatistik und digitale Bildanalyse. Gut 50 Teilnehmer aus 16 Ländern hatten sich für den Workshop angemeldet. Insgesamt 60 Teilnehmer sind dagewesen. Die Teilnehmer kamen aus 10 Wissenschafts- und vier Wirtschaftsbereichen.

Die Freiburger Studenten des Student-Chapters haben Anfang Juni am Bahnhof aufgeregt auf die ersten Gäste gewartet. Wir erwarteten Teilnehmer aus Universitäten, Ämtern, Forschungsinstituten und Beratungsfirmen. Einige der Studenten waren so weit gereist, dass wir ihnen unsere Wohnheimzimmer und WG's geöffnet haben, um ihnen die Übernachtungskosten zu ersparen.

Zudem konnten wir einigen Studenten und Professoren Reisestipendien anbieten, die mit Sponsorengeldern vom Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) bezahlt wurden. Das war z. B. für Elif Akcan aus der Türkei, Hassan Derakhshan und Seyed Hashemi aus dem Iran und Jan Katrenic aus der Slo-



Teilnehmer am Kompaktkurs für Geostatistik mit dem Lehrenden, Herrn Prof. Dr. Donald Myers von der University of Arizona. Foto: Arief Wijaya

wake eine Voraussetzung dafür, dass sie überhaupt teilnehmen konnten.

Viele der Workshop-Teilnehmer haben unser Angebot angenommen, vorher an einem Kompaktkurs über Geostatistik teilzunehmen. Dieser Kurs wurde am 10. und 11. Juni von Prof. Donald Myers geleitet, einem Professor der University of Arizona, der als einer der bedeutendsten Geomathematiker der Welt gilt. Für das Jahr 2008 wurde er von der IAMG zum besonders ausgezeichneten Lehrenden ernannt. Prof. Myers hat auch am Workshop teilgenommen und dort einen Vortrag zu Risikoanalyse und Extremwertverteilungen gegeben.

Am 11. Juni fing der Workshop mit einer Postersession an. Von den Teilnehmern der TU Freiberg hatten die Gruppen der Geophysik unter Leitung von Prof. Klaus Spitzer sowie der Fernerkundung unter Leitung von Prof. Richard Gloaguen die meisten Beiträge erbracht. Andreas Müller, ein Student der Geoinformatik, hat am zweiten Tag des Workshops einen Vortrag über seine Studienarbeit „Compositional statistics of joins-count“ gehalten. Ansonsten standen unsere Gäste im Mittelpunkt.

Es gab schon Diskussion an den Posterständen, als der Vorsitzende des IAMG Student-Chapters Freiberg, der Doktorand Prashanth Reddy Marpu, die Teilnehmer willkommen hieß. Er hat auch den ersten Vortrag präsentiert, der von Frau Dr. Barbara Zitova von der Academy of Sciences in Prag über Bildregistrierung mittels invarianter Momente gehalten wurde. Nach anschließender Diskussion wurde den Teilnehmern ein Stadtrundgang angeboten, und am Abend haben wir gemeinsam gegrillt und draußen gegessen.

Am 12. Juni ging es zeitig los. Viele waren gekommen, um den ersten Vortrag zu hören, der von Prof. Dr. Willi Freuden, TU Kaiserslautern, gehalten wurde und sich mit inversen Problemen beschäftigte. Weiter ging es mit Vorträgen von Wissenschaftlern aus Ungarn, Russland, dem Iran, der Türkei und Deutschland. Prof. Dr. Hannes Thiergärtner von der Freien Universität in Berlin, einer der Gründer des IAMG, hat über die Entwicklung der IAMG berichtet.

Wir haben es geschafft, am Workshop eine internationale Atmosphäre und Basis für die fachübergreifende Diskussion zwischen Geowissenschaftlern und Mathematikern zu schaffen. Es gab Vorträge zu Themen wie Geostatistik, Fernerkundung, Bildanalyse, nichtlineare Analysis, Simulation und Modellierung. Die Gäste haben neue Einblicke über die vielfältige Anwendung von mathematischen Methoden innerhalb der Geowissenschaften erhalten.

Ohne finanzieller Unterstützung ist es für ein Student-Chapter nicht möglich derartige Aktivitäten zu entwickeln und zu realisieren. Die IAMG und Beak Consultants unterstützten das IAMG Student-Chapter, damit es Veranstaltungen, wie Kompaktkurse und Workshops, anbieten konnte. Für MATGEOS haben wir extra Unterstützung vom Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst bekommen. Wir sind allen unseren Sponsoren sehr dankbar.

Die eingereichten Artikel wurden auf einer CD veröffentlicht und stehen auf der Webseite des IAMG Student-Chapters zum Herunterladen bereit: <http://www.iamg.tu-freiberg.de/matgeos-proceedings-2008.html>

■ Bjarnheiður Kristinsdóttir

# Erwin Papperitz – Mathematiker, Rektor, Lehrer und Erfinder

Elias Wegert

Als 1902 in Freiberg eine Straßenbahn in Dienst gestellt wurde, gehörte der damalige Rektor der Bergakademie, Erwin Papperitz, zu ihren eifrigsten Nutzern. Leider blieb die Auslastung der Bahn hinter den Erwartungen zurück, so dass diese 1919 eingestellt werden musste. Das in diesem Zusammenhang geprägte Wort „Vorne nix und hinten nix, in der Mitte Papperitz“ hat die Zeiten überdauert – aber wer war Erwin Papperitz?

Erwin Papperitz wurde am 17. Mai 1857 als Sohn des Dresdner Landschaftsmalers Gustav Friedrich Papperitz und seiner Frau Clara (einer Tochter des Bildhauers Johannes Schilling) geboren. Nach Erhalt des Reifezeugnisses begann er 1875 an der Leipziger Universität ein Studium der Philosophie und Naturwissenschaften, wechselte aber aus Interesse zur Mathematik. Nach einem einjährigen Gastaufenthalt an der Universität München kehrte Papperitz nach Leipzig zurück und arbeitete dort als Schüler von Carl Gottfried Neumann und im Seminar von Adolph Mayer.

Im Jahr 1883 promovierte Papperitz bei Felix Klein über ein geometrisches Extremalproblem. Kurz darauf wechselte er das Arbeitsgebiet und veröffentlichte bereits ein Jahr später in den angesehenen „Mathematischen Annalen“ die erste einer Reihe von Arbeiten über das Transformationsverhalten hypergeometrischer Funktionen [1]. Die Aufgabenstellung des von Papperitz untersuchten Problems geht bereits auf Gauss zurück. Nachdem wesentliche Fortschritte, unter anderem von Bernhard Riemann, erzielt wurden, gelang Erwin Papperitz mit den Ergebnissen sei-

ner 1886 am Königlich Sächsischen Polytechnikum zu Dresden eingereichten Habilitationsschrift [2] der entscheidende Durchbruch. Bereits mit 30 Jahren gehörte Papperitz damit zu den leuchtenden Sternen am Himmel der Mathematik, und seine Ergebnisse fanden Beachtung bei führenden Mathematikern seiner Zeit, wie Klein, Hurwitz und Goursat. In der von ihm aufgestellten und untersuchten *Riemann-Papperitzschen Differentialgleichung* lebt sein Name bis heute fort, und seine Ideen fanden Eingang in moderne Theorien, bei denen Geometrie mit Analysis, Algebra und Physik verschmilzt.

1889 unterstützte Papperitz in einem Brief an Georg Cantor die Gründung der Deutschen Mathematiker-Vereinigung und gehörte 1890 zu den Teilnehmern der Gründungsversammlung in Bremen.

Nachdem Papperitz die oben genannten Forschungen abgeschlossen hatte, wandte er sich einem neuen Gebiet zu. Gemeinsam mit dem Dresdner Karl Rhon arbeitete er an einem umfassenden Lehrbuch der Darstellenden Geometrie. Dieses beliebte Werk erlebte vier Auflagen und erschien letztmalig 1932 in drei Bänden.

Im Jahr 1892 bewarb sich Papperitz schließlich um eine vakante Professur an der Bergakademie Freiberg. Betrachten wir kurz die hiesige Vorgeschichte. Seit 1816 hatte die Bergakademie zwei fest angestellte Mathematiker, deren Lehraufgaben allerdings weit über die Mathematik im heutigen Verständnis hinausgingen. Dementsprechend gab die insbesondere von Weisbach gelenkte Berufungspolitik mathematischen Autodidakten den Vor-



Erwin Papperitz (1857 – 1938)

zug vor ausgebildeten Mathematikern. 1869 wollte der damalige Rektor Zeuner die Mathematikausbildung schon selbst übernehmen, bevor schließlich 1872 Heinrich Gretschel berufen wurde. Dieser universell gebildete Mann war ohne Zweifel ein Glücksgriff. Er verfasste Bücher über Meteorologie, Physik, Chemie, Astronomie, Geometrie und Kartographie, arbeitete über Geigen- und Bogenmacherkunst, und sein 1872 mit Julius Blüthner verfasstes Werk über den Pianoforte-Bau wurde sogar 1992 als Reprint wieder aufgelegt.

Mit Erwin Papperitz kam nun 1892 erstmals in der Geschichte der Bergakademie ein Vollblut-Mathematiker nach Freiberg, der auf der Höhe der aktuellen mathematischen Forschung stand und über wichtige Kontakte zu den ersten Größen der Mathematik verfügte.

Die Wertschätzung seiner frühen Arbeiten spiegelt sich auch in der Ernennung zum Mitglied der Leopoldina zu



Die Teilnehmer der Gründungsversammlung der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 1890 in Bremen (Papperitz hintere Reihe, fünfter von links)

Halle (der heutigen Deutschen Akademie der Naturforscher) und der Erteilung von drei Rufen an renommierte Bildungseinrichtungen wider (1899 Prag, 1900 Universität Wien, 1901 TH Wien), die er aber aus Verbundenheit zu Freiberg sämtlich abgelehnt hat.

Papperitz erkannte bald das dringende Erfordernis einer Umstrukturierung und Modernisierung der Freiburger Mathematik-Ausbildung. Während seiner Tätigkeit wurden Algebra, Vektorrechnung, Vektoranalysis und Potentialtheorie Bestandteil der Mathematikausbildung für Ingenieure. Darüber hinaus gab es Spezialvorlesungen über partielle Differentialgleichungen, Variationsrechnung, Funktionentheorie und sogar Quaternionen. Nach diesem Innovationsschub konnte sich die Mathematikausbildung an der Bergakademie durchaus mit der an fortgeschrittenen deutschen Technischen Hochschulen messen.

Papperitz' Reformen scheinen weitgehende Unterstützung gefunden zu haben, denn er selbst schreibt 1899 [3]: „Ich darf getrost sagen: Niemals ist mir seitens meiner technischen Kollegen zu erkennen gegeben worden, dass unseren Studierenden in Bezug auf Mathematik zuviel zugemutet werde, obgleich unser mathematisches Unterrichtsprogramm dem für Bau- und Maschineningenieure an den größeren technischen Hochschulen gültigen nahezu gleichkommt.“

Wie intensiv sich Papperitz mit Fragen der Lehre befasst hat, zeigt seine 1899 in Leipzig erschienene Broschüre „Die Mathematik an den Deutschen Technischen Hochschulen. Ein Beitrag zur Beurteilung einer schwebenden Frage des höheren Unterrichtswesens“ [3]. Auf 70 Seiten unterzieht Papperitz die damalige Situation einer eingehenden Analyse und diskutiert mögliche Lösungswege. Die Arbeit schließt mit einer Statistik des Anteils der Mathematik-Ausbildung, in die nicht weniger als 78 Studienpläne an Technischen Hochschulen einbezogen wurden.

Manche von Papperitz' Anmerkungen sind geradezu erschreckend aktuell. Beispielsweise empfiehlt er gegen das „schleichende Übel des Unfleißes“ die Vervollkommnung der Prüfungsvorschriften, insbesondere die Zerlegung der Prüfungen in mehrere einzelne Stationen, also Jahres- oder Semestralprüfungen. Wer würde dabei heute nicht an die „modernen“ Reformen der Studienordnungen erinnern?

Der gesamte Aufsatz ist getragen von der Betonung der Gemeinsamkeiten und



Als Rektor mit Amtskette

des aufeinander Angewiesenseins von Ingenieuren und Mathematikern – und Papperitz hat dafür gute Gründe: „Daß den Technischen Hochschulen von ihrem unter gewaltigen Anstrengungen errungenen wissenschaftlichen Ansehen wieder etwas verloren gehen könnte, diese Befürchtung, welche in letzter Zeit mit Bezug auf die Konkurrenz seitens der Universitäten zuweilen laut geworden ist, ist jedenfalls solange gegenstandslos, als sie nicht gewillt sind, die Pflege irgend einer in ihrem Programm auftretenden Wissenschaft verkümmern zu lassen. Alle Wissenszweige, mit denen die moderne Technik im Bunde steht, müssen an ihrer hohen Schule vollständig vertreten sein.“ Er forderte deshalb, „... dürfen sich die Hochschulen bei der Besetzung von Professuren für die Fächer, die sie gern als ihre Hilfswissenschaften bezeichnen, nicht mit Kräften zweiten Ranges begnügen. Ein Professorenkollegium muss tunlichst homogen sein, ... dass alle an den Technischen Hochschulen zu Gebote stehenden Kräfte ungestört zusammenwirken“.

Das hohe Engagement von Erwin Papperitz für die Entwicklung der Bergakademie als Ganzes wurde besonders in seiner Tätigkeit als Rektor während dreier Amtsperioden deutlich. Nach Einführung des Wahlrektors amtierte Papperitz als zweiter Rektor nach Adolf Ledebur zunächst von 1901 bis 1903. Als besonders erfolgreich muss seine zweite Amtszeit von 1905 bis 1907 eingeschätzt werden, in der von der Sächsischen Staatsregierung 335.000 Mark für umfangreiche

Baumaßnahmen eingeworben werden konnten. Die Größe dieses Betrags wird vergleichbar, wenn man bedenkt, dass in den vorangehenden 49 Jahren insgesamt nur 280.000 Mark für Bauzwecke zur Verfügung standen [5].

Die wohl wichtigste Errungenschaft mit Blick auf die künftige Entwicklung der Bergakademie war aber die Verleihung des Promotionsrechts. „Wie unsäglich schwierig dieselben [Verhandlungen] waren, davon macht sich ein Unbeteiligter kaum eine rechte Vorstellung. Jeder Fußbreit Boden mußte den Gegnern eines solchen Rechtes an die Bergakademien abgerungen werden“ [5].

Mit der Übergabe einer Amtskette an den Rektor wurden auch die Insignien der Bergakademie vervollständigt und ihr Status weiter aufgewertet.

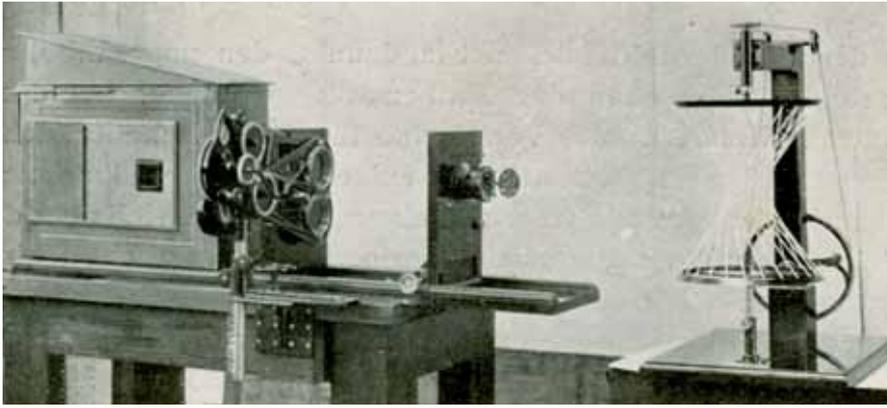
Papperitz' dritte Amtsperiode fiel in die Krisenzeit der Jahre 1923 und 1924. Zur Übernahme des Rektorats auf dem Höhepunkt der Inflation gehörten zweifellos Mut und Selbstvertrauen.

Unmittelbar nach der Investitur wurde am 10. Oktober 1923 die aus Kommunisten und Sozialdemokraten bestehende Sächsische Staatsregierung durch Soldaten der Reichswehr abgesetzt. Von den darauf folgenden Unruhen war auch Freiberg betroffen, und der „Freiberger Blutsonnabend“ forderte 29 Todesopfer. Nicht zuletzt ist es Papperitz' Entschlossenheit und diplomatischem Geschick zu danken, dass die Bergakademie mehr oder weniger unversehrt aus diesen Wirren hervorging. Mit der Fertigstellung des heutigen Karl-Kegel-Baus 1924 wurde in dieser schwierigen Zeit wiederum eine große Baumaßnahme zum Abschluss gebracht.

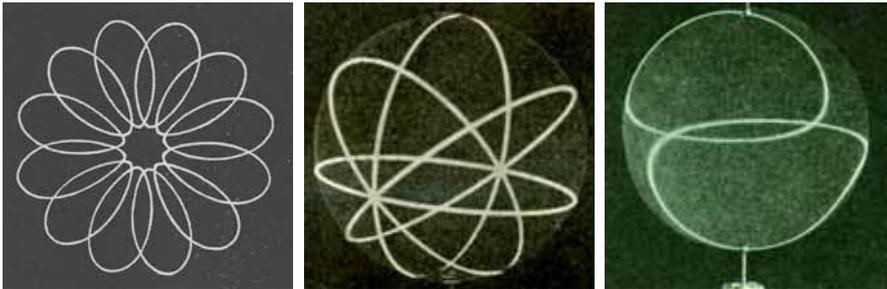
Obwohl sich Papperitz mit seiner Berufung nach Freiberg aus der mathematischen Forschung zurückgezogen hatte, arbeitete er weiter aktiv auf dem Gebiet der Darstellenden Geometrie. Dieses Fach war zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein unverzichtbarer Bestandteil der Ausbildung aller Techniker und Ingenieure und spielte besonders an der Bergakademie eine herausragende Rolle.

Bereits mit seiner Berufung und der zeitgleichen Gründung des Mathematischen Instituts 1892 richtete Papperitz eine Sammlung mathematischer Modelle ein. In den Folgejahren wurde diese Sammlung systematisch weiterentwickelt und ergänzt, wobei auch viele Eigenentwicklungen hinzukamen.

In seiner Rektoratsrede aus dem Jahr 1901 berichtete er [4]: „Neben meinen



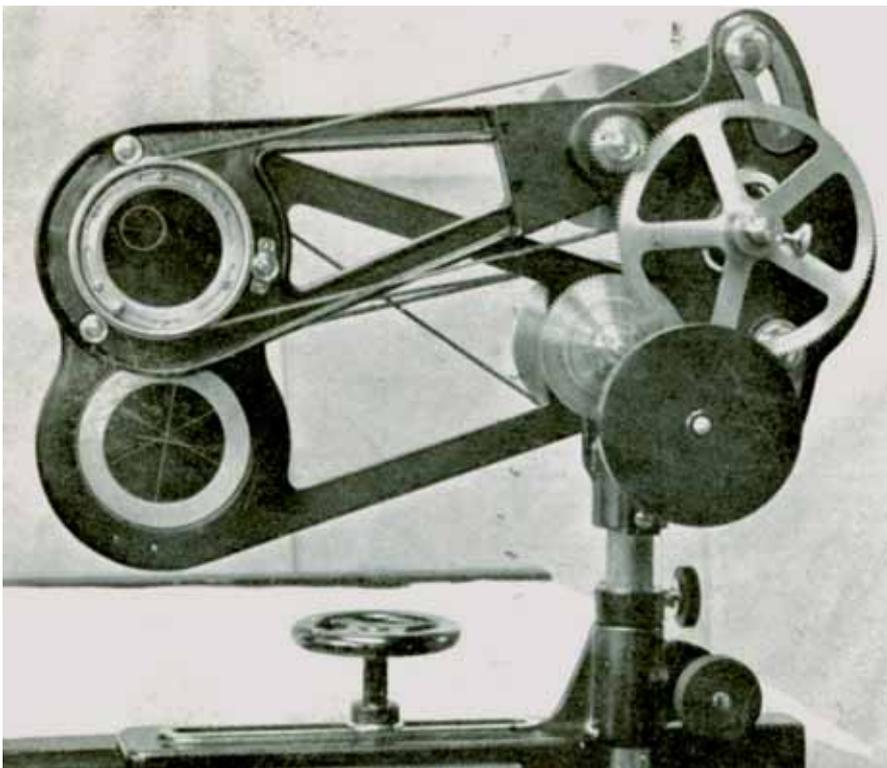
Papperitz-Apparat zur technischen Umsetzung eines Verfahrens zum „Zeichnen“ mit bewegten Lichtstrahlen



Drei mögliche Darstellungsweisen mit dem Papperitzschen Projektionsapparat: links ebene Kurven auf einem Schirm, in der Mitte Projektionen auf eine Kugelfläche und rechts so genannte „Lichtglanzlinien“ auf einer aus blanken Drähten gebildeten rotierenden Kugelfläche

Amtspflichten widmete ich mich vielfach der Konstruktion von geometrischen Modellen und ähnlichen mathematischen Lehrmitteln, insbesondere der Ausbildung dervon mir erfundenen kinodiaphragmatischen Projektionsapparate ... zur Darstellung von Kurven und Flächen im Raume.“

Der hier möglicherweise erstmals erwähnte und im Bild gezeigte Papperitz-Apparat ist die technische Umsetzung eines Verfahrens zum „Zeichnen“ mit bewegten Lichtstrahlen. In seiner 1911 erschienen Arbeit „Über das Zeichnen im Raume“ [6] schrieb Papperitz: „Mein Verfahren zur



Der am weitesten entwickelte Bewegungsapparat für mehrere Blenden

Darstellung geometrischer Figuren durch Projektion beweglicher Lichtspaltmodelle ermöglicht nicht nur ebene Kurven, sondern auch Raumkurven in ihrer wahren Gestalt durch scharfe und deutliche Lichtbilder darzustellen, zugleich aber die Bilder verwandter Formen stetig ineinander überzuführen.“

Der Apparat selbst besteht aus einem starken Projektor, einer oder mehreren Schlitzblenden und einer Projektionsfläche. Diese kann ein ebener Schirm oder eine virtuelle Fläche sein, die von schnell rotierenden Drahtmodellen gebildet wird. Die Form und die Bewegung der Lichtstrahlen werden von verschiedenartigen Blenden bestimmt. Werden mehrere Schlitzblenden eingesetzt, kann das Licht nur an den Überkreuzungsstellen der Schlitze hindurch treten. Diese erzeugen auf dem Schirm zunächst einzelne Lichtpunkte, die aber als geschlossene Linien wahrgenommen werden, wenn die Blenden in schnelle Bewegung versetzt werden. Durch gekoppelte Rotation wird es möglich, auch kompliziertere Bewegungen eines oder mehrer Strahlen zu erzeugen. Papperitz führte seine Erfindung auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte 1909 in Salzburg und 1910 in Königsberg vor. Am 10. Februar 1911 wurde ihm das Patent 231009 des Kaiserlichen Patentamts erteilt. Im Jahr darauf wurde der Apparat mit der Königlich Sächsischen Staatsmedaille ausgezeichnet.

Schon 1911 machte Papperitz dem Institut für Mathematik die große Ausgabe eines Projektionsapparats zum Geschenk. Er wäre sicherlich die Krönung unserer Modellsammlung – wenn er denn noch vorhanden wäre. Obwohl der Apparat von der Firma Ernemann in Dresden tatsächlich mehrere Jahre produziert wurde, ist es uns trotz intensiver Bemühungen nicht gelungen, auch nur ein einziges Exemplar aufzufinden! Die vage Hoffnung, dass sich auf irgendeinem Dachboden noch ein vergessenes Exemplar dieser beeindruckenden und einmaligen Konstruktion findet, bleibt. Es wäre schon faszinierend, diesen Vorläufer der heutigen Lasershows wieder zum Leben zu erwecken.

Papperitz blieb auch nach seiner Emeritierung im Jahr 1927 bis an seinem Lebensende tätig und produktiv.

Er verstarb am 5. August 1938 während eines Kuraufenthalts in Bad Kissingen und ist auf dem Donatsfriedhof in Freiberg beigesetzt. Carl Schiffler schreibt in seinem Nachruf: „Nicht nur als Wissenschaftler, sondern auch als Mensch,

erfreute sich Papperitz großer Verehrung. Allgemein schätzte man sein entgegenkommendes, leutseliges Wesen und seine ungezwungene Art im Verkehr mit jedermann. An den Veranstaltungen der Studentenschaft und der einzelnen studentischen Verbindungen nahm er während seiner Lehrtätigkeit fast regelmäßig und vielfach im Ruhestande noch teil und erfreute dabei durch geistvolle und mit treffsicherem Humor gewürzte launige Reden, die stets mit großem Beifall aufgenommen wurden und eine behagliche Stimmung erzeugten.“ Dass der Geheime Bergrat Erwin Papperitz nicht nur ein engagierter, sondern zugleich auch ein humorvoller Lehrer und ein lebensfroher Mensch war, wird auch in seinem „Lied von der Bergakademie“ [7] deutlich, das unter dem Motto steht „Der Humor ist ein unveräußerliches Recht des Deutschen

Studenten“. Lassen wir ihn deshalb zum Abschluss selbst zu Wort kommen.

Etwas zur Aufmunterung:

„Dem Ingenieur ist nichts zu schwer  
Und wenn es noch viel schwerer wär.“

Etwas zur Mahnung:

„Wohltätig ist der Jugendmut,  
Wo er sich selbst in Schranken tut.  
Doch schrecklich wird die Jugendkraft,  
Wenn sie der Disziplin enttrafft  
Einhertritt auf der falschen Spur;  
Denn blinder Eifer schadet nur.“

Und zum guten Schluss:

„Bis sich die Erregung kühlt,  
Lasset heut' die Arbeit ruh'n.  
Wo zum Bier die Musik spielt  
Mag sich jeder göttlich tun.“

**Literatur:**

- [1] E. Papperitz: Über verwandte s-Funktionen. *Mathematische Annalen* 25 (1884) 212–221; 26 (1885) 97–105.  
[2] E. Papperitz: Untersuchungen über die algebraischen

Transformationen der hypergeometrischen Funktionen. *Mathematische Annalen* 27 (1886) 315–357.

[3] E. Papperitz: Die Mathematik an den Deutschen Technischen Hochschulen. Ein Beitrag zur Beurteilung einer schwebenden Frage des höheren Unterrichtswesens. Verlag von Veit und Co., Leipzig 1899, 69 S.

[4] E. Papperitz: Über die wissenschaftliche Bedeutung der Darstellenden Geometrie und ihre Entwicklung bis zur systematischen Begründung durch Gaspard Monge. Rede beim Antritt des Rektorats am 27. Juli 1901. Craz und Gerlach, Freiberg 1901, 24 S.

[5] E. Papperitz: Über die Entwicklung der Freiburger Bergakademie seit ihrer Begründung im Jahre 1765. Antrittsrede bei der Übernahme des Rektorats am 29. Juli 1905. Craz und Gerlach, Freiberg 1905, 26 S.

[6] E. Papperitz: Über das Zeichnen im Raume. Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 20 (1911) 307–314.

[7] E. Papperitz: Das Lied von der Bergakademie. Unter Berücksichtigung der neuen Studien-, Diplomprüfungs- und Promotionsordnung. Ernst Maukisch, Freiberg 1921, 16 S.

## Das Wesen der Mathematik liegt in ihrer Freiheit. (Georg Cantor)

Zum wiederholten Male rief das Bundesministerium für Bildung und Forschung ein Wissenschaftsjahr aus – 2008 rückt die Mathematik in den Focus. Das Interdisziplinäre Ökologische Zentrum IÖZ (Dr. Alexander Pleßow), das Institut für Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTC), die Fakultät für Chemie und Physik der TU Bergakademie (Prof. Dr. Klaus Bohmhammel) sowie der Verein Deutscher Ingenieure VDI, Bezirksverein Chemnitz, Arbeitskreis Technikgeschichte (<http://www.jahr-der-mathematik.de/>) präsentieren aus diesem Anlass gemeinsam eine öffentliche Ringvorlesung, die sich inhaltlich am Jahr der Mathematik ausrichtet, sich aber keineswegs vorrangig an Mathematiker wendet. Die Veranstaltung wird unterstützt von der Fakultät für Mathematik und Informatik der TU Bergakademie Freiberg, vom Ortsverband Freiberg der Gesellschaft Deutscher Chemiker GDCh sowie den PraxisPartnern des IÖZ. Angesprochen sind Gäste, Studierende und Mitarbeiter der TU Bergakademie Freiberg.

In bewährter Mischung umfasst die Themenskala sowohl wissenschaftshistorische Beiträge wie auch aktuelle Anwendungen und Problemstellungen. Prof. Dr. Herbert Mehrrens von der TU Carolo Wilhelmina Braunschweig eröffnete mit einem Gang durch die Geschichte der Mathematik den Vortragsreigen, an den sich der Beitrag von Prof. Dr. Volker Nollau

(TU Dresden) Der „Bibelcode“ oder: Mathematik (in) der Bibel als gemeinsame Veranstaltung mit dem Novalis-Forum anschloss. Inspiriert von einer der Kernthesen des Vortrags, Buchstaben und Wörter stünden – möglicherweise – immer auch an der Stelle von Zahlen, gelang der Nachweis, dass sich aus der Summe der durch „Kurt“ und „Georg“ repräsentierten Zahlen und unter Zuhilfenahme der erlaubten sächsisch-mundartlichen Gleichsetzung des Anfangsbuchstabens von Zunamen (Hier: T und D) das Resultat „Stanislaw“ ergibt und sich so der Vorname des jetzigen Ministerpräsidenten aus denjenigen seiner Vorgänger ableiten lässt ( $4 + 5 = 9$  als die Summe der jeweiligen Zahl der Buchstaben des Namens liefert einen weiteren Hinweis). Weitere Möglichkeiten eröffnet das schon vor Jahrzehnten von Martin Gardner vorgelegte Werk „Die Zahlenspiele des Dr. Matrix“.

Harte Probleme mit harten Kugeln präsentierte Altrector Prof. Dr. Dietrich Stoyan, bevor Prof. Dr. Eberhard Renner vom Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V., Leipzig die Simulation der Bildung sekundärer Partikelmasse mittels des Modellsystems LM-MUSCAT erläuterte, oder übersetzt: auf welchen mathematischen Grundlagen beruhen eigentlich die Einhaltung der Feinstaubrichtlinie und die zu diesem Zweck zu treffenden Maßnahmen?

Die Vortragsreihe im Sommersemester beschlossen PD Dr. Karin Frank vom Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ, Leipzig – Statistik und Stochastik für den Erhalt von Biodiversität, Ökosystemfunktionen und gesellschaftlicher Wohlfahrt – und Prof. Dr. Robert Dinnebir, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart – 2D-Pulverdiffraktometrie: Das geniale Verfahren von Debye und Scherrer im 21. Jahrhundert.

Zum Zeitpunkt des Erscheinens dieses Beitrages werden bereits die Vorträge Mathematik in populären Medien (Dr. Ulf von Rauchhaupt, Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung), Albrecht Dürer als Geometer (Prof. Dr. Peter Schreiber, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald) und Die Rolle der Symmetrie in der Physik (Prof. Dr. Jens Kortus) stattgefunden haben.

Die Veranstalter würden sich freuen, noch viele Mitglieder des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg zu den nachfolgenden Terminen begrüßen zu können:

- **26. November 2008:** Kalkuliertes Risiko? Zur Rolle der Mathematik auf den Finanzmärkten (Prof. Dr. Hans Föllmer, Humboldt-Universität Berlin)
- **3. Dezember 2008:** Das Mathematikum Gießen (Prof. Dr. Albrecht Beutel-spacher, Mathematikum Gießen)
- **17. Dezember 2008:** Datenanalyse zur Aufklärung von Schusswaffenverbrechen (Prof. Dr. Matthias Otto, Technische Universität Bergakademie Freiberg)

■ Für die Veranstalter:  
Dr. Norman Pohl, IWTC

# Die Internationale Ressourcen-Universität (IUR) – ein Netzwerk zur Daseinsvorsorge

Eine bedeutende Schlüsselfrage der Zukunft der globalen Entwicklung ist die sichere Versorgung der Gesellschaft mit Rohstoffen, Energie und Wasser. Die aktuellen Herausforderungen durch die weltweite Verknappung dieser Ressourcen verlangen nach globalen Lösungen. Daran müssen sich vor allem auch die Universitäten mit ihrem Forschungs- und Ausbildungspotenzial beteiligen.

Mit der Gründung eines internationalen Netzwerkes führender Universitäten, die auf den Gebieten der effektiven Erschließung und Nutzung von stofflichen und Energieressourcen, der Versorgungssicherheit sowie der Vermeidung von Umweltbelastungen ausgewiesen sind, soll eine neue Qualität der Problemlösung erreicht werden. In einem ersten Schritt haben sich auf Initiative der TU Bergakademie Freiberg zunächst fünf namhafte europäische Universitäten mit den Forschungsschwerpunkten Energie und Rohstoffe zu einem Netzwerk zusammengeschlossen. Am 19. November 2007 unterzeichneten sie in Freiberg die Gründungsdokumente der „International University of Resources“ (IUR). An der Unterzeichnung nahmen neben dem Rektor der gastgebenden TU Bergakademie Freiberg die Rektoren der Nationalen

Bergbau-Universität Dnepropetrovsk (Ukraine), der AGH Kraków (Polen) und der Universität Leoben (Österreich) sowie die Vizerektorin des Bergbau-Instituts St. Petersburg (Russland) teil.

Die fünf Universitäten der IUR verbinden bereits mehrjährige Hochschulpartnerschaften. Der Verbund steht nach einer Pilotphase auch weiteren Universitäten, die sich dem Netzwerk anschließen möchten, jederzeit offen. Interesse haben bereits Universitäten aus Norwegen und Kanada bekundet.

Den Vorsitz der IUR, der jährlich wechselt, übernahm im Gründungsjahr die TU Bergakademie Freiberg.

Das Ziel des IUR ist es, mit gemeinsamen Forschungsprojekten und Ausbildungsangeboten die Stärken der Netzwerkpartner zusammenzubringen. Die Nationen der IUR-Gründungsmitglieder repräsentieren u. a. einen bedeutenden Teil des europäischen und weltweiten Bergbaus, z. B. auf Eisenerz, Stein- und Braunkohle, Erdöl/Erdgas und Düngemittel (Kali), des Hüttenwesens sowie der Gewinnung alternativer Energie.

Die Arbeit der IUR wird in vier Arbeitsgruppen realisiert: Forschung, Bildung, Konferenzen und Grundsatzfragen. Während der Gründungssitzung wurden die

Leituniversitäten der Arbeitsgruppen und später die jeweiligen Ansprechpartner aus den Partneruniversitäten benannt.

Ziel ist es, an der IUR künftig eigene internationale Master-Studiengänge anzubieten, deren Module semesterweise aus dem Angebot der Netzwerkpartner gewählt werden können. Gemeinsam betreute Promotionen sollen die Regel sein.

Das Konferenzgeschehen soll harmonisiert, effektiver und in hoher Qualität angeboten werden. Insbesondere auch jungen Wissenschaftlern sollen Kommunikationsmöglichkeiten angeboten werden. So fuhr im April 2008 eine Delegation mit 15 jungen Wissenschaftlern aus Freiberg zu einer internationalen Tagung nach St. Petersburg und belegte unter den ca. 20 teilnehmenden Hochschulen aus 10 Ländern in der Hochschulwertung der Vortragsqualität in allen 8 Sektionen den zweiten Platz. Im Gegenzug kamen 43 Wissenschaftler aus St. Petersburg zum 59. Berg- und Hüttenmännischen Tag nach Freiberg.

Der Austausch von Publikationen und eine eigene Fachzeitschrift zu Ressourcenfragen sollen die wissenschaftliche Kommunikation ebenfalls verbessern. So wurde im Januar 2008 ein Freiburger Forschungsheft „Scientific Reports of Mining, Metallurgy and Materials in Ukraine“ herausgegeben und an die Institute unserer Universität verteilt, um Anknüpfungspunkte für eine Kooperation zu initiieren.

Weitere Informationen zur IUR erhalten Sie unter der Homepage der TU Bergakademie Freiberg.

■ Carsten Drebenstedt, IUR-Koordinator



Die Unterzeichner der Gründungsurkunde (v.l.) Prof. Gennady G. Pivnyak, Rektor Nationale Bergbau-Universität Dnepropetrovsk, Prof. Georg Unland, Rektor TU Bergakademie Freiberg, Prof. Natalia Paschkevitsch, Vizerektorin Bergbau-Instituts St. Petersburg, Prof. Wolfhard Wegscheider, Rektor Universität Leoben, Prof. Antoni Tajdus, Rektor AGH Kraków

# Graduierten- und Forschungsakademie der TU Bergakademie Freiberg

**Michael Schlömann**

Am 18. Juli 2008 feierte die TU Bergakademie Freiberg die Verleihung der Ehrendoktorwürde an Herrn Peter Krüger und die förmliche Gründung der Graduierten- und Forschungsakademie der TU Bergakademie Freiberg. Diese beiden Aktivitäten hängen zusammen, da die von Herrn Dr.-Ing. E. h. Peter Krüger ins Leben gerufene „Dr.-Erich-Krüger-Stiftung“ den Grundstein der Graduierten- und Forschungsakademie legte.

Die Graduierten- und Forschungsakademie wurde mit dem Motto „Forschung, Weiterbildung, Vernetzung“ als fakultätsübergreifende Einrichtung gegründet. Mit diesem Schritt greift die TU Bergakademie Freiberg eine Empfehlung des Wissenschaftsrates zur Verbesserung der Promotion auf und schafft als eine der ersten Universitäten in Deutschland für die gesamte Universität eine Struktur, welche es erlaubt, Promotionsverfahren zu reformieren. Künftig wird allen Promovenden ein zusätzliches individuelles Bildungsprogramm geboten:

- Krüger-Kolloquien: Renommierete Persönlichkeiten der Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik erörtern Problemstellungen entsprechend dem Forschungsprofil der TU Bergakademie Freiberg.
- Fachliche/interdisziplinäre Weiterbildung
- Fachübergreifende Zusatzqualifikationen: Sprachkurse, Wissenschaftliches Schreiben, Präsentationstechniken, Projektmanagement und vieles mehr

Die bisherige Praxis der Promotion in Deutschland stieß unter anderem aufgrund ihrer langen Dauer und der Überfrachtung mit promotionsfernen Tätigkeiten auf Kritik. Deshalb setzt die TU Freiberg insbesondere bei der fachlichen Betreuung neben die konventionelle Promotion die strukturierte Doktorandenausbildung. Sie ist gekennzeichnet durch ein Studienprogramm, individuelle Betreuungsvereinbarungen und die Förderung von Kontakten zu anderen Forschungseinrichtungen oder zur Industrie. Durch diese Maßnahmen wird ein zügiger Abschluss erleichtert und eine vielseitige Persönlichkeitsentwicklung ge-

fördert. Die Ausbildungsziele und der Zeitplan für die Promotion werden gemeinsam mit dem Promovenden in einer individuellen Betreuungsvereinbarung festgelegt. Als interdisziplinäre wissenschaftliche Einrichtung erfasst die Graduierten- und Forschungsakademie alle Promotionsverfahren der Universität. Sie bildet darüber hinaus das Dach für die an der Universität bereits eingerichteten Promotionskollegs:

- Dr.-Erich-Krüger-Forschungskolleg – Freiburger Hochdruckforschungszentrum
- Graduiertenkolleg Sonderforschungsbereich 799 „TRIP-Matrix-Composite“
- Graduiertenschule „Photovoltaik“

Weitere Promotionskollegs sollen eingerichtet werden.

Auch bei der Lösung der vielfältigen organisatorischen Fragen der Promotion bietet die Graduierten- und Forschungsakademie unkompliziert Hilfe. Um beispielsweise die Bewerbung, die Zulassung oder die Verteidigung der Doktorarbeit abzustimmen, gibt es nun eine Anlaufstelle.

## **Dr.-Erich-Krüger-Forschungskolleg: Freiberger Hochdruck-Forschungszentrum**

Die 2006 gegründete „Dr.-Erich-Krüger-Stiftung“ verfolgt den Zweck, die praxis- und anwendungsbezogene Wissenschaft und Forschung zu fördern und solche Projekte umzusetzen, die auch der regionalen Wirtschaft zugutekommen.

Natur- und Ingenieurwissenschaftler widmen sich gemeinsam der Entwicklung neuer Werkstoffe für industrielle Anwendungen. Die Vision der Wissenschaftler ist die Herstellung extrem harter Werkstoffe, die im Vergleich zum Diamanten kostengünstiger herstellbar sind sowie eine höhere Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Ein anwendungsnahes Beispiel stellt die Synthese von Schneidstoffen für Bohrkronen in der Tiefbohrtechnik im Hartgestein dar. Verbesserte Materialien könnten erhebliche Fortschritte in der Geothermie bringen, einer Schlüsseltechnologie zur nachhaltigen Nutzung von Energie.

**Kontakt:** Prof. Dr. Jens Kortus  
TU Bergakademie Freiberg  
Fakultät für Chemie und Physik  
Institut für Theoretische Physik  
Leipziger Straße 23  
09596 Freiberg  
E-Mail: Jens.Kortus@physik.tu-freiberg.de

## **Graduiertenkolleg des Sonderforschungsbereichs 799 „TRIP-MATRIX-COMPOSITE“**



Der Sonderforschungsbereich „TRIP-MATRIX-COMPOSITE“ beschäftigt sich mit der Erforschung neuer Verbundwerkstoffe. Stähle und Keramiken werden zu neuartigen Werkstoffen kombiniert, die im Fahrzeug- und im Maschinenbau bei höchstbelasteten Verschleiß- und Trägerkomponenten zum Einsatz kommen sollen. Für die Grundlagenforschung wurde ein Graduiertenkolleg als Teil der Graduierten- und Forschungsakademie eingerichtet.

**Kontakt:** Prof. Horst Biermann  
TU Bergakademie Freiberg  
Fakultät für Werkstoffwissenschaft  
und Werkstofftechnologie  
Institut für Werkstofftechnik  
Gustav-Zeuner-Straße 5  
09599 Freiberg  
E-Mail: biermann@ww.tu-freiberg.de

## **Graduiertenschule „Photovoltaik“**

Dieses Promotionskolleg hat sich ganz der Ausbildung und Forschung entlang der Wertschöpfungskette der siliciumbasierten Photovoltaik verschrieben. Eng verbunden mit der SolarWorld Gruppe werden spezifische Probleme u. a. bei der Siliciumsynthese, der Rohstoffaufbereitung und -veredelung, der chemisch-physikalischen Prozessentwicklung, bei Werkstoffwechselwirkungen, der Anlagen- und Verfahrensentwicklung bis hin zum Recycling bearbeitet und gelöst. Die Interdisziplinarität der Photovoltaik ermöglicht Wissenschaftlern und Ingenieuren verschiedener Fachrichtungen, vielschichtige Problemstellungen übergreifend zu bearbeiten. Dabei bietet die enge Verknüpfung mit der ansässigen Industrie die Chance, neue Lösungen sehr schnell in der Praxis zu testen.

**Kontakt:** Prof. Martin Bertau  
TU Bergakademie Freiberg  
Fakultät für Chemie und Physik  
Institut für Technische Chemie  
Leipziger Straße 29  
09599 Freiberg  
E-Mail: martin.bertau@chemie.tu-freiberg.de



## Neuartige Studienangebote/ Akkreditierung

Im Heft 2007 auf S. 73 wurde bereits berichtet, dass in Deutschland und anderen europäischen Staaten – gemäß Beschluss der Bildungs- und Kulturminister von 29 Staaten in Bologna – die Studiengänge modularisiert und in der Regel vom Diplom- auf das zweistufige Bachelor- und Mastersystem umgestellt werden.

An der TU Bergakademie Freiberg wurde zum Wintersemester 2007/2008 der Großteil der bisherigen Diplomstudiengänge in die zweistufige Bachelor- und Masterstruktur überführt und modularisiert. Die bis dahin bereits angebotenen Bachelor- oder Masterstudiengänge „Network Computing“, „Wirtschaftsmathematik“ und „International Management of Resources and Environment“ wurden modularisiert. Die Studiengänge „Angewandte Mathematik“, „Geotechnik und Bergbau“, „Markscheidewesen und Angewandte Geodäsie“, „Keramik, Glas- und Baustofftechnik“, „Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie“ sowie „Betriebswirtschaftslehre“ werden zunächst als modularisierte Diplomstudiengänge weitergeführt. Für alle anderen bisherigen Diplomstudiengänge wurde zum Wintersemester 2007/2008, im Falle von „Geologie/Mineralogie“ und „Geoinformatik und Geophysik“ allerdings schon 2005 bzw. 2006, zunächst ein Bachelorstudiengang eingeführt.

Selbstverständlich gehört aber an einer Universität zu jedem Bachelorstudiengang auch ein darauf aufbauender Masterstudiengang, ein so genannter „konsekutiver Master“. Die Programme für mehr als die Hälfte der geplanten konsekutiven Masterstudiengänge sind bereits fertiggestellt. In die meisten Masterstudiengänge soll jedoch erst nach dem ersten Durchlauf der Bachelorstudiengänge immatrikuliert werden.

Neben den konsekutiven Masterstudiengängen wurden und werden weitere nicht-konsekutive Masterprogramme entwickelt. Darunter versteht man Mas-

terstudiengänge, die nicht auf einem bestimmten Bachelorprogramm aufbauen, sondern die es einem Bachelorabsolventen ermöglichen, eine andere Studienrichtung einzuschlagen. Ab Oktober 2008 können beispielsweise die nicht-konsekutiven Masterstudiengänge „Master of International Business in Developing and Emerging Markets“ und „Keramik, Glas- und Baustofftechnik“ angeboten werden. Bereits verabschiedet ist auch der weiterbildende kommerzielle Masterstudiengang „Sustainable Mining and Remediation Management“ in Zusammenarbeit mit WISUTEC. In Planung sind derzeit ferner der „Executive Master of Business Administration“ gemeinsam mit der Szkoła Główna Handlowa Warszawa sowie die Masterstudiengänge „Photovoltaische Materialien“, „Renewable Energies“ und ein Masterstudiengang im Rahmen der „International University of Resources“.

Ein zunehmend wichtiges Thema für alle Universitäten ist die Qualitätssicherung. Der vom Ministerium hierfür vorgesehene Rahmen ist zur Zeit die Akkreditierung von Studiengängen, die sogenannte Programmakkreditierung. Eine Programmakkreditierung ist ein durch externe Agenturen durchgeführtes Verfahren, welches auf die Feststellung der Qualität einzelner Studienprogramme gerichtet ist. Der Vorzug der Programmakkreditierung gegenüber dem bisherigen ministeriellen Genehmigungsverfahren für neue Studiengänge liegt vor allem darin, dass die Studiengänge von Kollegen anderer Universitäten, von Vertretern aus der Praxis und von Studierenden beurteilt werden. Diese Beteiligten können die Studierbarkeit und die sächlichen Voraussetzungen oftmals besser prüfen als die Ministerialbürokratie.

Nicht zu unterschätzen ist allerdings der Arbeitsaufwand bei der Erstellung der bei der Agentur einzureichenden Akkreditierungsunterlagen. Darüber hinaus kommt mit der Programmakkreditierung eine erhebliche Kostenbelastung auf die Hochschulen zu. So rechnet man etwa für die Akkreditierung eines Studienprogramms im Bündel mit durchschnittlich 5.000 Euro. Fast ebenso teuer ist die alle fünf Jahre notwendig werdende Reakkreditierung. Nachteilig ist zudem, dass mit der Zunahme der Zahl der zu akkreditierenden Programme anstelle einer wirklichen Überprüfung und Qualitätsverbesserung routinemäßige, bürokratische Verfahren zu erwarten sind. Daneben zeichnet sich in der Bundesrepublik infolge der hohen

Zahl der gegenwärtigen Programmakkreditierungen ein Mangel an qualifizierten Gutachtern ab. Hinzu kommt, dass zwar einerseits im Zuge der Einführung des Akkreditierungswesens der Einfluss der Ministerialverwaltung auf die Gestaltung der Studiengänge zurückgedrängt wird. Andererseits wird jedoch der damit einhergehende Zugewinn der Hochschulen an Autonomie sogleich geschmälert, wenn externe Agenturen fortan die Beurteilung jedes einzelnen Studienganges übernehmen würden.

Ein Weg zur Reduzierung dieser Probleme könnte die so genannte Systemakkreditierung sein. Gegenstand einer Systemakkreditierung ist das interne Qualitätssicherungssystem einer Hochschule im Bereich Studium und Lehre. Dabei werden von externen Agenturen die für Lehre und Studium relevanten Strukturen und Prozesse daraufhin überprüft, ob sie das Erreichen der Qualifikationsziele und die hohe Qualität der Studiengänge gewährleisten. Mit erfolgreicher Systemakkreditierung werden zugleich alle einzelnen Studiengänge, welche bereits das Verfahren der Qualitätssicherung durchlaufen haben, akkreditiert. Die Kultusministerkonferenz hat im Dezember 2007 der Einführung der Systemakkreditierung zugestimmt.

Die Bergakademie hat sich dafür entschieden, perspektivisch eine Systemakkreditierung anzustreben. Um dafür zugelassen zu werden, muss jedoch zunächst eine bestimmte Anzahl an Studiengängen programmakkreditiert sein. Deshalb wird derzeit an der Vorbereitung einzelner ausgewählter Bachelor- und Masterstudiengänge zur Programmakkreditierung gearbeitet. Hierfür werden wir solche Studiengänge auswählen, welche 1. auf Bachelor- und Mastersystem umgestellt sind, 2. aufgrund der Zahl der Studierenden von großer Bedeutung für die Universität sind und welche 3. von relativ vielen Universitäten angeboten werden, also besonders großer Konkurrenz unterliegen. Neben der Vorbereitung zur Programmakkreditierung wird ein Qualitätsmanagementsystem ausgebaut, welches später im Rahmen der Systemakkreditierung zur Beurteilung vorgelegt wird.

Wir sind zuversichtlich, dass es der TU Bergakademie Freiberg gelingen wird, das schon sehr hohe Niveau der studentischen Ausbildung mindestens zu halten und vielleicht an der einen oder anderen Stelle auch weiter zu erhöhen.

