

II. Leibniztag

Öffentliche Wissenschaftliche Sitzung
am 27. Juni 2003
im Akademiegebäude am Gendarmenmarkt

Preisverleihung

Der Präsident der Akademie eröffnete die Wissenschaftliche Sitzung und erteilte Herrn Schlögl das Wort.

Vorstellung der Preisträger durch den Vorsitzenden der Preisträgerfindungskommission, Robert Schlögl

Lieber Herr Präsident, verehrter Festkörper,
zur diesjährigen Verleihung der Akademiepreise begrüße ich Sie auf das herzlichste und bedanke mich gleichzeitig bei allen, die diese Veranstaltung möglich machen. Dies gilt besonders für die Stifter unserer Preise, welche die Akademie auch in turbulenten Zeiten verlässlich in die Lage versetzten, einer wichtigen Aufgabe einer Gelehrtenegesellschaft nachzukommen.

Die BBAW versteht sich als Arbeitsakademie, und so ist auch die Verleihung von Preisen mit der Aufgabe verbunden, junge Talente der Wissenschaft zu identifizieren und sie in das Licht der Aufmerksamkeit der Führenden zu stellen. Dies tut sie durch Nominierung von Kandidaten durch Dritte, durch ein mehrstufiges Auswahl- und Begutachtungsverfahren und schließlich durch eine öffentliche Auszeichnung wie diese. Allen Preisträgern wird die Gelegenheit gegeben, ihre Preiswürdigkeit durch eine Präsentation vor der Akademie unter Beweis zu stellen, dem Akademiepreisträger heute abend, den übrigen Ausgezeichneten in einer Plenarsitzung der Akademie.

Die Feststellung von wissenschaftlicher Exzellenz durch die Akademie erfolgt mit ganz unterschiedlichen Werkzeugen auf unterschiedlichen Entwicklungsstufen einer Karriere. Junge Akademie, Akademiestipendium, Akademiepreise und schließlich die Helmholtz- und die Leibniz-Medaille stellen einen ganzen Satz von Instrumenten zur Verfügung, die sich die Akademie geschaffen hat.

Es ist die vornehme Aufgabe aller Auswahlgremien, darauf zu achten, daß diese Werkzeuge scharf und in gutem Zustand verbleiben. Exzellenz und Vertrauen in die Feststellenden sind zwei sehr eng verbundene Tatsachen. Wir haben die Aufgabe, mit größter Sorgfalt unsere immer schwere Auswahl zu treffen, da es viel mehr Auszuzeichnende gibt, als zu bedenken der Umfang unseres Werkzeugkastens es zuläßt. Weiterhin ist es nicht immer einfach, den vielerlei menschlichen

Einflüssen bei derlei Ermessensentscheidungen so Rechnung zu tragen, daß sachliche Argumente die Basis der Entscheidungen bilden. Dies sichern unsere Gutachter, aber besonders meine Kollegen von der Preisträgerfindungskommission, denen ich hier ganz nachdrücklich für die gute und konstruktive Arbeit danken möchte.

Nur wenn wir zuverlässig eine gute Auswahl treffen, die sich erst im Laufe der Zeit als richtig erweisen wird, erreichen wir die Leuchtkraft jenes Scheinwerferlichtes, das nötig ist, um in unserer reizüberfluteten Zeit die gewünschte Aufmerksamkeit zu erzeugen. Diese Aufmerksamkeit kommt den Ausgezeichneten, aber in nicht geringerem Maße auch der auszuzeichnenden Institution gleichermaßen zugute. Damit erfüllt eine Preisverleihung im öffentlichen Rahmen unserer Akademie mehrere Zwecke gleichzeitig und gehört zu den wesenseigenen Aufgaben unserer Gesellschaft. Sie ist damit für uns alle mehr als nur ein schöner Anlaß, sich feierlich wie heute zu versammeln, im Anschluß an den offiziellen Teil bei einem Empfang Gäste des Präsidenten zu sein und die ausgezeichnete Wissenschaft hautnah mit den Preisträgern zu diskutieren.

Gestatten Sie mir, einige Anmerkungen zur Definition eines so schillernden Begriffes wie ‚wissenschaftliche Exzellenz‘ zu machen. Es hat sich für die hier relevanten Belange als nützlich erwiesen, drei Aspekte zu betrachten: soziologische, formale und inhaltliche Exzellenz. Amtsstellung, Ruf bei den Kollegen und eventuelle frühere Auszeichnungen eines Kandidaten begründen die soziologische Exzellenz. Alter, Publikationstätigkeit und Zitationszahlen bestimmen die formale Exzellenz, eine Größe, die leicht und intersubjektiv ermittelbar ist und sich daher allzu leicht in den Vordergrund der Argumentation schiebt. Originalität des wissenschaftlichen Werkes, Innovation für das professionelle Umfeld und Rigorosität bei Konzeption und Umsetzung des wissenschaftlichen Profils machen die inhaltliche Exzellenz des Kandidaten aus.

Diese letzte Form der Exzellenz ist es eigentlich, welche über die Preiswürdigkeit entscheidet, die beiden anderen Kategorien folgen daraus. Leider ist dies ein zeitlich verzögerter Prozeß, und daher ist die Suche nach Exzellenz so schwer, da die inhaltlichen Kriterien nur von wenigen beurteilt werden können. Die Entwicklung der offensichtlichen Kriterien ist von weichen Zusatzfaktoren im Umfeld des Kandidaten überlagert sowie mit einer teilweise erheblichen zeitlichen Verzögerung behaftet. Dies zu durchschauen und zu bewerten, ist die Aufgabe der Nominierenden und der Findungskommission.

Auch heuer ist das Feld der Ausgezeichneten sehr weit zwischen den Disziplinen aufgespannt. Von Elektrotechnik über Theoretische Chemie zu Humanmedizin und Kirchenrecht wird ein weites inhaltliches Spektrum herausragender wissenschaftlicher Tätigkeit von Forschern sichtbar, die relativ zu ihren Leistungen alle noch jung in ihrer Karriereentwicklung sind.

Eine Besonderheit ist die doppelte Verleihung des Monika Kutzner-Preises für Krebsforschung. Da wir letztes Jahr keinen preiswürdigen Vorschlag hatten, es aber heuer derer zwei gab, konnte die Findungskommission zwei gleichwertige Preise vergeben.

Neu ist die Verleihung eines Widmungspreises für besondere Leistungen auf dem Gebiet der Infektiologie, die mit dem Eva und Klaus Grohe-Preis ausgezeichnet werden.

Die Akademiepreise des Jahres 2003 werden wie folgt vergeben:

*Der Preis der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften,
gestiftet von der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung,
wird für das Jahr 2003 verliehen an
Dr. Ing. Andreas Ostendorf*

für seine Arbeiten zur Nanostrukturierung mittels Laserverfahren.

*Der Preis der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften,
gestiftet von der Monika Kutzner-Stiftung zur Förderung der Krebsforschung,
wird für das Jahr 2003 verliehen an
Dr. Klaus Belka und Dr. Peter Daniel*

für ihre Arbeiten zur Biochemie des programmierten Zelltodes.

*Der Preis der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften,
gestiftet von der Commerzbank-Stiftung,
wird für das Jahr 2003 verliehen an
Prof. Dr. Michael Germann*

für seine interdisziplinären Arbeiten zum modernen Kirchenrecht.

*Der Eva und Klaus Grohe-Preis für Infektionsforschung
wird für das Jahr 2003 verliehen an
Prof. Dr. Sybille Schneider-Schaulies*

für ihre Arbeiten zur Infektiologie der Masernerkrankung.

*Der Akademiepreis der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften
wird für das Jahr 2003 verliehen an
Prof. Dr. Jürgen Gauß*

für seine Arbeiten in der Theoretischen Chemie.

Die biographischen Daten und Würdigungen der Preisträger sind in einer besonderen Druckschrift zusammengefaßt, die wie jedes Jahr mit großer Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit von der Akademie zusammengestellt wurde. Dies gibt mir die Gelegenheit, stellvertretend für alle Beteiligten Herrn Baßler für die umsichtige und effektive Vorbereitung und Unterstützung der Arbeit der Findungskommission zu danken.

In diesem Zusammenhang möchte ich Ihnen noch mitteilen, daß turnusgemäß die Preisträgerfindungskommission neu zusammengesetzt wurde und damit andere die Auswahl treffen werden. Ich wünsche mir, daß Sie alle als Vorschlagende oder Gutachter die Arbeit der neuen Kommission mindestens so effektiv unterstützen werden, wie Sie es in meiner Amtszeit taten.

Lassen Sie mich abschließend feststellen, daß ich während meiner Tätigkeit viele faszinierende Einblicke in das Forschungsgeschehen in unserem Land gewonnen habe. Im Gegensatz zu allfälligen Klagen über einen angeblichen Mangel an exzellentem Nachwuchs oder wissenschaftlichen Spitzenleistungen konnte ich nur feststellen, daß die Akademie auch bei harter Einhaltung der Kriterien im Schnitt jederzeit ein Vielfaches der Preise hätte vergeben können. Mir scheint nicht die Elite in unserem Land zu fehlen, sondern die ausreichende Wahrnehmung ihrer Existenz. Mit der konsequenten Abkehr der Preisvergabepolitik unserer Akademie vom oft geübten Prinzip der Würdigung von Lebensleistungen, wofür wir andere Instrumente besitzen, tragen wir nachhaltig dazu bei, die Wahrnehmung und den Stellenwert heimischer Forschungsleistungen ins Bewußtsein breiterer Kreise zu rücken. Dies ist eine wohlangemessene Aufgabe einer modernen „Gelehrten-gesellschaft“.

*Ansprache anlässlich der Verleihung des Akademiepreises,
Jürgen Gauß*

Sehr geehrter Herr Präsident, sehr geehrte Damen und Herren, stellvertretend für alle Preisträger des heutigen Abends möchte ich mich ganz herzlich bei der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und ihren Mitgliedern für die Auszeichnung unserer wissenschaftlichen Arbeiten bedanken. Es ist sehr schön, wenn man auf diese sehr erfreuliche Art und Weise eine positive Resonanz auf seine Forschungsarbeiten erfährt.

Natürlich stellt sich bei einem Anlaß wie heute abend die Frage, wofür die Preise nun tatsächlich verliehen worden sind. In unserer Zeit, in der die wissenschaftlichen Disziplinen einen hohen Grad der Spezialisierung aufweisen, ist dies eine berechnete und nicht immer leicht zu beantwortende Frage. Ich möchte im folgenden versuchen, Ihnen auf diese Frage eine Antwort zu geben und Ihnen unter dem Titel „Quantenchemie: Chemie mit dem Computer“ einen Einblick in die Forschungsarbeiten meiner Arbeitsgruppe geben.

