LAND
BRANDENBURG

Arbeitsgemeinschaft Norddeutsche Geologen (NDG) in Cottbus

77. Jahrestagung vom 21. - 23.09.2011

LBGR

Landesamt für Bergbau,
Geologie und Rohstoffe
Brandenburg

Dr. - Ing. Klaus Freytag
Präsident des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)

Grußwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

zur 77. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen (NDG) begrüße ich Sie am neuen Dienstsitz der Landesgeologie Brandenburg in Cottbus mit einem herzlichen „Glück auf!“.

Die feierliche Übernahme des neuen Gebäudes für die Landesgeologie am 19. September 2011 war Veranlassung, dies mit einer Fachtagung zu verbinden. Dank der Initiative von Herrn Prof. Dr. Ralf - O. Niedermeyer, am Rande einer Bund-Länder Ausschusssitzung der Geologischen Dienste, wurde die Idee geboren, den neuen Dienstsitz im Rahmen unserer Tagung Norddeutscher Geologen zu präsentieren.

Die Fachtagung bildet die Plattform für die länderübergreifende Diskussion zu aktuellen Themen und Aufgaben der geologischen Dienste. Gleichfalls nutzt das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) die Chance, die enge Kooperation mit der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) am neuen Standort des geologischen Kompetenzzentrums in Cottbus hervorzuheben. Verbunden wird die Tagung mit zwei Fachexkursionen in die Bergbauregion um Cottbus im Lausitzer Braunkohlenrevier.

An dieser Stelle sei dem Präsidenten der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Herrn Prof. Dr. habil. W. Ch. Zimmerli für die kooperative Zusammenarbeit in der Ausrichtung der Fachtagung recht herzlich gedankt. Ein weiterer Dank gilt den Referenten aus der Industrie, der Wissenschaft, den Behörden sowie der Vattenfall Europe Mining AG (VEM) und der Lausitzer- und Mitteldeutschen Bergbau - Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV), welche die Fachtagung und die Fachexkursionen unterstützen. Mein Dank geht auch an den Förderverein Geopark Muskauer Faltenbogen e. V., in Person von Herrn Dr. M. Kupetz, für die Eröffnung einer Sonderexkursion in den Deutsch-Polnischen Geopark. Die Kolleginnen und Kollegen des LBGR haben mit der neuen Abteilungsleiterin für die Geologie, Frau Dipl.-Ing. A. Seidemann, mit großem Engagement die Fachtagung vorbereitet und zum erfolgreichen Gelingen beigetragen.

Der Grundstein für ein kontinuierliches Fortführen der wichtigen Zusammenarbeit der Arbeitsgemeinschaft der Norddeutschen Geologen ist hier und heute in Cottbus gelegt. Für die Tagung und den Exkursionsverlauf eine angenehme Zeit, hier im Herzen der Lausitz und der Universitätsstadt Cottbus.

Dr.-Ing. Klaus Freytag

Dr.-Ing. Klaus Freytag

Präsident
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)
Inselstraße 26
03046 Cottbus

e-mail: lbgr@lbgr.brandenburg.de

Der Braunkohlenbergbau in der Region – Stand und Perspektiven

77. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen

21. September 2011, Cottbus

- AUSZUG -

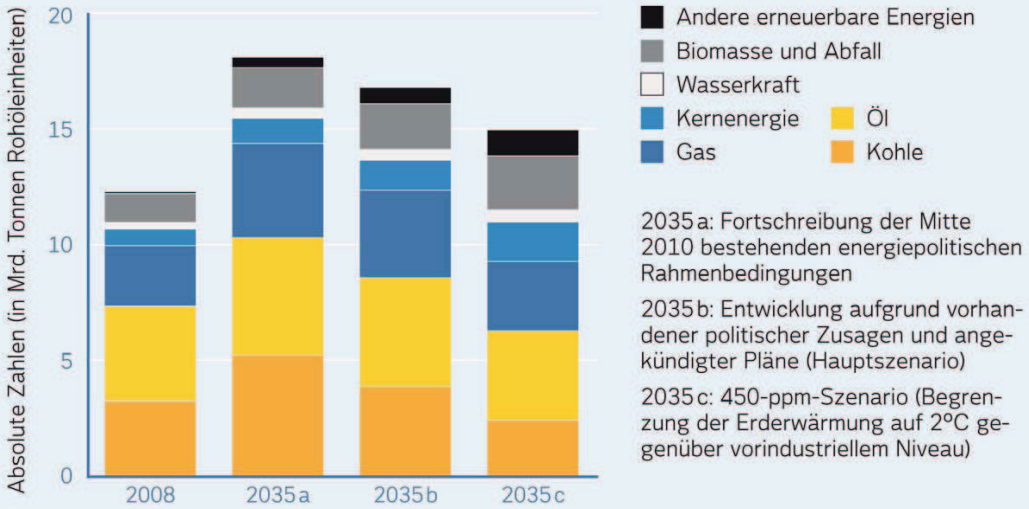
Dr. Hartmuth Zeiß
Leiter BU Lignite Mining & Generation

Bedeutung der Kohle für die langfristige Sicherung der Energieversorgung

Prognose: Entwicklung weltweiter Energiemix

Entwicklung des Energiebedarfs bis 2035

Abhängig vom Szenario steigt der weltweite Energiebedarf bis 2035 um etwa 20 bis 45 Prozent.



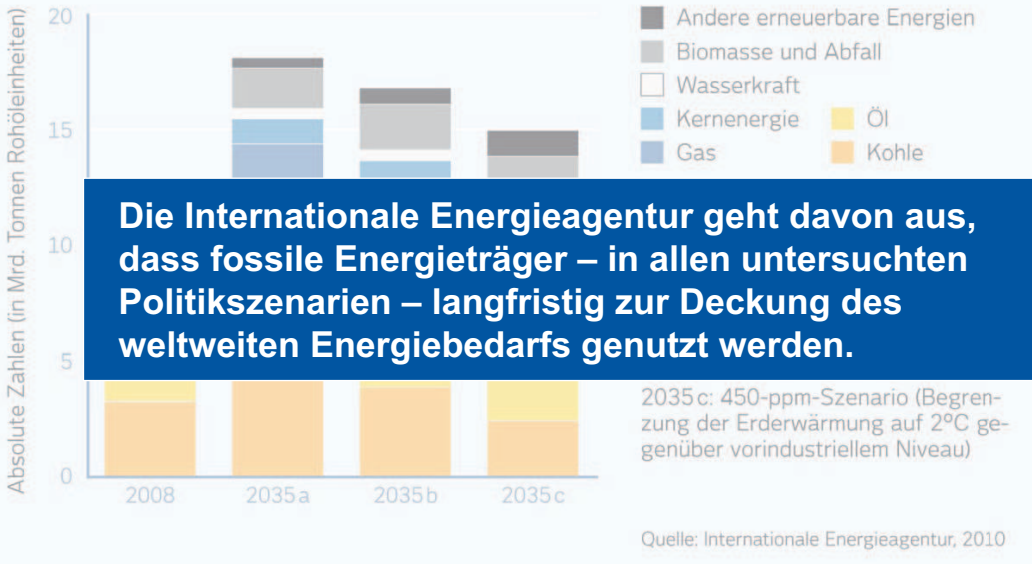
Quelle: Internationale Energieagentur, 2010

VATTENFALL

Prognose: Entwicklung weltweiter Energiemix

Entwicklung des Energiebedarfs bis 2035

Abhängig vom Szenario steigt der weltweite Energiebedarf bis 2035 um etwa 20 bis 45 Prozent.

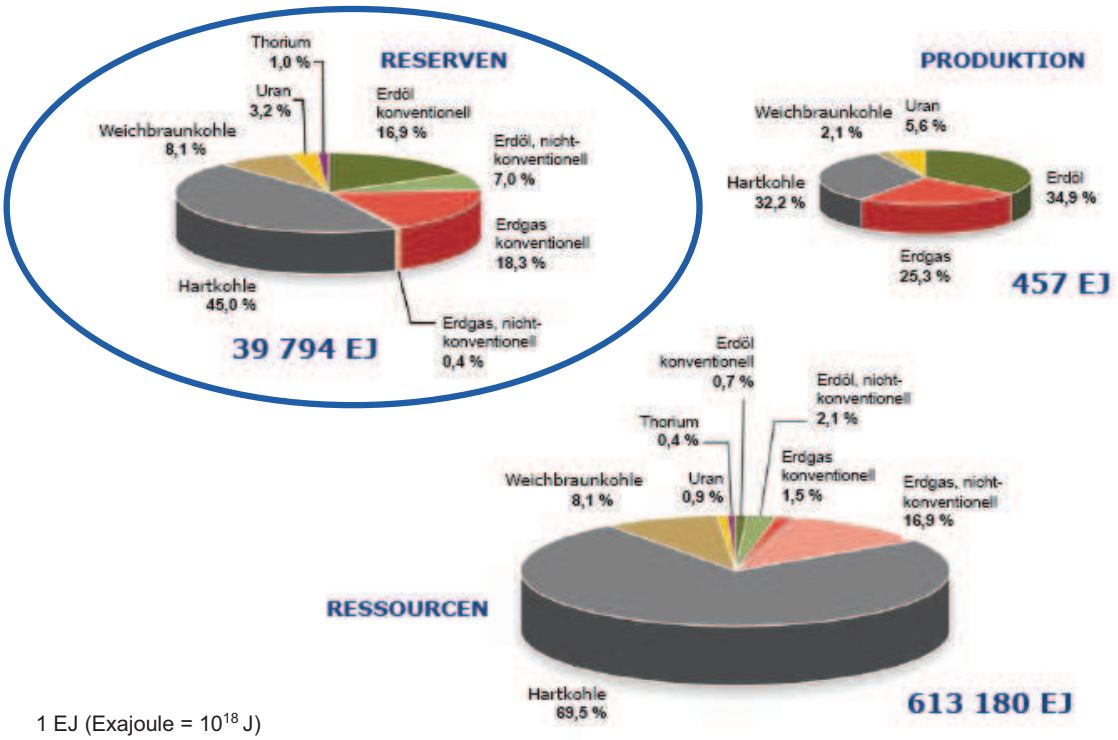


Die Internationale Energieagentur geht davon aus, dass fossile Energieträger – in allen untersuchten Politikszenarien – langfristig zur Deckung des weltweiten Energiebedarfs genutzt werden.

Quelle: Internationale Energieagentur, 2010

VATTENFALL

Globale Vorratssituation



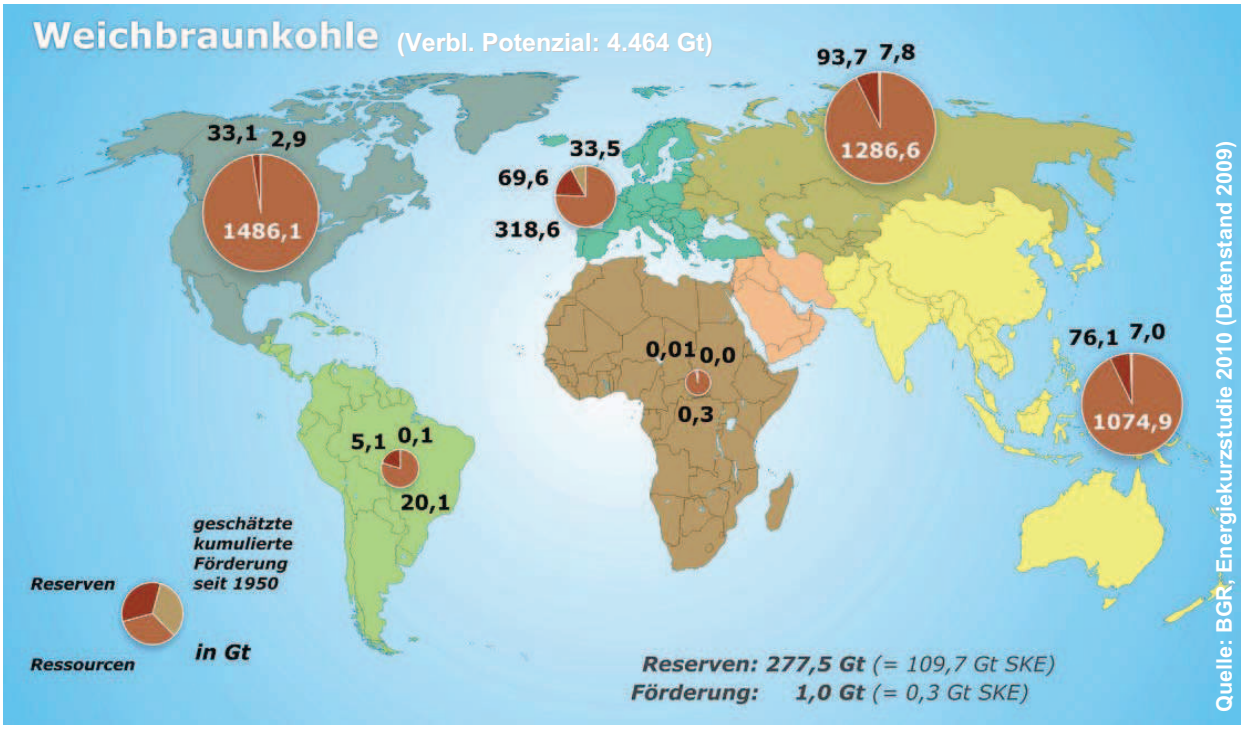
Quelle: BGR, Energiekurzstudie 2010 (Datenstand 2009)

1 EJ (Exajoule = 10^{18} J)

34,1 Mio. t SKE = 23,9 Mio. toe (Tonnen Öl-Äquivalent) = 26,3 Mrd. m³ Erdgas = 278 Mrd. kWh

VATTENFALL

Braunkohle: Potenzial und regionale Verteilung



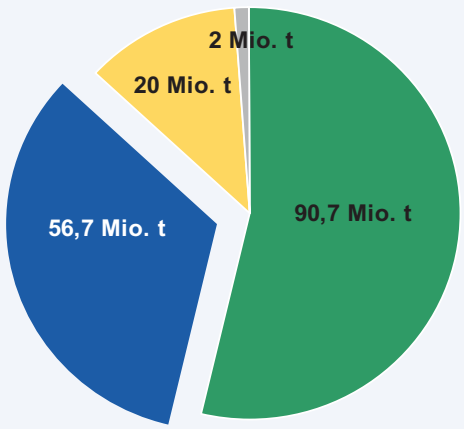
Quelle: BGR, Energiekurzstudie 2010 (Datenstand 2009)

VATTENFALL

Bedeutung der Braunkohle für Deutschland

Förderung und Lagerstättenvorräte in Deutschland

Braunkohlenförderung 2010: 169,4 Mio. t

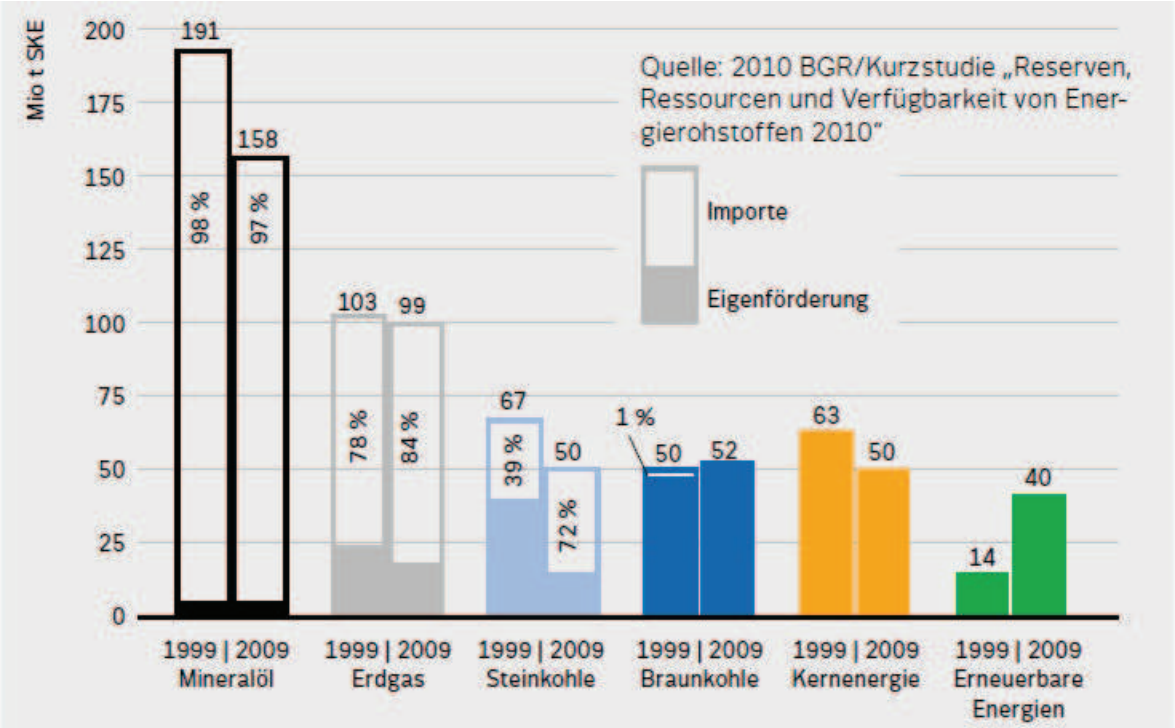


	Strom- und Fernwärme-erzeugung	Veredlung/ Selbst-verbrauch	Son. Ab-nehmer
Rheinland	80,9 Mio. t	9,6 Mio. t	0,2 Mio. t
Lausitz	53,0 Mio. t	3,6 Mio. t	0,1 Mio. t
Mittel-deutschland	18,7 Mio. t	0,8 Mio. t	0,5 Mio. t
Helmstedt	2,0 Mio. t	-	-

Vorräte / Revier	Geologische Vorräte	Wirtschaftlich gewinnbare Vorräte	Genehmigte/ erschlossene Tagebaue
Rheinland	55,0 Mrd. t	35,0 Mrd. t	3,3 Mrd. t
Lausitz	12,0 Mrd. t	3,5 Mrd. t	1,2 Mrd. t
Mittel-deutschland	10,0 Mrd. t	2,0 Mrd. t	0,5 Mrd. t
Deutschland	**77,0 Mrd. t**	**40,5 Mrd. t**	**5,0 Mrd. t**

Quelle: DEBRIV 02/2011

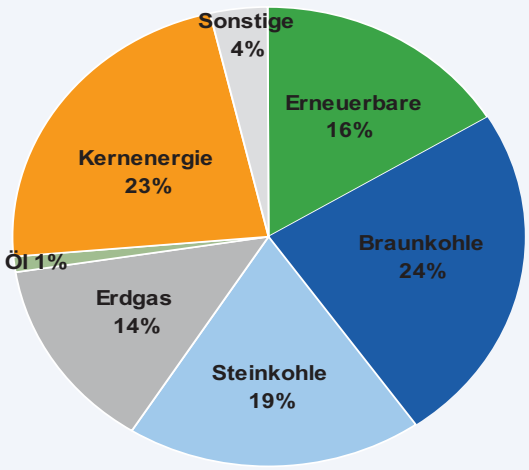
Energierohstoffe für Deutschland



VATTENFALL

Energie-Mix Stromerzeugung Deutschland 2010

Brutto-Stromerzeugung 2010: 621 TWh

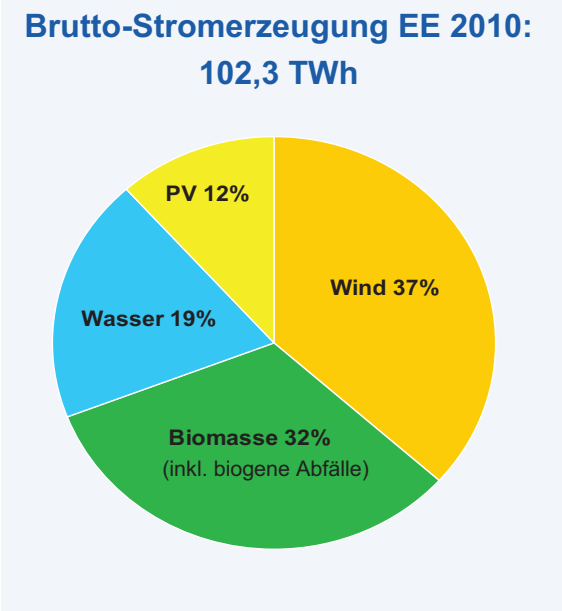


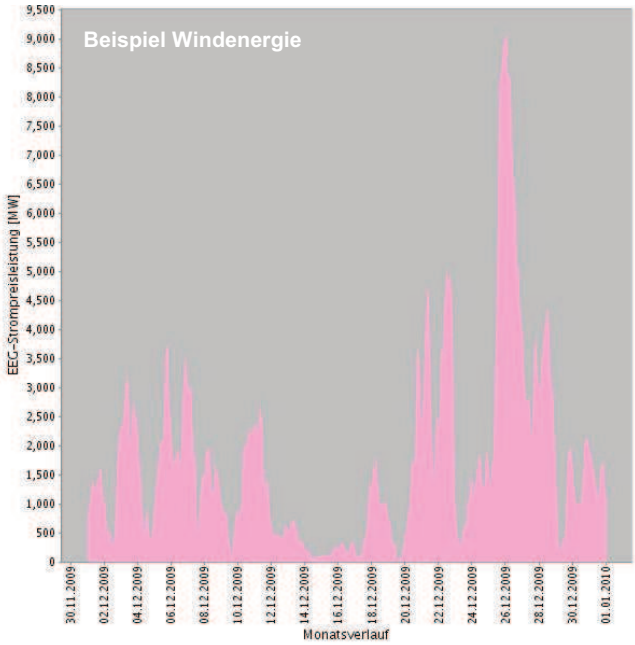
- Mehr als die Hälfte des Strombedarfs in Deutschland wird durch fossile Energieträger gedeckt.
- Kohle liefert rund 42 Prozent.
- Beinahe jede vierte Kilowattstunde Strom wird aus heimischer Braunkohle erzeugt.

Quelle: AGEB; BDEW 04/2011 (vorläufige Zahlen)

VATTENFALL

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen



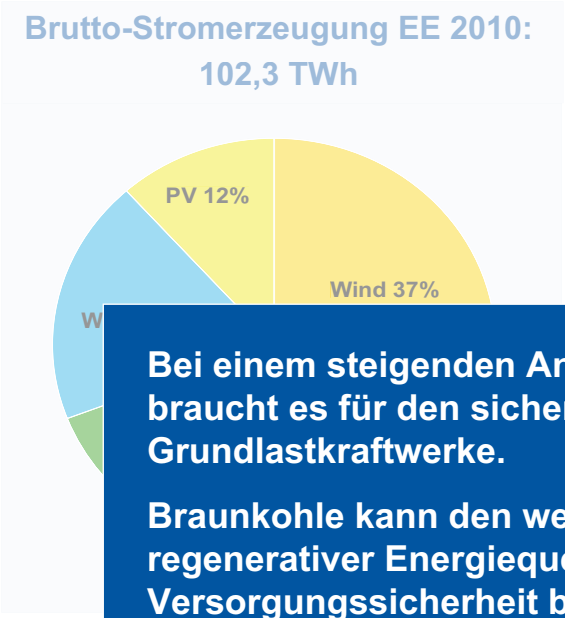


Quelle: AGEB; BDEW 04/2011 (vorläufige Zahlen)

Stromeinspeisung in das Netz von 50 Hertz (Dez. 2009)

VATTENFALL

Braunkohle als Partner der erneuerbaren Energien



Bei einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien braucht es für den sicheren Netzbetrieb leistungsfähige Grundlastkraftwerke.

Braunkohle kann den weiteren Ausbau und die Nutzung regenerativer Energiequellen im Sinne der Versorgungssicherheit begleiten und flexibel ergänzen.

Quelle: AGEB; BDEW 04/2011 (vorläufige Zahlen)

Stromeinspeisung in das Netz von 50 Hertz (Dez. 2009)

VATTENFALL

Vattenfall in Deutschland und der Lausitz

Vattenfall: Ein europäisches Energieunternehmen

Vattenfall ist ein europaweit agierender Energiekonzern mit mehr als 38.000 Mitarbeitern.

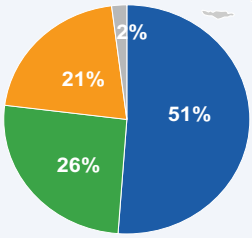
Muttergesellschaft der Vattenfall-Gruppe ist eine Aktiengesellschaft schwedischen Rechts

Zur Vattenfall-Gruppe gehören Unternehmenseinheiten in:

Schweden, Deutschland, den Niederlanden sowie Polen, Finnland, Dänemark, Belgien und Großbritannien

Energiemix Vattenfall – Stromerzeugung 2010

- Fossile Energieträger
- Kernkraft
- Wasserkraft
- Sonstige erneuerbare Energiequellen

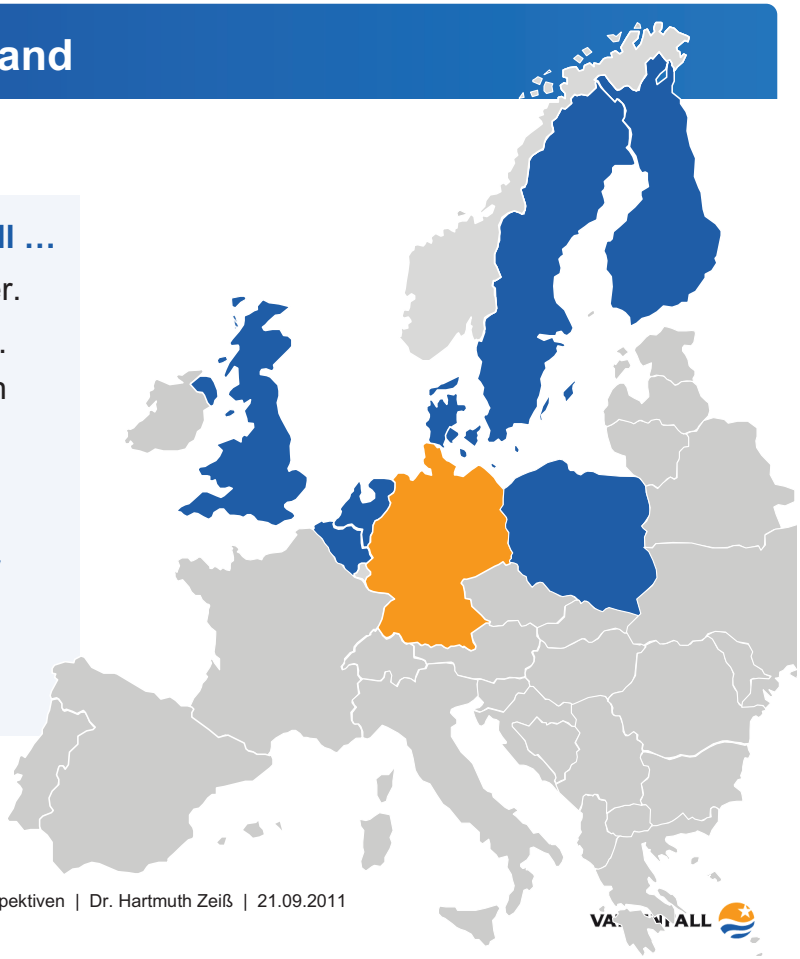


Vattenfall in Deutschland

In Deutschland ist Vattenfall …

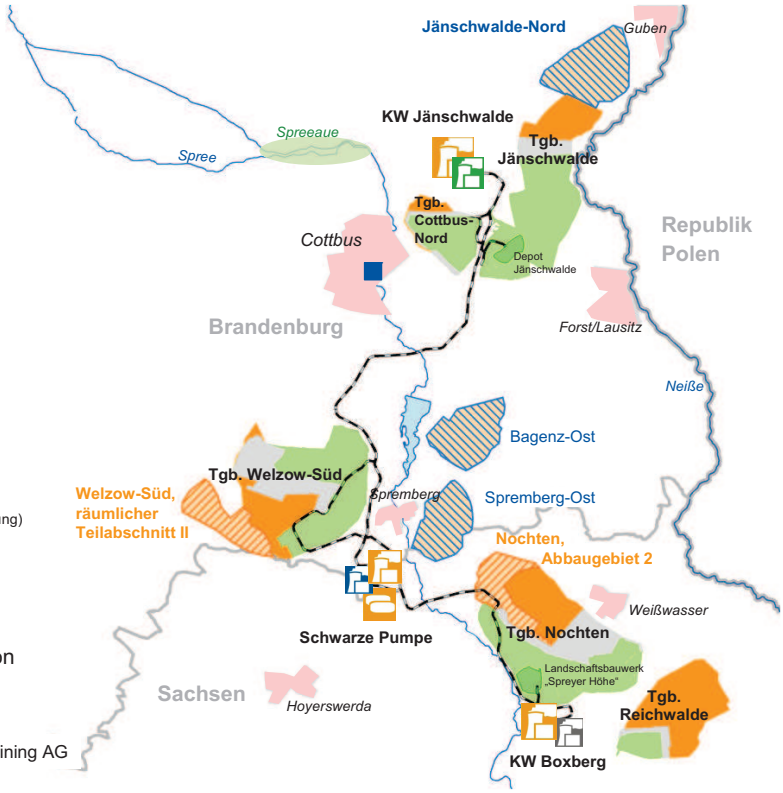
- drittgrößter Energieerzeuger.
- größter Fernwärmelieferant.
- Betreiber der Verteilnetze in Hamburg und Berlin.

Vattenfalls Förderung und Verstromung von Lausitzer Braunkohle ist Teil der gruppenweiten Business Division Production.