■ Michael Schlömann

## 59. Berg- und Hüttenmännischer Tag 2008

Vom 11. bis 13. Juni 2008 trafen sich rund 700 Wissenschaftler aus Europa und dem Nahen Osten sowie Vertreter aus der Industrie und Forschungseinrichtungen zum 59. Berg- und Hüttenmännischen Tag an der TU Bergakademie Freiberg. In über 200 Vorträgen tauschten sie Wissen über die neuesten Erkenntnisse und Forschungsergebnisse aus. Ein Höhepunkt des dreitägigen Forums war der Empfang für Gäste und Gastgeber am Abend des 12. Juni 2008 im Freiburger Tivoli. Dort übergab die Firma Schott Lithotec einen industriell gezüchteten, 100 Kilogramm schweren, wasserklaren Fluorit für die Mineraliensammlung terra mineralia in Schloss Freudenstein. Dr. Dirk Sprenger, Forschungsleiter des Jenaer Unternehmens, überreichte den Einkristall an Prof. Gerhard Heide, Direktor der Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie.

**Kolloquium 1:** Die deutsche und europäische Energieversorgung am Beispiel des Kaspischen Raumes und der Russischen Förderation

**Kolloquium 2:** Behandlungstechnologien für bergbaubeeinflusste Wässer

**Kolloquium 3:** GIS – Geowissenschaftliche Anwendungen und Entwicklungen



Die Firma Schott Lithotec übergibt der TU Bergakademie Freiberg den Fluorit für die Mineraliensammlung terra mineralia. V.l. Prof. Georg Unland, Dr. Dirk Sprenger, Prof. Gerhard Heide. Foto: Detlev Müller

**Kolloquium 4:** Schutzgut Wasser mit KORA-Abschlusspräsentation „Bergbau und Sedimente“

**Kolloquium 5:** Rohstoffgewinnung und Rohstoffwirtschaft 2008

**Kolloquium 6:** Management bergbaubedingter Emissionen

**Kolloquium 7:** 3. Freiberg-St. Petersburger Kolloquium

**Kolloquium 8:** Metallogenetische Modelle und Strategien zur Exploration fester mineralogischer Rohstoffe

**Kolloquium 9:** Flächenrevitalisierung – Möglichkeiten & Ideen & Lösungen

**Kolloquium 10:** Energiewirtschaftliche Fragestellungen aus ingenieurwissen-

schaftlicher und ökonomischer Sicht  
**Kolloquium 11:** Gasttechnologisches Kolloquium

**Kolloquium 12:** (gestrichen)

**Kolloquium 13:** Regionale Zukunftskonferenz des Landkreises Freiberg im Rahmen des EU-Projektes „CHANCE“ in Zusammenarbeit mit der TU Freiberg

**Kolloquium 14:** Agricolakolloquium 2008: Symposium im Rahmen des UNESCO-Projektes „Montanregion Erzgebirge“: Waldwirtschaft, Flößerei und Köhlerei in Verbindung mit dem Montanwesen

**Workshop MATGEOS 2008:** 1st Workshop on Mathematical Geosciences

Informationen: <http://tu-freiberg.de/zuv/bht/archiv.html>

## Neuer Internationaler Masterstudiengang „International Business in Developing & Emerging Markets“ ab Wintersemester 2008/09

Ab Oktober 2008 startet die TU Bergakademie Freiberg den neuen und deutschlandweit bisher einmaligen englischsprachigen MBA-Studiengang „International Business in Developing & Emerging Markets“ (IBDEM). Dieser vermittelt den Teilnehmern das ökonomische, unternehmerische und interkulturelle Rüstzeug für die Ausrichtung auf und die Tätigkeit in Entwicklungs- und ehemaligen Transformationsländern. Solche Fähig- und Fertigkeiten sind besonders bei der Arbeit in multinationalen Unternehmen, in internationalen Organisationen (VN, EU), exportorientierten Unternehmen sowie in Verbänden und Handelskammern essenziell. Referenten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik sowie



über sie vermittelte Kontakte zu Managern und Politikern inner- und außerhalb der Universität garantieren eine aktuelle und praxisbezogene Ausbildung.

Das viersemestrige wirtschaftswissenschaftliche Studium vermittelt den maximal 30 Studenten pro Jahr in den ersten beiden Semestern in Freiberg grundlegende Kenntnisse der modernen Volks- und Betriebswirtschaftslehre, insbesondere der Entwicklungs- und Transformationsökonomik sowie Kenntnisse in wichtigen Bereichen des internationalen Managements.

Daran schließt sich ein einsemestriger Pflichtaufenthalt an einer der Partneruniversitäten des Masterprogramms an, u.a.

in China, Frankreich, Italien, Polen, Russland, Serbien, Tschechien oder Ungarn. Anschließend erfolgt die Absolvierung eines dreimonatigen Pflichtpraktikums in Deutschland oder im Ausland mit angeschlossener Masterarbeit, welche vom Lehrpersonal in Freiberg oder dem der Partneruniversitäten betreut wird.

So steht laut Programmkoordinator Prof. Horst Brezinski nicht nur die Vermittlung von „spezifischem Fachwissen im Mittelpunkt, sondern auch von interkultureller Kompetenz. Damit sind die Absolventen gut auf einen Einstieg in die internationale Arbeitswelt vorbereitet.“

Der Studiengang ist gebührenfrei und

konsekutiv angelegt. Eine Einschreibung ist in der Regel bis zum 30. Juli eines jeweiligen Jahres (EU-Inländer) möglich. Zugangsvoraussetzungen für deutsche Bewerber sind ein Bachelor- oder ein äquivalenter Abschluss in wirtschaftswissenschaftlichen oder vergleichbaren Studiengängen mit einer Abschlussnote von mindestens 3,0 und ein TOEFL-Ergebnis von 213 Punkten (computerbasiert).

Das Programm für zukünftige Manager mit Weitsicht wird gefördert und unterstützt vom Bundesministerium für Forschung und Technologie und dem DAAD.

Weitere Informationen: [www.wiwi.tu-freiberg.de/iwbz](http://www.wiwi.tu-freiberg.de/iwbz)

■ Horst Brezinski & Jens Hofmann

## Mikrostruktur von ultraharten Cr-Al-N-Nanokompositschichten

Christina Wüstefeld,  
Bernhard-von-Cotta-Preisträgerin 2007

### Motivation

Cr-Al-N-Nanokompositschichten – nanostrukturierte Verbundwerkstoffe in Form von dünnen Schichten auf der Basis vom Chromaluminiumnitrid – zählen zu den Hartstoffschichten, die für die Verbesserung der Verschleißfestigkeit, der Korrosionsfestigkeit und der Standzeit von Stanzwerkzeugen sowie Bohrern, Wendeschneidplatten und Fräsern für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung von Metallen in der Automobilindustrie eingesetzt werden. Um diese Anforderungen zu erfüllen, müssen die aufgebrachten Hartstoffschichten neben einer sehr hohen Härte eine gute Haftung zum Substrat sowie eine hohe Temperaturbeständigkeit und eine geringe Oxidationsneigung aufweisen. Die Kombination dieser Eigenschaften erlaubt zusätzlich den Einsatz von Schmiermitteln bei der Materialbearbeitung zu reduzieren, was einen äußerst positiven Effekt auf die Umwelt hat. Die oben genannten Materialeigenschaften können nur durch eine gezielte Einstellung der Mikrostruktur erreicht werden. Hierfür ist die detaillierte Charakterisierung der Mikrostruktur unabdingbar, um die grundlegenden physikalischen Phänomene in diesen Werkstoffen zu klären und damit die stetige Weiterentwicklung dieser Beschichtungen entsprechend ihrem Anwendungsgebiet zu ermöglichen.

In dem hier untersuchten Cr-Al-N-Schichtsystem werden, wie auch bei den

Ti-Al-N- und Ti-Al-Si-N-Schichten, nanoskalige Kristallite mit der Größe unter 10 nm beobachtet, die durch einen Entmischungsprozess im thermodynamisch instabilen Material entstehen. Dabei bilden sich typischerweise zwei nanokristalline Phasen aus: eine hat ein kubisch-flächenzentriertes Kristallgitter, die andere ein hexagonales.

Ziel meiner Diplomarbeit war es, die Mikrostruktur der Cr-Al-N-Schichten zu charakterisieren, um einen Beitrag zur Erklärung des Entmischungsmechanismus im thermodynamisch instabilen System Cr-Al-N zu leisten und den Einfluss der Schichtbeschaffenheit auf die Härte zu untersuchen.

### Probenherstellung und Untersuchungsmethoden

Im Vorfeld der Diplomarbeit wurden Cr<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N-Nanokomposite mit der Vakuumbogenentladung, einer physikalischen Abscheidung aus der Gasphase, auf Hartmetallsubstraten bei einem Kooperationspartner abgeschieden. Es handelte sich um sieben Proben mit unterschiedlichen Aluminium- und Chromgehalten, die anschließend mit Hilfe von verschiedenen mikrostrukturanalytischen Methoden am Institut für Werkstoffwissenschaft untersucht wurden. Die Mikrostrukturuntersuchungen umfassten die Ermittlung der chemischen Zusammensetzungen mittels wellenlängendispersiver Elektronenstrahlmikroanalyse sowie die Bestimmung der Phasenzusammensetzung, der mechanischen Eigenspannungen erster Art, der spannungsfreien Gitterparameter und der Kristallitgrößen mittels röntgenographischer Beugungsmethoden. Untersuchungen am Transmissionselektronenmikroskop (TEM) dienten zur Visualisierung

der Kristallitgröße. Außerdem konnte die lokale chemische Analyse mittels Elektronenenergieverlustspektroskopie und energiedispersiver Spektroskopie am TEM durchgeführt werden. Die Schichtdicke der Proben wurde mit dem Kalottenschliffverfahren bestimmt. Die Ermittlung der Nano Härte erfolgte über die Auswertung von Kraft-Eindringkurven, die beim Eindringen einer Diamantpyramide in die Schicht aufgenommen wurden.

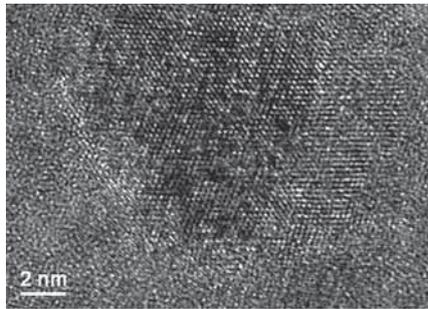
### Ergebnisse

Die Analyse der globalen chemischen Zusammensetzung der Schichten mittels wellenlängendispersiver Elektronenstrahlmikroanalyse zeigte, dass es sich um sogenannte stöchiometrische Schichten handelte, da das Molverhältnis Stickstoff zu Metall 1:1 betrug. Weiterhin wurden mit dieser Methode die unterschiedlichen Aluminium- und Chromgehalte in den Schichten quantifiziert. Die Gehalte beider metallischer Komponenten beeinflussen die Ausbildung der nanokristallinen Phasen in diesen Schichten. Aus der Fachliteratur ist bekannt, dass sich in den chromreichen Schichten Chromnitrid (CrN) mit der Kristallstruktur des kubisch-flächenzentrierten (kfz) Natriumchlorids bildet. Bis zu einem bestimmten Aluminiumgehalt können die Aluminiumatome die Plätze der Chromatome in der kfz-Struktur einnehmen. Diese sogenannte Löslichkeit der Aluminiumatome in der kfz-Struktur ist jedoch nur begrenzt, denn beim Überschreiten eines bestimmten Aluminiumgehaltes kommt es zur Bildung einer zweiten Phase. Hierbei handelte es sich um die hexagonale Aluminiumnitrid-Phase (hex-AlN) mit der wurtzitischen Kristallstruktur. Die Ausbildung der nanokristallinen Phasen in den Schichten wur-

de mit der Aufnahme und Analyse von Röntgendiffraktogrammen der Schichten untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass sich in den chromreichen Schichten zunächst die kfz-Phase mit gelösten Aluminiumatomen (kfz-(Cr<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)N-Phase) bildet und dass sich ab einem Aluminiumgehalt von  $x \geq 46$  Atomprozent das hex-Aluminiumnitrid als zweite Phase bildet.

Mittels röntgenographischer Untersuchungen konnte auch gezeigt werden, dass die kfz-Kristallite eine Vorzugsorientierung in der Schicht aufweisen, bei der die  $\langle 111 \rangle$ -Fläche der kfz-(Cr,Al)N-Phase senkrecht zur Probenoberfläche ausgerichtet ist. Zusätzlich richteten sich die Kristallite auch in der Probenebene bevorzugt aus, was als „in-plane-Textur“ bezeichnet wird. Aus der Linienbreitenanalyse der Röntgenbeugungsreflexe der kfz-Phase konnte die Existenz der partiellen Kohärenz der kfz-Kristallite gefolgert werden. Für die untersuchten Schichten bedeutet dies, dass es sogenannte nanokristalline Cluster gibt, die aus mehreren nur wenig gegeneinander verdrehten Nanokristalliten bestehen. Sowohl die Größe der Cluster als auch die Größe der Nanokristallite konnte aus der Linienbreite der Beugungsreflexe der kfz-Phase berechnet werden. Für die Cr-reichste Schicht (Cr<sub>0,92</sub>Al<sub>0,08</sub>N) ergab sich eine Kristallitgröße von  $(11 \pm 4)$  nm, die sich mit steigendem Aluminiumgehalt in den Schichten weiter verringerte und bei der Zusammensetzung Cr<sub>0,30</sub>Al<sub>0,70</sub>N eine Größe von  $(6,5 \pm 0,5)$  nm erreichte. Die Clustergröße betrug in allen Schichten ca. 60 nm. Die röntgenographisch ermittelten Cluster- und Kristallitgrößen konnten durch Untersuchungen mit dem Transmissionselektronenmikroskop bestätigt werden.

Die Abnahme der Kristallitgröße mit steigendem Aluminiumgehalt in den einphasigen Proben erfolgte moderat, während ein starker Abfall der Kristallitgröße im zweiphasigen Bereich beobachtet wurde. Daher konnte gefolgert werden, dass der Entmischungsprozess wesentlich zur Bildung kleinerer Kristallite bzw. zur Fragmentierung der Cluster beiträgt. In den Cr-Al-N-Schichten, in denen sich keine zweite Phase gebildet hat, kann eine Entmischung nicht als Erklärung für die Bildung einer kleinen Kristallitgröße herangezogen werden. Die Reduzierung der Kristallitgröße in den einphasigen Proben wird wahrscheinlich durch plastische Deformation der Cluster während der Abscheidung verursacht. Dabei kommt es zur Ausbildung von Versetzungswänden,



Hochauflösende elektronenmikroskopische Aufnahme einer Cr-Al-N-Nanokompositsschicht

die die Cluster in mehrere kleine Kristallite unterteilen und so zur Relaxation der Eigenspannung erster Art in den Clustern führen. Mit Hilfe von Untersuchungen im Transmissionselektronenmikroskop konnte die Existenz von Versetzungen innerhalb der Cluster belegt werden. Diese Untersuchungen lieferten erste Hinweise, dass es sich bei den Versetzungen um Schraubenversetzungen handelt, die Drehschubkorngrenzen aufbauen.

Die Korrelation der ermittelten Schicht Härte mit der Mikrostruktur (Phasenzusammensetzung, Kristallitgröße, Grad der partiellen Kohärenz, Vorzugsorientierung der Nanokristallite) der Schichten zeigte, dass die Härte einerseits durch eine kleine Kristallitgröße und andererseits durch die Verzahnung von kfz- und hex-Kristalliten gesteigert werden kann.

Diese Ergebnisse der Mikrostrukturuntersuchungen stellten einen Beitrag zum Projekt „Ausbildung und thermische Stabilität von nanoskaligen Domänen in ausgewählten ternären und quaternären dünnen Schichten“ dar, welches von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wird. Nach meinem Studienabschluss habe ich die Gelegenheit bekommen, die Forschungen an Cr-Al-(Si)-N-, Ti-Al-(Si)-N- und Zr-Al-(Si)-N-Nanokompositsschichten im Rahmen dieses Projektes als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Werkstoffwissenschaft der TU Bergakademie Freiberg fortzusetzen.

#### Danksagung

Ich danke dem Verein „Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg“ für die Auszeichnung meiner Diplomarbeit. Besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Prof. Dr. Rafaja für die Bereitstellung des Themas und die großartige Betreuung. An dieser Stelle möchte ich auch den Mitarbeitern des Instituts für Werkstoffwissenschaft der TU Bergakademie Freiberg für die Unterstützung bei der Diplomarbeit danken.

## Pollen- und Makrorestanalyse und Diatomeenbestimmungskurs in Wilhelmshaven



Forschungszentrum Terramare in Wilhelmshaven.

Fotos (2) Astrid Schaller

Im Rahmen eines Praktikums nahm ich an einem Fazieskurs zur Bestimmung von Pollen, zur Makrorestanalyse und zur Diatomeenkunde vom 18. bis 28. Februar 2008 am Forschungszentrum Terramare in Wilhelmshaven teil. Er wurde von Herrn Dr. Holger Freund, Leiter der Meeresstation, durchgeführt. Das Forschungszentrum ist seit 1. Januar 2008 dem Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg angegliedert.

Neben den Aktivitäten in der Flachmeer-, Küsten- und Meeresumweltforschung vermittelt das Institut Studenten interdisziplinär meereskundliche Kenntnisse in den Bereichen Geochemie/Meereschemie, Biologie und Geologie. Der erste Teil des Kurses enthielt eine Einführung in die Fazieskunde, Theorie der Pollenentnahme und -aufbereitung sowie Vorträge zur Pollenmorphologie, zu Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzgebieten der Palynologie. Über die Mikroskopie und angefertigte Handzeichnungen wurden die wichtigsten Pollentypen Nordwestdeutschlands vorgestellt. Im Marschgebiet des Barghauser Sees bei Accum /Ostfriesland wurde eine Rammkernsondierung mit einer Teufe von 5 m durchgeführt. Das Bohrprofil repräsentierte das gesamte Küstenholozän des ostfriesischen Küstengebietes, eine Wechselfolge von marinen lagunären Ablagerungen und Torfschichten. Das Probenmaterial wurde für die Pollen- und Diatomeenanalyse nach unterschiedlichen Verfahren chemisch aufbereitet. Eine Aufgabe der Studenten war es, die Makroreste der Torfe zu untersuchen. Je nach Anteil an Stengel-, Blatt- und Wurzelresten, Früchten, Samen und Holzkohleresten, Blattscheiden

und Resten von Sauergräsern werden verschiedene Torfarten unterschieden. Es lassen sich somit übergreifend Standortausagen zum Vegetationsraum ableiten. Die einzelnen beobachteten Torflager laufen fingerartig landwärts zu einem großem Lager zusammen. Bei mehreren Regressionen des Meeres im Holozän konnten sich die Torfe entwickeln.

Die Hauptaufgabe des Kurses bestand darin, die chemisch aufbereiteten Proben über Frischpräparate unter dem Lichtmikroskop auszuzählen, um am Ende eine statistische Verteilung der Pollenarten zu erhalten.

Im Unterschied zu den Pollen, die sich vorwiegend in den Torfen befinden, lässt sich in den marinen Wattablagerungen die Diatomeenassoziation ermitteln. Nach der chemischen Aufbereitung der Diatomeenproben fertigten wir Dauerpräparate an. Im zweiten Teil des Kurses vermittelte Herr Dr. Freund uns Grundkenntnisse zur Lebensweise, Morphologie und zu Habitaten der Kieselalgen sowie Kriterien für die Probenahme und -aufbereitung. Die wichtigsten Kieselalgentaxa wurden vorgestellt, mikroskopiert und anschließend die angefertigten Dauerpräparate nach Art der Diatomeenassoziation untersucht und ausgezählt. Die lagunären marinen Ablagerungen verdeutlichen die damaligen Meerestransgressionen im Küstenholozän. Mit diesen erlernten Methoden der Pollen-, Makrorest- und Diatomeenanalyse können anhand der Auszählungen und der nachfolgenden computergestützten Auswertung in Form von grafischen Verteilungen mittels Pollen- und Diatomeendiagrammen entsprechende Faziesräume rekonstruiert werden. Entsprechend den Diatomeenvergesellschaftungen lässt sich somit auf marine, brackische Bedingungen oder Süßwasserhältnisse schließen. Indikatoren für Faktoren wie pH-Wert, Licht, Salzgehalt u. a. ermöglichen ökologische Aussagen. Über die Pollenanalyse (Palynologie) sind ebenfalls Untersuchungen zu landschaftlichen, ökologischen und geologischen Aspekten, zur Rekonstruktion von Siedlungsräumen sowie Hinweise auf die Vegetations- und Klimaentwicklung möglich.



Motivation und Ziel des Kurses war es, neben dem Zuzugewinn an geologischem Wissen Verständnis für die Botanik und Ökologie zu entwickeln. Die vorgestellten Methoden dienen der Paläontologie zur Erforschung von paläoökologischen und -botanischen Fragestellungen. Das Praktikum war Basis für meine Abschlussarbeit zur Erlangung des Bachelorgrades und für neue Aufgaben im Masterstudium.

■ Astrid Schaller, 5. Semester Bachelor Geologie/Mineralogie

## Silicon Saxony 2025: Kluge Köpfe aus aller Welt – mehr Wohlstand für alle: Studenten und Experten entwerfen Szenarien für Sachsens High-Tech Cluster

**Dresden-Freiberg-Chemnitz. Sächsische Innovationen für den Weltmarkt oder Rentnerparadies? Zwischen diesen Extremen schwanken die Zukunftsoptionen für Sachsen, die 17 Studenten aus Europa sowie aus Peru, Kolumbien und Turkmenistan gemeinsam in einem dreitägigen, englischsprachigen Workshop am 14. Juni sowie am 5. und 6. Juli 2008 entwickelten und vor Experten aus Wirtschaft und Forschung vorstellten.**

Prof. Horst Brezinski, Lehrstuhlinhaber für internationale Wirtschaftsbeziehungen an der TU Bergakademie Freiberg, initiierte gemeinsam mit Dr. Martin Gillo, ehemaliger sächsischer Wirtschaftsminister, die Veranstaltung, die vom Verein der Freunde und Förderer unterstützt wurde.



Seminarteilnehmer

Ziel war es, für Wissenschaft, Wirtschaft und Politik mögliche Optionen und Strategien für eine Entwicklung hin zu einem attraktiven sächsischen Wirtschafts- und Forschungsstandort zu entwerfen.

In einem mehrstufigen Prozess erfolgte mittels gemeinsamer Fragenformulierung, Bildung interkultureller Teams sowie Identifizierung möglicher Trends die Auswahl von drei Szenarien. Anschließend betätigten sich die Studenten als Drehbuchschreiber bei der Formulierung und Auskleidung der Szenarien, rückwärtsgehend vom Jahr 2025 hin zum Jahr 2008. Im optimistischsten Szenario ist Sachsen 2025 eine High-Tech-Landschaft, die kluge Köpfe aus dem In- und Ausland durch seine guten Forschungsmöglichkeiten und sein attraktives kulturelles Umfeld anzieht. Dies führt zu international wettbewerbsfähigen Clustern in den Bereichen IT, Bio, Nano sowie deren Verschmelzung („Bioelektronik“ u. a.). Der Weg dahin könnte durch bessere Bildungsmöglichkeiten („IT-Diplome“), mehr Ausgaben für Bildung und Forschung, Investitionen in zukunfts- und marktfähige Produkte sowie durch eine bessere Vereinbarkeit von Arbeit und Beruf (Unternehmenskindergärten) gekennzeichnet sein.

Im Gegensatz dazu würde ein Mangel an qualifizierten Fachkräften in Zusammenhang mit einer sinkenden Geburtenrate und der Unattraktivität für internationale Forscher dazu führen, dass Sachsen ein Rentnerbiotop wird.

Im dritten Zukunftsbild, das eher einem „Durchwursteln“ entspricht, erschließen internationale Kooperationen, Erleichterungen bei der Einwanderung internationaler qualifizierter Fach- und Führungskräfte und die Erhöhung der Anzahl von Unternehmensgründern Möglichkeiten, den Fachkräftemangel und die sinkende Geburtenrate auszugleichen und die gegenwärtige Position Sachsens im globalen Wettbewerb zu behaupten, wenngleich auch nur mühsam.

Abschließend resümierte Prof. Horst Brezinski: „Für die Studenten war dieses Seminar mit Sicherheit ein Gewinn, um die ‚soft skills‘ zu erlernen, wie man in einem Team, das zudem noch international zusammengesetzt ist, Strategien entwickelt. Aber auch die Experten waren beeindruckt von den Denkanstößen, die von den Studenten kamen. Veranstaltungen dieser Art werden zukünftig fester Bestandteil eines modernen Hochschulcurriculums sein.“

■ Jens Hofmann

## Kurznachrichten

### Werkstoffe aus Stahl und Keramik

799 – diese Nummer trägt der neue Sonderforschungsbereich, den die DFG zum 1. Juli 2008 in Freiberg einrichtete. Hinter der Zahl verbirgt sich das Projekt „TRIP-MATRIX-COMPOSITE“. Um den Ressourcen- und Energiebedarf dauerhaft zu senken, sollen leistungsfähigere und zugleich material- und energieeffizientere Werkstoffe und Herstellungsverfahren entwickelt werden. Das Forschungsprojekt wird von der DFG in den ersten vier Jahren mit rund zehn Millionen Euro gefördert. In dem Sonderforschungsbereich arbeiten Wissenschaftler aus vier Fakultäten der Freiburger Universität in 16 Teilprojekten zusammen, um Stähle und Keramiken zu neuartigen Werkstoffen zu kombinieren, erklärte Prof. Horst Biermann, Direktor des Institutes für Werkstofftechnik und Sprecher des SFB.

### Acht Institute starteten VIRTUHCON

Bundesforschungsministerin Schavan verkündete am 25. April 2008 in Berlin, dass Freiberg als neuer Standort für Spitzenforschung in den neuen Bundesländern gefördert wird. Mit dem Zentrum für virtuelle Hochtemperatur-Konversionsprozesse, kurz Virtuhcon, ist dabei ein Projekt mit internationaler Ausstrahlung unter Leitung von Prof. Bernd Meyer ausgewählt worden. An dem vom Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen initiierten Freiburger Forschungszentrum beteiligen sich acht Institute der TU Bergakademie. Gemeinsames Ziel ist die mathematisch-naturwissenschaftliche Modellierung von Hochtemperatur-Konversionsprozessen. Mit dem Einsatz von Hochleistungsrechnern sollen dazu die Vorgänge, die sich bei Temperaturen bis zu 3.000 Grad Celsius abspielen, berechnet und dreidimensional sichtbar gemacht werden. Dazu entsteht in Freiberg auf der Reichen Zeche ein Supercomputing-Zentrum.

### DFG zündete in Freiberg das Schwerpunktprogramm FIRE

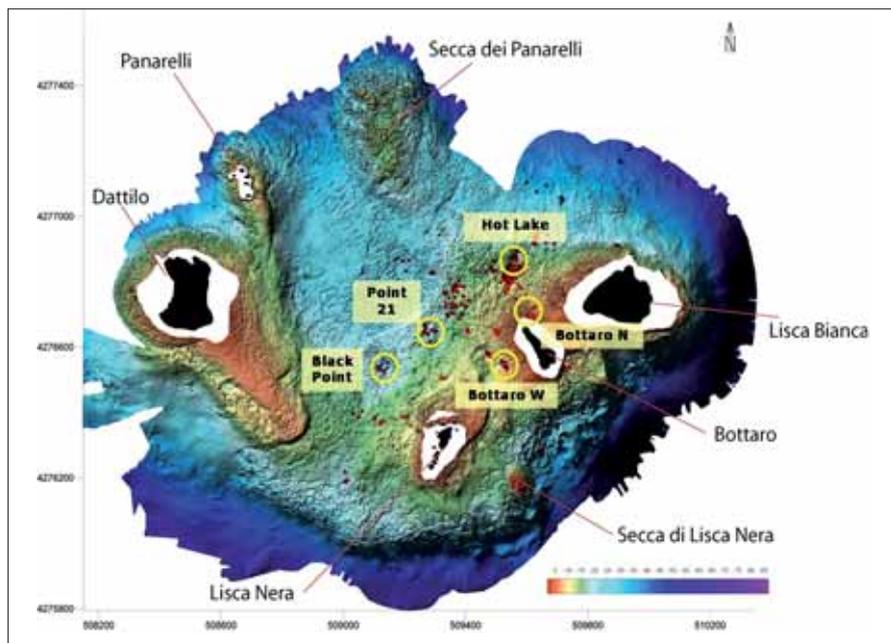
Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) richtete an der TU Bergakademie Freiberg ein Schwerpunktprogramm (SPP) „Feuerfest – Initiative zur Reduzierung von Emissionen“ (FIRE) ein. Das Projekt, von Prof. Christos G. Aneziris vom Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik koordiniert, wird für sechs Jahre mit jährlich 1,8 Millionen Euro finanziert. Ziel ist es, neue, umweltschonende Feuerfestwerkstoffe zu entwickeln. Sie werden bei Hochtemperaturprozessen über 1.000 Grad Celsius gebraucht, etwa bei der Stahlerzeugung oder in Gasturbinen. „Derzeit kommen in der Industrie dabei vor allem kohlenstoffhaltige feuerfeste Werkstoffe zum Einsatz“, erklärt Prof. Christos Aneziris. „Mit unserem DFG-Programm möchten wir neue, schadstoffarme Werkstoffe entwickeln. Sie könnten eine enorme Verringerung von Treibhausgasen bewirken.“ Darüber hinaus lassen sich metallurgische Prozesse durch eine kohlenstofffreie „Clean-Steel-Technologie“ revolutionieren. Diese vermeidet, dass der Stahl den bisher im Feuerfestwerkstoff enthaltenen Kohlenstoff aufnimmt und dadurch verunreinigt wird. Zudem erzielen kohlenstofffreie Feuerfestwerkstoffe durch eine verbesserte Wärmedämmung erhebliche Energieeinsparungen.

### »Solarvalley Mitteldeutschland« unter Beteiligung der TU Bergakademie

Die Initiative »Solarvalley Mitteldeutschland« gewann im Spitzenclusterwettbewerb der Bundesregierung. »Solarvalley Mitteldeutschland« gehörte zu den fünf Finalisten, die insgesamt ca. 200 Mio. Euro Fördermittel erhalten. Im Cluster »Solarvalley Mitteldeutschland« kooperieren 27 Solarfirmen und 12 Forschungseinrichtungen aus Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Ziel ist es, innerhalb der nächsten fünf bis sieben Jahre beim deutschen Endverbraucher Solarstrom zu gleichen Preisen wie konventionellen Strom anzubieten. Auch die TU Bergakademie Freiberg bringt ihr Know-how auf dem Photovoltaik-Gebiet in das Projekt mit ein. Das Institut für Experimentelle Physik koordiniert in dem Cluster die Forschung zur Entwicklung flacherer Wafer (Leitung: Prof. Dr. H.-J. Möller). Ziel dieses Teilthemas ist die drastische Reduktion der Waferdicke (von 200 auf 100 Mikrometer), um damit zu einer Einsparung an Siliciummaterial und Kosten zu gelangen. Zu den damit verknüpften aktuellen Forschungsaufgaben gehören auch die Suche nach neuen Herstellungsmethoden für Solarsilicium, die Züchtung von Silicium-Einkristallen und die berührungslose Defektanalyse fertiger Solarmodule.

# Submariner Vulkanismus

Forschungsarbeiten von wissenschaftlichen Tauchern



Bathymetrische Karte des Tauchgebietes östlich von Panarea einschließlich der fünf Untersuchungspunkte (bearbeitet nach Esposito et al., 2006)

Am 3. November 2002 kam es ca. 3 km östlich der Äolischen Insel Panarea (Süd-Italien) zu einer starken submarinen Gaseruption. Dabei traten große Mengen heißer Gase am Meeresboden aus. Einige Fischer beschrieben dieses Ereignis mit „kochendem“ Meerwasser, üblem Geruch und einem massiven Fischsterben. Wenig später, am 28. Dezember 2002, kam es zu einem heftigen Ausbruch des benachbarten Vulkans Stromboli. Dieser Ausbruch führte zu einem Abbruch der Nord-West-Flanke. Dadurch rutschten rund 20 Mio. Kubikmeter Gestein ins Meer und lösten eine mehrere Meter hohe Tsunamiwelle aus. Dieser Tsunami richtete starke Zerstörungen an den Küsten von Stromboli und den benachbarten Inseln an. Da Panarea und Stromboli auf der gleichen geologischen Störungszone liegen, wird ein direkter Zusammenhang beider Ereignisse angenommen. Seitdem wurden die Untersuchungen der submarinen hydrothermalen Gas- und Wasseraustritte östlich von Panarea intensiviert. Seit 2006 besteht eine Zusammenarbeit zwischen den wissenschaftlichen Tauchern der TU Bergakademie Freiberg und dem Forschungsteam um Dr. Francesco Italiano vom INGV (Nationales Institut für Geophysik und Vulkanologie) in Palermo. Gemeinsam soll ein Tsunami-Frühwarnsystem für die Äolischen Inseln entwickelt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch zunächst ein besseres

Verständnis der magmatischen und hydrothermalen Prozesse in diesem Gebiet. Im Rahmen der Forschungsarbeit auf Panarea entstehen auch dieses Jahr mehrere Qualifizierungsarbeiten, darunter vier Diplom- und drei Studienarbeiten sowie eine Diplomkartierung. Die Geländearbeit vor Ort fand in zwei Zeiträumen statt. Für uns drei Diplomanden begann im Mai dieses Jahres ein dreimonatiger Aufenthalt in



Probenahme von Gestein am Meeresboden

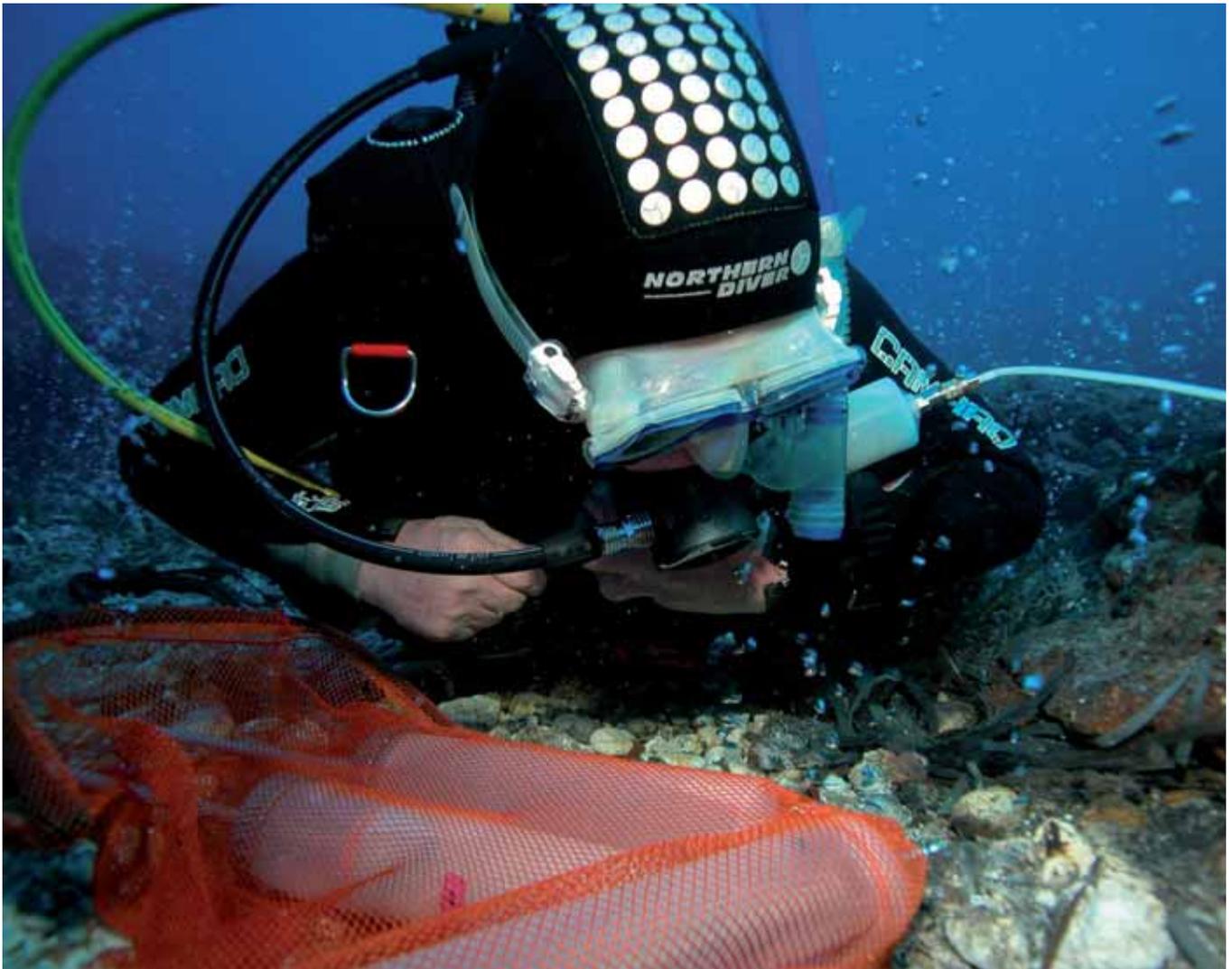


Pressluftbetriebenes Bohren und anschließende Gas-Probenahme

Italien. Zunächst verbrachten wir mehrere Wochen auf Panarea, wo wir im Untersuchungsgebiet zahlreiche Proben nahmen und Messungen an den submarinen Ausstritten durchführten. Nach der Feldarbeit folgte ein mehrwöchiger Aufenthalt am INGV in Palermo. Dort nutzten wir die moderne Laborausstattung des Instituts, um unsere Gas- und Wasserproben hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und der Isotopenverhältnisse zu analysieren. Ein Höhepunkt dieses Aufenthaltes war eine mehrtägige Exkursion zum Ätna, bei der



Eigens entwickelte Messapparatur zur Gasvolumenstrommessung



Das Aufziehen von Spritzen zur Wasser-Probenahme

wir einige Wissenschaftler des INGV bei Gasprobenahmen an einem der Hauptkrater des Vulkans unterstützten. Im Zuge eines Monitoring-Programms zur vulkanischen Aktivität des Ätna werden diese Untersuchungen regelmäßig durchgeführt.

Vom 28. August bis 10. September dieses Jahres fand wieder die jährliche Wissenschaftliche Tauchexkursion nach Panarea statt. Wir Diplomanden nutzten die Exkursion zur weiteren Datengewinnung für die Bearbeitung unserer Diplomarbeiten. Die Arbeit im Untersuchungsgebiet fand in den Gruppen „Gas- und Wasserchemie“, „Gasvolumenstrommessung“, „Temperaturmessung“, „Geologie“ und „Dokumentation“ statt. Als besonderer Höhepunkt wird allen Beteiligten auch der Tagesausflug zum Stromboli in Erinnerung bleiben. Die faszinierenden Lavafontänen des Vulkans bei Nacht entlohnten für den mühsamen und abenteuerlichen Auf- und Abstieg zum Krater.

Das Tauchgebiet, in dem die Untersuchungen durchgeführt wurden, befindet

sich etwa 2,5 km östlich der kleinen Insel Panarea. Sie liegt im Tyrrhenischen Meer, nördlich von Sizilien und gehört neben sechs weiteren kleinen Inseln und mehreren Unterwasserbergen zum Archipel der Äolischen Inseln. Diese sind vulkanischen Ursprungs und weisen teils auch heute noch aktiven Vulkanismus auf (Stromboli, Vulcano). Vor Panarea zeigt sich die gegenwärtige seismische und vulkanische Aktivität in Form von Exhalationen hydrothermalen Wässers, Wasserdampf und vulkanischer Gase, welche an zahlreichen Stellen aus dem Meeresboden austreten.

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf fünf Tauchpunkte, die in unmittelbarer Nähe zueinander auf einem subaquatischen Plateau in Tiefen zwischen 10 und 30 m liegen. Sie sind benannt als Bottaro West, Bottaro Nord, Black Point, Hot Lake und Point 21. Unter anderem wurden folgende Diplomthemen bearbeitet:

- Submarine vulkanische Gasaustritte und deren Beitrag am atmosphärischen CO<sub>2</sub> (Daniel Steinbrückner)

- Hinweise auf die Herkunft und Entstehungsbedingungen der Fluidaustritte durch Isotopenanalysen (Robert Sieland)

- Modellierung geochemischer Wechselwirkungen im Untergrund (Maike Hamel)

Alle drei Diplomarbeitsthemen sollen ein besseres Verständnis der komplexen Prozesse und Einflussgrößen des Hydrothermalsystems Panarea ermöglichen.

Wir danken den Betreuern und Organisatoren der Exkursionen im Rahmen des Wissenschaftlichen Tauchens an der TU Bergakademie Freiberg um Prof. Broder Merkel, Dipl.-Geoökol. Mandy Schipek (Lehrstuhl für Hydrogeologie), Dr. Thomas Pohl (Geo-Dive Freiberg), Dr. Elke Eckardt (Universitätssportzentrum) sowie Dipl.-Ing. Gerald Barth (Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik). Ein besonderes Dankeschön möchten wir dem Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg aussprechen, der uns durch seine finanzielle Unterstützung diese Arbeiten erst ermöglicht hat.

■ **Maike Hamel, Robert Sieland, Daniel Steinbrückner**



## Historischer Wasserbau im Iran

Der Iran, das frühere Persien, weist eine faszinierende Kultur auf, deren Einflüsse nicht nur am Beginn der eigentlich europäischen Geschichte im antiken Griechenland stehen, sondern über die Jahrhunderte hinweg vielfältig in Europa wirksam waren. Einem speziellen Aspekt, nämlich der Geschichte des Wasserbaus und der Einbeziehung historischer wasserbaulicher Anlagen in ein modernes Wassermanagement, war eine zwölf tägige Exkursion gewidmet, die Studierende und Lehrende der TU Bergakademie Freiberg, der FH Lüneburg, der Hochschule Bochum und der Universität Kassel vom 7. bis zum 18. Mai dieses Jahres von Teheran über Qamsar, Esfahan und Yazd nach Shiraz führte. Möglich wurde die Beteiligung der Freiburger Industriearchäologen Katja Hakelberg, Nico Kupfer, Axel Rührich und Norman Pohl durch ihre Kontakte zur Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft und deren Verbindung zur ICID, der 1950 auf Initiative der Weltbank gegründeten International Commission on Irrigation and Drainage. Der Vorbereitung der Exkursion diente sowohl ein eigens abgehaltenes Seminar in Immenhausen bei Kassel wie auch eine Vorlesung zur Umwelt- und Kulturgeschichte arider und semiarider Regionen im vorangegangenen Wintersemester.

Im Iran ist die Bandbreite zwischen Wüstengebieten und Regionen mit sehr starkem mittlerem Jahresniederschlag weit gefächert. Besonderes Augenmerk galt während der Exkursion den semiariden Gebieten. Hier bilden die Qanate das Rückgrat der Wasserversorgung. Sie sind seit etwa 2000 Jahren bekannt und können auch als „Horizontalbrunnen“ bezeichnet werden. Ihre Zahl beläuft sich allein im Iran auf über 30.000, bei einer Gesamtlänge von etwa 320.000 km. Das unter Schirmherrschaft der UNESCO stehende, im März 2005 gegründete „International Center on Qanats & Historic Hydraulic Structures“ in Yazd hat sich der Erforschung und dem Erhalt der Qanate weltweit verschrieben. Das in den Qanaten geführte Wasser dient der Bewässerung der Felder, aber auch der Versorgung

öffentlicher Bäder (neuerdings mit Solarheizung ausgestattet!) oder dem Antrieb von Getreidemühlen. Die Bautechnik war in Museen in Teheran und Yazd zu besichtigen. Mohammad Hossein Dehghani, ein 83-jähriger Qanatbauer, bot zudem in einem bewegenden Vortrag Einblick in seine Arbeitswelt, übrigens mit ganz vertraut anmutenden Strukturen aus der Arbeitswelt eines Ingenieurs: „Geben Sie mir Geld, dann baue ich Ihnen alles!“

Außer den vielen Qanaten betreibt der Iran heute unter anderem auch 86 Talsperren. Bemerkenswerterweise sind viele der alten Strukturen der Wasserver- und -entsorgung noch vorhanden, auch wenn sie sich heute aufgrund der seit ihrer Errichtung veränderten Umstände nicht immer in optimalem Funktionszustand präsentieren. Das gilt z.B. für den Kabar-Damm mit der ältesten noch erhaltenen Gewichtsstaumauer der Welt. Bei einer Höhe von ursprünglich 22 m hatte die Dammkrone eine Länge von 55 m. Auch der im 17. Jahrhundert von Sheikh Bahai errichtete Damm, 40 km südlich von Kashan, zählt zu diesen alten Strukturen; der Doroodzan Damm in der Nähe von Shiraz trägt zwar den Namen des Darius, ist tatsächlich aber 1974 fertiggestellt worden. Der Staudamm Band-e Amir, 35 km nördlich von Shiraz am Fluss Kor in der fruchtbaren Region Marvdasht gelegen, zeigt mit den noch sichtbaren Resten eines Mühlenkomplexes, dass eine kaskadenartige Anordnung an geeigneten Stellen auch in außereuropäischen Kulturen bekannt war. Angepasste Technik zum Leben in trocken-heißen Regionen sind die Windtürme in Yazd. Sie dienen der Kühlung gespeicherten Wassers und sorgen auch für die Klimatisierung von Gebäuden.

In diversen wasserbaulichen Wehranlagen treffen sich ebenfalls alte und moderne Strukturen, nimmt die heutige Nutzung vielfach auf die vor Jahrhunderten entstandenen Verhältnisse Bezug. Diese haben sich jedoch durch das Wachstum der Bevölkerung, die Einführung von elektrisch betriebenen, leistungsstarken Pumpen oder die Nutzung von Kunstdünger



Bagh-e Fin in Kashan



Rosenwasserbereitung in Qamsar

so verändert, dass in der Zukunft ohne Gegenmaßnahmen ernsthafte Probleme zu erwarten sind. Verstärkend wirken hierbei der Rückgang der Niederschläge und der Anstieg der Temperaturen aufgrund der globalen Klimaveränderung – mit Spitzentemperaturen in diesem Sommer bis an die 50 °C. Bei den langen Fahrten über Land wurde andererseits offenbar, dass die grünen Inseln der Vegetation in der trockenen Umgebung nicht nur Fruchtbarkeit, sondern immer das Auftreten von Quellen und meistens noch mehr den Einfluss des jahrhundertelangen Wasserbaus anzeigen. Grün ist die Farbe des Propheten!

In der Innenstadt von Esfahan sind vor allem die um den Beginn und während des 17. Jahrhunderts entstandenen Brückenbauten über den Zayandeh Rud beeindruckend. Dank der Errichtung von Stauanlagen am Oberlauf sowie eines Wehres am Unterlauf außerhalb der Stadt leben die Bewohner der Stadt heute ganzjährig am Fluß – auch wenn dieser zum Teil nur eine geringe Wassertiefe hat. Eine der Brücken, die Pol-e Juie, diente früher möglicherweise als Aquädukt. Die beeindruckende historische Altstadt von Esfahan, von der UNESCO als kulturelles Welterbe anerkannt, entfaltet besonders Charme und Würde.

Kulturhistorisch von besonderem Interesse waren der Besuch in Persepolis und Pasagardae mit dem Grabmal von Kyros II, das Heiligtum des Shâh Cherâgh in Shiraz, der Einblick in die Kultur der Zoroastriker in Yazd, unter anderem verbunden mit der Besteigung der „Türme des Schweigens“, der Gang durch die historische Altstadt von Esfahan und der Besuch der Grabmäler der persischen Dichter Hâfîs und Saadi in Shiraz. Hâfîs (1320–1389) inspirierte Goethe zum west-östlichen Diwan. Unter dem Monument für Saadi (1190–1291) führt ein Qanat entlang, dessen Wasser für den umgebenden Garten genutzt wird. Auch der Garten Bagh-e Fin bei Kashan wird von einer beeindruckend gefassten Quelle gespeist. Er ist nach dem Vorbild eines „Paradiesgartens“ angelegt – in einem dort befindlichen Hammam ließ Nasreddin Shah 1852 den europäisch orientierten Premierminister Amir Kabir durch Öffnen der Pulsadern ermorden.

Die Rosenwasserbereitung in Qamsar machte deutlich, dass die beeindruckende Blütenpracht der Rosen wenigstens im Zentrum des Rosenanbaus auch einen wirtschaftlichen Hintergrund hat. Die Bereitung des als Duftstoff wie auch als Aroma hoch geschätzten Rosenöls hat sich in ihren Grundzügen seit Jahrhunderten nicht verändert. So war – als Fingerzeig auf die Alchemie – eine Reihe von Apparaturen „in Arbeit“ zu besichtigen, die ansonsten nur aus Abbildungen frühneuzeitlicher Schriften bekannt sind. Das Produkt ist im übrigen nicht nur von betörendem Geruch, sondern kostbarer als Gold.

Den Abschluss der Exkursion bildete nach der Rückkehr nach Teheran ein Besuch bei einem der größten Ingenieurbüros des Nahen Ostens, der Mahab Ghodds Consulting Engineer Co. In der fachlichen Auswertung der Exkursion bei IRNCID, dem Iranian National Committee



Türme des Schweigens in Yazd



Entlastungskanal des Staudamms Band-e Amir

1200 Jahre alte Festung in Lehmbauweise in Ghortan bei Isfahan



on Irrigation and Drainage wurde als Ziel künftiger Zusammenarbeit die Eröffnung der Möglichkeit zur Anfertigung von Diplomarbeiten zum Themenkreis Instandsetzung bzw. Ertüchtigung der historischen wasserbaulichen Anlagen vereinbart. Bestandteil einer Realisierung solcher Projekte könnte zudem die Beratung bei einer denkmalgerechten Umsetzung der geplanten Maßnahmen sein.

Die Reise wurde finanziell maßgeblich vom Gerold und Niklaus Schnitter Fond für Technikgeschichte an der ETH Zürich, der Dr. Bleckmann-Stiftung in Lübeck und den Fördergesellschaften und -vereinen der beteiligten Hochschulen gefördert. Auf iranischer Seite erfolgte eine maßgebende finanzielle Unterstützung durch das Ministerium für Energie, dem alle wasserbezogenen Aspekte zugeordnet sind. Allen Förderern gilt der aufrichtige Dank der Teilnehmer. Ein ausführlicherer Exkursionsbericht ist auf der Homepage der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft e.V. (<http://www.dwhg-ev.de>) einsehbar.