Die Chemie ist traditionell eine experimentell ausgerichtete Wissenschaft, das heißt neue Erkenntnisse gewinnt man dadurch, daß man im Labor neue Verbindungen synthetisiert sowie deren chemische und physikalische Eigenschaften untersucht. Die Chemie hat aber auch wie alle Naturwissenschaften ein theoretisches, das heißt physikalisches Fundament. Dieses ist mit der Quantenmechanik seit den zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts hinlänglich bekannt. Die Quantenmechanik ist der Teilbereich der Physik, welcher den Mikrokosmos beschreibt und damit auch die Grundbausteine in der Chemie, nämlich Atome und Moleküle. Die Lösung der in der Quantenmechanik grundlegenden Schrödinger-Gleichung

$$\hat{H}\Psi = E\Psi$$

kann so auf theoretischem Wege Information über die chemische Bindung sowie die Eigenschaften chemischer Substanzen liefern. Versucht man jedoch, die Schrödinger-Gleichung für die chemischen Grundbausteine zu lösen, so stellt man schnell fest, daß dies eine außerordentlich schwierige Aufgabe ist. Selbst für ein so einfaches Molekül wie das Benzol (Summenformel C_6H_6) muß man dabei 12 Atomkerne und 42 Elektronen betrachten. Da es sich bei diesen um geladene Teilchen handelt, sind des weiteren alle Wechselwirkungen zwischen den Kernen und Elektronen zu berücksichtigen. Es ist offensichtlich, daß eine exakte Lösung der Schrödinger-Gleichung für ein solch komplexes System nicht möglich ist und man daher nur Näherungslösungen bestimmen kann. Aber auch solche ließen sich – außer für die einfachsten Systeme wie das Wasserstoffmolekül – lange Zeit aufgrund der immer noch zu hohen Komplexität der Gleichungen nicht mit hinreichender Genauigkeit bestimmen.

Die Situation änderte sich erst, als nach dem Zweiten Weltkrieg der Computer Einzug in die Wissenschaft hielt. Mit seiner Hilfe war es nun erstmals möglich, Näherungslösungen der Schrödinger-Gleichung für Atome und Moleküle mit hinreichender Genauigkeit zu ermitteln. Der Einfluß der rasanten Entwicklung im Computersektor auf die moderne theoretische Chemie kann nicht unterschätzt werden. Abbildung 1 gibt einen Eindruck, wie rasch die Computerleistung sich in den letzten Jahrzehnten erhöht hat; allein für die letzten fünf Jahre kann eine Verdopplung der Prozessorleistung festgestellt werden. Aber neben der Verfügbarkeit der elektronischen Datenverarbeitung gründet sich der Erfolg der modernen Quantenchemie auch auf die parallel dazu durchgeführte Entwicklung geeigneter theoretischer Näherungsansätze zur Lösung der Schrödinger-Gleichung, die Konzeption numerischer Algorithmen zu deren Umsetzung sowie die Erstellung von Computerprogrammen für konkrete Berechnungen. In diesen Bereich lassen sich auch meine Forschungsarbeiten einordnen. Erst durch die Kombination aller genannten Aspekte konnte sich das Gebiet der modernen Quantenchemie, oft auch als „Computerchemie“ bezeichnet, entwickeln, ließen sich numerische quantenchemische Berechnungen als ein vielverwendetes Werkzeug in der chemischen Forschung etablieren.

Bei der Anwendung der Quantenchemie auf chemische Fragestellungen sind vor allem zwei Aspekte zu beachten, die auch als die großen Herausforderungen auf

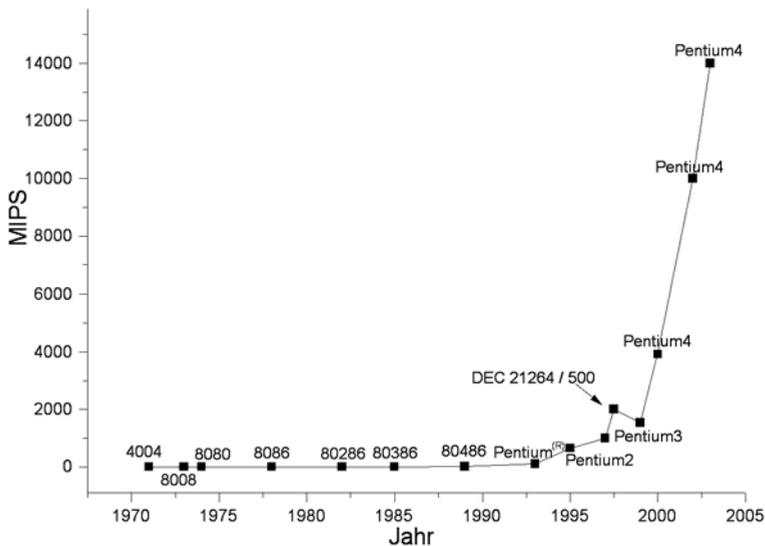


Abbildung 1
Entwicklung der Computerleistung in den letzten Jahrzehnten (zusammengestellt nach Literaturdaten)

diesem Gebiet bezeichnet werden können: Der erste beinhaltet die Forderung, daß die verwendeten Näherungsansätze eine hinreichende Genauigkeit in den Ergebnissen aufweisen müssen. Dieser wichtige Aspekt ist in der Quantenchemie üblicherweise mit dem Begriff der Elektronenkorrelation verknüpft, deren Berücksichtigung in „zuverlässigen“ Rechnungen unerlässlich ist. Der zweite ist die Anwendbarkeit der Methoden. Konkret bedeutet dies, daß zum einen auch große Moleküle theoretisch zu beschreiben sind (der Rechenaufwand steigt mit der Molekülgröße an), zum anderen, daß neben Energie und Wellenfunktion auch experimentell interessierende chemische und physikalische Eigenschaften theoretisch bestimmt werden können. Meine Forschungsarbeiten konzentrieren sich in diesem Zusammenhang auf die genaue Vorhersage von Moleküleigenschaften wie Geometrie und chemische Verschiebungen der magnetischen Kernresonanzspektroskopie (nuclear magnetic resonance [NMR] spectroscopy), für deren Bestimmung in meiner Arbeitsgruppe neue Methoden entwickelt worden sind. Wie quantenchemische Rechnungen heute in der chemischen Forschung eingesetzt werden können, möchte ich Ihnen abschließend an zwei Beispielen zeigen: Im ersten geht es um den Nachweis des Oxadisulfans (HSOH). Dieses einfache Molekül war bis vor kurzem nahezu unbekannt. Es ist strukturell eng verwandt mit dem als Bleich- und Oxidationsmittel bekannten Wasserstoffperoxid, wobei nur ein Sauerstoff- durch ein Schwefelatom zu ersetzen ist.

Anorganische Chemiker der Universität zu Köln (M. Behnke und J. Hahn) hatten für das Oxadisulfan eine neue Synthese konzipiert. In der spektroskopischen Untersuchung der Reaktionsprodukte (G. Winnewisser und Mitarbeiter, Universität zu Köln) konnte jedoch das HSOH erst identifiziert werden, nachdem genaue quantenchemische Vorhersagen für dessen Struktur und Rotationspektrum vorlagen. Die Kombination von Theorie und Experiment (siehe Abb. 2) ermöglichte hier die experimentelle Identifizierung und Charakterisierung einer neuen chemischen Verbindung.

Als zweites Beispiel möchte ich die Bestimmung von Festkörperstrukturen über Festkörper-NMR-Spektroskopie und quantenchemische Rechnungen erwähnen. Die hier untersuchten substituierten Hexabenzocoronene (siehe Abb. 3) wurden in der Gruppe von K. Müllen am Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz synthetisiert und sind wegen ihrer physikalischen Eigenschaften (elektrische Leitfähigkeit) von materialwissenschaftlichem Interesse. Für diese Eigenschaften ist es jedoch wichtig, die Anordnung der Hexabenzocoronene-Moleküle im festen Zustand zu kennen. Die genaue Anordnung innerhalb der häufig bei Hexabenzocoronenen vorliegenden Stapelstruktur konnte in diesem Beispiel über einen Vergleich des in der Gruppe von H.W. Spiess (Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz) gemessenen Doppelquanten-NMR-Spektrums mit für verschiedene Strukturvorschläge quantenchemisch berechnete Spektren ermittelt werden (siehe Abb. 4).