Das Lausitzer Braunkohlenrevier

- Betriebsflächen Tagebaue
- Rekultivierungsflächen
- Genehmigte Abbaufelder
- Weiterführungen (Vorbehaltsgebiete)
- Zukunftsfelder
- Braunkohlekraftwerke
- Oxyfuel-Pilotanlage
- Boxberg R (Inbetriebsetzung)
- CCS-Demonstrationskraftwerk (in Planung)
- Veredlungsbetrieb
- Gleisanlagen des ZEB *
- Hauptverwaltung von Vattenfall Europe Mining & Generation



* Zentraler Eisenbahnbetrieb der Vattenfall Europe Mining AG

Revierplanung

Das Lausitzer Revier – Standorte und Kohlevorräte

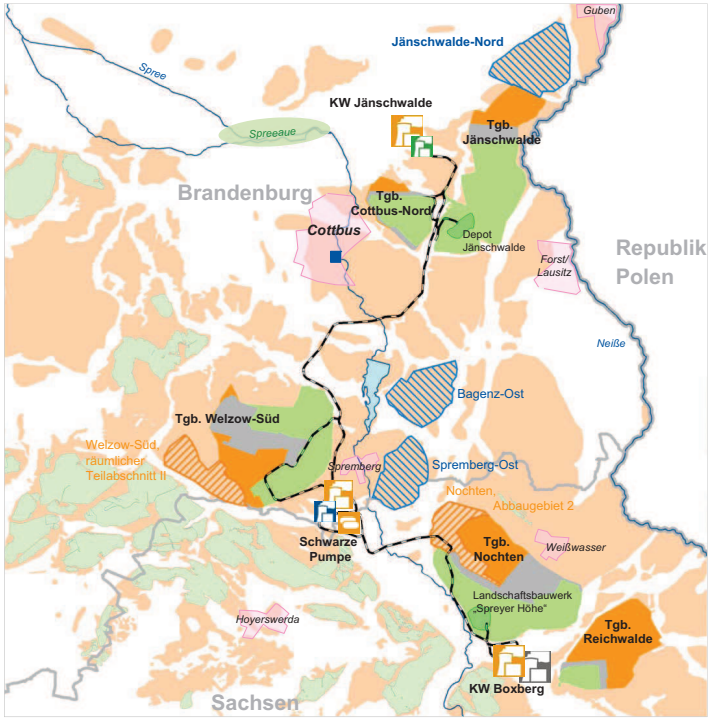
Stand: 01.01.2011

Genehmigte Abbaufelder	**1.233,3 Mio. t**
Jänschwalde	124,0 Mio. t
Cottbus-Nord	29,6 Mio. t
Welzow-Süd	367,0 Mio. t
Nochten	346,5 Mio. t
Reichwalde	366,2 Mio. t
Weiterführungen	**504 Mio. t**
Welzow-Süd, räumlicher Teilabschnitt II	204 Mio. t
Nochten, Abbaugebiet 2	310 Mio. t
Gesamt	**1.747,3 Mio. t**
Zukunftsfelder	**690 Mio. t**
Jänschwalde-Nord	250 Mio. t
Spremberg-Ost	220 Mio. t
Bagenz-Ost	220 Mio. t
Geologische Vorräte	**~ 12 Mrd. t**
Kraftwerke (installierte Leistung)	**7.175 MW**
Jänschwalde	3.000 MW
Boxberg *	2.575 MW
Schwarze Pumpe	1.600 MW

*: einschließlich Boxberg R

Verbreitung 2. Lausitzer Flöz

Ausgekohlte Flözbereiche



Auswahl von Projekten im Lausitzer Revier

Schwerpunktprojekte von Vattenfall Europe Mining

Tagebau Reichwalde – Weiterführung der Kohleförderung

- Kohlevorrat rd. 366 Mio. t
- Langfristige Sicherung des Förderniveaus der Vattenfall Europe Mining AG von rd. 60 Mio. t pro Jahr
- Förderkapazität rd. 12 Mio. t pro Jahr
- Kohleförderung seit 12/2010, Nutzung bis ca. 2045

Tagebau Welzow-Süd – Umstellung in das Südfeld

- Kohlevorrat rd. 350 Mio. t
- Versorgung des Kraftwerks Schwarze Pumpe und des Veredlungsbetriebs Schwarze Pumpe, anteilige Versorgung des Kraftwerks Jänschwalde
- Umstellungszeitraum von Mitte 2009 bis Mitte 2012
- Nutzungszeit bis ca. 2026

Depot Jänschwalde II

- Deponierung der Kraftwerksreststoffe (Asche, Gips) des Kraftwerks Jänschwalde
- Inbetriebnahme: Ende 2011

Tagebau Reichwalde

Bagger 1519 / SRs 6300 im Südfeld

Depot Jänschwalde I

Kraftwerk Boxberg – Neubaublock R

Eckdaten:

- Installierte Leistung: 675 MW (auf Braunkohlenbasis)
- Kohlebedarf: ca. 4,5 Mio. t/a
- Wirkungsgrad: > 43 Prozent

Investitionsvolumen:

- ca. 1 Mrd. Euro

Baumaßnahme:

- Weiterführung und Vorbereitung behördlicher Abnahmen
- Kommerzielle Inbetriebnahme für Ende 2012 erwartet

VATTENFALL

greenMISSION: CO_2 lässt Algen schneller wachsen

Idee des Forschungsvorhabens:

- Nutzung von Rauchgas aus dem HKW Senftenberg zur Beschleunigung der Zucht von Mikroalgen
- Erkenntnisse über Potenzial von Algen zur CO_2-Minderung im Braunkohlerauchgas (CCU-Beispiel)

Umfang des Projekts:

- Erster Reaktortyp in Betrieb, Fördermittel ermöglichen Vergleich mit weiterem Verfahren
- Laufzeit bis 30.09.2012, Eigenanteil rund 1 Mio. Euro, zusätzlich 1 Million Euro aus Landes- und EU-Mitteln
- Projektträger ist Vattenfall-Tochter GMB GmbH

Aktivitäten:

- Inbetriebnahme am 22. Juli 2010
- Zubau weiteren Anlagentyps bis Sommer 2011

VATTENFALL

Errichtung von Dichtwänden in Reichwalde und Welzow-Süd

Dichtwand Reichwalde,
1. Bauabschnitt (BA)

- 11.03.2010:
  Aufnahme Regelbetrieb durch das Schlitzwandgerät LW 120
- Eckdaten der Dichtwand:
  - Länge des BA: rd. 4 km
  - Teufe: ∅ 45 m
  - Stand Juli 2011: rd. 890 m (40 m Teufe)

Dichtwand Welzow-Süd

- 25.11.2010:
  Aufnahme Regelbetrieb durch das Schlitzwandgerät VB 130
- Eckdaten der Dichtwand:
  - Länge: rd. 11 km
  - Teufe: 95 bis 120 m
  - Stand Juli 2011: 116 m (108 m Teufe)

Dichtwandherstellung am süd-östlichen Rand des Tagebaus Reichwalde

VATTENFALL

Prof. Dr. habil. Walther Ch. Zimmerli, DPhil. h.c. (University of Stellenbosch)
Präsident der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus

Grußwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

es freut mich sehr, Sie als Präsident der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus anlässlich der 77. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen an unserer Universität begrüßen zu dürfen.

Die BTU und speziell die Lehrstühle Bodenschutz und Rekultivierung sowie Geopedologie und Landschaftsentwicklung pflegen langjährige Kooperationen mit dem Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg auf dem Gebiet der Geo- und Umweltwissenschaften. Sichtbar werden diese Kooperationen u.a. durch gemeinsam ausgerichtete Tagungen und Workshops, gemeinsame Publikationen, aber auch im Bereich der Lehre und der gemeinsamen Betreuung von Abschlussarbeiten. Die Kompetenz und Expertise des LBGR ist für die BTU eine wichtige Erweiterung des Studienangebotes.

So ist der Präsident des LBGR, Herr Dr. Klaus Freytag, in den Studiengang Landnutzung und Wasserbewirtschaftung eingebunden; er wird von uns als äußerst kompetenter Lehrender geschätzt. Zukünftig soll auch im Bereich der Forschung eine stärkere Zusammenarbeit erfolgen. Zu diesem Zweck wurde im Jahr 2010 eine Rahmenvereinbarung über die Zusammenarbeit zwischen dem LBGR und der BTU geschlossen. Die Intensivierung der Kooperation ist im Besonderen in den Bereichen Bodenkunde, Bodengeologie und Bodenschutz vorgesehen. Im Rahmen dieser Kooperation sollen zukünftig die Bereiche Entwicklung und Durchführung methodischer Untersuchungen auf den oben genannten Gebieten, Geo-Datenmanagement (Datengewinnung, -aufbereitung, -verbreitung; Geodateninfrastruktur), gemeinsame Nutzung von Infrastruktur (Labore, Erkundungstechnik etc.), Aus- und Weiterbildung sowie gemeinsame Vertretung von Interessen gegenüber Dritten verstärkt werden.

Das LBGR liegt, genau wie die BTU, in Cottbus. Für unsere Universität ist dies von großem Vorteil, da wir so die kurzen Wege nutzen können.

Für die Fachtagung an der BTU sowie für die folgenden Exkursionen wünsche ich Ihnen anregende Vorträge und Diskussionen, die Ihnen neue Impulse geben mögen!

(Es gilt das gesprochene Wort)

Prof. Dr. habil. Walther Ch. Zimmerli

Prof. Dr. habil. Walther Ch. Zimmerli
DPhil. h.c. (University of Stellenbosch)
Präsident der Brandenburgischen
Technischen Universität Cottbus

Konrad-Wachsmann-Allee 1
03046 Cottbus
Telefon: 0355/690
praesident@tu-cottbus.de

Prof. Dr. Bernhard Cramer
Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Schiefergas-Vorkommen, Ressourcen und Potenziale in Deutschland

Der Schiefergas-Boom der vergangenen 10 Jahre in den USA ist ein Beispiel dafür, wie durch Anwendung von innovativer Technologie neue Rohstoffvorkommen erschlossen und genutzt werden können, die bis dahin als nicht ökonomisch gewinnbar eingestuft wurden. Die USA konnten durch diese Entwicklung eine drohende starke Importabhängigkeit bei Erdgas abwenden. In Folge liefen weltweit insbesondere in Erdgasimportländern Aktivitäten an, die eigenen Potenziale an unkonventionellem Erdgas und hier insbesondere an Schiefergas (Erdgas in Tonstein, Shale Gas) zu erfassen und zu erschließen.

Deutschland importiert den überwiegenden Anteil des benötigten Erdgases, ist aber auch ein Erdgas-Produktionsland (Abb. 1). Derzeit beträgt der Anteil der Eigenproduktion am Erdgasverbrauch noch etwa 13 % (2010). Aufgrund ausbleibender großer Neufunde und rückläufiger Produktion in den konventionellen Lagerstätten nimmt die inländische Produktion aber kontinuierlich ab. Dennoch wird Erdgas in Deutschland für die kommenden Jahrzehnte eine wichtige Rolle als Brücke zwischen dem breiten Energiemix heute und der für die Zukunft angestrebten Deckung eines Großteils des Energiebedarfs durch erneuerbare Energien zugesprochen.

Vor diesem Hintergrund wird in der heimischen Produktion von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten ein möglicher wichtiger Beitrag zur Versorgungssicherheit gesehen. So ist die Erkundung von unkonventionellen Erdgasvorkommen auch bei uns angelaufen. Neben Kohlegas konzentriert sich die Suche dabei auf abbauwürdige Vorkommen an Schiefergas (Abb. 2). Grundsätzlich kann man überall dort mit dieser Energieressource rechnen, wo mächtige Muttergesteine mit ausreichenden Anteilen an fossilem organischem Material so tief in der Erde versenkt wurden, dass sich Erdgas bilden konnte (Abb. 3). Diese geologischen Voraussetzungen sind insbesondere erfüllt im Norddeutschen Becken, in Teilen des Ruhrgebiets und dem Rheinland, dem Rheintalgraben und in der Molasse Süddeutschlands.

Dabei liegen bislang belastbare Informationen zum tatsächlichen Rohstoffpotenzial von Schiefergas für Deutschland aber auch weltweit nicht vor. Das liegt unter anderem daran, dass anders als bei konventionellen Erdgaslagerstätten bisher kein allgemeines Verständnis darüber herrscht, wie die gewinnbare Mengen an Schiefergas quantifiziert werden können. Auch wenn die im Tonstein vorhandenen Gesamtmengen an Erdgas bekannt sind, sind die

üblichen Vorratsbegriffe Reserven und Ressourcen schwer herzuleiten. Geologie, Ökonomie und einsetzbare Technik üben hier einen großen Einfluss auf die Gewinnbarkeit aus.

Die aktuellste Abschätzung zum Schiefergaspotenzial Deutschlands stammt von der US Energy Information Administration (EIA, 2011). Danach könnte Deutschland über technische gewinnbare Ressourcen in der Größenordnung von über 200 Mrd. m^3 an Schiefergas verfügen. Das wäre etwas mehr als die Reserven an konventionellem Erdgas in Deutschland (146 Mrd. m^3). Auf Grund der schlechten Datenlage wurden in dieser Studie nur Norddeutschland und nur wenige mögliche Gesteinshorizonte berücksichtigt. Die von der EIA (2011) angegebenen Ressourcen werden daher nur als Anhaltspunkt für die Größenordnung in dieser Region gewertet.

Die Bundesregierung hat die DERA beauftragt, das Potenzial an Schiefergas in Deutschland zu ermitteln (Projekt Niko). Untersuchungsobjekt dieser Arbeiten sind die Tonsteinformationen (Abb. 4), die je nach Zusammensetzung des organischen Materials, und der thermischen Reife entweder ein Erdgas- oder ein Erdölpotenzial aufweisen können (Abb. 5). Mit sedimentologischen, geochemischen, petrographischen und strukturgeologischen Analysen werden die Tonsteine charakterisiert, ihr Erdgaspotenzial bewertet und eine Ressourcenabschätzung durchgeführt. Neben der geowissenschaftlichen Untersuchung und der Quantifizierung der Potenziale werden zusammen mit wissenschaftlichen Partnerinstitutionen auch wirtschaftliche Aspekte betrachtet sowie neue technische Konzepte der Nutzung mit Blick auf mögliche Umweltauswirkungen bewertet.

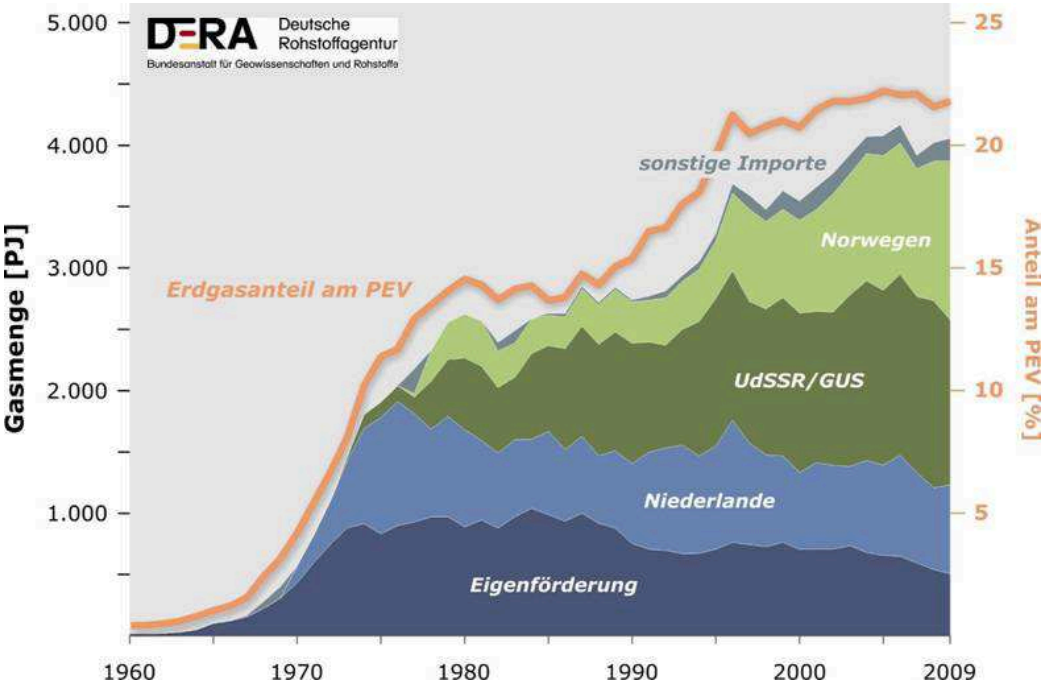


Abb. 1: Erdgasversorgung Deutschlands bis 2009.

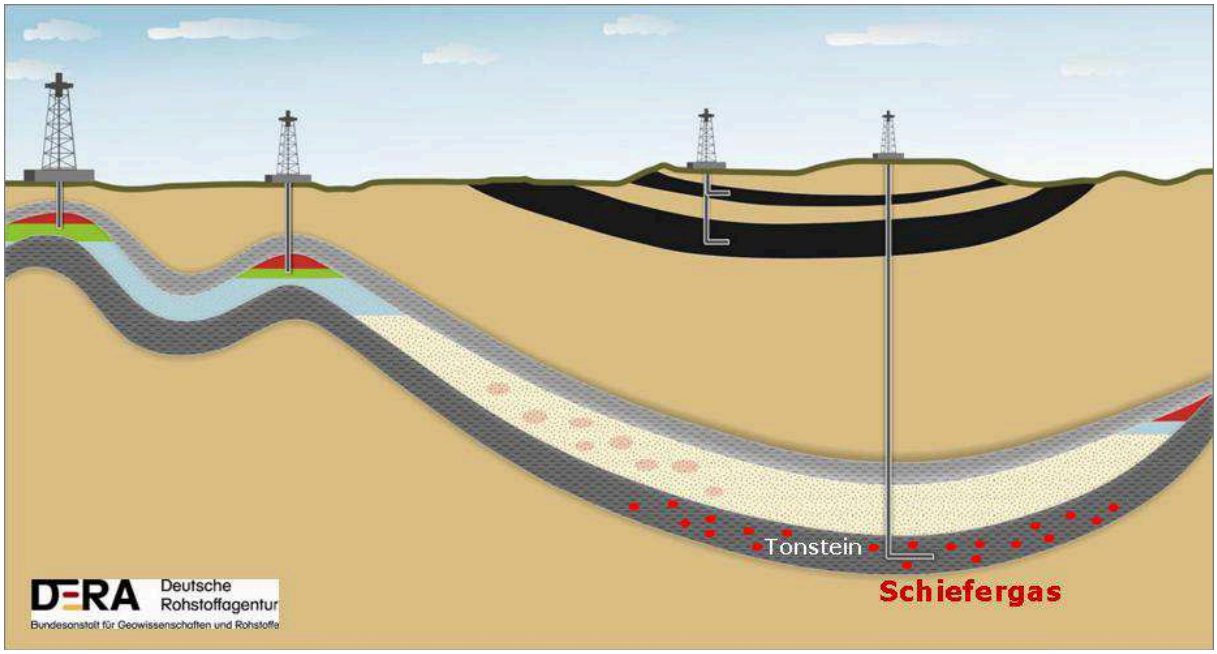


Abb. 2: Geologie der Vorkommen von Schiefergas.

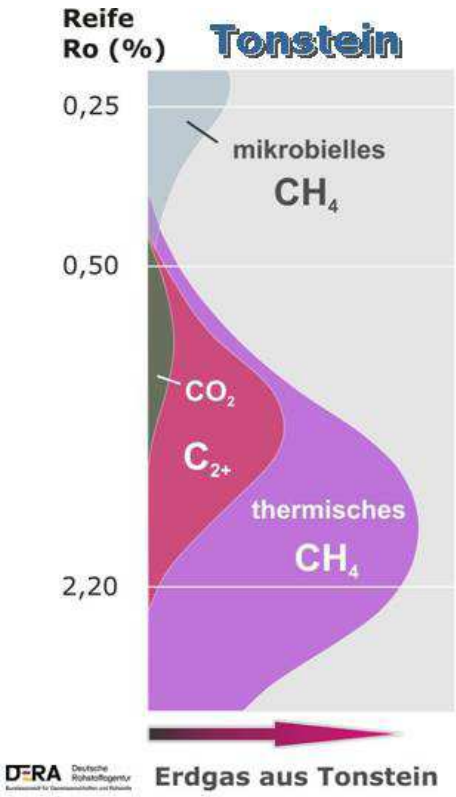


Abb. 3: Erdgasbildung aus Tonstein mit sapropelischem organischem Material als Funktion der Reife.

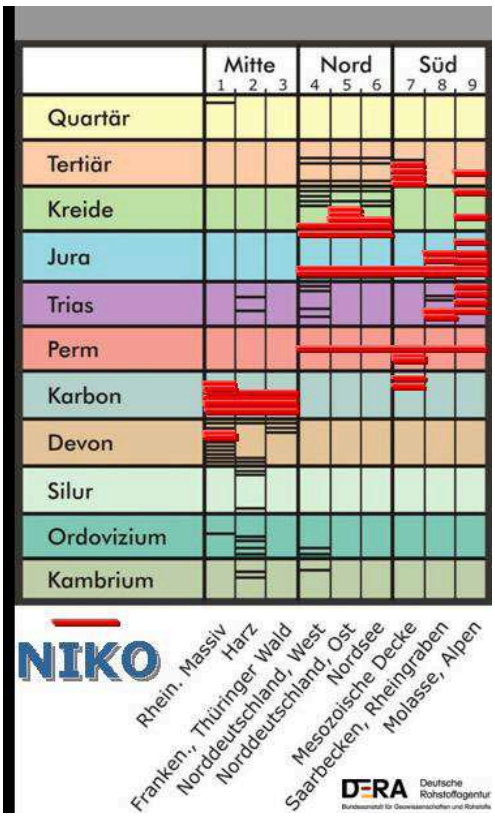


Abb. 4: Schwarzschieferhorizonte in Deutschland nach Zimmerle & Stribrny (1991) und Auswahl der im Projekt Niko untersuchten Formationen.

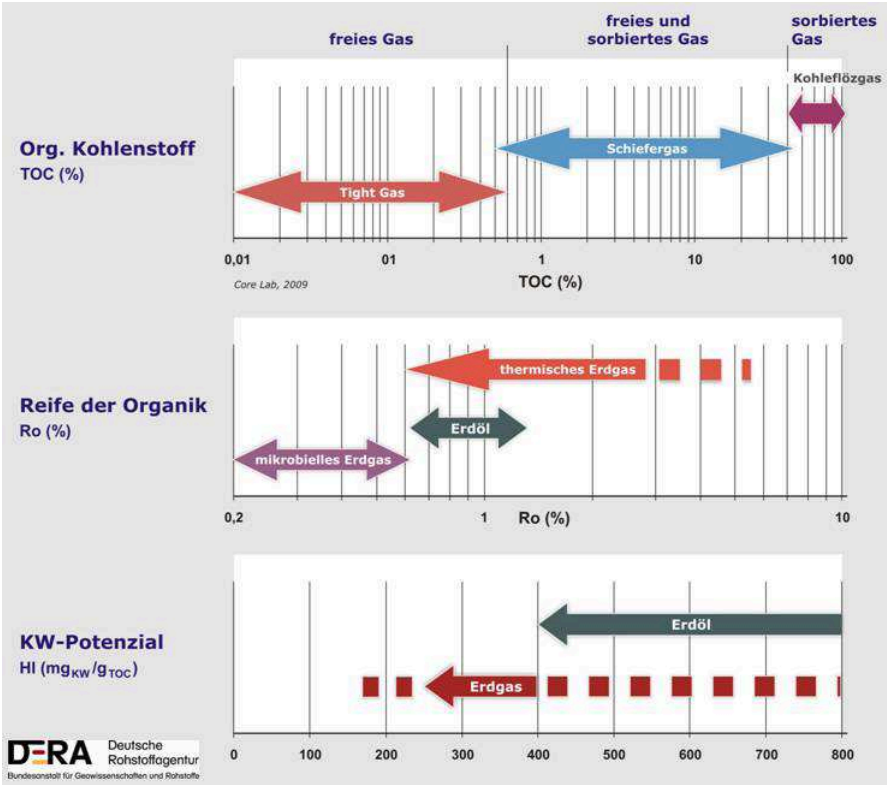


Abb. 5: Organisch-geochemische Charakteristika von gashöffigen Tonsteinen.

Prof. Dr. Bernhard Cramer
Deutsche Rohstoffagentur (DERA)
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
im GEOZENTRUM HANNOVER
Stilleweg 2
30655 Hannover

Telefon +49 (0)511 643 2885
Telefax +49 (0)511 643 3664
e-mail: b.cramer@bgr.de

Prof. Dr. Ralf-Otto Niedermeyer
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern

Die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) der Bundesländer im Spagat zwischen neuen fachlichen Herausforderungen und strukturellen Zwängen

Historisches

Seit Jahrtausenden wird die Erdkruste nach Rohstoffen bzw. entsprechenden Lagerstätten („Geopotenzialen“) durchforscht. Die durch geologische Prozesse entstandenen Rohstoffe (speziell Erze, Kohle, Steine und Erden, Kohlenwasserstoffe), deren Abbau und Nutzung hatten und haben für die Gesellschafts- und Wirtschaftsformen fundamentale Bedeutung. Das „Industrie-Zeitalter“ gründet sich auch in der Gegenwart auf diesen Rohstoffen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass beim Verbrauch nicht erneuerbarer Rohstoffe nachhaltige Entwicklung und Intergenerationen-Gerechtigkeit in Einklang zu bringen sind, wenn nicht der Rohstoff selbst sondern seine Funktionen Leitmotiv der Rohstoff- und Industriepolitik werden (WELLMER 2008). Dabei sind die Primärrohstoffe (Ressourcen der Geosphäre), Sekundärrohstoffe (Ressourcen der Technosphäre) und die menschliche Kreativität konzeptionell immer stärker zu verknüpfen.

Der Beginn der „geologischen Landesaufnahme“, z. B. mit den Namen GEORGIUS AGRICOLA (1494-1555; Abb. 1) in Deutschland sowie WILLIAM SMITH (1769-1839) in England verknüpft, beruht auf der engen Verknüpfung von Geologie und Bergbau. Agricolas mehrbändiges wissenschaftliches Hauptwerk „De Re Metallica“ behandelt umfassend den mittelalterlichen Bergbau aus der Perspektive der sächsischen Erzlagerstätten-Provinz. W. Smith, in der Geologie auch als „Schichten-Smith“ ein Begriff, schuf 1815 die erste geologische Karte von Großbritannien und trug durch dieses Werk maßgeblich dazu bei, das „Industrie-Zeitalter“, dessen Grundlagen Eisenerz und Kohle für die Stahlproduktion waren und sind, „geologisch“ vorzubereiten (Abb. 2). Die Karte zeigt u. a. Kohleformationen in Nord- und Mittelengland sowie Südwales. In Deutschland erschien gegen Ende des 18. Jahrhunderts z. B. eine „Beschreibung der Gebirge von Bayern und der Oberen Pfalz“, ergänzt durch eine handkolorierte geologische Karte im Maßstab von ca. 1: 750.000 (s. NEUMANN-MAHLKAU 1998a, S. 7 ff.). Spätere geognostische/geologische Karten Deutschlands, u. a. erarbeitet 1826 durch Leopold von Buch (1774-1853), markieren wichtige Meilensteine der geologischen Landesaufnahme. Hervorzuheben sind in dieser knappen Retrospektive insbesondere die flächendeckenden Kartierungsprojekte in Preußen incl. Nachbargebieten sowie in Sachsen im Maßstab 1:25.000 ab 1874.

Abb. 1: Georgius Agricola (1494-1555)

Abb. 2: Geologische Karte von Großbritannien des Jahres 1815

Auch enthält das „Reichslagerstättengesetz“ von 1934, z. B. im Hinblick auf die Übergabepflicht von geologischen Informationen, die durch „mit mechanischer Kraft durchgeführten Bohrungen“ erreicht werden, bis heute aktuelle Regelungen (Lagerstättengesetz bzw. „Gesetz über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten“ in der Fassung vom 4.12.1934, zuletzt geändert durch „Gesetz zur Umstellung von Gesetzen und Verordnungen im Zuständigkeitsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie sowie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung auf Euro vom 10.11.2001“).

Diese historischen Beispiele zeigen, dass die zunehmend systematischer werdende und methodisch fortschreitende „geologische Landesaufnahme“, speziell in Europa und zumeist von Bergleuten initiiert, bereits in früheren Jahrhunderten unentbehrliche Punkt- und Flächeninformationen zu den faziellen Merkmalen, Verbreitungsgebieten und Lagerungsverhältnissen der Gesteine der Erdoberfläche bzw. des oberflächennahen Untergrunds lieferte. Deutlich wird auch, dass zu allen Zeiten gesellschaftliche Notwendigkeiten bzw. Anforderungen, die in ihrer Zeit der wissenschaftlichen (zunächst zwar geognostischen, später geologischen) und sozio-ökonomischen Entwicklung vorangingen bzw. entsprachen, von der „Landesgeologie“ aufzugreifen waren. Diese historisch gewachsene Wechselbeziehung zwischen gesellschaftlicher Daseinsvorsorge und der mehr

oder minder beständigen, auf Kartierungsprojekten beruhenden Suche, Erfassung, Dokumentation und Auswertung von landesgeologischen Informationen ist auch in der Gegenwart und Zukunft herausragender Beitrag zur Bewältigung stets neuer, anspruchsvoller Aufgaben der Staatlichen Geologischen Dienste.

Gesetzliche Grundlagen und Leitbild der SGD

Nach 1945 vollzog sich aus den bekannten Gründen, die zur Teilung Europas führten, auch in Deutschland eine unterschiedliche Entwicklung der staatlichen Geologie in Ost und West (s. a. NEUMANN-MAHLKAU 1998b, HÄNEL et al. 1998a, b, RÜHBERG 2000). In den genannten Arbeiten wird umfassend darüber berichtet, welche, bis 1990 zunächst getrennten Wege, die SGD in Deutschland zu gehen hatten. Nicht unerwähnt soll bleiben, dass – unabhängig vom jeweiligen politischen System – die Territorialgeologie bzw. staatliche Geologie generell wichtige Geoinformationen liefert. So gesehen war die staatliche Geologie in der DDR bis 1990 strukturell zwar anders als in der alten BRD ausgerichtet, gleichwohl waren im Osten Deutschlands erhebliche Erfolge, speziell in der geologischen Landesaufnahme, zu verzeichnen. Deren Ergebnisse besitzen besonders für die Arbeit der SGD in den neuen Bundesländern nach wie vor große Aktualität (z. B. flächendeckende Kartenwerke wie HK 50, Lithofazieskarten Quartär, Geothermieatlas der DDR; s. a. GRANITZKI et al. 2011, HOTH et al. 2011, LÜHE & ZORN 2011). Eine ausführliche, zweibändige Abhandlung unter dem Titel „Geschichte der Geowissenschaften in der DDR“ bezieht auch den Bereich der staatlichen Geologie in all seinen Facetten mit ein (s. HARTMANN et al. 2007, GUNTAU et al. 2011).

Der Prozess der Etablierung der geologischen Länderdienste in den neuen Bundesländern ab 1990 schuf die Voraussetzungen für eine weitgehende Vereinheitlichung von Strukturen und Aufgaben in der staatlichen Geologie von Gesamtdeutschland. Sichtbarer Ausdruck war die Neugründung der Geologischen Landesämter in Ostdeutschland (z. B. GLA Mecklenburg-Vorpommern mit Wirkung vom 1. Juli 1991). Gemäß Artikel 20a des Grundgesetzes hat *„der Staat auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen und die Tiere im Rahmen der verfassungsmäßigen Ordnung durch die Gesetzgebung und nach Maßgabe von Gesetz und Recht durch die vollziehende Gewalt und die Rechtsprechung zu schützen“.* Weiter heißt es in Artikel 70 GG, dass (*1) „die Länder das Recht der Gesetzgebung haben, soweit dieses Grundgesetz nicht dem Bunde Gesetzgebungsbefugnisse verleiht“* und *(2) „sich die Abgrenzung der Zuständigkeit zwischen Bund und Ländern nach den Vorschriften dieses Grundgesetzes über die ausschließliche und die konkurrierende Gesetzgebung bemißt*“. Dadurch ist sinngemäß festgelegt, dass die SGD der Länder für die ihnen zugeordneten Territorien für die Erforschung, systematische

Erfassung und Dokumentation sowie den Schutz der geologischen Ressourcen Sorge zu tragen haben. In diesem Zusammenhang sei hier auf die Artikel 72 und 74 GG hingewiesen, die die gesetzgeberischen Kompetenzen der Länder für die Bereiche Naturschutz und Landschaftspflege, Bodenverteilung, Raumordnung, Wasserhaushalt, Bergbau u. a. betreffen. Eine außerplanmäßige Beratung des Direktorenkreises der SGD am 17. Juni 2009 in Hannover zur „Erörterung der Aufgabenabgrenzung zwischen den Geologischen Diensten der Länder und des Bundes“ unterstrich die föderale Grundstruktur und Zuständigkeit der geologischen Landesdienste.