■ Norman Pohl



Kobar-Damm, südlich von Qom

# Bergbau- exkursion Australien



Auslandsbergbau ist eine feste Komponente bei der Ausbildung der Studenten im Bergfach. Einer der Bausteine sind Exkursionen, um den Bergbau in anderen Ländern selbst erleben zu können. Dazu sollen die Studenten des Hauptstudiums einmal Gelegenheit bekommen. Nach den letzten unter Verantwortung der Professur Bergbau-Tagebau organisierten Exkursionen nach Südamerika (2001), in die Ukraine (2004) und nach Rumänien (2006) wurde im Jahr 2008 als Zielgebiet Westaustralien ausgewählt und im Zeitraum vom 22. Februar bis 9. März 2008 mit 17 Studenten und zwei Betreuern befahren.

Der Schwerpunkt der Exkursion lag

beim Metallergbergbau, der in Westaustralien in hoher Dichte z. B. auf Gold, Eisenerz, Schwermineralsande und Bauxit betrieben wird und Gegenstand der Befahrungsziele war, ergänzt durch die Gewinnung der Industriemineral Talk, Salz und Gips. Unterwegs begegnete uns auch der Bergbau auf Muscheln als Karbonatträger und Werkstein. Auf der Route von ca. 8.000 km, die wir in knapp 2 Wochen zurücklegten, wiesen Schilder am Straßenrand immer wieder auf Bergbauaktivitäten hin, die deren Ausmaß erahnen ließen, neben den besuchten Bergwerken z. B. auch auf Nickel. Wir besuchten Groß- und Kleinbergbau, Tagebau und Tiefbau. Auslaufprojekte, Neuaufschlüsse und laufende Betriebe, die sich in drei Komplexen zusammenfassen lassen – Goldbergbau, Eisenerzbergbau und Kleinbergbau auf Industriemineral/Bauxit.

Der Bergbau wird allgemein durch den Tagebau dominiert, dessen Dimension durch Bezeichnungen wie Super Pit oder Mega Pit treffend gekennzeichnet ist – mit bis zu 4 km Ausdehnung in der Längsachse, bis zu 500 m Tiefe, bis zu 30 Mio. t Erz im Jahr. Traditionell ist der Tiefbau bei ca. 1.000 m begrenzt und wird derzeit bis 1.600 m geplant. Der Bergbau ist außerhalb des Küstengebietes durch den Mangel an Wasser und zudem an Energie gekennzeichnet. Da es keine nennenswerten

Energierohstoffe in Westaustralien gibt, erzeugen bergwerkseigene Kraftwerke die notwendige Elektroenergie, insbesondere für die Aufbereitung oder auch Klimatisierung im Tiefbau, aus Diesel oder Erdgas. Ein dritter Mangelfaktor sind Arbeitskräfte. Jedes Bergwerk bot unseren Studenten Jobmöglichkeiten bei Einstiegsgehältern von 100.000 AU\$ (ca. 60.000 €) an. Alle großen Bergwerke arbeiten nach dem Prinzip fly-in/fly-out und mit Subunternehmern (contractors), um z. B. Stillstände durch Streiks zu umgehen. Auffällig sind überall die Sicherheitsvorschriften. So wird Fahren ohne Anschnallen durch die Bergaufsicht mit 5.000 \$ pro Person und 25.000 \$ pro Unternehmen (und ist dies ein Contractor, nochmals 25.000 € für das beauftragende Unternehmen) geahndet. Die überwiegende Zahl der besuchten Bergwerke realisiert auf der Grundlage von laufender Erkundung und aktuellen Lagerstättenmodellen zur Qualitätssicherung und Lagerstättenausnutzung eine selektive Gewinnung mit mobiler Technik.

Der erste Befahrungskomplex umfasste vier Projekte des Goldbergbaus, jeweils Tagebaue und Tiefbau in verschiedenen Stadien auf Gangvererzungen. Zum Lösen in den teilweise tiefen Tagebauen kommen Bohr- und Sprengarbeiten und zum Laden Hydraulikbagger auf Trucks zum Einsatz. Ist die Grenzteufe erreicht,



Goldtagebau „Super Pit“ in Kalgoorlie

wird in der Regel vom Tagebau über Rampe der Übergang zum Tiefbau geplant und realisiert, da Schachtprojekte als teuer und unflexibel gelten. Im Teilsohlenabbau, wenn erforderlich mit Versatz, kommen ebenfalls Bohr- und Sprengarbeiten sowie mobile Technik zum Einsatz. Durch die hohen Rohstoffpreise werden früher aufgegebene Lagerstättenteile und Armerze nun als Reserven in den Abbau mit einbezogen bzw. durch neue Projekte erschlossen. So können auch ehemalige Tiefbaugebiete zur vollständigen Auserzung in einem Tagebau aufgehen. Vielfältige geomechanische Probleme sind zu lösen. Die Aufbereitung erfolgt durch Mahlen und Cyanidlaugung in Behältern oder auf Halde.

Dem Eisenerzbergbau war der zweite Komplex der Exkursion mit drei Zielen gewidmet. Es handelte sich um ein Klein- und zwei Großtagebauprojekte auf Vererzungen vom BIF Typ, der hohe Anforderungen an die selektive Gewinnung stellt. Es wird in der Regel ein grobkörniges Produkt, vorzugsweise Magnetit, mit Eisengehalten von ca. 60% durch Brechen und Sieben erzeugt. Das anfallende Feinkorn wird ebenfalls vermarktet. Die Abbausysteme sehen zum Lösen, Bohren und Sprengen und zum Laden auf Trucks Radlader vor, die noch flexibler als Hydraulikbagger umgesetzt werden können. In den Großtagebauen werden täglich mehrere Langzüge, bestehend aus 200 bis 300 Wagons à 110 t Zuladung und einer Länge zwischen 2 und 3 km beladen und auf eigenen Gleisen zum eigenen Hafen transportiert und an die Großkunden in Asien geliefert. Da der Abraumanteil unbedeutend ist, handelt es sich bei den Großtagebauen um einen enormen Massendurchsatz mit

extrem hohen Gewinnraten. Um in einem Fall kurzfristig zusätzliche Kapazitäten erschließen zu können, wird u. a. der Einsatz von Surface Minern vorgesehen, da der Bau einer Aufbereitung durch den Einsatz mobiler Brech-/Siebstationen kompensiert werden kann.

Als dritten Komplex besuchten wir Projekte des Kleinbergbaus auf Talk, Bauxit, Schwermineralsande und Salz. Während Talk und Bauxit konventionell mit Bohren und Sprengen, Hydraulikbagger bzw. Radlader und Truck abgebaut werden, erfolgt die Gewinnung der Schwermineralsande zum einen unter Wasser mit Schneidradaugbagger und zum anderen mit Scrapern. Eine Besonderheit stellen die Salzfelder dar, auf denen über zwei Jahre Salz durch Verdunstung aus Meerwasser auf ca. 30 cm akkumuliert und dann mit einer traktorgezogenen Fräse „geerntet“ und auf Road Train mit 180 t (3 Bodenentleerer) bzw. 260 t (3 Bodenentleerer plus 2 Seitenkipper mit Zusatzantrieb) verladen wird. Das Salz wird gereinigt und nach Körnung sortiert überwiegend auf Schiff zum Export verladen. Der Bauxit wird nach der Zerkleinerung über eine 50 km lange Bandanlage (Rope Conveyor), die aus zwei Segmenten besteht, zur Aufbereitung transportiert. Der Talk wird zerkleinert und das taube Gestein per Hand aussortiert. Die Schwermineralsande (Rutil, Ilmenit, Zirkon) werden nach Abscheidung der Grobbestandteile in Wendelscheidern vor Ort aufkonzentriert und zur weiteren Trennung per LKW zur Aufbereitung transportiert. Neben den technischen Zielen schloss die Exkursion einen Besuch bei der School of Mines in Kalgoorlie und der Universität von Westaustralien (UWA) in Perth, bei Vertretun-



Die Exkursionsteilnehmer haben bequem in der 30 m<sup>2</sup>-Schaufel eines Hydraulikbaggers Platz.



Mit Mining Trucks bis 200 t Zuladung wird Eisenerz in Tom Price transportiert.



Das hölzerne Schachtgerüst in der Museumsstadt Gwalia zeugt vom frühen Bergbau, der heute noch einmal aufgenommen wird.

gen deutscher Firmen und der Chamber of Mines in Perth sowie zahlreiche Landschafts- und Naturerlebnisse ein, z. B. die Wasserfälle im Karijini Nationalpark, die Delphine in Monkey Mia, die Pineacclles, das Tal der „gigant trees“, Shell Beach und Cliffs oder Baden im Indischen Ozean.

Ein besonderer Dank gilt den Sponsoren, die diese Exkursion überhaupt erst ermöglicht haben und den Betreuern vor Ort, die uns ihre Zeit und Geduld und manchen Imbiss zur Verfügung stellten.

■ Carsten Drebenstedt

# Field School in Kanada

Ende April dieses Jahres starteten wir durch – nach Kanada an die Universität von Edmonton im Bundesstaat Alberta. Wir, das sind sechs Geoökologen der TU-Bergakademie Freiberg, mit dem Ziel, an einer so genannten „Field School“ teilzunehmen. „Field School’s“ sind Exkursionen, die im Lehrplan für Studenten der Geologie an der University of Alberta vorgesehen, aber zum Teil auch für Studenten anderer Fachrichtungen zugänglich sind.

Am 28. April 2008 mischten wir uns unter die 36 kanadischen Studenten. Unser Feldbuch war immer griffbereit, das Sprachzentrum auf Englisch fixiert, jeder mit freudiger Erwartung auf die so oft angepriesene Natur der Rocky Mountains.

Der Reisebus, voll gestopft mit 42 Studenten, drei Betreuern (Teaching Assistants), zwei Professoren und jeder Menge Gepäck, peilte zunächst den Süden Albertas an. Wie unser Skript uns verriet, erwartete uns eine Rundreise mit den Wegpunkten Drumheller, Lethbridge, Waterton, Fernie, Radium Hot Springs und Jasper, um anschließend nach Edmonton zurückzukehren.

Der Tagesablauf war im Wesentlichen von den drei bis fünf geologischen Aufschlüssen geprägt, an denen Roy, unser Busfahrer, uns absetzte. Vor Ort lauschten wir dann den Erklärungen von Prof. Robert Creaser und Assistant Prof. Duane Froese und machten uns mit deren Hilfe und der Unterstützung der Teaching Assistants daran, das jeweilige Gestein näher zu erfassen.

Um das im Feld gelernte Wissen zu festigen, musste täglich ein assignment, eine Aufgabe, gelöst werden. Dabei handelte es sich z. B. um das Rekapitulieren von zeitlichen Zusammenhängen, die geologische Entstehung einer Region betreffend, oder das Zeichnen eines stratigraphischen Profils. Als Herausforderung empfanden wir besonders das komplexe Kartieren von geologischen Aufschlüssen. Aus dem praktischen Vorgehen zur maßstabsgetreuen Erfassung mit Angaben der Ausrichtung von Falten,



Beim Einmessen der Bearpaw- und Horseshoe Formation, um anschließend ein stratigraphisches Profil zu erstellen. Hoodoos in der Nähe von Drumheller

Verwerfungen bzw. Klüften im Raum haben wir viel für zukünftige Kartierungen mitgenommen.

Während der gesamten Exkursion fühlen wir uns immer herzlich aufgenommen und integriert. Die Betreuer waren stets bereit uns Sachverhalte, die wir aufgrund der Sprachbarriere nicht sofort erfassten, nochmals in Ruhe zu erklären. Das trug zum einen dazu bei, dass wir nahezu keine Probleme mit dem Verständnis des fachlichen Stoffes hatten und zum anderen war dies auch der Ausgangspunkt für unbeschwertem freundschaftlichen und fachlichen Austausch.

Nach einem solchen Tag mit viel Geologie traf man sich zum „interkulturellen Austausch“ meist in einem Pub. Bei einer Partie Billard und einem „Bierchen“ fand sich die Zeit, alle Neugier in Bezug auf das andere Land und das dortige Studium zu befriedigen. Dabei kam es nicht selten vor, dass auch Außenstehende sich zu uns gesellten, die durch unseren Akzent aufmerksam geworden waren. Diese offene und unbeschwerte Art vermissen wir, zurück in Deutschland, heute noch.

So tauchten wir allmählich in die kanadische Lebensweise ein, die leider nicht in jeder Hinsicht unseren Geschmack traf. Geschmack ist das richtige Stichwort, denn die Fast Food-Kultur mit Geschäften, wie McDonald’s und Tim Horton’s, weckte nach ein paar Tagen zwangsweise die Sehnsucht nach Schwarzbrot und einem guten deutschen Essen.

Von dieser Kleinigkeit abgesehen, waren wir völlig eingenommen von der uns umgebenden Landschaft. Wir begegneten einem Schwarzbären (Black bear, *Ursus americanus*), Elchen (Moose, *Alces alces*), einem Weißkopfadler (Bald eagle, *Haliaeetus leucocephalus*) und anderen landestypischen Tieren, darunter auch Erdhörnchen (Chipmunk).

„Unser GADD“ („Handbook of the Canadian Rockies“ von Ben Gadd, 1995) leistete uns beim Bestimmen so mancher Tiere gute Dienste. Es begleitete uns auf unserer Exkursion überallhin und ist wie eine kleine Enzyklopädie für die Region, mit Informationen sowohl über die Geologie, die Tier- und Pflanzenwelt als auch über meteorologische Gegebenheiten.

Doch schon diese einwöchige Rundfahrt lässt für uns keinen Zweifel daran, dass man eine Gegend wie die Rocky Mountains selbst gesehen haben muss. Gesteine wie die einmaligen Crowsnest Volcanics untersuchen zu dürfen oder dem Royal Tyrrell Museum einen Besuch abstatten zu können, sind Gelegenheiten, auf die wir sehr stolz sind. Eine länderübergreifende Exkursion, wie die von uns absolvierte, sehen wir als eine unbezahlbare Bereicherung unserer Ausbildung an. Wir hoffen dazu beigetragen zu haben, dass auch in Zukunft Studenten unserer TU Bergakademie Freiberg an einem solchen Austausch, speziell mit der Universität von Edmonton, teilnehmen können.

■ Isabell Kleeberg

# Historie

## Der „Dresdner Silberstolln“: Bergbaulandschaft en miniature

Im Empfangsbereich des Lehr- und Forschungsbergwerkes „Reiche Zeche“ kann man das mechanische Modell einer erzgebirgischen Bergbaulandschaft, den „Dresdner Silberstolln“ (Bild 1) betrachten. Das mechanische Modell, im Erzgebirge auch als mechanischer Berg bezeichnet, könnte ein Abbild der Verhältnisse im Freiburger Raum während des 18. Jahrhunderts sein, wenn nicht im Hintergrund die Schwarzenbergsilhouette zu sehen wäre und wenn nicht im Toppbereich der Seiffener Bergaufzug seine Kreise ziehen würde. Vertieft man sich etwas in das Modell, so kann man die zu dieser Zeit angewandte Technik von der Erzgewinnung bis zur Metallbearbeitung im Hammerwerk in einer beeindruckenden Detailtreue und in Aktion sehen. Es beginnt im linken unteren Teil mit der Erzgewinnung in einem Strossenabbau mit Bergleuten bei den Gewinnungs- und Förderarbeiten. Daneben wird mit Kunstrad und Bulgenkunst die im damaligen Bergbau angewandte Technik für das Heben der Wässer aus den Gruben gezeigt. Die Abführung des gehobenen Grubenwassers wird durch den Wasserlösestolln angedeutet. Die Darstellung der Technikabfolge setzt sich darüber mit verschiedenen Varianten der Förderung von Erzen und Bergen fort. Schubkarre, Förderhaspel, Pferddegöpel und Kehrrad (Bild 2) sind die Technikzeugen für diese Zeit. Dabei beeindruckt z. B. bei dem Modell des Kehrrades, wie das Umschalten der Wasserzuführung zum Kehrrad einschließlich der Pause für die Gefäßentleerung in der Modellmechanik realisiert wurde.

Über dem Abbau sieht man den Bergschmied am Amboss die Bergeisen und Bohrstangen regenerieren. In der Bergschmiede ist mit einer Markierung die Höhe des Wasserstandes am mechanischen Berg im August 2002 angedeutet.

Das zutage geförderte Erz gelangt dann zum Erzschläger (Scheidebank), der das Erz vom mitgeführten tauben Nebengestein trennt und das im Gehalt angereicherte Erz an das Pochwerk (Bild 3) zur Zerkleinerung bis zum Feinkorn weitergibt. In der Setzwäsche wird



Bild 1: Mechanischer Berg „Dresdner Silberstolln“

dann das Erz auf Schütteltischen weiter im Wertstoffgehalt durch das Abscheiden der Bergeanteile für den folgenden Hüttenprozess angereichert. Ein Treibeherd verkörpert den Hüttenprozess, der das für die Münze benötigte Silbermetall aus der Erzschnmelze abscheidet. Im rechten Teil des Modells schließt das Hammerwerk (Bild 4) geräuschvoll die Technikdarstellung ab.

Für den damaligen Bergbau- und Aufbereitungsprozess lieferte das Aufschlagwasser die hauptsächlich genutzte



Bild 2: Schachtförderung mit einem Kehrrad



Bild 3: Pochwerk für Zerkleinerung des Erzes



Bild 4: Hammerwerk für die Metallbearbeitung

Antriebsenergie. Im Mittelteil des Modells ist deshalb die Wasserzuführung für Hammerwerk, Pochwerk, Setzwäsche und Kehrrad über Rinnen eingefügt.

Ergänzt wird das Gesamtbild durch typische Bergbaugebäude, wie Bergamt, Huthaus und Kaue. Vor dem Gebäude des Bergamtes paradiert die Seiffener Berg- und Hüttenparade im barocken Habit (Bild 5). An den Uniformen der Berg- und Hüttenparade kann man die Herkunft des „Dresdener Silberstolln“ ableiten, er kommt aus Seiffen und wurde von dem Bergkameraden Günther Zielke geschaffen. Der Auftrag dafür kam von der Geschäftsleitung der Gaststätte „Dresdner Silberstolln“, um das bergmännische Flair der Gaststätte zu vervollkommen. Ganze zwei Jahre zierte der mechanische Berg die Gaststätte, dann kam im August 2002 das Jahrhunderthochwasser, setzte die Gaststätte unter Wasser und ließ die Bergbaulandschaft „absaufen“. Durch das in die Gaststätte eingedrungene Wasser und bei den folgenden Aufräumarbeiten wurde der mechanische Berg stark beschädigt und unsachgemäß in seine Einzelteile zerlegt. Die Figur eines Bergmannes im Strossenabbau wurde in dem Zustand belassen, wie er nach dem Hochwasser geborgen wurde.

Da die Gaststätte nicht wieder eröffnet werden konnte, übergab die Gaststättenleitung den mechanischen Berg an den Schöpfer und es erfolgte seine Auslagerung nach Seiffen in einen Lagerraum. Da kam ein Angebot von Herrn Zielke aus Seiffen nach Freiberg. Für ca. 5.000 € könnte die Bergbaulandschaft wieder generalüberholt irgendwo in Freiberg aufgebaut werden.

Die Saxonia-Freiberg-Stiftung erkannte die Chance, für Freiberg dieses Kunstwerk zu erwerben und stellte die Gelder bereit.



Bild 5: Seiffener Bergparade vor dem Bergamt

Gemeinsam mit dem Förderverein „Himmelfahrt Fundgrube“ wurde eine passende Aufstellmöglichkeit gefunden. Wenn man heute den „Dresdner Silberstolln“ im Empfangsraum des Besucherbergwerkes sieht, glaubt man, er wurde speziell für diesen Aufstellungsort gefertigt.

Schaut man einmal hinter die Kulissen des mechanischen Berges, so ist man überrascht, mit welcher Technik der Bewegungsablauf der Figuren und Mechanismen erreicht wird. Ein Elektromotor übernimmt den Antrieb und mit Riementrieben, Wellen, Zahnrädern und Hebelsystemen erfolgt die Kraftübertragung bis zu den einzelnen Objekten des mechanischen Berges (Bild 6). So werden Pendelbewegungen, Drehungen und Bewegungspausen der Figuren und Mechanismen erreicht. Sieht man sich die geschnitzten Figuren, die präzise Ausführung der Mechanismen und Bauten, die Platzierung der Objekte im Berg und die farbliche Gestaltung des Berges an, so kann man schon von einem Kunstwerk erzgebirgischer Volkskunst sprechen. Durch die Bereitstellung von letztlich rund 6.000 € an Stiftungsgeldern und den zeitaufwändigen Einsatz von Herrn Zielke konnte der Berg wieder in seiner ganzen Pracht aufgestellt werden.

Die Saxonia-Freiberg-Stiftung übergab den „Dresdner Silberstolln“ als Leihgabe an den Förderverein, damit er zur Berei-



Bild 6: Blick hinter die Kulisse des mechanischen Berges

cherung des Angebotes für den Tourismus in der Bergstadt genutzt werden kann. Ein von der Saxonia-Freiberg-Stiftung herausgegebener Flyer über den „Dresdner Silberstolln“ erläutert dem Betrachter die einzelnen Objekte des Berges und enthält auch ein paar Hinweise auf diese vorwiegend von den Bergleuten im Erzgebirge ausgeführten Volkskunstarbeiten.

Sollten Sie einmal ihre Enkelkinder oder auch mit dem Bergbau nicht so vertraute Gäste zu Besuch haben, fahren Sie doch auf die „Reiche Zeche“, opfern Sie einen Euro für die Ingangsetzung der Mechanismen und Bewegungsabläufe der Figuren im Berg und zeigen Sie ihnen ein informatives Bild über eine vergangene Bergbaulandschaft.

■ Karl-Heinz Eulenberger

# Die Historische Freiberger Berg- und Hüttenknappschaft e.V.

## Aufmärsche der Berg- und Hüttenleute in Sachsen

**Heute zieht ihr Aufmarsch vor allem in der Weihnachtszeit tausende Besucher in die sächsischen Bergstädte. Aber auch in anderen Bergbauregionen sind sie in den letzten Jahren bekannt geworden – die Männer in ihren historischen Uniformen des Montanwesens. Unterstützt wurde dies durch zahlreiche Publikationen und Druckerzeugnisse.**

Es ist immer wieder ein imponantes Bild, wenn im Fackel- und Lichterschein hunderte Uniformträger nach dem Takt der Bergmusik durch die engen Gassen bekannter Bergstädte wie Freiberg, Schneeberg oder Annaberg-Buchholz marschieren. Jeder der Marschblöcke kommt dabei aus einem anderen Bergort, und die stolze Kennzeichnung erfolgt durch die oft über einhundert Jahre alten Bergfahnen.

Diese Aufzüge der Berg- und Hüttenleute oder Paraden, wie sie oft genannt werden, hatten im Laufe der Zeit unterschiedliches Aussehen. „Beide dienten und dienen der öffentlichen repräsentativen Darstellung einer Gemeinschaft oder Körperschaft zu feierlichen Höhepunkten. Mitunter waren auch Protestaufzüge eingeschlossen, um die Abstellung von Missbräuchen zu erkämpfen. Bei einer Bergparade handelt es sich um eine Sonderform des Aufzuges, bei der an hochgestellten Persönlichkeiten vorbeimarschiert wird“, schrieb Wilsdorf im Heft über die erzgebirgischen Bergbrüder- und Bergknappschaften im Jahr 1986.

Nicht nur die Arbeitstracht der Berg- und Hüttenleute wurde durch die Uniform abgelöst, auch letztere selbst wurde einige Male geändert. Aufbau, Marschfolge, Anlass und Teilnehmerzahlen waren unterschiedlich. So zogen in den vielen Jahren des Bergbaus Aufzüge und Paraden mit 100 Teilnehmern ebenso wie mit 3.000 und mehr auf. Es gab solche, die nur vom Bergbau oder nur vom Hüttenwesen durchgeführt wurden, und solche, an denen neben den Freiberger Berg- und Hüttenleuten auch die aus den anderen Bergrevieren des Erzgebirges teilnahmen. Die Struktur war nie konstant. Die Anzahl der beteiligten Beamten, Häuer oder Schmelzer hing von der Bedeutung der Paraden ab. Die Größe der Abteilungen schwankte zwischen 16 und 48, wobei



Aufmarsch der Berg- und Hüttenleute vor dem Schwedendenkmal in Freiberg

fast immer in Reihen zu vier (seltener zu sechs oder acht) Mann marschiert wurde. Die Anzahl der mitgeführten Fahnen und der teilnehmenden Beamten zu Pferd war unterschiedlich, und von der Größe der Paraden war abhängig, wie viele Bergmusiker mitwirkten. Auch in anderen Bergorten fanden Paraden und Aufzüge statt. Nach der Einstellung des Freiberger Silberbergbaus im Jahr 1913 fanden in anderen Orten des Erzgebirges weiterhin Aufmärsche der Berg- und Hüttenleute statt. Als Beispiele hierfür stehen Ehrenfriedersdorf mit den Begräbnisaufmärschen seiner Grabebruderschaft und Schneeberg mit seiner Streittagparade.

Aufzüge oder Paraden der im Berg- und Hüttenwesen Beschäftigten hatten über mehrere Jahrhunderte einen festen Platz im Leben der Bergstädte und -orte des Erzgebirges. Zu den Knappschaftsfesten, Erbhuldigungsfeiern, Streittagen und bei der Dienst Einführung oder dem Tod hoher Bergbeamter sowie an städtischen oder kirchlichen Festtagen wurden solche Veranstaltungen durchgeführt.

Bis zur Mitte des 16. Jahrhunderts nahm das „Bergvolk“ gemeinsam mit der Bevölkerung, insbesondere den Handwerkern, an den städtischen Aufzügen teil. In einzelnen Fällen kam es auch beim Besuch hoher Gäste der Stadt und des Landesherren zur Repräsentation durch Abordnungen von Bergleuten. Als Paradekleidung für die Berg- und Hüttenleute

Datum	Anlass des Aufzugs/der Parade
1576	Kurfürst August I.
19.4.1681	Erbhuldigung für Johann Georg III.
13.12.1681	Erbhuldigung für Johann Georg IV.
8.7.1694	Erbhuldigung für Friedrich August I.
16./17.5.1701	Knappschaftsfest mit Gast Kurfürst Friedrich August
9.7.1733	Erbhuldigung f. Friedrich August II.
1739	Nachtmusik für Friedrich August II.
1763	Friedensfest
28.1.1769	Abendmusik für Amalie Auguste
12.5.1769	Erbhuldigung für Friedrich August III.
16.5.1812	Kaiser Napoleon und König Friedrich August I.
3.7.1817	Beerdigung von Abraham Gottlob Werner
23.9.1819	Großherzog Leopold von Toscana
10.10.1827	Erbhuldigung für König Anton
29.8.1830	Herzogin Maria Auguste von Sachsen
1.2.1838	Beerdigung von Oberberghauptmann von Herder
22.7.1838	Maria-Magdalenen-Tag
31.10.1839	Reformationsfest
17.2.1843	Jubelfeier 100. Jahrestag der Belagerung Freibergs
3.1.1844	Amtsantritt von Friedrich Constantin Freiherr von Beust
11.8.1844	Einweihung des Schwedendenkmals
1.9.1844	Constitutionsfest
22.7.1853	300 Jahre Beisetzung Kurfürst Moritz
30.5.1877	Vollendung des Rothsönberger Stollns

galt die saubere Arbeitstracht. Schon zur damaligen Zeit erfolgte eine Kennzeichnung und Abtrennung der einzelnen Abteilungen durch Fahnen.

In der Mitte des 16. Jahrhunderts erkannten Landesherren und Bergobrigkeit den Schauwert der Aufzüge und seit dieser Zeit wurden verstärkt Paraden und Aufzüge abgehalten, an denen ausschließlich Berg- und Hüttenleute teil-



Parademglieder vor der Nikolaikirche in Freiberg. Fotos (3): Knut Neumann

nahmen, zunächst noch in der sauberen Arbeitskleidung, später in einer vorgeschriebenen Uniform. Vor allem zur Einführung der Kurfürsten fanden sogenannte Erbhuldigungsparaden statt, zu denen oft tausende von Berg- und Hüttenleuten an der Landesobrigkeit vorbeimarschieren mussten.

Der Dresdener Hof nutzte die Aufzüge gern zur Umrahmung seiner fürstlichen Feste. Damit wurde der Berg- und Hüttenmann zum Schaustück von Macht und Reichtum des Landesherren, er wurde zur Repräsentation ausgenutzt und verpflichtet. So war es z. B. 1719 beim „Saturnusfest“ im Plauenschen Grund bei Freital.

An ausgewählten Beispielen soll die Vielzahl der Paraden und Aufzüge, die zum größten Teil in der damaligen „Berghauptstadt“ Freiberg abgehalten wurden, vorgestellt werden. Am genannten Anlass kann man nachvollziehen, dass die Gründe für einen Aufmarsch oder die Parade sehr unterschiedlich waren und dies bis heute so geblieben ist.

Die letzte größere Berg- und Hüttenparade bzw. der letzte Aufzug in der Zeit des Silberbergbaus wurde in Freiberg zu

Beginn des 20. Jahrhunderts veranstaltet. An der Parade zur Huldigung des letzten sächsischen Königs nahmen am 6. April 1905 1.700 Berg- und Hüttenleute teil und am 22. Juli 1907 feierten die Freiberg Berg- und Hüttenleute den Streittag, ihren Maria-Magdalenen-Tag zum letzten Mal mit einem Marsch durch die Bergstadt.

Während für Freiberg erst zwischen 1984 und 1986 wieder eine Berg- und Hüttenparade nach historischem Vorbild geschaffen wurde, konnten die alten Traditionen bis auf durch die Kriege bedingte zeitliche Unterbrechungen im Erzgebirge von verschiedenen Bergbrüderschaften fortgesetzt und gepflegt werden. So gab es zwischen 1945 und 1989 im ehemaligen Bezirksarbeitskreis „Erzgebirgische Bergbrüderschaften“ im Kulturbund der DDR im Bezirk Karl-Marx-Stadt folgende berg- und hüttenmännische Vereinigungen:

- Breitenbrunn
- Ehrenfriedersdorf
- Frohnau
- Geyer
- Jöhstadt
- Johanngeorgenstadt
- Pobershau

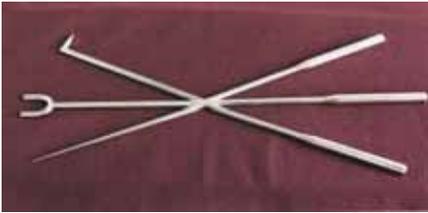
- Rittersgrün
- Schneeberg
- Schwarzenberg
- Thum
- Wiesa

Im Jahr 1986 kam als letzte die Freiberg Berg- und Hüttenparade dazu.

Heute sind im Sächsischen Landesverband der Bergmanns-, Hütten- und Knappenvereine über 50 Vereine vertreten, wobei auch Bergkapellen im Verband organisiert sind, so auch das Bergmusik-korps Saxonia aus Freiberg.

## Die Knappschaften

Die harte, oft eintönige Arbeit des Bergmannes vor Ort, aber auch die Tätigkeit an den Öfen in den Schmelzhütten prägten einen ausgesprochenen Gemeinschafts-sinn. Der Zusammenschluss einzelner Häuer oder Schmelzer zu Gruppen war deshalb nur eine Folge dieses Wirkens. Dass dies in der Anfangszeit in engem Zusammenhang mit der Kirche erfolgte, lag an dem strengen Glauben der Berg- und Hüttenleute. Da diese Gruppen an



Schlegel- und Eisen der Historischen Freiberg Berg- und Hüttenknappschaft. Foto: Jochen Schaller

geweihte Altare gebunden waren, spricht man auch von Altarbruderschaften. Der Freiberg Bergbau ist, genau wie der in anderen Bergbauorten des Erzgebirges, eng mit der Geschichte dieser Bruder- und Knappschaften verbunden. Entstanden sind diese Verbindungen der Häuer vor 1400. Belegt ist dies durch eine Urkunde vom 16. August 1400. Aus dieser geht hervor, dass die „gesellschaft der heuer“ Geld für einen Altar im Freiberg Dom spendete. Die Hüttenleute hatten in der Nikolaikirche ihren Schmelzeraltar, der dem Fronleichnam geweiht war.

In einer weiteren Urkunde von 1426 wird die Vereinigung der Bergleute in Freiberg als Knappschaft der Häuer bezeichnet. Diese Verbindung der Häuer entwickelte sich von einer religiösen Bruderschaft zu einer Kampforganisation mit sozialen Grundzügen. In der gleichen Zeit ist es bestimmt auch zur Gründung der Schmelzerknappschaft gekommen. Im Jahr 1534 erhielt die Bergknappschaft ihr Standeszeichen Schlägel und Eisen, aus Holz gefertigt und mit Silberblech beschlagen. Im Jahr 1589 schaffte sich die Schmelzerknappschaft eine Fahne und das Hüttenabzeichen als Standesymbol der Hüttenknappschaft an, das heute zum Bestand des Stadt- und Bergbaumuseums Freiberg gehört. Es trägt die Jahreszahl 1660. Mitglied in diesen Verbindungen konnte jeder werden. Bis 1537 waren auch Frauen dabei. Der wesentlichste Charakterzug der Knappschaft ist jedoch in der organisierten Selbsthilfe der Berg- und Hüttenleute zu suchen. Die Knappschaften wollten für ihre Mitglieder das und mehr sein, was die Innungen für die Handwerker waren.

Damit eine Vereinigung, deren Ziele vor allem sozial waren, existieren konnte, waren natürlich Geldmittel nötig. Eine der bekanntesten Einnahmen war der so genannte Büchsenpfennig, den jedes Mitglied in bestimmten Intervallen entrichten musste. Was geschah nun mit diesem Geld? An erster Stelle stand für die Mitglieder die Unterstützung von Verunglückten, Kranken oder Gebrechlichen. Dies



Zimmerlinge beim Stellen zur Eröffnung des Christmarktes in Freiberg

wurde nicht nur dadurch erreicht, dass die Knappschaft die Bezahlung eines Arztes sowie den Bau und die Unterhaltung des Spitals übernahm. Auch die Witwen und Waisen von Bergleuten wurden durch Mittel der Knappschaft unterstützt.

Die Knappschaftsfeste in Freiberg waren immer ein Höhepunkt im städtischen Leben. Ab 1843 wurde das Knappschaftsfest durch einen anderen Festtag abgelöst. Der Maria-Magdalenen-Tag, der bisher schon als Feiertag an jedem 22. Juli von der Freiberg Kirche und den Bergleuten begangen wurde, erhielt die Aufmerksamkeit der Bergbehörde. Er sollte unter der Bezeichnung Streittag (ab 1842) in den nächsten Jahrzehnten zum wichtigsten Feiertag des sächsischen Montanwesens werden. Im Jahr 1907 fand der letzte Aufzug zum Streittag statt. Er sollte auch für viele Jahrzehnte der letzte große Aufzug in Freiberg sein. Eng mit dem Feiertag der Bergleute des Freiberger Altbergbaus stand eine Quelle im Freiberg Hospitalwald (Teil des heutigen Freiberg Stadtwaldes), der Hungerborn, in Verbindung. Im Jahrbuch für den Berg- und Hüttenmann für das Jahr 1850 steht, „daß die Freiberg Bergleute bis dahin (im Jahr 1737) den Maria Magdalenen-Tag angeblich seit länger als 200 Jahren am sogenannten Hungerborn gefeiert hätten, woselbst gepredigt worden sein sollte.“

In den Jahren 1680 und 1681 feierte die Gemahlin des Kurfürsten Johann Georg II.,

Magdalena Sibylla, ihren Namenstag mit Bergleuten am Hungerborn, nachdem schon 1678 der Kurfürst den Magdalenen-Tag in Freiberg mit einem Vogelschießen gefeiert hatte. Dies wertete den Feiertag für die Berghauptstadt natürlich auf.

Diese Tradition der Feier des Maria-Magdalenen-Tages am Hungerborn nahm 1984 die Fachgruppe Bergbaugeschichte auf und seitdem wird dort der Verunglückten des Bergbaus gedacht. Im Jahr 2000 errichtete die Historische Freiberg Berg- und Hüttenknappschaft in der Nähe der Quelle einen Gedenkstein, und am 22. Juli des gleichen Jahres wurde dieser mit einer kleinen Feierstunde eingeweiht.



Hungerbornstein

## Die Uniformen

Die ältesten brauchbaren Hinweise zur Arbeitstracht der Bergleute des Erzgebirges liegen aus der Zeit um 1550 vor. Auch Hinweise zur Festtracht gibt es schon aus dieser Zeit. Typische Elemente der Tracht waren ein weißes Gewand, Kapuze, Bergtasche (Tzscherpertasche) sowie das Arschleder und die Kniebügel. Da es Hinweise darauf gibt, dass die saubere Arbeitskleidung als Fest- und Sonntagsstaat galt, kann man davon ausgehen, dass der Bergmann auch zur Arbeit weiß bzw. hell gekleidet war. Als Paradegezh benutzt er das Grubenbeil, das später durch die Bergbarte, eine ParadeWaffe, die man nur im Erzgebirge kannte und trug, abgelöst wurde. Dem Hüttenmann dieser Zeit wird bedeutend weniger Bedeutung zugestanden. Er besitzt ein langes weißes Schmelzerhemd. Unter diesem werden Beinkleider getragen. Schutz vor der Wärme bieten eine turbanartige Kopfbedeckung und die Kapuze. Eine schwarze Lederschürze in Form des Arschleders, festes Schuhwerk, manchmal ein Strohhut, der vor der Wärme des Schmelzofens schützen sollte, vervollständigten die Kleidung. Diese Arbeitskleidung wurde auch an Festtagen und bei Aufzügen getragen. Als Paradegezh benutzte der Hüttenmann seine Werkzeuge: Stecheisen, Forkel (Furkel), Glätthaken, Kratze, Kelle oder Rechen.

Im Jahre 1668 legte der Kurfürst fest, statt des Wamses die schwarze Puffjacke für Beamte und den schwarzen Leinenkittel (Grubenkittel) für die Bergleute einzuführen. Geht man davon aus, dass die Tracht eine Bekleidung ist, deren Aussehen durch Gebrauch, Anforderung, Interessen des Trägers und durch modische Aspekte gebildet wurde, war mit der Bestimmung des Kurfürsten der erste Schritt von der Tracht zur Uniform getan.

Die immer häufigere Einbeziehung der sächsischen Berg- und Hüttenleute in die Repräsentation des Dresdener Hofes bestimmte weitere Änderungen in deren Bekleidung, des „Habits“. So sind Uniformänderungen in Sachsen aus den Jahren 1719, 1768, 1793, 1830, 1842, 1853 und 1865 bekannt. Mit dem Aufblühen des Bergbaus in Sachsen im 20. Jahrhundert wurden 1934 neue Uniformen und deren Trageweise vorgeschrieben. Die letzte Uniformvorschrift, die den sächsischen Berg- und Hüttenmann ereilte, stammt aus dem Jahr 1950. Dieses Mal waren es Vorschriften, die als Gesetz in der damaligen DDR verabschiedet wurden. Auch hier war es



Der Chor der Freiburger Knappschaft. Fotos (4): Knut Neumann

wieder wie vor 300 Jahren: Das Wort Uniform wurde umschrieben, diesmal nicht mit Habit sondern mit Ehrenkleid. Geändert hatte sich aber nichts, die meisten der Uniformträger zogen „ihr“ Ehrenkleid nur ungern an. Also wurden durch die Betriebsleitungen Festlegungen zum Tragen getroffen.

Mit der Einstellung des Bergbaus erinnerte man sich zum Glück sehr oft der alten Traditionen, und nun wurden die Uniformen aus allen Zeitepochen hervorgeholt und mit Stolz getragen. Dort, wo keine mehr vorhanden waren, wurden Forschungen betrieben, und man ließ neue Uniformen herstellen. So auch im Vorfeld der 800-Jahr-Feier der Stadt Freiberg, die im Jahr 1986 begangen wurde. Für dieses Fest wurden 256 Uniformen für Berg- und Hüttenleute und 40 Uniformen für die Bergmusiker hergestellt.

### Die Historische Freiburger Berg- und Hüttenknappschaft

Richtig begonnen hat alles 1983, als im ehemaligen Bergbau- und Hüttenkombinat eine Arbeitsgruppe Bergparade von Generaldirektor Otto Ritschel ins Leben gerufen wurde. Dass die kühnen Ideen, die damals einige Wenige hatten, zu dem führen würden, was wir und die Freiburger heute für selbstverständlich halten und als Freiburger Bergparade bekannt wurde, war selbst von Optimisten kaum vorhersehbar. Dass es heute mit über 380 Mit-

gliedern mehr Vereinsmitglieder sind als zur Gründung am 9. April 1986, grenzt an ein Wunder.

Mit dem ersten Aufmarsch der Historischen Freiburger Berg- und Hüttenparade wurde eine Jahrhunderte alte Tradition der ehemaligen Bergstadt Freiberg wieder ins Leben gerufen. Die Mitglieder der Parade wollten es von Anfang an nicht dabei belassen, nur in historischen Uniformen durch Freiberg und andere Bergstädte zu ziehen. Sie waren angetreten, die Geschichte des Berg- und Hüttenwesens zu erforschen, anderen bekannt zu machen und weitere Traditionen aufleben zu lassen. So wurde eine Fachgruppe Hütten-geschichte gebildet und die bestehende Fachgruppe Bergbaugeschichte in den Verein integriert. Im Jahr 1990 wurde aus der Kulturbundgruppe der eingetragene Verein „Historische Freiburger Berg- und Hüttenknappschaft“. Seit dieser Zeit findet ein aktives Vereinsleben statt, für das die Aufmärsche die Höhepunkte bilden.

1992 schlossen sich Frauen zu einer Gruppe innerhalb des Vereins zusammen. Mit der Kindergruppe nehmen bergmännische Familien an den Aufzügen teil, so z.B. in Oberschöna, Tuttendorf und Mohorn/Grund. Dass die Berg- und Hüttenleute von jeher dem Gesang zugetan waren, sollte sich auch in der Vereinsarbeit widerspiegeln. So war es nur eine Frage der Zeit, und im Jahr 1993 war es dann so weit: Der gemischte Chor fand sich zu wöchentlichen Proben zusammen. Der erste Auftritt in der Betstube der Alten Elisabeth



Vereinsmitglieder unter Palmen in Brasilien. Foto: Lars Neumann

zum Freiberger Knappenfest zeigte, der Chor ist auf dem richtigen Weg. Mit der Einweihung der Knappenstube im Haus der SAXONIA-FREIBERG-STIFTUNG hat der Verein seit dem 26. Juni 1994 auch ein Zuhause. Ein Klubrat organisiert Veranstaltungen und gestaltet die Zimmer der Knappenstube aus. Die Mitglieder der Uniformkammer sorgen dafür, dass jeder Uniformträger ordentlich gekleidet zur Parade erscheinen kann, und durch die Chronikgruppe werden alle Aktivitäten des Vereins für die Nachwelt festgehalten. Um unseren Mitgliedern nach dem Tod in würdiger Form die letzte Ehre zu erweisen, halten Mitglieder in den historischen Uniformen Ehrenwache am Totenbett. Diese Form der Verabschiedung zur „Letzten Schicht“ hat ihren traditionellen Ursprung in den ehemaligen Begräbnisbrüderschaften.

Zu einem interessanten und abwechslungsreichen Vereinsleben gehört aber mehr, als nur in den Fachgruppen zu arbeiten und an Aufzügen teilzunehmen. Unser Stammtisch vereint jeden ersten Montag im Monat aktive Vereinsmitglieder in der Knappenstube.

Bei Arbeitseinsätzen helfen wir der SAXONIA-FREIBERG-STIFTUNG, unsere Mitglieder erstellen Gutachten zu Parade- und Uniformanfragen, wir wandern in jedem Jahr zum Muttertag mit „Kind und Kegel“ auf den Spuren der Freiberger Montangeschichte, wir kämpfen um den Bergmeisterpokal, und uns führen Reisen in alle Welt. Um unser Freiberg und unse-

ren Verein auch im Ausland bekannt zu machen, zog es uns bereits nach den USA zur Steubenparade, nach Österreich zu den Knappentagen, nach Brasilien, in den Südwesten von England, nach Norwegen, in den Elsass, in unser Partnerstädte Waldenburg und Pribram, und im Jahr 2009 soll Namibia folgen. Oft sind es Freundschaften, die über den Verein geschlossen oder wiederaufgefrischt werden. Es stärkt den Verein, wenn der ehemalige Hüttenmann, der in den vergangenen 20 Jahren Gaststättenbetreiber war, über den Verein wieder zu seinen alten Arbeitskollegen findet, wenn sich der Landrat und der Oberbürgermeister der Stadt Freiberg im Verein wohlfühlen, und wenn ehemalige Mitglieder der Kindergruppe nach ihrem berufsbedingten Ausscheiden aus dem Verein nach dem Studium oder der Lehre wieder zum Verein finden.

### Der Aufmarschplan

Die Mitglieder der Historischen Freiberger Berg- und Hüttenknappschaft marschieren zu besonderen Anlässen, wie z. B. zum Bergstadtfest, zu den Sächsischen Bergmannstagen, zur Weihnachtsparade in Seiffen in der Marschordnung, die 1986 zum ersten Aufmarsch für den 4. Juni zum Tag des Bergmanns festgelegt wurde und nach der auch zwei Tage später im Festumzug marschiert wurde.

Es handelt sich um eine Paradeordnung, in die alle für das 18. und 19. Jahr-



Schmelzer

hundert typischen Elemente der Freiberger Berg- und Hüttenparade und der Aufzüge der Berg- und Hüttenleute in Freiberg Eingang gefunden haben. Zur Vereinsmettenschicht, die immer am Sonnabend vor dem 2. Advent im Dezember stattfindet, marschieren in den Reihen des Vereins auch die Frauen und die Kinder als jeweils eine Gruppe mit.

Die Ordnung wird in zwei Teile gegliedert: Teilnehmer, die das Bergwesen verkörpern, und diejenigen, die zur Hütte gehören. Die Bergakademisten, die für den Bergbau und auch für das Hüttenwesen eine Ausbildung durchlaufen, bilden das Bindeglied zwischen den zwei Berufszweigen. Die Blaufarbenwerker wurden mit aufgenommen, weil das frühere Blaufarbenwerk Niederpfannenstiel später als Nickelhütte Aue zum damaligen VEB Bergbau- und Hüttenkombinat gehörte und 1986 auf eine 200-jährige Hüttentradition zurückblicken konnte.



Mitglieder auf dem Obermarkt zur Mettenschicht



Mitglieder des Bergmusikcorps Saxonia

### Aufmarschplan Bergwesen

- 4 Häuer als Fackelträger
- Standartenträger
- 1 Beamter zu Pferd als Platzadjutant oder 3 Beamte zu Fuß, in der Mitte der ranghöchste Beamte der Parade, der Oberberghauptmann
- 1 Knappschaftsältester des Bergbaus mit Schlägel und Eisen (Berginsignien)
- Zimmerlinge, Paradegezäh der Kaukamm, ein Grubenbeil. Jede Abteilung der einzelnen Berufsgruppen wird von einem Beamten oder Officianten angeführt. Er marschiert rechts vor der Abteilung. Sie bestehen aus Reihen von je drei Mann.
- Das Bergmusikcorps Saxonia. Vor dem Dirigenten läuft ein Bergmusiker, der den Schellenbaum trägt, nach dem Dirigenten wird mitunter die Kesselpauke von Häuern getragen. Bergmusiker marschieren in Reihen zu fünf Mann.
- Beamter zu Pferd (nur zu bestimmten Anlässen)
- 3 Geschworene (Beamte) zu Pferd (nur zu bestimmten Anlässen)
- 4 Knappschaftsälteste des Bergbaus mit Erztrögen
- Abteilung Häuer, Paradegezäh die Bergbarte, links geschultert
- 3 Beamte mit Bergfahne (gelb/schwarz)
- Abteilung Häuer
- Abteilung Bergmaurer, Paradegezäh ist der versilberte Maurerhammer
- Abteilung Bergschmiede, Paradegezäh ist der versilberte Schmiedehammer an langem Stiel
- 1 Beamter, Abschluss des Bergbaublocks

### Aufmarschplan Hüttenwesen:

- 1 Beamter der Hütte als Anführer des Hüttenblocks
- 1 Knappschaftsältester der Hütte mit den Hütteninsignien
- Abteilung Amalgamierer, Paradegezäh ist der Amalgamierrechen
- 4 Knappschaftsälteste der Hütte
- 3 Beamte mit der Hüttenfahne
- Abteilung Schmelzer, Paradegezäh sind

Forkel, Stecheisen oder Glätthaken

- Abteilung Bergakademisten, Paradegezäh ist das Steigerhäkchen
- Abteilung Blaufarbenwerker, Paradegezäh ist die Kelle
- Abteilung Schwefelhüttenarbeiter, Paradegezäh sind Forkel, Stecheisen oder Glätthaken
- 4 Häuer als Fackelträger

### Sponsoren des Vereins

Dass die Arbeit eines Traditionsvereins wie der Historischen Freiburger Berg- und Hüttenknappschaft nicht ohne Hilfe von außen möglich ist, wird jedem klar sein. So hat das Bergbau- und Hüttenkombinat den Verein von Anfang an unterstützt. Hier sollte und muss Otto Ritschel genannt werden. Durch seine Tricks an vielen „Bilanzanteilen“ vorbei, ist es gelungen, dass 1986 aufmarschiert werden konnte. Dies ging soweit, dass für die Messingknöpfe der zuständige Minister eine Freigabe für eine Blechplatte gab. Übergangslos übernahm die SAXONIA-FREIBERG-STIFTUNG die Unterstützung. Viele der Aktivitäten wären ohne die Zuwendungen der Stiftung kaum möglich gewesen. Wo sollten sich die Mitglieder treffen, hätten sie nicht die Knappenstube, und wo sollten die Uniformen lagern, wäre nicht eine Uniformkammer durch die Stiftung gestellt worden? Doch auch Gewerbetreibende und Betriebe wie Brauhaus AG, Buchbinderei Seidler, Elektronik Schrott GmbH, Freie Presse Freiberg, Kreissparkasse Freiberg, Landschafts-, Straßen-, Tief- und Wasserbau GmbH, Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik GmbH, Sächsisches Metallwerk, Schneider & Berger, Vermessungsbüro Schütze und die Stadt Freiberg unterstützen über viele Jahre kontinuierlich die Vereinsarbeit.