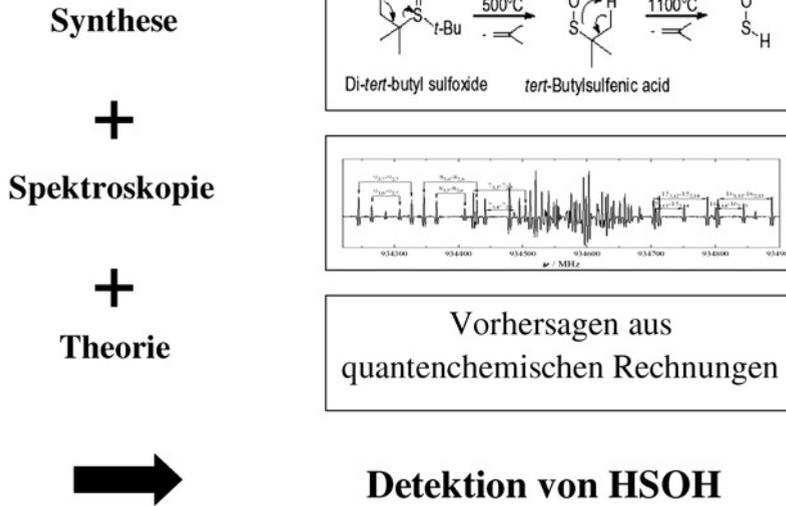


Abbildung 2

Nachweis des Oxadisulfans durch das Zusammenspiel von Theorie und Experiment

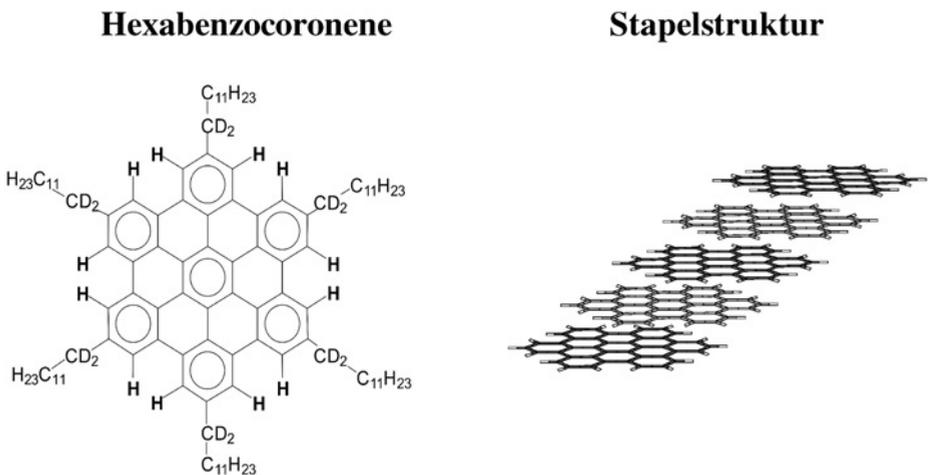


Abbildung 3

Stapelstruktur der Hexabenzocoronene

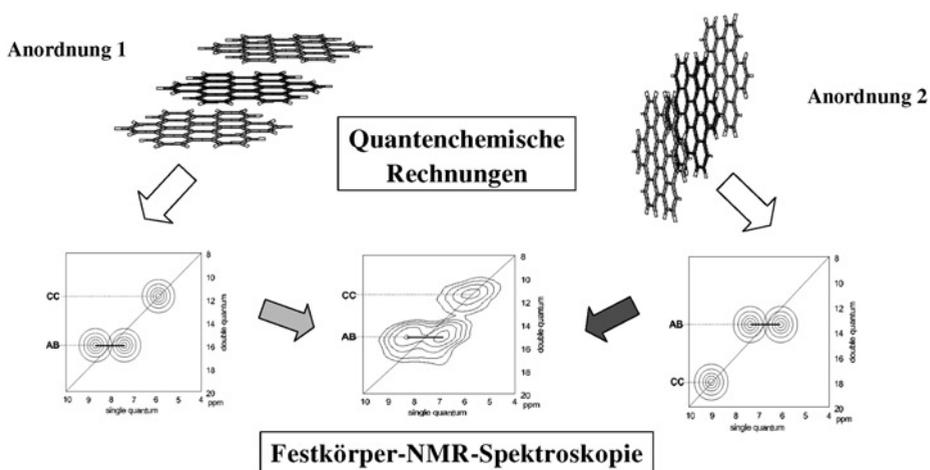


Abbildung 4

Bestimmung der Festkörperstruktur durch Kombination von NMR-Spektroskopie und quantenchemischen Berechnungen

Die hier vorgestellten Beispiele dokumentieren, daß das Zusammenspiel von Theorie und Experiment einen erfolversprechenden Ansatz in der chemischen Forschung darstellt, mit dem man oft mehr erreichen kann als mit Theorie oder Experiment allein. Notwendige Voraussetzung dafür, daß das Zusammenspiel in dieser Art und Weise umgesetzt werden kann, ist jedoch, daß entsprechende theoretische Rechenverfahren zur Verfügung stehen. Die Methodenentwicklung im Bereich der Quantenchemie, mein eigentliches Hauptarbeitsgebiet, ist daher eine wichtige Grundlage für dieses Zusammenspiel.

Bevor ich schließe, möchte ich Dank sagen. Der heutige Stand der Quantenchemie ist nicht das Verdienst eines einzelnen, sondern das Ergebnis der Forschungsarbeiten vieler Wissenschaftler und Forschungsgruppen weltweit. Dasselbe gilt in analoger Weise für die wissenschaftlichen Beiträge aus meiner Arbeitsgruppe. Danken möchte ich hier vor allem meinen jetzigen und früheren Diplomanden, Doktoranden und Postdoktoranden, die das wichtige Rückgrat einer jeden Arbeitsgruppe darstellen. Daneben möchte ich meinen Kollegen in der theoretischen Chemie danken. Namentlich hervorheben möchte ich hier vor allem meine früheren Mentoren Prof. Dieter Cremer (Göteborg, Schweden), Prof. Rodney J. Bartlett (Gainesville, Florida) und Prof. Reinhart Ahlrichs (Karlsruhe). Schließlich möchte ich mich ganz besonders bei meinen experimentell arbeitenden Kollegen bedanken, ohne die das Zusammenspiel von Theorie und Experiment nicht möglich gewesen wäre bzw. ist.

Vergabe des Akademiestipendiums

Vorstellung des Stipendiaten, Etienne François

Das diesjährige Akademiestipendium erhält Herr Dr. Philipp Osten, der Ende Oktober 2002 an der juristischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin mit „summa cum laude“ promoviert wurde. Drei Gründe haben die Auswahlkommission und die Akademie zu dieser Entscheidung bewogen:

Der erste Grund liegt zum einen in der außergewöhnlichen Qualität, zum anderen in der vorbildlichen Internationalität des Werde- und Studiengangs von Philipp Osten. Nach dem Besuch deutscher bzw. internationaler Schulen in Ungarn, Australien, Deutschland und Japan bestand Herr Osten sein Abitur in der deutschen Schule von Tokio. Danach begann er sein Studium der Rechtswissenschaft, ein Studium, das er sowohl an der Juristischen Fakultät der Humboldt-Universität als auch an der Juristischen Fakultät der Keio Universität in Tokio absolvierte. Anschließend arbeitete er an seiner Dissertation als Doktorand der Graduate School of Law der Keio Universität in Tokio und der Juristischen Fakultät der Humboldt-Universität. Dank seiner hervorragenden Leistungen wurde er gleichermaßen von der Studienstiftung und dem japanischen Kultusministerium gefördert. Die Tatsache, daß er dies alles noch vor dem Erreichen des dreißigsten Geburtstages vorweisen konnte, untermauert die Vorbildlichkeit seines wissenschaftlichen Werdegangs.

Die Exzellenz der Dissertation Philipp Ostens liefert den zweiten Grund für die Entscheidung der Akademie. Diese Dissertation, die im Rahmen einer deutsch-japanischen Doppelbetreuung erarbeitet wurde, setzt sich mit dem Tokioter Kriegsverbrecherprozeß und der japanischen Rechtswissenschaft auseinander. Mit einer solchen Arbeit betritt Philipp Osten Neuland, was ihm um so höher anzurechnen ist, als es sich hierbei um ein bis jetzt politisch wie auch emotional höchst aufgeladenes Thema handelt. Als erster Jurist hatte er in der Tat Zugang zu unveröffentlichten Archivalien des Prozesses, zu Originaldokumenten, handschriftlichen Notizen der Verteidigung wie auch zu internen Berichten des Justizministeriums. Diese einzigartige Einsicht wurde ihm nicht nur gewährt, weil er mit der Sprache, Kultur und der Mentalität Japans bestens vertraut ist; sie zeugt auch von der hohen Akzeptanz, die er vor Ort genießt. Der dadurch ermöglichte Blick von innen auf die Problematik ist darüber hinaus mit dem Blick

von außen auf sie verbunden, den der ständige Vergleich mit Deutschland gewährleistet, und zwar um so mehr, als Philipp Osten mit einem „deutschen“ Verständnis des Rechts operiert, das die Rechtswissenschaft als eine Form der Reflexion einer Gesellschaft und einer Kultur über ihre Normen und Werte sieht. Die Arbeit von Philipp Osten zeichnet sich schließlich dadurch aus, daß sie immer bemüht ist zu erklären: zunächst in historischer Perspektive, indem sie die Gründe der extremen Zurückhaltung der japanischen Juristen gegenüber einem Prozeß erklärt, den sie nicht zu Unrecht als einen Rechtsbruch wahrnahmen; dann für die Gegenwart, indem sie die weiterhin starken Bedenken in Japan gegenüber den internationalen Bemühungen um ein grenzübergreifendes Völkerstrafrecht erklärt und die Art und Weise analysiert, wie die Erinnerung an den Tokioter Kriegsverbrecherprozeß die Aufarbeitung der Vergangenheit belastet und beeinträchtigt. Insgesamt hat man es hier mit einer Arbeit zu tun, die die Schnittstelle zwischen Rechtswissenschaft und Zeitgeschichte berührt und die dadurch einen wesentlichen Beitrag zur Geschichte der internationalen Beziehungen und der interkulturellen Kommunikation, zum Verständnis der politischen Kultur und der Gedächtniskultur des modernen Japans, ja zum Nachdenken über das Verhältnis von Recht, Wissenschaft und Politik leistet.

Die Entscheidung der Akademie liegt schließlich in den von Philipp Osten vorgeschlagenen Forschungsperspektiven begründet. Über die Veröffentlichung seiner Untersuchung in japanischer Sprache unter Einbeziehung weiterer unveröffentlichter Quellen hinaus will er für die Zukunft seine Beschäftigung mit dem Thema „Japan und das Völkerrecht“ vertiefen. In Zusammenhang mit der mehr denn je aktuellen Thematik des Völkerstrafrechts beabsichtigt er zugleich, seine Forschungen in Richtung vergleichende Rechtswissenschaft und internationale Strafgerichtsbarkeit zu erweitern. Für eine solche Fragestellung sind Forschungsaufenthalte in verschiedenen Ländern eine unerläßliche Voraussetzung. Die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften ist froh, diese vielversprechenden Perspektiven unterstützen und fördern zu können; sie wünscht Philipp Osten hierbei viel Erfolg und weiterhin Freude an neuen Entdeckungen.

Auf die Verleihung der Preise und des Akademiestipendiums folgte die Übergabe der Mitgliedsurkunden an die zugewählten Mitglieder (vgl. Zuwahlen, S. 48 ff.). Anschließend hielt Herr Hüttl den Festvortrag.

Störung und Wiederherstellung von Landschaften

Wissenschaftlicher Festvortrag, Reinhard F. Hüttl

1 Böden als Lebensraum – Fallbeispiel Braunkohletagebau und Rekultivierung¹

Böden bilden die oberste, belebte Zone des lockeren Verwitterungsmaterials der Erdrinde. Sie sind dreiphasige, polydisperse, oberflächenaktive, offene Ökosysteme bzw. Ökosystemkompartimente von spezifischer Struktur und Funktion. Sie bestehen aus festen, flüssigen und gasförmigen, mineralischen und organischen sowie lebenden und toten Bestandteilen unterschiedlicher Partikelgröße und Qualität.² Böden bieten die Grundlage für die Biomasseproduktion auf dem Festland (Produktionsfunktion) und sind damit Basis des Lebensraumes aller das Festland bewohnender Organismen (Lebensraumfunktion). Weiterhin stellt der Boden ein Filter- und Puffersystem für die Grundwasserneubildung und -reinhaltung dar (Pufferfunktion). In ihm finden Abbau und Bindung von Stoffen statt (Transformationsfunktion). Außerdem bietet er Speicherraum für Nährstoffe und Wasser (Speicherfunktion). Neben diesen ökologischen Funktionen nutzt der Mensch den Boden zur Lagerung von Abfällen, als Baugrund, als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte und als Lagerstätte für Bodenschätze und Energiequellen.³ Gerade was die Lagerstätten anbelangt, besitzt die Braunkohle mit Blick auf den Bodenverbrauch in Deutschland, speziell auch im internationalen Kontext (vgl. Abb. 1), eine herausgehobene Bedeutung.