Ein Meilenstein der inhaltlichen Ausrichtung der SGD Deutschlands an den neuen Herausforderungen des beginnenden 21. Jahrhunderts war die „Strategieerklärung der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands“ aus dem Jahre 2004. Am 30. und 31. August 2004 trat der Direktorenkreis der SGD in Kassel zusammen und erarbeitete ein entsprechendes Positionspapier (s. SGD 2004). Darin heißt es: *„Staat, Wissenschaft und Gesellschaft sind in immer stärkerem Umfang auf umfassende, zuverlässige und schnell zugängliche Geo-Informationen angewiesen. Die Staatlichen Geologischen Dienste sind geowissenschaftliche Fachoberbehörden der Länder bzw. des Bundes. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, Fachinformationen über den Zustand und die Veränderungen der Kompartimente der obersten Erdkruste (Gesteine, Böden, Grundwasser) zu erheben , neutral zu bewerten und anwendungsbezogen verfügbar zu machen.“* Dementsprechend wurde ein **Leitbild** der SGD formuliert, das folgende Eckpunkte umfasst (vgl. SGD 2004, S. 26 sowie www.infogeo.de):

- **Anforderungen der Gesellschaft stehen im Mittelpunkt** und werden gegenüber den Kunden und Nutzern durch anwendungsorientierte Leistungen und Produkte erfüllt.

- **Als Dienstleistungsbehörden**, denen wirtschaftliches, kostenbewußtes und ergebnisorientiertes Handeln selbstverständlich ist, **entwickeln die SGD innovative Konzepte**, die für die Gesellschaft einen nachhaltigen ökonomischen und ökologischen Nutzen bewirken.

- Die SGD orientieren sich am **höchsten internationalen Standard** des geologischen Wissens und legen ausdrücklichen Wert auf **fachübergreifende Zusammenarbeit**.

- Die SGD **optimieren beständig ihre Kernkompetenz** in allen Aufgabenfeldern und betreiben eine **offene Informationspolitik**, indem sie den Dialog mit der Öffentlichkeit fördern.

Das skizzierte Leitbild der SGD weist deutlich aus, dass die **Kernaufgabe** der SGD darin besteht, die *„Georessourcen und Geopotenziale für eine Nutzung zu identifizieren und zu quantifizieren sowie auf Georisiken hinzuweisen“* (SGD 2004, S. 27 ff., s. a. WELLMER & EHSES 2004). Daraus resultieren grundständige Beiträge und Maßnahmen

- zur Standortentwicklung und Belebung der Wirtschaft;

- zur Rohstofferkundung, -gewinnung und -sicherung sowie zur Energiewirtschaft;

- zur Erforschung von Klimaveränderungen und geologischen Gefahrenpotenzialen („Georisiken“) sowie generell zum Schutz der Umwelt vor schädlichen anthropogenen Einflüssen ;

- zum Geomarketing und zur Verwaltungsmodernisierung.

Die neuen Herausforderungen

Die genannten Kernaufgaben scheinen – zumindest partiell – allgemeine („traditionelle“) Arbeitsfelder der SGD zu beschreiben. Sie stellen sich jedoch zunehmend als Herausforderungen einer sich tiefgreifend wandelnden Welt dar, sowohl im regionalen, nationalen wie internationalen Maßstab. Die SGD sind unmittelbar eingebunden in die Bearbeitung der komplexen Themen Rohstoffsicherung, Energiewende, Klimawandel, Boden- und Grundwasserschutz, Georisiken. Der im Auftrag des Bund-Länderausschusses Bodenforschung (BLA GEO) von den SGD Deutschlands erarbeitete Maßnahmekatalog **„Rohstoffsicherung“** analysiert den Status der Rohstoffsicherung in Deutschland, zeigt dabei Defizite auf und weist aktuelle bzw. perspektivische Handlungsfelder für die Politik und Wirtschaft aus. Diese Ergebnisse finden Eingang in Landesentwicklungs- und regionale Raumordnungsprogramme. Die SGD schaffen Grundlagen für den Übergang vom fossil-nuklearen Energie-Zeitalter in die Epoche der Erkundung und Nutzung erneuerbarer energetischer Ressourcen, speziell das Gesamtgebiet der **Geothermie** betreffend (Abb. 3; s. a. NIEDERMEYER 2008, GREILING & KONTNY 2010, www.geotIS.de).

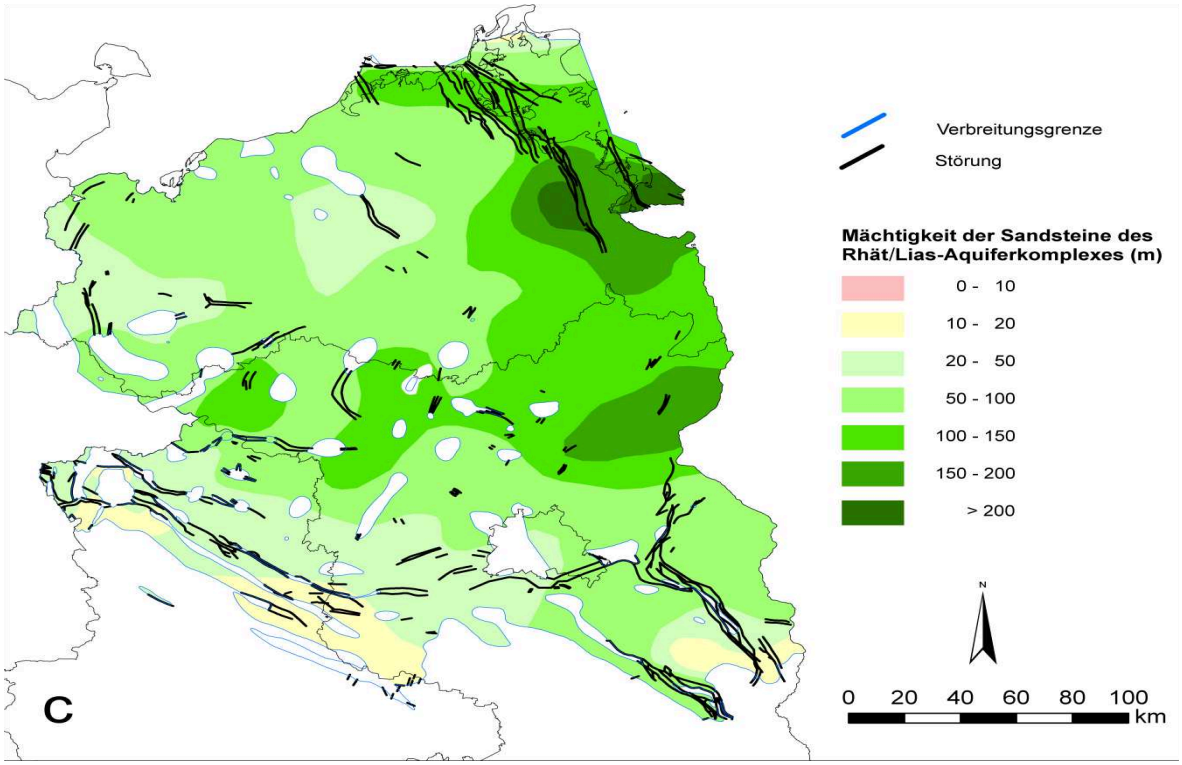


Abb. 3: Thematischer Ausschnitt: Das Geothermische Informationssystem für Deutschland (GeotIS; Rhät/Lias-Aquifer-Komplex in Nordostdeutschland; FELDRAPPE et al. 2008).

Das von Deutschland angestrebte ehrgeizige Ziel, bis zum Jahre 2020 mindestens 35 % erneuerbare Energien zu nutzen impliziert, dass 65 % fossile Energieträger benötigt werden, um den gesamtgesellschaftlichen Bedarf zu decken. Mithin kommt der **„Energie-Mix“** absehbar nicht ohne Kohle, Erdöl und Erdgas (Abb. 4) aus, zumal der deutsche Atomausstieg aus aktuellem Anlass (Fukushima 2011) beschleunigt werden soll. Im Entwurf des Energiekonzeptes der Bundesregierung vom 6. September 2010 (also noch vor Fukushima!) war bereits vom „Neubau CCS-fähiger, mit fossilen Brennstoffen zu befeuernden Kraftwerken“ die Rede. Somit wird eindeutig die Notwendigkeit der Erkundung von **geologischen Speichern** erkannt, wobei Art und Umfang der zu speichernden Medien (z. B. Erdgas, Wasserstoff, Kohlendioxid) für die Beiträge der SGD zur grundlegenden Charakterisierung von Reservoir-Formationen zunächst nachrangig sind. Das Projekt „Speicherkataster Deutschland“, an dem sich mehrere geologische Landesdienste beteiligten, stellt erstmals belastbare Informationen zu geologischen Speicherpotenzialen in Deutschland zusammen. Interessant – weil für die SGD auch perspektivisch wichtig – ist die Auffassung von Umweltbehörden (u. a. Umweltbundesamt/UBA) und –forschungsinstituten (u. a. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung/PIK), die CCS für CO_2-emittierende Industrien in Deutschland (Stahl-, Zement-, Chemieindustrie) in Erwägung ziehen.

Abb. 4: Die Ostsee-Pipeline-Anbindungsleitung (OPAL) in Mecklenburg-Vorpommern: Geologische Fachbegleitung durch den SGD MV (Foto. Börner/LUNG MV).

Die Ausweisung bedeutender aktueller und zukünftiger Arbeitsthemen der SGD der Länder wäre unvollständig ohne die Aufgabenfelder **Boden** und **Grundwasser.** Beide umfassen im Hinblick auf die Gewährleistung und den Schutz des Bodens und seiner natürlichen Funktionen sowie der mengenmäßig in gutem Zustand verfügbaren Grundwasserpotenziale die unbedingte Notwendigkeit einer kontinuierlich fortschreitenden „integrierten bodengeologischen und hydrogeologischen Landesaufnahme“. Beispiele von geogenen Extremereignissen wie der Elbeflut 2002 mit einem geowissenschaftlichen Untersuchungsprogramm der betroffenen SGD (s. NIEDERMEYER 2005) sowie der Wind- und Wassererosion in Mecklenburg-Vorpommern machen deutlich, dass staatliche Geologie bei der Daseinsvorsorge z. B. mit Infrastrukturplanungen und Landwirtschaft eng zu kooperieren haben (Abb. 5 und 6).

Abb. 5: Tiefe Erosionsrinne durch Schmelzwasser-Abfluss auf Usedom im Frühjahr 2011 (Foto: Börner/LUNG MV).

Abb. 6: Wirkung der Winderosion auf Ackerflächen auf die A 19 südlich Rostock im April 2011(Foto: Landespolizei MV)

Fazit

Die Beispiele machen deutlich, dass die SGD seit ihren historischen Anfängen bis heute und mit Sicherheit auch in der Zukunft stets die Basisinformationen zu den nationalen und regionalen Geopotenzialen lieferten bzw. liefern werden. Folgende Thesen zur Zukunft der SGD:

- Sie sind und bleiben **unverzichtbarer Bestandteil** einer auf belastbaren geowissenschaftlichen Daten beruhenden Bundes-, Landes- und Lokalpolitik im Hinblick auf die Erkundung und nachhaltige Nutzung von Geopotenzialen.

- Die SGD arbeiten auf der Grundlage moderner Methoden der geowissenschaftlichen Erfassung, Dokumentation, Auswertung und Interpretation von geologischen Daten und sind gefragter **Kooperationspartner** von Universitäten, Hochschulen sowie Geo-Forschungseinrichtungen (speziell der Leibniz- bzw. Helmholtz-Gemeinschaft).

- Sie haben durch die „Flächendimension“ der Erfassung und Dokumentation von Geodaten ein **Alleinstellungsmerkmal** unter den deutschen Geo-Institutionen.

- Sie sehen sich durch **multiple** administrative Zuordnungen **(Fachaufsichten)** einer im hohen Maße diversifizierten Aufgabenwahrnehmung und –erfüllung mit erheblichen Konfliktpotenzialen an den Schnittstellen Politik – Wirtschaft – Bevölkerung gegenüber. Der daraus resultierende interdisziplinäre und interministerielle „Spagat“ macht sie bei der neutralen und rein fachlich bezogenen „Mediation“ von Geo-Themen im öffentlichen Raum zu anerkannten Kompetenzträgern und gefragten Diskussionspartnern.

- Es muss auf allen Ebenen das **Bewußtsein** weiter ausgeprägt werden, dass die SGD stärker denn je an der auf belastbaren geologischen Informationen beruhenden Nutzung und Bewirtschaftung von Geopotenzialen sowie deren langfristigen Schutz in „vorderster Front“ beteiligt sind.

- Daraus muss der **Wille der für die SGD Verantwortlichen** resultieren, die geologischen Landesdienste adäquat finanziell und personell auszustatten, um den neuen Herausforderungen gerecht werden zu können. Die Gründung der „Deutschen Rohstoff-Agentur“ (DERA) am 4. Oktober 2010 in Hannover ist in dieser Hinsicht auf Bundesebene ein Beispiel.

Literatur

FELDRAPPE, H., OBST, K. & WOLFGRAMM, M. (2008): Die mesozoischen Sandsteinaquifere des Norddeutschen Beckens und ihr Potential für die geothermische Nutzung.- z. geol. Wiss., **36** (4-5): 199-222.

GRANITZKI, K., et al. (2011): Territorialgeologische Arbeiten in den Bezirken der DDR.- Schriftenreihe f. Geowiss., **18**: 531-552.

GREILING, R. & KONTNY, A. (Hrsg., 2010): Geologische Beiträge zur Geothermie des südwestlichen Mitteleuropas.- Z. geol. Wiss., **38** (1): 1-77.

GUNTAU, M., HARTMANN, O., PÄLCHEN, W. & STÖRR, M. (Hrsg., 2011): Geschichte der Geowissenschaften der DDR – Teil II.- Schriftenreihe f. Geowiss., **18**: 620 S.

HÄNEL, R., KÜRSTEN, M. & SCHMID, H. (1998): Die Aufgaben der Staatlichen Geologischen Dienste in der Bundesrepublik Deutschland.- Geol. Jb., **G 3**: 25-66.

HOTH, K., BERGER, R., EILERS, H., RADZINSKI, K.-H., EHLING, B.-C., SEIDEL, G., LIPPSTREU, L., HANNEMANN, M., MÜLLER, U. & LÜHE, P. (2011): Mittel- und großmaßstäbige Kartierung und Kartenwerke im Bereich der Geologischen Dienste 1945 – 1990.- Schriftenreihe f. Geowiss., **18**: 245-272.

HARTMANN, O., GUNTAU, M. & PÄLCHEN, W. (Hrsg., 2007): Zur Geschichte der Geowissenschaften in der DDR.- Schriftenreihe f. Geowiss., **16**: 421 S.

LÜHE, P. & ZORN, D. (2011): Geowissenschaftliche Datenspeicher in der DDR – Entstehung, Standorte, Neuzuordnung und Verbleib.- Schriftenreihe f. Geowiss., **18**: 509-518.

NEUMANN-MAHLKAU, P. (1998a): Die Staatlichen Geologischen Dienste bis 1945.- Geol. Jb., **G 3**: 7-15.

NEUMANN-MAHLKAU, P. (1998b): Die Entwicklung der Staatlichen Geologischen Dienste nach 1945.- Geol. Jb., **G 3**: 17-23.

NIEDERMEYER, R.-O. (Koord., 2008):Das Elbe-Hochwasser 2002 – Geowissenschaftliche Auswertungen.- Geol. Jb. **C 70**: 186 S.

NIEDERMEYER, R.-O. (Hrsg., 2008): Regionale Geopotenziale erforschen und nutzen – neue Herausforderungen durch Klimawandel und Energiewende an die angewandten Geowissenschaften.- Z. geol. Wiss., **36** (4-5): 197-346.

RÜHBERG, N. (Hrsg., 2000): Die Reorganisation der fünf ostdeutschen Geologischen Landesdienste während der Vereinigung Deutschlands.- Schriftenreihe f. Geowiss., **8**: 80 S.

SGD (2004): Strategieerklärung der Staatlichen Geologischen Dienste in Deutschland.- Geol. Jb., **G 11**: 23-31.

WELLMER, F.-W. (2008): Reserves and resources of the geospaere, terms so often misunderstood. Is the life index of reserves of natural resources a guide to the future ?.- Z. dt. Ges. Geowiss., **159** (4): 575-590.

WELLMER, F.-W. & EHSES, H. (2004): The German Geological Surveys, their Tasks, Networks, and Future Perspectives.- Geol. Jb., **G 11**: 5-22.

www.infogeo.de; www.GeotIS.de

Prof. Dr. Ralf-Otto Niedermeyer

Landesamt für Umwelt, Naturschutz
und Geologie, Geologischer Dienst
Mecklenburg-Vorpommern
Goldberger Str. 12
D-18273 Güstrow

e-mail: ralf-otto.niedermeyer@lung.mv-regierung.de

Prof. Dr. Thomas Raab, Dr. Julia Krümmelbein, Dr. Werner Gerwin, Dr. Alexandra Raab
Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Boden- und quartärwissenschaftliche Forschung im Landschaftslabor Lausitz

Einleitung

Als Teil des Norddeutschen Tieflandes wurde die Niederlausitz in der jüngsten Erdgeschichte geprägt von den quartären Kaltzeiten. Neben den Relief bildenden Hinterlassenschaften des skandinavischen Inlandeises (v.a. End- und Grundmoränen bzw. Tills) sind periglaziäre Sedimente (Urstromtal- und Dünensedimente, Sander, periglaziale Deckschichten bzw. periglaziäre Lagen) die wichtigsten Ausgangsgesteine der Bodenbildung. Aufgrund einer langen, bis in die Prähistorie reichenden Besiedlungs- und Nutzungsgeschichte hat der Mensch die Landschaft der Lausitz stark geprägt und nachhaltig verändert. Die großdimensionierten Tagebaue der Lausitz stellen Eingriffe dar, die nicht nur die Böden und den oberflächennahen Untergrund vollständig verändern, sondern umfassende und außergewöhnlich detaillierte Einblicke in eine quartäre Bodenlandschaft bieten. Damit eröffnet sich ein enormes Forschungspotenzial für die Quartär- und Bodenwissenschaften im Umfeld des Universitätsstandortes Cottbus, das an der BTU von den Lehrstühlen Bodenschutz und Rekultivierung (Prof. Dr. Dr. h.c. R.F. Hüttl) und Geopedologie und Landschaftsentwicklung (Prof. Dr. T. Raab) erschlossen wird.

Der Schwerpunkt des Lehrstuhls für Bodenschutz und Rekultivierung ist die Vermittlung von grundlegenden und vertiefenden Kenntnissen der Bodenkunde und des Bodenschutzes. Unter dem Aspekt der Rekultivierung werden vorrangig bodenökologische Problemstellungen betrachtet, die durch anthropogene Eingriffe in die Landschaft entstehen. Darüber hinaus werden Herangehensweisen bzw. Maßnahmen zur Lösung dieser Fragen dargestellt. Der Forschungsschwerpunkt des Lehrstuhls für Bodenschutz und Rekultivierung sind Arbeiten zur Einschätzung des ökologischen Entwicklungs- und Nutzungspotenzials der Bergbaufolgelandschaften im Lausitzer Braunkohlerevier. Ziel dieser Aktivitäten ist es, die kausalen Zusammenhänge zwischen verschiedenen Teilbereichen mit Hilfe eines ökosystemaren Forschungsansatzes aufzuzeigen. Dabei werden seit einigen Jahren vermehrt Untersuchungen zur initialen Ökosystementwicklung durchgeführt. Die Resultate dieser Grundlagen orientierten Forschungsanstrengungen bilden die Basis für stärker auf Anwendung ausgerichtete Projekte, bei denen auch alternative Landnutzungsoptionen (z.B. Agroforst) praxisnah getestet werden (www.tu-cottbus.de/bodenschutz).

Der Lehrstuhl für Geopedologie und Landschaftsentwicklung hat seinen Schwerpunkt in der Analyse von Strukturen und Prozessen der Erdoberfläche. Basierend auf traditionellen Ansätzen der Geomorphologie, der Pedologie und der (Quartär-) Geologie (siehe Abb. 1), arbeitet der Lehrstuhl hauptsächlich an Grundlagen, Methoden und Anwendungsaspekten des Umweltmediums bzw. der Ressource Boden. Im Rahmen national und international vernetzter Forschungsprojekte werden auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen die Geomorphodynamik und die Pedogenese in Natur- und Kulturlandschaften erfasst und rekonstruiert, um Beiträge zum Verständnis des Entwicklungs- und Regenerationspotenzials von Ökosystemen zu leisten. Der Lehrstuhl für Geopedologie und Landschaftsentwicklung wendet gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung laboranalytische Verfahren an, um mittels chemischer und physikalischer Kennwerte Böden und Sedimente prozessual und funktional zu beschreiben und zu bewerten. Darüber hinaus liegt ein Schwerpunkt der Forschung und Lehre in der feldbodenkundlichen und -sedimentologischen Charakterisierung des oberflächennahen Untergrundes sowie in der Anwendung und Implementierung innovativer feldanalytischer Verfahren für den Einsatz in der Geopedologie (www.tu-cottbus.de/geopedologie).

Neben den beiden Lehrstühlen sind Boden- und Quartärthemen am Forschungszentrum für Landschaftsentwicklung und Bergbaulandschaften (FZLB) angesiedelt (www.tu-cottbus.de/fzlb). Das FZLB ist eine zentrale wissenschaftliche Einrichtung der BTU Cottbus, die Forschungsvorhaben zur Entwicklung von Landschaften koordiniert. Die Förderung der interdisziplinären Untersuchung von naturwissenschaftlichen, technischen und gesellschaftlichen Fragestellungen steht dabei im Vordergrund. Dabei kooperieren diese drei Einrichtungen der BTU eng mit regionalen Partnern von außeruniversitären Forschungseinrichtungen (GFZ, ZALF, SMNG etc.), Behörden (LBGR, BLDAM etc.) sowie Industrieunternehmen und Stakeholdern (Vattenfall Europe Mining AG, Agrargenossenschaften). Großer Stellenwert wird auf die internationale Zusammenarbeit und die Förderung des Nachwuchses gelegt, was sich auch in den Themen der überwiegend Drittmittel geförderten Forschungsprojekte und der Einrichtung einer Fachklasse im Rahmen der International Graduate School (IGS) der BTU Cottbus zeigt (www.tu-cottbus.de/gradschool).

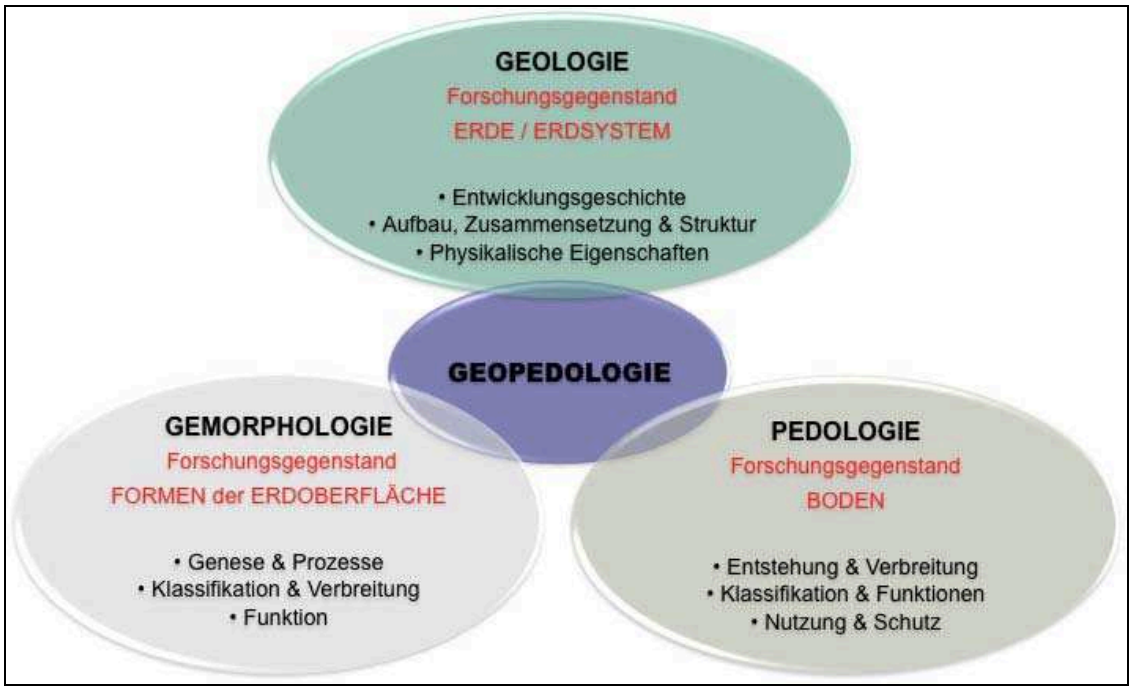


Abb. 1: Die Geopedologie – Ein integrativer Ansatz.

Boden als Archiv der quartären Landschaftsgeschichte

Im April 2011 wurde am FZLB die BTU-Nachwuchsforschergruppe „Anthropogener Landschaftswandel und Paläoumweltforschung“ eingerichtet. Ziel der gemeinsam mit den Archäologen des Referates Braunkohlenarchäologie des BLDAM durchgeführten Forschungen ist es, für die Zeitscheibe des Holozäns den Einfluss des Menschen auf die Landschaft zu untersuchen und zu rekonstruieren.

Im Tagebauvorfeld Jänschwalde besteht die außerordentliche Gelegenheit, die räumliche Verbreitung von Böden und Sedimenten vollständig und im großen Maßstab zu studieren. Die hervorragende Aufschlusssituation des Tagebaus und v.a. die zahlreichen, für die archäologische Prospektion angelegten Sondageschnitte ermöglichen einen einzigartigen dreidimensionalen Einblick in die Landschaft und erlauben es, geomorphologisch-bodenkundliche Untersuchungen durchzuführen, so dass Böden als Archive der Landschaftsgeschichte genutzt werden können.

Abb. 2: Fossiler Boden mit ehemaligem Ackerbodenhorizont (schwarz-grauer fAp) unter Decksanden im Tagebau Jänschwalde Nord.

Sowohl archäologische Funde und Befunde als auch bodenkundliche Belege weisen im Untersuchungsgebiet auf unterschiedliche Arten der Landnutzung hin. So sind beispielsweise ehemalige Ackerbodenhorizonte (fAp-Horizonte; Abb. 2) weit verbreitet. Stellenweise konnten in archäologischen Plana Pflugspuren festgestellt werden. In einigen Sondageschnitten belegen zwei übereinander liegende Ackerbodenhorizonte zwei unterschiedlich Nutzungsphasen. Die ehemaligen Ackerböden sind heute teilweise von mehreren Dezimetern mächtigen Sanden überdeckt. Die Existenz der fAp-Horizonte belegt damit die ackerbauliche Nutzung der wenig fruchtbaren sandigen Böden. Hierfür mussten die Flächen gerodet werden. Damit waren die Böden der Winderosion schutzlos ausgeliefert und der erodierte Sand wurde andernorts wieder abgelagert. Während die ursächlichen Zusammenhänge zwischen Rodung, Ackerbau und Winderosion für große Flächenanteile belegt sind, fehlt bislang jedoch eine genaue zeitliche Einordnung der Ackerbauphasen. Absolute Altersdatierungen sind zum einen mittels Radiokohlenstoffdatierungen (^{14}C-Methode) an Holzkohlepartikeln in den Ackerbodenhorizonten möglich, zum anderen können die Sedimente selbst mittels Optisch Stimulierter Lumineszenz (OSL) datiert werden.

Eine weitere Art der ehemaligen Landnutzung im Tagebauvorfeld Jänschwalde ist die Köhlerei. Derzeit sind mehr als 600 Grundrisse von Rundmeilern von den Archäologen dokumentiert, weitere 300 Meiler sind prospektiert. Die Meilergrundrisse zeichnen sich im hellen märkischen Sand deutlich als schwarze Ringe ab – bedingt durch die mit Holzkohle verfüllten Gräben rings um die Meiler (Abb. 3). Aufgrund erster dendrochronologischer Alter, die von Herrn Dr. Heußner (Deutsches Archäologisches Institut, Berlin) bestimmt wurden, ist die Meileraktivität in das 18./19. Jahrhundert datiert. Es ist anzunehmen, dass die Holzkohleproduktion in Zusammenhang mit dem ehemaligen Eisenhüttenwerk in Peitz stand. Die große Anzahl an Rundmeilern und auch deren Größe weisen auf die enorme Bedeutung der Köhlerei für das Gebiet hin. Darüber hinaus muss sich die Holzkohleproduktion in einer derartigen Dimension auch auf die Umwelt ausgewirkt haben. Diese Auswirkungen (z.B. Einfluss der Hitzeeinwirkung durch das Holzkohlebrennen auf die Böden) zu rekonstruieren ist ein wesentlicher Bestandteil der weiteren Untersuchungen (Raab et al. 2011).

Abb. 3: Meilergrundrisse im Tagebau Jänschwalde.

Forschung zur Rekultivierung von Böden

Im Rahmen einer bereits langjährig bestehenden Kooperation mit der Vattenfall Europe Mining AG werden unterschiedliche Aspekte der Rekultivierung untersucht. Gegenstand der

Untersuchungen sind hierbei die landwirtschaftliche sowie die forstwirtschaftliche und seit einigen Jahren die weinbauliche Rekultivierung (u.a. Hüttl & Schneider 2009).

Die Lausitz stellt das größte Braunkohleabbaugebiet Deutschlands dar, wobei der Tagebau zu Störungen auf der Landschaftsskala führt. Die Rekultivierung versucht, die Tagebaugebiete wieder unterschiedlichen Landnutzungen zuzuführen. Es werden tertiäre und quartäre Substrate zur Herstellung der Rekultivierungsflächen verwendet, wobei die tertiären Anteile mittlerweile zur Aufschüttung der tiefer liegenden Schichten verwendet werden und an der Oberfläche ausschließlich quartäres Material zum Einsatz kommt. Dies beruht darauf, dass in den tertiären Substraten Pyrit enthaltenen ist, bei dessen Kontakt mit Luftsauerstoff Schwefelsäure entsteht. Pyrithaltige Substrate, die in der Vergangenheit auch an der Oberfläche der neu herzustellenden Flächen abgelagert wurden, bedürfen einer intensiven Melioration mit karbonathaltigen Stoffen, um den pH-Wert soweit anzuheben, dass Pflanzenwachstum möglich ist.

Die häufig sandigen quartären Substrate, die im Rekultivierungsbereich den oberflächennahen Untergrund bilden, stammen originär bzw. stratigraphisch aus mehreren Metern Tiefe unter GOK und sind daher weitgehend frei von rezenter organischer Substanz. Die Nährstoffgehalte des Substrates sind überwiegend als sehr gering einzuschätzen, insbesondere ist eine geringe Phosphorverfügbarkeit zu verzeichnen. Das Substrat liegt unstrukturiert vor und wird bei Abbaggerung, Aufschüttung und Einebnung starken mechanischen Belastungen ausgesetzt. Dies führt zu mehr oder weniger stark ausgeprägten Verdichtungserscheinungen, die v.a. in den obersten Dezimetern die Eigenschaften und Funktionen der initialen Böden stark prägen.