Was wäre aber ein Verein, der nicht mit Gleichgesinnten manche schöne Stunde verbringt. Ob die Freiburger nun ein Bergbierfest feiern, die Seiffener ihr „Glück auf“ begehen, die Freitaler zum Männertag geladen haben, die Altenberger ihren Pfarrer aus Freiberg einführen oder die Marienberger zum Stadtjubiläum marschieren, Vereinsmitglieder aus vielen Bergorten Sachsens finden sich bei Marschmusik und guter Laune zusammen, oft geht es in Richtung Festzelt. Dort werden dann Erfahrungen ausgetauscht und neue, interessante Pläne bei einem Bergbier, natürlich typisch freiburgisch, geschmiedet.

■ Knut Neumann



Wilhelm August Lampadius. Ölgemälde, unbekannter Maler. Foto: Waltraud Rabich

## Erste europäische Gasbeleuchtungsanlage von Wilhelm August Lampadius

Als Sohn eines Leutnants wurde Wilhelm August Lampadius am 8. August 1772 in Hehlen, Fürstentum Braunschweig-Wolfenbüttel im Weserbergland, geboren. Er studierte nach einer Apothekerlehre ab 1789 an der Universität Göttingen Chemie. 1793 kam Lampadius an die Bergakademie Freiberg, wo er zwei Jahre später als Nachfolger von Christlieb Ehregott Gellert die Professur für Chemie und Hüttenkunde übernahm. 1796 entdeckte er den Schwefelkohlenstoff. Zur gleichen Zeit richtete er das erste chemisch-metallurgische Praktikumslabor an der Bergakademie ein.

Ab 1799 arbeitete Lampadius an der Erzeugung von Leuchtgas. 1811 brachte er an seinem Freiburger Wohnhaus eine Gaslaterne an, die erste ihrer Art auf dem europäischen Kontinent. Heute befinden sich an dieser Stelle eine Gedenktafel sowie eine Kopie der Laterne. 1816 richtete Lampadius im Amalgamierwerk Halsbrücke eine Anlage zur Leuchtgaserzeugung ein, die bis 1895 im Betrieb war. Wenn auch manche Probleme und Hemmnisse, wie die hohe Explosionsgefahr, überwunden werden mussten, fand doch die Gasbeleuchtung in Deutschland weite und schnelle Verbreitung. Die erste deutsche Stadt mit

## 200. Geburtstag des Erfinders der „Schwamkrug-Turbine“

öffentlicher Gasbeleuchtung war 1825 Hannover, 1826 folgte Berlin. Rudolf Sigismund Blochmann (1784 bis 1871), dem Inspektor des Königlich Mathematisch-Physikalischen Salons zu Dresden, ist es zu verdanken, dass im April 1828 erstmals 36 Gaslaternen das Schloss, die Hofkirche und den Platz zwischen Zwinger und Kathedrale erhellten. 1837 wurde Blochmann beauftragt, in Leipzig eine Gasanstalt aufzubauen, mit sichtbarem Erfolg. 1843 konnte Leipzig für sich in Anspruch nehmen, die bestbeleuchtete Stadt Deutschlands zu sein.

Bis 1850 wurden etwa 35 Gasanstalten in Deutschland errichtet. 1860 betrug die Zahl bereits über 200. 1884 zählte man im Land 577 Städte, die ihre Straßen mit Gas beleuchteten. Doch der eigentliche Siegeszug des Leuchtmittels Gas begann mit dem Glühstrumpf. Jetzt war zum ersten Mal nicht mehr eine Flamme die Lichtquelle, sondern ein Glühstrumpf. Der Österreichische Gelehrte Freiherr Carl Auer von Welsbach (1858 – 1929) hatte ihn 1885 erfunden.

Lampadius' Wirken war für die Entwicklung der modernen Chemie und deren Umsetzung in die Praxis von großer Bedeutung. Seine Leistungen machten ihn in vielen Bereichen zu einem wissenschaftlich-praktischen Pionier. Er war der erste Wissenschaftler in Deutschland, der den Versuch unternahm, wissenschaftlich exakte Aussagen über die Zusammensetzung chemischer Verbindungen zu treffen. Lampadius war ein vielseitiger Wissenschaftler. Er befasste sich u. a. auch mit Meteorologie, mit der Gewinnung von Rübenzucker und der Herstellung künstlicher Düngemittel.

Lampadius war liberal eingestellt, musisch interessiert, gründete in Freiberg einen ästhetischen Verein. Die nachfolgende Entwicklung der Gastechnik wurde durch die Forschung in Freiberg an der Bergakademie wesentlich beeinflusst. Heute ist die TU Bergakademie Freiberg die einzige deutsche Hochschule, an der Gastechnik gelehrt wird.

Anfang 1842 erkrankte er an einer Lungenentzündung, der er am 13. April 1842 im 70. Lebensjahr erlag. Sein Grab befindet sich auf dem Donatsfriedhof in Freiberg. Zu Ehren von W. A. Lampadius wurden auf dem Campus der Technischen Universität Bergakademie Freiberg ein Gebäudekomplex und eine Straße nach seinem Namen benannt.

■ Gerd Grabow

Friedrich Wilhelm Schwamkrug wurde am 20. Februar 1808 zu Schneeberg als Sohn des Berggeschworenen Christian August Schwamkrug geboren. Nach dem Besuch des dortigen Gymnasiums und der Bergschule studierte er von 1826 bis 1830 an der Bergakademie Freiberg. Er fand Anstellung als Maschinenbaugehilfe bei der Halsbrücker Hütte und wurde im Jahre 1839 Maschinenmeister unter dem Maschinendirektor Brendel, 1845 zugleich Assessor in Maschinenbauangelegenheiten bei allen sächsischen Bergämtern. Vom Jahre 1846 an hat er auch Unterricht an den Technischen Staatslehranstalten in Chemnitz gegeben. 1855 wurde er zum Oberkunstmeister, 1869 zum Bergrat ernannt, nachdem ihm bereits 1857 der Sächsische Albrechtsorden verliehen worden war.

Schwamkrug hat sich um das Maschinen- und Bauwesen des Bergbaues und der fiskalischen Hütten sehr verdient gemacht. Zu nennen ist vor allem auch seine wertvolle Mitarbeit beim Bau des Rothsönberger Stollens, die im Jahre 1878 durch Verleihung des Sächsischen Verdienstordens anerkannt worden war.

Am bekanntesten wurde Schwamkrug durch die Erfindung der nach ihm benannten Turbine, eines Tangential-Wasserrades mit senkrechter Welle und innerer Beaufschlagung. Die Vorteile derselben gegenüber Turbinen mit waagerechter Welle liegen einmal in der leichten und sicheren und vor Zutritt des Wassers geschützten Lagerung, vor allem aber darin, dass auch bei hohem Wassergefälle die Umdrehungszahlen durch Vergrößerung des Durchmessers beliebig reduziert werden können. Die erste derartige Turbine wurde 1849 entworfen und hergestellt. Sie leistete bei 23 m Wassergefälle und 750 bis 3.000 l Aufschlagwasser in der Minute 112 bis 118 Umdrehungen in der Minute, während eine Turbine mit waagerechter Welle unter gleichen Bedingungen 420 Umdrehungen pro Minute ausgeführt hätte. Eine zweite für die Grube „Kurprinz“ im Jahre 1852 ausgeführte Maschine brachte bei einem Gefälle von 41 m und einer Aufschlagwassermenge von 12.500 l/min auch nur 119 Umläufe/min.

Von seinen meist im Kalender und dem Jahrbuch für den Berg- und Hüttenmann erschienenen Veröffentlichungen sind zu nennen: „Über die Einrichtung und Anwendung vertikaler Turbinen mit teilweiser Beaufschlagung (1850)“; „Über die

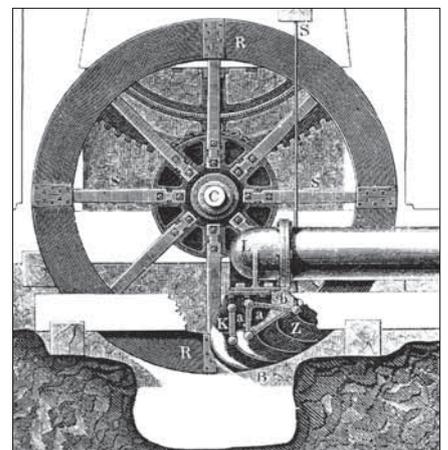


Friedrich Wilhelm Schwamkrug. Repro: Medienzentrum

jährlichen Gesteigungskosten einer Pferdekraft bei einigen Wasserkraftanlagen im Freiburger Bergamtsrevier“; „Beschreibung des Turbinengezeuges auf Kurprinz Friedrich August Erb Stoln“ (1853); „Über die Zweckmäßigkeit der Anwendung bleierner Röhren statt gusseiserner“ (1853); „Über die Anwendung eines Zentrifugalventilators als für Menschenkraft einggerichtete Wettermaschine bei dem Betriebe wetternötigen Grubenbaues“ (1855); „Über den Einfluss des Windes auf den Zug von Essen“ (1864). Außerdem hat er für den 2. Band der Hülbeschen Maschinen-Enzyklopädie den Abschnitt „Brems“ geschrieben.

Friedrich Wilhelm Schwamkrug ist am 23. April 1880 in Freiberg gestorben und wurde auf dem Donatsfriedhof beigesetzt. Er war der letzte sächsische Oberkunstmeister.

■ Gerd Grabow



Die von Schwamkrug entwickelte Radialturbine

## Christian Friedrich Brendel – Bedeutender Maschinenbauer für den Bergbau und das Hüttenwesen im 19. Jahrhundert

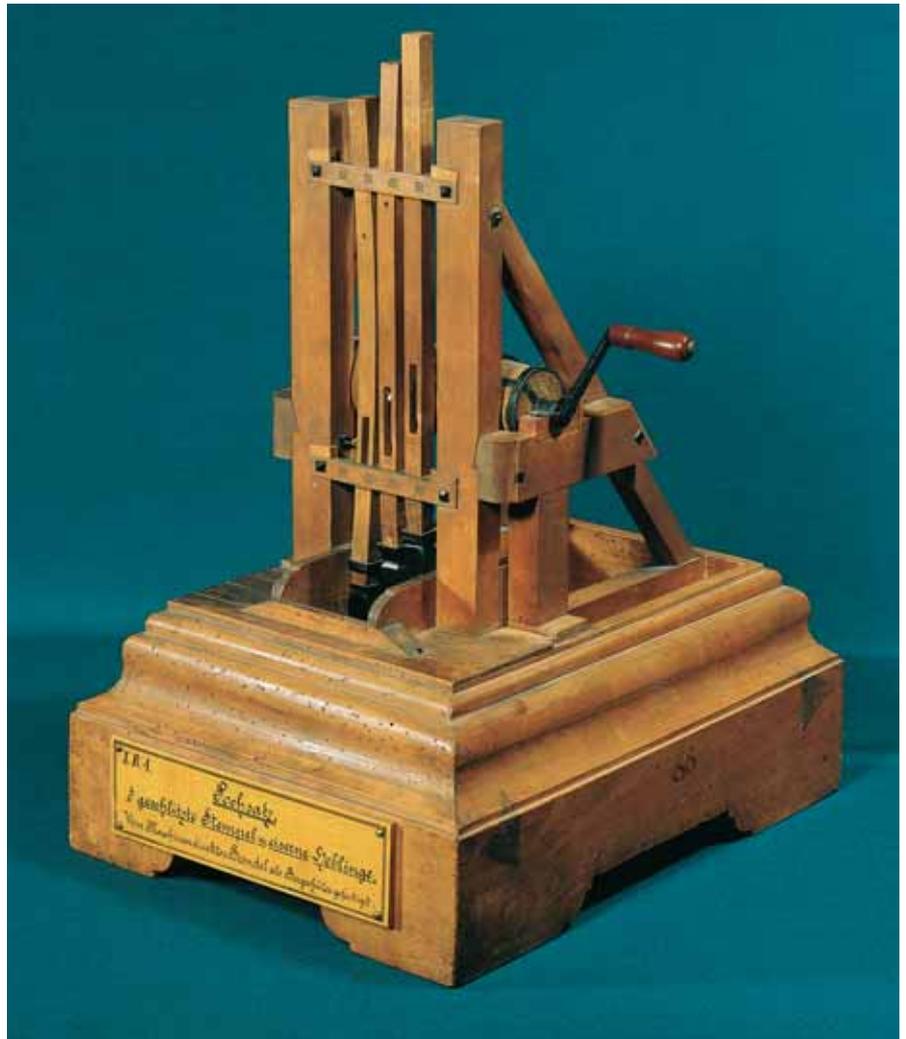


Christian Friedrich Brendel. Repro: Medienzentrum

Christian Friedrich Brendel wurde am 26. Dezember 1776 in Neustädtel bei Schneeberg geboren. Von seinem 7. Lebensjahr an zeigte er große Neigung und Befähigung für das Maschinenwesen. 1790 entschloss er sich, Bergmann zu werden, und wurde Zimmerling auf dem Marx Semmler Stollen bei Schneeberg. Nebenbei nahm er Unterricht in Mathematik und Zeichnen. Später wurde er bei der Gangarbeit eingesetzt. Auch hier erregte er durch seinen Wissensdurst und seine Kenntnisse bald die Aufmerksamkeit seiner Vorgesetzten. Ab 1797 studierte er an der Bergakademie in Freiberg. Hier nahmen sich seiner besonders von Trebra und Werner an. Die Kosten bestritt er aus einem Stipendium und aus dem Lohn für nebenbei geleistete Bergmannsarbeit, namentlich seit 1799 auf der Grube Himmelsfürst. Am 2. Oktober 1802 wurde er Obersteiger auf dem Thelersberger Stolln.

Aber bereits am 22. Oktober 1802 erging auf Betreiben von Trebras eine Verordnung, nach welcher Brendel nach einem genau ausgearbeiteten Plan eine Studienreise zum Studium von Maschinen nach dem Harz, Hannover, Westfalen, Holland und England und zurück über Belgien und Frankfurt a.M. auszuführen hatte. Die Dauer war auf neun Monate berechnet, verlängerte sich aber infolge mannigfacher Störungen auf zwei Jahre und zwei Monate bis 1805.

Unmittelbar nach seiner Rückkehr wurde er nach den Salinen Dürrenberg, Artern, Kösen und Kötzschau gesandt, um



Zu sehen in der Modellsammlung der TU Bergakademie Freiberg: Modell des von Christian Friedrich Brendel als Bergschüler angefertigten Pochsatzes, 1800. Foto: Waltraud Rabich

das dortige Maschinenwesen in Ordnung zu bringen. In Dürrenberg baute er die erste rechts und links umlaufende Dampfmaschine auf, die auseinandernehmbar und transportabel war; ihre Eisenteile lieferte Lauchhammer. Sie wurde 1808 fertig und besaß Balancier und waagerechtes Schwungrad, wurde zum Heben von Sole, später in Schkortleben zum Heben von Grundwasser des dortigen Steinkohlenwerkes und schließlich wieder zum Soleheben verwendet.

Brendel wurde 1811 zum sächsischen Kunstmeister ernannt, trat dieses Amt aber erst 1814 nach seiner Rückkehr nach Freiberg an. Hier erledigte er 1817, als Professor Abraham Gottlob Werner wegen Krankheit seine Vorlesungen aussetzen musste, ohne jede Vorbereitung in vier Wochen den maschinellen Teil der Vorlesung über Bergbaukunde glänzend. Im gleichen Jahre wurde er zum Maschinendirektor ernannt. In den folgenden Jahren führte er Wassersäulenmaschinen im sächsischen Bergbau ein. Von 1819 bis

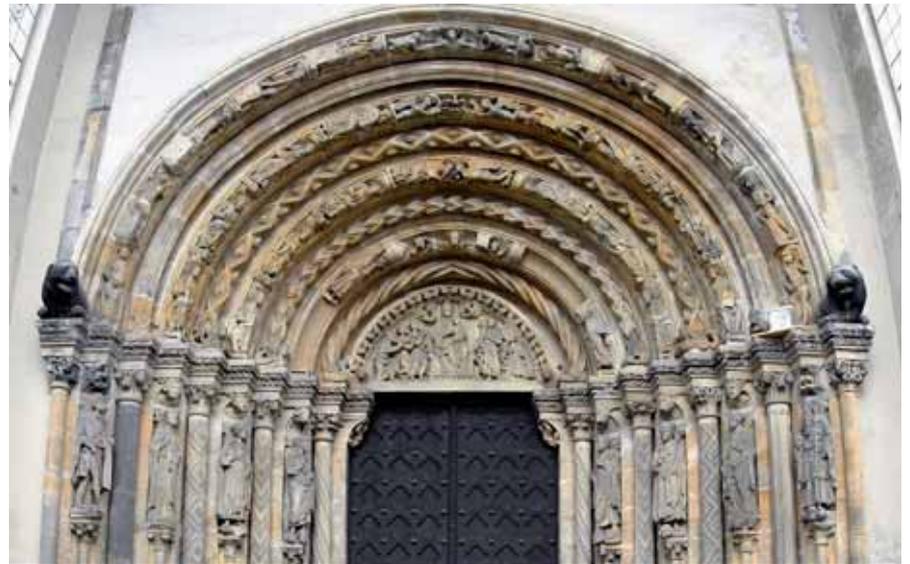
1821 baute er Dampfmaschinen beim Kgl. Steinkohlenwerk Döhlen und in Burgk und eine dritte über dem 6. Luftloch des Elbstollens, 1826 eine solche zum Wasserheben auf dem Kirsch'schen Steinkohlenwerk in Oberhohndorf bei Zwickau. 1828 erstattete er ein Gutachten: „Übersicht der in dem Freiburger Revier vorhandenen durch Wasserkraft betriebenen Grundwasserhebungsmaschinen und der Kosten, welche erforderlich wären, wenn man jene durch Dampfkraft ersetzen wollte“. Diese Kosten wären mit den damals üblichen Dampfmaschinen sehr hoch gewesen. Einige Jahre später sahen von Beust und Weisbach aber in Paris eine sehr einfache Dampfmaschine von Derosne, worauf Beust 1839 anregte, einen Versuch mit einer solchen in Freiberg durchzuführen. Brendel entwarf, Konstantin Pfaff lieferte sie. Sie fand als erste Fördermaschine Aufstellung auf dem Treibeschacht von Unterhaus Sachsen samt Reicher Bergsegen Fdgr. im Buschrevier. Die 8 PS-Maschine war eine mit Kondensation und besaß

einen Balancier und zwei Kessel für die Feuerung mit Torf von Großhartmannsdorf. Am 9. Dezember 1844 wurde die erste Tonne Erz gefördert.

Brendel hat auch maßgebend teilgenommen an dem im August und September 1831 von Professor Reich ausgeführten Fallversuchen im „Dreibrüderschacht“ zur Feststellung der Erdrotation und war ferner eigentlicher Sachverständiger bei der in den Jahren 1842 bis 1844 ausgeführten Vergrößerung des Dörnthalers Teiches, bei der dessen Fassungsvermögen von 235.000 m<sup>3</sup> auf 1,215 Millionen m<sup>3</sup> erhöht wurde. Groß ist die Zahl seiner Gutachten und seiner Verbesserungen an Maschinenteilen. Mit Lampadius zusammen probierte er eine neue Kunstschmiere aus. Endlich hat er auch die erste Eisenbahn Deutschlands erbaut, und zwar 1829 von der Halde des Kunst- und Treibeschachtes „Alte Mordgrube“ bis zur neuen Poch- und Stoßherdwäsche in einer Länge von 268 m. Die geschmiedeten Schienen waren 3,4 m lang, 1,02 cm stark und 5,9 cm breit. Der von Menschenhand gestoßene Hund fasste 0,3 m<sup>3</sup> und wog, mit Pochgängen gefüllt, rund 1 t. Die jährliche Ersparnis an Fuhrlöhnen berechnete sich zu 400 Taler. 1842 erhielt Brendel den sächsischen Verdienstorden, 1846 wurde er zum Bergrat ernannt, 1851 trat er in den Ruhestand.

Bis ins hohe Alter war er eine stattliche Persönlichkeit, die selbst das Greisenalter nicht beugen konnte. Nach nur wenigen Tagen einer schmerzlosen Krankheit starb er am 20. November 1861 ruhig, fast unbemerkt, im Lehnstuhl mit den Worten „nun bin ich fertig“ im Alter von fast 85 Jahren. „Mit ihm schied ein Mann, hochstehend durch die Vielseitigkeit gründlichen Wissens, durch bewährte praktische Erfahrung, hoch achtbar durch seine rastlose Tätigkeit, durch fleckenlose Rechtlichkeit; dazu ein Mann, der sich zu dieser Höhe unter dem Drucke der beschränktesten Verhältnisse nur durch seine eigene geistige und moralische Kraft emporgearbeitet hat“. Sein Grab ist unbekannt, wohl aber wurde durch Veranlassung durch Professor Gätzschmann, den er 1829 als Bergwerkskandidaten bei der Maschinendirektion angestellt hatte, an seinem Wohnhause, dem Maler Soodtmannschen Hause, Burgstraße 21 in Freiberg, eine Gedenktafel angebracht mit den Worten: „Christian Friedrich Brendel, Maschinendirektor geb. am 26. Dez. 1776, gest. am 20. Nov. 1861“.

■ Gerd Grabow



## Freiberg – „Stadt auf silbernem Boden“?

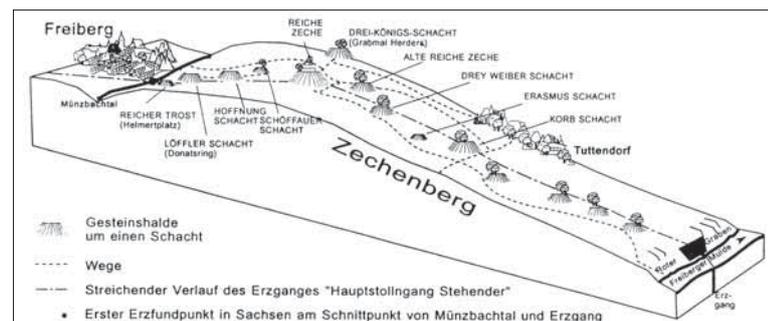
Es kann schon interessant und spannend sein, wenn man einmal der Frage nachgeht, was denn in einer Stadt wie Freiberg, die ihre Gründung und ihre über 800-jährige Geschichte dem Silberbergbau verdankt, davon noch zu spüren ist. Freiberg mit dem umgebenden Bergbaurevier gehörte über Jahrhunderte hinweg zu den bedeutenden europäischen Zentren der Silbergewinnung. Freiberg war in der Welt ein Begriff und fand höchstes Lob. Ein Beispiel finden wir dafür in einem Buchtitel von 1725: „Das wegen seiner unterirdischen Schätze und überirdischen Kostbarkeiten glückliche und in aller Welt berühmte Königliche Freyberg in Meißnen“.

Was aber findet man heute noch von den „Schätzen“ und „Kostbarkeiten“, die an das „silberne Zeitalter“ und an das „göttliche Metall“, an das edle Silber erinnern? Immerhin kamen aus dem Freiberg Revier 80 % des gesamten sächsischen Silbers! Und Silber war die Basis für „Sachsens Glanz“ und auch für die geschichtliche Rolle des sächsischen Herrschergeschlechts der Wettiner. Ihre enge Beziehung zum Silberbergbau zeigt, dass

sie immer gewusst haben: „Es kommt alles vom Bergwerk her!“

### Die Stadt auf dem freien Berge

Alles begann um das Jahr 1168 mit dem epochemachenden ersten Silberfund in einem noch kaum besiedelten Gebiet am Rande des damals noch mit Urwald bedeckten Erzgebirges. Mit diesem oberflächennahen Fund war man auf das Zentrum einer Erzlagerstätte gestoßen, die sich im Laufe der Zeit als eine der größten in Europa erweisen sollte. Das Erzvorkommen bestand aus einem verzweigten Netz von insgesamt über 1000 Erzgängen, die im Verlaufe von Jahrmillionen aus Erdspalten entstanden waren, die sich mit Silber- und Buntmetallerzen gefüllt hatten. Um an die verborgenen unterirdischen Schätze zu gelangen, wurden Siedler gebraucht, die der Landesherr Otto von Wettin durch das Privileg „Bergfreiheit“ anlockte. Bald kam es zu einer ersten Blütezeit des Silberbergbaus. Die sich entwickelnde Bergmannsiedlung wurde um 1180 zur „Stadt auf dem freien Berge“ beziehungsweise zur „Stadt auf silbernem Boden“. Um die

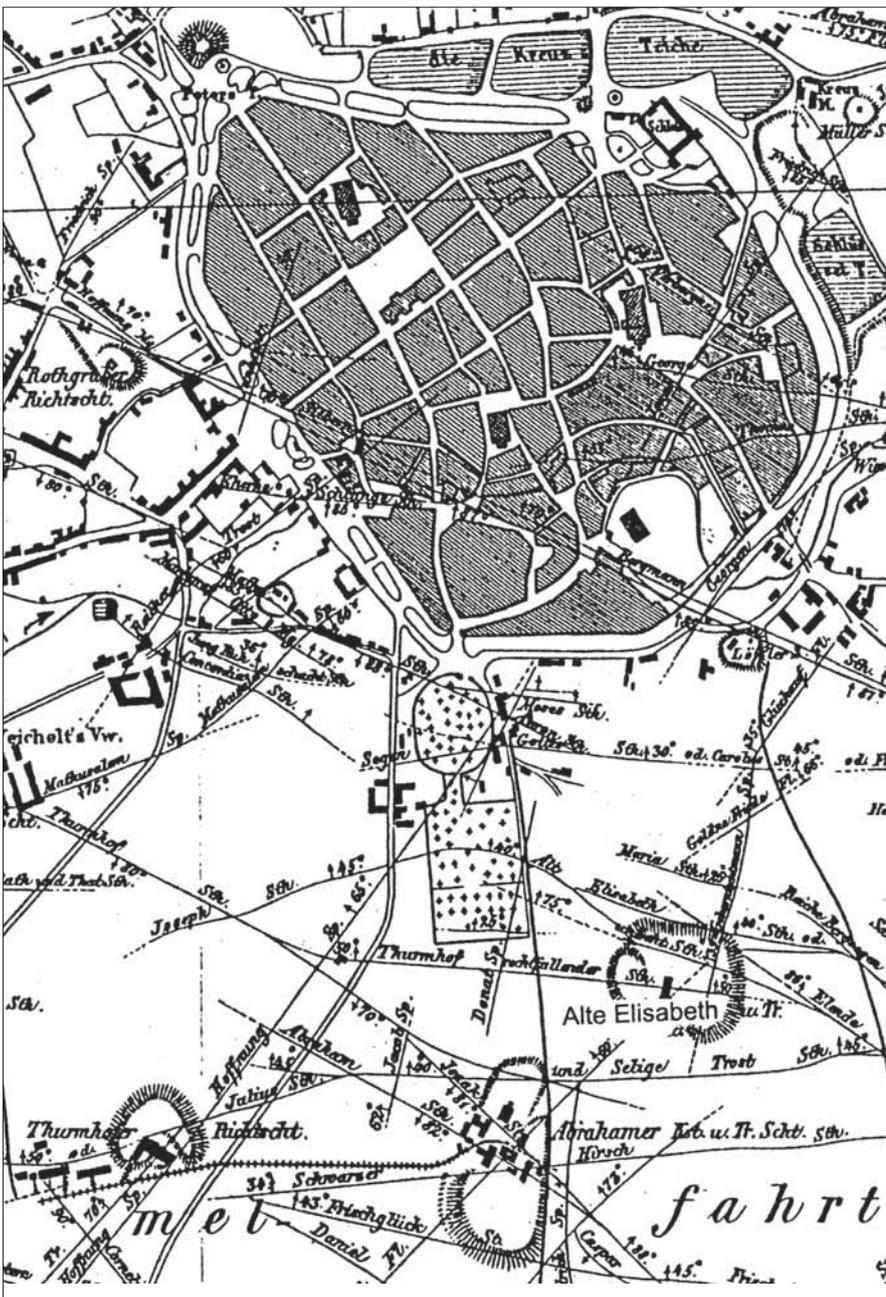


Erster Silbererzfundpunkt. Zeichnung H. Pforr.

Bild über dem Titel: Die Goldene Pforte, ein romanisches Figurenportal am Freiberg Dom von etwa 1230, ist der wertvollste Sachzeuge für den sehr frühen Reichtum, begründet durch das Freiberg Silber. Foto: Thomas Türpe



Blick über die Freiburger Altstadt vom Dom, im Hintergrund die Petrikirche. Foto: Thomas Türpe



Erzgänge und Schachthalden um Freiberg, nach Weinholdscher Gangkarte von 1866

Silberschätze zu sichern, baute man auch bald eine Schutzburg auf dem Freudenstein und umgab die ganze Stadt mit einem kräftigen Schutzwall. Der heute auf dem Obermarkt stehende Löwenbrunnen mit dem meißnischen Markgrafen Otto dem Reichen als Krönungsfigur erinnert an diese Zeit der Stadtgründung. Seinen Beinamen hat der Stadtgründer wegen seiner reichen Einkünfte aus dem Freiburger Silberbergbau bekommen. Am Fortunabrunnen in der Petersstraße sieht man Otto mit offener Hand, in die ein Teil der Silberschätze gelangte. Seine Vision von einer reichen Silberstadt hat das Schicksal Freibergs wohl grundlegend bestimmt!

**Die löbliche freie Bergstadt mit stättlichen Häusern**

An das mittelalterliche Freiberg erinnern heute noch die Siedlungsstruktur, die Kirchen und einige steinerne Gebäude. In den ersten Jahrhunderten bevorzugte man die Holzbauweise, sodass bei Stadtbränden viel vernichtet wurde. Der letzte große Stadtbrand war 1484. Danach wurde die Stadt im 15./16. Jahrhundert in der ursprünglichen Struktur der Straßen, Plätze und Ummauerung wieder aufgebaut. Eine erneute Blütezeit des Silberbergbaus unterstützte das Bestreben, viele „stättliche und fürneme heusser“ im Stile der Spätgotik und Renaissance zu bauen. Sie prägen bis heute das Stadtbild. Und so ist auch noch die Beschreibung aktuell, die aus dem Jahr 1555 stammt und von Georgius Agricola, dem bekannten sächsischen Gelehrten und Begründer der Montanwissenschaften, verfasst wurde: „Nachdem nun die bergwerke in groß aufnehmen kommen, ist die löbliche freihe bergstat Freiberg erbauet, erweitert, doselbst auch stättliche fürneme heusser man verfür, dieselbe auch noch heuttige tages weitberümt und herlich“.

Durch vielerlei Glücksumstände, insbesondere auch Nichtbombardierung im Zweiten Weltkrieg, konnte die Freiburger Altstadt ihr geschlossenes historisches Stadtbild erhalten. Bei einem Gang durch die alten Gassen und Straßen fällt wohlthuend auf, dass die meisten Häuser sich in einem guten Zustand befinden, der durch Sanierung und innere Modernisierung in den letzten Jahren erreicht wurde.

**Häuser mit Bezug zum Silberbergbau**

(1) Manchen Freiburger Häusern sieht man sofort an, dass ihre Erbauer oder späteren Besitzer etwas mit dem Silberbergbau, dem Hüttenwesen oder dem Sil-

berhandel zu tun hatten. Man erkennt das am figürlichen Schmuck der Portale oder an montanistisch geprägten Hauszeichen. Beispiele:

- Obermarkt 1: Renaissanceportal mit zwei Bergmannsplastiken
- Obermarkt 17: Bedeutendstes Portal (1530) mit ältester sächsischer Reliefdarstellung einer untätigen Arbeitszene
- Herderstraße 2: Portal mit zwei Bergbeamten-Hermen und Familienwappen des Oberberghauptmanns Freiherr von Herder
- Fischerstraße 27 und Donatsgasse 23: Portale mit bergmännischem Hauszeichen (16. Jahrhundert)
- Pfarrgasse 11: Portal mit hüttenmännischem Symbol (16. Jahrhundert)

(2) In andere Häuser muss man hineinschauen, um den Bezug zum Montanwesen anhand von Wand- und Deckenbemalungen zu entdecken. Beispiele:

- Obermarkt 1: Holzbalkendecke, bemalt mit Bergbaumotiven aus Agricolas berühmtem Werk (1556) „De re metallica“, eine Einmaligkeit in Europa
- Burgstraße 19 (Kunsthändlerhof): Wandbemalung mit Wappen von Familien der Freiburger Oberschicht, die im 16. Jahrhundert Silberhandel betrieben
- Dom St. Marien: Bergmannskanzel (17. Jahrhundert) und Tulpenkanzel (16. Jahrhundert), Knappschaftsgestühl mit bergmännischen Holzskulpturen (16. Jahrhundert), Goldene Pforte (13. Jahrhundert), fürstliche Begräbniskapelle (16./17. Jahrhundert) der wettinischen Landesherren, die Regalherren des sächsischen Silberbergbaus waren.
- Pfarrgasse 20: Wandbemalungen (16. Jahrhundert), betender Bergmann und Hüttenmann
- Stadt- und Bergbaumuseum: Knappschaftssilber, Geleucht, Bergparadeausstattung, Betstube, Brauchtum, Volkskunst

(3) Eine dritte Kategorie von Gebäuden verrät den Bezug zum Montanwesen erst, wenn man sich über die Erbauer oder Bewohner informiert, beispielsweise anhand von Schrifttafeln an der Fassade oder Freiberg-Büchern oder Info-Blättern. Beispiele:

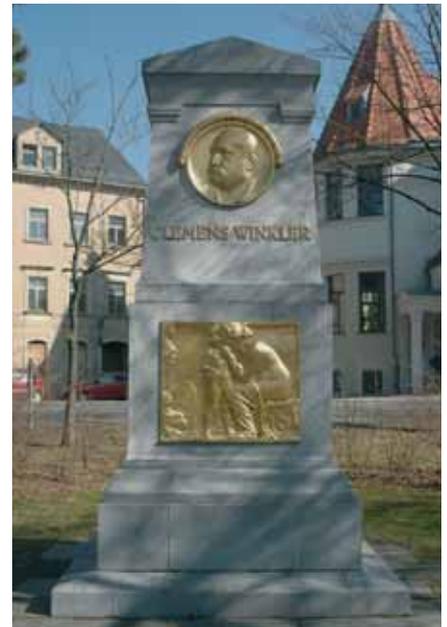
- Obermarkt 12: Wohnhaus von Bergrat Johann Friedrich Henckel, Begründer der „kleinen Bergakademie“ Mitte 18. Jahrhundert
- Enge Gasse 1: Im 16. Jahrhundert von Bergmeister Hans Röhling erbaut, an Hausecke Skulpturengruppe „Anna

Selbdritt“; Sanct Anna galt als Bergbauheilige und „Silberbringerin“

- Erbische Straße 18: 1669 durch Goldschmied Samuel Klemm erbaut. Erschuf den kurfürstlichen Bergmannsschmuck aus sächsischem Silber, heute im Neuen Grünen Gewölbe in Dresden.
- Petriplatz 3: Der Freiburger Arzt und Bürgermeister Ulrich Rülein von Calw veröffentlichte 1500 das erste deutschsprachige Bergbaubuch „Ein nützlich Bergbüchlein“
- Kreuzgasse 7: Wohnhaus von Professor Eduard Heuchler, bekannt durch Bildbände mit Zeichnungen zum Freiburger Montanwesen im 19. Jahrhundert

### Die Bergakademie Freiberg

Zu den wissenschaftlichen und technischen Einrichtungen, deren Bezug zum Freiburger Montanwesen offensichtlich ist, gehört die Technische Universität Bergakademie Freiberg. Gründungsanlass für die 1765 ins Leben gerufene kurfürstlich-sächsische Hochschule war die durch den Siebenjährigen Krieg bedingte Krise des sächsischen Bergbaus. Die enge Beziehung der Bergakademie zur montanistischen Praxis zeigte sich auch bei der Stilllegung des Freiburger Bergbaureviere im Jahre 1913, indem sie die „Himmelfahrt Fundgrube“ als letztes Erzbergwerk für Ausbildungs- und Forschungszwecke in ihre Obhut nahm. Dieses große und im Zentrum der Freiburger Lagerstätte gelegene Silberbergwerk repräsentiert fast das gesamte Spektrum der Freiburger Bergbaugeschichte in den acht Jahrhunderten von 1168 bis 1969. Es wird heute für die universitäre Lehre und Forschung in naturwissenschaftlichen und Ingenieurdisziplinen genutzt. Zugleich steht es der Öffentlichkeit für den Bildungstourismus zur Verfügung. Die Grubenbefahrungen bieten einen praxisnahen Einblick in



Denkmal für Clemens Winkler, der 1886 in einem Freiburger Silbererz das Element Germanium entdeckte. Foto: H. Holschumacher

die Geheimnisse der Mineralienwelt, die bergbautechnologische Entwicklung über die Jahrhunderte sowie in die Arbeitswelt und das Brauchtum der Bergleute. An den zahlreichen geologischen Aufschlüssen an den Erzgängen können Studenten und Besucher auch erkennen, woher die in den Mineraliensammlungen ausgestellten Exponate stammen. In den Vitrinen und Depots von zwei großen Sammlungen besitzt die Bergakademie nicht nur Mineralstufen aus der Freiburger Erzlagerstätte, sondern aus allen Kontinenten der Erde. Die Sammlungen im A. G. Werner-Bau gehen bis auf die Gründungszeit der Bergakademie zurück. Ab dem 20. Oktober 2008 ist im umgestalteten Renaissanceschloss Freudenstein die internationale Sammlung „terra mineralia“ zu sehen. Nun hat Freiberg „die größte Mineraliensammlung der Welt“!



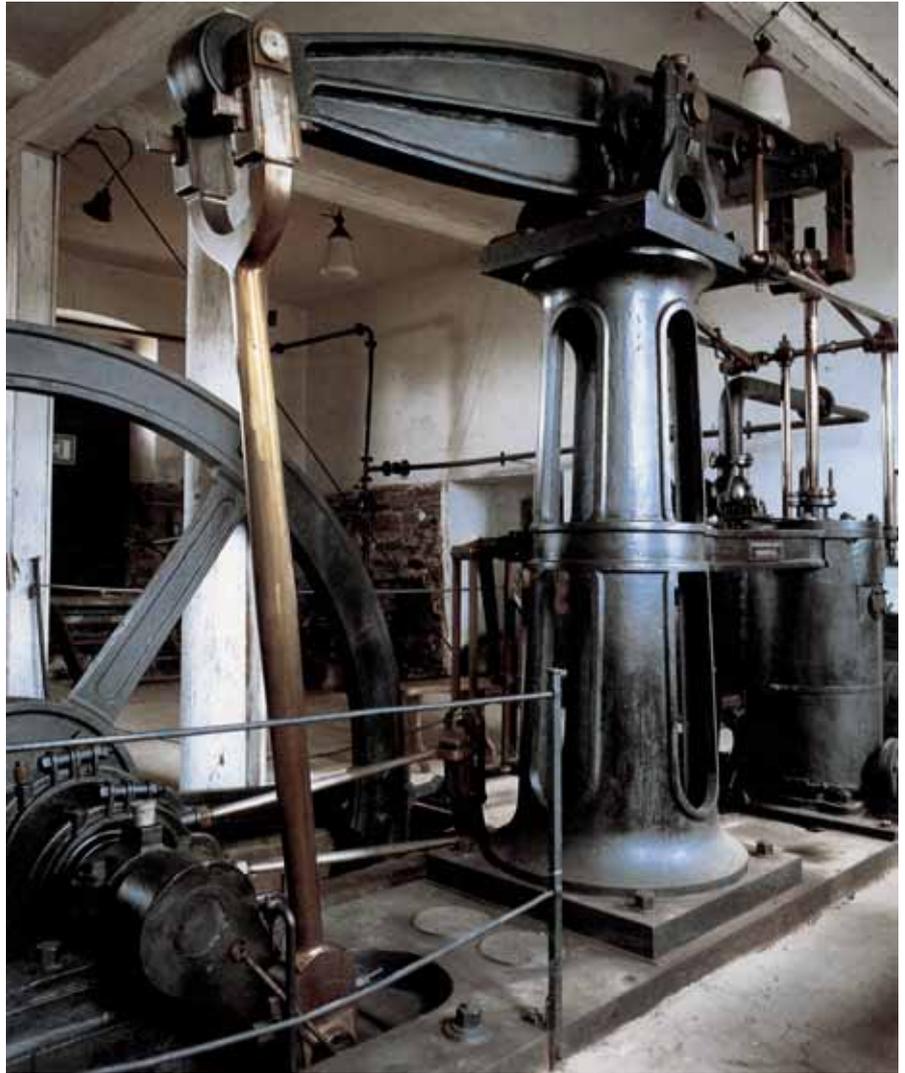
Das Schachthaus „Ober Neugeschrei“ prägt die Bergbaulandschaft bei Halsbrücke. Foto: H. Pffor



Ein Stollen im Freiberg Revier

### Montan- und Kulturlandschaft Erzgebirge

Zu den Freiberg „Schätzen und Kostbarkeiten“ gehören an vorderster Stelle auch die umfangreich erhalten gebliebenen Sachzeugen des historischen Berg- und Hüttenwesens. Über einen Zeitraum von 600 Jahren sind hierzu Grubenrisse und andere Betriebsdokumente im Freiberg Bergarchiv aufbewahrt worden. Zurzeit ist man um die Anerkennung des UNESCO-Welterbetitels für das Projekt „Montan- und Kulturlandschaft Erzgebirge“ bemüht. Dazu gehören auch ausgewählte Freiberg Objekte und Anlagen, deren langfristiger Erhalt für erforderlich gehalten wird. Eingeschlossen sind technische Anlagen von Bergwerken und Hütten, Wasserstollen, das übertägige bergbauliche Wassersystem mit Kunstgräben, Röschen und Kunstteichen sowie bergbaubezogene Kultur- und Traditionsstätten. Mit einer erneuten Belebung des Freiberg Erzbergbaus ist ja in überschaubarer Zukunft nicht zu rechnen. Doch unterhalb von 800 Metern Tiefe schlummern noch Zukunftsvorräte! Als Beispiel für bergmännische Traditionspflege in einer Zeit des erloschenen Freiberg Bergbaus seien die Paradeaufzüge der Freiberg Berg- und Hüttenknappenschaft genannt. Mit ihnen wird – auch von berufsfremden Teilnehmern – die Erinnerung an den geschichtsprägenden Silber- und Buntmetallerzbergbau und die angeschlossene metallurgische Industrie wachgehalten.



Dampf Fördermaschine von 1848 am Schacht „Alte Elisabeth“

Der Bergbau ist heute noch mit vielen repräsentativen Sachzeugen und Dokumenten erlebbar. Besonders erwähnt seien: die Bergbaulandschaft des Reviers mit Zeugnissen aus dem 13. bis 20. Jahrhundert, das Lehr- und Forschungsbergwerk „Himmelfahrt Fundgrube“, die Modellsammlung und die Mineraliensammlungen der TU Bergakademie, die Exponate zu „Bergbau und Kultur“ des Stadt- und Bergbaumuseums, die Winkler-Gedenkstätte und nicht zuletzt das Freiberg Bergarchiv, das nunmehr im Schloss Freudenstein als zentrales Gedächtnis des 800-jährigen sächsischen Bergbaus einen würdigen Platz gefunden hat.

### Vom Silber zum Silicium

Unser Streifzug hat gezeigt, dass die „Stadt auf silbernem Boden“ vieles hervorgebracht hat, von dem auch heute noch deutliche Spuren vorhanden sind. Das wichtigste Erbe aus Freibergs montanistischer Vergangenheit ist sicherlich die bis heute bewahrte Leistungsfähigkeit

der hier lebenden Menschen! Freiberg ist stolz auf eine große Zahl von Namen „berühmter Freiberg“, die Hervorragendes für Freiberg, für Sachsen und viele andere Länder geleistet haben. Sie haben uns gezeigt, wie man sich einst den Aufgaben und wirtschaftlichen Schwankungen und Änderungen erfolgreich gestellt hat. Ihnen verdanken wir auch die relativ günstige Grundlage für das heutige Wirtschaftsleben in der Region Freiberg. Mit dem Slogan „Vom Silber zum Silicium“ wird diese Entwicklung auf den Punkt gebracht. Mit „Silicium“ ist vordergründig das Aufblühen der Freiberg Halbleiterindustrie gemeint, man kann aber auch alle anderen modernen Erwerbszweige mit einbeziehen. Symbolisch wurde schon im Jahre 1886 durch Clemens Winkler der Brückenschlag „vom Silber zum Halbleiter“ geschlagen, als er an einem Freiberg Silbererz das Element Germanium entdeckte. Mit dem Germanium wurde im 20. Jh. quasi der Sprung in das „Computer-Zeitalter“ vollzogen!

■ Herbert Pffor

# Wo ist der Dampf geblieben?

**Gedanken zur Nachhaltigkeit der großen kontinentalen Erfindungen auf dem Gebiet des Montanwesens und zu den montanen Wirtschaftsformen aus der Geschichte der Industrie während der Industriellen Revolution**

## Einleitung

Während der ersten Berufsjahre als Metallurge in den Schweizer Kantonen Solothurn, Bern und Wallis in den 60er Jahren, befasste ich mich bereits eingehend mit den ehemaligen vor- und frühindustriellen Standorten von Berg- und Hüttenwerken in der Schweiz, besonders in Graubünden. Auch interessierte mich deren Niedergang während und nach der Industriellen Revolution unter den Folgen billiger Auslandsimporte von Rohstoffen und Fertigprodukten. Als Mitbegründer und Stiftungsrat der Schweizerischen Stiftung Bergbaumuseum Graubünden, Davos-Schmelzboden, hatte ich über drei Jahrzehnte Gelegenheit, für Europa ehemals hochinnovative Technologien und Entwicklungen in der Abbau-, Aufbereitungs- und Schmelztechnik, die in verschiedenen Zeitepochen immer wieder zur erneuten Belebung eines effizienteren Bergbau- und Hüttenwesens führten, an Hand ganz spezifischer Spuren aufzufinden.

Solche Spuren vergangener Technologien und die sich daraus ergebenden bedeutenden Erkenntnisse warfen schon in den Zeiten der europäischen wirtschaftlichen Hochkonjunktur wiederholt die Frage auf, warum wohl die seit wenigstens 150 Jahren mit immer höherem technischen und innovativen Aufwand an Europas Eliteuniversitäten, Bergakademien und Forschungsinstituten entwickelte Industrie- und Ingenieurkultur, aktualisiert durch immer modernere und verfeinerte Technologien zur Nutzung der kontinentalen Rohstoffressourcen, gerade in einer Zeit absehbar zunehmender Rohstoffverknappung infolge weltweit fortschreitender technischer Entwicklungen mit entsprechend steigendem Ressourcenverbrauch wieder „eingemottet“ werden?

Diese ressourcenangepassten Technologien sind mit dem Ziel, wirtschaftlich nachhaltiger Maximierung des Ausbringens heimischer (kontinentaler) Energieträger sowie Erz-, Metall-, Halbzeug- und anderer Produkte entwickelt worden, aber nicht in der (provisorischen) Absicht, sie noch vor Ablauf angemessener „Amortisationsfristen“ unter dem „Zwang“ momentan – nicht langfristig (!) – scheinbar billigerer Energie- und (Dumping-)Erzeu-

gerpreise aus dem außereuropäischen Ausland, wieder aufzugeben. Unterwerfen sich damit die kontinentale Industrie und Wirtschaft nicht einer nationalökonomisch ursprünglich abgelehnten, nachhaltigen Abhängigkeit gegenüber zwar „neueren“, aber wesentlich weiter abgelegenen und dadurch schwerer kalkulierbaren Märkten und Risiken?

In fast allen Fällen führten derartige wirtschaftliche Zwänge in der Vergangenheit zum Niedergang der heimischen Industrie und zu damit verbundener Arbeitslosigkeit auch hoch qualifizierter Fachkräfte – darüber hinaus zur Abwanderung von an nationalen Bildungsstätten ausgebildeten Fachleuten ins außereuropäische Ausland.

Verfahren zur stofflichen und energetischen Nutzung der verfügbaren heimischen Rohstoffe waren z. B. die 1913 und 1925 entwickelte Hoch- und Niederdruck-Kohlehydrierung nach dem Bergius- und Fischer-Tropsch-Verfahren. Damit konnte auch die heimische Braunkohle hydriert werden. Die 1926 erfundene Herstellung von Synthetik kautschuk (Buna) aus Kohle und Kalk, woraus im Elektroofen Kalziumkarbid gewonnen wurde, das mit Wasser zu Acetylen zersetzt wurde, aus dem Butadien synthetisiert und schließlich polymerisiert wurde, repräsentiert ebenfalls ein herausragendes Beispiel der stofflichen Nutzung von in großem Umfang verfügbaren Rohstoffen.

In der Schweiz als einem zu wirtschaftlicher Unabhängigkeit „erzogenem“ neutralen Land herrschte lange Zeit die Priorität, vor der Einfuhr von Rohstoffen aus dem Ausland erst die Verfügbarkeit der eigenen Ressourcen zu prüfen und zu nutzen. So war es auch meine erste anspruchsvolle Ingenieursaufgabe als Metallurge bei den Ludwig von Roll'schen Eisenwerken in Gerlafingen, Kanton Solothurn, alte, bereits vererzte Halden von Drehspänen aus der Herstellung von Schrauben in Drehautomaten, die wegen des erforderlichen kurzen Spans beim Drehen einen besonders hohen Schwefelgehalt aufwiesen, durch Entwicklung eines an diese „Ressourcen“ angepassten rationellen Stahlherstellungsverfahrens unter Einsatz von Kalk, Erz und Sauerstoff zu verwerten. Aus dem daraus erzeugten Baustahl wurden die massiven

Säulen des Berner SBB-Bahnhofes geschmiedet und gedreht (!) – nachhaltige Wertschöpfungen, die auch die nächsten Jahrhunderte überleben werden!

Auch in den europäischen Regionen, die früher anderen Wirtschaftsblöcken angehörten (RGW), in denen mit ebenfalls hohem Technologieeinsatz die heimischen Rohstoffe vor ausländischen Importen gegen knappe Devisen Priorität hatten (z.B. die Braunkohleveredelung), sind die vorstehend genannten Überlegungen, ob sich traditionell schon hoch innovative Länder auf den Gebieten der Entwicklung von Technologien zur Nutzung der verfügbaren eigenen Rohstoffressourcen, weitestgehend auf außerkontinentale Importe, besonders von Energieträgern, verlassen sollten, nach wie vor aktuell. Angesichts einer immer globaleren Wirtschaft – und damit auch wachsender materieller Versorgungsrisiken (z. B. bei Energieträgern) – wird derzeit ganz massiv deutlich, dass fast alle auf dem besonders kreativen Gebiet des Bergbau- und Hüttenwesens entwickelten großen und bahnbrechenden Erfindungen, die seit der Industriellen Revolution zur Steigerung der Produktivität und des Wettbewerbs von genialen Konstrukteuren und Ingenieuren hervor gebracht wurden, ihrer ursprünglichen (sozialen) Bestimmung „entfremdet“ worden sind.