Braunkohle spielt als heimische Naturressource eine wichtige Rolle in der bundesdeutschen Energiewirtschaft. Dabei wird die Braunkohle ausschließlich im Tagebauverfahren gewonnen. Dies ist problematisch, da der Braunkohletagebau mit erheblichen Eingriffen in die Landschaft, insbesondere mit einem umfangreichen Bodenverbrauch, verbunden ist. Im folgenden soll deshalb beleuchtet werden, unter welchen Rahmenbedingungen der Braunkohlebergbau in Deutschland

¹ Aus: Hüttl, Reinhard F. & Oliver Bens, PGM 147 (2003) 3, S. 58–67.

² Vgl. Fiedler, H. J. (Hg.): Bodennutzung und Bodenschutz, Jena: Fischer, 1990; Hüttl, R. F. & O. Bens: Boden. In: Lecher, K., Lühr H.-P. & U. Zahnke (Hg.), Taschenbuch der Wasserwirtschaft., 8. Auflage, Berlin: Parey, 2001, S. 235–273.

³ Vgl. Blume, H.-P.: Handbuch des Bodenschutzes, Landsberg/Lech: ecomed, 1992.

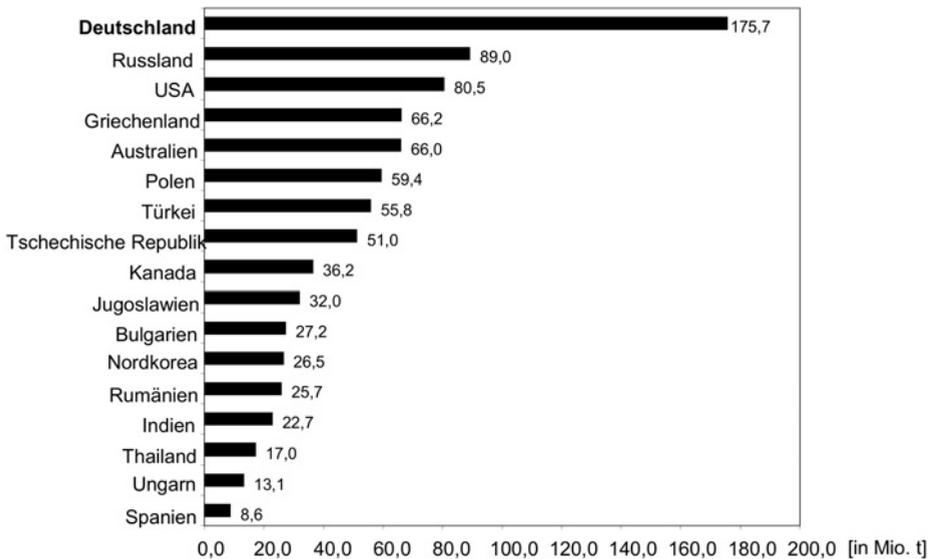


Abbildung 1
Die bedeutendsten Braunkohleförderstaaten im Jahre 2001

stattfindet und welche Folgen er für die Bodenlandschaft hat, die nach Beendigung des Tagebaus zurückbleibt bzw. sich neu entwickelt. Exemplarisch werden die Folgen des Braunkohletagebaus und die Frage nach dem ökologischen Entwicklungspotential der Bergbaufolgelandschaft für das Niederlausitzer Braunkohlerevier dargelegt.⁴

Braunkohle wird in Deutschland in sechs Revieren gewonnen (Abb. 2), wobei die Fördermengen jedoch nur im Rheinischen, im Mitteldeutschen, im Helmstedter und im Niederlausitzer Revier von wirtschaftlicher Bedeutung sind. Im Jahre 2000 betrug der Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland 483,6 Mio. Tonnen Steinkohleeinheiten (SKE). Insgesamt wurde nur gut ein Viertel der verbrauchten Primärenergie in der Bundesrepublik gewonnen. Die inländische Primärenergiegewinnung beruhte mit 41,5 % zum größten Teil auf Braunkohle.⁵

⁴ Vgl. Hüttl, R. F., Klem, D. & E. Weber (Hg.): Rekulktivierung von Bergbaufolgelandschaften, Berlin: Walter de Gruyter, 1999; Hüttl, R. F., Weber E. & Klem, D. (Hg.): Ökologisches Entwicklungspotential der Bergbaufolgelandschaften im Niederlausitzer Braunkohlerevier, Stuttgart: Teubner, 2000.

⁵ Vgl. DEBRIV (Deutscher Braunkohle-Industrie-Verein): Braunkohle – Ein Energiezweig stellt sich vor. Deutscher Braunkohle-Industrie-Verein, Köln 2001, S. 5.

Lagerstätten



Abbildung 2
Braunkohlereviere in Deutschland
(Stand 01/2001)

Auf den ersten Blick weisen die deutschen Braunkohlelagerstätten bestimmte Gemeinsamkeiten auf. So liegt das jeweilige Hauptflöz in relativ geringer Teufe. Bei dem Deckgebirge über dem Flöz handelt es sich jeweils um Lockergestein. Zur Entnahme der Braunkohle wird mit Hilfe des Tagebauverfahrens das Kohleflöz komplett freigelegt. Hierzu wird der Grundwasserspiegel im Umfeld des Tagebaus durch Sumpfungmaßnahmen abgesenkt und das Deckgebirge über dem Flöz abgetragen. Das abgetragene Deckgebirge – bergmännisch Abraum genannt – wird abtransportiert und an einer anderen Stelle – vorzugsweise in dem schon ausgekohnten Bereich des Tagebaus – abgelagert. Auf diese Weise werden die gewachsenen Böden großflächig abgebaggert und mit den Deckgebirgsmaterialien vermengt. Insoweit verbraucht der Braunkohletagebau Böden bzw. Bodenlandschaften und verwandelt das Gebiet, aus dem die Kohle entnommen wird, in eine Kippe (Abb. 3). Diese sogenannte Bergbaufolgelandschaft ist durch Kippsubstrate charakterisiert, die in der Regel noch nie zuvor einer

Bodenbildung unterlagen. Demzufolge findet in Bergbaufolgelandschaften eine Bodenentwicklung vom Punkt Null auf „terra nova“ statt.⁶



Abbildung 3
Unrekultivierte Kippen in der Lausitzer Bergbaufolgelandschaft

Bei näherem Hinsehen fällt auf, daß sich die Lagerstättenverhältnisse der großen Reviere nicht in allen Punkten ähneln. Es werden daher verschiedene Tagebautechnologien verwendet und damit unterschiedliche Voraussetzungen für die Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft geschaffen.

Beispielsweise wurde das Braunkohleflöz im Rheinischen Revier tektonisch beansprucht. Es hat eine taschenförmige Lagerung und weist zum einen mit 100–300 m die größte Teufe, zum anderen mit 10–70 m aber auch die größte Flözmächtigkeit auf. Um eine Tonne Braunkohle zu gewinnen, müssen in diesem Revier durchschnittlich $5,4 \text{ m}^3$ Abraum bewegt werden. Dieses Förderverhältnis ist mit dem des horizontal gelagerten Zweiten Lausitzer Flözhorizontes vergleichbar ($5,0 \text{ m}^3 : 1 \text{ t}$), das einerseits zwar in einer sehr viel geringeren Teufe von nur 80–120 m lagert, andererseits aber nur 7–20 m mächtig ist. Im Mitteldeutschen Revier beträgt die Teufe des Braunkohleflözes ebenfalls nur 80–100 m, doch resultiert hier aus der größeren Flözmächtigkeit von 10–30 m ein günstigeres Förderverhältnis von $2,2 \text{ m}^3 : 1 \text{ t}$.⁷

Die Unterschiede in den Lagerstättenverhältnissen wirken sich auf die Abraumfördertechnik aus. Während der Abraum im Mitteldeutschen und im Rheinischen Revier mit Baggern bzw. Schaufelradbaggern abgegraben wird, um dann über Bandanlagen transportiert und verkippt zu werden, wird er im Lausitzer Revier mit Hilfe von Abraumförderbrücken in einem Arbeitsschritt gewonnen,

⁶ Vgl. Hüttl, R. F. & E. Weber: Forest ecosystem development in post-mining landscapes: a case study of the Lusatian lignite district. In: *Naturwissenschaften* 88 (2001), S. 322–329.

⁷ Vgl. DEBRIV: Braunkohle – Ein Energiezweig stellt sich vor (Anm. 5), S. 10f.

über die offene Tagebaugrube transportiert und im ausgekohlten Tagebaubereich verstürzt (Abb. 4). Diese effiziente Abraumförderung führt zu einer hohen Geschwindigkeit bei der Freilegung des Kohleflözes. Mit dieser Fördertechnik wird die geringe Flözmächtigkeit adäquat kompensiert, denn die Abraumförderbrücke erlaubt Abraumbewegungen bis zu $34.200 \text{ m}^3/\text{h}$. 1996 betrug die Tageskapazität der Abraumbewegung im Lausitzer Revier 450.000 m^3 und war damit annähernd doppelt so hoch wie im Rheinischen Revier (240.000 m^3).⁸

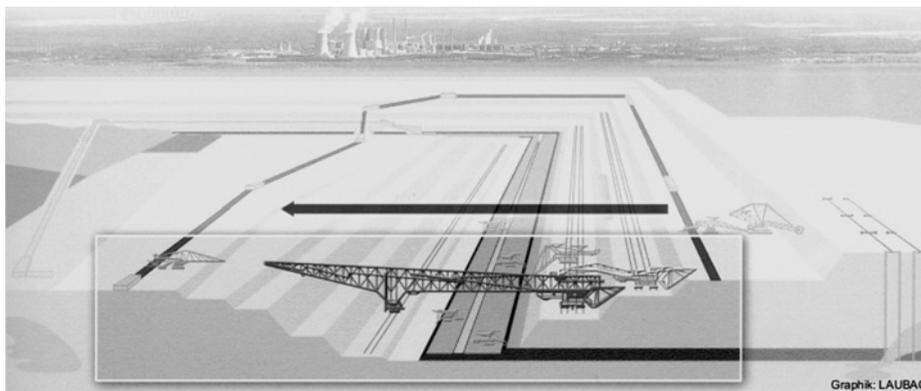


Abbildung 4
Prinzip eines Förderbrückentagebaus (Grafik: LAUBAG)