Alle späteren Landnutzungsformen stehen daher zunächst vor ähnlicher Ausgangsproblematik, da die vorgesehenen Flächen so behandelt werden müssen, dass der gewünschte Bewuchs (landwirtschaftliche Kulturen, Bäume, Weinreben) sich optimal entwickeln kann. Im Rahmen von Forschungsprojekten gilt es in erster Linie zu klären, inwieweit die Rekultivierungsstrategien, die in der Lausitz verwendet werden und die häufig empirisch entwickelt wurden, ökologisch und ökonomisch zu rechtfertigen sind. Darüber hinaus ist vor allem die Optimierung von Rekultivierungsmaßnahmen Gegenstand der Forschung. So wurden u.a. Möglichkeiten der Aufbringung oder Beimischung unterschiedlicher organischer Substanzen auf die zu rekultivierenden Flächen, die Animpfung von Substraten mit Mykorrhiza und Rhizobien und die Beimengung feinkörniger Anteile in sandige Substrate untersucht. Auch die Auswahl von geeigneten Fruchtfolgen in der landwirtschaftlichen Rekultivierung, die der Anreicherung von organischer Substanz im Substrat oder der schnellen biologischen Ver-

bauung neu entstandener Strukturen durch Wurzeln dienen, ist für den Erfolg von Rekultivierungsmaßnahmen von Bedeutung. Bei der forstlichen und weinbaulichen Rekultivierung stellt die Auswahl geeigneter Arten und Sorten ebenfalls ein wichtiges Kriterium für den Erfolg der Maßnahmen dar.
Für Kurzumtriebsplantagen schnell wachsender Baumarten (KUP), die zunehmend auch auf Rekultivierungsflächen angelegt werden, um holzartige Biomasse für die Bioenergieproduktion zu erzeugen, werden üblicherweise ausgewählte Pappel- (*Populus* spp.) oder Weidenklone (*Salix* spp.) bzw. Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) in hohen Pflanzdichten angebaut. Neben den Forschungen zu Auswahl und Anbau der schnellwachsenden Arten werden auch Versuche zur Beerntung und zur Konvertierung der KUP-Flächen in Acker- oder Grünlandflächen durchgeführt. Hierbei wird neben möglichen Geräten und Maschinenkombinationen auch das Verhalten der Pflanzen untersucht. Neben der Praxis begleitenden Forschung werden auch grundlegende Prozesse beleuchtet, unter anderem die Entwicklung einer stabilen und funktionsfähigen Bodenstruktur (Krümmelbein et al. 2010).

Forschung zur initialen Boden- und Ökosystementwicklung

Neben der praktischen Begleitforschung zu weiterentwickelten Rekultivierungsmaßnahmen und der Suche nach neuartigen Landnutzungssystemen für diese neu entstehenden Landschaftsausschnitte, bietet die Bergbaufolgelandschaft Raum für vielfältige ökologische Grundlagenforschungsvorhaben. Im Rahmen der Wiederherstellung von Land- und Forstwirtschaftsflächen entstehen laufend initiale Standorte, die über einen exakt definierbaren Ausgangszeitpunkt der anschließenden Entwicklung verfügen. Häufig wird bei Forschungen in der Bergbaufolgelandschaft der Chronosequenzansatz gewählt, bei dem unterschiedlich alte Entwicklungsstadien bei vergleichbaren Standortsverhältnissen parallel untersucht werden, um die ökologischen Entwicklung auch über längere Zeitabschnitte nachzeichnen zu können. Auf diese Weise konnte gezeigt werden wie die ursprünglich noch wenig ausdifferenzierten Böden und Ökosysteme der Bergbaufolgelandschaft in kurzer Zeit deutlich an Komplexität gewinnen. Hüttl und Weber (2001) geben einen Überblick über Forschungsergebnisse zu dieser Fragestellung.

Auf besonderes Interesse stößt in jüngerer Zeit allerdings gerade die erste Phase der Ökosystementwicklung, da erwartet wird, dass gerade hier zusätzliches Verständnis für die Funktionsweise von Ökosystemen generiert werden kann. Es ist festzustellen, dass die meisten ökosystemaren Forschungsvorhaben sich auf „reife“ Ökosysteme stützen. Es bestehen somit zahlreiche Wissenslücken gerade hinsichtlich der ersten Entwicklungsschritte eines Ökosystems (Schaaf et al. 2011). Es wird jedoch davon ausgegangen, dass gerade in

der frühesten Entwicklungsphase wichtige Grundlagen für die späteren Funktionsweisen eines Ökosystems angelegt werden. Ein Gesamtverständnis eines Ökosystems bedarf dementsprechend einer genaueren Kenntnis seines Ausgangszustands.

Initiale Ökosysteme zeichnen sich im Vergleich zu älteren, weiter entwickelten Systemen darüber hinaus durch eine anfänglich noch sehr geringe Strukturierung und damit eine geringe Komplexität aus, was die Analyse der Interaktionen zwischen Prozessen und Strukturen begünstigt. Im Laufe der Entwicklung stellen sich jedoch rasch neue Strukturelemente ein, so dass die Komplexität steigt und neue Wechselwirkungen und Rückkopplungen zwischen den Kompartimenten auftreten.

Um diese schrittweise Entwicklung vom „Nullpunkt“ an zu beobachten, wird seit Mitte 2005 in einem künstlich angelegten Wassereinzugsgebiet im Tagebau Welzow-Süd ein initiales Ökosystem mit terrestrischen und aquatischen Teilbereichen detailliert untersucht. Das dazu genutzte Gelände wurde in gemeinsamer Vorbereitung von Vattenfall Europe Mining AG und BTU Cottbus 2004 geplant und bis Mitte 2005 realisiert (Gerwin et al. 2009). Das Wassereinzugsgebiet „Hühnerwasser“ ist als Quellgebiet für ein in der Bergbaufolgelandschaft zu rekonstruierendes Fließgewässer („Hühnerwasser“) konzipiert und nimmt eine Fläche von rund 6 ha ein (Abb. 4). Es befindet sich an der Südost-Abdachung einer künstlich geschaffenen Erhebung mit einer Höhendifferenz über der umgebenden Bergbaufolgelandschaft von ca. 10 m. Das durchschnittliche Gefälle beträgt 2 %.

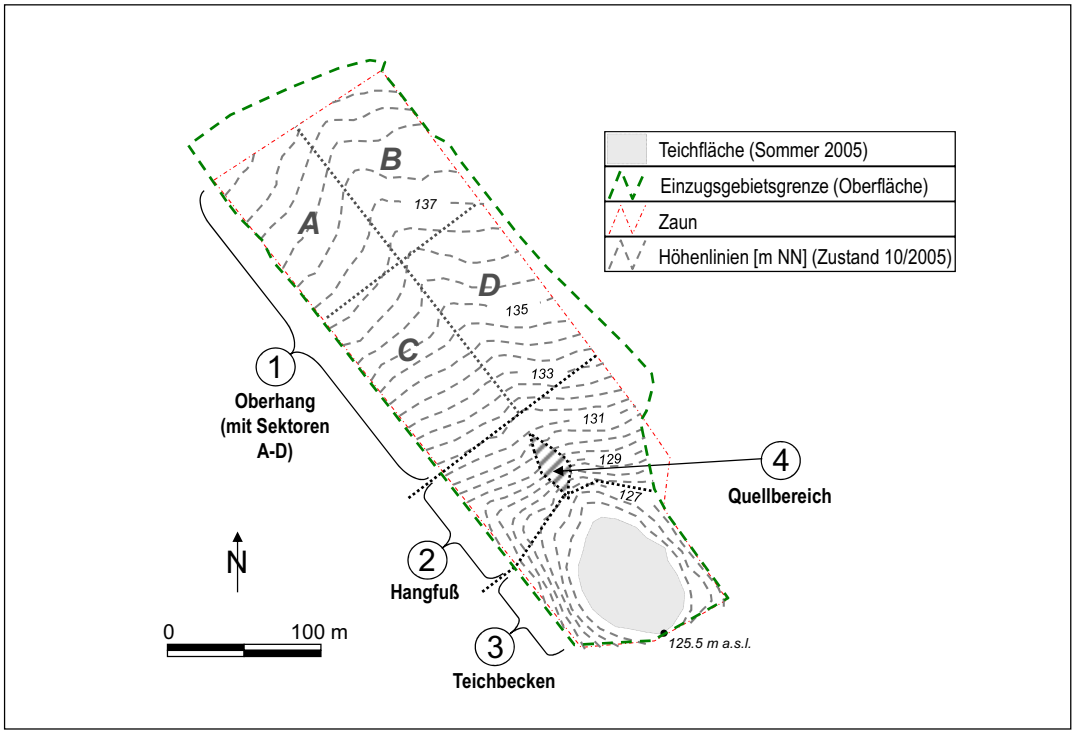


Abb. 4: Künstliches Wassereinzugsgebiet Hühnerwasser mit Abgrenzungen und Teilbereichen.

Erbaut wurde das Gelände mit Hilfe der Tagebau-Großtechnik. Auf der Förderbrückenkippe wurde mit Absetzertechnik eine Basisschüttung aufgebracht, die im Bereich des Einzugsgebietes mit einer 1 bis 2 m mächtigen Tonschüttung als Vertikalsperre für Sickerwasser überdeckt wurde. Oberhalb der Tonschicht wurde eine durchschnittlich 2-3 m mächtige Deckschüttung aus vornehmlich sandigen Substraten aufgebracht (Abb. 5). Das Substrat dieser Deckschüttung stammt aus saale-zeitlichen Ablagerungen aus dem Bereich des Lausitzer Landrückens. Die Fläche wurde nach der Schüttung planiert und oberflächlich geglättet. Neben einem terrestrischen Teilbereich befindet sich an der tiefsten Stelle des Areals eine Senke, die die Entwicklung eines Standgewässers zulässt. Weiterhin ermöglicht die Geländebeschaffenheit die Entstehung von periodischen und episodischen, später ggf. auch permanenten (Klein-) Fließgewässern. Das Untersuchungsgelände wurde abgesehen von Planierungsarbeiten keinerlei Meliorationsmaßnahmen (wie z.B. Kalkung, Düngung) oder Ansaaten bzw. Bepflanzungen unterzogen, so dass eine für die Region standorttypische ungelenkte Sukzession ablaufen kann.

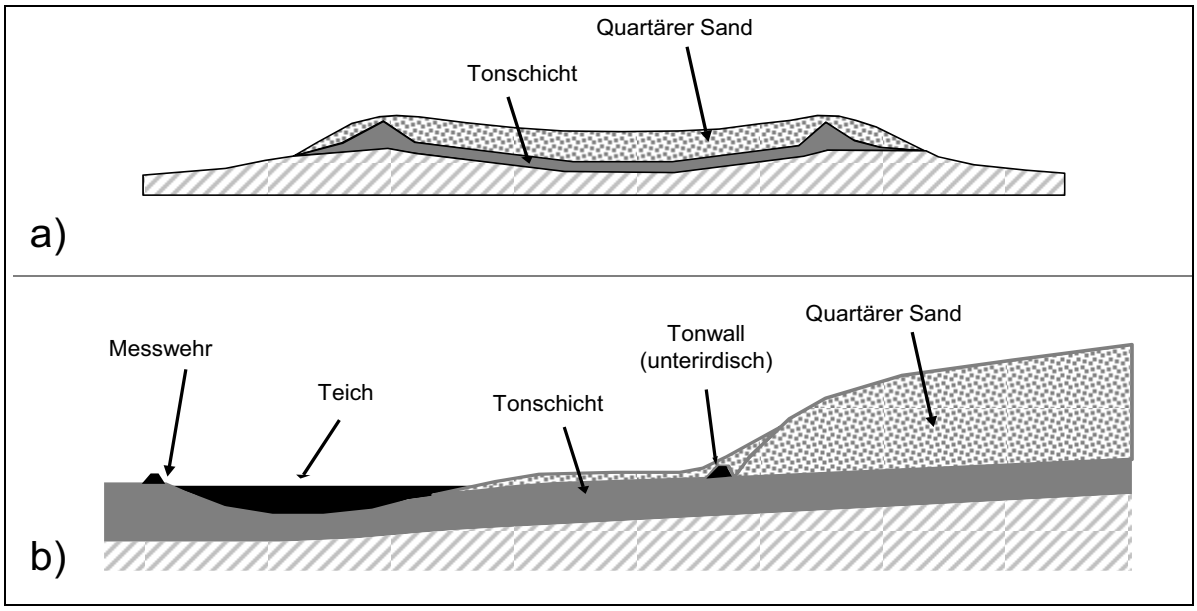


Abb. 5: Schematischer und überhöhter Quer- (a) und Längsschnitt (b) durch das künstliche Wassereinzugsgebiet Hühnerwasser.

Zur Kennzeichnung der Ausgangsbedingungen (vgl. auch Gerwin et al. 2010) wurden bereits 2005 an rund 130 Rasterpunkten in unterschiedlichen Tiefenbereichen Proben des Substrats entnommen. Untersuchungen des überwiegend sandigen Substrats ergaben, dass es der Fragestellung des Vorhabens entsprechend einen weitgehend initialen Zustand zu Beginn der Bodenbildung repräsentiert. Die pH-Werte liegen im neutralen bis schwach alkalischen Bereich und es konnte in allen bisher analysierten Proben Carbonat aus den eiszeitlichen

Geschiebesubstraten nachgewiesen werden. Der Tonmineralbesatz mit überwiegend Illit spricht für wenig fortgeschrittene bodenbildende Prozesse.

Nach Abschluss der Bauarbeiten („Punkt Null der Entwicklung“) im Herbst 2005 wurden erste Beobachtungseinrichtungen auf der Fläche installiert, um die bereits unmittelbar nach dem Nullpunkt der Genese beginnende Strukturentwicklung aufzuzeichnen (Gerwin et al. 2011). Seitdem dokumentiert ein umfangreiches Monitoringprogramm die sehr dynamische und rasche Entwicklung der Fläche. Zu dem Monitoringprogramm gehören hydrologische, bodenkundliche, botanische, bodenzoologische, limnologische und meteorologische Untersuchungen (Schaaf et al. 2010). Regelmäßig werden zudem Befliegungen mit einer Mikrodrohne durchgeführt, um Luftbilder der Oberflächenstrukturen zu erzeugen.

Literatur

Gerwin, W., Schaaf, W., Biemelt, D., Fischer, A., Winter, S. & Hüttl, R.F. (2009): The artificial catchment "Chicken Creek" (Lusatia, Germany) - A landscape laboratory for interdisciplinary studies of initial ecosystem development. Ecological Engineering, 35, 1786-1796.

Gerwin, W., Schaaf, W., Biemelt, D., Elmer, M., Maurer, T. & Schneider, A. (2010): The artificial catchment 'Hühnerwasser' (Chicken Creek): Construction and initial properties. Ecosystem Development, 1, Cottbus (urn:nbn:de:kobv:co1-opus-20725).

Gerwin, W., Schaaf, W., Biemelt, D., Winter, S., Fischer, A., Veste, M. & Hüttl, R.F. (2011): Overview and first results of ecological monitoring at the artificial watershed Chicken Creek (Germany). Physics and Chemistry of the Earth, 36, 61-73.

Hüttl, R.F. & Schneider, B.-U. (Hrsg., 2009): Neue Ansätze in der land- und forstwirtschaftlichen Rekultivierung. Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung, 8, Cottbus.

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

Krümmelbein, J., Horn, R., Raab, T., Bens, O., Hüttl, R.F. (2010): Soil Physical Parameters Of A Recently Established Agricultural Recultivation Site After Brown Coal Mining In Eastern Germany. Soil and Tillage Research, 111 (1), 19-25.

Raab, A., Raab, T., Takla, M., Nicolay, A., Bönisch, E. & Rösler, H. (2011): Böden als Archive der Landschaftsgeschichte im Vorfeld des Tagebaus Jänschwalde – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 114, 84-96.

Schaaf, W., Bens, O., Fischer, A., Gerke, H.H., Gerwin, W., Grünewald, U., Holländer, H.M., Kögel-Knabner, I., Mutz, M., Schloter, M., Schulin, R., Veste, M., Winter, S. & Hüttl, R.F. (2011): Patterns and processes of initial terrestrial-ecosystem development. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 174, 229-239.

Schaaf, W., Biemelt, D. & Hüttl, R.F. (Hrsg., 2010): Initial development of the artificial catchment “Chicken Creek” – monitoring program and survey 2005-2008. Ecosystem Development, 2, Cottbus (urn:nbn:de:kobv:co1-opus-20732).

Prof. Dr. Thomas Raab

Lehrstuhl für Geopedologie und Landschaftsentwicklung
Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik
Brandenburgische Technische Universität Cottbus
03046 Cottbus

T +49 (0)355 - 69 42 26
F +49 (0)355 - 69 23 23

e-mail: raab@tu-cottbus.de

Dipl.-Ing. Ralf Kühner
Vattenfall Europe Mining AG

Überblick zur Geologie von Cottbus und Umgebung

Regionale Verbreitung und Schichtenfolge

Präglazial

Das Quartär begann vor 2,6 Ma mit einer in Nordwesteuropa einsetzenden deutlichen Abkühlung, die mit der Verdrängung der Wärme liebenden, u. a. aus Sumpf- und Zypressengewächsen (Taxodiaceae, Cupressacae), Mammutbaum (*Sequoia*), Schirmtanne (*Sciadopitys*) und Tulpenbaum (*Liriodendron*) bestehenden Tertiärflora durch subarktische Elemente verbunden war (u. a. ZAGWIJN 1960, 1974). Bis zur Ausbreitung des ersten skandinavischen Inlandeises in unserem Gebiet verging ein sehr langer Zeitraum, der durch einen mehrfachen Wechsel wärmerer und kälterer Abschnitte im Unter- und Mittelpleistozän (Prätegelen bis Cromer-Komplex) geprägt war und mehr als 80 % des gesamten Quartärs umfasst.

In der Lausitz sind adäquate Ablagerungen nur als fluviatile Schotterreste in reliktischen und orthostratigraphisch nicht fassbaren Vorkommen bekannt. Ihre heutige Verbreitung beschränkt sich auf das südlich der Linie Bad Muskau – Falkenberg gelegene Gebiet, wo sie ausschließlich durch kaltzeitlich sedimentierte, sandig-kiesige Schotterreste der Hochterrasse ehemaliger Flussläufe von Elbe, Neiße, Schwarzer Elster und lokaler Nebenflüsse vertreten sind (GRAHMANN 1933; GENIESER 1955 und ff.; WOLF 1980; WOLF & SCHUBERT 1992 u. a.).

Quartärbasis

Die Quartärbasis der Lausitz ist durch eine bewegte und von großen Niveauunterschieden geprägte Morphologie charakterisiert. Dabei wird das von Nord nach Süd ansteigende Basisrelief einerseits durch inselartige Hochlagen, andererseits durch markante, lokal bis auf den prätertiären Untergrund eingeschnittene rinnenförmige Strukturen und beckenförmige Ausräumungen gekennzeichnet (CEPEK 1967; KUPETZ et al. 1989 u. a.). Dazwischen finden sich Gebiete mit weiträumig ausgeglichenem Relief, die im Detail jedoch auch sehr engräumige Strukturierungen aufweisen können. Im Bereich der Hochlagen sind die tertiären

Schichten bis in ein Niveau von mehr als +130 m NHN erhalten, im Bereich der tiefen Rinnen sinkt die Quartärbasis unter -150 m NHN ab und erreicht vielfach bereits den prätertiären Untergrund. Die tiefste Position quartärer Sedimente beschreiben HANNEMANN & RADTKE (1961) mit -238,0 m NN bei Lauschütz nordwestlich Guben.

Das generelle Fehlen unterpleistozäner bis elsterfrühglazialer Ablagerungen macht deutlich, dass neben den vorwiegend linear orientierten Tiefenerosionen auch enorme flächenhafte Abtragungen entscheidend zur Prägung der Quartärbasis beigetragen haben. Das Niveau der präelsterkaltzeitlichen Landoberfläche gibt LIPPSTREU (1995) in der brandenburgischen Lausitz bei +80 m NN an, nördlich Cottbus wird sie um +100 m NN vermutet (KÜHNER 1991). Die Abtragungsbeträge lagen hier zwischen 35 und 60 m, etwas höhere Beträge postuliert KUPETZ (1997) für den Raum Bad Muskau mit 40 bis 100 m.

Die flacheren, meist im oder über dem Niveau des 2. Miozänen Flözkomplexes (2. MFK) endenden Rinnenstrukturen werden heute nahezu übereinstimmend mit glazihydromechanischer Erosion durch subglazial abfließende und unter hohem Druck stehende Schmelzwässer in Verbindung gebracht (EISSMANN 1967; KUSTER & MEYER 1979; NOWEL 1983; KÜHNER et al. 1988 u. a.). Das Modell geht ursprünglich auf ILLNER (1934) zurück; die theoretischen Grundlagen zur Erklärung des „Rinnenphänomens“ konnten durch neue Erkenntnisse zum Verhalten subglazialer Schmelzwässer unter sich verändernden Porenwasserdrücken in den überfahrenen Grundwasserleitern (BOULTON & HINDMARSH 1987; BOULTON et al. 1993; BOULTON & DOBBIE 1993; PIOTROWSKI 1994) entscheidend erweitert werden.

Die tiefen, weit unter das Niveau des 2. MFK reichenden Rinnen und wannenartigen Ausräumungsstrukturen wurden dagegen vielfach mit fluviatilen (u. a. CEPEK 1967; von BÜLOW 1990; NOWEL 1983) oder exarativen Genesemodellen (GRIPP 1964; WOLDSTEDT 1950; NOWEL 1983), teilweise in Kombination miteinander bzw. im Zusammenwirken mit subglazialen Prozessen diskutiert. Diese Modelle liefern jedoch keine stichhaltigen Erklärungen für den vielgestaltigen, sich häufig kreuzenden Rinnenverlauf und die charakteristischen Übertiefungen des unregelmäßig ausgebildeten Basisreliefs (EISSMANN 1987). Auch das generelle Fehlen fluviatiler Schotter im Rinnentiefsten (MÜLLER 1973; LIPPSTREU 1995 u. a.) stellt ein wesentliches Argument gegen fluviatile Modelle dar. SMED (1998) weitet die Theorie der subglazialen Schmelzwassererosion auch auf die großen Rinnenstrukturen aus, da dem Prozess, der zur Entstehung „kleinerer“ Strukturen führt, keine Grenzen dafür gesetzt, wie groß die Rinne werden kann. Breite und Tiefe einer Rinne sind damit im Wesentlichen nur ein Ausdruck für die Dauer und Intensität subglazialer Schmelzwassererosion.

Südlich der Linie Luckau – Cottbus – Guben sind die Rinnen vorwiegend als relativ schmale und langgestreckte Strukturen ausgebildet, die nach Süden zunehmend verflachen (Abb. 1). Hinsichtlich der Füllung können sie weder in Bezug auf die materialmäßige Zusammensetzung noch auf die strukturelle Ausbildung ihrer häufig wechselnden Sedimentabfolgen miteinander verglichen werden. Glazilimnische Beckenbildungen, Schmelzwassersande und -kiese, Steine, Geschiebemergel und abgerutschte Tertiärschollen bilden den Hauptteil der Rinnenfüllungen und finden sich in unterschiedlichster Mächtigkeit und Dominanz wieder (NOWEL 1983; KUPETZ et al. 1989; KÜHNER 1991). Geschiebemergel können hier, meist durch zahlreiche und stark absätzige Sand-, Kies- oder Schlufflagen in mehrere Bänke aufgespalten, Gesamtmächtigkeiten bis 170 m (z. B. Dubrau-Bohrauer Rinne) erreichen. Mächtige Schmelzwasserschotter scheinen sich auf die unteren Rinnenabschnitte zu konzentrieren, sie enthalten häufig Schollen aus tertiären Sedimenten.

Nördlich der Linie Luckau – Cottbus – Guben münden die Rinnen in sehr breite und tiefe, E-W orientierte Ausräumungszonen. Die parallel verlaufenden Krausnick-Burg-Peitz-Gubener (mit Tiefen bis -140 m NHN) und die Schwielochsee-Lieberose-Gubener Hauptrinne (Tiefen bis -170 m NHN) haben eine gemeinsame Breite von mehr als 18 km und werden nur durch einzelne, inselförmige Tertiärhochlagen (+20 bis +30 m NHN) voneinander getrennt. Ihre Basis erreicht lokal den prätertiären Untergrund.

Elster-Kaltzeit

Während der Elster-Kaltzeit wurde die Lausitz zweimal bis weit über ihre Südgrenze hinaus vom skandinavischen Inlandeis bedeckt und in ihrer Morphologie so gravierend umgestaltet, dass nahezu alle Spuren früherer quartärer Prozesse zerstört wurden. Der 1. Vorstoß fand nach WOLF & SCHUBERT (1992) unter extrem kalt-ariden Klimaverhältnissen über einer im Tiefland relativ ausgeglichenen und durch hohe Permafrostmächtigkeiten geprägten Oberfläche statt, der ohne größere Auswirkungen auf das überfahrene Gelände blieb. Erst der 2. Elstereisvorstoß, der offenbar unter wärmeren Klimaverhältnissen erfolgte, konnte durch höhere Eismobilität und einem verstärkten Schmelzwasseranfall intensiv mit Rinnenbildungen, Stauchungen und Schollenverfrachtungen in den Untergrund eingreifen. Beeindruckendes Zeugnis dieses Wirkens sind die ausgedehnten glazigenen Deformationen im Bereich des Muskauer Faltenbogens (KUPETZ 1997 u. a.) sowie weitere, ausgedehnte Stauchungsgebiete bei Elsterwerda – Plessa, Tröbitz, Finsterwalde, Ortrand, Zeißholz und Petershain (VIETE 1960; CEPEK 1967,1968; NOWEL 1984), die vorwiegend der Elster-Kaltzeit zugeordnet werden (WOLF et al. 1992; EISSMANN 1997).

Die elsterzeitlichen Geschiebemergel sind im Oberlausitzer Raum in zwei Bänken zusammen mit glazifluviatilen und glazilimnischen Bildungen (PRÄGER 1976; SCHUBERT 1977; STEDING 1977 u. a.) entwickelt und werden bei Niesky auch durch fluviatile Schüttungen (WOLF 1964) voneinander getrennt. Dagegen können in der nördlichen und mittleren Lausitz keine signifikanten Hinweise für die Gliederung in zwei Vereisungsphasen festgestellt werden. Geschiebemergel treten hier, abgesehen von den sehr wechselhaften Serien in der Füllung tiefer Schmelzwasserrinnen, nur noch als deckenförmige, bis ca. 12 m mächtige Grundmoränenreste auf quartären Hochflächenplateaus in Erscheinung. Sie liegen großflächig unmittelbar der tertiären Schichtenfolge auf, nur vereinzelt erfolgte die Ablagerung geringmächtiger, meist sandig-kiesiger Vorschüttbildungen. Im Raum Welzow ist an der Geschiebemergelbasis ein wenige dm mächtiger, toniger Schluff entwickelt. Der ungeschichtete, von Grobsand durchsetzte Horizont besteht vorwiegend aus verlagerten tertiären Schluffen und Tonen und repräsentiert offenbar eine an der Gletscherbasis ausgeschmierte Schicht, auf der die Eisbewegung erfolgte (deformation till). Sie geht mit einer unscharfen, durch Einschuppungen und Einpressungen charakterisierten Hangendgrenze in den überlagernden Absetzgeschiebemergel (lodgement till) über.

Die elsterzeitlichen Geschiebemergel fallen generell durch ihren hohen Gehalt an eingeschuppten und aufgearbeiteten Tertiärmaterialien auf. Neben feinverteilten kohligen Partikeln und Xyliten charakterisieren Schlieren und Fetzen aus Schluffen, Tonen und Kiesen der Rauno-Formation die meist schwarzgraue bis braunschwarze, sehr feste und teilweise extrem zähe Moräne. Im Kleingeschiebebestand (4 bis 10 mm) zeichnet sie sich durch hohe Quarzgehalte (bis 50 % im Tagebau Welzow-Süd), reichlich frischen Feuerstein und eine Dominanz des nordischen Kristallins gegenüber dem Gehalt an paläozoischen Kalksteinen (LIPPSTREU 1995; LIPPSTREU in KÜHNER 2000) aus.

Die stratigraphische Einordnung in die Elster-Kaltzeit ist in vielen Bereichen durch die unmittelbare Überlagerung mit frühsaalezeitlichen Schotterkomplexen gesichert bzw. ergibt sich aus adäquaten geologisch-morphologischen Positionen in der quartären Gesamtabfolge des weiteren Umfeldes. Sie wird im Raum Jänschwalde und Welzow zusätzlich durch die Ergebnisse röntgenphasenanalytischer Untersuchungen der Geschiebemergelmatrix (LUCKERT & THIEKE 2000; LUCKERT 2003) gefestigt. Eine Korrelation mit dem 1. oder 2. Elstereisvorstoß erscheint grundsätzlich problematisch, da sich im Süden Brandenburgs keine Anhaltspunkte für ein Rückschmelzen des 1. Elstereises und die Entwicklung interstadialer Verhältnisse ergeben. Vermutlich baute sich der 2. Elstereisvorstoß unmittelbar aus den Resten des nur unvollständig zerfallenen Elster 1-zeitlichen Gletschers auf (LIPPSTREU 1995). Damit konnte nur eine Grundmoräne abgesetzt werden, die unmittelbar dem Tertiär aufliegt und das gesamte glaziäre Geschehen der Elster-Kaltzeit widerspiegelt.

Ihr Hangendes ist auf den Hochflächen durch erosive Prozesse und Verwitterung intensiv überprägt, vielfach entkalkt und mit ausgedehnten, häufig zahlreiche Windschliffe führenden Steinsohlen überdeckt. In der Dubrau-Bohrauer Rinne interpretieren LIPPSTREU et al. (1994) Entkalkungen und intensive, grün bis blaugrüne Verfärbungen im oberen Teil des Rinnengeschiebemergels als Ergebnis holsteinzeitlicher Verwitterung. Der Geschiebemergel lässt sich aus der Depression in die Normalablagerung verfolgen und wurde im Tagebau Jänschwalde sowohl südlich als auch nördlich des Baruther Urstromtals mehrfach mit entkalkten und graugrün verwitterten Hangendpartien angetroffen. In der Tranitz-Heinersbrücker Rinne traten über der ebenfalls entkalkten elsterzeitlichen Füllung aus Beckensanden und -schluffen intensiv vergrünte und Pflanzenreste führende Sande, vivianitreiche Schluffmudden und Torfe auf. Das Pollenspektrum (STRAHL in KÜHNER et al. 2008) lässt eine Entwicklung von interstadialen zu stadialen Verhältnissen erkennen, ermöglicht jedoch keine eindeutige stratigraphische Zuordnung. Auch im Tagebau Welzow-Süd fanden sich im Hangenden des Elster-Geschiebemergels Entkalkungen und olivbraune Verfärbungen, die vermutlich ebenfalls auf holsteinzeitliche Verwitterungsprozesse zurückzuführen sind.

Neben den vielfältigen, glazigen bedingten Lagerungsstörungen lassen sich vereinzelt auch Hinweise auf endogen initiierte Störungsformen nachweisen. NOWEL (1972, 1975) und THIEM (1989) beschreiben in der nordwestlichen und zentralen Lausitz Mächtigkeitsanomalien, Faziesänderungen und Verwerfungen pleistozäner Ablagerungen, die aus einer Reaktivierung älterer, endogen-tektonisch angelegter Störungsbahnen resultieren. Im Kauscher Graben (Tagebau Welzow-Süd) wurde der elsterzeitliche Geschiebemergelkomplex im Zeitraum Elster-Glazial bis Saale-Frühglazial 17 m abgesenkt (KÜHNER 2009). Im Zuge dextraler Seitenverschiebungen entstanden Dehnungsspalten mit Öffnungsweiten bis 90 cm, deren Füllung auch grobe Schmelzwasserschotter mit nordischen Geröllen enthalten.