## Spuren von Innovationen im Montanwesen aus dem 19. Jahrhundert in der Schweiz

Spuren großer Innovationen auf dem Gebiet des Montanwesens sind unter anderem besonders von Schweizer Absolventen der 1765 gegründeten Bergakademie Freiberg/Sachsen in die Schweiz gelangt und setzten im Bergbau- und Hüttenwesen neue Aktivitäten bei der Sicherung und Gewinnung der sehr begrenzten Schweizerischen Bodenschätze in Bewegung. Bedacht auf ein möglichst hohes Ausbringen sind, oft im Kontakt mit Hochschullehrern der Königlich Sächsischen Bergakademie wie Abraham Gottlob Werner, Franz Wilhelm Fritzsche und Wilhelm August Lampadius, die vermittelten Lehren angewandt, wissenschaftlich

**Gutachten des Königlich Sächsischen Professors der Hüttenkunde zu Freiberg,  
Herrn Dr. Fritzsche.**

Von Herrn Direktor Tröger erbat ich mir eine kleine Quantität von drei von mir genommenen und zu Pulver veranbalteten Durchschnittsproben des Ganges und versprach ihm meine Resultate seiner Zeit mitzutheilen. Die erhaltenen Erzproben will ich mit Nr. 1, 2 und 3 bezeichnen.

Die chemischste Untersuchung – dabei der Centner = 100 Pfund = 10,000 Pfundtheile zu Grunde gelegt, gab:

Nr. 1 im Centner : 12 Pfundtheile Silber = 0,12% und 28,8 Pfunde oder p. G. Kupfer.

Nr. 2 im Centner : 14 Pfundtheile Silber = 0,14% und 29,8 Pfunde oder p. G. Kupfer.

Nr. 3 im Centner : 7 Pfundtheile Silber = 0,07% und 16,0 Pfunde oder p. G. Kupfer.

Unter Berücksichtigung, daß die erhaltene Probe den durchschnittlichen Erzgehalt des bloßgelegten Ganges bei meiner Anwesenheit repräsentirt, so ist ein solcher Gehalt als ein „sehr reicher“ zu bezeichnen.

Die Lage des Bergbaues in alpiner Region und die chemische Constitution der Erze – Buntkupferkies, Kupferglanz und Kupferkies – und die Gangarten, – Kaltspath u. wird eine theilweise nasse Aufbereitung des Erzes für die metallurgische Zugutemachung nöthig machen.

Um mich von dem Quantitätsverhältnisse und dem Gehalte des bei der nassen Aufbereitung zu producirenden Erzschlammes zu überzeugen, habe ich, soweit die Menge des Probedaterials es gestattete, durch Sichern Erzschlamm dargestellt, bemerkte aber ausdrücklich, daß die Schlichquantitäten wegen des ungleichen Kornes des zum Versuche verwendeten gepulverten Probedaterials im Großen sich noch günstiger gestalten dürften.

Es wurde erhalten:

aus Nr. 1 38% Schlich, – aus Nr. 2 42% Schlich, – aus Nr. 3 17,3% Schlich.

Der Centner Schlich aus:

Nr. 2 hielt 22 Pfundtheile Silber = 0,22% und 53,5 Pfd. oder % Kupfer.

Nr. 3 hielt 23 Pfundtheile Silber = 0,23%.

Gestützt auf eigene Anschauung und die angestellte Untersuchung, kann ich mich nun dahin äußern:

daß ich den Gang mit Umsicht, Zweckmäßigkeit und Sicherheit ausgerichtet und bloßgelegt fand;

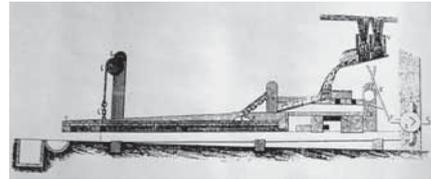
daß der Gang bei der anstehenden Mächtigkeit und Beschaffenheit auf Nachhalt rechnen läßt, und

daß der Abbau dieses Ganges bei solchem Erzgehalte, und die Zugutemachung der zu erzeugenden silber- und kupferhaltigen Erze ein gewinnbringender sein wird.

Freiberg, den 20. Oktober 1867.

*Franz Wilhelm Fritzsche,*

Professor der Hüttenkunde und Probirer.



Freiberger Langstoßherd

Die vermutlich ersten Zinkverhüttungsversuche in S-charl im Unterengadin, in der Schmelzhütte Hoffnungsau, Davos-Schmelzboden sowie in Klosters durch Destillation von sublimiertem Zink aus silikatischen und karbonatischen Zinkerzen (Galmei) und Zinksulfid (Honigblende) wurden in einem in Freiberg unter Professor Wilhelm August Lampadius (1772 – 1842) entwickelten Mehrkammer-Muffelofen ausgeführt.

Primäre Ursachen der Industriellen Revolution waren – neben den gewachsenen manufakturrellen und industriellen Bedürfnissen – versiegende Wasserkräfte infolge vielfacher Wasserkraftnutzung, z. B. durch Hammerschmieden und das Streben, unabhängig von anderen Handelsmächten zu werden. So wurden während der napoleonischen Kontinentalsperre gegen Großbritannien von 1806 bis 1813 die kontinentalen Erfindertätigkeiten durch besondere Geldprämien mobilisiert.

Schon Anfang des 18. Jahrhunderts sind in Großbritannien wegen der zurückgegangenen Holz-Ressourcen für die Flotte von Abraham Darby 1709 erstmalig Steinkohlen und Steinkohlenkoks als Energie- und Reduktionsmittelträger für die Roheisenerzeugung eingesetzt worden. Auch die Befuerung der Flammöfen zur Erzeugung von Puddelstahl (kohlenstoffarmes Schmiedeeisen), erfolgte wegen der schneller als mit Holzkohle erreichbaren Schmelztemperatur in immer größerem Umfang mit Steinkohlenkoks. Die Autarkiebestrebungen, einhergehend mit der Liberalisierung einer beginnenden Marktwirtschaft und dem Wettbewerb, mobilisierten aber auch schon vor der Einführung des akademischen Unterrichtes an der Bergakademie die Bildungsreserven. Unterstützt durch die an einem ertragreichen Bergbau- und Hüttenwesen interessierten Landesherren, erfolgte 1702 die Gründung der ersten Stipendienkasse zur Förderung der montanwissenschaftlichen Ausbildung in Freiberg. Gemäß dem von dem damaligen Oberberghauptmann Abraham von Schönberg verfassten Kurfürstlich Sächsischen Reskript sollten befähigte Markscheider (im Bergwesen) und Probierer (im Hüttenwesen) dort herange-

Gutachten von Prof. Franz Wilhelm Fritzsche, welches belegt, dass sich der Direktor des Kupferbergwerks Mürtchenalp und Absolvent der Bergakademie H. J. Tröger fachlichen Rat aus Freiberg geholt hat.

ausgewertet und weiterverfolgt worden. Von den Absolventen der Königlich Sächsischen Bergakademie Freiberg, die in der Schweiz tätig waren und die dank ihrer Ausbildung auch verbesserte Ausbeuten bei der Gewinnung und Verwertung der montanen Rohstoffe erzielten, seien nur beispielhaft mit Immatrikulationsjahr und Immatrikulationsnummer aus dem Matrikelverzeichnis der Bergakademie die in Tabelle 1 aufgeführten Personen benannt.

Die oben Genannten stehen stellvertretend für die in Freiberg schon Ende des 18. Jahrhunderts vermittelte und verbreitete Lehre zur rationellen Steigerung der

Ausbeuten und der Produktivität im Montan- und Hüttenwesen in der Schweiz mit Hilfe modernisierter mechanischer Künste, von neuen Erkenntnissen aus Metallurgie und Chemie, des Einsatzes hochwertiger Energieträger an Stelle der durch die Industrialisierung immer knapper werden den natürlichen Ressourcen, wie z. B. Holz und Wasserkraft.

Die Verbesserung der damaligen Erzaufbereitung gelang durch Einführung des genialen Freiberger Langstoßherdes, mit dem störende und unverwertbare Erzbegleitstoffe von unterschiedlicher Wichte abzutrennen waren.

Johann Samuel Grouner	1775 (Matr.-Nr. 152), Bern	1798/1802 Bernischer Oberberghauptmann, danach Kgl. Bayr. Major und Begründer der Militärgeologie
Prof. Dr. Heinrich Struve	1787 (Matr.-Nr. 289), Lausanne	Direktor des Salzwerves Bex, Professor der Chemie in Lausanne
Georg Landthaler	1806 (Matr.-Nr. 683), Graubünden	Oberhüttenmeister, Silberberg, Hoffnungsau-Schmelzboden/Davos und S-charl/Unterengadin
Hanns Caspar Hirzel	1811 (Matr.-Nr. 753), Zürich	Kupferhammerbesitzer, Lehrer der Mineralogie am Technischen Institut Zürich
Freiherr Franz von Roll	1820 (Matr.-Nr. 940), Solothurn	Direktor der Von Roll'schen Eisenwerke, Gerlafingen/Solothurn
Johann Hitz	1821 (Matr.-Nr. 975), Davos	Bergwerksbetreiber, Pionier großtechnischer Zinkverhüttung, Silberberg, Davos/Graubünden
Bernhard Neher	1836 (Matr.-Nr. 1314), Schaffhausen	Besitzer der Eisenwerke Laufen am Rhein und Plons/Sargans, sowie des Eisenerzbergwerks Gonzen
Heinrich Julius Tröger	1849 (Matr.-Nr. 1765), Neustädte, Schneeberg/Erzgebirge	Direktor des Kupferbergwerks Mürtchenalp, Besitzer von Marmorbrüchen und Zementwerk Walenstadt/Glarus
Heinrich Albert Sulzer	1893 (Matr.-Nr. 3890), Winterthur	Gießereibesitzer und Maschinenmeister

Tabelle 1: In der Schweiz tätige Absolventen der Königlich Sächsischen Bergakademie Freiberg

bildet werden, wo der Erz- und besonders der Silberbergbau schon seit 1500 dokumentiert waren. Ulrich Rühle von Calw, Bürgermeister der Bergstadt Freiberg, verfasste hier 1501 die erste lehrbuchähnliche Schrift „Ein nützlich Bergbüchlein“.

Die ersten Freiburger Lehrer in den montanistischen Fächern Mineralogie und metallurgische Chemie waren Christlieb Ehregott Gellert und der Königlich Sächsische Bergrat Johann Friedrich Henckel. Henckels erster Schüler war 1739 der bekannte russische Universalgelehrte und Montanwissenschaftler Michail Wasiljewitsch Lomonossow (1711 – 1765), nach dem die Moskauer Staatliche Universität (MGU) benannt worden ist.

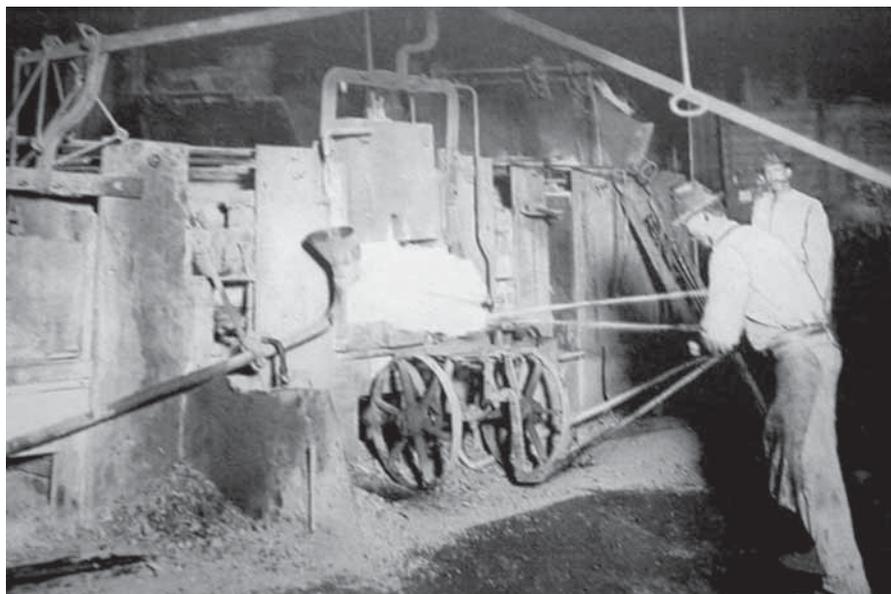
Das damals an der Königlich Sächsischen Bergakademie in Freiberg vermittelte Wissen trug neben den aufkommenden technischen Entwicklungen im Zuge der Erfindung der Dampfmaschine zur gewaltigen Innovationswelle auf dem europäischen Kontinent bei.

## Die großen technischen Erfindungen auf dem Gebiet des Montanwesens

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über Meilensteine der technischen Innovationen im 18. und 19. Jahrhundert.

Als Ergänzung für die immer stärker genutzte und dadurch „ausgehende“ Wasserkraft (basierend auf Maschinen mit den Mitte des 16. Jahrhunderts erfundenen Feldgestängen und Kunstkreuzen zum übertägigen Antrieb von Wasserhebeanlagen) war die zum Heben von Grubenwässern von Newcomen im Jahre 1712 konstruierte atmosphärische Dampfmaschine, auch Feuermaschine genannt, die wichtigste Erfindung.

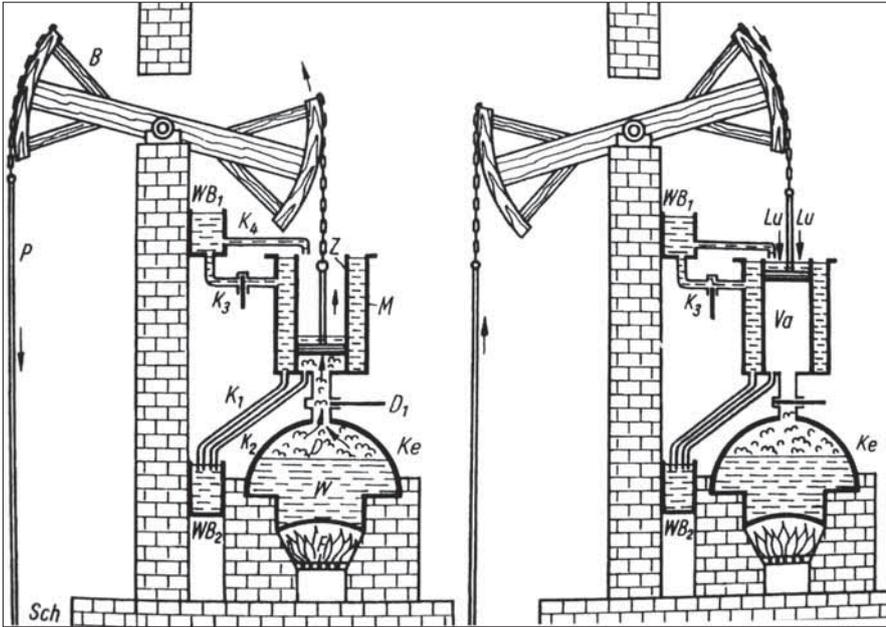
Dieser folgte 1762/68 die universeller einsetzbare Dampfmaschine von James Watt. Mit weiteren Konstruktionen verbessert, wurde sie Anfang des 19. Jahrhunderts auf dem Festland von den Kunst- und Maschinenmeistern Brendel, Evans, Harkord, Dinnendahl und Sulzer zum Antrieb von Förder-, Bewetterungs- und Aufbereitungsmaschinen im Bergbau eingesetzt. Der Erfinder der 1769 patentierten Dampfmaschine ließ, die gewaltige Bedeutung des maschinellen Antriebs in den Europäischen Bergbauregionen erkennend, seinen Sohn James Watt junior 1786 (Matrikelnummer 298) auch an der Königlich Sächsischen Bergakademie Freiberg studieren.



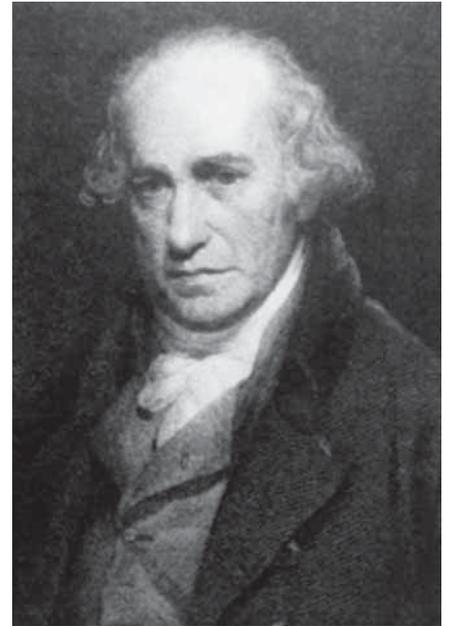
Ziehen einer Luppe aus dem Puddel-Stahlöfen

1698	erhielt der englische Militäringenieur Thomas Savery ein Patent auf seine kolbenlose Dampfmaschine, mit der unter Ausnutzung des Vakuums bei der Dampfkondensation die Wasserhebung in Bergwerken ermöglicht wurde.
1712	konstruierte Newcomen die atmosphärische Dampfmaschine, genannt „Feuermaschine“.
1762	erfand der Glasgower Universitätsmechaniker James Watt die Hochdruck-Dampfmaschine. Anlässlich der Reparatur einer Newcomen-Dampfmaschine entwickelte James Watt einen separaten Kondensator zur Vermeidung der Frischdampfkondensation und dichtete Zylinder mit einer Stopfbuchse zur Kolbenstange ab. 1769 erhielt James Watt auf seine 1768 in einem Bergwerk bei Borrowstones errichtete erste „mit Dampf angetriebene“ Dampfmaschine ein Patent.
1768	bauten Johann Friedrich Mende die erste Wassersäulenmaschine zur Hebung von Grubenwässern im Sächsischen Bergbau und wurde dafür 1790 zum Kunstmeister bestellt.
1788	wurde zur Gewinnung des Silbers aus reichhaltigem Silbererz die in Chemnitz entwickelte kalte Amalgamation erstmalig im Amalgamierwerk Halsbrücke bei Freiberg eingeführt.
1814	verkehrte die erste einsatzfähige Dampflokomotive als Grubenbahn.
1816	errichtete Wilhelm August Lampadius auf der Halsbrücker Hütte die erste Gasanstalt auf dem europäischen Festland zur Straßenbeleuchtung.
1816	erfolgte die erste Herstellung von Gusstahl mit unterschiedlichem Härtegefüge für unterschiedliche Anwendungsbedingungen (z. B. für Walzen) durch Friedrich Krupp.
1820	wurde die erste Wattsche Dampfmaschine im Zwickauer Steinkohlenbergbaurevier eingesetzt.
1823	erfand der Chemiker und Ingenieur Ernst August Geitner aus Schneeberg/Erzgebirge die Silber-Ersatzlegierung „Alpaka“, bestehend aus 55,6 % Kupfer, 28,5 % Zink und 15,9 % Nickel, auch „Neusilber“ genannt.
1829	erfand James Beaumont Neilson in Schottland das Heißluftblasen bei der Roheisenerzeugung unter Nutzung der Hochofenabwärme mit einem gusseisernen Röhren-Winderhitzer.
1833	erfand der Oberharzer Oberbergmeister Dörell aus Clausthal die bergmännische Fahrkunst.
1834	wurde vom Clausthaler Oberbergmeister Wilhelm August Julius Albert das erste technisch einsetzbare stählerne Drahtseil als Förderseil erfunden. Erst dadurch wurde die Erschließung größerer Schachttiefen möglich.
1846	wurde die vom Freiburger Kunstmeister Friedrich Wilhelm Schwamkrug erfundene erste Turbine als Kraftmaschine eingesetzt.
1852	erfolgte der Einbau der ersten maschinell betriebenen Mannschaftsfahrkunst in den Freiburger Abraham-Schacht.
1855	erfand Henry Bessemer das Blasstahlerzeugungsverfahren zum Windfrischen von phosphorarmem Roheisen. Durch meinen Vorfahren, den Königl. Sächs. Bergrat Julius Bruno Ehrhardt, wurde das Verfahren nach Erprobung in der Steiermark 1857 in Deutschland eingeführt.
1868	wurden die ersten Versuche mit dem Sprengstoff Dynamit vom Erfinder Alfred Nobel zum Abteufen zweier Schächte in einem Bergwerk an der Ruhr durchgeführt.
1881	wurde die erste von Werner von Siemens konstruierte elektrische Fahrdrathlokomotive im Salzbergwerk Schönebeck bei Magdeburg eingesetzt.
1884	ist das Telefon erstmalig in einer Ruhrzeche eingesetzt worden.
1886	entdeckte der Freiburger Professor Clemens Alexander Winkler (1838 – 1904) das seltene Element Germanium (Ge), das als Halbleiter im 20. Jahrhundert mit der Erfindung des Transistors (1948) große Bedeutung für die Elektronik erlangte.
1889	erfanden die Gebrüder Max und Reinhard Mannesmann das Pilgerschrittverfahren zur Herstellung nahtloser Stahlrohre und erhielten im Oktober 1891 ein Deutsches Patent darauf.

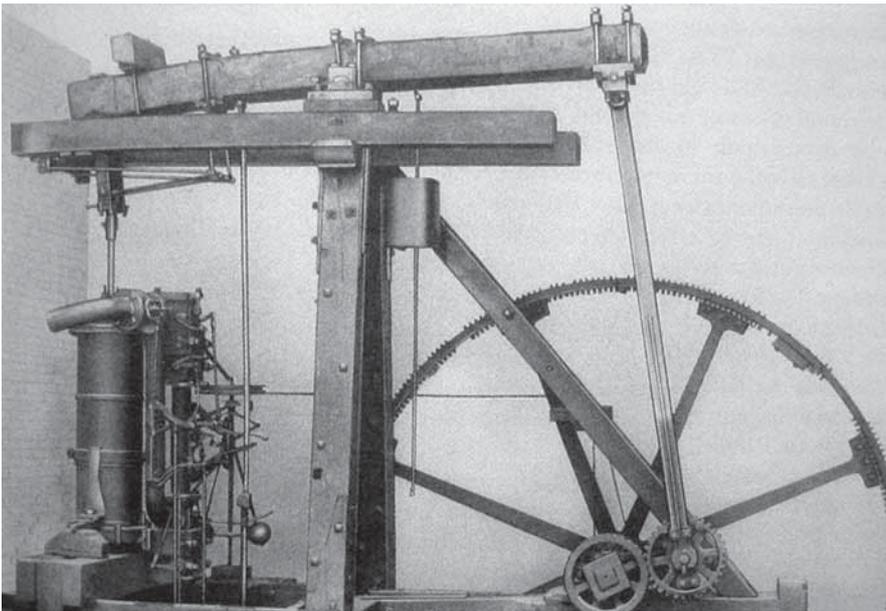
Tabelle 2: Meilensteine der technischen Innovationen im 18. und 19. Jahrhundert



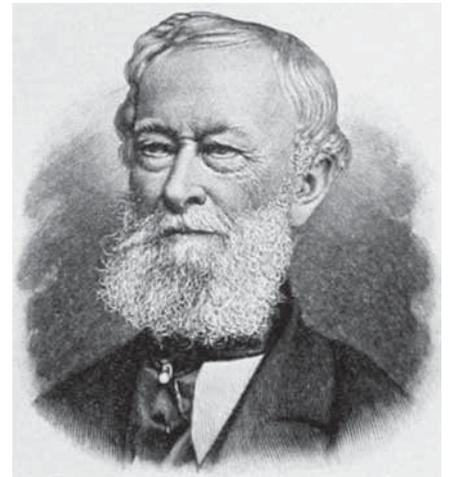
Die Newcomen-Dampfmaschine. Funktionsschema: D1 – Dampfeinlassventil, WB1 – Kaltwasserbehälter, Lu – Luftdruck, Va – Vakuum, K – Kaltwasserleitung. Dampf aus dem Kessel Ke drückt den Kolben nach oben, das eingespülte Kaltwasser kondensiert den Dampf, das entstandene Vakuum zieht den Kolben nach unten, und die am Balancier B angelegte Stange P bewegt sich auf- und abwärts.



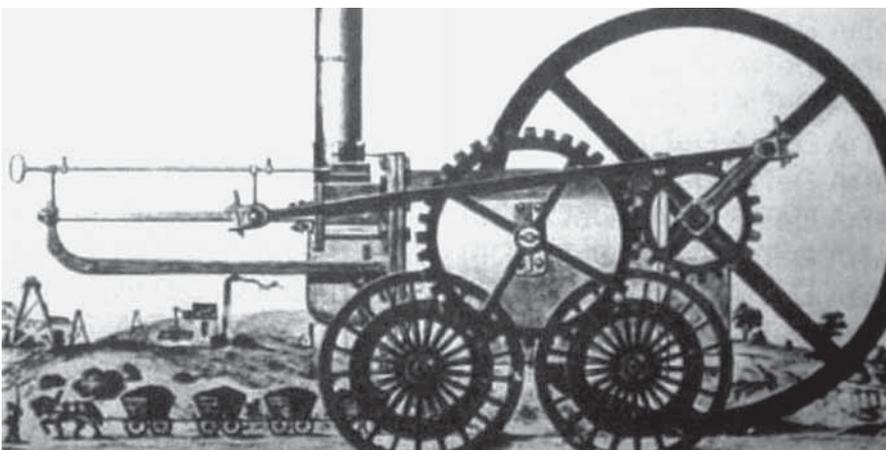
James Watt



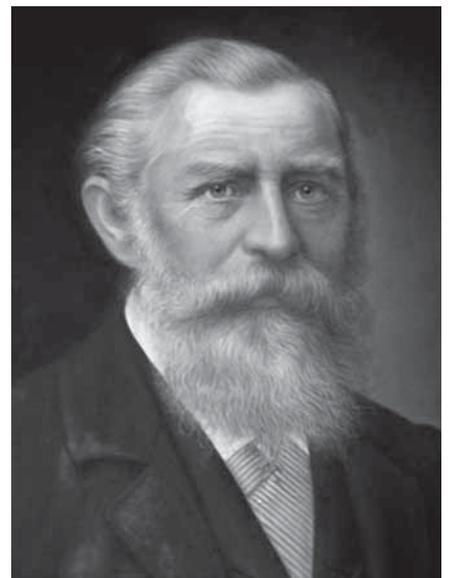
Hochdruckdampfmaschine von James Watt



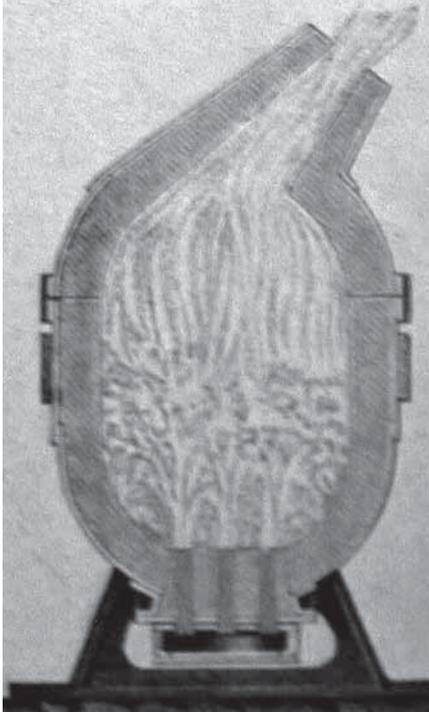
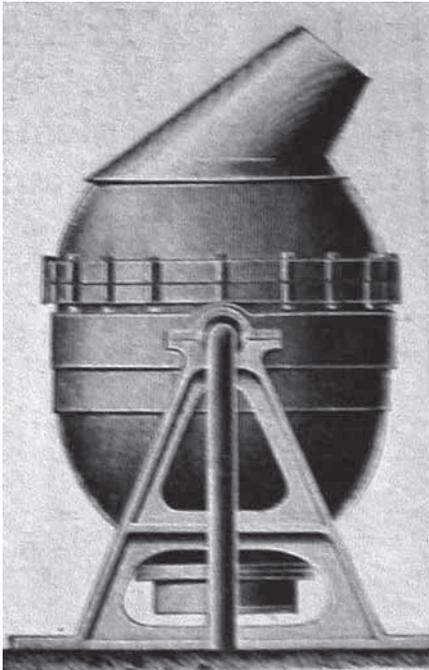
Alfred Krupp (1812 – 1887) entwickelte den Gussstahl zum Massentahl



Die erste Dampf-Grubenlokomotive, Baujahr 1804



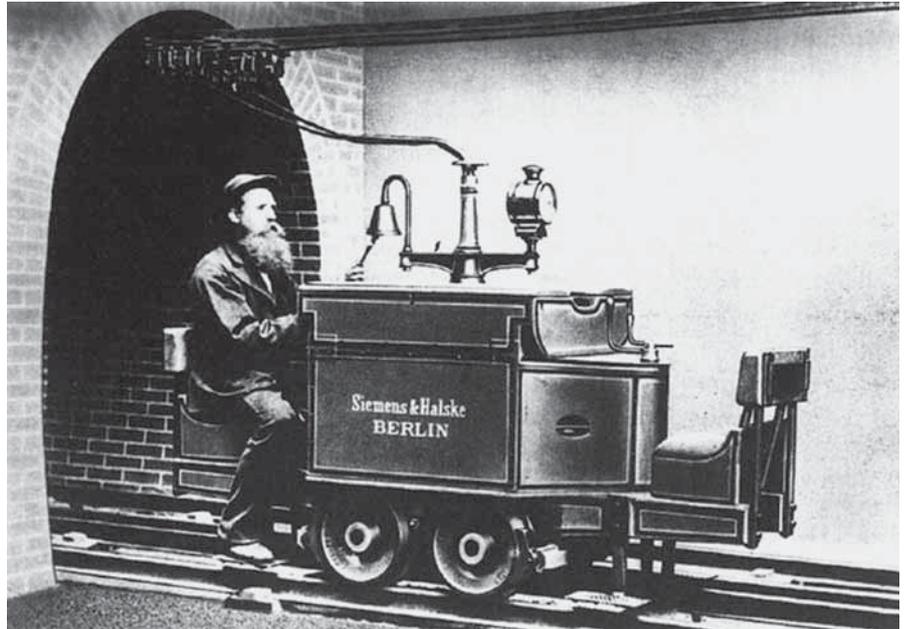
Julius Bruno Erhard (1836 – 1897, Kgl.-Sächs. Bergrat) – führte das Bessemer-Stahl-Frischverfahren in Deutschland ein.



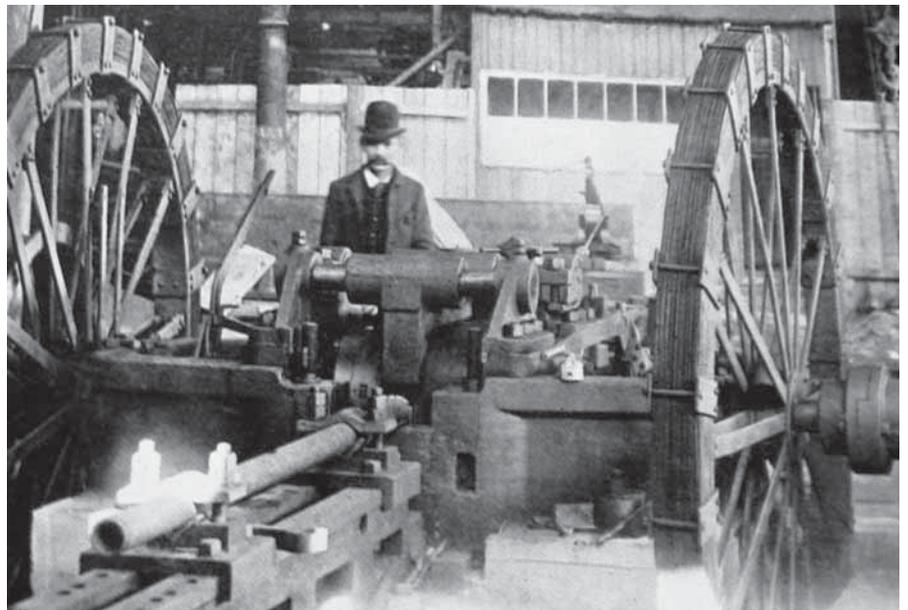
Die Bessemerbirne (unten: die Strömungsverhältnisse beim Blasen durch den Boden). Statt des „Einrührens“ von Luftsauerstoff (Puddeln) wurde vom Boden aus Luft durch das ganze Schmelzgefäß eingeblasen, so dass die schädlichen Roheisen-, bzw. Stahlbegleitelemente damit rascher „abgebrannt“ wurden.

Mitte des 19. Jahrhunderts wurden die ersten Schächte mit Maschinenkraft abgeteuft. Mit dem Kind-Chaudron-Schacht-Bohrgerät wurden 1898 auf der Zeche Scharnhorst im östlichen Ruhrgebiet bereits Vortriebsgeschwindigkeiten von 2,5 mm pro Minute erreicht.

Wegen der Grubengasexplosionsgefahr durften vor Ort keine Dampfmaschinen aufgestellt werden. Damit waren der



Erste elektrische, von W. von Siemens konstruierte Fahrdrathlokomotive



Walzen eines nahtlosen Stahlrohrs nach dem Pilgerschrittverfahren der Gebrüder Max und Reinhard Mannesmann

Energiefortleitung zu den wandernden Betriebspunkten Grenzen gesetzt. Erst mit Beginn des 20. Jahrhunderts gelangten druckluftgetriebene Maschinen und der vielseitig anwendbare Elektromotor als Schrittmacher der Mechanisierung und Automatisierung fern vom Schacht gelegener Abbaubetriebspunkte zum Einsatz.

Mit der weiter fortschreitenden technischen Entwicklung wurden seit Beginn des 20. Jahrhunderts Abbaumaschinen auch in abgeschlossenen Revieren des Bergbaus unter Tage eingesetzt. Der Bergmann avancierte immer mehr zum Maschinenführer von Gewinnungs- und Transportmaschinen, die – von Bergingenieuren und tüchtigen Konstrukteuren für Bergleute entwickelt – zu einer eigenen

Domäne des Schwermaschinenbaus in aller Welt geworden sind.

Heute stellen die alten Hauerwerkzeuge Schlägel und Eisen nur noch die traditionellen Symbole des Bergbaus dar.

### **Die Auswirkung der investitionsintensiven Mechanisierung auf die Qualität der Arbeitsplätze**

Durch die mit der Mechanisierung zunehmend erforderlichen Investitionen in moderne Montanbetriebe und die verstärkten Sicherheitsvorkehrungen für Arbeitnehmer und störungsfreien Betriebsablauf entwickelten sich die Montanunternehmen mithilfe der großen produktivitätssteigernden

Erfindungen, wie die Dampfmaschine, die Dampflokomotive und die Eisenbahn, das Drahtförderseil, die elektrische Glühbirne und auch die Telegrafie und das Telefon zu immer profitäreren Anlagen.

Mit den genialen Maschinen und Technologien, ursprünglich entwickelt vom Berufsstand der Berg- und Hüttenleute, Ingenieuren und Naturwissenschaftlern, wurde nicht nur die Produktivität erheblich erhöht, sondern auch die körperliche Arbeit wesentlich erleichtert. Durch die damit einhergehende Rationalisierung sollte aber die menschliche Arbeitskraft nicht abgeschafft, sondern sollten kreativitätsfördernde Erholungspausen ermöglicht werden. In den Bereichen des seit dem 19. Jahrhundert immer innovativer werdenden Bergbau- und Hüttenwesens führte dies zu einem gewaltigen wirtschaftlichen Aufschwung.

Mit der Erfindung und Einführung der Dampfmaschine, die erst mit der Entdeckung der Steinkohle, zuerst in England und bald auch in Europa weiträumig einsetzbar wurde, war aber auch die gewaltige Tragödie der Massenarbeitslosigkeit und Verelendung von ungelerten Arbeitern und deren Familien verbunden. In einem solchen sozialen Umfeld wurden kaum noch Erfindungen begründet, die die Produktivität erhöhten.

### Wirtschaftsformen der Industriegründergesellschaft

In der Industriegründergesellschaft bildeten sich zwei Grundrichtungen von Wirtschaftsformen der Industrialisierung heraus. Die eine war darauf gerichtet, durch eine rationale, zunächst manufaktuelle Fertigung unter zunehmendem Einbezug der die schwere körperliche und ermüdende Arbeit erleichternden Maschinen Produktivität und Qualität der Erzeugnisse zu erhöhen. Damit wurde die Erschwinglichkeit der erzeugten Waren nicht nur für den wohlhabenden Teil der Bevölkerung, sondern auch für einen großen Teil der werktätigen Bevölkerung ermöglicht. Dies erforderte die Motivation zur Leistungsbereitschaft und das Streben nach fachlicher Qualifikation und Bildung. So wurden Mitte des 18. Jahrhunderts die ersten namhaften gewerblichen Schulen, wie Bergschulen, Bergakademien und ähnliche auf Ingenieurwissenschaften und Maschinenbau fixierte Lehnanstalten (Polytechnika) neben den damals einem eher geringen Bevölkerungsteil zugäng-



Mannesmann-Patenturkunde aus dem Jahr 1891

lichen Universitäten gegründet. Diese Lehnanstalten, wie z. B. die Krupp'sche Industrieschule und die ausgangs des 19. Jahrhunderts von Theodor Beckert gegründete Duisburger Hütterschule sowie die sich bildenden Forschungsinstitute, wurden von den Landesregierungen und von der Bergbau- und Hüttenindustrie mit Stipendien und dem Bereitstellen von Forschungsmitteln unterstützt.

Eine andere Grundrichtung war darauf angelegt, durch Ersatz der manuellen Arbeitskraft mittels „leistungsfähigerer“ Maschinen und erster Roboter in kürzester Zeit viele Waren aus billig auszubeutenden Rohstoffländern (wie aus den ehemaligen außereuropäischen Kolonien) zu produzieren und als Massenware an die Konsumenten zu verkaufen.

Das dazu benötigte Kapital wurde in Form von Beteiligungen an Aktien, Hypotheken aus Grund- und Wertbesitz sowie (ebenfalls in den ehemaligen Kolonien mit Arbeitskräften zu Billiglöhnen) und von den sich installierenden Geldhäusern und Banken – also in der Hauptsache von „Investoren“ bzw. Kapitalanlegern – zur Verfügung gestellt und beschafft.

Diese Kategorie von „Industriebetreibern“ war schon in der Gründerzeit ausschließlich daran interessiert, das eingesetzte Kapital in kurzer Zeit zu mehren und einen „ordentlichen“ Gewinnanteil an die investierenden Kapitalanleger auszuschütten. Das Hauptanliegen dieser Wirtschaftsform lag weniger in einer nachhaltigen, Erfolg begründenden Investition in den Produktionsbetrieb und einer

vielfältigen Warenpalette an Wertschöpfungen mit gutem Namen wie „Made in Germany“ oder „Swissmade“ sowie unter bekannt gewordenen Markenzeichen und Patenten über Jahre und Jahrzehnte durch Kontinuität zu begründen, sondern ganz allein darin, kurzfristig Bedürfnisse an einfachen (rasch verbrauchbaren) Massenartikeln zu erfüllen.

Die Tradition dieser intensiv materiellen Richtung war entscheidend für die sich im 18. Jahrhundert als Manchester-Kapitalismus installierende Wirtschaftsform, die rein auf dem Kapital und den damit beherrschten Rohstoffmärkten beruhte. Die notwendige Weiterentwicklung der Technik hin zu ressourcenschonenden Technologien wurde dadurch allerdings in ganz erheblichem Maße gehemmt – im Gegensatz zum eigentlichen Impuls der Industriellen Revolution, mit den daraus hervorgegangenen (kontinentalen) Erfindungen autark und unabhängig von Importen zu werden.

Dies änderte sich erst mit dem in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts (1878 im Deutschen Reich) aufkommenden gewerblichen Rechtsschutz und Patentwesen, gemäß dem patentfähige Erfindungen die Kriterien der Neuheit, d. h. eines erfinderischen Schrittes gegenüber dem Stand der Technik sowie einen technischen Fortschritt mit einem am Gemeinwohl orientierten Nutzen erfüllen mussten, um eine auf 18 Jahre befristete Monopolstellung auf dem Markt mit dem Recht auf Lizenzgebühren zu erhalten. (Mit dem Europäischen Patentübereinkommen von 1973 ist – leider – der „Technische Fortschritt“ mit seiner sozialen Bindung zum Allgemeinwohl im Zuge der „Europäischen Harmonisierung“ weggefallen).

Für Investoren in innovative Unternehmen gab es die schon aus dem Montanwesen bekannte Tradition, mittels „Geschäftsanteilen“ in Form sogenannter Kuxe das wirtschaftliche Risiko zu teilen. Diese Kuxe stellten vom Inhaber (Gewerke einer Gewerkschaft) in aller Regel zu haltende, also nicht an der Börse handel- oder veräußerbare Anteilscheine an einem (Bergbau-)Unternehmen und dessen Vermögen dar. Wirtschaftete das Unternehmen gut, behielt der Anteilschein seinen Wert und die Ausbeute des Betriebes wurde anteilmäßig aufgeteilt. Wirtschaftete aber das Unternehmen weniger erfolgreich, hatte der Kuxinhaber „Zubuße“ (Zuschüsse) zu zahlen, um das Unternehmen durch entsprechende Investitionen wieder auf ein wirtschaftlich vertretbares Niveau zu brin-

gen. Das Unternehmen war also nicht nur auf kurzfristige, sondern auf nachhaltige wirtschaftliche Gewinne ausgerichtet und auch darauf angewiesen.

Bergbau- und deren angegliederte Unternehmen mit „Ausbeute-Risiken“ waren noch bis Ende des 20. Jahrhunderts (z. B. in Bayern) daher eher durch Kuxe oder ähnliche, nicht an Börsen handelbare Beteiligungsscheine repräsentiert. Das entsprach einer sozialen Unternehmensform gleichberechtigter Anteilinhaber mit gemeinschaftlichen Unternehmensanteilen einzelner Gewerke einer Gewerkschaft, aus der jeder Gewerke seinen Gewinn aus dem durch seine Arbeit erzielten Produkt in Form seines Ausbeute-Anteils erhielt.

Beispielhaft für solche Unternehmensformen ist die Abbe'sche Stiftung – später Carl Zeiss Jena – gegründet 1891 von Ernst Abbe (1840 – 1905, Professor der Physik und Erfinder zahlreicher optischer Geräte) zu nennen.

Soweit möglich, waren die Gewerke darauf bedacht, ihre Anteile nicht durch Fremdinvestoren und Kapitalanleger gegen Gewinnbeteiligung, d. h. ohne direkte produktive Mitarbeit zu vermischen oder majorisieren zu lassen.

Das „Kapital“ dieser Betriebe lag in der eigenen Innovationskraft der Gewerke, durch Tüchtigkeit aufgrund einer guten Ausbildung und daraus hervorgehenden Fachkenntnissen, gewerbliche Schutzrechte (Patente seit Ende des 19. Jahrhunderts) aus Erfindungen den Betrieb konkurrenzfähig zu erhalten. Es bestand auch die Notwendigkeit, Gewinne zu einem Großteil in das Unternehmen selbst zu investieren (nicht, wie heutzutage teilweise der Fall, Manager, unabhängig vom Erfolg der „Bezieher“ anstelle „zubußpflichtiger“ Kuxe bei Missmanagement nicht auch daran (!) zu beteiligen).

### **Die Dampfmaschine, Motor der industriellen Revolution**

Mit der Wattschen Dampfmaschine setzte eine gewaltige Produktionssteigerung und Verwandlung der Manufakturen zu industriellen Maschinenbetrieben mit aufgeteilten Arbeitsabläufen ein, welche für die maschinellen Investitionen auch mehr Kapital (insbesondere Fremdkapital) erforderten. Daraus entwickelten sich die Aktiengesellschaften von größeren Industriebetrieben mit an den Börsen handelbaren renditeträchtigen Aktien.

Die mit der Erfindung der Dampfma-

schine einsetzende Industrielle Revolution bewirkte, neben der massenweise Freisetzung von Arbeitskräften auf dem Arbeitsmarkt und der damit einhergehenden Verarmung großer Bevölkerungsteile, 1883 die Einführung der Gesetzlichen Sozial- (Kranken- und Unfall-)versicherung. 1889 folgte die Einführung der Rentenversicherung durch den Reichskanzler Otto von Bismarck.

Sie führte aber auch – wenn auch anfangs mit verhaltener Akzeptanz durch die Bevölkerung den „Dampf und Feuer speienden“ Maschinenungetümen gegenüber – zu einer gewaltigen Mobilisierung der Bevölkerung durch den Bau der Eisenbahnen.

Dieses neue Transport- und Personenbeförderungsmittel sorgte nicht nur während der Jahrzehnte währenden Bauzeit für den umfangreichen Ankauf von Erfindungen, Patenten und Lizenzen sowie von zum Betrieb notwendigen Energieträgern aus dem aufstrebendem Steinkohlenbergbau und Werkstoffen aus der Eisen- und Metallindustrie. Es ermöglichte auch den Transport von Gütern in die Industrietandorte und der Bevölkerung von und zu den Arbeitsorten. Wegen der hoheitsrechtlichen Planung des Geleisenetzes war die Eisenbahn schnell zu einem staatlichen, oder wenigstens teilstaatlichen Betrieb, angewachsen und ebenfalls darauf ausgerichtet, die Gewinne aus der Beförderung in die Eisenbahn selbst zu investieren und das Netz weiter auszubauen.

Die „Manager“ der Eisenbahnen waren tüchtige, zumeist technisch hochqualifizierte Staatsbeamte, deren Bezüge sich kaum mit den heutigen Manager-Salären vergleichen ließen. Wohl durften die damaligen „Manager“ und deren engere Familienangehörige als Privileg frei mit der Eisenbahn fahren, worauf sie aus Ersparnisgründen bei ihrem vergleichbar bescheidenen Einkommen auch angewiesen waren.

Die Wettbewerbsfähigkeit der Eisenbahn bestand in der Akzeptanz der Bevölkerung, statt zu Fuß oder per Pferdekutsche, sicher und zuverlässig zum Reise- oder Arbeitsziel zu gelangen. Dieses hatte selbst in den Not-, Kriegs- und Nachkriegszeiten höchste Priorität und funktionierte solange, wie die öffentliche Hand aus den „Zubußen“ der Eisenbahnbenutzer noch in das Eisenbahnnetz investieren konnte bzw. musste.

Ausgehend vom Ursprung nachhaltiger Investitionen, wonach dem Gemeinwohl dienende innovative Entwicklungen (die im

Montanwesen ihren Anfang genommen haben) zur produktiven Steigerung und Erhaltung menschlicher Arbeitskraft und zum Transport von Wertschöpfungen der damit befassten Personen beitragen sollen, stellt die Eisenbahn heute erst recht ein dem (öffentlichem) Gemeinwohl verpflichtetes unverzichtbares Beförderungsmittel dar, das – ganz besonders in der Schweiz – in vorbildlicher Weise mit entsprechenden hohen und nachhaltigen Investitionen (wie für die Gotthard-Tunnel Alpentransversale) für den Güter- und Personenverkehr intensiv genutzt, gewartet und staatlich gefördert wird. Dies ist eine der übrig gebliebenen großen Erfindungen aus den einstmalig kreativsten montanen Bereichen unserer kontinentalen Volkswirtschaft, die (noch!) an den ursprünglichen Zweck gebunden sind.

Eine weitere bedeutende Innovation aus dem 19. Jahrhundert ist die mit den zunehmenden Industrie Gründungen, der Mechanisierung und den Erzeugerkapazitäten sowie den dadurch verknappenden Rohstoffen „erfundene“ Kreislaufwirtschaft. Sie hat das Ziel, die verfügbaren Rohstoffe durch deren Wieder- und Weiterverwertung zu „strecken“ und nachhaltiger zu nutzen. Diese im späteren 20. Jahrhundert nach der überwundenen Mangelwirtschaft z.T. wieder „abhanden gekommene“ und zu Zeiten billiger Roh-

stoff- und Energiekosten vom Aufwand zuweilen (leider) auch belächelte Wirtschaftsweise wurde bereits 1885 von Karl Marx im „Kapital“ (Kritik der politischen Ökonomie, Dritter Band, 5. Kapitel, „Ökonomie in der Anwendung des konstanten Kapitals“), eingehend behandelt.

Als SERO-Wirtschaft gelangte die Kreislaufwirtschaft mit dem Einsatz von Sekundärrohstoffen in den 1980er Jahren in der DDR zu einem wirtschaftlichen Höhepunkt, um damit unabhängig von Rohstoffimporten gegen Devisen zu werden.

Die Überlegungen zum Kreislaufprinzip stützen sich auch heute (wieder) darauf, dass in einer Welt endlicher Ressourcen alle technisch möglichen Produktionsprozesse ohne einen konsequenten stofflichen Kreis(rück)lauf keine Zukunftschancen mehr haben. Schon jetzt zeichnet sich ab, dass die Verfügbarkeit der bislang genutzten fossilen Ressourcen, wie Erdöl, immer teurer bezahlt werden muss und dass die eigenen Ressourcen, einschließlich verfügbarer Ingenieurstechnik, Quellen neuerer innovativer Technologien darstellen, wie schon zur Industrie gründerzeit. Ein Beispiel repräsentiert das in Freiberg/Sa. entwickelte CHOREN-Verfahren, mit dem durch Biomassevergasung zuerst Sythesegas erzeugt wird, das danach in einem Fischer-Tropsch-Reaktor zu flüssigen Kohlenwasserstoffen (Kraftstoff)

umgesetzt wird (vgl. Heft 2007, S. 22). Es signalisiert auf dem Energiesektor der „Automobilisation“ ein erneutes Streben nach Unabhängigkeit und Autarkie.

Mit der Kreislaufwirtschaft sollte der Stoffkreislauf der Natur nachvollzogen und versucht werden, vermittels intelligenter(er) Nutzungen ohne Abfälle (zero waste) und ohne Emissionen (zero emission), Rohstoffe und Energie möglichst nachhaltig, ökologisch und sozial sinnvoll zu verwenden.