Die Lagerstättenverhältnisse und die Abraumförderbrückentechnologie führten unter den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der DDR dazu, daß speziell die Tagebaue in der Niederlausitz sehr viel schneller voranschritten als in den übrigen Revieren. Diese Tatsache spiegelt sich sowohl in den jährlich geförderten Braunkohlemengen als auch in den vom Tagebau in Anspruch genommenen Flächen (Abb. 5) wider. Vor der Wiedervereinigung beider deutscher Staaten wurde in der Niederlausitz mit 195 Mio. Tonnen jährlich annähernd doppelt soviel Rohbraunkohle gefördert wie im Rheinischen Revier (1989: 104 Mio. t). Dabei wurden durch den Braunkohletagebau in der Niederlausitz bislang ca. 80.000 ha Land in Anspruch genommen. Das ist etwa dreimal soviel wie im Rheinischen Revier. Da zu DDR-Zeiten die Rekultivierung mit dem schnellen Voranschreiten der Tagebaue nicht Schritt halten konnte, waren zum Zeitpunkt der politischen Wende in der Niederlausitz nur etwa die Hälfte der bergbaulich in Anspruch genommenen Flächen rekultiviert. Daraus resultierte ein großer Nachholbedarf für die Rekultivierung. Nach 1990 ging die jährliche Braunkohle-

⁸ Vgl. ebenda, S. 13f.

förderung im Lausitzer und im Mitteldeutschen Revier stark zurück. Sie erreichte im Jahr 2000 ein Niveau von 55,0 Mio. Tonnen in der Lausitz sowie von 16,4 Mio. Tonnen in Mitteldeutschland.

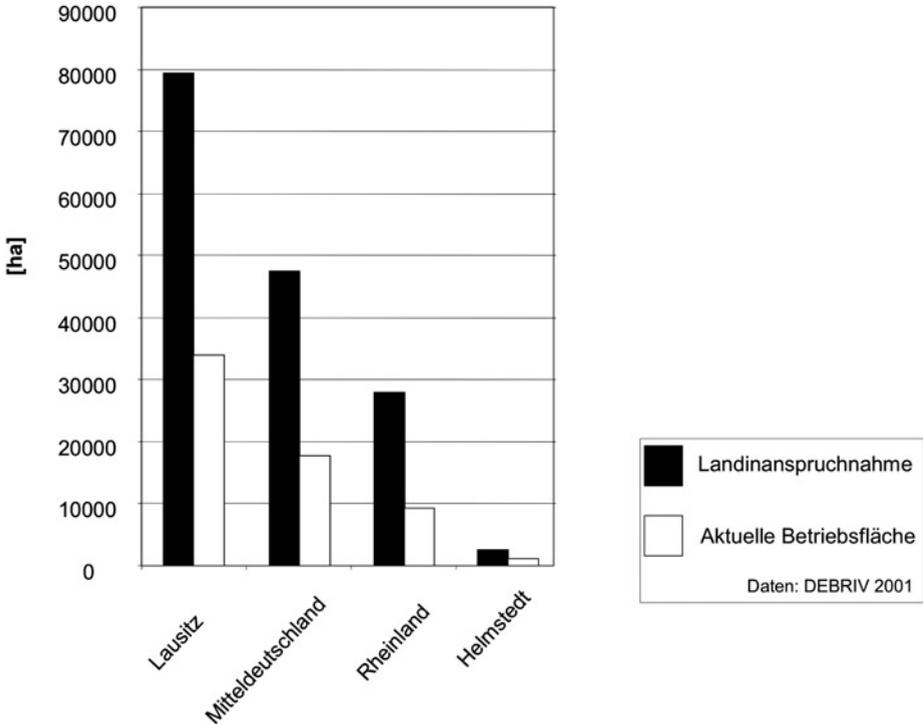


Abbildung 5
Landinanspruchnahme und Bodenverbrauch durch Braunkohlebergbau

Das Ausmaß der Braunkohleförderung, der Abraumbewegung, des Bodenverbrauchs und des Rekultivierungsdefizits lassen erkennen, daß die Folgen des Braunkohletagebaus in der Niederlausitz besonders gravierend sind. Zusätzlich wird die Rekultivierung dieser Bergbaufolgelandschaften durch die Zusammensetzung des Deckgebirges erschwert, das im Lausitzer Revier vorwiegend aus quarzreichen, silikat- und basenarmen Substraten besteht, aus denen sich sandige nährstoffarme Rohböden entwickeln.⁹ Es fehlt der fruchtbare Löß, der die Rekultivierung im Rheinischen und Mitteldeutschen Revier erleichtert.

⁹ Vgl. Neumann, C.: Zur Pedogenese pyrit- und kohlehaltiger Kippsubstrate im Lausitzer Braunkohlerevier. In: Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, Band 8, Cottbus 1999.

*2 Braunkohletagebau und seine Folgen für Bodenlandschaften
am Beispiel des Niederlausitzer Reviers*

Großflächiger Braunkohletagebau, wie er seit über 150 Jahren im Niederlausitzer Revier betrieben wird, bewirkt eine sehr starke anthropogene Veränderung, das heißt eine Störung der gesamten Bodenlandschaft¹⁰, denn durch die Abraumbewegung gehen die Bodendecke, die Vegetationsdecke und die Mikro- und Mesofauna verloren. Zudem werden durch die für die Gewinnung der Braunkohle notwendigen Sumpfungmaßnahmen flächenhaft langandauernde Grundwasserabsenkungen verursacht. Nach Beendigung des Tagebaus müssen sich auf den Abraumkippen neue Böden mit ihren spezifischen Funktionen entwickeln. Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen müssen sich wieder ansiedeln, Stoffkreisläufe sowie Nahrungsketten müssen neu etabliert werden und der Wasserhaushalt der Bergbaufolgelandschaft muß in ein neues Gleichgewicht kommen.

Der Braunkohletagebau hat sich im Niederlausitzer Revier über ein Gebiet bewegt, das vor dem Tagebau forstwirtschaftlich (60,7 %), landwirtschaftlich (31,3 %), wasserwirtschaftlich (0,8 %) und für sonstige Zwecke (7,2 %) genutzt wurde (Abb. 6). Für den Tagebau wurden die Flächen im Zuge der sogenannten Vorfeldberäumung aus der Bewirtschaftung genommen, doch soll das geräumte Gebiet nach Beendigung des Tagebaus als Nutzfläche wiederhergestellt, das heißt rekultiviert und im Zuge der Landnutzung entsprechend in Wert gesetzt werden. Die Entwicklung der Böden, der pflanzlichen und tierischen Wiederbesiedlung bzw. der gesamten Systemeigenschaften einschließlich des Wasserhaushalts muß daher mit Blick auf die jeweils angestrebte künftige Nutzung gesteuert und unterstützt werden. Der Prozeß, in dem dies geschieht, wird gemäß Bundesbergrecht Wiederherstellung bzw. Rekultivierung genannt. Konkret umfaßt der Begriff Rekultivierung das gezielte Wiederherstellen von Böden an gestörten/devastierten Standorten, um einen neuen Boden als Kulturpflanzenstandort (z.B. für die Land- oder Forstwirtschaft) bzw. als Lebensraum für Tiere herzustellen.

Bei der Rekultivierung muß berücksichtigt werden, daß die Tagebauflächen in den Bergbaufolgelandschaften nicht die gleichen Bedingungen aufweisen, wie sie in der ursprünglichen Landschaft vorlagen. Durch das Verstürzen des Abraums werden in der Regel die geologischen Schichten des Deckgebirges vermischt, so daß in der Kippe andere Lagerungs- sowie geochemische Verhältnisse vorherrschen als dies im Deckgebirge der Fall war. Somit steht ein qualitativ neues Sub-

¹⁰ Vgl. Young, O. R.: Institutional dimensions of global environmental change. Science plan. IHDP Report No. 9, Bonn 1999; vgl. weiter White, P. S. & S. T. A. Pickett: Natural disturbance and patch dynamics: An introduction. In: Pickett, S. T. A. & P. S. White (Hg.), The ecology of natural disturbance and patch dynamics, New York: Academic Press, 1985, S. 3–13.

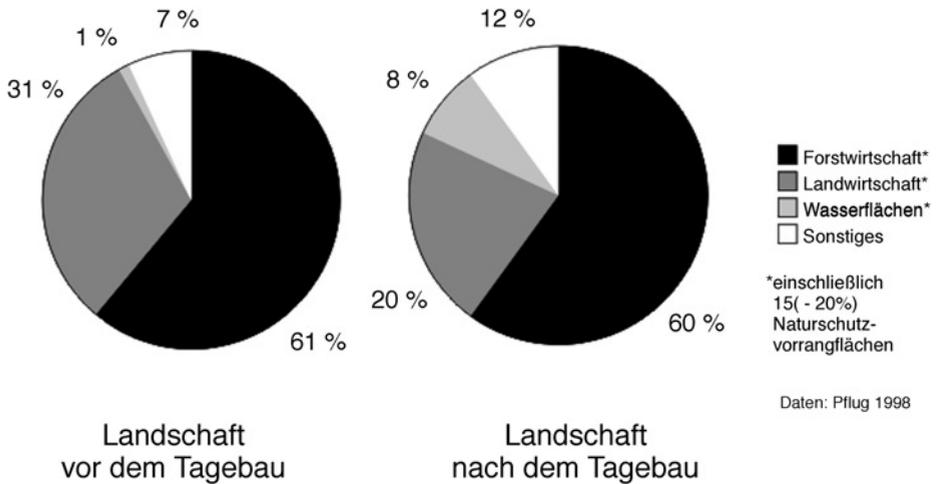


Abbildung 6

Landnutzung im Niederlausitzer Braunkohlerevier vor und nach dem Tagebau

strat für die Bodenbildung an. Im Niederlausitzer Revier sind auf diese Weise häufig marin-brackische Sedimente an die Oberfläche transportiert worden, die im Tertiär unter sauerstoffarmen Bedingungen in der unmittelbaren Umgebung des Kohleflözes abgelagert worden waren. Diese Sedimente zeichnen sich durch hohe Kohle- und Schwefelgehalte aus und enthalten große Mengen an Eisensulfiden, namentlich Pyrit und Markasit. Diese chemischen Verbindungen sind in ihrer natürlichen Lagerung, in der sie zunächst vom Meer und später vom Grundwasser bedeckt waren, über Millionen von Jahren erhalten geblieben. Sie sind jedoch nicht länger stabil, wenn sie im Zuge des Tagebaus an die gut durchlüftete Kippenoberfläche gelangen und somit auf völlig andere Umweltbedingungen stoßen. Unter dem Einfluß von Sauerstoff beginnen sie zu verwittern. Dies ist ein Prozeß, bei dem große Säure-, Sulfat- und Eisenmengen freigesetzt werden. Infolgedessen treten in den Kippsubstraten häufig pH-Werte von drei und darunter auf. Derartige pH-Werte sind verglichen mit denen, die in den nicht vom Bergbau beeinflussten Böden der Region gefunden werden, außergewöhnlich niedrig. Diese geringen pH-Werte bewirken eine höhere Löslichkeit von Aluminium und Schwermetallen, die zu phytotoxischen Konzentrationen führen können. Zusammen mit den hohen Salzgehalten beeinflussen sie maßgeblich die Bodenentwicklung. Zudem sind diese Substrate durch das weitgehende Fehlen von Nährstoffen und Humus charakterisiert.¹¹ Mit Blick auf die organi-