Holstein-Warmzeit

Mit der fortschreitenden globalen Klimaerwärmung am Ende der Elster-Kaltzeit zogen sich die Gletscher nach Skandinavien zurück und hinterließen in der Lausitz eine morphologisch stark gegliederte Oberfläche. Im Bereich unvollständig verfüllter glazialer Rinnen und Becken entwickelten sich ausgedehnte Seenlandschaften, die von markanten, mit Geschiebemergel und Schmelzwasserschottern bedeckten Hochflächen begrenzt wurden. Die warmzeitliche Vegetationsentwicklung begann mit der Ausbreitung eines Kiefern (*Pinus*)-Birken (*Betula*)-Waldes, in den wenig später thermophile Gehölze wie Eiche (*Quercus*), Ulme (*Ulmus*), Linde

(*Tilia*), Eibe (*Taxus*), Hasel (*Corylus*) und Esche (*Fraxinus)* einwanderten. In der zweiten Hälfte der Warmzeit erreichten auch Hainbuche (*Carpinus)* und Tanne (*Abies*) mitteleuropäisches Gebiet. Die Ausbildung regelrechter Hainbuchen-Tannen-Wälder, das häufige Vorkommen sogenannter Tertiärrelikte wie Flügelnuss (*Pterocarya*) und Zürgelbaum (*Celtis*) sowie atlantisch geprägter Elemente wie Wein (*Vitis*), Buchsbaum *(Buxus),* Stechpalme *(Ilex),* Geißblatt (*Lonicera*) und des Sauergrases *Dulichium arundacineum* sind ein deutlicher Hinweis dafür, dass im Holstein nicht nur wärmere, sondern auch wesentlich ozeanischere Bedingungen herrschten als heute.

Die Kenntnis zur Verbreitung holsteinzeitlicher Ablagerungen in der östlichen Niederlausitz beschränkt sich auf wenige, nur aus Bohrungen bekannte Vorkommen. Nordöstlich von Cottbus beschreibt HELLWIG (1975) organogene Schluff- und Tonhorizonte innerhalb fluviatiler, meist mittel- bis grobsandiger Schüttungen im Niveau zwischen 0 und +24 m NN. Die palynologische Bestätigung erfolgte in der Bohrung CoN 1504/71 bei Maust mit dem Nachweis der Pollenzone (PZ) 6 durch ERD (1974, 1994). Das Pollenspektrum wird durch Süß- und Sauergräser sowie Kiefer, Birke und Erle (*Alnus*) bestimmt. Kennzeichnend sind des Weiteren sehr hohe Pollenanteile der Flügelnuss, von der auch Nussfunde vorliegen (MAI in ERD 1994) sowie das Auftreten von Buchsbaum und dem Großen Algenfarn (*Azolla filiculoides*). Das Pollenspektrum spiegelt eine Flußauen- und Bruchwaldvegetation mit zahlreichen Wasser- und Sumpfpflanzen wider und deutet in Verbindung mit der weitflächigen Verbreitung des Horizontes auf eine flache, verzweigte Flusslandschaft am Ende des Klima-Optimums der Holstein-Warmzeit. CEPEK et al. (1994) ordnen das Flusssystem im Wesentlichen der Spree (mit Schwarzem und Weißem Schöps) zu, die aus dem Raum Spremberg – Cottbus kommend bei Peitz in das Fünfeichener Becken (HANNEMANN 1964, 1967) mündete, wo sich ihre Schotter mit denen der Lausitzer Neiße vermischten.

Das am Südostrand der Krausnick-Burg-Peitz-Gubener Hauptrinne gelegene Vorkommen lässt sich über eine Vielzahl neuerer Erkundungsbohrungen bis in den Raum Peitz – Jänschwalde – Drewitz verfolgen. Hier findet es Anschluss an die pollenanalytisch belegten, bereits im Übergang zum Fünfeichener Becken liegenden Vorkommen von Bärenklau, Atterwasch und Drewitz (STRAHL 2000, 2002, 2008) sowie Groß Drewitz und Butzen (CEPEK et al. 1994). Sie zeigen insgesamt eine durch Erlen beherrschte Bruchwaldvegetation mit der typischen Tannen-Hainbuchen- und Kiefern-Bewaldung der ausgehenden Holstein-Warmzeit (STRAHL in KÜHNER et al. 2008).

Saale Komplex

Saale-Frühglazial

Die Entwicklung zu subarktischen Vegetationsverhältnissen im Anschluss an die boreale Kräuter-Erlen-Kiefern-Birken-Zone der Holstein-Warmzeit (PZ 7 nach ERD) leitete den Übergang in das Saale-Frühglazial ein. Das fluviatile Regime war anfangs noch an die im Holstein nicht vollständig verfüllten elsterzeitlichen Rinnensysteme gebunden. Erst mit der sukzessiven Auffüllung der Depressionen durch Akkumulation ausgedehnter und mächtiger Schwemmfächersedimente wurden die Talungen weitestgehend aufgeschottert und nivelliert, so dass im ausgehenden Saale-Frühglazial auch höher gelegene Gebiete durch fluviatile Ablagerungen überschüttet werden konnten. Auf den Hochflächen außerhalb der Flusstäler zerstörten Verwitterung, Abspülung, Solifluktion und Winderosion die holsteinzeitlichen Böden und griffen tief in die glaziären Ablagerungen der Elster-Kaltzeit ein, von denen vielfach nur eine mit Windkantern belegte Steinsohle erhalten blieb.

Das Saale-Frühglazial beginnt mit Ablagerungen der Fuhne-Kaltzeit, deren unterer Teil in den Holstein-Vorkommen bei Drewitz, Bärenklau und Atterwasch pollenanalytisch nachgewiesen ist (STRAHL in KÜHNER et al. 2008). Höhere Abschnitte werden von LIPPSTREU et al. (1994) im Raum Gosda – Klinge (Tagebau Jänschwalde) in den fluviatilen Fein- und Mittelsanden im Hangenden einer oberflächig verwitterten, elsterzeitlichen Serie vermutet, die neben syngenetischen Permafrostmarken mehrere Schluffmuddelagen mit arktischen bis subarktischen Pollenspektren führen.

In der östlichen Niederlausitz repräsentiert das Tranitzer Fluviatil den wichtigsten lithostratigraphischen Leithorizont. Es wurde von HELLWIG (1975) in eine untere, vorwiegend fein- bis mittelkörnige und eine obere, mittel- bis grobkörnige Folge unterteilt. Die untere Folge enthält lokal mehrere Schluffmuddelagen mit subarktischen Pollenspektren unklarer stratigraphischer Position (ERD in HELLWIG 1975, ERD 1994). In Annahme einer Überlagerung dieser Abfolge durch Saale II-Geschiebemergel im Raum Klinge prägten NOWEL & CEPEK (1988) für diesen Abschnitt den Begriff „Klinger Fluviatil“. Er ist auch nach Korrektur der Lagerungsverhältnisse (NOWEL 1996) als Synonym für den unteren Teil des Tranitzer Fluviatils in Gebrauch geblieben. Als Schotterlieferant wird das Flusssystem der Spree vermutet, deren Sedimentfracht sich durch Einschüttung der Neiße stark verdünnt und durchmischt hat. Dagegen belegen in der oberen Folge auffallend hohe Anteile an Isergebirgsfeldspäten (9 bis 15 %) sowie Quarzgehalte um 70 % und bis 5 % Schiefergebirgsmaterial eine sichere Zuordnung zur Lausitzer Neiße (HELLWIG 1975). Diese Differenzierung in einen unteren, Spree-dominierten Schotter und einen oberen, Neiße-dominierten Schotter kommt weiter nördlich (Raum Grießen – Jänschwalde-Ost) infolge der

offenbar immer intensiveren Verflechtung beider Flusssysteme im Übergang zum Fünfeichener Becken nicht mehr zum Ausdruck (KÜHNER et al. 2008).

Die ursprüngliche Positionierung des Tranitzer Fluviatils in den Zeitraum zwischen Saale II- und Saale III-Glaziation (HELLWIG 1975, CEPEK & NOWEL 1991, CEPEK et al. 1994 u.a.) bzw. Drenthe und Warthe (NOWEL 1996, 2003) ist durch LIPPSTREU et al. (1994) revidiert und dem Abschnitt ausgehendes Elster-Glazial bis Saale-Frühglazial zugeordnet worden. Dabei wird die untere, relativ feinkörnige Folge (Klinger Fluviatil) als niveo-fluviatile bis niveo-limnische Ablagerung in die Fuhne-Kaltzeit gestellt, die obere, grobkörnigere Folge in den post-dömnitzzeitlichen Abschnitt vor dem Vordringen des ersten Saaleeises. Infrarot-Radiofluoreszenz-Alter (IR-RF) der unteren Folge im Raum Klinge von 270 ± 25 ka und des oberen Teils im Raum Hornow von 171 ± 15 ka, 158 ± 9 ka und 149 ± 8 ka (KRBETSCHEK et al. 2008) korrelieren mit der sich an lithologischen Gesichtspunkten orientierenden Interpretation.

Saale-Hochglazial

Die erste saalezeitliche Eistransgression in die nördliche Lausitz erfolgte im Drenthe-Stadium (Älteres Saale-Stadium nach LIPPSTREU et al. 1995) direkt über die tiefgefrorenen Schotterflächen des Saale-Frühglazials. Proglaziale Staubeckensedimente in Form ausgedehnter Vorschüttbildungen sind in der nördlichen Lausitz nur vereinzelt bzw. in geringen Mächtigkeiten entwickelt. Erst mit Annäherung des Gletschers an das ansteigende Geländerelief der mittleren und südlichen Lausitz konnten sich ausgedehnte Staubeckensedimente (Bändertone, -schluffe und -sande) und sandig-kiesige Schmelzwasserschotter entwickeln. Sie erreichen im Tagebau Welzow-Süd bereits Mächtigkeiten bis 40 m und liegen meist über den vielfach periglaziär überprägten Ablagerungen der Elster-Kaltzeit (KÜHNER 2000, 2011).

Der Geschiebemergel des Drenthe-Vorstoßes ist vorwiegend durch eine sehr schluffige Grundmasse gekennzeichnet, relativ geschiebearm und zeigt im Vergleich zum Elster-Geschiebemergel deutlich geringere Gehalte an großen Steinen und Blöcken. Seine Hauptverbreitungsgebiete liegen nördlich des Baruther Urstromtals im Raum Guben – Horno – Peitz, südlich davon ist er im Bereich des Niederlausitzer Grenzwalls von Bad Muskau bis Doberlug-Kirchhain in Mächtigkeiten zwischen 5 und 10 m ausgebildet. In der Kleingeschiebezusammensetzung entspricht er im Wesentlichen dem Saale II-Geschiebemergel sensu CEPEK (TGL 25 232) mit hohen Gehalten an Paläozoischen Kalken, einer reichen Dolomitführung sowie relativ wenigen Sandsteinen und frischen Flinten. Er bildet auffallenderweise in allen Gebieten mit vorhandenen frühsaalezeitlichen Schüttungen

die erste Saale-Moräne. Entsprechende Sedimentfolgen konnten im Tagebau Jänschwalde (LIPPSTREU et al. 1994, KÜHNER 2003), im Tagebau Greifenhain (LIPPSTREU et al. 1995) und in der westlichen Niederlausitz (UNGER et al. 1995) nachgewiesen werden. Eine analoge Folge deutet sich auch im Tagebau Seese-Ost mit den von NOWEL & HELLWIG (1994) beschriebenen fluviatil/glazifluviatilen Kiessanden im Liegenden des Saale II-Geschiebemergels sensu CEPEK an.

Der Zerfall des Drenthe-Eises führte in der Niederlausitz zur Entstehung ausgedehnter Staubeckenseen und zur Sedimentation von Bänderschluffen und -sanden, die vielfach noch mit Fließ- und Abtropfgeschiebemergeln verzahnt sind. Im Bereich der Hornoer Hochfläche dominieren eisrandnahe Sedimente mit meist ungeschichteten, schnell sedimentierten Beckenablagerungen und bis kopfgroßen drop stones (KÜHNER 2003).

Bis zum beginnenden Warthe-Stadium (Jüngeres Saale-Stadium nach LIPPSTREU et al. 1995) blieb die Lausitz weitestgehend unter periglazialen Verhältnissen. Für eine intrasaalezeitliche Klimaentwicklung bis auf warmzeitliches Niveau (zuletzt NOWEL 2007) konnten trotz jahrzehntelanger, detaillierter Kartierungsarbeiten in den kilometerlangen Aufschlüssen der Lausitzer Tagebaue keine stratigraphisch zwingenden Belege oder Hinweise erbracht werden. Sie wird zudem durch die mehrfach nachzuweisende Position eemzeitlicher Sedimente auch innerhalb drenthezeitlich gebildeter und bis zum Beginn der Eem-Warmzeit mit Eis versiegelter Hohlformen ausgeschlossen (BÖNISCH 1991; KÜHNER 2000; KÜHNER & STRAHL 2008).

Der Gletscher des Warthe-Stadiums erreichte mit seiner Maximalausdehnung den Niederlausitzer Grenzwall, wo zwei markante, hintereinander angeordnete (Stauch-) Endmoränenstaffeln die jeweiligen Stillstände nachzeichnen. Oberflächig markieren girlandenförmig angeordnete Satzendmoränen aus blockreichen Stein- und Kiesschüttungen die ehemaligen Stillstandslagen, im Untergrund werden sie durch z. T. sehr intensive Deformationen in Form von Sattel-Mulden-Strukturen, Überschiebungen und Verschuppungen bis in Teufen von 85 m dokumentiert (NOWEL 1986; GREULICH 1989, 1990; SEIBEL 1994; KÜHNER 2000 u. a.). Lage und Verlauf der einzelnen Strukturelemente belegen eine hohe Dynamik des Warthe-Eises, das sich hier im Randbereich in mehrere oszillierende Loben auflöste. Nach Osten setzen sich die Deformationen bis in den Muskauer Faltenbogen fort, der bislang (ohne orthostratigraphische Belege) in seiner Anlage jedoch nur als Ergebnis elsterzeitlicher Prozesse interpretiert wird (zuletzt KUPETZ & KUPETZ 2009). Steilstehende, gestauchte Neißeschotter (Tranitzer Fluviatil) am Horlitza-Berg (HELLWIG 1975) und in der Kiesgrube Kromlau (NOWEL 2009) dokumentieren dagegen eine saalezeitliche, glazitektonische (Über-)Prägung.

Im Hinterland des Niederlausitzer Grenzwalls weisen die Blockpackungen der Jerischker Endmoräne im Raum Raden – Pusack auf eine weitere Randlage des Warthe-Eises hin. Sie wurde von NOWEL (1984) mit einer „S III-zeitlichen Rückzugsstaffel“ („Jerischker Staffel“ nach SCHUBERT 1979) in Verbindung gebracht und in ihrer Fortsetzung über Seese-West und Schlabendorf-Nord bis in den Raum Lübben vermutet.

Der Warthe-Geschiebemergel, er entspricht dem Saale III-Geschiebemergel sensu CEPEK, ist durch die erosive Tätigkeit warthe- und weichselzeitlicher Schmelzwässer weitestgehend ausgeräumt worden. Nur im Bereich der Hochflächen (Hornoer Hochfläche nördlich des Baruther Urstromtales, Weißagker und Dubrauer Höhe westlich Forst, Bischdorf-Dubrauer Hochfläche nördlich Calau) steht er noch in aushaltender Verbreitung mit durchschnittlichen Mächtigkeiten zwischen 5 und 10 m an. In der Hornoer Hochfläche erreicht er Mächtigkeiten bis 23 m und zeigt im faziellen und strukturellen Aufbau eine deutliche Zweiteilung (KÜHNER 2003). Die untere Folge, ein sandiger, durch vielfältige Internstrukturen charakterisierter Ausschmelzgeschiebemergel mit Einschaltungen von Fließ- und Abtropfgeschiebemergel wird in der Kleingeschiebezusammensetzung noch durch erhöhte ostbaltische Spektren charakterisiert. Erst in der kompakten, massigen oberen Folge kommt die typische, dolomitarme Zusammensetzung eines „klassischen“ Saale III-Geschiebemergels sensu CEPEK zum Ausdruck.

Im Vergleich zu dem tiefen und ausgedehnten Rinnensystem im Ergebnis elsterzeitlicher Erosionsprozesse hat das Saale-Eis mit weitaus geringerer Intensität in den Untergrund eingegriffen. Das kann einerseits auf die hohe Mobilität der Gletscher zurückgeführt werden, die sich in relativ kurzer Zeit aufbauten, zerfielen und erneut, zum Teil mehrfach oszillierend, wieder vorstießen. Andererseits kann in der Lausitz auch nur noch mit geringen Eismächtigkeiten (geringe hydrostatische Drücke) gerechnet werden, die nach GELETNEKY (1996) im Raum Welzow für den Drenthe-Gletscher bei ca. 200 m lagen. Die Rinnen erreichen selten das Niveau des 2. MFK, zeigen aber alle rinnentypischen Strukturelemente, vereinzelt auch kleinere Rinnennetze (KÜHNER et al. 1988; KÜHNER 1991, 2000; PIOTROWSKI et al. 1999).

Eem-Warmzeit

Die Eem-Warmzeit begann mit der Ausbreitung geschlossener Birken-Kiefern-Wälder im Anschluss an die noch subarktischen Klimaverhältnisse des Saale-Spätglazials und hatte nach MÜLLER (1974) eine Dauer von ca. 11 000 Jahren. Die Beschreibung der vegetationsgeschichtlichen Abfolge geht auf ERD (1973) zurück, der die Sedimentfolge im

Eem-Becken von Kittlitz als Leitprofil ausgewählte und die verschiedenen Waldentwicklungsstadien der Warmzeit in 9 Pollenzonen unterteilte.

Über die absolute Dauer der einzelnen Abschnitte (MÜLLER 1974) ist für die Eem-Warmzeit eine anfänglich sehr schnelle Erwärmung erkennbar. Bereits 100 Jahre nach Beginn breitete sich in den zunächst dominierenden Kiefern- und Birken-Beständen die Ulme aus, wenig später folgten Eiche und Hasel. Die hochinterglaziale PZ 4 war nach 750 Jahren erreicht und die Hainbuche wurde bereits nach 3150 Jahren zur dominierenden Gehölzart, rund 3000 Jahre früher als im Holstein. Sie dominierte bis zur PZ 7, wobei Efeu (*Hedera*), Mistel (*Viscum*), Stechpalme, Buchsbaum, Eibe und Wein auf ein atlantisch geprägtes, wintermildes und niederschlagsreiches Klima hinweisen. In der PZ 7 trat die Fichte verstärkt in Erscheinung und prägte gemeinsam mit der Tanne das Waldbild in der anschließenden PZ 8. Die PZ 9 leitet mit kühlgemäßigtem Klima, starker Kiefern- Ausbreitung und dem Verschwinden thermophiler Elemente in das Weichsel-Frühglazial über. Im Gegensatz zum Holstein war das Eem durch eine wesentlich laubwaldreichere Vegetation gekennzeichnet.

Auf dem Niederlausitzer Grenzwall hinterließ das abschmelzende Eis eine bewegte, vorwiegend durch glaziäre Prozesse geformte Oberfläche, die kaum Möglichkeiten für eine weitflächige Sedimentation bot. In der größtenteils mit Warthe-Geschiebemergel bedeckten Landschaft existierten nur noch wenige, kleine Restseen innerhalb nicht vollständig verfüllter Rinnenstrukturen sowie große Mengen verschütteter Toteiskörper. Sie hinterließen beim Ausschmelzen am Ende des Saale-Spätglazials lokal eng begrenzte, kesselförmige Hohlformen, die über die gesamte Warmzeit, vereinzelt bis zum Weichsel-Frühglazial, als Sedimentfallen wirkten. Während sich ein Großteil der Eem-Becken über einer abgesenkten, mitunter auch erosiv eingeschnittenen Warthe-Moräne entwickelt haben, zeichnen sich die Vorkommen im Raum Welzow durch ihre Position unmittelbar über der älteren Saale-Moräne aus.

Die Eem-Vorkommen auf dem Niederlausitzer Grenzwall und den nördlich vorgelagerten Hochflächen liegen mit nur geringer weichselzeitlicher und holozäner Bedeckung unmittelbar an der heutigen Oberfläche (u. a. Eem von Tschernitz, HERMSDORF & STRAHL 2008). Dagegen ist im Übergangsbereich zum Baruther Urstromtal bereits eine zunehmende Überschüttung des ehemaligen Eem-Reliefs zu verzeichnen. NOWEL et al. (1997) beschreiben im Stadtgebiet von Cottbus eine Reihe Vorkommen, die unter bis zu 7m mächtigen Schwemmfächersedimenten begraben liegen. Hier treten lokal auch flächenhaft verbreitete Torfe und Mudden innerhalb verlandeter Totwasserarme auf. Hohe Werte von Weide (*Salix*), Birke und Pappel (*Populus*) lassen Standorte im Bereich einer Weichholzaue und eines versauerten Sumpfgebietes (ERD in NOWEL et al. 1997) erkennen.

Im Baruther Urstromtal ist die Vielzahl der Eem-Sedimente einer intensiven weichselzeitlichen Schmelzwassererosion zum Opfer gefallen. Ihre Reste finden sich in den Aufschlüssen der Tagebaue Jänschwalde und Cottbus-Nord zu Tausenden als faust- bis kopfgroße Gerölle vorwiegend im unteren Teil der Urstromtalsedimente. In der Ausräumung „Weiße Berge“ (Tagebau Cottbus-Nord) lagen die noch autochthonen Reste eines erosiv fast vollständig zerstörten Eem-Vorkommens (KÜHNER 1991) bereits unter 20 m mächtigen Schmelzwassersanden der Weichsel-Kaltzeit begraben.

HERMSDORF & STRAHL (2008) listen für den Raum Döbern-Luckau-Guben rund 100, davon 50 palynologisch gesicherte Eem-Vorkommen auf, wobei der überwiegende Anteil nur aus Bohrungen bekannt ist. Kleinere Vorkommen, wie z. B. Klinge-Nord im Tagebau Jänschwalde, wurden erst im laufenden Abraumbetrieb entdeckt und standen kurzzeitig für Untersuchungen zur Verfügung. Die ca. 5 m mächtige Abfolge enthielt nach ERD (in KÜHNER et al. 1989) Ablagerungen der PZ 3 bis 6 mit einer Reihe zum Teil seltener thermophiler Elemente wie Ahorn (*Acer*), Buche (*Fagus)*, Stechpalme, Liguster (*Ligustrum*), Kornelkirsche (*Cornus mas*), Efeu, Mistel und Binsenschneide (*Cladium mariscus*). Bemerkenswert waren überaus häufige Blattfunde der Silberpappel (*Populus alba*) und zahlreiche Fischreste von Hecht (*Esox lucius*), Flussbarsch (*Perca fluviatilis*), Plötze (*Rutilus rutilus*) sowie Rotfeder (*Scardinius erythrophthalmus*) in teilweise vollständiger Skeletterhaltung.

Umfassende Bearbeitungen erfuhren die ebenfalls durch die Tagebauböschungen angeschnittenen Vorkommen von Schönfeld im östlichen Randbereich des Luckauer Beckens und das klassische, vor rund 100 Jahren vor allem durch zahlreiche Wirbeltierfunde bekannt gewordene Vorkommen von Klinge (NEHRING 1891 und später; SCHROEDER & STOLLER 1905). Im Ergebnis mehrjähriger Grabungstätigkeiten durch STRIEGLER & STRIEGLER (Bereich Geologie des Museums Cottbus) erfolgten in Zusammenarbeit mit zahlreichen Fachkollegen detaillierte geologische, paläobotanische und -zoologische, geochemische und paläomagnetische Untersuchungen, Lumineszenzdatierungen und geoökologische Bearbeitungen (STRIEGLER 1986; Naturwissenschaftlicher Verein der Niederlausitz 2007, 2008).

Weichsel-Kaltzeit

Der Übergang in die Weichsel-Kaltzeit vollzog sich vor 115 ka mit der erneuten Einstellung subarktischer Klimaverhältnisse. Bis zum Vordringen des Inlandeises in die Lausitz vergeht ein langer, durch eine alternierende Folge aus stadialen und interstadialen Abschnitten charakterisierter Zeitraum von rund 95 ka. Die größte Verbreitung weichselfrühglazialer Sedimente findet sich im Bereich des Lausitzer Urstromtals in einer bis 25 m mächtigen

Serie aus fluviatilen und limnisch-fluviatilen Fein- und Mittelsanden mit Einschaltungen von Torf- und Muddehorizonten. Sie entspricht im Wesentlichen der „Oberen Talsandfolge“ von CEPEK (1965) und umfasst die kompliziert miteinander verschachtelten Schwemmfächer von Spree, Lausitzer Neiße, Schwarzer und Weißer Schöps (SCHUBERT 1979; WOLF & SCHUBERT 1991; WOLF et. al 1994). Nördlich des Niederlausitzer Grenzwalls sind entsprechende Ablagerungen vorwiegend auf lokale Beckenbereiche beschränkt, in denen sich die limnische Eem-Sedimentation kontinuierlich bis in das Weichsel-Frühglazial fortsetzen konnte. Das Vorkommen von Kittlitz weist nach ERD (1973) drei Interstadiale (W II, W IV und W VI) auf, die gegenwärtig mit dem Brörup-Interstadial (W II bis W IV) und dem Odderade-Interstadial (W VI) korreliert werden. Im anschließenden Stadial W VII brach die Sedimentation, offenbar zeitgleich mit dem Hiatus im Lausitzer Urstromtal, ab. Jüngere Ablagerungen sind bislang nur aus einem isolierten Vorkommen bei Kerkwitz bekannt geworden. Sie sind mit einem ^{14}C-Alter von 28 ± 0,6 ka BP datiert und werden von CEPEK (1972) als Kerkwitz-Interstadial beschrieben.

Aus dem Raum Gosda – Klinge erwähnen LIPPSTREU et al. (1994) fluviatile Schüttungen des Weichsel-Frühglazials, die sie über das Klinger Becken bis südlich Tranitz verfolgen. Die schwach kiesigen Sande liegen am Ostrand des Tagebaus Cottbus-Nord über pollenanalytisch gesichertem Eem und lassen sich nach ERD dem ausgehenden Eem (PZ 9) bis Weichsel-Frühglazial zuordnen. Eine Korrelation mit einem bestimmten Flusssystem ist noch nicht erfolgt.

Während der Annäherung des skandinavischen Inlandeises im Weichsel-Hochglazial und der damit verbundenen Klimaumstellung begann die Sedimentation im Lausitzer Urstromtal zu stagnieren. Die jüngsten Ablagerungen beschreibt CEPEK (1965) aus dem Tagebau Skado mit einem ^{14}C-Alter von 20 475 ± 600 a BP und korreliert sie mit der Maximalausdehnung des Weichsel-Eises. Es erreichte während des Brandenburger Stadiums (Brandenburg Phase, LITT et al. 2007) den Raum Guben – Byhleguhre – Biebersdorf, wo der ehemalige Eisrand noch heute durch morphologisch in Erscheinung tretende Endmoränenzüge markiert ist. Die Terrassierung der vorgelagerten Sanderflächen veranlasste MARCINEK (1961) zu einer Gliederung in zwei Stillstandslagen: Eine äußere Eisrandlage mit dem Taubendorfer Sander und eine Reicherskreuzer Rückzugsstaffel mit dem Reicherskreuzer Sander. Eine dritte Randlage beschreibt HANNEMANN (1967) im Raum Grunow – Briesen (Grunower Staffel), deren Schmelzwässer jedoch über den Schwanheide Sander direkt nach Westen abflossen. Bezug nehmend auf toteisbedingt entstandene Hohlformen und unruhig gestaltete Oberflächen auf dem Taubendorfer und Schwanheider Sander sowie geschlossene Kessel mit hohen Moor- und Muddemächtigkeiten bei Leipe und Lübbenau vermutete MARCINEK (1961) bereits ein Vorrücken über die durch Endmoränen

markierte Brandenburger Randlage hinaus. Diese Auffassung wurde durch Untersuchungen von JUSCHUS (2010) bestätigt, wonach durch einen weiterreichenden (maximalen) weichselzeitlichen Eisvorstoß die Brandenburger Randlage an mindestens 6 Stellen überschritten wurde. Nordöstlich Cottbus konnte HORN (2004) eine weichselzeitlich entstandene, subglaziale Erosionsstruktur an der Basis des Baruther Urstromtals nachweisen und damit die Maximalausdehnung des Weichsel-Gletschers bis in den Raum Wilmersdorf – Merzdorf belegen. Dabei markiert offenbar der im Tagebau Cottbus-Nord aufgeschlossene Willmersdorf-Neuendorfer Faltenbogen den äußeren Gletscherrand (Cottbuser Lobus, HORN et al. 2005).

Die ins Baruther Urstromtal abfließenden Schmelzwässer schütteten eine mehr als 20 m mächtige Serie aus kiesigen Mittel- und Grobsanden auf, die im Raum der Tagebaue Cottbus-Nord und Jänschwalde die unterschiedlichen Schmelzwasserabflüsse über Taubendorfer und Reicherskreuzer Sander widerspiegeln (KÜHNER 1991).

Das Gewässernetz der Lausitz war im beginnenden Hochglazial gravierenden Änderungen unterworfen. Die Neiße verließ die Vorflut des Lausitzer Urtromtals unter Benutzung ihres alten, im Weichsel-Frühglazial noch durch Dünenaufwehungen blockierten Weges durch den Muskauer Faltenbogen (CEPEK 1965; SCHUBERT 1979). Im Raum Guben verhinderte das Eis des Brandenburger Stadiums vorerst ihren weiteren Abfluss nach Norden und führte zu einem erheblichen Eintrag von Neißeschottern in den Schmelzwasserstrom des Baruther Urstromtals. Besonders die Ablagerungen des Älteren Baruther Urstroms führen horizontweise sehr hohe Anteile an Neißeschottern (KÜHNER 1991). Mit dem Freiwerden niedrigerer Abflussniveaus bereits zur Zeit des Frankfurter Stadiums (BROSE & PRÄGER 1977; Frankfurt Phase nach LITT et al. 2007) verließ die Neiße wieder das Baruther Urstromtal bei Guben Richtung Norden. Auch die Spree fand zeitgleich mit der Maximalausdehnung des Eises bei Spremberg einen Weg durch den Niederlausitzer Grenzwall (CEPEK 1965) und mündete unter mehrfacher Laufverlegung bei Cottbus in das Baruther Urstromtal, wo sie sich anfangs mit den Schmelzwässern des Älteren und Jüngeren Urstroms vermischte. Nur der jüngste, auch rezent noch aktive Spreelauf schüttete nach Versiegen des Schmelzwasserzuflusses über den Reicherskreuzer Sander einen ausgedehnten Schwemmfächer in das Urstromtal. Er setzt sich im unteren Teil aus einer Wechselfolge von kiesigen Mittel- und Grobsanden zusammen (Unterer Spreeschwemmfächer) und entspricht den Ablagerungen eines ungeregelten Flusssystems (braided river). Eiskeilpseudomorphosen mit Längen bis 4 m weisen auf anfänglich noch hochglaziale Klimaverhältnisse. Mit dem Einsetzen deutlich feinkörnigerer Schüttungen beginnt ein neuer Sedimentationszyklus aus vorwiegend limnisch-fluviatilen Sanden mit kryogen deformierten organogenen Lagen und eingeschalteten äolischen Bildungen (Oberer

Spreeschwemmfächer). Dabei ist, mit Ausnahme des Meiendorf-Interstadials, der Zeitraum der Ältesten Dryas bis in die Jüngere Dryas, wenn auch lückenhaft, pollenstratigraphisch verifiziert (SEIFERT in KÜHNER et al. 1999; BITTMANN & PASDA 1999; POPPSCHÖTZ & STRAHL 2004).