Zu jeder Zeit haben die traditionellen Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem umfangreichen technischen und kulturellen Wissensschatz, besonders aus dem Bergbau-, Hüttenwesen und den daraus hervorgegangenen Fachrichtungen und Berufen, zur Wiederbelebung von Innovationen zum Allgemeinwohl aus dem eigenen Verstand bei der Lösung heimischer Wirtschaftsprobleme beigetragen!

Die höchste Herausforderung an den Menschen ist dabei, als innovativer Konstrukteur und Nutzer von Erfindungen jederzeit in die Lage zu sein, Herr seiner Entwicklungen und Entscheidungen zum Wohle der Allgemeinheit zu bleiben.

Meinem verehrten Freiburger Freund, Professor em. Dr.-Ing. habil., Dr.h.c. mult. Klaus Strzodka, sei diese Arbeit posthum gewidmet.

■ Hans-J. W. Kutzer

## Johann Gottfried Tulla (1770 – 1828) – Freiberger Bergstudent, „Bändiger des wilden Rheins“ und Mitbegründer der Universität Karlsruhe

Unweit von Karlsruhe findet man am Rheinufer nahe der Maxau einen Gedenkstein, den Markgraf Max von Baden 1853 zu Ehren des „großh. badischen Oberst J. G. Tulla“ aufstellen ließ. Tulla war ein Student der Bergakademie Freiberg, der in den drei Bänden „Aus dem Leben alter Freiberger Bergstudenten“ von Schiffner und auch im Ergänzungsband nicht erwähnt wird.

Johann Gottfried Tulla wurde am 20. März 1770 als Sohn eines Pfarrers in Karlsruhe-Rüppurr geboren. Auf dem Lyzeum erwies er sich als hochbegabt, so dass der badische Markgraf seine weitere Ausbildung großzügig förderte. Da in Baden noch keine höheren technischen Lehranstalten existierten, wurde er zunächst vier Jahre lang im Privatunterricht zum Geo-

meter ausgebildet. Danach sandte ihn der Markgraf 1792 zur weiteren Ausbildung außer Landes. Tulla kam für zwei Jahre zu dem bekannten Mathematiker, Ingenieur und Salinendirektor Langsdorff nach Gerabronn bei Ansbach. Danach konnte er auf längeren Ausbildungsreisen technische Anlagen und Wasserbaumaßnahmen am Rhein, in Holland und Hamburg studieren.

### Tullas Studium in Freiberg

Da auf Tulla große Aufgaben in Baden warteten, schickte der Markgraf ihn nun zum Studium an die Bergakademie Freiberg, wo er am 7. Dezember 1794 eintraf. Das Semester hatte bereits begonnen, und Tulla

musste das Versäumte bei den Professoren im Privatunterricht gegen Bezahlung nachholen. Er berichtete nach Karlsruhe, Berghauptmann von Heynitz „habe wegen seiner Annahme zum dortigen Unterricht Anstand genommen, weil gewöhnlich deswegen vorher ... um Erlaubnis dazu angesucht werde“. Daraufhin reichte Tulla am 9. Dezember 1794 ein Gesuch an das Oberbergamt ein: „... Endes Untertogener ist von seiner Hochfürstlichen Durchlaucht ... auf Reisen geschickt, um weitere Kenntnisse in der Mechanik, Hydraulik, der Wasser- und Civilbaukunst, der Bergbau- und Salzwerkkunde ... sich zu erwerben.“ Berghauptmann Friedrich Anton von Heynitz gab einstweilen „Befehl, ihn zu allem zu lassen und machte ihn selbst mit den Lehrern bekannt“, wie

Tulla nach Karlsruhe schrieb. Da es sich bei Tulla um einen Ausländer handelte, reichte das Oberbergamt das Gesuch an „Seine Churfürstl. Durchlaucht zu Sachsen“ weiter. Erst am 15. Januar 1795 traf die Antwort aus Dresden ein, in der es heißt: „Wir wollen ... gnädigst geschehen lassen, dass dem Markgräfl. Badischen Civil-Ingenieur J. G. Tulla gebotenermaßen die Anhörung der Vorlesungen bey der Bergakademie zu Freyberg gegen das Lehrern gebührende Honorarium, sowohl auch die Befahr- und Besichtigung der Freybergischen und Obererzgebirgischen Berg- und Hüttenwerke ... gestattet werden möge ...“. Am 17. Januar 1795 teilte das Oberbergamt den Professoren Werner, Lempe und Lampadius sowie auch Tulla die offizielle Zulassung mit. Tulla wurde später die Matrikelnummer 447 zugeteilt. Leider sind im Freiburger Universitätsarchiv keine weiteren Unterlagen darüber vorhanden, welche Vorlesungen Tulla besuchte und welchen Prüfungen er sich unterzog. Aus Tullas Tagebuch wissen wir, dass er zunächst Mineralogie bei Prof. Abraham Gottlob Werner sowie Chemie bei Prof. Wilhelm August Lampadius hörte.

Vom 26. April bis 11. August 1795 unterbrach Tulla das Studium, um seinen früheren Lehrer Langsdorff auf Reisen zu Salzbergwerken nach Dänemark und Norwegen zu begleiten. Danach setzte Tulla vom 12. August 1795 bis zum Juni 1796 sein Studium in Freiberg fort. Er belegte Geognosie bei Prof. Werner, Markscheidkunst bei Prof. Lempe und beschäftigte sich vor allem mit dem Maschinenwesen. Er knüpfte freundschaftliche Bande mit „dem hiesigen Maschinisten“, der Tulla Kenntnisse über Aufbereitungs-, Poch-, Wasch- und Wasserhebemaschinen vermittelte. Dabei handelte es sich wohl um den andernorts genannten „Waschgeschworenen Krumpel“. Außerdem war aus Baden der Zimmergeselle Künzel nach Freiberg geschickt worden, der unter Krumpels und Tullas Anleitung Modelle für die Karlsruher Modellkammer anfertigte. Schließlich besichtigte Tulla unter anderem Bergwerke in Böhmen und das Hammerwerk Lauchhammer.

Nach dem Studium in Freiberg musste sich Tulla strengen Prüfungen bei Langsdorff sowie in Karlsruhe unterziehen, wobei die Aufgaben „ungemein gut aufgelöst“ wurden. Langsdorff schätzte ein, dass „Tulla ... hinlänglich geärndet hat, um in seinem Vaterland nunmehr Samen auszustreuen, der hundertfältige Früchte bringt“.



### Im badischen Staatsdienst

Die Anstellung Tullas im badischen Staatsdienst stieg bis zum Ingenieur-Oberst und Generaldirektor des Badischen Wasser- und Straßenbaus im Jahre 1817, wobei seine Bezahlung allerdings stets recht knapp ausfiel. Das neue Großherzogtum Baden reichte inzwischen von Basel bis Heidelberg. 1805 lehnte Tulla den Ruf auf eine hochdotierte Mathematik-Professur an der Universität Heidelberg aus Pflichtbewusstsein ab. Stattdessen gründete er 1807 die Ingenieurschule Karlsruhe nach dem Vorbild der École Polytechnique Paris. 1825 wurde die Ingenieurschule mit der Bauschule Weinbrenners und anderen Instituten zur Polytechnischen Schule Karlsruhe vereinigt. Daraus entstand die heutige Universität Karlsruhe, die Tulla und Weinbrenner als ihre Gründer betrachtet. Heute ist der Tulla-Hörsaal das repräsentativste Auditorium der Universität, und der Tulla-Preis entspricht etwa dem Freiburger Cotta-Preis. Eine Tulla-Büste steht im Alten Bauingenieurgebäude.

1799 erfand Tulla das Dampfschiff, wobei allerdings die Unterlagen verloren gingen. Er leitete ab 1806 die Triangulärvermessung Badens einschließlich des Rheins und entwickelte dazu eine eigene mathematische Methode. Das von Tulla geplante vorbildliche Straßennetz Badens war ein Grund dafür, dass Baden lange als deutsches „Musterländle“ galt. Auf dem Wasserbaugesbiet sind zunächst die von Tulla geplante Linth-Regulierung in der Schweiz und die Begradigung von Rhein Nebenflüssen zu nennen. Berühmt wurde Tulla jedoch durch sein Lebenswerk, die von ihm geleitete Rheinregulierung von Basel bis zur hessischen Grenze

auf einer Länge von 266 km – das größte Wasserbauprojekt des 19. Jahrhunderts. Der Oberrhein bestand damals aus zahlreichen Armen, die ständig ihr Bett verlagerten und Überschwemmungen sowie Versumpfung weiter Landstriche mit Seuchengefahr bewirkten. Tullas Ziele bei der „Rheinrektilifikation“ waren ein festes Flussbett durch Begradigung und Einengung des Flusses mittels Durchstichen durch die Mäander, der Bau von Dammanlagen zum Hochwasserschutz sowie außerdem Entsumpfung, Landgewinn und Verringerung der Seuchengefahr. Für diese Rheinrektilifikation mussten Verträge mit den Nachbarn Frankreich und Bayern geschlossen werden. Deshalb begann die Rheinbegradigung erst 1817 und zog sich bis 1879, lange nach Tullas Tod, hin. Durch die Rektilifikation schrumpfte der Rhein zwischen Basel und Worms um 81 km. Die Rheinbegradigung verbesserte die Lebenssituation der Anwohner im 19. Jahrhundert, indem die oben genannten Ziele weitgehend erreicht und Voraussetzungen für die Schifffahrt geschaffen wurden, wodurch die Industrialisierung und damit der Wohlstand wuchsen. Aus heutiger Sicht stehen dem allerdings zahlreiche Nachteile für das Ökosystem gegenüber, wovon nur der Verlust großer Teile der Auenwälder, der Zusammenbruch des Fischfangs und die Verlagerung des Hochwassers weiter flussabwärts genannt werden sollen.

Tulla, der häufig an Krankheiten litt, starb während ärztlicher Konsultationen am 27. März 1828 in Paris. Sein Grab auf dem berühmten Pariser Friedhof Montmartre wurde vom badischen Großherzog für „ewige Zeiten“ aufgekauft.

Der bald nach seinem Tod schon legendäre „Bändiger des wilden Rheins“ wurde mit höchsten Orden Badens, Bayerns, Frankreichs und Russlands geehrt. 1874 errichtete man in Breisach einen Tulla-Turm und 1985 einen Tulla-Brunnen in Ludwigshafen. Zahlreiche Schulen und Straßen in Baden tragen Tullas Namen.

Goethe kannte den wilden Rhein aus seiner Strassburger Zeit. Tullas Rheinbegradigung war eine wichtige Anregung für die Schlusszene von „Faust II“, in der der greise Held zum Ingenieur wird und in der Gewinnung von Kulturland aus Sumpf und Meeresstrand die Krönung seines Lebenswerks erblickt. Tulla wollte mit seinem Lebenswerk diese Vision umsetzen.

Eine Literaturliste findet sich unter:

<http://tu-freiberg.de/vereine/vff/index.html>

■ Klaus Richter

# Chronik 2009

## 225 Jahre (1784)

- 25. Januar: † Carl Eugen Pabst von Ohain (\* 1718), 1769–1884 Berghauptmann am Oberbergamt in Freiberg; Besitzer einer bedeutenden Mineraliensammlung, die er Studenten und Besuchern der Bergakademie zugänglich machte
- 19. Juli: Friedrich Carl von Schenk geboren († 1866), Student 1807–1810, Geheimer Rat, Direktor der Bayerischen General-Bergwerks- und Salinen-Administration

## 200 Jahre (1809)

- 13. März: Carl Friedrich Heinrich Credner geboren († 1876), Student 1838–1841, Oberbergatrat und Dezernent im Ministerium in Hannover, Geheimer Bergatrat in Halle, zahlreiche mineralogische und geologische Veröffentlichungen

## 175 Jahre (1834)

- 6. April: Carl Ernst Hermann Menzel († 1916), Student 1855–1859, 1914 Ehrendoktor der Bergakademie, Bergamtsrat (Referat Kohlenbergbau) am Bergamt Freiberg, Vorsitzender der Kommission für die Staatsprüfung der Markscheider, Schriftleitung des Jahrbuches für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen
- 23. Dezember: † Ernst Rudolph Freiherr von Manteuffel (\* 1797), Student 1813, Oberhüttenverwalter bei den Freiburger Hütten, auch Verfasser von Gedichten über das Leben und den Beruf des Hütten- und des Bergmannes

## 150 Jahre (1859)

- 22. April: Paul Uhlich geboren († 1905), 1890–1905 Professor für Markscheidekunde und Geodäsie
- 6. Mai: † Alexander von Humboldt gestorben (\* 1769), Student 1791/92, preußischer Bergbeamter, Privatgelehrter, universeller Naturforscher
- 13. Juni: Ewald Hilger († 1934), 1928 Ehrensenator der Bergakademie, einer der bedeutendsten Bergleute seiner Zeit, ab 1900 als Geheimer Bergatrat Leiter der Bergwerksdirektion Saarbrücken, ab 1905 für 17 Jahre Generaldirektor der Vereinigten Königs- und Laurahütte zu Siemianowitz in Oberschlesien, verschiedene Ehrenämter, unter anderem Vorsitzender der Fachgruppe Bergbau des Reichsverbandes der deutschen Industrie
- 15. November: Oscar Birkner geboren († 1932), 1902–1922 Professor für Volks- und Staatswirtschaftslehre, Finanzwissenschaft sowie Berg- und Hüttenstatistik, bereits ab 1892 als Bergamtsassessor (1900 Bergamtsrat) außerordentlicher Dozent für Berg- und Hüttenstatistik, 1921 Oberbergamtsrat
- Erster Student aus Asien (Indien) an der Bergakademie

## 125 Jahre (1884)

- 20. Mai: Friedrich Schumacher geboren († 1975), 1920–1946 Professor für Geologie und Lagerstättenlehre, 1933–1935 Rektor der Bergakademie
- 11. August: † Isaias Carl Gustav Richter (\* 1833), Professor an der Forstakademie Tharandt, 1882–1884 nebenamtlich Vorlesungen über Volks- und Staatswirtschaftslehre und Versicherungswesen an der Bergakademie, 1874–1882 Abgeordneter des Deutschen Reichstages, zuletzt Sekretär des Reichstages
- 19. September: Kurt Pietzsch geboren († 1964), 1959 Ehrensenator der Bergakademie, Chefgeologe der Außenstelle Freiberg des Geologischen Dienstes der DDR, 1950–1960 Lehrbeauftragter an der Bergakademie für Regionale Geologie von Sachsen, später erweitert auf Geologie von Deutschland sowie Mitteleuropa

## 100 Jahre (1909)

- 7. Februar: † Curt Adolph Netto (\* 1847), Student 1864–1869, Direktor von Blei- und Silbergruben bei Hokkaido/Japan, 1877 Professor für Bergbau- und Hüttenkunde an der Universität Tokio, 1897 Vorstandsmitglied, ab 1902 Aufsichtsratsmitglied der Metallurgischen Gesellschaft Frankfurt a. M., einer Tochter der Metallgesellschaft
- 13. Februar: Joachim Wrana geboren († 1986), 1950–1974 Professor für Elektrotechnik, 1963–1965 Rektor der Bergakademie
- 28. Februar: Nikolai W. Melnikow geboren († 1980), 1979 Ehrendoktor der Bergakademie, Professor, Rektor der Akademie der Volkswirtschaft beim Ministerrat der UdSSR
- 26. Mai: Werner Rademacher geboren († 1973), 1966–1969 Professor für Themische Braunkohlenveredlung, Wärmewirtschaft und Feuerungstechnik sowie 1969–1973 Professor für Reaktionstechnik und Brennstofftechnik
- 18. Oktober: Wolfgang Buchheim geboren († 1995), 1950–1975 Professor für Theoretische Physik und Geophysik
- 6. November: Einweihung des Corpshauses des Studentencorps „Teutonia“, Nonnengasse 35 (heute der Sitz des Staatsbetriebs Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Ständige Bauleitung Freiberg)

## 75 Jahre (1934)

- 3. Januar: † Georg Heinrich Wahle (\* 1854), 1883–1891 Professor für Allgemeine Rechtskunde und Bergrecht, 1891–1898 Direktor des Bergamtes Freiberg; danach Tätigkeit am Sächsischen Finanzministerium, zuletzt übte er von 1917 bis 1922 als Präsident der Oberrechnungskammer (später Staatsrechnungshof) eines der höchsten Ämter Sachsens aus, 1924 Ehrendoktor der Bergakademie
- 15. Juni: † Paul Erich Wandhoff (\* 1879), 1918–1934 Professor für Markscheidekunde und Geodäsie, 1926–1928 Rektor der Bergakademie
- Der Freiburger Fremdenverkehrsverein beginnt mit den öffentlichen Grubenbefahrungen in der „Alten Elisabeth“.

## 50 Jahre (1959)

- 1. Januar: Bildung einer Abteilung Tiefbohrtechnik, die unmittelbar dem Dekan der Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen unterstellt wurde (komm. Leiter: Prof. Werner Gimm)
- 5. Januar: † Friedrich Adolf Willers (\* 1883), 1928–1934 Professor für Mathematik und darstellende Geometrie, aus politischen Gründen entlassen
- 5. März: † Karl Kegel (\* 1876), 1918–1941 und 1945–1950 Professor für Bergbaukunde, Brikettierung und Bergwirtschaftslehre, 1956 Ehrensenator der Bergakademie, gilt als letzter Polyhistor der Montanwissenschaften
- 5. August: † Johannes Steinbrecher (\* 1890), 1928–1937 Professor für Organisch-chemische Technologie an der Chemischen Abteilung des Braunkohlen-Forschungsinstituts

## 40 Jahre (1969)

- 21. Februar: † Eduard Maurer (\* 1886), 1925–1946 Professor für Eisenhüttenkunde, 1949–1960 Direktor des Eisenforschungsinstituts Hennigsdorf bei Berlin, Pionierleistungen bei der Entwicklung nichtrostender Stähle
- 17. September: † Hermann Jung (\* 1899), 1954–1964 Professor für Staub- und technische Silikoseforschung, Direktor des neugegründeten Instituts für Grubensicherheit und Arbeitsschutz
- 12. Oktober: † Kurt Ebert (\* 1900), 1953–1966 Professor für Rechtswissenschaften, Leitung der Senatskommission zur Vorbereitung der Zweihundertjahrfeier der Bergakademie 1965, 1965 Ehrensenator der Bergakademie

## 30 Jahre (1979)

- 1. September: † Alfred Kneschke (\* 1902), 1951–1953 Professor für Technische Mechanik und 1953–1967 Professor für Angewandte Mathematik, 1967 Ehrensenator der Bergakademie
- 7. Dezember: † Hans Matschak (\* 1901), 1956–1966 Professor für Bergmännische Wasserwirtschaft und Bodenmechanik

## 25 Jahre (1984)

- 11. Februar: † Waldemar Lorenz (\* 1930), 1969–1984 Professor für Informationsverarbeitung, 1982 Direktor des Organisations- und Rechenzentrums der Bergakademie
- 17. Dezember: † Dietrich Rotter (\* 1929), 1970–1984 Professor für Geomechanik, 1970–1976 Rektor der Bergakademie

■ Norman Pohl, Roland Volkmer

# Historische Fakten zur Geschichte unserer Universität komplettiert

Entstehungsbericht zur 2. Auflage des Werkes „Die Technische Universität Bergakademie Freiberg und ihre Geschichte“

Es ist fast 15 Jahre her, seitdem im Deutschen Verlag für Grundstoffindustrie von Prof. Otfried Wagenbreth die knapp 200 Seiten umfassende Schrift „Die Technische Universität Bergakademie Freiberg und ihre Geschichte“ erschien. Nach eigener Intention wollte der Verfasser vor allem die nach 1989 erfolgte Umstrukturierung der sächsischen Hochschullandschaft verdeutlichen und dabei Universitätsgeschichte „... nicht vordergründig wertend darstellen, sondern vorrangig die historischen Fakten selbst bieten.“ Es entstand eine Art Kompendium, ein Nachschlagewerk zur Entwicklung der Bergakademie und ihrer einzelnen Struktureinheiten sowie der Wirkung ihres früheren Lehrkörpers. Kurze Lebensläufe besonders bekannter Professoren der Bergakademie, aber auch die Nennung einzelner, bedeutender Absolventen mit der Angabe ihrer späteren beruflichen Entwicklung vervollständigten das Werk. Dieses wurde ohne Zweifel ein Bestseller seiner Art, weshalb es schnell vergriffen war, denn etwas Gleichwertiges zur Geschichte der Bergakademie hatte es bis dahin nicht gegeben.

Der Gedanke, „den Wagenbreth“, wie man die Schrift oft verkürzend nannte, wieder herauszugeben, war zwar ab und an geäußert worden, aber erst die wiederholte Forderung von Dr. Klaus Irmer, endlich eine Neuauflage in Angriff zu nehmen, brachte den Stein ins Rollen. Von dessen Idee ließ sich auch der damalige Rektor, Prof. Georg Unland, schnell begeistern und so wurde aus der Idee ein Auftrag. Nach Durchsicht der Schrift waren sich die „designierten“ neuen Verfasser, die Herren Dr. Norman Pohl, Roland Volkmer und Herbert Kaden, ziemlich rasch darüber einig, dass es bei einer Neuauflage im herkömmlichen Sinne in Anbetracht der seit der Erstauflage erfolgten erheblichen strukturellen und auch personeller Veränderungen an der TU Bergakademie Freiberg nicht bleiben konnte. Immerhin war in den Jahren seither ein erheblicher Kenntnisfortschritt eingetreten, der auch eine teilweise Neu-einschätzung historischer Entwicklungen und Prozesse nach sich ziehen musste. Die Strukturen der Bergakademie – wie die der Fakultäten und ihrer Institute, der Zentralen Einrichtungen und der Verwal-

tung – hatten zum Teil entscheidende Veränderungen erfahren. Die nach 1990 aus den alten Sektionen gebildeten Fachbereiche waren abgeschafft worden und neue, fakultätsübergreifende Einrichtungen wie das IÖZ hatten sich etabliert. Ein Blick auf die heutige Institutslandschaft macht diese zwischenzeitlich eingetretenen Veränderungen deutlich und selbst die Verwaltungsstruktur stellt sich uns heute ganz anders dar als die vor 15 Jahren.

Eine solche Art „Neuauflage“, die es nicht bei einigen wenigen Korrekturen des Vorhandenen bewenden lässt, sondern die Erstfassung erheblich erweitert und dabei auch vollkommen Neues in Textform entstehen lässt, ist keine einfache Sache, sie verlangt Behutsamkeit und Achtung vor dem Ursprungswerk und dessen Verfasser. Schließlich geht es auch um die Beachtung der Rechte des Urhebers. Der heutige Staatsminister für Finanzen, Prof. Unland, war es dann, der sich mit Prof. Wagenbreth, bei dem die Herausgeberrechte lagen, schnell über die Notwendigkeit einer überarbeiteten und wesentlich erweiterten Version seines Werkes einigen konnte. Neben der erheblichen Arbeit, die auf die neuen Autoren zukam, fehlte eigentlich nur noch ein Ereignis, zu dem man das dann neue Werk hätte präsentieren können. Auch dieser Termin war schnell gefunden – die Einweihung der terra mineralia im Schloss Freudenstein am 20./21. Oktober 2008, zumal Prof. Wagenbreth, dessen Lebenswerk die Neuauflage seiner Schrift zugleich gewidmet ist, stets eine besondere Affinität zur Geologie und Mineralogie und zu deren hervorragenden Vertretern auszeichnete.

Von Beginn an bestand Konsens darüber, in das Werk von 1994 nur dort einzugreifen, wo es der inzwischen eingetretene Erkenntnisgewinn als geboten erscheinen ließ. So wurden zwar aus heutiger Sicht einige weitere historische, auf die Bergakademie und deren Entwicklung Bezug habende Ereignisse neu in das Werk aufgenommen, Daten insbesondere zu Personen überprüft, ergänzt oder sogar revidiert – wobei es nicht in jedem Fall gelang, bislang fehlende Geburts- oder Sterbedaten ehemaliger Professoren oder Absolventen zu ermitteln, selbst

wenn diese als „bedeutend“ ausgewiesen waren – insgesamt jedoch trägt der erste Buchteil immer noch die Handschrift von Prof. Wagenbreth. Das allerdings, was sich seit der ersten Auflage an wichtigen Ereignissen und Veränderungen an der Universität vollzogen hatte, musste erst erarbeitet werden, was in Anbetracht der Vielzahl vorhandener Informationen nicht immer eine leichte Aufgabe war. Die Autoren gingen dabei arbeitsteilig vor; zu dem gemeinsam ausgearbeiteten Gesamtkonzept trug jeder von ihnen im Wesentlichen dasjenige bei, wovon er durch Beruf oder Interesse am ehesten prädestiniert zu sein schien. Hinsichtlich der Einschätzung stattgefundener historischer Ereignisse hielten sich die Autoren weitestgehend an die eingangs zitierte Absichtserklärung von Prof. Wagenbreth.

Entstanden ist eine Schrift, die „den Wagenbreth“ noch deutlich erkennen lässt und die durch eine Vielzahl neuer Informationen zur Entwicklungsgeschichte der Bergakademie, insbesondere der seit 1993/94 vollzogenen, angereichert wurde. Wegen seiner grundlegenden Bedeutung stellt das Jahr 1994 zugleich die wesentlichste Zäsur des Werkes selbst dar. Die wichtigsten strukturellen Veränderungen innerhalb der Fakultäten und Institute, der Zentralen Einrichtungen und der Verwaltung der TU Bergakademie Freiberg wurden erfasst und die in dieser Zeit an der Bergakademie wirkenden Hochschullehrer, soweit dies unter Beachtung datenschutzrechtlicher Bestimmungen möglich war, mit ihren Geburts- und/oder Sterbedaten aufgeführt. Schließlich trug Dr. Klaus Irmer, dem die Bildredaktion oblag, durch einen überarbeiteten Bildteil, der historische Aufnahmen von Personen oder Gebäuden der Bergakademie enthält, zu einer wesentlichen visuellen Aufwertung des Bandes (so zumindest die Auffassung der Autoren) bei.

Das Werk liegt pünktlich zur Eröffnung der „terra mineralia“ vor und bietet auf 346 Seiten – einschließlich des Farbbildteils von 32 Seiten – sowie eines nun extra beigelegten Personenregisters fundierte Informationen. Bleibt nur zu hoffen, dass auch diese 2. Ausgabe einen großen, interessierten Leserkreis finden wird.

■ Herbert Kaden

# Zum Thema Evaluation und Leistungsvergleich – ein Gedankenspiel

**Essay von Prof. Dr. Jörg Matschullat, Institutsdirektor Mineralogie und Prodekan der Fakultät 3 der TU Bergakademie Freiberg**

## Prolog



Um es gleich vorzuschicken: ich bin nicht grundsätzlich gegen Evaluation und Leistungskriterien sowie -vergleiche, im Gegenteil. Doch erscheint es mir notwendig, darauf hinzuweisen, dass mit diesen Begriffen und der zu ihrer Umsetzung nötigen Praxis ebenso Schindluder getrieben werden kann (und wird) wie auch ohne den damit verbundenen und notwendigen (erheblichen) Aufwand an Zeit und Personen. Ob Aufwand und Nutzen sich am Ende die Waage halten, haben andere zu beurteilen.

Zunehmend werden letztlich altbekannte Verfahren der Ermittlung von Leistungen zum Vergleich zwischen einzelnen Personen, Struktureinheiten sowie Standorten auch im Wissenschaftsbetrieb eingeführt. Erklärtes Ziel ist in der Regel eine objektivere Entscheidungsgrundlage für Ausgaben und Investitionen bzw. auch für individuelle Leistungsbezüge und Zielvereinbarungen mit Mitarbeitern.

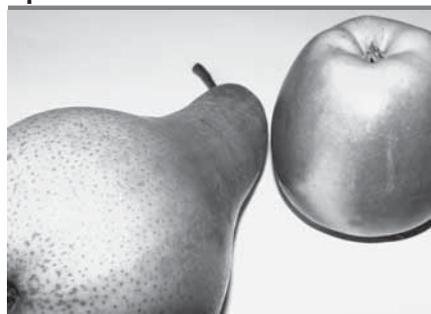
So einleuchtend und sinnvoll dies grundsätzlich sein mag, so sehr verstecken sich auch zahlreiche Fußangeln in diesem Beritt, so dass es als Voraussetzung einer rationalen Vorgehensweise und mit der Prämisse echter Fairness den Beteiligten gegenüber als notwendig erscheint, auf einige dieser strukturellen Probleme hinzuweisen. Dabei hat dieser Beitrag vor allem die Geowissenschaften in Deutschland im Auge, wobei nach Meinung des Verfassers die Aussagen auch problemlos auch andere naturwissenschaftliche

Fächer mit experimenteller Ausrichtung übertragen werden können.

## Transparenz der Ziele

In nicht wenigen Fällen werden zum Teil sehr aufwändige (hier vor allem externe) Evaluationsverfahren eingerichtet, um Entscheidungen der Politik (Hochschulleitung, Landesministerium, etc.) leichter durchsetzen zu können. Derartige Verfahren missbrauchen oft die Mitglieder der entsprechenden Kommission, weil es nicht wirklich darum geht, unabhängige Aussagen zu erhalten, sondern weil „Feigenblatt“-Argumente gesucht werden, um die eigene Entscheidung als (vermeintlich) objektiv darstellbar zu machen. Diese Verfahrensweise gibt es in zahlreichen Variationen und sie ist weder fair noch ehrlich. Gerade Evaluationsrunden innerhalb eines Bundeslandes sind in dieser Hinsicht kritisch zu hinterfragen; die vergangenen Jahre haben zahlreiche Verfahren erlebt, in denen es nahezu ausschließlich darum ging, spätere Kürzungsentscheidungen auf diese Weise mit einem Mantel vermeintlicher Qualität zu „rechtfertigen“. Die oft anzutreffende Abwehrhaltung gegen jegliche Evaluation und Festlegung von Leistungskriterien speist sich allzu oft aus derartigen Erfahrungen oder der Kenntnis dieser.

## Äpfel und Birnen



Wissenschaftler bzw. deren Arbeit sind nicht gleich und auch nur unter bestimmten Randbedingungen direkt miteinander zu vergleichen. So kann weder direkt zwischen Wissenschaftlern verschiedener Fachrichtungen noch zwischen Universi-

tätswissenschaftlern und jenen an bundesstaatlichen Forschungszentren oder Max-Planck-Instituten verglichen werden, weil sowohl die spezifischen Aufgaben (Stichworte Fachkulturen, Lehre versus Forschung) signifikant verschieden sein können, als auch die strukturelle Ausgangsbasis (Ausstattung etc.). Vor allem, weil an Universitäten (nicht nur) in Deutschland trotz Exzellenzinitiativen materieller Mangel herrscht, sind die entsprechenden Voraussetzungen für eine hochwertige und effiziente Forschungsarbeit denkbar heterogen verteilt. (Jenen, die nun auf die durchaus als überdurchschnittlich zu bezeichnende Infrastruktur an der TU Bergakademie Freiberg verweisen, sei gesagt, dass ein Großteil dieser Infrastruktur mitnichten aus den Zuweisungen des Freistaates Sachsen an die Universität, sondern aus unabhängig akquirierten Drittmitteln der Freiburger Wissenschaftler finanziert wurde).

Wer Zweifel an der Kernaussage hegt, möge sich die Mühe machen und den monetären (Steuergelder-)Aufwand allein anhand der Jahresbudgets (ohne Personalkosten) bei den deutschen Forschungszentren (Helmholtz, Leibniz, Blaue Liste, etc.) den Budgets vergleichbarer universitärer Einrichtungen gegenüberstellen. Am einfachsten gelingt dies über eine direkte Normierung pro Kopf Wissenschaftler (keine Teilzeitstellen, keine Doktoranden – nur Haushaltsstellen). Wie viele Haushaltsmittel stehen dieser Person zur Verfügung, wie viele Anteile vom technischen und vom Verwaltungspersonal? Diesem „Eintrag“ lässt sich dann ein „Austrag“ gegenüberstellen: Publikationen, referiert und nicht-referiert, h-index, Patente, Auszeichnungen, Drittmittelinwerbung, Impact, sowie – weil ja ebenfalls eine nicht zu vernachlässigende Leistung: die Zahl der bei dieser Person ausgebildeten jungen Menschen: Bachelor und Masterstudenten oder Diplomanden, Doktoranden und Post-Doktoranden. Dies sind übrigens die Kriterien des Wissenschaftsrates, welche durchaus als ausgewogen und rational angesehen werden können.

Der geeignete Leser wird staunen – wenn er sich dieser Mühe unterzieht – und vermutlich von bisherigen Ansich-

ten zur Finanzierung sowohl der größten Rohstoffreserve Deutschlands, nämlich der Kreativität und des Engagements der jungen Generation, als auch des Rückgrats unserer Wirtschaft, nämlich der forschungsbasierten Innovation, abrücken und ganz schnell zu neuen Auffassungen gelangen.

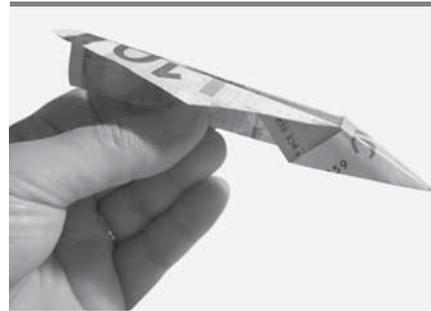
## Beispiel



An einem der Fairness wegen anonymisierten Beispiel möchte ich dies illustrieren und nutze die Mannschaft des Instituts für Mineralogie der TU Bergakademie Freiberg als reale Basis. Die Daten können jederzeit belegt werden (Jahresberichte 2007).

Ein renommiertes deutsches, nicht-universitäres Forschungsinstitut für Geowissenschaften ist in seiner Haushaltsstellengröße zufällig mit dem Institut für Mineralogie an der TU Bergakademie vergleichbar (ohne unsere Sammlungen); selbst die Arbeitsflächen (Quadratmeter Labor und sonstige Fläche) sind sehr ähnlich. Nicht vergleichbar hingegen sind die Finanzen. Die staatlichen Haushaltsmittel (ohne Drittmittel) betragen dort das 28fache (!) bei den Haushaltsmitteln zugunsten der nicht-universitären Einrichtung; im Drittmittelerwerb war diese Einrichtung nur um den Faktor 2,4 stärker. Als Ausdruck von Produktivität und Sichtbarkeit wird generell der Anteil an referierten Publikationen gewertet. Zusätzlich zählen Promotionen als Ausweis der wissenschaftliche Leistung und Nachwuchsförderung. Im Ergebnis stehen ein Faktor von 3 (nicht 30) bei den referierten Publikationen zugunsten der nicht-universitären Forschungsinstitution und ein Gleichstand bei den Promotionen. Bei diesem Vergleich ist auch zu berücksichtigen, dass wir hier an der Universität in erster Linie viele Studierende unterrichten und ausbilden (Haupt- und Nebenfächler) und dies hauptsächlich (bezüglich der Zahlen) in „wissenschaftlich“ kaum ertragreichen Bachelor-Studiengängen.

## Das liebe Geld



Quelle: pluspunkt.at

Es war bereits die Rede von staatlichen Geldern. Für viele Entscheidungsträger scheint der Wert von Wissenschaft und Wissenschaftlern stark daran gekoppelt zu sein, wie erfolgreich diese darin sind, Drittmittel einzuwerben (die dann auch die staatliche Förderung weniger wichtig erscheinen lassen). Fakt ist, dass die heutige staatliche Förderung (nicht nur) in Sachsen nicht einmal mehr erlaubt, die sog. Grundausstattung an Geräten und Infrastruktur für die Lehre einschließlich der Praktika aus Haushaltsmitteln zu finanzieren. Sieht man sich darüber hinaus die Listen des Statistischen Bundesamtes an, in denen die Leistung von Universitäten und Fachbereichen verglichen wird, dann lohnt auch hier ein zweiter und tieferer Blick hinter die Kulissen. Vordergründig gibt es eine klare Rangfolge z. B. der „pro-Kopf-Professor“ eingeworbenen Drittmittel. Es fällt allenfalls die außergewöhnliche Spreize auf, die bei den Geowissenschaften zwischen weniger als 1.000 Euro bis über 600.000 Euro pro Person und Jahr reicht (Faktor > 1.000). Ein Blick hinter die Kulissen hilft, diese Varianz leichter zu verstehen. So liegen Standorte mit Meeresforschung ebenso im Spitzenfeld wie jene, die am Ort einschlägige Max-Planck-Institute, Fraunhofer Gesellschaften oder sonstige Großforschungseinrichtungen haben. Deren führende Wissenschaftler sind meist zugleich an den benachbarten Hochschulen engagiert und deren Mittel werden (verständlicherweise) den Hochschulmitteln zugerechnet. Es lohnt sich, genauer zu schauen, wo das Geld im „Spitzenfeld“ bleibt: Sind es „Durchlaufmittel, die nur mittelbar der Forschung und Lehre dienen können (letzteres fast gar nicht), wie zum Beispiel die Kostenbeteiligungen an den Schiffsmieten? Oder sind es gemittelte Zahlen, in denen anteilig Gelder inbegriffen sind, die eine Person – die zugleich an einem Forschungszentrum aktiv ist – erwirtschaftet, und die damit verbundenen Drittmittel in die Statistik des Universitäts-Fachbereiches einfließen?

## Fazit



Evaluation und Leistungsvergleiche sicherlich ja, aber nur zwischen vergleichbaren Einheiten und mit einem entsprechend transparenten und fairen Ansatz. Dann kann es sogar Freude machen, sich im „edlen Wettstreit“ zu vergleichen. Der Wissenschaftsrat hat dazu konstruktive Vorschläge gemacht, die allerdings in der Praxis sicher noch eine konkretere Anpassung an die verschiedenen Wissenschaftsbereiche erfahren müssten. Nicht ganz außer Acht lassen sollte man jedoch den bereits angesprochenen Arbeits- und Zeitaufwand für jegliche Art von Evaluierung und Leistungsvergleichen – ob sich dies, gerade im Bereich Wissenschaft, wirklich lohnt, bleibt eine offene Frage. Denn eines ist sicher: wirklich freie Wissenschaft ist vollkommen entkoppelt von jeglicher Art äußerer Zwänge – und Kreativität und Engagement lassen sich weder erzwingen, noch kurzfristig über Kennzahlen erfassen. Hier sind langer Atem, Vertrauen und Zuversicht nötig – eine Investition, die sich stets auszahlt (wenngleich weder in Legislaturperioden noch in den üblichen Laufzeiten einer Dekan- oder Rektorenamtszeit). Zugleich jedoch bedarf es durchaus der Anreizsysteme (und der Möglichkeit zur Eingrenzung von Freiheitsgraden), um überdurchschnittliche Leistung zu belohnen bzw. ungenügende Leistung in angemessenem Umfang zu sanktionieren.

Allerdings darf auch nicht verschwiegen werden, dass à priori ungenügende Ausgangsbedingungen (Grundausstattung, Infrastruktur) Wissenschaftlern bei weitem nicht die Möglichkeiten der Entfaltung und Leistung bieten können, wie es im positiven Fall geschieht. Geld ist definitiv nicht alles (siehe das Beispiel oben), doch zu wenig Geld ist ein Bremsklotz, der auch mit noch so ausgefeilten Evaluationsansätzen nicht aus dem Weg geräumt werden kann.

Freiberg, den 15. Oktober 2008

PS: Entstanden ist dieser Essay als eine Frucht des internen Evaluationsprozesses meiner Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau – eine lehrreiche und spannende Erfahrung.

## Kurioses an der Freiburger alma mater

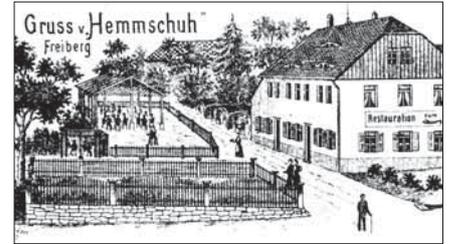
### „Und denkt der Zeit, wo's Aug' zum ersten Mal das weltberühmte alte Freiberg schaute“

Aus dem Freiburger Studentenleben vor 150 Jahren

Schauen wir auch einmal – ähnlich wie es einst Prof. Theodor Scheerer in seinem 1866 in Knittelversen verfassten Büchlein „Akademische Bilder aus dem alten Freiberg“ rückblickend auf seine Studienzeit getan hat – auf das Freiburger Studentenleben vor 150 Jahren zurück. Dieses Mal kleiden wir die Schilderung nicht in Verse, sondern nehmen das Leben der Studenten in der Stadt und an der Bergakademie wohl am besten anhand eines Tagesablaufs in Augenschein.

Schon in den zeitigen Morgenstunden störte es viele Studenten sehr, wenn das Bergglöcklein vom Petriturm früh 3 Uhr und 4 Uhr beim Schichtwechsel läutete. Begannen doch die Vorlesungen, die man zur damaligen Zeit noch Kolleg nannte, erst vormittags und umfassten den Besuch bei solch bekannten Professoren wie August Breithaupt (Mineralogie), Ferdinand Reich (Physik), Julius Ludwig Weisbach (Bergmaschinenlehre, Maschinenbaukunst, Markscheidekunst), Carl Bernhard von Cotta (Kristallographie), Theodor Scheerer (Theoretische, praktische und analytische Chemie) oder Franz Wilhelm Fritzsche (Allgemeine Hüttenkunde). Zu den Kollegien ging man in Bergmannstracht, zu mündlichen Prüfungen in Kittel und Arschleder, die Professoren trugen dabei goldbestickte Jacken mit hohem Kragen. Montags war vorlesungsfrei, an den anderen Tagen wollte nicht jeder zeitig aufstehen und versäumte schon mal seine Pflichten. Passierte dies öfters, ging es ab in den „Karzer“, ein Studentengefängnis, das ab Ende 1848 eingerichtet wurde, um Vergehen mit einer „einfachen“ oder „geschärften“ Strafe zu ahnden (vgl. Heft 2007). Dort war ein Karzerbuch vorhanden, in das der Student sein Delikt selbst eintragen musste. So schrieb Paul Grabowsky aus Zwickau: „Wegen Schwänzen, Ungehorsam, Aufgaben nicht eingeben und wegen Lügenhaftigkeit, und als man zu mir kam, um nachzusehen, ob es auch an dem sei, da war ich ganz gemütlich bummeln gegangen.“ Bummeln in der Stadt war meist in der Woche oder an den Wochenenden angesagt. Wenn das Bergglöcklein 12 Uhr geläutet hatte, begab man sich zum Mit-

tagessen in eine der Freiburger Gaststätten mit annehmbaren Preisen, wie zum „Stern“ (Zum Goldenen Stern, Erbische Str.) oder zur „Garküche“ (Gasthof Zur Garküche, heute Hotel Kreller). Das Essen kostete monatlich 10 Taler. Viele Studenten lebten auf Pump, was damals oft üblich war. Dabei gab sich der Wirt von der „Garküche“ sehr liberal, indem er monatelang die Mittag- und Abendzeche anscrieb, ohne zu mahnen. Vergessen sollte man nicht, dass nach dem Mittagessen viele Studenten und auch einige Professoren, darunter von Cotta, in das Kornhaus gingen, das als Turnhalle diente und wo täglich von 12 bis 13 Uhr Übungen stattfanden. Im Juni 1856 hatte sich nämlich in Freiberg ein Turnverein gebildet, der zu solchen allgemeinen Veranstaltungen aufrief. Zurück zum Bummeln auf den Promenaden um die Stadt. Bei diesem „Promenieren“ traf man oft auf den Studenten gewogene Mädchen und verabredete sich zum Beispiel zum Tanze. Man half auch den „bornholenden Christeln“ beim Tragen der Wasserkannen. Diese Mädchen schöpften das Wasser aus Quellen, die in der Nähe von Freiberg lagen. Die Studenten gingen auch auf den sogenannten „Strich“. Unter dem „Strich“ verstand man eine „Flaniermeile“, die von der Burgstraße über den Obermarkt in die Erbische Straße hinein reichte. Dort zeigte man sich in der damaligen Kleidung, in Bergmannstracht, einem aus Tuch gefertigten Kittel, eventuell ein großer Mantel darüber, später im Gehrock bis der „Plaid“ aufkam, ein kariertes, wollenes, großes Umschlagtuch, das elegant über die Schulter geworfen wurde und sogar auch als Regenschutz diente. An besonderen Tagen in der Stadt, wie am „Streittag“ am 22. Juli oder beim „Reiterschießen“ im Juni ging man im „Wichs“. In diesem Wichs zeigten sich vor allem die Studenten der Vereinigungen, der Korps, in einer Uniform mit hohen Stiefeln, für deren Reinigung ein Wichsier oder Stiefelfuchs – meist ein alter Berginvalide – sorgte. Nachmittags fanden an bestimmten Tagen im Jahre 1843 eingeführte bergmännische Praktika über und unter Tage statt, wobei das erworbene Wissen



angewendet werden konnte. Das führte die Studenten enger zusammen. Ging es doch manchmal danach gleich zum „Hutten“ oder in eine Kneipe in der Stadt. Für das „Hutten“ (eigentlich ein gemütliches Beisammensein in einer Huttenstube) machte sich die Gaststätte „Zum Hemmschuh“ einen Namen, deren Wirtsleute den Studenten ein Butterbrot mit Käse und eine Flasche Bier reichten. Die Studenten der Markscheidekunde zeichneten sich dadurch aus, dass sie es verstanden, ihr Praktikumsende so einzurichten, dass bei barometrischen Höhenmessungen zum Schluss ein Punkt auf der Haustürschwelle des „Hemmschuhs“ in das Nivellement mit einbezogen wurde.

Was zählte nun zu den abendlichen Gepflogenheiten der Studenten um 1858? Wie schon erwähnt, zog es die meisten von ihnen in die in Vielzahl vorhandenen Studentenkneipen resp. -gaststätten, von denen einige benannt werden sollen: „Zum Biertunnel“, „Elßigs Weinstuben“, „Küchlers Restauration“ (später „Bergmannsgruß“), „Löwenbräu“, „Zum Schwarzen Roß“, „BrauhoF“, „Zum Goldenen Löwen“ und natürlich „Zum Hemmschuh“. Sehr häufig besuchte man die „Hölle“ (die Kneipe „Zur Hölle“) am Theaterdreieck und bezeichnete dieses Stadtgebiet auch als „Hölle“, „Himmel“ (Nikolaikirche), „Teufelskapelle“ (Theater). In den Studentenkneipen kegelte man, spielte Billard, Bierramsch oder Schafskopf, rieb einen Salamander mit den Bierkrügen, wobei die Mitglieder der Studentenvereinigungen dominierten. Damals gab es die Korps „Montania“ und die „Franconia“, ab 1860 auch wieder das Korps Saxo-Borussia. Das Verhältnis der Korpsmitglieder zu den anderen Studenten war zur betrachteten Zeit gut und einvernehmlich.

Nach Doktorfeiern in der Gaststätte war es üblich, zum Obermarkt zu ziehen, um auf dem blauen Stein, wo Kunz von Kauffungen hingerichtet worden war, „einen Salamander zu reiben“. Jeder nahm seinen Bierkrug von der Kneipe mit, ein Bierfass wurde beim Wirt für 5 bis 7 Taler gekauft – ein solches hieß oft ein „August“, benannt nach dem beliebten

Professor Friedrich August Breithaupt. Es wurde auf einem kleinen Handwagen zum Markte gezogen, und dort vollzog man das Prozedere.

Nun wäre es müßig, den Nachhauseweg der Studenten nach ihren abendlichen bzw. nächtlichen „Gelagen“ – denn es wurde viel Bier getrunken! – nur kurz zu streifen, denn gerade hierbei hatten es die Studenten häufig darauf angelegt, sich mit den Ordnungshütern auseinanderzusetzen. Die meisten der Eintragungen im „Karzerbuch“ zum Beispiel legen von diesen nächtlichen Ruhestörungen und nächtlichem Unfug Zeugnis ab. Ein paar Beispiele von Delikten sollen hier angeführt werden, so der Eintrag von Carl Kellerbauer aus München: „Ich war so frei und schüttelte in einer schönen Nacht den bis über die Ohren verummten Polizeiwachtmeister, der einen gewissen „Herrn von Glass“ angegriffen hatte, derb ab, und die Polizei überließ (trauriges Institut!) meine Bestrafung der Disziplinarbehörde“. Oder der von C. J. Duval aus Alabama, Amerika: „Einst ging ich sonntags auf indirekten Wegen nach Hause vom Schwofe und war sehr durstig (nach dem Tanzen), so wollte ich die hohe Polizei zu Rathe ziehen und rief daher „Polizei!!“ und frug, wo ich zu dieser frühen Morgenstunde noch ein Fässchen Bier bekommen könnte und wurde deshalb wegen Verhöhnung der hohen Polizei zu drei Tagen geschärften Carcer verdammt. Schändlich! Schändlich! Schändlich!“. Oder der Eintrag von Carl Adolph Hering aus Marienberg: „Dieses armselige Käsekeulchen und Thiergemüse soll Bürgern und Polizisten meuchlings mit bloßer Faust eine freiere Aufathmung verschafft haben“.

Wie man erkennt, hatten es die Studenten aber auch am Tage auf die Gesetzhüter abgesehen. So hat sich der später berühmt gewordene Clemens Winkler als Student an verschiedenen Streichen beteiligt, u. a. mauerten die Studenten einmal in ausgelassener Stimmung in einer kalten Winternacht alle Eingänge zum Freiburger Rathaus mit großen Buchenscheiten und Schnee zu, um die „säbelklirrenden“ Hüter des Gesetzes zu foppen. Oder, man strich das am Hotel Schwarzes Roß (jetzt „Alte Mensa“) befindliche Aushängeschild – ein hölzernes Pferd – über Nacht vollkommen mit weißer Farbe an.