¹¹ Vgl. Hüttl, R. F. & O. Bens: Soil organic matter formation and dynamics in post-mining landscapes. In: Book of abstracts, 4th International Symposium on ecosystem behaviour – BIOGEOMON, The University of Reading/UK, 2002, S. 109.

sche Substanz zeichnet sich jedoch ein Großteil dieser Standorte durch das Vorhandensein von kohlebürtigen, das heißt geogenen Kohlenstoffquellen aus. Der geogene Kohlenstoff in den oberflächennahen Kippsubstraten entstammt einerseits der Braunkohle, andererseits atmosphärischer Depositionen, zum Beispiel von Braunkohleflugaschen aus den Kraftwerken. Darüber hinaus wurden sogenannte Kesselhausaschen aufgrund ihres hohen Anteils an basisch wirksamen Inhaltsstoffen zur pH-Wert verbessernden Melioration (Säurepufferung) in die Kippsubstrate eingebracht. Daraus ergibt sich, daß sich der Vorrat an organischem Kohlenstoff an Bergbaufolgestandorten aus rezenten und geogenen Quellen zusammensetzt (Abb. 7). In welchem Ausmaß diese Kohlenstoffpools an der Bildung von Humus und damit an der Pedogenese teilhaben, ist Gegenstand aktueller Untersuchungen.¹² Da die Kippsubstrate häufig stark sandiger Textur sind und eine geringe Nährstoffsorptions- sowie Wasserspeicherfähigkeit aufweisen, kommt unter diesen Bedingungen besonders dem Humus als Speichermedium sowie als Energielieferant für Bodenorganismen eine große Bedeutung zu. Damit ist die Betrachtung der Bildung von Humusformen als pedogentisches Prozeß für diese Neulandstandorte besonders wichtig.

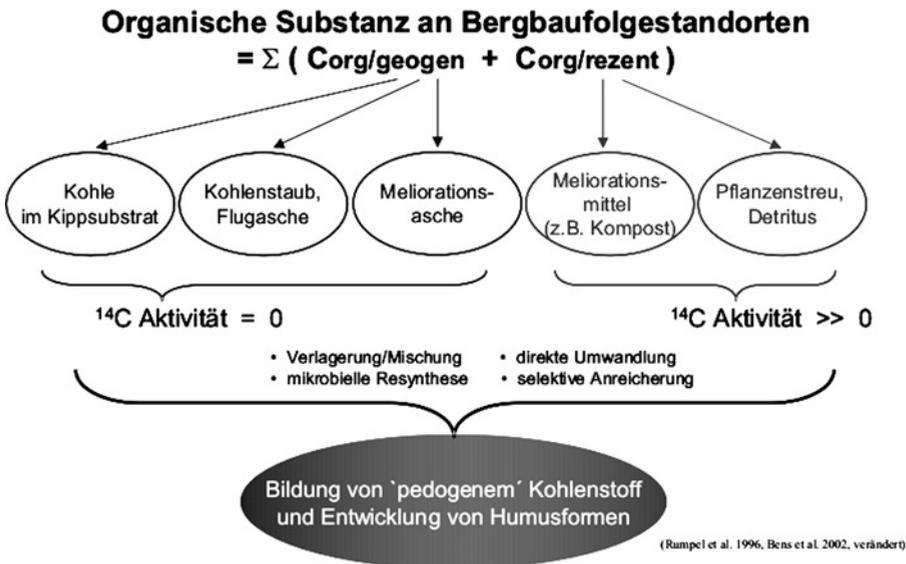


Abbildung 7
Kohlenstoffquellen in Böden an Bergbaufolgestandorten

¹² Vgl. ebenda, S. 109; vgl. weiter Morgenroth, G., Kretschmer, W., Scharf, A., Uhl, T., Fettweis, U., Bens, O. & R. F. Hüttl: ^{14}C measurement of soil in post-mining landscapes. In: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (2003) (eingereicht).

Daß pyrit-haltige Kippsubstrate die Entwicklung des Bodens zu einem Pflanzenstandort nicht begünstigen, ist besonders offensichtlich, da derartige Standorte über Jahrzehnte hinweg vegetationsfrei bleiben.¹³ Es ist daher eine wichtige Aufgabe der mit der Rekultivierung verbundenen Bodenmeliorationen, die phytotoxischen Eigenschaften der Kippsubstrate zumindest im Wurzelbereich der Pflanzen zu beseitigen. Bereits seit den 1960er Jahren wurden und werden im Lausitzer Revier Methoden entwickelt, um die dafür benötigten Mengen an puffernden Substanzen – zum Beispiel Kraftwerksasche oder Kalk – zu ermitteln, die dann in die oberen 60 bis 100 cm der Kippsubstrate eingearbeitet wurden und werden.¹⁴

Neben den geochemischen stellen auch die mechanischen Eigenschaften des verkippten Abraums ein Problem dar. Wegen der verkipptungsbedingten sehr lockeren Lagerung kann zum Beispiel das wiederansteigende Grundwasser über lange Zeiträume gefährliche Setzungen und Sackungen der Kippenmassive auslösen. In Böschungsbereichen kann es dabei zum sogenannten Setzungsfließen kommen, durch das große Abraummassen in Bewegung geraten. Um diese Gefahr auszuräumen, wird die Kippenstabilität durch aufwendige Verdichtungsmaßnahmen verbessert. Die setzungs- und sackungs- bzw. setzungsfließgefährdeten Kippenbereiche ergeben in der Lausitz zusammengenommen eine Fläche von 2.600 ha bzw. eine Böschungslänge von insgesamt 130 km.¹⁵

Schließlich entsteht durch die Entnahme der Kohle ein gewaltiges Massendefizit. Infolgedessen können die Tagebaugruben mit Hilfe des Abraums nicht so weit gefüllt werden, daß das Niveau der ursprünglichen Geländeoberfläche flächendeckend wiederhergestellt werden könnte. Im Lausitzer Revier hat der Tagebau aus diesem Grund 136 sogenannte Restlöcher hinterlassen. Die Restlöcher füllen sich mit Wasser, wenn die Sumpfungmaßnahmen in den benachbarten Tagebaugebieten eingestellt werden und der Grundwasserspiegel wieder ansteigt. Die Bergbaufolgelandschaft wird daher deutlich mehr Oberflächengewässer aufweisen als die ursprüngliche Landschaft (Abb. 6). Die Tatsache, daß das Grundwasser in den Bereichen einzelner stillgelegter Tagebaue bereits wieder angestiegen

¹³ Vgl. Pietsch, W.: Recolonization and development of vegetation on mine spoils following brown coal mining in Lusatia. In: *Water, Air and Soil Pollution* 91 (1996), S. 1–15; vgl. ders. & A. Schötz, Vegetationsentwicklung auf Kippprohböden der Offenlandschaft – Rolle für die Bioindikation. In: Hüttl, Klem & Weber (Hg.), *Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften* (Anm. 14), S. 101–117.

¹⁴ Vgl. Hüttl, R. F., Klem, D. & E. Weber (Hg.): *Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften*, Berlin: Walter de Gruyter, 1999.

¹⁵ Vgl. BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit): *Ökologischer Aufbau. Braunkohlesanierung Ost*, Bonn: Bundesumweltministerium, 1994.

ist, darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß der Braunkohletagebau in der Niederlausitz ein gewaltiges Grundwasserdefizit hinterlassen hat und bisher nicht geklärt ist, wie der langfristige Grundwasserwiederanstieg in der gesamten Region verlaufen wird. Damit verbunden sind standörtlich auch veränderte Bedingungen für die Bodenentwicklung, insbesondere in an sich grundwassernahen Gebieten.

Die Aufgabe der Rekultivierung der Bergbaufolgelandschaft bedeutet in der Niederlausitz, eine großflächig fragmentierte Landschaft zu gestalten und wieder nutzbar zu machen, und zwar unter der Maßgabe, daß deren Wasserhaushalt nach langjähriger Fremdsteuerung nur schwer kalkulierbar ist, deren Böden sich vielerorts auf einem Ausgangsmaterial entwickeln, das zuvor in dieser Region nicht an der Oberfläche vorkam, und deren Besiedlung mit Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen an vielen Orten erst vor kurzer Zeit oder noch gar nicht wieder begonnen hat. Wie sich diese ungewöhnlichen Ausgangsbedingungen auf die Entwicklung von Ökosystemen und speziell von Böden in der Bergbaufolgelandschaft auswirken, wurde allerdings bisher nicht hinreichend untersucht. Dies ist ein gravierendes Defizit, da sich die Planung einer langfristig nachhaltigen Rekultivierung und Inwertsetzung der Bergbaufolgelandschaft mit ihren neuen Böden an ökologisch fundierten Grundlagen orientieren muß. Es erschien deshalb sinnvoll, die eher praxisnahe Forschung zur Entwicklung technischer Rekultivierungsmethoden, die im Lausitzer Revier seit den 1930er Jahren erfolgreich betrieben wird, durch Forschungsansätze zu ergänzen, mit Hilfe derer das notwendige Wissen über das ökologische Entwicklungspotential der typischen Ökosysteme der Bergbaufolgelandschaft vergrößert bzw. grundlegend erarbeitet wird.