Holozän

Das Holozän besitzt den klimastratigraphischen Rang einer Warmzeit. Seine Abtrennung aus der Kaltzeit-/Warmzeit-Folge des Pleistozäns als Epoche ist in der zunehmenden Rolle des Menschen begründet, der nun als anthropogener Faktor immer stärker die natürliche Entwicklung der Vegetations- und Oberflächenverhältnisse beeinflusst. Der Übergang von der Jüngeren Dryas zum Präboreal erfolgte mit einer gravierenden Klimaveränderung, aus der in der Lausitz eine kurzzeitige Intensivierung fluviatiler Aktivitäten resultierte. Bedingt durch das hohe Wasserangebot während der frühsommerlichen Schneeschmelze schnitten sich die Flüsse unter Ausbildung flacher Rinnen bis zu 5 m in den Untergrund ein. Diese vorwiegend erosive Phase endete spätestens im Subatlantikum mit der Entwicklung jahreszeitlich ausgeglichener Abflussverhältnisse und der Bildung mäandrierender Flussläufe in den Niederungen. Bis zum Eingreifen des Menschen erfolgte im Wesentlichen eine Niveauerhöhung im Zuge temporärer Hochwasserereignisse durch Ablagerung fein- bis mittelkörniger Sande, Auelehme sowie organogener Bildungen (Torfe, Mudden, humose Sande). Einen detaillierten Einblick in die holozäne Entwicklungsgeschichte der Flüsse liefern die durch Pollenanalysen und ^{14}C-Alter gesicherten Aufschlüsse aus dem Schwemmfächer der Spree zwischen Cottbus und ihrer Einmündung in das Baruther Urstromtal (NOWEL et al. 1972; KÜHNER 1995; NOWEL et al. 1997; BITTMANN & PASDA 1999; NEUBAUER-SAURER 1999; KÜHNER et al. 1999; POPPSCHÖTZ & STRAHL 2004). Ein Großteil der Rinnen wurde bereits unmittelbar nach ihrer Anlage im Zuge einmaliger Hochwasserereignisse mit Fein- und Mittelsanden verfüllt. Andere enthalten eine wechselhafte Folge aus fluviatilen Sanden und limnisch-sedentären Ablagerungen, die mehrere, lokal sehr differenzierte Hochwasserereignisse und Verlandungsphasen vom Präboreal bis in das ältere Subatlantikum (NEUBAUER-SAURER 1999; BITTMANN & PASDA 1999) dokumentieren. Die vegetationsgeschichtliche Entwicklung ist ebenfalls durch pollenanalytische Untersuchungen in Verbindung mit ^{14}C-Altern (NEUBAUER-SAURER 1999; BITTMANN & PASDA 1999; POPPSCHÖTZ & STRAHL 2004) sehr detailliert rekonstruiert worden. Bei Merzdorf wurde in einem in den Spreeschwemmfächer eingeschnittenen Kolk eine lückenlose, vom Alleröd bis ins Atlantikum reichende Profilsequenz erfasst (POPPSCHÖTZ & STRAHL 2004).

Neben der Bildung fluviatiler und limnisch-sedentärer Ablagerungen besaß die Um- und Neubildung von Dünen und Flugsanddecken eine erhebliche Bedeutung. Ausgedehnte Dünengebiete finden sich im Baruther Urstromtal im Raum Lübben-Baruth und Cottbus-Heinersbrück sowie in geringerer Verbreitung auf den warthezeitlichen Sanderflächen des Niederlausitzer Grenzwalls. Die intensivsten äolischen Aktivitäten dürften bis zum Beginn des Boreals abgelaufen sein, als die sich aufgrund der Klimaentwicklung noch lockere Bewaldung besonders auf den Schwemmfächersedimenten der Urstromtäler der ausblasenden Tätigkeit des Windes wenig Widerstand entgegensetzen konnte. Im Gebiet um Baruth beschreibt DE BOER (1995) vier Phasen verstärkter äolischer Aktivitäten mit zum Teil erheblichen Dünenneu- und -umbildungen während der späten Bronzezeit, der Slawischen Zeit, der deutschen Ostkolonisation (10. bis 13. Jh.) sowie im Industriezeitalter. Sie sind identisch mit den Befunden aus dem Raum Cottbus-Jänschwalde (MAGALOWSKI & NOWEL 1982; BITTMANN & PASDA 1999) und stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit der Entblößung der leichten Sandböden durch menschliche Rodungsaktivitäten.

Literatur

BITTMANN, F. & PASDA, C. (1999): Die Entwicklung einer Düne während der letzten 12.000 Jahre – Untersuchungsergebnisse von Groß Lieskow (Stadt Cottbus) in der Niederlausitz. – Quartär, **49/50**: 39-54; Saarbrücken.

BÖNISCH, R. (1991): Neue quartärgeologische Modelle für Eem-Becken in der Niederlausitz. – Tagungsmaterial 38. Jahrestagung GGW: 95-72; Berlin.

BOULTON, G.S. & DOBBIE, K.E. (1993): Consolidation of sediments by glaciers: relations between sediment geotechnics, soft-bed glaciers dynamics and subglacial ground-water flow. – J. Glaciol., **39**, 131: 26-44; Edinburgh.

BOULTON, G.S. & HINDMARSH, R.C.A. (1987): Sediment deformation beneath glaciers: Rheology and geological consequences. – J. Geoph. Res., **92**, 9: 9059-9082; Edinburgh.

BOULTON, G.S., SLOT, T., BLESSING, K., GLASBERGEN, P., LEIJNSE, T. & VAN GIJSSEL, K. (1993): Deep circalation of groundwater in overpressured subglacial aquifers and its geological consequences. – Quaternary Sci. Revs., **12**: 739-745; Oxford.

BROSE, F. & PRÄGER, F. (1977): Beitrag zur Flußgeschichte der Oder und Neiße. – Z. geol. Wiss., **5**, 6: 777-790; Berlin.

CEPEK, A.-G. (1965): Geologische Ergebnisse der ersten Radiokarbondatierungen von Interstadialen im Lausitzer Urstromtal. – Geologie, **14**, 5/6: 625-657; Berlin.

CEPEK, A.-G. (1967): Stand und Probleme der Quartärstratigraphie im Nordteil der DDR. – Ber. dt. Ges. geol. Wiss., **A 12**, 3/4: 375-404; Berlin.

CEPEK, A.-G. (1968): Quartär. – In: Autorenkollektiv: Grundriß der Geologie der DDR, **1**: 385-420; Berlin (Akad.-Ver.).

CEPEK, A.-G. (1972): Zum Stand der Stratigraphie der Weichsel-Kaltzeit in der DDR. – Wiss. Z. E.-M.-A.-Univers., Math.-Nat. R., **XXI**, 1: 11-21; Greifswald.

CEPEK, A.G., HELLWIG, D. & NOWEL, W (1994): Zur Gliederung des Saale-Komplexes im Niederlausitzer Braunkohlenrevier. – Brandenburg. geowiss. Beitr., **1**, 1: 43-83; Kleinmachnow.

CEPEK, A.G. & NOWEL, W. (1991): Zum Pleistozän im Raum Klinge-Dubrau (östliche Niederlausitz), ein Typusgebiet für den Saale-Komplex. – Z. geol. Wiss., **19**, 3: 289-316; Berlin.

DE BOER, W. M. (1995): Äolische Prozesse und Landschaftsformen im mittleren Baruther Urstromtal seit dem Hochglazial der Weichselkaltzeit. – Berliner Geographische Arbeiten, **84**: 215 S.; Berlin.

EISSMANN, L. (1967): Glaziäre Destruktionszonen (Rinnen, Becken) im Altmoränengebiet des Norddeutschen Tieflandes. – Geologie, **16**, 7: 804-833; Berlin.

EISSMANN, L. (1987): Lagerungsstörungen im Lockergebirge. Exogene und endogene Tektonik im Lockergebirge des nördlichen Mitteleuropa. – Geophys. u. Geol., Geophys. Veröff. d. KMU Leipzig, **III**, 4: 7-77; Berlin.

EISSMANN, L. (1997): Das quartäre Eiszeitalter in Sachsen und Nordostthüringen. – Altenbg. nat. wiss. Forsch., **8**: 98 S.; Altenburg.

ERD, K. (1973b): Pollenanalytische Gliederung des Pleistozäns der Deutschen Demokratischen Republik. – Z. geol. Wiss., **1**, 9: 1087-1103; Berlin.

ERD, K. (1974): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung T 1504/71, Cottbus-Nord. – Ber. Zentr. Geol. Fonds, 27. Aug. 1974, unveröff.; Berlin.

ERD, K. (1994): Palynologische Aussagen zum Holstein- und Saale-Komplex im Gebiet des Tagebaus Jänschwalde. – Brandenburg. geow. Beitr., **1**, 1: 36-42; Kleinmachnow.

GAUTIER, Y. (1999): Feuerstellen, Dünen, Wald: Bausteine einer spätglazialen Landschaft im Tagebau Cottbus-Nord. – Quartär, **49/50**: 29-33; Saarbrücken.

GELETNEKY, J. (1996): Geologischer Bau und Genese subglazialer Schmelzwasserrinnen im Braunkohlentagebau Welzow-Süd (Brandenburg). – Diplomarbeit an der Math.-Naturw. Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel: 136 S., unveröff.; Kiel.

GENIESER, K. (1955): Ehemalige Elbeläufe in der Lausitz. – Geologie, **4**,3: 223-279; Berlin.

GRAHMANN, R. (1933): Die Geschichte des Elbtales von Leitmeritz bis zu seinem Eintritt in das Norddeutsche Flachland. – Mitt. Ver. Erdkde. Dresden N.F.: 132-194; Dresden1932/33.

GREULICH, K. (1989): Lagerungsverhältnisse des 2. Miozänen Flözhorizontes im Bereich des Niederlausitzer Grenzwalls im Raum Neupetershain-Spremberg. – Freiberger Forschungsh., **C 434**: 59-71; Leipzig.

GREULICH, K. (1990): Die Grube Merkur bei Drebkau – historischer und geologischer Überblick. – Natur und Landschaft Bez. Cottbus, **12**: 95-108; Cottbus.

GRIPP, K. (1964): Erdgeschichte von Schleswig-Holstein. – 411 S.; Neumünster (Wachtholtz).

HANNEMANN, M. (1964): Quartärbasis und älteres Quartär in Ostbrandenburg. – Z. angew. Geol., **10**: 370-376; Berlin.

HANNEMANN, M. (1967): Neue quartärgeologische Untersuchungsergebnisse in Ostbrandenburg. Das Pleistozän im östlichen Brandenburg. – Kurzref. u. Exkurs.-F. 7. Treff. Sekt. Quartärgeol. Deutsch. Ges. geol. Wiss.: 8-12 und 57-86; Berlin.

HANNEMANN, M. & RADTKE, H. (1961): Frühglaziale Ausräumungszonen in Südostbrandenburg. – Z. angew. Geol., **7**, 2: 69-74; Berlin.

HELLWIG, D. (1975): Fluviatile Bildungen innerhalb des Saale-Komplexes im Raum Cottbus-Forst. – Z. geol. Wiss., **3**, 8: 1077-1090; Berlin.

HERMSDORF, N. & STRAHL, J. (2008): Karte der Eem-Vorkommen des Landes Brandenburg. – Brandenburg. Geowiss. Beitr., 1/2: 23-55; Kleinmachnow/Cottbus.

HORN, M. (2004): Lithologische und genetische Charakterisierung der Ausräumung „Merzdorfer Ausbauten“ im Tagebau Cottbus-Nord und ihre Beziehung zum umliegenden glazitektonischen Störungsgebiet. – Diplomarbeit an der TU BA Freiberg, unveröff.; Freiberg.

HORN, M., KÜHNER, R. & THIELE, R. (2005): Die Ausräumung „Merzdorfer Ausbauten“ im Tagebau Cottbus-Nord und ihre Beziehung zur Ausdehnung des Weichsel-Eises in Südostbrandenburg. – Brandenb. geowiss. Beitr., **12**, 1/2: 37-44; Kleinmachnow.

ILLNER, F. (1934): Die Braunkohlenvorkommen in der Lausitz und in Niederschlesien. – Abh. Naturforsch. Ges., **32**; Görlitz.

JUSCHUS, O. (2010): Der maximale Vorstoß des weichselzeitlichen Inlandeises am Nordrand des Lausitzer Grenzwalls und des Flämings. – Brandenburg. Geowiss. Beitr., **17**, 1/2: 63-73; Cottbus.

KRBETSCHEK, M. R., DEGERING, D. & ALEXOWSKY, W. (2008): Infrarot-Radioflureszenz-Alter (IR-RF) der Unteren Saale Mittel- und Ostdeutschlands. – Z. dt. Ges. Geowiss., **159**, 1: S. 133-140; Stuttgart.

KÜHNER, R. (1991): Einige Aspekte zu bemerkenswerten Pleistozänaufschlüssen im Tagebau Cottbus-Nord. – Z. geol. Wiss., **19**, 3: 317-330; Berlin.

KÜHNER, R. (1995): Die weichselzeitliche Schichtenfolge im Tagebau Cottbus-Nord. – Natur u. Landschaft in der Niederlausitz, **16**: 35-45; Cottbus.

KÜHNER, R. (2000): Sedimentfolgen und Lagerungsverhältnisse im quartären Deckgebirge des Tagebaus Welzow-Süd. – Brandenburg. geow. Beitr., **7**,1/2: 59-72; Kleinmachnow.

KÜHNER, R. (2003): Ausbildung und Gliederung des saalezeitlichen Sedimentkomplexes im Bereich der Hornoer Hochfläche. – Brandenburg. geow. Beitr., **10** 1/2: 111-121; Kleinmachnow.

KÜHNER, R. (2009): Neue Ergebnisse zum Nachweis neotektonischer Aktivitäten im Quartär des Tagebaus Welzow-Süd, Südbrandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr., **16**, 1/2: 87-93; Cottbus.

KÜHNER, R. (2011): Quartär. – In: Autorenkollektiv: Die geologische Entwicklung der Lausitz: 95-134; Cottbus.

KÜHNER, R., ERD, K., STRIEGLER, U. & STRIEGLER, R. (1989): Das Eem-Interglazial von Klinge-Nord. – Natur u. Landsch. Bezirk Cottbus, **11**: 45-58; Cottbus.

KÜHNER, R., HILLER, A. & JUNGE, F.W. (1999): Die spätweichselzeitlichen Ablagerungen der Spree im Tagebau Cottbus-Nord und ihre zeitliche Einordnung unter besonderer Berücksichtigung von ersten 14C-Daten an Hölzern. – Geologie, **49/50**: 8-20; Saarbrücken.

KÜHNER, R., KLOSS, R., BAUMANN, K. & MÄDLER, F. (1988): Stratigraphisch genetische Erkenntnisse aus der Überbaggerung der Rinne Gosda-Klinge. – Z. angew. Geol., **34**, 11: 335-338; Berlin.

KÜHNER, R. & STRAHL, J. (2008): Die Eem-Vorkommen am Außenrand der warthestadialen Vereisung im Tagebau Welzow-Süd, Niederlausitz. – Z. dt. Ges. Geowiss., **159**, 2: 191-204; Stuttgart.

KÜHNER, R., STRAHL, J., SÜSSMILCH, P. & THIEKE, H.U. (2008): Lithologische und pollenanalytische Befunde aus dem saalefrühglazialen Fluviatilkomplex (Tranitzer Fluviatil) und dem Eem-Interglazial im Tagebau Jänschwalde, Südbrandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr., **15**, 1/2: 1-21; Kleinmachnow.

KUPETZ, M. (1997): Geologischer Bau und Genese der Stauchendmoräne Muskauer Faltenbogen. – Brandenburg. geowiss. Beiträge, **4**, 2: 1-20; Kleinmachnow.

KUPETZ, A. & KUPETZ, M. (Hrsg.) (2009): Wanderungen in die Erdgeschichte (24). Der Muskauer Faltenbogen. – 224 S.; München (Dr. Friedrich Pfeil).

KUPETZ, M.; SCHUBERT, G.; SEIFERT, A. & WOLF, L. (1989): Quartärbasis, pleistozäne Rinnen und Beispiele glazitektonischer Lagerungsstörungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier. – Geoprofil, **1**: 2-17; Freiberg.

KUSTER, H. & MEYER, K.-D. (1979): Glaziäre Rinnen im mittleren und nordöstlichen Niedersachsen. – Eiszeitalter u. Gegenwart, **29**: 135-156; Hannover.

LIPPSTREU, L. (1995): Brandenburg. – In: BENDA, L. (Hrsg.): Das Quartär Deutschlands: 116-147; Stuttgart (Borntraeger).

LIPPSTREU, L., HERMSDORF, N. & SONNTAG, A. (1995): Zur Gliederung der quartären Sedimentabfolgen im Niederlausitzer Braunkohlentagebau Greifenhain (LAUBAG) und in seinem Umfeld. – Brandenburg. geowiss. Beitr., **2,** 1: 61-67; Kleinmachnow.

LIPPSTREU, L., HERMSDORF, N., SONNTAG, A. & THIEKE, H.U. (1994): Zur Gliederung der quartären Sedimentabfolgen im Niederlausitzer Braunkohlentagebau Jänschwalde und in deinem Umfeld - Ein Beitrag zur Gliederung der Saale-Kaltzeit in Brandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr., **1**, 1: 15-35; Kleinmachnow.

LITT, T., BEHRE, K.-H., MEYER, K.-D., STEPHAN, H.-J. & WANSA, S. (2007): Stratigraphische Begriffe für das Quartär des norddeutschen Vereisungsgebietes. – Eiszeitalter und Gegenwart, **56**, 1/2: 7-65; Hannover.

LUCKERT, J. (2003): Kurzbericht - Analysenergebnisse, 20.11.2003. – unveröff.: 10 S.; Kleinmachnow.

LUCKERT, J. & THIEKE, H.U. (2000): Der Mineralbestand brandenburgischer Grundmoränen als lithostratigraphischer Indikator - erste Ergebnisse der Röntgenphasenanalyse der Tillmatrix < 63 µm. – Brandenburg. geowiss. Beitr., **7**, 1/2: 101-113; Kleinmachnow.

MAGALOWSKI, G. & NOWEL, W. (1982): Untersuchungen an Binnendünen in der Umgebung von Cottbus und Beziehungen zur Besiedlungsgeschichte dieses Raums. – Z. geol. Wiss., **10** ,6: 829-843; Berlin.

MÜLLER, A. (1973): Beitrag zum Quartär des Elbegebietes zwischen Riesa und Wittenberg unter besonderer Berücksichtigung der Elbtalwanne. – Z. geol. Wiss., **1**, 9: 1105-1122; Berlin.

MÜLLER, H. (1974b): Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtenzählungen an der eemzeitlichen Kieselgur von Bispingen/Luhe. – Geologisches Jahrbuch, **A 21**: 149-169; Hannover.

Naturwissenschaftlicher Verein der Niederlausitz e.V. (Hrsg.) (2007): Natur und Landschaft in der Niederlausitz, **24**: 172 S.; Cottbus.

Naturwissenschaftlicher Verein der Niederlausitz e.V. (Hrsg.) (2008): Natur und Landschaft in der Niederlausitz, **27**: 200 S.; Cottbus.

NEHRING, A. (1891): Über eine besondere Riesenhirsch-Rasse aus der Gegend von Cottbus, sowie über die Fundverhältnisse der betr. Reste. – Sber. Ges. naturforsch. Freunde, **8**: 151-162; Berlin.

NEUBAUER-SAURER, D. (1999): Holozäne Erosion und Akkumulation der alten Spree im Gebiet um Cottbus. – Quartär, **49/50**: 21-28; Saarbrücken.

NOWEL, W. (1972): Neue Erkenntnisse über endogen-tektonische Lagerungsstörungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier. – Z. angew. Geol., **18**, 3: 114-117; Berlin.

NOWEL, W. (1975): Die Störungszone von Calau-Plieskendorf-Buchwäldchen. – Z. geol. Wiss., **3**, 6: 741-753; Berlin.

NOWEL, W. (1983): Die geologische Entwicklung des Bezirkes Cottbus, Teil III/B: Das Quartär (Stratigraphie). – Natur u. Landsch. Bez. Cottbus, **5**: 3-26; Cottbus.

NOWEL, W. (1984): Die geologische Entwicklung des Bezirkes Cottbus, Teil III/B: Das Quartär (Stratigraphie). – Natur u. Landsch. Bez. Cottbus, **6**: 3-33; Cottbus.

NOWEL, W. (1986): Zur regionalgeologischen Bedeutung der Ziegeleigrube Leuthen südlich Cottbus. – Natur u. Landsch. Bez. Cottbus, **8**: 68-72; Cottbus.

NOWEL, W. (1996): Aktuelle Bemerkungen zur Gliederung des Saale-Komplexes im Quartär der Niederlausitz. – Natur u. Landsch. in der Niederlausitz, **17**: 54-77; Cottbus.

NOWEL, W. (2003): Zur Korrelation der Glazialfolgen im Saale-Komplex Nord- und Mitteldeutschlands am Beispiel des Tagebaus Jänschwalde in Brandenburg. – Eiszeitalter und Gegenwart, **52**: 47-83; Hannover.

Nowel, W. (2007): Zur geologischen Entwicklung und Erforschung der Gegend um Klinge. – Natur u. Landsch. in der Niederlausitz, **24**: 9-52; Cottbus.

NOWEL, W. (2009): Zum warthezeitlichen Anteil an der geologischen Entwicklung des Muskauer Faltenbogens und zur stratigraphischen Stellung der Jerischker Ensmoräne. – Natur u. Landsch. in der Niederlausitz, **28**: 3-36; Cottbus.

NOWEL, W., ATANASOV, O. & ERD, K. (1972): Neue Ergebnisse zur Dünenbewegung im Baruther Urstromtal. Geologische Untersuchungen einer Sandlagerstätte im Raume Cottbus. – Z. angew. Geol., **18**, 9: 410-418; Berlin.

NOWEL, W. & CEPEK, A.G. (1988): Das Pleistozän von Klinge-Dubrau (Kr. Forst). – Natur und Landschaft Bezirk Cottbus, **10**: 3-20; Cottbus.

NOWEL, W. & HELLWIG, D. (1994): Zur Grundmoränenstratigraphie im Tagebaufeld Seese-Ost. – Natur und Landschaft in der Niederlausitz, **15**: 51-61; Cottbus.

NOWEL, W., NIEDERSTRASSER, H. & ERD, K. (1997): Ablagerungen der Eem-Warmzeit und Weichsel-Kaltzeit im Stadtgebiet von Cottbus. – Natur und Landschaft in der Niederlausitz, **18**: 37-64; Cottbus.

PIOTROWSKI, J.A. (1994): Tunnel-valley formations in northwest Germany – geology, mechanism of formation and subglacial bed conditions for the Bornhöved tunnel valley. – Sedimentary Geology, **89**: 107-141; Amsterdam.

PIOTROWSKY, J. A., GELETNEKY, J. & VATER, R. (1999): Soft-bedded subglacial meltwater channel from the Welzow-Süd open-cast lignite mine, Lower Lusatia, eastern Germany. – Boreas, **28**: 363-374; Oslo.

POPPSCHÖTZ, R. & STRAHL, J. (2004): Fazies- und Pollenanalyse an einem weichselspätglazialen Flusslauf im „Oberen Spreeschwemmfächer" bei Cottbus. – Berliner Geographische Arbeiten, **96**: 69-88; Berlin.

PRÄGER, F. (Hrsg.) (1976): Die glazigenen Bildungen im Südosten der DDR und ihre Beziehungen zum angrenzenden periglaziären Gebiet im Norden der CSSR. – Exkursionsführer einer Tagung der GGW in Bautzen, 1-47; Berlin.

SCHROEDER, H. & STOLLER, J. (1908): Wirbeltierskelette aus den Torfen von Klinge bei Cottbus. – Jb. preuß. GLA f. 1905, **26**: 418-435; Berlin.

SCHUBERT, G. (1977): Die Gliederung und Verbreitung elsterkaltzeitlicher Sedimente in der mittleren Lausitz. – Veröff. Mus. Westlausitz, **1**: 37-50; Kamenz.

SCHUBERT, G. (1979): Aufschlussbefunde zu einer jungpleistozänen Laufverlegung der Lausitzer Neiße (Nochtener Neißelauf) und zur Terrassengliederung. – Z. geol. Wiss., **7** ,4: 463-477; Berlin.

SEIBEL, B. (1994): Glazigene Lagerungsstörungen des 2. Lausitzer Flözes im Braunkohlenfeld Dörrwalde. – Natur und Landschaft in der Niederlausitz, **15**: 79-87; Cottbus.

SMED, P. (1998): Die Entstehung der dänischen und norddeutschen Rinnentäler (Tunneltäler) – Glaziologische Gesichtspunkte. – Eiszeitalter u. Gegenwart, **48**: 1-28; Hannover.

STEDING, D. (1977): Überblick über das Quartär der südöstlichen Oberlausitz. – Abh. und Ber. des Naturkundemuseums Görlitz, **51**, 2: 37-38; Leipzig.

STRAHL, J. (2000): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von zwei Proben aus der Bohrung Atterwasch 1/98 (Hy Atw 5/98), Land Brandenburg. – Bericht LGRB vom 17.10.2000, unveröff.: 4 S.; Kleinmachnow.

STRAHL, J. (2002): Ergebnisse der pollenanalytischen Untersuchung von 34 Proben aus den Bohrungen Bärenklau GWBR 01 - 05/2000, Land Brandenburg. – Bericht LGRB vom 20.09.2002, unveröff.: 14 S.; Kleinmachnow.

STRAHL, J. (2008): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung der Bohrung Drewitz Pegel 33/06, Land Brandenburg. – Bericht LBGR vom 22.01.2008, unveröff.: 3 S.; Kleinmachnow.

STRIEGLER, U. (1986): Zum Eem-Interglazial von Klinge. – In: NOWEL, W., STRIEGLER, R., CEPEK, A.G. & KÜHNER, R. : Das Pleistozänprofil von Gosda – Klinge – Dubrau (Braunkohlenfeld Jänschwalde) – ein Typusgebiet für den Saale-Komplex in der Niederlausitz. – Tagungsmaterial der Gesellsch. f. Geol. Wiss. in Cottbus, 19.-22. Oktober 1991, 125-131; Berlin.

TGL 25 232 (1971): Analyse des Geschiebebestandes quartärer Grundmoränen. – Fachbereichsstandart, Bl. 1-6 Staatssekretariat f. Geologie; Berlin.

THIEM, G. (1989): Beitrag zum Nachweis endogener Tektonik in pleistozänen Ablagerungen der Niederlausitz. – Freiberger Forschungshefte, **C434**: 48-58; Leipzig.

UNGER, K.P., HÜBNER, F. & ESCHER, D. (1995): Holstein- und Eem-Interglaziale im Bereich des Lausitzer Grenzwalls und die Gliederung der Saalevereisung zwischen Baruther und Lausitzer Urstromtal. – Eiszeitalter u. Gegenwart, **45**: 24-31; Hannover.

VIETE, G. (1960): Zur Entstehung der glazigenen Lagerungsstörungen unter besonderer Berücksichtigung der Flözdeformationen im mitteldeutschen Raum. – Freiberger Forschungsh., **C 78**; Berlin.

WOLDSTEDT, P. (1950): Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter. – 464 S.; Stuttgart (Koehler).

WOLF, L. (1964): Fluviatile Ablagerungen auf den Messtischblättern Horka-Zodel. – In: Kurzref. u. Exkursionsf. d. Sektion Quartärgeologie d. Geol. Ges. i. d. DDR: 76-83; Berlin.

WOLF, L. (1980): Die elster- und präelsterkaltzeitlichen Terrassen der Elbe. – Z. geol. Wiss., **8**, 10: 1267-1280; Berlin.

WOLF, L., ALEXOWSKY, W., DIETZE, W., HILLER, A., KRBETSCHEK, M., LANGE, J.-M., SEIFERT, M., TRÖGER, K.-A., VOIGT, T. & WALTHER, A. (1994): Fluviatile und glaziäre Ablagerungen am äußersten Rand der Elster- und Saale-Vereisung; die spättertiäre und quartäre Geschichte des sächsischen Elbgebietes (Exkursion A2). – In: EISSMANN, L. & LITT, T. (Hrsg.): Das Quartär Mitteldeutschlands. – Altenbg. nat. wiss. Forsch., **7**: 190-235; Altenburg.

WOLF, L. & SCHUBERT, G. (1991): Die Niederterrassen der Neiße; ihre Beziehungen zur Oberen Talsandfolge im Bereich des Lausitzer Urstromtals. – Tagungsmaterial 38. Jahrestagung Ges. Geol. Wiss. DDR: 135-140; Berlin, Freiberg.

WOLF, L. & SCHUBERT, G. (1992): Die spättertiären bis elstereiszeitlichen Terrassen der Elbe und ihrer Nebenflüsse und die Gliederung der Elster-Kaltzeit in Sachsen. – Geoprofil, **4**: 43 S.; Freiberg.

WOLF, L., STEDING, D., SCHUBERT, G., ALEXOWSKY, W. & LEONHARDT, D. (1992): Geologische Übersichtskarte des Freistaates Sachsen im Maßstab 1 : 400 000; Freiberg.

ZAGWIJN, W.H. (1960): Aspects of the Pliocene and early Pleistocene vegetation in the Netherlands. – Meded. Geol. Stichting, **C-III-1**, 5: 78 S.; Maastricht.

ZAGWIJN, W.H. (1974): The Pliocene-Pleistocene boundary in western and southern Europe. – Boreas, **3**: 75-97; Oslo.

Dipl.-Ing. Ralf Kühner

Vattenfall Europe Mining AG
Vom-Stein-Straße 39
03050 Cottbus

Telefon: 0355/48640-2887-0

e-mail: ralf.kuehner@vattenfall.de

Dr. Andreas Börner
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG)

Fortschritte der geologischen Landesaufnahme durch den Aufschluss der OPAL-Trasse in Mecklenburg-Vorpommern

Einführung

Im östlichen Mecklenburg-Vorpommern bot der Trassenverlauf der Ostsee-Pipeline-Anbindungs-Leitung (OPAL) der WINGAS GmbH & Co. KG während der Grabungstätigkeit zwischen Oktober 2009 und Oktober 2010 die einzigartige Möglichkeit, die kartierten geologischen Einheiten im generell N–S verlaufenden, 3-4 m tiefen Grabenaufschluß zu überprüfen und den Inhalt der vorhandenen geologischen Karten anhand der neuen Geländebefunde zu modifizieren. Ergänzend zur Aufnahme und Beprobung geologischer und bodenkundlicher Profile und Transekte durch den Geologischen Dienst im LUNG M-V erfolgte eine auf die landschaftsgenetische Interpretation der Daten gerichtete Dokumentation und Beprobung von Trassenabschnitten durch die Arbeitsgruppe Physische Geographie der Universität Greifswald. Ergänzend wurden im Auftrag des Feststofflabors des LUNG M-V, in einem Abstand zwischen 2-3 km Bodenprofile detailliert beprobt, um geogene Hintergrundwerte von norddeutschen Bodenformationen zu erhalten. Für die Rekonstruktion der Ablagerungsbedingungen erfolgten zeichnerische und fotographische Aufnahmen sowie Beprobungen von Referenzprofilen für sedimentologische, stratigraphische und mikropaläontologische Analysen.