Nahte nun das Wochenende, verabredete man sich zum Konzert, zum Tanz, zu Ausflügen in die nahegelegenen „Bierdörfer“ oder zu Ausflugsgaststätten der Umge-

gebung. Im „BrauhoF“ zum Beispiel fanden jeden Sonntag Konzerte und Tanz statt, ebenso im Gasthaus Friedeburg (früher Hainichener Straße), Tanz auch in der „Hornmühle“ (Hornmühlenweg). In diesen Gaststätten bedienten drei schöne Wirtstochter: die Brauhof-Anna, die Friedeburg-Berta und die Hornmühlen-Karoline. Es waren sehr charmante Mädchen, aber nur zum „Anhimmeln“. Junge Damen beim Tanze hatten oft von den Studenten vergebene Spitznamen. So wurde zum Beispiel ein Mädchen, das eine obere Zahnreihe merkwürdigerweise aus abwechselnd weißen und dunklen Zähnen besaß, als das „Klavier“ bezeichnet. Beliebt waren natürlich auch die „Bierdörfer“, wie die „Rosine“ in Langenrinne, wo Pfingsten ein Morgenkonzert, Stangenreiten und -klettern, Topf- und Hahnschlagen für das notwendige Amusement sorgten, der Gasthof „Zum Letzten Dreier“ oder das „Stollnhaus“ in Zug, wo man manchmal eine „Opernaufführung“ improvisierte und dabei die Rollen der Damen durch Verwendung der bereits genannten „Plaids“ als Kleid humorvoll übernahm. Schließlich sollte man einige beliebte Ausflugsgaststätten anführen, wie den „Gasthof Kleinschirma“, die Gaststätte „Zur Oelmühle“ in Oberschöna oder die „Hammermühle“ in Halsbach. Zum „Vogelschießen“ ging es auch am Wochenende in die Umgebung, so nach Conradsdorf, Tuttendorf oder Kleinwaltersdorf.

Letztlich fand an einem Wochenende im Juli in „Brand“ ein Schützenfest – das „Königsschießen“ – statt als auch am Himmelfahrtstag ein Jahrmarkt. Beide Veranstaltungen brachten ganz Freiberg auf die Beine. Wollte man weiter in die Ferne schweifen, fuhr man mit der Postkutsche zu einem der alten Stadttore hinaus, um zum Beispiel nach Tharandt zu gelangen. Dort traf man sich häufig mit Studenten der ab 1816 eingerichteten staatlichen Forstakademie oder benutzte gar den Zug, der ab 1855 zwischen Tharandt und der sächsischen Metropole Dresden verkehrte. Erst ab August 1862 war dann schließlich zwischen Freiberg und Dresden Eisenbahnbetrieb. Vom Studentenleben vor 150 Jahren in Freiberg gäbe es bestimmt noch mehr zu berichten, doch wollen wir es bei dieser Darstellung belassen und mit Theodor Scheerers Worten aus seinem interessanten Büchlein unseren Exkurs in die Vergangenheit beschließen: „Sei's beim Abschied Allen zugerufen: Strebet vorwärts! Blickt auch gern zurück!“

■ Ernst Menzel

## Junghans' Garten

**Die TU Bergakademie betreibt seit 1919 mit den Gruben „Alte Elisabeth“ und „Reiche Zeche“ ein Bergwerk für Lehre und Forschung. Zur sicherheitstechnischen Betriebsüberwachung darf ein Bergbaubetrieb, zu dem beide Gruben zählen, nur aufgrund eines von der Bergbehörde zugelassenen Betriebsplanes geführt werden. Prof. Junghans, Leiter des Wissenschaftsbereiches Technische Sicherheit und Arbeitsschutz der Sektion Geotechnik und Bergbau, hatte sich in mühevoller Arbeit auf der Halde der Grube „Alte Elisabeth“ einen kleinen Garten angelegt. Er brachte keine Erträge, das ließ die Bodenbeschaffenheit nicht zu, war aber für ihn nach der Arbeit ein Ort der Ruhe und Entspannung. Nun ist nach 1990 die Bürokratie nicht geringer worden, das zeigt der folgende Schriftwechsel.**

■ Manfred Bayer

Prof. em. Dr. Rudolf Junghans  
Freiberg

An das sächsische Oberbergamt  
Herrn Oberhilfsdezernenten ...  
über den Herrn Präsidenten ...  
Freiberg

Freiberg, 27. April 1992

Sehr geehrter Herr ...,  
bei einem Gespräch am 13. April 1992 haben Sie mir erneute Vorhaltungen darüber gemacht, dass ich für meine private Gartennutzung auf dem Haldengelände der Lehrgrube „Alte Elisabeth“ keinen von der zuständigen Behörde genehmigten Betriebsplan vorweisen kann. Tief zerknirscht und voller Reue reiche ich pflichtgemäß den Betriebsplan nach. Ich bitte um wohlwollende Prüfung. Nach erfolgter Genehmigung sollte ein feierlicher Umtrunk an Ort und Stelle an einem Wochenende erfolgen.

Mit grandiosem Glück auf  
Rudolf Junghans

Anlage: Betriebsplan

**Betriebsplan für das Gartengrundstück „Alte Elisabeth“, Freiberg***Junghans' Garten*

Besitzer: Bergakademie Freiberg  
 Pächter: Prof. em. Dr. Rudolf Junghans, Vorsitzender des Kegelklubs „Rakete“  
 Zeitraum: 1. April – 31. Oktober 1992

Es wird gebeten, folgende bergmännische Schwerpunktaufgaben (s. beiliegenden Lageplan) zu genehmigen:

**1. Schürfarbeiten**

Das Ziehen flacher Schürfräben zum Pflanzen von Steckzwiebeln (Marke „Hosenjodler“) wird beantragt. Eine Erweiterung auf die Marke „Konzertäpfel“ wird erwogen.

**2. Geologische Erkundung**

Das Auffahren einer kurzen Erkundungsstrecke (ohne Ausbau) ins unverritzte Feld ist vorgesehen. Es dient dem späteren Ausstreuen von Jungfernsamen im Interesse der Aufzucht bergmännischen Nachwuchses.

**3. Geotechnische Probleme**

Rutschungen an Beetböschungen sind möglich. Evtl. Schäden an Menschen und Material sind unwahrscheinlich.

**4. Wasserhaltung**

Die Wasserversorgung ist kompliziert. Sie erfolgt mittels 80 m Gartenschlauch aus einem Hydranten in einen 1 m<sup>3</sup> Förderwagen. Diese schwere körperliche Arbeit ist einem in Ehre emeritierten Professor der königlich-sächsischen Bergakademie nur selten zuzumuten. Die tatkräftige Hilfe durch junge Mitarbeiter des Oberbergamtes wird erwartet.

**5. Wetterführung, Explosionsgefahr**

Die Wetterführung ist problemlos. Bei länger ausbleibenden Regenfällen ist mit ständigen Ameisenplagen zu rechnen. Im Volksmund wird dann das Gartenland als „forztrocken“ bezeichnet! Auf dem Gelände (außerhalb des Gartens) befindet sich ein Plumpsklo (hinter der Bergschmiede) für eilige Besucher, die am Vortage Hülsenfrüchte gegessen haben. Im Hauptgebäude der Lehrgrube ist ein WC installiert, dessen Benutzung durch den Gartenpächter nicht im Pachtvertrag vorgesehen ist. Die Gefahr von Darmverschlingungen ist gegeben. CH<sub>4</sub>-Konzentrationen innerhalb der Explosionsgrenzen sind in der Umgebung der Exkrementen-Abgabestelle nicht gemessen worden. Eine unmittelbare Schlagwettergefahr besteht demnach nicht, zumal es an Zündquellen mangelt.

**Allgemeine Ordnung und Sicherheit**

An sonnigen Tagen wird das gesamte Gelände von Markscheide-Studenten einschl. fragwürdiger Aufsichtspersonen heimgesucht. Diese schleppen komische Instrumente, Meßplatten und Protokolltafeln herum. Diese besondere Gruppe Menschen strahlt schlechtes Benehmen aus, lärmt und trinkt auch Bier. Mitunter wird der Gartenpächter zum Mittrinken aufgefordert, was er aber voller Entrüstung ablehnt. Dem Oberbergamt wird empfohlen, an Tagen markscheiderischer Messeinsätze auf Befahrungen im Gebiet der „Alten Elisabeth“ zu verzichten.

**Sprengmittelwesen**

Der Einsatz bergmännischer Spreng- und Zündmittel ist nicht vorgesehen. In speziellen Härtefällen wird mit Schwarzpulver und Gift gegen Wühlmäuse vorgegangen.

Ich bitte untertänig um Genehmigung dieses Betriebsplanes. Die vom Oberbergamt zu entrichtende Zulassungs-Freudengebühr beträgt 33,33 DM. Bei Barzahlung werden 50 % Rabatt gewährt.

Mit empfindsamem „Glück auf“

Rudolf Junghans,

Gartenpächter auf Zeit



Obertägige Anlagen der „Alten Elisabeth“

Zeichnung: Bruno Wildemann, 2005

## Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Wolfgang Förster zum 75. Geburtstag



1933 in Chemnitz geboren, besuchte Wolfgang Förster ab der 5. Klasse das damals als Oberschule bezeichnete Gymnasium in Stollberg. Der Vater, der als Maurer- und Zimmerermeister ein Bauunternehmen südlich von Leipzig führte, sorgte für baldigen Kontakt zum Handwerk. Den größten Teil seiner Ferien während der Oberschulzeit verbrachte Wolfgang Förster als Zimmererumschüler auf väterlichen Baustellen. Unter anderem ermöglichte das die Aufnahme eines Bauingenieurstudiums schon unmittelbar nach dem Abitur 1951 an der TH Dresden. In seinem Semester war er neben immer noch vielen Kriegsteilnehmern einer der Jüngsten. Mit einem von diesen älteren, an raschem Studienabschluss interessierten Kommilitonen fertigte er die Vielzahl der damals bei den Bauingenieuren in Dresden üblichen Belege. Und so war er noch nicht 24 Jahre alt, als er im Wintersemester 1956/57 die Diplomprüfungen im Konstruktiven Ingenieurbau ablegte.

Politische Ursachen waren verantwortlich dafür, dass er während seiner Studienzeit von zu Hause aus materiell kaum unterstützt werden konnte. Er erhielt Leistungsstipendien, arbeitete für freischaffende Ingenieure, als Hilfsassistent an den Lehrstühlen für Darstellende Geometrie und Technische Mechanik und kam schließlich unter Prof. Schuberts Einfluss als Hilfsassistent und nach dem Diplom als Assistent an das Institut für

Baugrundforschung der TH Dresden, an ein Institut, das unter anderem aus dem Freiburger Nachlass des verstorbenen Professors Kögler entstanden war. Hier hatte Prof. Neuffer ihm die Übungen zur Grundbaustatik übertragen, war mit ihm gemeinsam gutachterlich tätig und schrieb mit ihm Lehrbriefe für den Grundbau.

Wirren um die Nachfolge von Prof. Neuffer in Dresden, nicht zuletzt aber auch der Gedanke, dass für eine erfolgreiche Arbeit in der Boden- und Felsmechanik ein solides theoretisches Fundament notwendig ist, führten Wolfgang Förster 1959 an das damals unter Leitung von Prof. Rüdiger zu den Besten in der DDR zählende Institut für Mechanik nach Freiberg mit einem leistungsfähigen und hoch anerkannten Mitarbeiterkreis.

1962 hat Wolfgang Förster mit einem Thema aus der Kontinuumsmechanik promoviert. 1964 erhielt er einen Lehrauftrag auf diesem Gebiet für Mathematiker.

Der Tod von Prof. Rüdiger gab Wolfgang Förster Gelegenheit, in die Geomechanik zurückzukehren. 1965 ging er zur AGM, der Arbeitsstelle für Geomechanik der Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW), die unter Leitung von Professor Werner Gimm stand. Es war eine Arbeitsstelle, die in der Hauptsache gebirgsmechanische Forschung für den Bergbau-Tiefbau betrieb. Der Ankereinsatz, vor allem aber die Standsicherheit von Grubenräumen beim Kammer-Pfeilerbau im Kalibergbau waren seine Arbeitsgebiete. Letzteres fand dann auch den Niederschlag in seiner Habilitationsschrift 1968. Aus dem Bauingenieur war langsam der Bergmann geworden.

Mitte der sechziger Jahre begann aber auch die Planung des Pumpspeicherwerkes Markersbach. Die AGM hatte sehr bald die Funktion des Generalgutachters in allen gebirgsmechanischen Fragen für dieses Bauvorhaben, und Wolfgang Förster ist wohl einer der wesentlichsten Träger dieser Aufgabe gewesen, die ihn noch bis in die siebziger Jahre beschäftigte. Als eine große Hilfe erwies sich dabei, dass er gemeinsam mit dem späteren Professor Karlheinz Schlüßler und Herrn Meier, einem Mathematiker des DBI, die ersten einsatzbereiten FEM-Programme in der DDR schuf, die schließlich effektives Arbeitsmittel für die Untersuchungen zur Standsicherheit der Kaverne Markersbach und der Stollensysteme wurden. Die Zusammenarbeit mit Ingenieurgeologen,



Pumpspeicherwerk Markersbach, Unterbecken

mit Dr. Hans Hänichen in Freiberg und Dr. Erhard Dittrich in Jena führte zu weiteren Aufgaben im Talsperrenbau. Voraussetzung seiner gutachterlichen Tätigkeit war immer eine solide theoretische Basis. Außer als Hochschullehrer erwies er sich aber stets auch als leidenschaftlicher Ingenieur.

Ende der sechziger Jahre gab es gravierende Einschränkungen für die Rohstoffgewinnung und Verarbeitung in der DDR. Das bedeutete vorübergehend ein „Fastaus“ für alle mit dem Bergbau verbundene Fachrichtungen; selbst die Existenz der Bergakademie Freiberg schien gefährdet. Eine Fachrichtung Geotechnik, deren Absolventen wohl überwiegend im Bauwesen eingesetzt werden sollten, schien ein neues Tätigkeitsfeld zu sein. Dazu war der Lehrstuhl für Bergmännische Bodenmechanik von Professor Matschak wieder zu besetzen, 1969 vorläufig als Dozentur für Bodenmechanik, der allerdings alle Gebiete des Bauwesens zugeordnet wurden, die man für die Ausbildung der Geotechniker als notwendig erachtete. Wolfgang Förster wurde 1969 zum Dozenten, 1976 zum ordentlichen Professor berufen und trat damit ein Erbe an, das bis auf Franz Kögler zurückging, der in Freiberg von 1918 bis 1938 die bautechnischen Fachgebiete vertreten hatte und zu den Begründern der Bodenmechanik in Deutschland zu zählen ist.

Die Geotechnik war damals eine im deutschsprachigen Raum einmalige Fachrichtung. An ihrem Erfolg war Wolfgang Förster entscheidend beteiligt. Er hat die von Kögler begründete bodenmechanische Schule an der Bergakademie Freiberg wiederbelebt und zu einer „Freiberger Schule“ der Geotechnik des Bergbaus entwickelt. Neben der ungewöhnlich breiten

theoretischen Basis legte er allergrößten Wert auf moderne, leistungsfähige Versuchseinrichtungen. Einen besonderen An Schub auf diesem Gebiet brachte die ab 1979 von der Braunkohlenindustrie – der Bergbau hatte längst seine Bedeutung wiedererlangt – in Freiberg unter Leitung von Prof. Förster eingerichtete vielköpfige Forschungsgruppe. Sehr erfolgreich wurde von den Bodenmechanikern in Freiberg vor allem zu überkonsolidierten Tonen und Industrielandschaften, zum Setzungsfließen und den Maßnahmen dagegen sowie zur geotechnischen Gestaltung von Bergbaufolgelandschaften gearbeitet. Die Arbeitsmethoden entsprachen modernsten Anforderungen, die Ergebnisse stellten zu einem guten Teil international beachtete Leistungen dar.

Die Freiburger Bodenmechaniker wurden gemeinsam mit ihrem Chef unter Fachkollegen auch durch eine Vielzahl von zumeist mehrtägigen Weiterbildungsveranstaltungen in der Geotechnik bekannt, die sie in Zusammenarbeit mit der Bergbauindustrie in Freiberg und Siebenlehn durchführten. Oftmals waren sie wohl Auslöser vieler Sachverständigen-gutachten, die Wolfgang Förster, wiederum unterstützt durch seine Mitarbeiter, für fast alle Bergbauzweige des Inlandes, aber auch des Auslandes in Jugoslawien, Griechenland, Brasilien, Äthiopien und Syrien abgab. Sie wiederum zogen ausländische Aspiranten nach Freiberg.

Aber auch undankbareren Aufgaben hat sich Wolfgang Förster nicht entzogen. Über lange Jahre war er stellvertretender Sektionsdirektor für Forschung und danach Direktor der Sektion Geotechnik und Bergbau. Der Aufbau einer leistungsfähigen Sektionswerkstatt mit einer mechanischen Abteilung und einer für Elektronik sowie der Aufbau einer Arbeitsgruppe für Rechentechnik fallen in diese Zeit. Von 1986 bis 1988 stellte er sich der Hochschulleitung als Prorektor zur Verfügung. Politische Gründe standen – ganz gewiss zum Glück für ihn – einer weiteren Leitungskarriere im Wege.

Die Veränderungen der Jahre 1989/1990 haben ihn sicher in seinem Inneren sehr, aber wenig in seiner Arbeit berührt. Das vom Sächsischen Hochschulneuerungsgesetz geforderte Neuberufungsverfahren führte ihn wieder auf die Professur für Bodenmechanik, bergbauliche Geotechnik und Grundbau, die er bereits seit 16 Jahren innegehabt hatte. Mit dem ihm eigenen Tatendrang übernahm er die Leitung des neu erstandenen

Institutes für Geotechnik. Seinen Bemühungen, seinem guten Namen und sicher auch seinen Beziehungen war es zu verdanken, dass erhebliche Forschungsmittel und weitere Aufträge aus der Industrie eingeworben werden konnten. Mitarbeiter mussten nicht entlassen werden, im Gegenteil, der Lehrstuhl wuchs personell wieder an. Labor- und Feldausrüstungen konnten den Aufgaben entsprechend auf neuesten Stand gebracht werden. Ein für Feldversuche geeignetes Fahrzeug fuhr mit dem Logo des Institutes. Gegenstand der Forschungen waren in Fortführung der Arbeiten aus den achtziger Jahren die geotechnischen Probleme der Sanierung der Braunkohlennachfolgelandschaft und das Bauen auf Kippen. Eine anschließende Thematik betreute er fachlich auch noch nach dem Eintritt in den Ruhestand im Jahre 1999. Zu diesem Zeitpunkt fehlten noch 5 Monate an einer 30-jährigen, erfolgreichen Tätigkeit als Hochschullehrer.

Ein plötzlicher Übergang in den Ruhestand lag Wolfgang Förster nicht. Neben weiterer wissenschaftlicher Arbeit hatte er Interesse, als freischaffender Ingenieur, Sachverständiger und Gutachter tätig zu sein. 1990 schon war er Mitbegründer eines Ingenieurbüros für Umweltgeotechnik und Grundbau, zu dessen gutem Start er damals sicherlich ganz wesentlich beigetragen hat. Allerdings weitestgehend unabhängig von diesem Büro arbeitete er als Gerichtssachverständiger, begutachtete dem BMBF vorliegende Forschungsvorhaben, Auftraggebern der Industrie vorliegende Projekte und war selbst mit solchen beschäftigt. Auch in dieser Zeit sind von ihm noch Impulse ausgegangen, die von anderen aufgegriffen wurden und auch zu Einsparungen an Mitteln führten. Der Gedanke der Probelastung in setzungsfließgefährdeten Bereichen dürfte auf ihn zurückzuführen sein.

Zeugnis seiner Tätigkeit geben neben den vielen Gutachten für die Industrie 2 Bücher, mehr als 140 Veröffentlichungen, viele Vorträge. An ca. 90 Dissertations- oder Habilitationsverfahren an unserer und anderen Hochschulen war er als erster oder zweiter Gutachter beteiligt.

Seine Arbeit fand vielfache Anerkennung. Bereits zu Anfang der siebziger Jahre wurde seine Beteiligung am Entwurf der Schachtverschlüsse für den Gasspeicher Burggraf-Bernsdorf mit dem Orden „Banner der Arbeit“ ausgezeichnet. Er ist „Verdienter Bergmann“, eine Auszeichnung, die den Bauingenieur in ihm

besonders freute. Eine von ihm geleitete Arbeitsgruppe erhielt den Nationalpreis für Wissenschaft und Technik. Wolfgang Förster wurde in die Akademie der Wissenschaften der DDR berufen. Als einer der sehr wenigen Ostdeutschen nahm man ihn in die 1992 neugegründete Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften auf. Besonders erfreut war er 1998 über die Verleihung der Ehrendoktorwürde durch die Moskauer Staatliche Bergbauuniversität. Heute ist er außerdem Mitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften.

Natürlich war ein Mensch, der vieles bewegt und hohe Ämter bekleidet hat, auch Anfeindungen ausgesetzt. Dabei hat sich gezeigt, was Insider schon immer wussten: Bei allen Entscheidungen, ob sie in seiner Funktion als Wissenschaftsbereichsleiter, Sektionsdirektor oder als Prorektor getroffen worden sind, standen immer die fachliche Leistung bzw. der fachliche Aspekt im Vordergrund.

Wie konnte über viele Jahre ein solches Arbeitspensum bewältigt werden? Neben den außergewöhnlichen Veranlagungen waren vor allem hohe Leistungsansprüche an sich selbst und seine Mitarbeiter die Triebfedern. Diesen versuchte jeder seinen Möglichkeiten entsprechend gerecht zu werden, weil nichts gefordert wurde, was Professor Förster nicht selbst zu leisten bereit gewesen wäre. Eine seiner Stärken war es eben, ein Chef zu sein, der das was er forderte, vormachte! Jeder der sich redlich bemühte, fand auch seine Unterstützung ohne Ansehen der Person und ohne dass er dabei auf die Uhr schaute.

Quellen seiner anscheinend nie versiegenden Kraft sind wohl der enge Zusammenhalt in der Familie, seine Frau, seine Söhne und Enkel, aber auch die Geschwister, die Literatur. Neuerdings kann man ihn, mit Kopfhörer Bücher hörend, antreffen und nicht zu vergessen die Musik, nicht nur die klassische, sondern auch der Jazz in seinen verschiedenen Spielarten.

So wünschen wir Professor Förster vor allen Dingen gute Gesundheit, damit er noch eine lange glückliche Zeit mit Familie und Freunden verbringen und privaten Neigungen nachgehen kann. Sicher wird auch in Zukunft der Eine oder Andere noch einmal Gelegenheit nehmen, seinen Rat in schwierigen geotechnischen Fragen einzuholen.

■ Manfred Walde

## Prof. Dr. Jörg W. Schneider zum 60. Geburtstag

Jörg W. Schneider ist Professor für Paläontologie an der TU Bergakademie Freiberg. Sein wissenschaftlicher Werdegang war ebenso außergewöhnlich wie vielfältig. Der 60. Geburtstag bietet eine willkommene Gelegenheit für eine kleine Retrospektive.

1948 im thüringischen Schwarza geboren, begann, noch als Gymnasiast, bereits Ende der 60er Jahre die wissenschaftliche Karriere von Jörg Schneider mit einer ersten Arbeit zu fossilen Schnecken aus einem holozänen Travertin seiner Heimatregion. Zwischen Abitur und Studium lag eine Tätigkeit als Bohrarbeiter bei einem Geologie-Bohrtrupp, was – neben seiner Fachausbildung als Agrotechniker – sicherlich dazu beitrug, die Verbindung von Theorie und Praxis bis heute als wichtiges Element der eigenen Arbeit zu pflegen.

Im Zuge der dem Geologiestudium an der Bergakademie folgenden Assistenz (bei Arno Hermann Müller) wandte sich Jörg Schneider vor allem der wissenschaftlichen Erforschung fossiler, paläozoischer Insekten zu – eine äußerst innovative Richtung jener Zeit. Entsprechende Arbeiten bestimmten maßgeblich sein Wirken während der nachfolgenden Jahre und ließen ihn zu einem der international bedeutendsten Forscher auf diesem Gebiet werden: Dissertation 1977 zum Thema „Zur Taxonomie und Biostratigraphie der Blattodea (Insecta) des Siles und Rotliegenden der DDR“, Habilitation 1981 zum Thema „Die Phylogenie der Blattodea und die Arealodynamik der Entomofauna im Jungpaläozoikum“).

Bereits Ende der 70er und in den beginnenden 80er Jahren dehnte sich das Arbeitsgebiet auf weitere Organismengruppen des Perms und Karbons sowie auf die Entstehung der Rotliegendevorkommen insbesondere Mitteleuropas aus und schloß neben paläontologischen und biostratigraphischen auch sedimentologische, paläogeographische, geochemische und weitere Fachgebiete mit ein. Auch waren es nicht mehr „nur“ Insekten. Auch andere Arthropoden, Haie oder Spurenfossilien wurden zu intensiv bearbeiteten Fossilgruppen. Erst diese Datenfülle ermöglichte es ihm, seine großen Korrelationsvorhaben anzugehen und die konti-

mental Lebens- und Ablagerungsräume jene Zeitraums klar zu erfassen. Die Forschungsergebnisse flossen bereits während seiner Dozentenzeit (1982–1987) stets in seine Lehre ein, dies um so mehr, als er 1987 Professor für Paläontologie an der Bergakademie wurde. Den Neubewertungen und den neuerlichen Ausschreibungen der DDR „Altprofessuren“ stellte er sich offensiv und erhielt 1992 den Ruf als C3-Professor für Paläontologie an die TU Bergakademie Freiberg.

Seit den 1990er Jahren ist seine Forschungsarbeit neben den paläobiologischen und praktischen Aspekten vor allem durch seine Anstrengungen zur interkontinentalen und globalen Korrelation kontinentaler und mariner Zeitskalen des Permokarbon geprägt. Hier ist er heute einer der international führenden Spezialisten. Das stratigraphische Spektrum seiner Arbeiten reicht vom Präkambrium bis zur jüngsten historischen Vergangenheit (Geologie und napoleonische Schlachten bei Jena) und deckt damit einen Zeitraum von etwa einer Milliarde Jahre ab. Zahlreiche Schüler, von Diplomanden über Doktoranden bis zu Habilitanden, belegen mit ihren Arbeiten das breite, differenzierte Interesse und den hohen wissenschaftlichen Anspruch ihres Betreuers.

Zahlreiche Forschungsprojekte führten Jörg Schneider auf 5 Kontinente, wo er nicht nur im Zuge von Gelände- und Universitätsaufenthalten arbeitete, sondern auch Kooperationen aufbaute, die bis heute funktionieren. Immer wieder führten ihn seine vielfältigen Interessen dabei auch in Arbeitsgebiete, die außerhalb der eigentlichen Paläontologie liegen, und erschloss sie sich als nützliche Werkzeuge – von der Geochemie (Isotope) über die Tektonik und Geophysik (Magnetostratigraphie, Log-Interpretationen) bis zur Statistik/Formanalyse von Gliederfüßern und zur 3D-GoCAD Modellierung lagerstättenrelevanter Einheiten.

Ausdruck seiner akademischen Exzellenz sind nicht zuletzt seine Wahl zum Vizepräsidenten der Deutschen Paläontologischen Gesellschaft, zum voting member der International Subcommission on Permian Stratigraphy und der International Subcommission on Carboniferous Stratigraphy der International Union of Geosciences, in die editorial boards mehrerer Fachzeitschriften sowie seine Berufungen als Gutachter im DFG-Fachkollegium „Geologie und Paläontologie“.

Einen großen Raum in der täglichen Arbeit von Jörg Schneider nehmen ausbil-



Prof. Jörg Schneider und Studenten bei geologischen Kartierungsarbeiten auf den Spuren der Dinosaurier.  
Foto: Jörg Schneider

dungsorganisatorische und administrative Arbeiten ein. Von 1989 bis heute hat er federführend an der Erarbeitung und Ausgestaltung von insgesamt sechs neuen Studien- und zugehörigen Prüfungsordnungen gearbeitet. Er ist seit vielen Jahren Studiendekan und lange Zeit parallel dazu auch Prüfungsausschussvorsitzender gewesen.

Sehr am Herzen liegt dem Jubilar die Arbeit mit Studenten. Sein immenses Engagement bei der studentischen Ausbildung (im Hörsaal, im Labor, im Gelände), bei der intensiven Betreuung von Diplomanden und Doktoranden sowie auch in der Studienwerbung ist für viele verblüffend („wie kann man das alles schaffen ...“). Sicherlich ist es ihm gerade deshalb eine (verdiente) Befriedigung, dass seine Lehrveranstaltungen regelmäßig Bestnoten von den Studenten erhalten, seine Vorträge nachgefragt sind und bislang jeder Absolvent des Bereiches Paläontologie nach seinem Abschluss bzw. seiner Promotion eine Arbeitsstelle gefunden hat.

Trotz all dieser zeitaufwändigen Arbeiten gelang es Jörg Schneider, mehr als 100 Publikationen zu veröffentlichen, mehrere Bücher mitherauszugeben, zahlreiche Forschungsberichte zu verfassen, eine Unzahl von internationalen Vorträgen zu halten sowie regelmäßig Tagungen in Freiberg zu veranstalten.

Die national und international exponierte Stellung der Freiburger Paläontologie ist maßgeblich mit dem Namen Schneider verbunden.

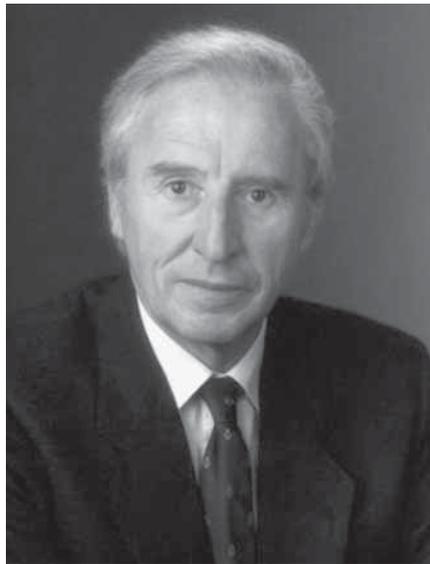
In herzlicher Dankbarkeit und mit besten Wünschen im Namen seiner Schüler, Freunde und Kollegen,

■ Olaf Elicki

# In memoriam Eckard Macherauch †

Am 10. Juli dieses Jahres verstarb in Durlach kurz vor Vollendung seines 82. Lebensjahres Prof.em. Dr.rer.nat. Dr.-Ing. E.h. mult. Prof.h.c. Dr.h.c. Eckard Macherauch. Mit seinem Tod verliert das Fachgebiet Werkstoffwissenschaft einen seiner besten Vertreter, der mit seinem erfolgreichen Wirken praktisch über ein halbes Jahrhundert die deutsche und nicht nur die deutsche Wissenschaftsszene nachhaltig prägte und gestaltete. Besondere Verdienste erwarb er sich um die nach 1990 stattgefundenen Integration der ostdeutschen Universitäten, insbesondere der TU Bergakademie Freiberg in die nunmehr gesamtdeutsche Forschungs- und Hochschullandschaft, wofür ihm unser besonderer Dank gebührt.

Eckard Macherauch wurde am 30. September 1926 in Stadtilm (Thüringen) geboren. Sein Studium der Physik schloss er 1953 mit einer Diplomarbeit bei Prof. Dr. Richard Glocker am Röntgeninstitut der Technischen Hochschule Stuttgart ab. Das muss wohl als Ausgangspunkt seiner sehr erfolgreichen Arbeiten zur Anwendung röntgenographischer Methoden für die Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung angesehen werden. Wenn man über Eigenspannungszustände in Werkstoffen bzw. röntgenographische Spannungsmessungen spricht, dann begegnet einem der Name Macherauch immer an vorderster Stelle. Bereits 1955 folgte die Promotion und 1960 die Habilitation an der technischen Hochschule Stuttgart, die *venia legendi* erhielt er für das Lehrgebiet Metallphysik. Gegenstand der Habilitationsarbeit war die Vielkristallplastizität, ein weit gefächertes Gebiet, dem er sich in vielfältiger Form Zeit seines Lebens und immer mit Blick auf eine technische Anwendbarkeit widmete. 1966 folgte er einem Ruf der Universität Karlsruhe auf den Lehrstuhl für Werkstoffkunde. Trotz einer Vielzahl weiterer ehrenhafter Rufe blieb er dieser Universität bis zu seiner Emeritierung treu und verwirklichte hier sein Verständnis von Werkstoffkunde als enge Verknüpfung naturwissenschaftlicher Grundlagen mit ihren ingenieurwissenschaftlichen Anwendungen, und das gleichermaßen in Lehre und Forschung. Kurz, er formte letztlich mit seinem Wirken



die sogenannte und weithin geschätzte „Karlsruher Schule“, aus der zahlreiche junge und heute sehr geachtete Hochschullehrer und Wissenschaftler hervorgegangen sind.

Wesentliche Themen seiner wissenschaftlichen Tätigkeit waren die Plastizität von Vielkristallen, das Bruchverhalten von Werkstoffen, die mechanische und thermische Ermüdung, Randschichtverfestigungen, mechanisches Werkstoffverhalten bei hohen Temperaturen, Wärmebehandlungsfragen und natürlich die Ermittlung, Berechnung und die Wirkung von Eigenspannungen in Werkstoffen. Die metallischen Werkstoffe standen dabei zweifelsohne im Vordergrund, jedoch erstreckten sich die Untersuchungen entsprechend seinem werkstoffwissenschaftlichen Grundverständnis auch auf das umfängliche Gebiet der nichtmetallischen Werkstoffe. Die Ergebnisse, die er und seine Mitarbeiter erzielt haben, spiegeln sich in mehr als 500 Veröffentlichungen wider, mit denen das Karlsruher Institut weit über die Grenzen Deutschlands bekannt wurde. Große Aufmerksamkeit widmete er der studentischen Ausbildung, sie war ihm mindestens genauso wichtig wie eine fundierte und erfolgreiche Forschung. Sein Buch „Praktikum in Werkstoffkunde“, das in mehr als zehn Auflagen erschienen ist, hat breiten Eingang in die Werkstoffkundausbildung an den deutschen Hochschulen gefunden. Mit seinen didaktisch ausgefeilten und jederzeit modernen Ansprüchen genügenden Vorlesungen und Seminaren gelang es ihm, viele Generationen von Ingenieurstudenten für das Fach Werkstoffkunde zu begeistern und zu besonderen Leistungen zu motivieren. Die uneigennützigte Förderung des aka-

demischen Nachwuchses sah er stets als eine seiner wichtigsten Aufgaben an. Dabei galt immer das Prinzip: Fördern durch Fordern, was die Geförderten nicht selten in Schweiß geraten ließ.

Für seine Jahrzehnte lange und äußerst erfolgreiche Tätigkeit als Hochschullehrer, Wissenschaftler, Institutsleiter, Mitglied des Verwaltungsrates seiner Universität und Mitglied des Wissenschaftsrates erhielt Eckard Macherauch vielfältigste Ehrungen und wohlverdiente Auszeichnungen. Exemplarisch dafür seien genannt: Emil-Heyn-Gedenkmünze als höchste Auszeichnung der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde 1985, Röntgen-Plakette der Gesellschaft der Förderer und Freunde des Deutschen Röntgenmuseums 1988, Adolf-Martens-Medaille der AWT, Fellow der American Society of Materials 1988, Karl-Wellinger-Ehrenmedaille der VDI-Gesellschaft Werkstofftechnik 1992, Erich-Siebel-Gedenkmünze des DVM 1997 ...

Seiner thüringischen Heimat fühlte er sich Zeit seines Lebens eng verbunden. Das mag vielleicht auch ein Grund gewesen sein, weshalb sich Eckard Macherauch unmittelbar nach der Wiedervereinigung Deutschlands mit hohem persönlichen Engagement für eine rasche und umfassende Integration ostdeutscher Hochschulfelder in die allgemeine deutsche Forschungs- und Universitätslandschaft einsetzte. Besondere Aufmerksamkeit widmete er dabei den Entwicklungen an der TU Bergakademie Freiberg. Mit gemeinsam gestalteten DFG-Projekten und der Einbeziehung in den damaligen Karlsruher Sonderforschungsbereich 167 „Hochbelastete Brennräume – Stationäre Gleichdruckverbrennung“ begann für das Institut für Metallkunde, nicht zuletzt in Anerkennung der wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit seiner Mitarbeiter, eine sehr förderliche Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkstoffkunde I in Karlsruhe, die noch heute Früchte trägt. Als Gutachter für Berufungsverfahren und Mitglied in Berufungskommissionen an der TU Bergakademie hat er sehr viel dazu beigetragen, dass die damals notwendige Hochschulerneuerung rasch und zielgerichtet vollzogen werden konnte. Seinen umfangreichen hochschulpolitischen Erfahrungsschatz brachte er in das Kuratorium der TU Bergakademie Freiberg ein, in dem er von 1995 bis 1998 höchst engagiert mitwirkte. Dem Verein Freunde und Förderer der Technischen Universität Bergakademie Freiberg gehörte er seit 1999 an. In Würdigung seiner außerordentlichen wissenschaftlichen

Leistungen, aber auch in Anerkennung seiner Verdienste um die Entwicklung der Bergakademie nach 1990 verlieh ihm die Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie unserer Universität am 27. November 1998 die Würde eines Doktor-Ingenieurs ehrenhalber.

Alle, die ihn persönlich kennen lernen durften, werden ihn als beeindruckenden Wissenschaftler, aber auch als einen Menschen mit hoher Ausstrahlungskraft und Allgemeinbildung, mit persönlichem Einfühlungsvermögen voller Vertrauenswürdigkeit, sachlich begründeter und unbestechlicher Urteilskraft sowie mit Begeisterungsfähigkeit und Vorbildwirkung für Jüngere in Erinnerung behalten. Die Bergakademie wird Eckard Macherauch in Dankbarkeit stets ein ehrendes Andenken bewahren.

■ Heinrich Oettel

## In memoriam Johann Köhler †



**Am 30. Dezember 2007, nur drei Tage nach seinem 87. Geburtstag, verstarb Altrector Prof. em. Dr. oec. habil. Johann Köhler.**

Sein verantwortungsbewusstes Wirken für die Entwicklung unserer Universität, vor allem als Rektor (1967 bis 1970) in heiklen Phasen der von der SED-Führung damals initiierten 3. Hochschulreform, die bleibende Bedeutung seiner theoretischen Arbeiten, mit denen er das Eindringen vulgärer Elemente in die marxistische Politische Ökonomie bekämpfte, und nicht zuletzt die gedankliche und sprachliche Brillanz seiner Vorlesungen und wissenschaftlichen Publikationen haben wir im 2006er Heft dieser Zeitschrift – anlässlich seines 85. Geburtstages – bereits zu würdigen versucht. Von Trauer bewegt, gaben zahlreiche ehemalige Studenten, Mitarbeiter, Freunde und Fachkollegen Johann Köhler – gemeinsam mit seiner Familie – am 8. Januar 2008 das letzte Geleit.

■ Peter Seidelmann

## Promotionen 1.7.2007 – 30.6.2008

### Fakultät für Mathematik und Informatik

Dipl.-Math. Elisabeth Ullmann 23.06.2008 Dr. rer. nat.

### Fakultät für Chemie und Physik

Dipl.-Math. Susanne Wiegand 06.07.2007 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Ing. Roland Wagner 13.07.2007 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Chem. Anke Schwarzer 20.07.2007 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Chem. Florian Hoffmann 31.08.2007 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Chem. Christian Lehnert 02.11.2007 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Kühne 16.11.2007 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Nat. Mario Winkelmann 22.11.2007 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Nat. Markus Zschorsch 14.12.2007 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Chem. Marten, Jan 11.01.2008 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Ing. André Günther 28.02.2008 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Chem. Tobias Gruber 29.02.2008 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Chem. Frank Ullrich 28.03.2008 Dr. rer. nat.

### Fakultät für Geowissenschaften,

#### Geotechnik und Bergbau

Dipl.-Ing. Jürgen Jauer 10.09.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. George Mtchedlishvili 12.10.2007 Dr.-Ing.  
M. Sc. Purevsuren Damiran 27.11.2007 Dr.-Ing.  
M. Sc. Quang Van Phan 27.11.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. (FH) Jan Retzlaff 30.11.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Tomasz Szary 14.12.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Pierre Schmieder 18.12.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Oleg Kaledin 18.01.2008 Dr.-Ing.  
Dipl.-Geol. Götz Leeder-Kamanda 08.02.2008 Dr. rer. nat.  
Dipl.-Geol. Sebastian Kolitsch 14.02.2008 Dr. rer. nat.  
M. Sc. Zurgaadai Gombosuren 11.04.2008 Dr.-Ing.  
M. T. Eka Priadi 27.05.2008 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Chris Reinhold 30.05.2008 Dr.-Ing.  
Ökonom.-Ing. Rares Munteanu 13.06.2008 Dr.-Ing.

### Fakultät für Maschinenbau,

#### Verfahrens- und Energietechnik

Dipl.-Ing. Abdulkader Kadauw 06.07.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Geol. Oleg Popov 13.07.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Thomas Schemmel 03.09.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Antje Hoche 13.09.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Lars Lorenz 04.10.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Jörg Kleeberg 02.11.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Dirk Bauersfeld 16.11.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Holger Dastis 23.11.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Marco Enderlein 30.11.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Muhammad Muhammadieh 10.12.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing.(FH) Bernd Disteldorf 12.12.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. (FH) Frank Holzapfel 17.12.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Agnieszka Bielecka 10.01.2008 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Gert Schmidt 01.02.2008 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. (FH) Michael Wünsche 21.02.2008 Dr.-Ing.

Dipl.-Ing. Manfred Ruffert 28.02.2008 Dr.-Ing.  
M. Sc. Zayed Al-Hamamre 04.03.2008 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Roman Sobol 28.03.2008 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. (FH) Stefanie Beyer 28.03.2008 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Bianka Wiener 03.04.2008 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Felix Homola 04.04.2008 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Jens Martin Strack 18.04.2008 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Wolfgang Schärfel 30.04.2008 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. (FH) Jan Deinet 20.05.2008 Dr.-Ing.

### Fakultät für Werkstoffwissenschaft und

#### Werkstofftechnologie

Dipl.-Ing. José Mácio Cavalcante de Sousa 26.07.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Martin Bellmann 20.08.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Hadi Moualla 18.09.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Jochen Caster 27.09.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Anja Buchwalder 18.10.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Artem Yusupov 26.10.2007 Dr.-Ing.

Dipl.-Ing. Stefan Berger 29.10.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Silvio Dutz 24.11.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. (FH) Roman Ritzenhoff 03.12.2007 Dr.-Ing.  
Dipl.-Ing. Tatiana Pavlovich 14.04.2008 Dr.-Ing.  
M. Sc. Wolfgang P. Weinhold 30.04.2008 Dr.-Ing.

### Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Dipl.-Kfm. Hans-Christian Winkelmann 06.07.2007 Dr. rer. pol.  
Dipl.-Volksw. Dirk Schilder 12.07.2007 Dr. rer. pol.  
Dipl.-Kfm. Maciej Piechocki 08.11.2007 Dr. rer. pol.  
Dipl.-Kfm. Andreas Michael Klossek 30.01.2008 Dr. rer. pol.  
Dipl.-Kfm. Gregor Miroslawski 10.06.2008 Dr. rer. pol.

## Habilitationen 1.7.2007 – 30.6.2008

### Fakultät für Geowissenschaften,

#### Geotechnik und Bergbau

Dr.-Ing. Nandor Tamaskovics am 21.08.2007 zum Dr.-Ing. habil.  
Dr. rer. nat. Volker Dunger am 21.08.2007 zum Dr. rer. nat. habil.

### Fakultät für Maschinenbau,

#### Verfahrens- und Energietechnik

Dr.-Ing. Helge Jansen am 11.09.2007 zum Dr.-Ing. habil.

## Ehrungen

### Ehrendoktorwürde für Unternehmer Peter Koch

Der Unternehmer Peter Koch erhielt die Ehrendoktorwürde an der TU Bergakademie Freiberg. Der Geschäftsführer der Nickelhütte Aue nahm die Ehrung am 9. Mai 2008 entgegen. Die Freiburger Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie würdigt damit die besonderen Verdienste von Peter Koch um die Wissenschaft und Ausbildung.

Unter der Leitung von Peter Koch arbeitet die Nickelhütte Aue seit Jahren eng mit der TU Bergakademie Freiberg zusammen. Die Nickelhütte Aue GmbH gehört zu den Gründungsmitgliedern der „Stiftung Technische Universität Bergakademie Freiberg“, in deren Stifterrat Peter Koch seit 2005 Mitglied ist. Dr. Koch unterstützt finanziell mit seinem Unternehmen das Schülerlabor „Science meets school“.



Peter Koch und seine Frau nach seiner Ernennung zum Dr. honoris causa. Foto: Christian Möls

### Dr. Tilo Flade für Förderung der Halbleiterforschung geehrt



Foto: Torsten Mayer

Dr. Tilo Flade ist neuer Ehrenbürger der TU Bergakademie Freiberg. Der langjährige Geschäftsführer der „Freiberg Compound Materials“ (FCM) nahm die Auszeichnung am 20. Mai 2008 im Vortragssaal des sanierten Schlosses Freudenstein entgegen. Der ehemalige Freiburger Student und Promovend wird für seine Förderung der Halbleiterforschung an der TU Bergakademie geehrt.

„Dr. Tilo Flade hat in außergewöhnlichem Maße die Forschung und Lehre auf dem für die Bergakademie so wichtigen Gebiet der Halbleiter gefördert und ge-



Prof. Homburg nach der Verleihung der Ehrendoktorwürde mit Prof. Schönfelder, Prof. Enke und Prof. Schlömann

fördert, und dies nahezu drei Jahrzehnte lang“, begründete der Rektor der TU Bergakademie Freiberg die Auszeichnung.“

### Ehrendoktorwürde für Professor Christian Homburg

Im Rahmen eines Festaktes am Freitag, dem 4. Juli 2008, wurde Herrn Professor Dr. Dr. h. c. Christian Homburg, Inhaber des Lehrstuhls für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Marketing, an der Universität Mannheim die Ehrendok-

torwürde der TU Bergakademie Freiberg verliehen. In seinem Festvortrag setzte sich Prof. Homburg mit dem Thema „Internationalität, Praxisnähe, Spitzenforschung – Deutsche Universitäten im Zielkonflikt?“ auseinander.

Mit der Verleihung der Ehrendoktorwürde an Prof. Homburg würdigt die Freiburger Universität dessen herausragende wissenschaftliche Leistungen, sein Engagement als Hochschullehrer und seine Verdienste um eine intensive Vernetzung von Forschung und Praxis.

■ Christian Möls, Christel-Maria Höppner (gekürzt)

# Honorarprofessur für Dr. Armin Müller



Prof. Müller hat großen Anteil daran, dass die TU Bergakademie Freiberg und die SolarWorld AG nun ein bundesweit einmaliges Exzellenzprogramm für Promotionen auf dem Gebiet der Photovoltaik anbieten können. Hintere Reihe: Kanzler Dr. Andreas Handschuh, Prof. Martin Bertau (Institut für Technische Chemie), Dr. Ralf Lüdemann (SolarWorld Innovations GmbH), Prof. Armin Müller (Sunicon AG). Vordere Reihe: Rektor Prof. Michael Schlömann, Prof. Peter Woditsch (SolarWorld AG). Foto: Torsten Mayer

## **Auf einem Festakt wurde Dr. Armin Müller am 15. Februar 2008 zum Honorarprofessor für das Fachgebiet Anorganisch-chemische Technologie berufen.**

Herr Dr. Müller wurde 1961 in Plauen geboren und absolvierte dort die Schulzeit bis zum Abitur 1980 mit sehr guten Ergebnissen. Im Anschluss an seinen Grundwehrdienst begann er im Jahre 1982 an der Bergakademie Freiberg mit dem Studium der Chemie. 1986 erwarb er hier den Abschluss „Diplom-Chemiker“ mit Auszeichnung.

Während seiner Doktorarbeit von 1986 bis 1989 war Herr Dr. Müller Assistent in Forschung und Lehre an der Sektion Chemie der Bergakademie Freiberg. Im letzten Jahr seiner Promotion warb Herr Dr. Müller ein Stipendium der Körber-Stiftung ein, das ihm einen Studienaufenthalt an der TU Clausthal-Zellerfeld ermöglichte.

Im Jahr 1989 wurde er in Freiberg zum Dr. rer. nat. promoviert. Seine Dissertation wurde mit dem Prädikat „summa cum laude“ bewertet. Frisch promoviert widmete sich Herr Dr. Müller von 1989 bis 1990 am Zentralinstitut für Anorganische Chemie der Akademie der Wissenschaften der

DDR unter der Leitung von Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Emons elektrochemischen Reaktionen in Salzschnmelzen.

Im Anschluss daran suchte Herr Dr. Müller nach einer reizvollen beruflichen Herausforderung, welche er bei der Bayer AG in Krefeld/Uerdingen fand.

Herr Dr. Müller begann 1991 seine Berufstätigkeit als Laborleiter in der Forschung, wobei er sich mit anorganischen Pigmenten befasste. Bereits ein Jahr später stand er dem Labor für betriebsnahe Forschung vor. Sein Arbeitsgebiet war nun auf Titandioxid-Pigmente fokussiert. Zu Beginn des Jahres 1994 nahm er eine Position als Laborleiter im Bereich Technisches Marketing an. Im Rahmen dieser Tätigkeit baute er ein Labor auf, das sich mit der Endanwendung der von ihm entwickelten Titandioxid-Pigmente befasste.

Im Jahre 1995 wurde das Silicium zu seinem Hauptbetätigungsfeld. Im ebenfalls in Krefeld/Uerdingen ansässigen Geschäftsbereich Photovoltaik der Bayer AG wurde er Betriebsleiter für die Fertigung von Siliciumwafern. Im selben Jahr begann seine Lehrtätigkeit als Dozent an der Technischen Akademie in Wuppertal.

Ab Juli 1996 führte Herr Dr. Müller seine Silicium-Aktivitäten in seiner alten Studienheimat bei der 1994 gegründeten Bayer Solar GmbH in Freiberg fort. Dort wurde er Produktionsleiter für den Bereich „Siliciumblockkristallisation und Säulenherstellung“. In dieser Funktion baute er einen gesamten Produktionsbereich auf. Zusätzlich übernahm er mit der Produktionsleitung auch die Leitung des Bereiches „Technischer Service und Logistik“ und baute das Qualitätsmanagement-System der Bayer-Solar GmbH auf.

Er leitete mehrere vom Bund geförderte Projekte.

Vor allem aber erweiterte er die Produktionskapazitäten substanziell. Im Jahr 2001 wurde ihm die Leitung des Bereiches Forschung und Entwicklung übertragen. Entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Photovoltaik installierte Herr Dr. Müller Laboratorien und Arbeitsgruppen. Im Jahr 2002 wurde die Joint Solar Silicon GmbH gegründet, ein Joint Venture der SolarWorld mit der ehemaligen Degussa, jetzt Evonik. Zusätzlich zu seinen Aufgaben bei der Deutschen Solar AG wurde Herrn Dr. Müller die Geschäftsführung übertragen. Er war maßgeblich daran beteiligt, die neue Firma aufzubauen. Seit 2007 ist Herr Dr. Müller Vorstandsmitglied der neugegründeten Sunicon AG.