3 Entwicklungspotentiale von Ökosystemen der Bergbaufolgelandschaften im Niederlausitzer Braunkohlerevier

Zur Untersuchung des ökologischen Entwicklungspotentials sowie zur Bewertung relevanter ökologischer Entwicklungen wurden im Forschungsvorhaben „Innovationskolleg Bergbaufolgelandschaften“ bzw. werden im Sonderforschungsbereich 565 „Gestörte Kulturlandschaften“ sowie in zahlreichen weiteren anwendungs- und grundlagenorientierten Forschungsvorhaben sowohl die terrestrischen als auch die aquatischen Bereiche der Bergbaufolgelandschaft am Fallbeispiel des Niederlausitzer Braunkohlereviere untersucht.¹⁶ Im terrestri-

¹⁶ Vgl. Hüttl, Klem & Weber (Hg.): Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften (Anm. 14).

schen Bereich interessiert vor allem, wie die Bodenbildung unter den ungewöhnlichen Bedingungen der Kippsubstratbeschaffenheit verläuft, wie sich Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere ansiedeln und ob sich daraus stabile Ökosysteme entwickeln. Daher werden alle wichtigen bodenbildenden Teilprozesse untersucht und neue Methoden erarbeitet, die vor allem den besonderen chemischen Eigenschaften der Kippsubstrate Rechnung tragen. Konkret wird zum Beispiel der Frage nachgegangen, wie sich das Humusprofil mit seiner Tiergemeinschaft im Laufe der Zeit verändert und welchen Beitrag die Bodentiere zur Morphogenese ihres Lebensraums leisten. Die Frage, ob es Sukzessionsstadien der Vegetationsentwicklung gibt, wird ebenso untersucht wie die Wechselwirkungen zwischen Pflanzenbewuchs und Bodeneigenschaften. Dabei ist unter anderem die Verbreitung von Mykorrhizen und deren Rolle für die Pflanzen von besonderer Relevanz. Zudem werden Parameter des Stoff- und Wasserhaushalts in Forst- und Agrarökosystemen und an Standorten der ungestörten Sukzession intensiv studiert.

Die verschiedenen interdisziplinären Untersuchungen zum Entwicklungspotential, zu den bereits belegbaren Entwicklungen sowie zu den Möglichkeiten ihrer Bewertung werden an repräsentativen Standorten durchgeführt. Die inhaltliche Vernetzung ergibt sich aus der Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Pflanz-, Hydro- und Biosphäre. Der zeitlichen Entwicklung wird mit Hilfe von Prozeß- und Chronosequenzstudien nachgegangen.

Chronosequenzstudien stellen eine Möglichkeit dar, in relativ kurzer Zeit Informationen über den Verlauf der Entwicklung von Ökosystemen mit einer langen Lebensdauer zu erhalten und daraus Hypothesen über Gesetzmäßigkeiten der Systementwicklung abzuleiten. Sie basieren auf dem Ansatz, gemäß dem die zeitliche Entwicklung eines Ökosystems aus der Betrachtung von verschiedenen alten, im übrigen aber vergleichbaren Standorten herausgefunden werden kann. Die Chronosequenzen, die in den aufgeführten Forschungsvorhaben untersucht werden, umfassen die ersten 60 Jahre der Entwicklung von Bergbaufolgestandorten.

Die bodenchemische Charakterisierung der Chronosequenzstandorte zeigt, daß die Versauerung der kohlehaltigen Kippsubstrate mit der Aschemelioration über 30 Jahre hinweg deutlich gemildert werden kann. Beispielsweise liegen die kleinräumig sehr heterogenen pH-Werte im meliorierten Oberboden zwischen 3,5 und 6,0, während sie sich im nicht-meliorierten Unterboden zwischen 2,7 und 3,9 bewegen. Diese extrem niedrigen pH-Werte werden zudem von sehr hohen Salzgehalten begleitet. An dem 1996 zur Demonstration der Initialphase der Chronosequenzstudie neu begründeten Versuchs-Kippenstandort „Weißagker Berg“ lagen die Sulfatgehalte im gesamten Bodenprofil grundsätzlich über 1.400 mg/l mit Maximalwerten von bis zu 3.200 mg/l. An den älteren Chrono-

sequenzstandorten nehmen die Sulfatgehalte ab, und zwar im Oberboden stärker als im Unterboden. Diese Beobachtung deutet auf Aufwaschungsprozesse hin.¹⁷

Die Untersuchungen zur Bodenentwicklung belegen, daß die Pyritverwitterung für die extreme Versauerung verantwortlich ist und zu der hohen Versalzung durch Sulfate beiträgt. Anhand mineralogischer Studien läßt sich erkennen, daß unter diesen Bedingungen bodengenetische Prozesse ablaufen, die in den natürlichen Böden der Lausitz nicht auftreten.¹⁸ Hierzu zählt zum Beispiel die Ausfällung von Gips im Oberboden. Im Laufe der Zeit nimmt mit nachlassender Pyritverwitterung auch die Salz- und Säurebelastung des Oberbodens ab, doch werden selbst nach Jahrzehnten keine Verhältnisse erreicht, die annähernd mit denen der gewachsenen Böden dieser Region vergleichbar wären.¹⁹ Der gesamte Prozeß der Salz- und Säurefreisetzung zeichnet sich auch deutlich in der Zusammensetzung der Bodenlösung ab.²⁰

Die extremen bodenchemischen Bedingungen der Kippsubstrate spiegeln sich in einer vergleichsweise geringen Tiefendurchwurzelung wider. Unterhalb des Meliorationshorizontes nimmt die Wurzeldichte deutlich ab.²¹ Bisher ist jedoch unklar, ob Kiefern und Eichen in ihrer weiteren Bestandesentwicklung das für die Standsicherheit erforderliche, tiefreichende Wurzelsystem im sauren Unterboden ausbilden können, das für die trockenen Sand-Standorte typisch wäre.²² Bei der Besiedlung der extrem nährstoff- und humusarmen Kippenstandorte spielt die Mykorrhizasymbiose offenbar eine bedeutende Rolle. Annähernd alle untersuchten dominanten Pflanzenarten der Krautschicht der Kiefern-Chrono-

¹⁷ Vgl. Schaaf, W.: Untersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt von Kiefernökosystemen auf rekultivierten Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlereviere und deren Beitrag zu bodenökologischen Fragestellungen. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 83 (1997), S. 191–194.

¹⁸ Vgl. Neumann: Zur Pedogenese pyrit- und kohlehaltiger Kippsubstrate im Lausitzer Braunkohlerevier (Anm. 9).

¹⁹ Vgl. Schaaf, W., Neumann, C. & R. F. Hüttl: Actual cation exchange capacity in lignite containing pyritic mine soils. In: J. Plant Nutr. Soil Sci. 164 (2001), S. 77–78.

²⁰ Vgl. Schaaf: Untersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt von Kiefernökosystemen (Anm. 17).

²¹ Vgl. Schneider, B. U., Bens, O. & R. F. Hüttl: Adaptation strategies of root systems and soil organic matter dynamics in pine forest ecosystems of the German North-eastern Lowlands. In: Proceedings, 6th Symposium of the International Society of Root Research, Nagoya, 2001, S. 490–491; vgl. weiter Bens, O., Fettweis, U., Koch, A., Schneider, B. U. & R. F. Hüttl: Soil organic matter formation and root functioning in lignite-rich mine soils in Lusatia, Germany. In: Book of Abstracts, 20th Anniversary Conference of International Humic Substances Society (IHSS): Humic substances – Nature's most versatile materials, Boston 2002, S. 354–356.

²² Vgl. Schneider, Bens & Hüttl: Adaptation strategies (Anm. 21).

sequenz sind offensichtlich mykorrhiziert.²³ Die Besiedlung mit diesen pilzlichen Symbionten erfolgt zudem sehr rasch. Auf den kohlehaltigen Substraten wurden in Kiefern-Jungbeständen bislang noch nicht beschriebene Mykorrhizen entdeckt.²⁴ Im weiteren ist zu klären, ob es sich hierbei um Pilzarten handelt, die besonders an die Kippsubstrate angepaßt sind und welche ökologischen Funktionen bzw. physiologischen Leistungen diese Arten erbringen.

Die Umsatzleistung der Bodenorganismen nimmt genauso wie die oberirdische Biomasseproduktion der Baumschicht im Laufe der Zeit zu. Parallel zum Lichteinfall, der sich mit der Entwicklung der Kiefernbestände von licht über sehr dicht zu weniger dicht ändert, fällt die Biomasseproduktion der Krautschicht vom jüngsten Testbestand bis zu den ca. 20jährigen Untersuchungsbeständen fast auf Null ab, steigt dann aber wieder leicht an. Im ältesten Experimentalbestand der betrachteten Zeitreihe wurden für die oberirdische Biomasseproduktion der Baum- und Krautschicht und für die Umsatzleistungen der Bodenorganismen Kennwerte ermittelt, die den bekannten Werten vergleichbarer gewachsener Standorte ähneln.²⁵

Die Biomasseproduktion von Pflanzen und Tieren ist für natürliche Böden ein wichtiger Lieferant für rezente organische Substanz und damit für Kohlenstoff. Für kohlehaltige Kippsubstrate ist die rezente organische Substanz jedoch neben

²³ Vgl. Weber, E., Schmincke, B., Frens, B. & R. F. Hüttl: Mykorrhiza in der Krautschicht von Kippenforsten in der Niederlausitz – Methodische Voruntersuchungen und erste Ergebnisse. In: Mehrbach, W. (Hg.), Pflanzliche Stoffaufnahme und mikrobielle Wechselwirkungen in der Rhizosphäre, Stuttgart: Teubner, 1995, S. 55–70.

²⁴ Vgl. Ullrich, A., Münzenberger, B. & R. F. Hüttl: Die Vitalität von Ektomykorrhizen der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf Rekultivierungsflächen des Lausitzer Braunkohlereviers. In: Merbach, W. (Hg.), Pflanzenernährung, Wurzelleistung und Exudation. 8. Borkheider Seminar zur Ökophysiologie des Wurzelraumes, Schmerwitz, September 1997, Stuttgart: Teubner, 1998, S. 115–122; vgl. weiter Münzenberger, B., Gollmack, J., Wöllecke, J. & R. F. Hüttl: Mykorrhizierung der Kiefer auf Standorten mit natürlich gelagerten und stark veränderten Böden in den neuen Bundesländern. In: Allg. Forstz./Der Wald 21 (2000), S. 1144–1146; siehe auch Schelter, D., Münzenberger, B. & R. F. Hüttl: Selektion effektiver Mykorrhizapilzarten bzw. -stämme zur Verbesserung von Wachstum und Vitalität der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf Kippsubstrat. In: Merbach, W., Wittenmayer, L. & J. Augustin (Hg.), Rhizodeposition und Stoffverwertung. 10. Borkheider Seminar zur Ökophysiologie des Wurzelraums, Stuttgart: Teubner, 2000, S. 116–124.