Die für die Grabenöffnung wichtige Grundwasserabsenkung wurde über technische Wasserhaltung gesichert. Um eine möglichst gute Standfestigkeit der Grabenwände ohne Grundwassereinfluss zu gewähren, waren die Drainagen zumeist mehrere Tage bis Wochen vor der eigentlichen Grabenöffnung in Betrieb. Der Zeitraum einer Befahrung nach Öffnung der lokal 300-2 000 m geöffneten Grabenabschnitte betrug teilweise nur wenige Tage, da nach Verlegung des Rohrstrangs der Aufschluß aus Sicherheitsgründen möglichst schnell wieder verschlossen wurde.

Der Bau der OPAL Verlegungstechnik und Wasserhaltung am Trassengraben

Die OPAL soll zukünftig bei einem maximalen Betriebsdruck von 100 bar betrieben werden. Die Kapazität wird nach Auskunft der WINGAS (2010) bei 36 Mrd. m^3 Erdgas pro Jahr lie-

gen. Die OPAL hat einen Gesamtdurchmesser von 1420 mm. Ein 18 m langes Rohrsegment hat bei vorgeschriebenen Manteldicken zwischen 22,3-23,8 mm ein Gewicht von 15 t. Von den Ingenieuren wurde eine Mindestüberdeckung von ca 1,5 m Boden vorgesehen, so dass die Rohrgrabentiefe im Durchschnitt 3,5 m betrug. Nach der Vermessung der bestätigten Trasse folgten noch vor dem Bau die archäologischen Untersuchungen zum Schutz der Bodendenkmale. Die erste größere technische Kolonne war die Mutterboden-Kolonne, welche die oberen 20-30 cm Oberboden im Arbeitsstreifen zur Seite räumte.

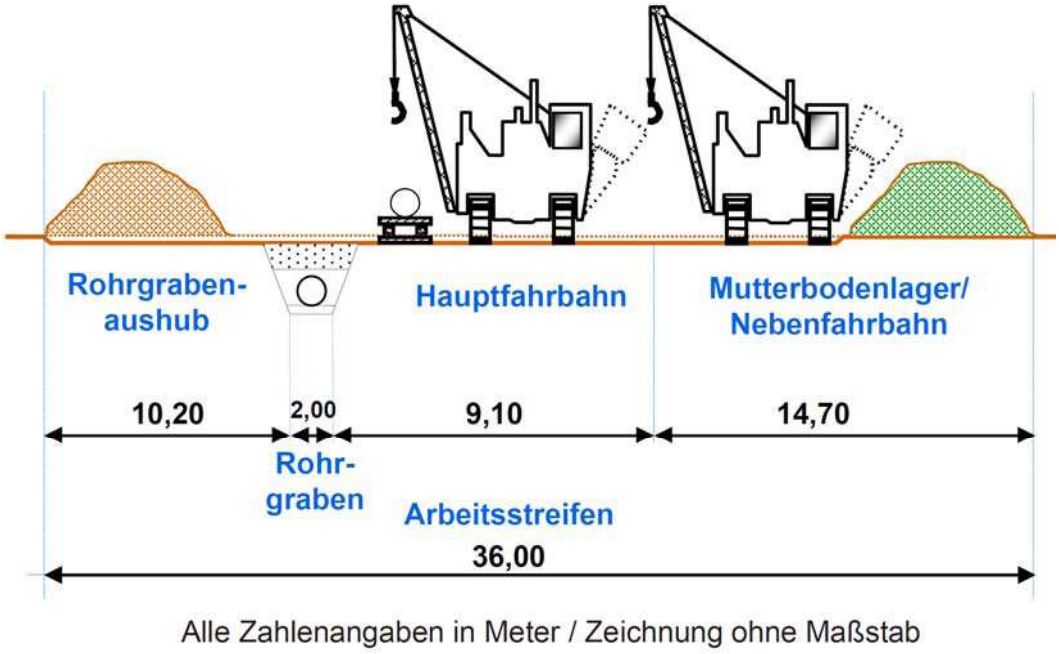


Abb. 1: Querschnitt des Arbeitsbereiches der OPAL-Pipeline (Quelle: WINGAS 2010)

Da die Pipeline durch die große Manteldicke nur bedingt flexibel war, wurden für Straßen-, Bahn- und Gewässerunterführungen sowie für die Querung relativ kleinräumiger Geländestufen eine Vielzahl von Rohrsegmenten mit einer speziellen Rohrbiegemaschine gebogen, und so dem natürlichen Relief bzw. den verkehrstechnischen “Hindernissen“ angepasst. Der Biegeabschnitt, Grad und Winkel wurden vom Biegevermesser anhand des Höhenprofils der Pipeline errechnet. Ein einzelnes OPAL-Rohrsegment konnte maximal um 14 Grad gebogen werden, damit die maximal zulässige Abweichung der Rohrovalität 2 % nicht überschritt. Um Sperrungen zu vermeiden, wurden Straßen und größere Wege bei laufendem Verkehr mit spezieller Bohrausrüstung und Rohren mit einer Spezialummantelung unterquert (Abb. 2).

Abb. 2: OPAL-Straßenquerung mit Spezial-Bohrtechnik

Der gesamte Bauabschnitt wurde im Vorfeld der Planungen bautechnisch geprüft (FABER et al. 2007). Dafür wurden alle verfügbaren Kartengrundlagen des Geologischen Dienstes ausgewertet und durch insgesamt174 Baugrundbohrungen in Teufen zwischen 5-40 m zur Erfassung der Lithologie und des Grundwasserstandes ergänzt. Auf diesem Baugrundgutachten basierend wurden bei den ermittelten Abschnitten mit Grundwasseranschnitt die technische Wasserhaltung für die Grabenöffnung berechnet. Die Grundwasserabsenkung wurde über mehrere Verfahren gesichert. Um eine gute Standfestigkeit der Grabenwände ohne Grundwassereinfluss zu gewähren, waren die Drainagen häufig schon mehrere Tage bis Wochen vor der eigentlichen Grabenöffnung in Betrieb. Das Grundwasser wurde aus den Drainageleitungen mittels Diesel-betriebenen Kolbenpumpen und Vakuumschwerkraftbrunnen gefördert. Gute Ergebnisse bei der Absenkung erreichte man mit eingefrästen Längsdrainagen (DN 80). In Bereichen mit sehr hohen Grundwasserständen wurden perforierte Plastikrohre (2‘‘-Filterlanzen, = 5,08 cm) in kurzen Abständen ebenfalls max. 10 m in den Untergrund gespült und das Wasser über Kolbenpumpen zutage gefördert (Abb. 3). Lokal wurden auch 700 mm Bohrungen bis max. 10 m Tiefe abgeteuft und mit 315 mm Spülfiltern versehen, die mit Tauchpumpen betrieben wurden. Das geförderte Wasser wurde über zentrale Wasserleitungssysteme (DN 100 - 300) je nach wasserrechtlicher Genehmigung in den nächsten Vorfluter oder in nahe Niederungen abgepumpt.

Abb. 3: Drainage und Grundwasserabsenkung mit Spüllanzen und obertägiger horizontaler Abführleitung

Trotz der vielen technischen Großgeräte vor Ort war für die kartierenden Geologen der „Graben-Auf-Bagger“ das wichtigste Gerät. Die größtenteils eingesetzte spezielle Baggerschaufel hat ein Volumen von 6,5 m^3 und konnte mit einem Hub fast 10 t Erdmassen bewegen. Für eine Strecke von ca. 3 m Grabenaufschluss (ca. 20 m^3) benötigte dieses Gerät drei Hubeinheiten (Abb. 4). Die spezielle V-Form der Schaufel ist dem Leitungsdurchmesser angepasst und schuf durch das längsseitige Abgraben gute Aufschlussverhältnisse. Der durchschnittlich 3,5 m tiefe Rohrgraben war an der Basis 2,5 m und an der Grabenschulter 4,2 m breit.

Abb. 4: Grabenöffnung mit der V-förmigen Spezialschaufel

Die verschweißten Rohrsegmente wurden schließlich in Abschnitten von Rohrleger-Raupenfahrzeugen in den Graben versenkt (Abb. 5). Ein Rohrleger-Raupenfahrzeug bringt ein Eigengewicht zwischen 70-100 t auf die Waage und die größten Geräte können bis zu 104 t heben. Ein verschweißter Rohrabschnitt wurde von mehreren Seitenbäumen mit Schlaufen angehoben, Stück für Stück in Richtung Graben geschwenkt und abgelegt.

Abb. 5 Rohrverlegung mittels Seitenbaum-Kolonne

Für die Schweißverbindungen der Rohrsegmente waren sowohl Spezial-Schweißer für die Handschweißung im Graben sowie Schweißroboter für das „übertägige“ Verschweißen der Segmente an der Strecke im Einsatz. Für die schweißtechnische Verbindung der Rohre im Vorbau wurde ein Metall-Aktiv-Gas Orbitalsystem (MAG-Schweißsystem) eingesetzt. Der Rohrverbund wurde wie alle Schweißnähte vor dem Verlegen mit Röntgen- und Ultraschalltechnik auf Dichtheit geprüft. Als das Rohr „versenkt“ und komplett verschweißt bzw. isoliert war, wurde der Graben aus sichertheitstechnischen Gründen schnellstmöglich geschlossen. Nach Abschluss der Bauphase wurde die gesamte Leitung einer speziellen Druckprüfung mit Wasser unterzogen. Bei diesem so genannten Stresstest wird die Leitung bis zur tatsächlichen Streckgrenze des Werkstoffes bei max. 188 bar belastet. Das für die geologische Aufnahme der einzelnen Trassenabschnitte relevante Zeitfenster begann mit dem Zeitpunkt der Grabenöffnung und endete zumeist schon kurz nach der Rohrverlegung bzw. final mit der Grabenschließung. Da zwischen Grabenöffnung und -schließung meistens nur wenige Tage lagen, war bei den geologischen Kartierarbeiten große Eile geboten. Trotzdem wurde eine fast lückenlose Übersichtsdokumentation des Grabenaufschlusses realisiert. Durch lokal schlechte Aufschlussbedingungen und bautechnischen Zeitdruck konnten jedoch oftmals keine weiterführenden Detailuntersuchungen durchgeführt werden (Abb. 6).

Abb. 6: Geologische Kartierung im Leitungsgraben bei der Beprobung einer fossilen Bodenbildung aus dem Spätglazial (Allerød), die hier nahe der Ortschaft Müggenburg von Flugsanden überlagert ist.

Geologische Landesaufnahme am OPAL-Graben

Der gegenwärtige geologische Kenntnisstand beruht größtenteils auf Kartierungen der Preussischen Landesaufnahme zwischen 1888 und 1920) und aus den Übersichtskartierungen für die geologische Übersichtskarte 1:100.000 in den 1950er und 1960er Jahren (vgl. SCHULZ 1971). Mit einer durchschnittlichen Dichte von sieben Peilstangenbohrungen (Sondierungen bis 2 m) pro km^2 wurden dabei viele Meßtischblätter im Maßstab 1:25 000 neu aufgenommen und ältere geologische Spezialkarten aktualisiert. Die geologischen Manuskriptkarten 1: 25 000 und die zugehörigen Blatterläuterungen stellen in Verbindung mit den daraus entwickelten Geologischen Übersichtskarten im Maßstab 1:100 000 bis heute die grundlegenden geologische Kartenwerke in Mecklenburg-Vorpommern dar.

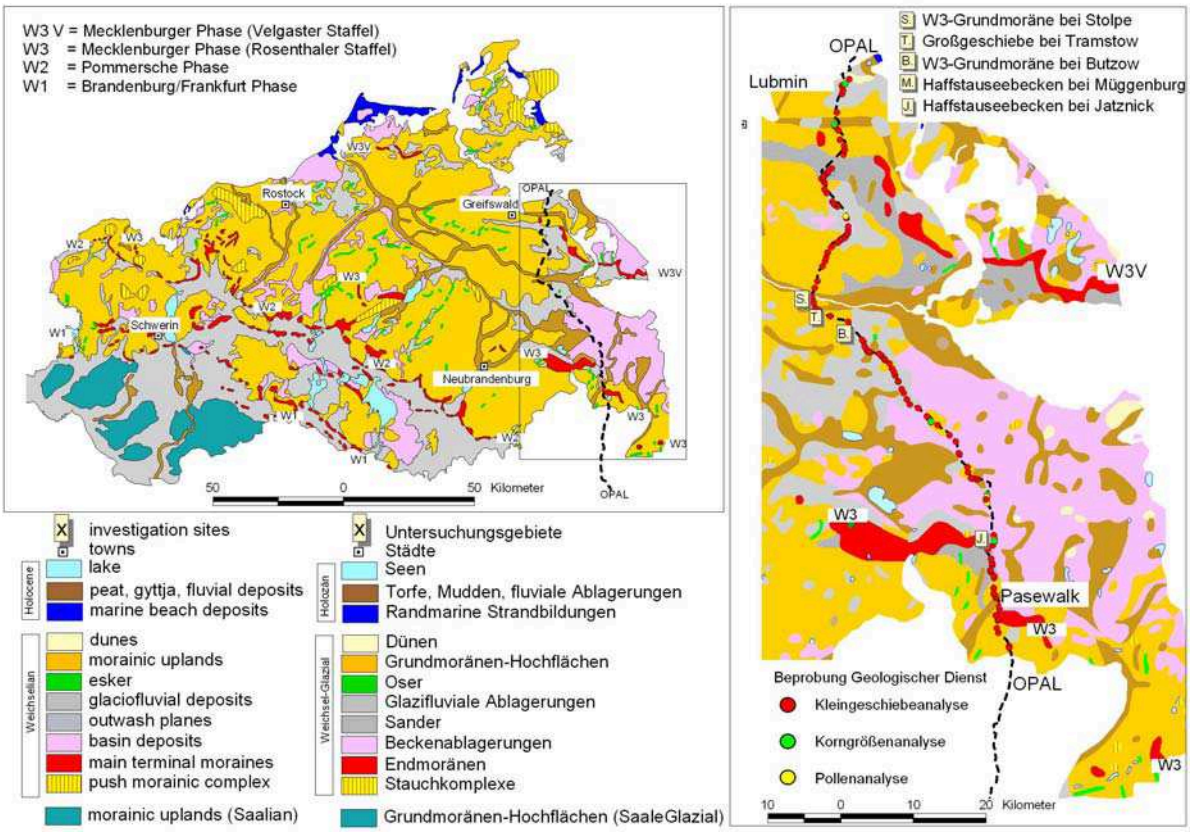


Abb. 7: Geologische Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit Probenpunkten des Geologischen Dienstes

Das wichtigste gliedernde Element der Oberflächenmorphologie in Mecklenburg-Vorpommern ist die in Loben gegliederte Pommersche Haupteisrandlage (W2), die aber in Nordbrandenburg durch die OPAL-Trasse gequert wird. Die zugehörige Grundmoräne ist im Rückland dieser Eisrandlage bis auf Rinnen- und Beckenareale flächenhaft und auch in grö-

ßeren Mächtigkeiten verbreitet (vgl. RÜHBERG et al 1995). Durch den Trassengraben war die W2-Grundmoräne direkt unterhalb des Bodenhorizontes nur in einem kurzen Abschnitt von 6 km Länge südlich von Pasewalk aufgeschlossen (s. Abb. 7). Im nördlichen Anschluss liegen darüber noch jüngere Ablagerungen der Mecklenburg-Phase (W3) als geringmächtige Decke (vgl. RÜHBERG 1987). Auffälligste Endmoräne dieser Region ist die Rosenthaler Randlage (W3 in Abb. 7) mit modellhaften Stauchwällen und einzelnen Sanderschüttungen. Nördlich der Rosenthaler Randlage wird die oberflächennahe Grundmoräne durch einen zumeist geringmächtigen und sandig ausgeprägten Till mit charakteristischer lithologischer Zusammensetzung geprägt (vgl. RÜHBERG & KRIENKE 1977), welcher einer eigenständigen Mecklenburg-Phase (W3) zugeordnet wurde (RÜHBERG 1987). Das finale Abtauen des weichselglazialen Eiskörpers begann etwa vor 15 000 BP. Während des weiteren Abschmelzprozesses entwickelte sich im heutigen Gebiet der Uckermünder Heide und angrenzenden Bereichen ein Sammelbecken für Schmelzwasserströme, das von KEILHACK (1899) den Namen „Haffstausee" erhielt. Dieser spätglaziale Stausee erreichte während seiner größten Ausdehnung eine Fläche von rund 1 200 km^2. Noch im Spätglazial waren Randow- und Uecker als Zuflüsse in Form kleiner Urstromtäler zum „Haffstausee" in Funktion (vgl. KLOSTERMANN 1968). Der Abfluss aus dem spätglazialen Stausee nach Westen erfolgte teilweise noch über Toteis in unterschiedlichen Niveaus über das Grenztal und das Peenetal (vgl. JANKE 1978).

Durch den OPAL-Graben war die W2-Grundmoräne nur in einem kurzen Abschnitt von 6 km Länge südlich von Pasewalk bis zum Ueckertal aufgeschlossen. Nördlich der Ueckerquerung dominierten Ablagerungen der Mecklenburg-Phase (W3) und jüngere Bildungen aus dem Weichsel-Spätglazial bzw. Holzän den Aufschluss. Die Grundmoränenflächen nördlich von Pasewalk bestehen zum größten Teil aus sehr sandig ausgeprägten Tills des W3-Eisvorstoßes. Der lokale Aufbau dieser Grundmoräne zeichnet sich zumeist nicht durch außergewöhnliche lithologische oder strukturgeologische Inhalte aus. Die an der Oberfläche anstehende Grundmoräne besteht im Gebiet zwischen Butzow und Stolpe (s. Abb. 7) aus einem Setztill der Mecklenburg-Phase (W3). Dieser obere Tillhorizont ist bis in ca. 2 m Tiefe durch ein auffällig enges orthogonales Kluftsystem strukturiert, wobei vor allem die ungewöhnlich engen Horizontalklüftungen auffallen. Darunter folgt im Übergang zu einem unteren Till eine Deformationszone, deren tektonisches Inventar aus Scherfugen und Störungen eine glazitektonische Überprägung unter dem Eis aus Richtung NE bis ENE belegen (Abb. 8).

Abb. 8: Deformationszone mit glazifluvialen Sanden und einer Schuppe aus glazitektonisch beanspruchtem bzw. umgelagerten Unterem Till direkt unterhalb des Oberen Tills (W3)

Die Summe der lokal ermittelten Strukturmessungen an den oberflächennahen, jüngsten pleistozänen Ablagerungen im Raum Stolpe sprechen für eine Eisvorstoßrichtung aus NE bis ENE und entsprechen somit der von SCHNEYER (1964) postulierten Vorstoßrichtung der jüngsten weichselglazialen Mecklenburg-Phase (W3). Diese, auf strukturellen Untersuchungen der geologischen Kartierung basierende Einstufung wurde generell durch modifizierte lithostratigraphische Einstufung der oberen Tills durch Analyse des Kleingeschiebeinventars 4-10 mm (TGL 25232, 1971, 1980) bestätigt (BÖRNER & MÜLLER 2008). Zur weiteren lithostratigraphischen Einstufung der weichselglazialen Tills wurden im OPAL-Graben im Umkreis von einem Kilometer sechs weitere Kleingeschiebeproben aus dem oberen Till und dem deformierten unteren Till zwischen 2-5 m entnommen. Die bisher untersuchten Proben aus dem oberen Tillkomplex zeigen deutliche, pedogenetisch verursachte Verwitterungsspuren an Paläozoischen Kalksteinen (PK) und Mesozoischen Kreidekalken (MK). Im Raum Stolpe-Butzow wurden Kleingeschiebespektren mit schwankenden Anteilen an Paläozoischen Schiefern (4-10 %) und wechselnd hohen Anteilen an Sandsteinen (S >10%) ermittelt. Die lokal erhöhten Anteile Mesozoischer Kreidekalke (MK~6-8 %) und Feuersteine (F~5 %) sind typisch für die in NO-Deutschland regional auftretenden ‘Kreidemoränen’ und haben für die hier untersuchten Proben vermutlich keine lithostratigraphische Relevanz.

Im Haffstauseegebiet konnten für den Abschnitt Jatznick bis Heinrichsruh mehrere lithostratigraphische Folgen unterschieden werden. Über den hier zu erwartenden glazifluvialen Sedimenten wurden vor allem glazilakustrine Beckensedimente, zumeist in

Form von feinkörnigen Beckensanden und Schluffen kartiert. Zu Überraschung der kartierenden Kollegen wurden diese spätglazialen Schmelzwassersedimente großflächig durch verschiedene Bodenformen überlagert, die von Torfen über anmoorige Gleyböden bis zu anhydromorphen Braunerden („Finowboden“ sensu SCHLAAK 1993) reichten. Diese fossilen Böden konnten dezidiert nachgewiesen werden, da diese Bildungen durch äolische Prozesse überlagert und so von der nachfolgenden holozänen Bodenbildung nicht mehr überprägt wurden (Abb. 6). Über einem 2-10 cm mächtigen, allerødzeitlich eingestuften Torfband (STRAHL 2011) wurde in lakustrin geprägten tieferen Beckenbereichen lokal eine geringmächtige Kalk-Silikatmudde abgelagert, deren Ablagerung nach pollenanalytischem Befund (STRAHL 2011a) in den Übergang des Jüngeren Allerød/Jüngere Dryas datiert werden konnte. In der Jüngeren Dryas folgte mit der Klimaabkühlung eine periglaziale, primär durch äolische Prozesse gekennzeichnete Periode. Sowohl die Basistorfe wie auch überlagernde Mudden und Flugsande unterlagen im Bereich der aktiven Frost-Tau-Zone während der Jüngeren Dryas periglazialen Deformationsprozessen. In Beckenbereichen mit hoher Wassersättigung kam es zu größeren gravitativ verursachten Einsinkprozessen (Injektionen) der hangenden Torfe und Mudden in die liegenden Sande, die zu Tropfenbildung (engl.: „drop soil“) und isolierten Kissen (engl.: „ball and pillow“) führten (Abb. 9).

Abb. 9: Periglazialer Tropfenboden mit lokaler Ausbildung von isolierten „Tropfenkissen“ mit allerødzeitlichem Basistorf und Kalk-Silikatmudde bei Sandförde.

Zur lithostratigraphischen Einstufung der oberen Tillhorizonte wurden vom Geologischen Dienst im gesamten OPAL-Graben insgesamt 140 Kleingeschiebeproben zwischen 2-8 m entnommen, deren petrographische Untersuchungen des Kleingeschiebeinventars 4-10 mm nach TGL 25232 (1971, 1980) aber zum größten Teil noch ausstehen.

Zusammenfassung

Im östlichen Mecklenburg-Vorpommern bot der 105 km lange Trassenverlauf der OPAL während der Grabungstätigkeit die einzigartige Möglichkeit, die kartierten geologischen Einheiten im generell N–S verlaufenden, 3-5 m tiefen Grabenaufschluß zu überprüfen und den Inhalt der vorhandenen geologischen Karten anhand der neuen Geländebefunde zu modifizieren. Durch die geologische Kartierung der OPAL-Trasse war es möglich, den Kenntnisstand über die oberflächenahen geologischen Verhältnisse, insbesondere zur lithologischen Abfolge der jüngsten pleistozänen Sedimente sowie glazitektonischer Deformationsstrukturen erheblich zu verbessern. Neben der Erfassung der Verbreitung von Sedimentschichten konnten sedimentologische und bodenkundliche Prozesse der nacheiszeitlichen Landschaftsentwicklung untersucht werden. Durch die Untersuchung von Detailprofilen konnten wichtige Ergebnisse zum Verlauf und zur Altersstellung landschaftsprägender Prozesse ermittelt werden. Exemplarisch werden hier erste Ergebnisse der Kartierung der Grundmoräne südlich der Peene sowie der spätglazial/holozänen Entwicklung des Haffstauseegebietes zwischen Jatznick und Müggenburg/Torgelow vorgestellt.

Abstract:

The OPAL pipeline is one of Germany's most important energy infrastructure projects of recent years. The 3,5-5,0 m deep exposures of the pipeline graben allowed geologists to have a good look into the uppermost Quaternary sections. The pipeline connecting the Nord Stream natural gas pipeline from Russia crossing the Baltic Sea with the European natural gas pipeline system and run from Mecklenburg-Western Pomerania (105 km), Brandenburg and Saxony, all the way to the Czech Republic. The high groundwater level often represents strong hydrogeological constraints for an open digging project like this OPAL-pipeline-project. The local dewatering up to 5 m below ground surface performed by several technologies like well point or horizontal drainage systems. By the geological mapping of the OPAL-route it was possible to improve the knowledge of the near-surface geological conditions, particularly lithology and structure of upper Weichselian deposits. The Geological Survey Mecklenburg-Western Pomerania used this outcrop for check-up of lithological and genetical contents of geological maps in scale 1:25,000 and realized a detailed sampling of tills for lithostratigraphical classification. The glaciotectonically structures, shear planes and folds belongs to the subglacial shear zone of youngest ice advance (Mecklenburgiasn stage, W3) and shows locally deformation directions from NE-SW and ENE-WSW.

Danksagung

Die WINGAS GmbH & Co. KG unterstützte die geowissenschaftlichen Arbeiten in Begleitung des Trassenprojektes nicht nur durch die Erlaubnis der regelmäßigen Aufschlussbefahrung, sondern förderte das Kartierungsprojekt zusätzlich mit einem Projektmittelfond, wofür dem Unternehmen gedankt wird. Der Geologische Dienst möchte auch der Harress-Pickel-Consult AG (Sitz: Kassel, Bitterfeld) und der Nickel GmbH (Sitz: Bad Honnef) für die gute Kooperation während der ingenieurgeologischen Untersuchungen in der Planungsphase danken.

Literatur

BÖRNER, A. & U. MÜLLER (2008): Bericht zur lithostratigraphischen Einstufung von Grundmoränen aus ingenieurgeologischen Bohrungen in der Peeneniederung bei Stolpe. – Bericht LUNG M-V, 60 S., Güstrow (unveröff.)

BREMER, F. (2000): Geologische Übersichtskarte von Mecklenburg-Vorpommern, 2. Auflage. - LUNG M-V (Hrsg.), Güstrow

FABER, P.; KUBATZ, H.; MUNK, C. (2007): OPAL - Ferngasleitung - Geotechnische Untersuchungen Bauabschnitt Mecklenburg - Vorpommern - hier Querung der Peene bei Stolpe - Geologische / hydrogeologische Erkundung Baugrundbeurteilung / Gründungsberatung / Machbarkeitsstudie. - Harress Pickel Consult, Kassel

JANKE, W. (1978): Schema der spät- und postglazialen Entwicklung der Talungen der spätglazialen Haffstauseeabflüsse. - Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Greifswald, 27 (1/2), S. 39-43, Greifswald

KEILHACK, K. (1899): Die Stillstandslagen des letzten Inlandeises und die hydrographische Entwicklung des Pommerschen Küstengebietes. – Jahrbuch der Preußischen Geologischen Landesanstalt 19, S. 90 – 152, Berlin

KLOSTERMANN, H. (1968): Die Bedeutung der Terrassen im Randowtal (im Abschnitt Schwedt/O.-Löcknitz) für die Rekonstruktion spätglazialer Abflußverhältnisse des „Notec-Oder-Urstromtales“. - Geographische Berichte 49, S. 292-309

LNatG M-V - Landesnaturschutzgesetz im Lande Mecklenburg-Vorpommern (1998): Gesetz zum Schutz der Natur und der Landschaft, § 20 Gesetzlich geschützte Biotope und Geotope. - GVOBl. M-V, S. 647, zuletzt geändert 23.2. 2010, GVOBl. M-V S. 66, Schwerin

RÜHBERG, N. (1987): Die Grundmoräne des jüngsten Weichselvorstoßes im Gebiet der DDR. - Z. geol. Wiss. 15, 6, S. 759-767, Berlin

RÜHBERG, N. & H.-D. KRIENKE (1977): Zur Geschiebeführung der Weichselgrundmoräne im westlichen Odermündungsgebiet. - Z. geol. Wiss. 5, 6, S. 805-813, Berlin

SCHNEYER, B. (1964): Aufnahmebericht zur Geologischen Übersichtskartierung 1:100 000: Blätter 2248-Ducherow, 2247-Spantekow, 2147-Medow. - Geologische Karte 1:25 000 für die Karte der an der Oberfläche anstehenden Bildungen im Maßstab 1:100 000, VEB Geologische Erkundung Nord, 48 S., 4 Anl., Schwerin (unveröff.)

SCHULZ, W. (1971): Die quartärgeologische Kartierung in den Bezirken Rostock, Schwerin und Neubrandenburg bis zum Jahre 1967. - Petermanns Geograph. Mitt., 115, 4, S. 307 - 315, 1 Fig., 1 Kt., Gotha

SCHULZ, W. (2003): Geologischer Führer für den norddeutschen Geschiebesammler. – 508 S., CW-Verlagsgruppe, Schwerin

STRAHL, J. (2011): Kurzbericht zur pollenanalytischen Untersuchung von drei Proben aus dem Aufschluss OPAL 03-07 Heinrichsruh, OPAL-Trasse, Land Mecklenburg-Vorpommern - Bericht LBGR, 2 S., Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2011a): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von 20 Proben aus den Aufschlüssen OPAL 03-18 und 03-19 Sandförde (Haffstauseebecken SE von Jatznick), OPAL-Trasse, Land Mecklenburg-Vorpommern - Bericht LBGR, 10 S., Kleinmachnow (unveröff.)

TGL 25232/ 01-05 (1971): Fachbereichsstandard Geologie: Analyse des Geschiebebestandes quartärer Grundmoränen. - Zentrales Geologisches Institut, Berlin

TGL 25232/01-05 (1980): Fachbereichsstandard Geologie: Analyse des Geschiebebestandes quartärer Grundmoränen. - Zentrales Geologisches Institut, Berlin

WINGAS GmbH & Co KG (2010): http://www.wingas.de, Zugriff: 15.09.2010

Dr. Andreas Börner
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und
Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG)
Abteilung 4 Geologie und Umweltinformationen
Dezernat 440 Rohstoff- und Wirtschaftsgeologie

Goldberger Str. 12
D-18273 Güstrow

E-Mail: andreas.boerner@lung.mv-regierung.de

Dr. Norbert Schlaak
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)

Dr. Olaf Juschus
Technische Universität Berlin (TU)

Ergebnisse geologischer Aufnahmen entlang der Ostsee-Pipeline-Anbindungsleitung OPAL in Brandenburg (2010/2011)

Nördliche Landesgrenze bis Oderberg

Das betrachtete Gebiet liegt nördlich der Pommerschen Eisrandlage im jüngeren Jungmoränenland. Aufgrund des Verlaufes der OPAL-Trasse durch ausgedehnte Grundmoränenflächen, überwiegen zwischen der Landesgrenze im Norden und dem Gebiet im Rückland der Pommerschen Eisrandlage bei Oderberg im Süden Profile, in denen Geschiebemergel, teilweise auch im Kontakt mit Vorschüttsedimenten, angetroffen wurde (Abb. 1).