Er hält seit 2003 als Lehrbeauftragter an unserer Bergakademie die Vorlesung „Industrielle Photovoltaik“. Sein Faible für das Vermitteln von Wissen, vor allem aber seine Fähigkeit, Begeisterung für sein Fach bei seinen Studenten zu wecken, macht seine Vorlesung seit ehedem mit bis zu 75 Studenten zu einer der am besten besuchten an der Fakultät. Die Hörer kommen aus der gesamten Bergakademie. Seine Lehrtätigkeit ist fest verankert in seinen Forschungsaktivitäten. 22 Patente und 25 Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Technischen Chemie stellen seine wissenschaftliche Kompetenz unter Beweis. Er unterstützt die Kompetenzoffensive Nachhaltigkeit der TU Bergakademie Freiberg und bietet Freiburger Studenten Möglichkeiten, Erfahrungen in der Solarindustrie zu gewinnen, z.B. im Rahmen von gemeinsamen Studien- und Diplomarbeiten oder als Werkstudenten. Eine zweistellige Zahl hochqualifizierter Absolventen der Bergakademie konnte er für die SolarWorld-Gruppe begeistern. Herr Dr. Müller ist auch auf dem Berg- und Hüttenmännischen Tag ein angesehener Vortragender.

■ Martin Bertau

## Rektor wird Finanzminister

**Prof. Georg Unland ist Finanzminister in Sachsen. Der neue sächsische Ministerpräsident Stanislaw Tillich berief den Rektor der Technischen Universität Bergakademie Freiberg am 18. Juni 2008 überraschend in sein Kabinett. „Ein solches Angebot darf man nicht ablehnen“, so Unland. „An der TU Bergakademie Freiberg habe ich immer einen Corpsgeist erlebt, mit dem Aufgaben konstruktiv gelöst werden konnten. Deswegen fällt es mir nicht leicht, Abschied zu nehmen.“**



## Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer zum Rektor gewählt

**Prof. Bernd Meyer ist neuer Rektor der TU Bergakademie Freiberg. Das Konzil wählte ihn am 4. November im zweiten Wahlgang in das Amt. Prof. Meyer setzte sich mit 64 von 111 abgegebenen Stimmen gegen seinen Mitbewerber Prof. Michael Schlömann durch.**

Die Amtszeit des neuen Rektors beginnt sofort. Prof. Meyer ist der 39. Rektor der TU Bergakademie Freiberg seit Einführung des Wahlrektorats von 1899. Die Neuwahl des Rektors war notwendig, da der im Jahr 2000 gewählte Rektor Prof. Georg Unland als Finanzminister in das sächsische Kabinett berufen wurde und damit vorzeitig aus seinem Amt ausschied.

Prof. Bernd Meyer stellte seine Vorstellung als künftiger Rektor unter die Überschrift „Fortsetzungskonzept“. Das bedeute für ihn, den von Rektor Georg Unland beschrittenen erfolgreichen Weg der TU Bergakademie weiter fortzuführen. Zur Umsetzung seines Konzeptes formulierte er sechs Punkte zu den Themen: Profil, Exzellenz, Internationalität, Wachstum, Dienstleistungen sowie Freiberg und die Universität. Zu den dabei angesprochenen Zielen gehörte unter anderem die Anwerbung von Spitzenforschern und -studenten, die Internationalisierung mit englischsprachiger web-Präsenz, die Entwicklung des Berg- und Hüttenmänn-



nischen Tages zu einer internationalen Tagung, Wachstumsimpulse durch Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen und Unternehmen sowie im deutschlandweiten Wettbewerb der Universitäten ein Exzellenzcluster unter Führung der TU Bergakademie zu installieren. Neue Akzente setzte er mit seinen Vorschlägen, das Corporate identity einschließlich der internen Kommunikation zu verbessern. Als Beispiele dafür nannte er einen Thementag, ein Uni-Betriebsfest und Sportinitiativen.

Wegen der anstehenden Reform des sächsischen Hochschulgesetzes und der damit verbundenen Neuwahl in etwa einem Jahr möchte Prof. Meyer diese Zeit zum Anchieben wesentlicher Punkte nutzen. Sein Ziel sei es, auch für die danach folgende Periode als Rektor zu wirken.

### Vita Prof. Bernd Meyer

Prof. Bernd Meyer wurde 1952 in Annaberg in Sachsen geboren. Er studierte 1970–1973 an der TH Leuna/Merseburg sowie an der TU Bergakademie Freiberg Verfahrenstechnik. Nach seiner Promotion am Freiburger Institut für Brennstofftechnik 1978 arbeitete er am Brennstoffinstitut im Bereich Forschung und Entwicklung von Brennstofftechnologien. 1989 wechselte er als leitender Wissenschaftler zur Rheinbraun AG nach Köln. Ein Ruf auf die Professur für Energieverfahrenstechnik und thermische Rückstandsbehandlung führte ihn 1994 wieder nach Freiberg. In der Forschung befasst sich Prof. Meyer mit Vergasungstechnologien, der Modellierung von Brennstoffkonversionsprozessen sowie der Entwicklung CO<sub>2</sub>-armer Kraftwerkstechnologien. Prof. Meyer leitet seit April 1994 das Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC). Von 2000 bis 2002 war er Dekan der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik und von 2002 bis 2005 Mitglied des Senats. Seit April 2008 ist er Sprecher des Freiburger Forschungszentrums für Virtuelle Hochtemperatur-Konversionsprozesse „Virtuhcon“, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zum Zentrum für Innovationskompetenz in den neuen Ländern gewählt wurde. Prof. Bernd Meyer ist unter anderem Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, des Beratungsgremiums für CO<sub>2</sub>-arme fossile Energietechnologien des Bundeswirtschaftsministeriums COORETEC und des Energiebeirates des Sächsischen Wirtschaftsministers. Er ist verheiratet und hat zwei Kinder.

# Neuberufungen

## Prof. Dr. Martin Bertau



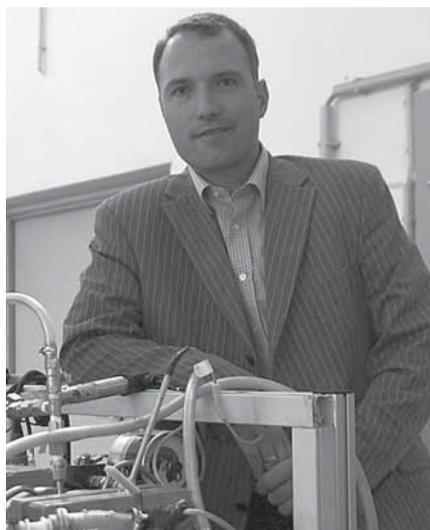
**Martin Bertau wurde zum 1. November 2007 als Professor für Technische Chemie an der Fakultät für Chemie und Physik als Nachfolge von Prof. Dr. Horst Holldorf berufen.**

Martin Bertau, 1968 in Offenburg geboren, schrieb sich 1987 an der Universität Freiburg für das Fach Chemie ein. Während seines Studiums ermöglichte ihm 1992 ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) einen zweimonatigen Aufenthalt an der École des Hautes Études des Industries Chimiques, Strasbourg in Frankreich. Nach seinem Diplomabschluss 1993 promovierte er 1997 am Lehrstuhl für Organische Chemie I in Freiburg/Br. In den folgenden Jahren leitete er in der Industrie die Kompetenzzentrale Reduktionstechnologien der Rohner AG in Basel (Schweiz). 2000 zog Martin Bertau nach Dresden, um am Institut für Biochemie der TU Dresden die Leitung der Arbeitsgruppe Bioorganische Chemie zu übernehmen. 2005 habilitierte er sich dort mit einer Arbeit auf dem Gebiet der Weißen Biotechnologie. Im April 2006 kam Martin Bertau an die TU Bergakademie Freiberg und vertrat seitdem den Lehrstuhl am Institut für Technische Chemie. Seit 2002 ist er wissenschaftlicher Berater der Jülich Chiral Solutions GmbH (Codexis AG), Jülich.

In Freiberg widmet sich Martin Bertau unter anderem dem Gebiet „Nachhaltige Technologien“. Ein Fokus liegt dabei auf der Entwicklung von Verfahren zur Herstellung von Reinstsilicium aus hochkonzentrierten Silan/Wasserstoff-Gemischen

für Anwendungen in der Photovoltaik. Daneben untersucht er die Nutzung von CO<sub>2</sub>, Biomasse und organisch-chemischen Abprodukten zur Erzeugung von Methanol als Energieträger und Rohstoff. Weiteres Forschungsthema ist die Weiße Biotechnologie. Hier ist es das Ziel, biokatalytische Syntheseverfahren mit Enzymen bzw. lebenden Mikroorganismen für die Herstellung von Spezialchemikalien und Feinchemikalien, wie z. B. chiralen pharmazeutischen Intermediaten, zu entwickeln und zu optimieren. Martin Bertau forscht zudem in dem von der EU geförderten Exzellenznetzwerk BioSim, in welchem er computergestützte Simulationen biotechnologischer Prozesse zur Voraussage von Produkteigenschaften bzw. Identifizierung idealer Prozessparameter entwickelt.

## Urs Alexander Peuker



**Urs Alexander Peuker ist neuer Professor für Mechanische Verfahrenstechnik am Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik. Am 1. April trat er an der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik die Nachfolge von Prof. Klaus Husemann an.**

Urs Peuker wurde 1971 in Pforzheim geboren. 1990 schrieb er sich an der Universität Karlsruhe für die Fachrichtung Chemieingenieurwesen ein. Nach einem einsemestrigen Studienaufenthalt am Ecole Nationale Scientifique des Industries Chimiques in Nancy, Frankreich, erwarb er in Karlsruhe im Juli 1997 seinen

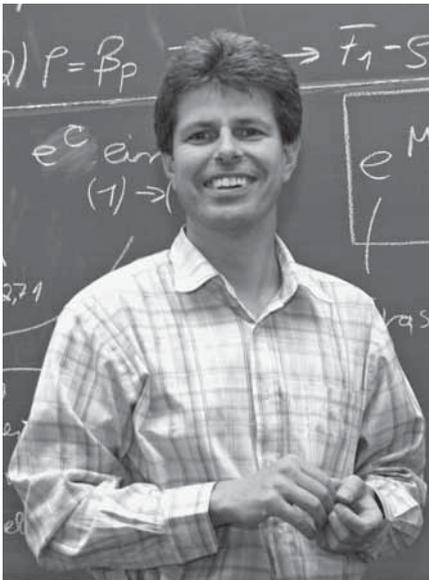
Diplomabschluss. Anschließend forschte er am dortigen Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik in der Arbeitsgruppe Mechanische Trenntechnik und Verfahrenstechnische Apparate und Maschinen. Mit seiner Dissertation „Über die kombinierte Dampfdruck- und Zentrifugalentfeuchtung von Filterkuchen“ promovierte er im Juli 2002. Noch im selben Jahr trat Urs Peuker eine der ersten Juniorprofessuren in Deutschland an der TU Clausthal an. Dort übernahm er auch die geschäftsführende Leitung des Instituts für Chemische Verfahrenstechnik. Urs Peuker ist verheiratet, hat drei Kinder.

Ein Schwerpunkt der Forschungen von Urs Peuker werden in Freiberg die ingenieurtechnischen Grundlagen der Partikeltechnologie sein. Die Erkenntnisse, wie sich sehr feine Teilchen in Flüssigkeiten bewegen, trennen und verbinden lassen, sollen unter anderem zur Entwicklung neuer partikelgefüllter Funktionswerkstoffe führen. Dabei will Urs Peuker eng mit Wissenschaftlern der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie zusammenarbeiten. Erklärter Wunsch ist es zudem, die Aufbereitungstechnik am Lehrstuhl mit neuem Leben zu erfüllen. Hier steht die Entwicklung energieeffizienter Verfahren im Zentrum, mit denen der Kohlendioxidausstoß deutlich gesenkt werden kann.

## Matthias Kröger

**Matthias Kröger ist neuer Professor für Maschinenbauelemente am Institut Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung. Am 1. April 2008 trat er an der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik die Nachfolge von Prof. Hans-Peter Lüpfer an.**

Matthias Kröger wurde 1968 in Hannover geboren. 1988 begann er ein Maschinenbaustudium an der Universität Hannover mit dem Schwerpunkt Entwicklung und Konstruktion sowie Mechanik. In seiner Diplomarbeit untersuchte er die Dynamik eines Reibschwingers mit simultaner Selbst- und Fremderregung. Nach einem einjährigen Wehrdienst begann er 1995 als Versuchsingenieur bei der INA Wälzlager Schaffler KG in Herzogenaurach. Im Mittelpunkt seiner Tätigkeit standen Textil- und Druckmaschinenlager, Wasserpumpenlager sowie Akustik. Noch 1995 wechselte er als wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Karl Popp an das Institut für Mechanik der Universität Han-



nover. Dort gehörte die Einwerbung und Bearbeitung von zahlreichen Industrieprojekten zum Thema Crash-Strukturen zu seinen wichtigsten Aufgaben. 2001 promovierte er an der Universität Hannover mit Auszeichnung zum Thema „Methodische Auslegung und Erprobung von Fahrzeug-Crash-Strukturen“.

Als Oberingenieur blieb er dem Institut für Mechanik treu, das 2005 in Institut für Dynamik und Schwingungen umbenannt wurde. In diesen Jahren sammelte er auch vielfältige Erfahrungen in der Lehre und bei der Beantragung, Leitung und Mitbearbeitung von Drittmittel- und Industrieforschungsprojekten, unter anderem zu Crash-Strukturkonstruktion und -auslegung, Maschinenelementen mit tribologischer Belastung und Oberflächenbeschichtungen sowie zur Schwingungstechnik. Im April 2005 übernahm er nach dem Ableben von Prof. Karl Popp für zwei Jahre die operative Leitung des Instituts für Dynamik und Schwingungen. Matthias Kröger ist verheiratet, hat zwei Kinder. Die Schwerpunkte seiner Forschungen liegen in Freiberg auf den Gebieten Tribologie und Fahrzeugkomponenten, Betriebsfestigkeit und Dynamische Systemanalyse sowie Fahrzeugleichtbau und Crashstrukturen. Den Schwerpunkt seiner Lehrtätigkeit bilden Vorlesungen zum Thema Konstruktion und Maschinenelemente.

### Michael Höck

**Michael Höck übernahm am 1. April 2008 an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften den Lehrstuhl für Industriebetriebslehre, Produktionswirtschaft und Logistik.**



Der 1967 in Hamburg geborene Betriebswirtschaftler arbeitete nach seinem Studium der BWL an der Universität Hamburg zunächst für kurze Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Industrielles Management der Universität der Bundeswehr, bevor er von 1993 bis 1997 als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Industriebetriebslehre und Organisation an die Universität Hamburg zurückkehrte. Hier wurde er 1997 promoviert. Seine Dissertation befasste sich mit der Produktionsplanung und -steuerung moderner Flexibler Fertigungssysteme.

Eine Gastprofessur führte den wissenschaftlichen Assistenten von 2000 bis 2002 in die USA. An der Purdue University in West Lafayette, Indiana, – die auf dem Gebiet des Operations Managements zu den Top fünf Hochschulen der USA zählt – hielt er Vorlesungen zum Operations und Supply Chain Management an der Krannert School of Management. Nach seiner Habilitation 2005 zum Thema „Dienstleistungsmanagement aus produktionswirtschaftlicher Sicht“ zog es ihn für ein weiteres Jahr als Professor an die Krannert School of Management, wobei er auch im „Executive Education Program“ der Purdue University lehrte. Zuletzt war er an der privaten GISMA Business School in Hannover tätig.

Michael Höck reizt die an einer Technischen Universität übliche Überlappung der Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften sowohl in der Forschung als auch in der Lehre. Gemeinsam mit seinen neuen Mitarbeitern möchte er Vorteile der deutschen, eher methodenorientierten Lehre mit den Vorzügen der anwendungsorientierten, amerikanischen Lehre verknüpfen. Hierzu zählen beispielsweise

englischsprachige Vorlesungen ebenso wie der Aufbau von Firmenkontakten für die Durchführung von Praxisprojekten sowie zur Einwerbung von Drittmitteln. Einen wichtigen Eckpfeiler beim Aufbau seines Lehrstuhls sieht Höck in der guten Zusammenarbeit mit den Alumni der TU Bergakademie.

Ein weiterer Schwerpunkt der Institutstätigkeit wird in der Weiterentwicklung der Bachelor- und Masterprogramme an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften liegen. Dem amerikaerfahrenen Wissenschaftler sind die Vor- und Nachteile beider Studiensysteme wohlbekannt. Er kann seine Erfahrungen bei der Umstellung der Diplom- auf Bachelor- und Master-Studiengänge einbringen und möchte so aktiv an diesem Gestaltungsprozess mitarbeiten.

### Andreas Horsch



**Der Lehrstuhl „Allgemeine Betriebswirtschaftslehre mit dem Schwerpunkt Investition und Finanzierung“ an der TU Bergakademie Freiberg übernahm am 1. Oktober 2008 Andreas Horsch.**

Prof. Dr. Horsch lehrt künftig neben „Investition und Finanzierung“ im Grundstudium die ABWL-Hauptstudiumsveranstaltung „Investitions- und Finanzierungstheorie“ sowie die SBWL-Vertiefungen „Institutionen auf Finanzmärkten“, „Corporate Finance“ und „Risikomanagement“. Zudem bietet er Finanzierungsveranstaltungen für die Studierenden der englischsprachigen MBA-Studiengänge der Fakultät 6 an und unterstützt deren Investment-Club mit Vorträgen und Fachdiskussionen.

Andreas Horsch wurde 1966 in Goslar geboren, aufgewachsen ist er jedoch im Sauerland, bevor es ihn an die Universitäten des Ruhrgebiets zog. Im Wintersemester 1987/88 begann er sein Studium an der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Ruhr-Universität Bochum. Nach seinem Abschluss als Diplom-Ökonom (1992) wurde er am dortigen Bank- und Finanzierungslehrstuhl von Prof. Dr. Dr. h.c. Joachim Süchting 1998 mit einer Arbeit über den Gläubigerschutz in der Insolvenz von Versicherungsunternehmen promoviert. Hiernach wandte er sich zunächst der Bankpraxis zu, wo er fast vier Jahre im Bereich Kommunikation/Volkswirtschaft eines international ausgerichteten Kreditinstituts tätig war. Im Oktober 2001 kehrte er an den Bochumer Bank- und Finanzierungslehrstuhl zurück,

wo er sich 2007 mit einer Habilitationsschrift zum Thema „Rating und Regulierung – Ökonomische Analyse von Prozessen, Strukturen und Regeln der Märkte für Ratings“ habilitiert hat. Aus dieser lassen sich wichtige seiner Forschungsinteressen ablesen, namentlich die Neue Institutionenökonomie, Intermediation/Disintermediation auf Finanzmärkten sowie die Regulierung von Finanz- und Informationsintermediären. Diese Themen spiegeln sich darüber hinaus auch in von ihm publizierten Monografien sowie Aufsätzen wider. Seine Lehrerfahrung hat Prof. Horsch in zahlreichen universitären Veranstaltungen an der Ruhr-Universität sowie auch an der Bergakademie aufgebaut, an der er bereits im Wintersemester 2006/07, noch vor Abschluss seiner Habilitation, als Lehrstuhlvertreter wirkte.

Hinzu kommt seine langjährige Tätigkeit für die Frankfurt School of Finance & Management in verschiedenen Studienorten an Rhein und Ruhr sowie am USW/esmt – European School of Management and Technology im Rahmen der dortigen Managementausbildung für Führungskräfte aus natur- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen. Danach wandte er sich endgültig einer akademischen Laufbahn zu, die ihn nach Freiberg geführt hat.

## Jens Gutzmer

**Jens Gutzmer wurde mit dem 8. August 2008 als neuer Professor für Lagerstättenlehre und Petrologie berufen.**

(Wir werden Prof. Dr. Jens Gutzmer in der nächsten Ausgabe unserer Zeitschrift 2009 genauer vorstellen.)

# Ehrenkolloquium für Prof. Dr. Frieder Häfner

**Mit einem Kolloquium ehrte die TU Bergakademie Freiberg am 9. November 2007 Prof. Dr. Frieder Häfner. Der Professor für Geoströmungs- und Lagerstättentechnik am Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau wurde unter anderem für sein hochschulpolitisches Engagement in den Jahren 1989/90 gewürdigt.**

Prof. Häfner wirkte in den Wendejahren engagiert bei der Neugestaltung der Universität mit. Im Zuge der Erneuerung des Hochschulwesens und der Umgestaltung der Bergakademie in eine Technische Universität war er aktiv im Senat in der Reformkommission „Demokratisierung“ und in den Ausschüssen tätig. Am 3. Oktober 1991 wurde Frieder Häfner zum Fachbereichsdekan Geotechnik und Bergbau gewählt. So prägte er in dieser Position wesentlich die Neuformierung der Fakultät mit.

Er wurde 1991 zum Direktor des Instituts für Bohrtechnik und Fluidbergbau ernannt und führte diese Leitungsfunktion mit Unterbrechungen bis März 2007 aus.

Frieder Häfner, 1940 in Schmalkalden, Thüringen geboren, studierte von 1960 bis 1965 an der Bergakademie Tiefbohrtechnik und Erdölgewinnung. Während seiner Tätigkeit in der Industrie von 1965 bis 1971 promovierte er 1970 mit einer Arbeit über Bohrlochtests von Erdgassonden. 1971 folgte er einem Ruf seines Lehrers, Prof. Werner Arnold, an die Bergakade-



Frieder Häfner. Foto: Torsten Mayer

mie. Zunächst als wissenschaftlicher Assistent, später als Oberassistent, übernahm er am Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung Aufgaben in Lehre und Forschung und nahm auch ein Zusatzstudium in Mathematik an der Bergakademie auf, das er 1974 erfolgreich abschloss. Sein Interesse konzentrierte sich nun besonders auf die numerische Simulation und Parameteridentifikation von Strömungs- und Transportprozessen im Untergrund. Diese Arbeiten führten 1977 zur Habilitation. 1993 erfolgte seine Berufung zum Universitätsprofessor für

Geoströmungs- und Lagerstättentechnik. Von 2000 bis 2002 war er wiederum Dekan der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau.

In der Forschung widmete er sich unter anderem der Entwicklung von Modellierungssoftware zur Simulation von Erdöl-, Erdgas- und Grundwasserlagerstätten, dem Grundwasserschutz, der Sanierung von Bergbaukippen und Deponien sowie der Entwicklung und Simulation neuer geothermischer Wärmegewinnungstechnologien.

■ Christian Möls

## Freiberger Erstsemester feierlich begrüßt



Die Preisträger während der Festveranstaltung, rechtes Bild: Ooppel-Preisträgerin Susanne Franke. Fotos: Torsten Mayer

**Mit einer Akademischen Feier hieß die TU Bergakademie Freiberg am Mittwoch, dem 15. Oktober 2008, in der Alten Mensa die neuen Studierenden willkommen. Rektor Prof. Michael Schlömann, Oberbürgermeister Bernd-Erwin Schramm sowie Fabian Heuzeroth, Student der Verfahrenstechnik im 5. Semester, begrüßten die über 1000 Erstsemester des Wintersemesters 2008/2009 an ihrem neuen Studienort.**

Den Wert universitärer Bildung betrachtete Rektor Prof. Schlömann in seiner Ansprache. Für den einzelnen Studenten lohnt sich ein Studium, da es ihm eine Rendite von rund 9 Prozent auf das eingesetzte Kapital verspricht. Doch mehr noch sollte man auf den Sinn des Studiums für die eigene Persönlichkeitsentwicklung schauen. Neben der guten Ausbildung und Allgemeinbildung sowie Praxis- und Auslandserfahrungen erlernen die Studenten an der TU Bergakademie Freiberg auch Schlüsselkompetenzen, die sie später als Führungskräfte benötigen. „Für die Universität stellen die 1000 Neuen einen hohen Wert dar. Wie wertvoll ihr Studium

für sie selber wird, liegt nicht zuletzt daran, wie sie sich hier engagieren“, gab der Rektor den rund 600 Anwesenden mit auf den Weg. Oberbürgermeister Schramm, ein Absolvent der TU Bergakademie, wünschte den Neuen viel Erfolg und hofft, dass sie bald in der Bergstadt heimisch werden. Das Grußwort von Fabian Heuzeroth fand bei den Erstsemestern großen Anklang. Er berichtet in sehr persönlichen Worten, wie er den Weg an die Freiberger Universität gefunden hat, was ihm besonders gefällt und warum er sich in verschiedenen Gremien engagiert.

Wie in jedem Jahr würdigte die TU Bergakademie bei der Akademischen Feier besondere Leistungen von Studierenden und Nachwuchswissenschaftlern. So erhielt Roh Pin Lee aus Singapur vom Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) den gleichnamigen Preis für ihre hervorragenden Studienleistungen und ihr gesellschaftliches und interkulturelles Engagement. Die IMRE-Studentin lebt seit drei Jahren in Freiberg und schreibt gegenwärtig an ihrer Masterarbeit zu Veränderungen im Management.



Der Verein der „Freunde und Förderer der TU Bergakademie“ vergab den Friedrich-Wilhelm-von-Ooppel-Preis für das Eintreten für die Belange der Studierenden und der Universität an Studentin Susanne Franke. Für hervorragende fachliche Leistungen erhielten diesmal zwei junge Wissenschaftlerinnen das Leisler-Kiepe-Reisestipendium. Die Studenten Sandra Jahne, Yvonne Bußhoff, Matthias Saurbier und Gregor Schneemann nahmen aus den Händen von Manuel Schöbel, Intendant des Mittelsächsischen Theaters, und Rektor Prof. Michael Schlömann, das Kulturstipendium 2008 entgegen.

Über 1000 junge Leute haben sich im Wintersemester 2008/2009 für den Beginn ihres Studiums in Freiberg entschieden. Besonders beliebt sind bei den Erstsemestern wieder die Ingenieurwissenschaften. Die höchste Zahl an Neueinschreibungen verzeichneten dabei der Maschinenbau (152), die Betriebswirtschaftslehre (111) und das Wirtschaftsingenieurwesen (100). Die höchsten Zuwächse gab es bei der Verfahrenstechnik. Der Studiengang konnte bei den Einschreibungen gegenüber dem Vorjahr um über 40 Prozent zulegen.

■ Christian Möls, Christel-Maria Höppner

### TU im Uni-Ranking: Studierende wählen TU Bergakademie Freiberg zur besten Uni in Sachsen

Die TU Freiberg gehört laut der aktuellen studiVZ Hochschul-Umfrage zu den besten Hochschulen im deutschsprachigen Raum. In einer Befragung ihrer Mitglieder in Deutschland, Österreich und der Schweiz landete die Universität in der Spitzengruppe der Top 30 auf dem 21. Platz. In der Bewertung der Ausstattung, Studienbedingungen, Praxisbezug und Studienort gaben die Studierenden Freiberg die Note 2,1.

Im Ranking nimmt Freiberg unter den Hochschulen in den neuen Ländern den 5. Platz ein, in Sachsen landete die TU sogar an der Spitze. Besonders überzeugte die Studierenden der Praxisbezug. Ihm gaben sie die Schulnote 2,2 und wählten die TU Bergakademie in dieser Kategorie auf den 19. Rang. Auch bei der Ausstattung erhielt unsere TU mit Note 2,0 einen Platz in der Spitzengruppe. StudiVZ ist das größte deutsche Online-Studentennetzwerk. Über dieses können Studierende Informationen austauschen.

# terra mineralia lässt Schloss Freudenstein erstrahlen

Ausstellungseröffnung am 20. Oktober 2008 mit Ministerpräsident Tillich/

Festwoche lockte bis 26. Oktober über 12.500 Besucher an/Feuerwerk und Lasershow setzten Glanzpunkte



Die Festrede zur Eröffnung hielt Finanzminister Prof. Georg Unland. Dem ehemaligen Rektor ist zu verdanken, dass die weltgrößte private Mineralienstiftung an die TU Bergakademie Freiberg kam. Fotos (4): Detlev Müller

Mit einer Festwoche beging die TU Bergakademie Freiberg die Eröffnung der weltgrößten privaten Mineralienausstellung terra mineralia in Schloss Freudenstein. Den Auftakt bildete am 20. Oktober 2008 eine Festveranstaltung mit rund 500 Persönlichkeiten aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft in der Alten Mensa. Zu den Ehrengästen gehörten der Präsident des Sächsischen Landtages, Erich Iltgen, Ministerpräsident Stanislaw Tillich und Finanzminister Georg Unland. In seinem Grußwort betonte Ministerpräsident Tillich, die terra mineralia „ist ein neues und wunderschönes Schmuckstück Sachsens“. Die Ausstellung spiele ganz oben in der Liga der mineralogischen Sammlungen in der Welt mit.

Im Anschluss an den Festakt zogen die Gäste unter den Klängen des Bergmusikkorps Saxonia über den Obermarkt und die Burgstraße zum Schloss Freudenstein, eingerahmt von den Mitgliedern der Historischen Freiberger Berg- und Hüttenknappschaft. Vor dem Eingang zur terra mineralia durchschnitten Landtagspräsident Iltgen und Ministerpräsident Tillich das Band und gaben damit offiziell den Weg frei für die mineralogische Weltreise. Bis zum späten Nachmittag nutzten die Festgäste die Gelegenheit, die Säle Europa, Afrika, Amerika und Asien sowie die Schatzkammer zu besichtigen.

Bereits am ersten Öffnungstag der terra mineralia, dem 23. Oktober, nahmen Mädchen und Jungen die Ausstellungsräume in Besitz. Über 3.000 kleine und große



Im Anschluss an den Festakt zogen die Ehrengäste von der Alten Mensa zum Schloss Freudenstein, begleitet von der Historischen Freiberger Berg- und Hüttenknappschaft

Besucher begaben sich auf die Weltreise oder gingen auf Expedition. Einige nutzten das Angebot des Wissenschaftszentrums, mitgebrachte Steine bestimmen zu lassen. Die Wartezeiten verbrachten die Jüngsten im Kreativzentrum auf dem Schlosshof. Dort konnten sie Fossilien gießen, einen Vulkanausbruch basteln, malen und am Modell einen Bagger im Tagebau bedienen. Den ganzen Tag über waren die vier Säle und die Schatzkammer in der Dauerausstellung terra mineralia fest in den Händen der Kinder. Besonders viel Spaß hatten die jüngsten Besucher im Saal Asien, wo sie sich auf die Spuren von Gulliver begaben. Alle wollten einmal in die Welt der Kristallstruktur krabbeln, die im Maßstab 10 Milliarden zu Eins mit roten und grünen Bällen zwischen Spiegelwänden anlockte.

Neben einem Rundgang durch die terra mineralia nutzten zahlreiche Gäste am Freitag und dem langen Wochenende die Gelegenheit, im Vortragssaal des Schlosses den Berichten von Wissenschaftlern zu lauschen. Sie warfen einen Blick auf den Mond, nach Brasilien, in die Welt der Haie oder auf sächsische Dinosaurier. Eine dreitägige Mineralienbörse im Bergarchiv sowie die Mineralien-Lounge auf dem Schlosshof fanden zahlreiche Liebhaber. Parallel dazu feierten am Freitag und Sonnabend die Gewerbetreibenden der Burgstraße mit Freiberger und zahlreichen Gästen der Stadt die Neugestaltung ihrer Straße, die direkt zum Schloss Freudenstein führt.

Den Höhepunkt bildete am Sonnabend das Programm zur „Langen Nacht der Minerale“ mit dem Feuerwerk um Mitternacht. Neben diesem Glanzpunkt gab es an diesem Tag noch weitere High-



Große Begeisterung bei den Mädchen und Jungen einer Hortgruppe aus Hilbersdorf auch im Meteoritenraum der Schatzkammer. Zum Kinder- und Jugendtag konnten sie kostenlos die Ausstellung besuchen.

lights. So erstrahlten im Laufe des Abends die schönsten Minerale der weltgrößten privaten Sammlung an der historischen Schlossfassade. Als dann die Licht- und Lasershow Impressionen von der Welt der Steine an das Renaissancegebäude zauberte, begleitet von Musik und Rezitationen, stellte sich bei vielen Besuchern ein Gänsehautfeeling ein.

Bereits ab 15 Uhr präsentierten sich in einer Bühnenshow verschiedene Bands. MDR-Moderatoren führten durch das abwechslungsreiche Programm und informierten über das Geschehen in der Mineralienausstellung, die an diesem Tag bis 1 Uhr geöffnet hatte. Der Auftritt von Peter Schilling mit rockigen Titeln und seinem Hit „Major Tom“ zog die Zuschauer ebenso auf den Festplatz wie die Formation „Tanguda – Feuer und Tanz“.

Der Ansturm auf Schloss Freudenstein und seine Schätze hielt an den ersten vier Tagen unvermindert an. Rund 12.500 Gäste besuchten die Ausstellung und fanden lobende Worte über die gelungene Präsentation der Schätze der Erde.

Ab dem 28. Oktober 2008 ist die terra mineralia dauerhaft, dienstags bis sonntags von 10 bis 18 Uhr, geöffnet.

■ Christel-Maria Höppner



Glanzvoller Abschluss der Eröffnungswoche

## Der Verein „Freunde und Förderer der Technischen Bergakademie Freiberg e. V.“ hält Rückschau:

### 1959 legten die Diplomprüfung ab:

I.-Nr.	Name	Vorname
10048	Adams	Paul
10230	Aebi	Manfred
10231	Altmann	Helmut
10236	Apitz	Siegfried
10237	Arand	Hans Adolf
9607	Bäreke	Karl Heinz
9609	Bauch	Heinz
11322	Becker	Friedrich
10242	Becker	Hans-Joachim
10243	Becker	Karl Heinz
10245	Bergemann	Heinz
10246	Berkes	Horst
10251	Bischoff	Karlheinz
10252	Bluhm	Reinhard
10254	Bochmann	Klaus
10255	Bockemühl	Ingrid
9626	Boese	Roland
10256	Böhmer	Hans
10257	Böhrs	Fritz
10260	Bohse	Dieter
10258	Bönicke	Hansjürgen
10259	Börner	Siegfried
10261	Bräuer	Manfred
10263	Brause	Hermann
8537	Brendel	Rudolf
10264	Bresgott	Jutta
10271	Buchholz	Jürgen
10272	Buder	Egon
10273	Buder	Karl-Heinz
10275	Buhrig	Eberhard
10274	Bürger	Hans
11353	Chang	I.-i.
10277	Christalle	Helmut
10279	Claus	Jürgen
10280	Clauß	Dieter
10281	Diesenreiter	Dieter
9643	Dittrich	Wolfgang
8543	Döhler	Lieselotte
10282	Döhner	Christian
10284	Dötzel	Otmar
10286	Dreiße	Hans-Joachim
10287	Dreyer	Dieter
10288	Drossel	Günter
10290	Ebel	Klaus
10291	Ebersbach	Sigrid
10292	Ebisch	Manfred
9647	Eckert	Ulrich
10293	Eckhardt	Gottfried
10296	Egerer	Franz
10297	Einecke	Manfred
9652	Eisenächer	Wolfgang

10298	Emrich	Dietmar
10301	Ermischer	Wolfgang
10303	Eschke	Dieter
11383	Esser	Fred
10305	Faber	Wolfgang
10306	Felchner	Peter
10308	Fieberling	Albert
10309	Fischer	Günter
9662	Fischer	Hans-Georg
10311	Fischer	Manfred
10312	Fleischer	Antonia
9664	Flieger	Alfred
10314	Förster	Harry
10315	Förster	Siegfried
11393	Frahm	Heinz
10317	Franke	Klaus-Dieter
10318	Friebe	Gerhard
10321	Fröhlich	Helmut
10322	Funke	Manfred
10323	Gaul	Diethard
10324	Gebhardt	Manfred
10325	Gehrke	Lothar
10326	Geislberger	Walter
10327	Gellrich	Gottfried
10329	Gerhardt	Horst
10332	Gerisch	Manfred
10334	Geßner	Heinz
10335	Giesche	Günther
8702	Gleitz	Irmgard
10338	Göckeritz	Dorothea
10342	Golczyk	Werner
10340	Göthe	Wolfgang
10341	Götze	Dieter
10345	Grabner	Bernd
10347	Graf	Günter
9428	Grohmann	Erhard
10351	Grollmitz	Heinrich
9703	Gruner	Fritz
10352	Grünn	Eva-Maria
10354	Guder	Arnulf
10356	Günther	Klaus
10358	Haake	Gerhard
9710	Hachenberger	Werner
10362	Hajek	Walter
10363	Halke	Herbert
8926	Hampsch	Siegfried
8923	Hänig	Willy
11438	Harnisch	Günter
10365	Hartung	Hans-Georg
10366	Haschke	Hans-Joachim
8560	Hauck	Joachim
11440	Hecht	Annekathrein
9721	Heinsch	Irmgard
10370	Heinze	Horst
10373	Helling	Siegfried
10374	Hempel	Sieglinde
11447	Herda	Wilfried
10375	Herfurth	Klaus
10376	Herrmann	Albrecht
10379	Hesselbarth	Karlheinz
10380	Hildebrand	Gerhard

10382	Hildebrandt	Heinz
10383	Hildebrandt	Reinhard
11454	Hinze	Manfred
10389	Hoffmann	Siegfried
11459	Hohenwaldt	Werner
10388	Höhnsch	Hans
9746	Hoschke	Eberhard
9747	Huebscher	Hans-Dieter
10394	Huscher	Dietrich
9750	Illgen	Lothar
10396	Irmscher	Klaus
10397	Jahne	Heinz
10398	Janetzki	Walter
10400	Joachim	Manfred
9158	Johne	Werner
9757	Jösting	Dieter
10402	Jurk	Joachim
9762	Kaletta	Manfred
10403	Kampe	Hans-Georg
10404	Kamprath	Eberhard
11474	Karschunke	Horst
10411	Ketzel	Peter
10412	Kiefer	Elisabeth
10414	Kirchhoff	Heinz
10417	Klein	Günter
9774	Kliche	Hans-Dieter
11489	Klinkhart	Albrecht
10419	Kluck	Helga
10420	Knittel	Gerhard
9783	Knoll	Hans
9784	Knoth	Gerda
10426	Konietzky	Bernhard
10427	Konitz	Otfried
11498	Köpke	Werner
9791	Körlin	Paul
10428	Kraft	Walter
10429	Krahl	Konrad
10431	Krauß	Armin
10432	Krüger	Manfred
10434	Kubsch	Heinz
9811	Küchler	Harry
10436	Kühn	Wolfgang
11518	Kulke	Horst
10439	Kummich	Helmut
10440	Kuntz	Erwin
10441	Kurze	Manfred
10437	Küttner	Friedrich
9819	Lachner	Wilhelm
9479	Landau	Werner
9822	Lange	Heinz-Jürgen
10446	Laßmann	Karl-Heinz
10448	Legerlotz	Rolf
10450	Lehmann	Helga
10453	Lehmann	Rudolf
10136	Leibiger	Heinz
9483	Lemke	Heinrich
10456	Linder	Marlene
10458	Linke	Siegwart
10459	Linß	Horst
11538	Lippert	Gerhard
10460	Lippold	Dieter

\* Die Angaben stammen aus den Verzeichnissen des Archivs der TU Bergakademie Freiberg. Es sind die Geburtsnamen ausgewiesen. I.-Nr. = Immatrikulationsnummer

10461	Lippold	Günter	10552	Rüprich	Günter	10643	Waniczek	Klaus
10463	Magnus	Joachim	10553	Ruschitzka	Ludwig	10644	Weber	Günter
10464	Mai	Roland	10554	Rybark	Wolfgang	10645	Weber	Harald
10465	Maier	Peter	10555	Sachse	Helmut	10646	Weber	Ingeborg
10466	Markgraf	Heinrich	10557	Sadowski	Ingrid	10648	Weck	Dieter
10469	Matthes	Heinz	10558	Sandmann	Inge	11745	Wegerdt	Christian
10472	Meier	Helmut	10559	Saupe	Helmer	10649	Wehage	Joachim
10475	Meixner	Heinz	10560	Schäfer	Gernot	10652	Weigel	Karlheinz
10476	Menzel	Joachim	9933	Schaller	Rolf	10653	Weisker	Peter
10477	Mibus	Hans Peter	10562	Scheidig	Klaus	9583	Weller	Joachim
10478	Michak	Heinz	10563	Scheler	Joachim	10654	Wenzlaff	Helga
10480	Milkowski	Wolfgang	10565	Scherer	Peter	10026	Werkmeister	Lothar
9860	Mischker	Margot	10566	Schilder	Christian	10223	Werner	Rolf
10482	Morgalla	Norbert	10568	Schilling	Martina	10027	Wernicke	Klaus
10481	Mößlinger	Viktor	10569	Schindler	Wolfgang	10655	Wiesenfeldt	Ludwig
10487	Müller	Gottfried	9941	Schlosser	Ludwig	10029	Wilk	Ingeborg
10488	Müller	Hanns-Joachim	10571	Schlott	Günter	10031	Wimmer	Heinz
10489	Müller	Helmut	10572	Schmalsch	Wolfgang	10657	Winkler	Helmut
10490	Müller	Karl-Heinz	8993	Schmidt	Eberhard	10658	Winter	Klaus
9873	Mund	Klaus-Dieter	11657	Schmidt	Günter	10659	Wißmann	Fred
10492	Mundry	Dieter	9947	Schödel	Eberhard	11754	Wittekopf	Dieter
10493	Muth	Siegfried	10580	Scholz	Wilfried	10661	Wolf	Klaus
8600	Neuber	Johannes	10581	Schott	Rolf	10665	Wünsch	Heinz
10498	Neumann	Horst	10582	Schreiber	Erhard	10666	Wuntschoff	Todor
9240	Neumann	Reinhard	9546	Schreiner	Rudolf	10667	Wyrwalla	Helmut
10500	Neunhöfer	Horst	10583	Schröder	Heinrich	10668	Zahn	Hans-Joachim
10501	Nicolai	Thomas	10585	Schubert	Reiner	10669	Zenker	Franz
10502	Nieke	Eberhard	9550	Schuffenhauer	Karlheinz	10042	Zimmermann	Edith
10504	Nitsche	Arnold	10586	Schümann	Eberhard			
10505	Noack	Klaus	10590	Schwarze	Günther			
10506	Obereigner	Lothar	10591	Schwarzer	Josef			
10509	Pak	Jong-Sen.	9966	Schwenzer	Klaus-Joachim			
10511	Patzelt	Rudolf	10593	Sehring	Walter			
9890	Peschke	Hans	10594	Seidel	Peter			
11592	Peßlies	Hubert	9973	Siebenhüner	Otmar			
10514	Petzke	Urda	10596	Siebert	Rudolf			
10515	Petzold	Klaus-Michael	10597	Siegert	Wolfgang			
10517	Philipp	Hans-Joachim	10600	Skade	Klaus			
10518	Pidun	Karl-Friedrich	8627	Sonntag	Karl			
10521	Praske	Wolfgang	10609	Stecher	Herbert			
10522	Prause	Paul	10611	Stein	Horst			
10523	Quapil	Günther	10612	Steinert	Gerthold			
12333	Quitschau	Hans-Georg	10614	Steinmüller	Wolfgang			
10526	Rampke	Dieter	9566	Sternkopf	Joachim			
8982	Reinicke	Peter	9991	Storch	Rudolf			
10533	Renitz	Maria	11711	Stracke	Rudi			
11618	Reschke	Manfred	10618	Strobelt	Siegfried			
10535	Ri	Sok-Dzun	9995	Taleff	Dimiter			
10536	Richter	Gerhard	11716	Taube	Manfred			
10537	Richter	Gotthard	11717	Taubert	Gerhard			
10538	Richter	Herbert	10624	Tettke	Wolfgang			
10540	Richter	Kurt	11723	Thieme	Rolf			
9917	Richter	Siegfried	10625	Thiruck	Manfred			
10541	Riechel	Wolfgang	10626	Thomas	Kurt			
10542	Riedel	Harald	10629	Todt	Reinhard			
11630	Rietz	Lothar	10632	Trinks	Werner			
10544	Rödiger	Horst	10634	Uhlemann	Herbert			
10546	Rompf	Irene	10637	Ulrich	Siegfried			
10549	Routschek	Helmut	10640	Wagner	Manfred			
10551	Rücker	Friedrich	10641	Wahren	Rudolf			
10550	Rudolph	Hans-Werner	10642	Walter	Karl-Heinz			

**Sonderdiplom (3-jährige Studienzeit)  
des Industrie-Instituts im Jahr 1959:**

I.-Nr.	Name	Vorname
12670	Baierlein	Paul
12671	Balke	Rudolf
12672	Bergert	Heinz
12673	Berke	Kurt
12674	Beyer	Erich
12675	Bischof	Karl
12676	Dittrich	Otto
12677	Drewke	Otto
12678	Ebert	Herbert
12679	Ecke	Rudi
12680	Eichhorn	Karl
12681	Flemming	Ernst
12682	Gollmann	Rudi
12683	Haasenohr	Ernst
12684	Handrik	Rudolf
12685	Hauptmann	Erich
12686	Hillert	Heinz
12687	Hillig	Johannes
12688	Hillmann	Martin
12689	Holfert	Heinz
12690	Jurk	Walter
12691	Kleinschmidt	Heinz
12692	Kolawski	Paul
12693	Kornisch	Alfred
12694	Kramer	Waldemar
12695	Krause	Siegfried
12696	Kuhnert	Werner
12697	Lasch	Horst
12698	Lehmann	Fritz

12699	Leubert	Hans	12706	Oehme	Helmut	12714	TeBarz	Heinz
12700	Matthes	Rudolf	12707	Quick	Peter	12715	Troellsch	Friedrich
12701	Mehlhorn	Heinz	12708	Rauchhaus	Walter	12716	Wesser	Willy
12702	Meißner	Paul	12709	Roßmeißl	Rudolf	12717	Wessner	Helmut
12703	Müller	Arno	12710	Scarabis	Alfred	12718	Wriske	Gerhard
12704	Müller	Ernst	12711	Schierz	Karl	12719	Wunderlich	Kurt
12705	Neumann	Linus	12712	Sittner	Kurt	12720	Zimmermann	Johannes

**Autorenverzeichnis**

- Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christos G. Aneziris, TU Bergakademie Freiberg
- A. Ansoerge, Foseco GmbH, Borchen
- Dr.-Ing. Manfred Bayer, Oberschöna
- Dipl.-Inform. Heni Ben Amor, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Priv.-Doz. Dr. Martin Bertau, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. pol. habil. Horst Brezinski, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Geol. Michael Buchwitz, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Kay Domich, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Carsten Drebenstedt, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Michael Eiermann, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Olaf Elicki, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Oliver G. Ernst, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Karl-Heinz Eulenberger, Freiberg
- Dipl.-Geol. Jan Fischer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Förster, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Konrad Froitzheim, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Gert Gockel, Drebkau
- Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Grabow, Freiberg
- Dr. Andreas Handschuh, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Gerhard Heide, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Ralf Hielscher, Neuherberg
- Jens Hofmann, Freiberg
- Dipl.-Journ. Christel-Maria Höppner, TU Bergakademie Freiberg
- H. Jaunich, Foseco GmbH, Borchen
- Prof. Dr. Bernhard Jung, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Jur. Herbert Kaden, TU Bergakademie Freiberg
- Isabell Kleeberg
- Prof. Dr. Jens Kortus, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar, „Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e.V.“
- Bjarnheiður Kristinsdóttir, Freiberg
- Dipl.-Ing. Hans-Joachim W. Kutzer, Windach
- Prof. Dr. Jörg Matschullat, TU Bergakademie Freiberg
- Torsten Mayer, TU Bergakademie Freiberg
- Oberlehrer i. R. Ernst Menzel, Freiberg
- Christian Möls, TU Bergakademie Freiberg
- Knut Neumann, Freiberg
- Prof. Dr. Jürgen R. Niklas, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Christian Oelsner, „Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e.V.“
- Prof. i. R. Dr. Heinrich Oettel, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Olf Pätzold, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Herbert Pforr, Freiberg
- Dr. rer. nat. Britta Planer-Friedrich, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Norman Pohl, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Klaus Richter TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Gert Rütger, Freiberg
- Astrid Schaller, Oberschöna
- Prof. Dr. Michael Schlömann, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl. Slaw. Birgit Seidel, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. oec. habil. Peter Seidelmann, Freiberg
- Prof. Dr. Dr. h. c. Udo E. Simonis, Berlin
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Spröbzig, TU Bergakademie Freiberg
- Daniel Steinbrückner, Freiberg
- Prof. Dr. Michael Stoll, Freiberg
- Prof. Dr. h. c. Dietrich Stoyan, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Elisabeth Ullmann TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Sebastian Voigt, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Archiv. Roland Volkmer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Manfred Walde, Freiberg
- Dr. Uwe Weber, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Elias Wegert, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Christina Wüstefeld, Triebischtal

Herausgeber:	Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e.V. 1921 als Gesellschaft der Freunde der Bergakademie gegründet, 1990 Neugründung	Postanschrift Verein:	Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e.V. 09596 Freiberg, Akademiestraße 6
Vorsitzender:	Prof. e. h. Dr.-Ing. Klaus-Ewald Holst	Geschäftsstelle:	Nonnengasse 22, 09599 Freiberg
Geschäftsführer:	Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar	Telefon:	(0 37 31) 39-25 59, 39-26 61
Stellv. Vorsitzender:	Prof. i. R. Dr. rer. nat. habil. Christian Oelsner	Fax:	(0 37 31) 39-25 54
Redaktionsleitung:	Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer	E-Mail:	freunde@zuv.tu-freiberg.de
Redaktionskollegium:	Prof. Dr. Helmuth Albrecht, Dr. Manfred Bayer, Dipl.-Journ. Christel-Maria Höppner, Dr.-Ing. Klaus Irmer, Dipl.-Jur. Herbert Kaden	Internet:	http://tu-freiberg.de/vereine/vff/index.html
Gestaltung/Satz:	Brita Gelius	Jahresmitgliedsbeitrag: 20 EUR für Einzelmitglieder; 150 EUR für juristische Mitglieder. Für Nichtmitglieder: 700 EUR pro Heft.	
Druck:	druckspecht offsetdruck & service gmbh	Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung von Herausgeber und 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 gestattet.	
Auflage:	1.300		
Die Zeitschrift wird an Mitglieder des Vereins kostenlos abgegeben.			