²⁵ Vgl. Frouz, J., Keplin, B., Pizl, V., Tajovský, K., Starý, J., Lukešová, A., Nováková, A., Balík, V., Hánel, L., Materna, J., Düker, C., Chalupský, J., Rusek, J. & T. Heinkele: Soil biota and upper soil layers development in two contrasting post mining chronosequences. In: Ecol. Eng. 17 (2001), S. 275–284; vgl. weiter Keplin, B. & R. F. Hüttl: Decomposition of root litter in *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* stands on carboniferous substrates in the Lusatian lignite mining district. In: Ecol. Eng. 17 (2001), S. 285–296.

Braunkohle, luftbürtigen Einträgen und Meliorationsasche nur eine von vier möglichen Kohlenstoffquellen.²⁶ Obwohl die organische Bodensubstanz in den Neulandböden von den Braunkohlebeimengungen dominiert wird, läßt sich im Oberboden mit spezifischen Methoden eine Beteiligung der rezenten organischen Substanz im frühen Stadium der Humifizierung zeigen.²⁷ Hierbei nimmt der Anteil der rezenten organischen Substanz am gesamten Kohlenstoffpool innerhalb von 30 Jahren deutlich zu; er steigt von 20 % auf 40 % an. Neben der chemischen Beschaffenheit organischer Bodensubstanz wird unter anderem auch die morphologische Entwicklung eingehend untersucht, da die morphologische Entwicklung Rückschlüsse zum Beispiel auf die tierische Besiedlung und biologische Aktivität sowie den Nährstoffstatus und den Zersetzungsgrad der organischen Bodensubstanz ermöglicht.²⁸ Dabei wird davon ausgegangen, daß der Humusentwicklungszustand als ein Indikator für den Entwicklungszustand von Neulandböden an Bergbaufolgestandorten genutzt werden kann.

Die bislang erzielten Ergebnisse der Chronosequenzstudien belegen, daß der Braunkohletagebau auch 30 Jahre nach der Stilllegung bzw. Rekultivierung noch erheblich in den terrestrischen Ökosystemen der Bergbaufolgelandschaft nachwirkt und die Prozeßdynamik im Zuge der Bodenentwicklung von der Störung langanhaltend geprägt bzw. dominiert wird. So sind zum Beispiel die kohlehaltigen Kippenböden nach wie vor durch den Prozeß der Pyritoxidation und die Bildung von Sekundärmineralphasen charakterisiert. Darüber hinaus ist vor dem Hintergrund der andauernden, sehr starken bzw. extremen Versauerung des unmeliorierten Unterbodens und der eingeschränkten Entwicklung des Wurzelwachstums nach wie vor fraglich, ob auf den kohlehaltigen Substraten der Bergbaufolgelandschaft langfristig stabile Forstbestände entstehen können. Andererseits scheint sich insbesondere die Biozönose innerhalb von wenigen Jahrzehnten an die Folgen des Tagebaus angepaßt zu haben. So zeigen die Entwicklung der Biomasseproduktion der Baum- und Krautschicht und die Umsatzleistungen der Bodenorganismen, daß sich in den Forstbeständen der Bergbaufolgelandschaft in

²⁶ Rumpel, C., Kögel-Knabner, I., Becker-Heidmann, P. & R. F. Hüttl: Multiple causes for elevated carbon content in recultivated mine soils in Lusatia, Germany. In: Bottrell, C. H. (Hg.), Proceedings of the 4th International Symposium on the Geochemistry of the Earth's Surface, 22.–26. July 1996, Ilkley, Yorkshire, 1996, S. 461–467; vgl. weiter Bens, Fettweis, Koch, Schneider & Hüttl: Soil organic matter formation and root functioning (Anm. 21), siehe auch Abb. 7.

²⁷ Vgl. Rumpel, Kögel-Knabner, Becker-Heidmann & Hüttl: Multiple causes for elevated carbon (Anm. 26); vgl. weiter Morgenroth, Kretschmer, Scharf, Uhl, Fettweis, Bens & Hüttl: ¹⁴C measurement of soil in post-mining landscapes (Anm. 12).

²⁸ Vgl. Bens, Fettweis, Koch, Schneider & Hüttl: Soil organic matter formation and root functioning (Anm. 21); vgl. weiter Hüttl & Bens: Soil organic matter formation and dynamics (Anm. 11).

diesem Zeitraum eine Situation einstellt, die der an vergleichbaren gewachsenen Standorten ähnlich ist. Damit ist eine Anreicherung rezenter organischer Substanz verbunden, die sich positiv auf die gewünschte Genese der Kippenrohböden auswirkt. Allerdings haben sich auch 40 bis 50 Jahre nach der Rekultivierung noch keine dynamisch-stabilen Gleichgewichte in den Neulandböden eingestellt, so daß diese Standorte nach wie vor auch Jahrzehnte nach der Rekultivierung von der Störung geprägt sind und der Bodenverbrauch in dieser Entwicklungszeit nicht bzw. nur allmählich ausgeglichen wird.

4 Schlußfolgerungen

Der Braunkohlebergbau stellt ein Extrembeispiel für großflächige anthropogene Bodendevastierungen dar. Dieser weiträumige Eingriff in die Bodenlandschaft ist mit Auswirkungen verbunden, die die natürlichen Eigenschaften und Prozesse, das heißt die natürliche (Neu-)Entwicklung der Böden, massiv beeinflussen. Daraus resultieren negative Effekte auf alle mit dem Teilbereich Boden eng verknüpfte Ökosystemkompartimente wie die Vegetation, das Edaphon und vor allem auch das Grundwasser. Vor diesem Hintergrund gilt es, konkrete Anforderungen an die Rekultivierung von Bergbaufolgestandorten zu formulieren, um die Wiederherstellung funktions- bzw. leistungsfähiger (Nutz-)Ökosysteme nach dem Bergbau durch Maßnahmen der Rekultivierung zu gewährleisten. Rekultivierung bedeutet eine ordnungsgemäße Gestaltung der vom Bergbau in Anspruch genommenen Bodenfläche unter Beachtung des öffentlichen Interesses. Die Wiedernutzbarmachung erfolgt mit dem Ziel, alle nicht mehr für bergbauliche Zwecke benötigten Bodenflächen unverzüglich für eine Folgenutzung herzurichten und damit die Voraussetzung für eine naturnahe und landschaftstypische, vielfach nutzbare Folgelandschaft zu schaffen. Durch die Bergbehörden der Bundesländer werden Richtlinien für die Wiedernutzbarmachung bergbaulich in Anspruch genommener Bodenflächen erlassen.²⁹ Danach ist zum Beispiel anstehendes kulturfähiges Bodensubstrat im Tagebauvorfeld selektiv zu gewinnen und für die Wiedernutzbarmachung einzusetzen. Sind Maßnahmen wie Zwischenlagerung erforderlich, ist der Erhalt der Kulturfähigkeit des Bodensubstrats zu sichern. An den Bergbaufolgestandorten soll die Wiederherstellung einer oberen durchwurzelbaren, vegetationsfreundlichen Bodendecke mit einer Mächtigkeit von zwei Metern erfolgen. Aus bodenwissenschaftlicher Sicht ist jedoch noch nicht geklärt, ob dieses formale Ziel wirklich erreichbar ist.

²⁹ Vgl. LBB (Landesbergamt Brandenburg): Richtlinie des Landesbergamtes Brandenburg für die Wiedernutzbarmachung bergbaulich in Anspruch genommener Bodenflächen vom 15.06.2001 (Ord.-Nr. 4/01), Cottbus 2001.

Aus dem Blickwinkel des Konzepts einer nachhaltigen Entwicklung ist es zwingend notwendig, den Boden zu schützen. Bodenschutz zielt dabei folgerichtig auf den Erhalt bzw. bei Bergbaufolgestandorten auf die Wiederherstellung von Bodenfunktionen und erst nachrangig auf den Erhalt bestimmter Bodenmerkmale oder Bodentypen. Das Konzept der Notwendigkeit des Schutzes der Bodenfunktionen war eine wichtige Grundlage zur Erarbeitung und Umsetzung des Bundesbodenschutzgesetzes – eine umweltpolitische Leistung Deutschlands, die bislang weltweit einmalig ist. Dieses im März 1999 erlassene Gesetz wurde im August 1999 durch die Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) untermauert bzw. konkretisiert. Zwar geht die BBodSchV grundsätzlich auf schädliche Bodenveränderungen ein, jedoch fehlen bis heute weitgehend Regelungen zu physikalischen Schadeinwirkungen auf Böden und speziell zum großflächigen Bodenverbrauch.³⁰ Hier besteht ein Nachbesserungsbedarf, besonders mit Blick auf Regelungen zu Wirkungen auf Bodenorganismen und die Lebensraumfunktion im allgemeinen.

Umfassende internationale Vereinbarungen zum Schutz von Böden existieren ebenfalls nicht. Der verantwortungsvolle Umgang mit Böden wird zwar unter anderem in mehreren Kapiteln der Agenda 21 der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro (1992), der Europäischen Bodencharta des Europarates (1989) sowie in der Welt-Boden-Charta der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1981) thematisiert. Bislang wurde jedoch nur sehr wenig unternommen, um diese – unverbindlichen – Prinzipien und programmatischen Erklärungen in die Tat umzusetzen. Das „Internationale Übereinkommen zur Bekämpfung der Wüstenbildung in von Dürre und/oder Wüstenbildung betroffenen Ländern, insbesondere in Afrika“ (Wüstenkonvention) der Vereinten Nationen (1996) ist zwar rechtlich verbindlich, erfaßt jedoch nur aride und semiaride Gebiete. Demgegenüber bleiben Gefahren für Böden durch Bodendegradation und -zerstörung, zum Beispiel durch Bodenverbrauch infolge Braunkohletagebau, in anderen Klimagebieten auf internationaler Ebene weitestgehend unbewältigt, obwohl derartige Gefahren keineswegs auf Wüstengebiete beschränkt sind, wie das Beispiel des Braunkohletagebaus in Deutschland verdeutlicht.

³⁰ Vgl. SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen): Umweltgutachten 2000: Gutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen der Bundesregierung, Stuttgart: Metzler-Poeschel, 2000.

Abbildungsnachweis

Abbildung 1: DEBRIV (Deutscher Braunkohle-Industrie-Verein): Braunkohle – Ein Energiezweig stellt sich vor. Deutscher Braunkohle-Industrie-Verein, Köln 2001

Abbildung 2: ebenda

Abbildung 3: Bens 1998, LAUBAG 2001, Bens 2002

Abbildung 4: LAUBAG

Abbildung 7: Rumpel, Kögel-Knabner, Becker-Heidmann & Hüttl: Multiple causes for elevated carbon (Anm. 26), Bens, Fettweis, Koch, Schneider & Hüttl: Soil organic matter formation and root functioning (Anm. 21) (verändert)