Abb. 1: Abschiebung im Geschiebemergel und glazilimnischen Vorschüttbildungen westlich von Schönermark (33U 0436108/5884223), Foto: N. Schlaak.

Der Geschiebemergel ist über weite Strecken massig ausgebildet, lokal sind Schollen glazifluviatiler Sedimente eingearbeitet. Bei einer durchschnittlichen Grabentiefe von 3,5 m wurde sein Liegendes auf weiten Strecken nicht erreicht. Glazilimnische Sedimente, meist als Warvite ausgeprägt, fanden sich in kleineren Becken (< 100 m) im gesamten Trassenverlauf und gliedern die oftmals eintönigen Grundmoränenbildungen. Westlich von Crussow wurde ein größeres Becken mit 3 m mächtigen Eisstauseeablagerungen (Bänderschluffe/-tone) aus der Rückschmelzphase des Pommerschen Stadiums angetroffen (Abb. 2).

Abb. 2: Beckenschluffe/-tone als Nachschüttbildung des Pommerschen Stadiums über Geschiebemergel westlich von Crussow (33U 0437711/5873154), Foto: N. Schlaak**.**

Zu den auffälligsten Bildungen im Grabenanschnitt zählten die Sölle, die mit ihren organogenen, spätglazial/holozänen Beckenfüllungen deutlich hervortraten. Oft vollständig verlandet und überackert, wurden die kleinen, initial durch Toteisaustau angelegten Hohlformen im gesamten Gebiet angetroffen.

Bei der zwei Kilometer langen Querung des Welsetals waren im Liegenden des 3 m Profils grobe glazifluviatile Sedimente aufgeschlossen, die von feinsandig-schluffigen Absätzen überlagert werden. Im Hangenden befinden sich intensiv deformierte Schluffe, Mudden und Torfe, die mit Feinsanden intensiv verwürgt, periglaziale Tropfenböden bilden (Abb. 3).

Abb. 3: Periglazial verwürgte Feinsand-Schluff-Folge über glazifluviatiler, sandig-kiesiger Basis im Welsetal. Im Hangenden: Abfolge geringmächtiger Torfhorizonte unterschiedlich starker Zersetzung (33 U 0435622/5885816), Foto: N. Schlaak.

Mehrere Eiskeilpseudomorphosen wurden nachgewiesen. Zusammenhängende Torfsequenzen mit zwischengeschalteten Muddestraten belegen die Verlandung einzelner, bis 1,5 m tiefer und im NW-SE- Profil maximal 30 m messender Becken sowie die Vertorfung kleinerer Rinnenstrukturen. Etwa einen Kilometer südlich von Pinnow traf der Grabenbagger auf das größte Geschiebe, welches im brandenburgischen Abschnitt der OPAL-Trasse freigelegt wurde. Mit einer Größe von 1,8x2,4x2,1 m bringt der mittel- bis grobkörnige Granit etwa 24 t auf die Waage (Abb. 4).

Abb. 4: Größter Findling, der im brandenburgischen Abschnitt der OPAL-Trasse geborgen wurde. Südlich von Pinnow (33 U 0438633/ 5877229), Foto: N. Schlaak.

Oderberg bis zum Barnimrand bei Wriezen

Der Grabenaufschluss quert ab Oderberg das ca. 2 km breite und nur bei 2-3 m über NN liegende Niederoderbruch östlich von Oderberg und führt anschließend im „Taillenbereich“ der Neuenhagener Oderinsel für ca. 3,5 km durch das unmittelbare Rückland der Pommerschen Eisrandlage. Zwischen Alt- und Neuglietzen steigt die Trasse erneut in das Oderbruch hinab und führt ab hier für ca. 11 km durch holozäne Auensedimente. Mit dem Barnimrand bei Altgaul nordwestlich von Wriezen, erreicht die Trasse das pleistozän geprägte Gebiet außerhalb des Pommerschen Vorstoßes (W2) der Weichselvereisung. Die im Oderbruch angeschnittenen Schichtenfolgen widerspiegeln größtenteils die jüngere Flussgeschichte der Oder, wie bearbeitete Hölzer bei Oderberg in Auensanden zwei Meter unter Flur vermuten lassen. Neben aushaltenden homogenen Profilabschnitten, bestehend aus einer ca. einen Meter mächtigen Auenlehmdecke über Auensand, wurden auch kleinräumig wechselnde Schichtfolgen aus Sanden, Auenlehmen und Schluffmudden angetroffen (Abb. 5).

Abb. 5: Kleinräumig wechselnde Schichtfolge aus Sanden, Auenlehmen und Schluffmudden nördlich von Altranft (33 U 0438587/ 5847482), Foto: N. Schlaak.

Morphologisch kaum auffällige Uferwälle aus Sanden gliedern ebenso wie verlandete Altarme mit Sand-, Schluffmudden und Torfen den Profilaufbau der Aue. Kräftige Eisenausfällungen im Bereich des Oxydationshorizontes waren bis ca. 1 m unter Flur häufig ausgeprägt; sie knüpften sich vor allem an Sandlagen innerhalb der Auelehme (Abb. 6).

Abb. 6: Auensedimente bei Oderberg: Auenlehme mit Sandlagen, Schluff-/Tonmudden und Torf über Auensand (33 U 0437947/ 5857510), Foto: N. Schlaak.

Der bis auf etwa 15 m über NN reichende Profilschnitt durch die Oderinsel erbrachte neben den zu erwartenden Aufschlüssen mit glazfluviatilen und glazilimnischen Sedimenten auch überraschende Ergebnisse. Über weite Abschnitte wurde oberflächennah ein bis zu zwei Meter mächtiger graubrauner Geschiebemergel angetroffen (Abb. 7). Im Nordteil der Insel waren Reste einer Blockpackung aufgeschlossen. Äolische Sedimente, an einigen Stellen durch Paläoböden gegliedert, tragen hier zum Reliefausgleich bei.

Abb. 7: Geschiebemergel zwischen glazifluviatilen Sedimenten nördlich von Altglietzen, Neuenhagener Oderinsel (33 U 0439330/5854675), Foto: N. Schlaak.

Barnim

Die Verteilungsmuster der an der Oberfläche des Barnims anstehenden Bildungen führten im Trassenverlauf zu einer Dreiteilung in einen nördlichen, zentralen und südlichen Abschnitt. Im nördlichen und südlichen Abschnitt steht zum größten Teil Geschiebemergel an der Erdoberfläche an, der nach ersten Geländebefunden (hohe PS-, niedrige Ffr-Gehalte) als weichselkaltzeitlich einzustufen ist (Abb. O_05). Seine Mächtigkeit schwankt um 3 m, teilweise konnte eine Zweiteilung des Geschiebemergels beobachtet werden. Häufig wurde der oftmals komplizierte Kontaktbereich zu den liegenden glazifluviatilen Sedimenten aufgeschlossen (Abb. 8).

Abb. 8: Der „Obere Geschiebemergel“ bei Strausberg-Werder. Die Deformationszone unter-halb des Geschiebemergels ist ca. 20 cm mächtig. Im Liegenden folgen undeformierte Schmelzwassersande (UTM 33 U 0429434, 5818836), Foto: O. Juschus

Die proglaziale Natur der Sande wird durch Eiskeilpseudomorphosen belegt, die sich in den Sanden entwickelt haben (Abb. 9).

Im Unterschied zum nördlichen Barnim wurden im südlichen Abschnitt häufig glazifluviatile Sedimente auch im Hangenden des Geschiebemergels angetroffen. Im Zentralen Teil des Barnims dagegen fehlen sowohl der Geschiebemergel als auch die proglazialen Sande weitgehend, so dass meist älteres Material (häufig Tertiär) an der Erdoberfläche zu finden ist (Abb. 10).

Abb. 9: Eiskeilpseudomorphosen in Sanden im Liegenden des Geschiebemergels, Wriezener Höhe (33 U 0437245/ 5839074), Foto: N. Schlaak.

Abb. 10: Deformierte tertiäre Sedimente unterhalb grober Vorschüttkiese (etwa auf doppelter Spatenlänge) und dem geringmächtigen weichselzeitlichen Geschiebemergel im Hangenden. Zwischen Herzhorn und Sternebeck (UTM 33 U 0433689, 5835288), Foto: O. Juschus

Deren Deformationsstrukturen waren im Aufschluss sehr variabel und reichten von Schrägstellungen bis hin zu komplex aufgebauten Falten. Auch Schollen bzw. Linsen tertiären Materials innerhalb quartärer Ablagerungen wurden beobachtet. Im Vergleich zu den Uckermärkischen Grundmoränenflächen wurden auf dem Barnim glazilimnische Sedimente nur sporadisch und kleinräumig angetroffen. Die Kreuzung der ca. 400 m breiten Rinnenstruktur zwischen Garzau und Garzin zählte zu den interessantesten Bauabschnitten auf dem Barnim. Mehrere Torflagen, die jeweils das Ende der Verlandung anzeigen, gliedern das mindestens 5 m mächtige Sedimentpaket aus Kalkmudden im Rinnenzentrum (Abb. 11).

Abb. 11: Vermoorte Rinnenstruktur (Mühlenfließrinne) mit Kalkmudden und Torfen zwischen Garzau und Garzin und mehreren Verlandungs-/Überstauungsphasen. (33 U 0429303/ 5821343), Foto: N. Schlaak.

Urstromtalungen und Platten

Südlich des Barnims bestimmen für mehr als 50 km die großen Urstromtalungen mit kleinen, inselartig daraus aufragenden Platten das Bild. Die Urstromtalungen bestehen recht einheitlich aus Fein- bis Mittelsanden. Gemessene Schüttungsrichtungen gehen weitgehend mit der Abdachung der Urstromtalungen konform. Einzige Ausnahme ist das nördlichste Berliner Urstromtal, welches mit seinen groben Kiessanden und der südlichen Schüttung einer Fortsetzung der nördlich liegenden Sanderflächen entspricht (Abb. 12).

Neben den Decksanden sind periglaziale Erscheinungen (Eiskeilpseudomorphosen, Tropfenböden, Dünen) sehr weit verbreitet. Mit Ausnahme des Barnimsüdrandes, der kräftige Unterschneidung zeigt, besitzen alle anderen Plattengrenzen einen Akkumulationscharakter; die Hochflächenablagerungen tauchen allmählich unter die Talsande ab.

Auf den Hochflächen dünnt der weichselzeitliche Geschiebemergel nach Süden zunehmend aus und wird lückenhafter. Die liegenden proglazialen Sande sowie älteres, saalezeitliches Material wurden dann aufgeschlossen. Die Brandenburger Eisrandlage besteht aus einem Mosaik stark glazigen deformierter, meist saalezeitlicher Sedimente und überlagernder weichselzeitlicher Feinsande, die als Kamesbildungen gedeutet werden.

Im Spreetal bei Fürstenwalde wurden über weite Strecken Flusssande über glazifluviatilen Talsanden nachgewiesen (Abb. 13).

Abb. 12: Horizontalgeschichtete Sande in der Talsandfläche von Märkisch-Buchholz, westlich von Groß Köris. Im Hangenden: entschichtete Decksande (UTM 33 U 0405317, 5781588), Foto: O. Juschus

Abb. 13: Aufbau des Spreemäanders Grünheide-Hangelsberg: an der Basis grobe, glazifluviatile Sande und Kiese an (dunkelgrau), überlagert von feineren fluviatilen Sanden (hellgrau), etwa am Bagger - Torffüllung des Altarmes (UTM 33 U 0424076, 5806289), Foto: O. Juschus.

Mehrere, mit Torf oder Sand gefüllte Altläufe der Spree geben einen Einblick in die Dynamik des Flusses. Baumstämme (Erlen) und erste Pollenanalysen der Torfe datieren die Ablagerungen in das Holozän. Die Dahme im Baruther Urstromtal überprägte die Landschaft nur gering; dennoch konnte ein vom heutigen Verlauf deutlich abweichender Altlauf des Flusses beobachtet werden.

Altmoränenland

Südlich des Baruther Tales bestimmen im Luckauer Becken und auf dem Lausitzer Grenzwall intensiv glazigen deformierte Ablagerungen das Bild (Abb. 14).

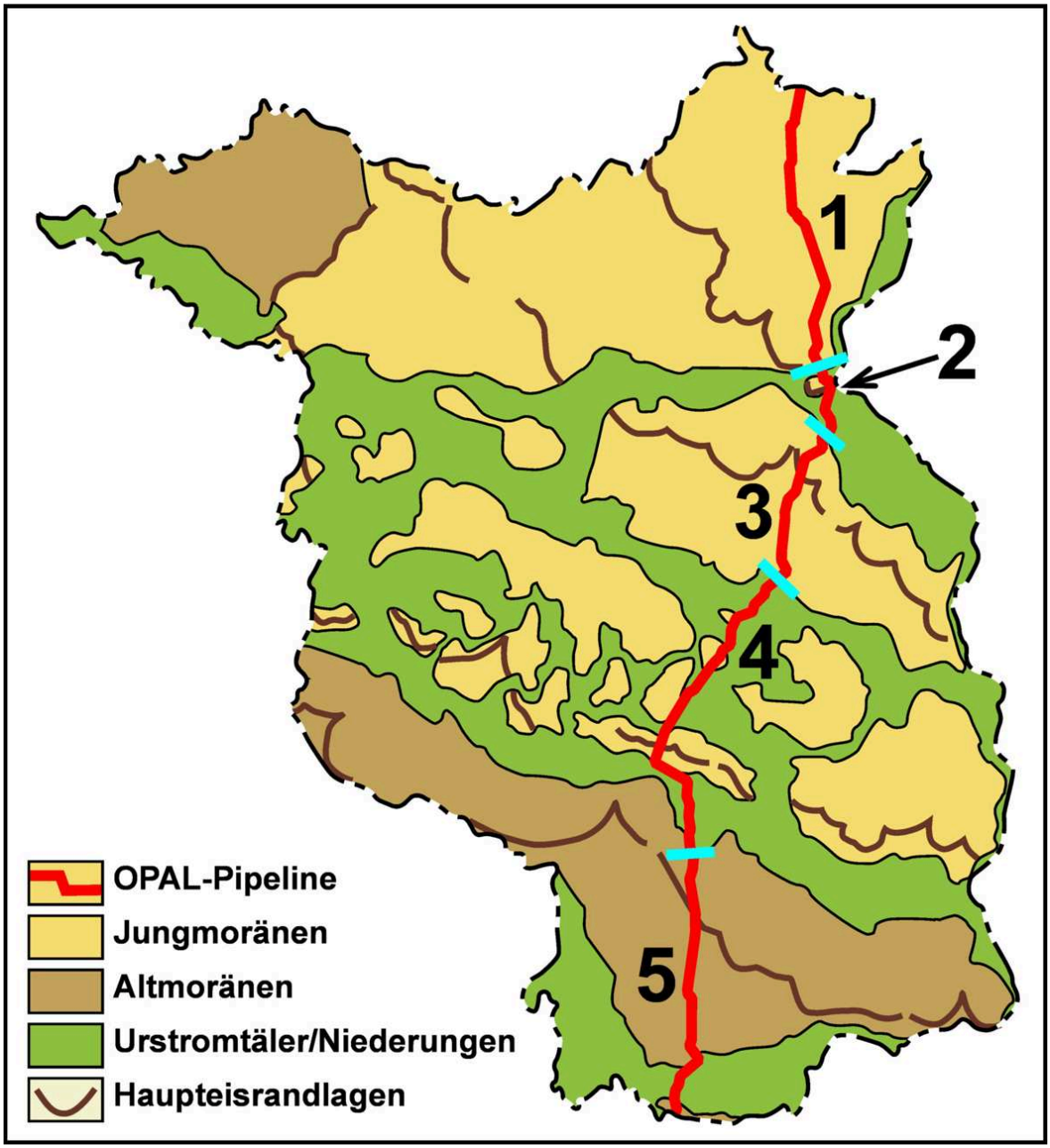
Abb. 14: Intensiv gestauchte glazifluviatile Sande und Till bei Luckau-Zöllmersdorf. (UTM 33 U 0408491, 5745468), Foto: O. Juschus

Der Südteil des Beckens besteht über weite Strecken aus tertiären Sanden und Braunkohle. Trotz der kräftigen Stauchungen ist die zugehörige warthezeitliche Endmoräne, eine 2 m mächtige Blockpackung, eher bescheiden. Im drenthezeitlichen Gebiet stehen in den weiten Beckenräumen Geschiebemergel, -lehme, glazilimnische Sedimente und Schmelzwasserbildungen an. Auf den Schwellen bestimmen vor allem quartäre Sande und großflächig vorkommendes tertiäres Material das Bild. Die glazigenen Störungen sind im südlichen Abschnitt höchstens moderat.

Wesentliche Merkmale des Aufschlusses im Altmoränenland sind die deutliche Verwitterung des Materials sowie intensive Periglazialerscheinungen. In den Niederungen besteht oft der gesamte Grabenaufschluss aus periglazialen Ablagerungen. Diese werden durch mehrere, kryoturbat gestörte Bodenhorizonte gegliedert.

Die intensivste periglaziale Überformung zeigte der Schnitt durch das Lausitzer Urstromtal, der fast vollständig aus periglazial-fluvialen bis periglazial-limnischen Ablagerungen besteht. Weiterhin bestimmen dort Tropfen- und Würgeböden den größten Teil des Profils (Abb. 15). Während glazifluviatiles Material im Urstromtal nicht aufgeschlossen wurde, kamen holozäne Sedimente (z.B. Torf und Altläufe der Schwarzen Elster) nur vereinzelt und geringmächtig vor.

Abb. 15: Tropfenböden in der Oberen Talsandfolge des Lausitzer Urstromtales nördlich von Großthiemig. (UTM 33 U 0404722, 5695679), Foto: O. Juschus.



Teilabschnitte

1 - Nördliche Landesgrenze bis Oderberg

2 - Oderberg bis zum Barnimrand bei Wriezen

3 - Barnim

4 - Urstromtalungen und Platten

5 - Altmoränenland

Karte: Verlauf der OPAL-Trasse durch Brandenburg (beschriebene Teilabschnitte)

Dr. Norbert Schlaak
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus

E-Mail: Norbert.Schlaak@lbgr.brandenburg.de

Dr. Olaf Juschus
Technische Universität Berlin
Institut für Angewandte Geowissenschaften
Ackerstraße 76
13355 Berlin

Dr. Thomas Höding
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)

Oberflächennahe Rohstoffe und Rohstoffsicherung in Brandenburg

Die Gewinnung und Nutzung von Bodenschätzen, insbesondere der oberflächennahen Rohstoffe der Steine und Erden sowie der Braunkohle, sind ein wichtiger Wirtschaftsfaktor im Land Brandenburg. Für die weitere Entwicklung des Landes ist eine kostengünstige und bedarfsgerechte Rohstoffversorgung unabdingbare Voraussetzung.

Im Vortrag wird insbesondere auf den Kenntnisstand zu den Steine- und Erdenrohstoffen eingegangen, auf deren regionale Verfügbarkeit, auf die Bedarfsentwicklung und vor allem auf die Aktivitäten, um geologisch erkannte Lagerstätten möglichst vor konkurrierenden Nutzungen zu schützen und so eine langfristige Rohstoffbasis für das Land Brandenburg zu bewahren. Gerade weil die auf dem Landesterritorium vorkommenden Rohstoffe nicht unbegrenzt verfügbar sind, weil sie unveränderbar standortgebunden und dazu auch regional sehr unterschiedlich verteilt sind, sind sowohl detaillierte substantielle Kenntnisse über diese Rohstoffe als auch über die sich im Laufe der Zeit verändernden Nutzungsanforderungen unabdingbar.

Geomorphologisch gehört das Land Brandenburg mit Ausnahme eines schmalen südlichen Randstreifens zum Norddeutschen Tiefland, das seine oberflächennahe geologische Prägung als Bestandteil des pleistozänen nordeuropäischen Vereisungsgebietes erhalten hat. Die Gletscher hinterließen eine mächtige Lockersedimentdecke, eine Abfolge aus Moränen unterschiedlicher Genese, Sanderschüttungen, fluviatilen Ablagerungen in den Schmelzwassertälern sowie Stillwassersedimenten. Sie enthalten, je nach lithofaziellem Ablagerungsmilieu, eine Reihe wichtiger Baurohstoffe, wie Kiessand, Sand und Ton. Wegen der mehrfachen Vereisungsgeschichte Nordeuropas mit mehrfach vorrückendem Inlandeis, glazitektonischen Deformationen, Materialumverteilungen durch Schmelzwässer, zwischenliegenden Warmzeiten etc. sind teils komplizierte Lagerungsverhältnisse anzutreffen.

Im Süden des Landes gelangten Gesteine des gefalteten Untergrundes, des variszischen Grundgebirges, in Oberflächennähe. Mitunter durchspießen sie dabei die känozoische Decke und bilden als Härtlinge Klippen. Der Rothsteiner Felsen und der Koschenberg (Lausitzer Grauwacke, beide Proterozoikum) sind hierfür Beispiele. Letzterer ist auch einer der wichtigen Hartgesteinstagebaue Brandenburgs.

Kiessande, Sande und Tone sind – das überrascht bei Kenntnis der geologischen Entwicklung Brandenburgs nicht – die quantitativ wichtigsten Steine- und Erdenrohstoffe des Landes. Dazu kommen einzelne Lagerstätten weiterer Rohstoffe, die ihr Vorhandensein speziellen erdgeschichtlichen Entwicklungen verdanken wie z.B. die Kalksteinlagerstätte Rüdersdorf den Bewegungen des Zechsteinsalzes im Untergrund. Geologisch am jüngsten sind Lagerstätten von Torfen und Auelehmen.

In den zahlreichen rohstoffgeologischen Kartierungen, Dokumentationen und Publikationen zum Rohstoffpotenzial Brandenburgs werden die Steine- und Erdenrohstoffe demnach in diesen Gruppen zusammengefasst:

- Kiessande und Sande
- Spezialsande
- Tone
- Torfe
- Karbonatgestein
- Hartgestein.

Exemplarische Beispiele derartiger Lagerstätten zeigen die Abbildungen 1 – 3.

Abb. 1: Lagerstätte Kraatz (Kreis Oberhavel), Gewinnung und Aufbereitung von Kiessanden.

Abb. 2: Tongewinnung für die Ziegelherstellung im Tagebau Reetz (Kreis Potsdam-Mittelmark).

Abb. 3: Torfstich bei Döllingen (Kreis Elbe-Elster). Hier wurde die Torfgewinnung aus Naturschutzgründen eingestellt.

Zur Dokumentation der Kenntnisse über Verbreitungsgebiete von Rohstoffen auf dem Landesgebiet werden im LBGR mehrere Karten bzw. Kartenwerke in verschiedenen Maßstäben erarbeitet und geführt.

Als Grobübersicht über das Rohstoffpotenzial gibt das LBGR die „Karte der oberflächennahen Rohstoffe 1 : 300 000“ (KOR 300) heraus, die vor allem auf die Berücksichtigung von Interessen der Rohstoffsicherung bei der Erarbeitung landesplanerischer Konzepte abzielt und einen groben Überblick über Rohstoffverbreitung, Rohstoffnutzung und landesplanerischen Abwägungsbedarf zulässt. In die KOR 300 fließen neben den für diesen Darstellungsmaßstab stark generalisierten Verbreitungsflächen die Standorte von Rohstoffgewinnungsstellen in Form von Punktsignaturen mit ein (vgl. Abb. 4).

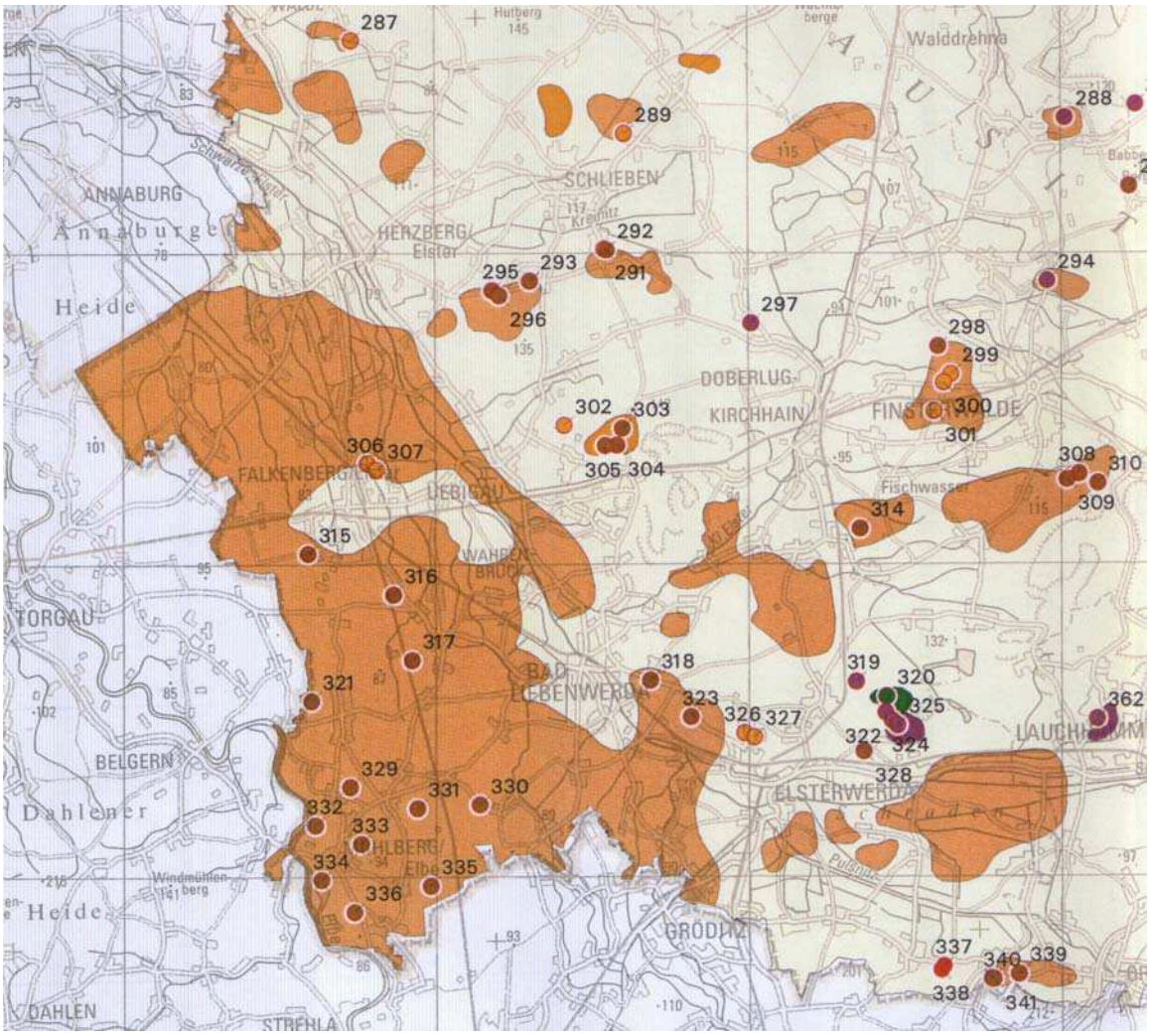


Abb. 4: Ausschnitt aus der KOR 300 des Landes Brandenburg. Der Bildausschnitt zeigt unter anderem die Verbreitung fluviatiler Kiessande im Südwesten des Landes im Kreis Elbe-Elster sowie (dargestellt durch Punktsymbole) die Lage von Rohstoffgewinnungsfeldern mit gültiger Bergbauberechtigung.

Bezüglich der Kenntnis über die oberflächennahen Rohstoffe der Steine und Erden stellt die „Karte der oberflächennahen Rohstoffe des Landes Brandenburg 1 : 50 000“ (KOR 50) das Rückgrat der Rohstoffkartierung dar. Dieses Kartenwerk umfasst insgesamt 85 Karten im Regelblattschnitt, die den Kenntnisstand über die Verbreitung von Steine- und Erdenrohstoffen geschlossen in einem auch für planungsrechtliche Zwecke relevanten Maßstab für das gesamte Landesterritorium darstellen.

Als drittes zu nennendes Kartenwerk entstand, koordiniert durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), das deutschlandweit auf einheitlichen Abgrenzungskriterien und Generallegende aufgebaute Kartenwerk der KOR 200 (Karte der oberflächennahen Rohstoffe der Bundesrepublik Deutschland 1 : 200 000“). Darstellungen und Erläuterungen in dieser Karte zielen bevorzugt auf reine Vorkommens- und Lagerstätteninformation sowie auf die Benennung ökonomisch relevanter Rohstoffeigenschaften (vgl. auch LBGR 2007, MANHENKE & HÖDING 2010)

Die Erfassung des Rohstoffpotenzials in Karten und Datenbanken bildet die fachliche Grundlage, um die Belange einer langfristigen Rohstoffsicherung in die Landes- und Regionalplanung einbringen zu können.

Der Prozess der Rohstoffsicherung dient der Gewährleistung einer kostengünstigen, kontinuierlichen Versorgung der Bedarfsträger mit Rohstoffen aus einheimischen Lagerstätten. Vor allem die öffentliche Hand als weitaus größter Abnehmer von Baurohstoffen wie Kiessand, Sand und Naturstein hat ein besonderes Eigeninteresse an einer verbrauchernahen Versorgung, die erhebliche ökonomische und ökologische Vorteile bietet.

Rohstoffsicherung als eine der Kernaufgaben des LBGR kann als eigenständiger Prozess betrachtet werden, der auf das vorsorgliche Freihalten von Rohstoffhöffigkeitsflächen und Rohstofflagerstätten von Nutzungen, die eine künftige Gewinnung dieser Rohstoffe erschweren oder unmöglich machen, abzielt. Als Mittel dazu werden Rohstoffvorkommen und Lagerstätten mit einer nachvollziehbaren objektivierten Bewertungsmethodik untersucht. Als besonders wertvoll bzw. „bauwürdig“ erkannte Lagerstätten sowie die derzeit in Betrieb befindliche Rohstoffgewinnungsstellen werden in die Abwägungsprozesse der Landes- und Regionalplanung eingebracht mit dem Ziel, als Vorrang- bzw. Vorbehaltsgebiete für die Rohstoffnutzung festgeschrieben zu werden.

Neue Erkundungsergebnisse, Revisionskartierungen, Ergebnisse laborativer Rohstoffuntersuchungen, aber auch die Änderung von gesetzlichen Vorgaben, die teilweise Bevorzugung anderer Schutzzwecke für den Freiraum und auch die Einstellung von Rohstoffgewinnungstätigkeiten wegen Lagerstättenerschöpfung erfordern eine ständige Neubewertung des Roh-

stoffpotenzials und eine kontinuierliche Neuausrichtung der Aktivitäten zur Rohstoffsicherung (WETZEL & HÖDING 2010).

Rohstoffsicherung kann daher als ein ständiger Prozess betrachtet werden. Ziel ist es, wertvolle Rohstoffe auch unabhängig von der jeweiligen Konjunkturlage und damit dem aktuellen Bedarf, langfristig zur Verfügung zu halten. Die Festschreibung der Ergebnisse des Rohstoffsicherungsprozesses ist die Aufgabe der fünf Regionalen Planungsgemeinschaften des Landes. Sie wägen die unterschiedlichen Nutzungsansprüche im und an den Raum gegeneinander ab (Abb. 5). Im Ergebnis werden in Regionalplänen Vorrang- bzw. Vorbehaltsgebiete für bestimmte Nutzungen, so auch für die Rohstoffgewinnung, textlich und in Karten festgelegt.

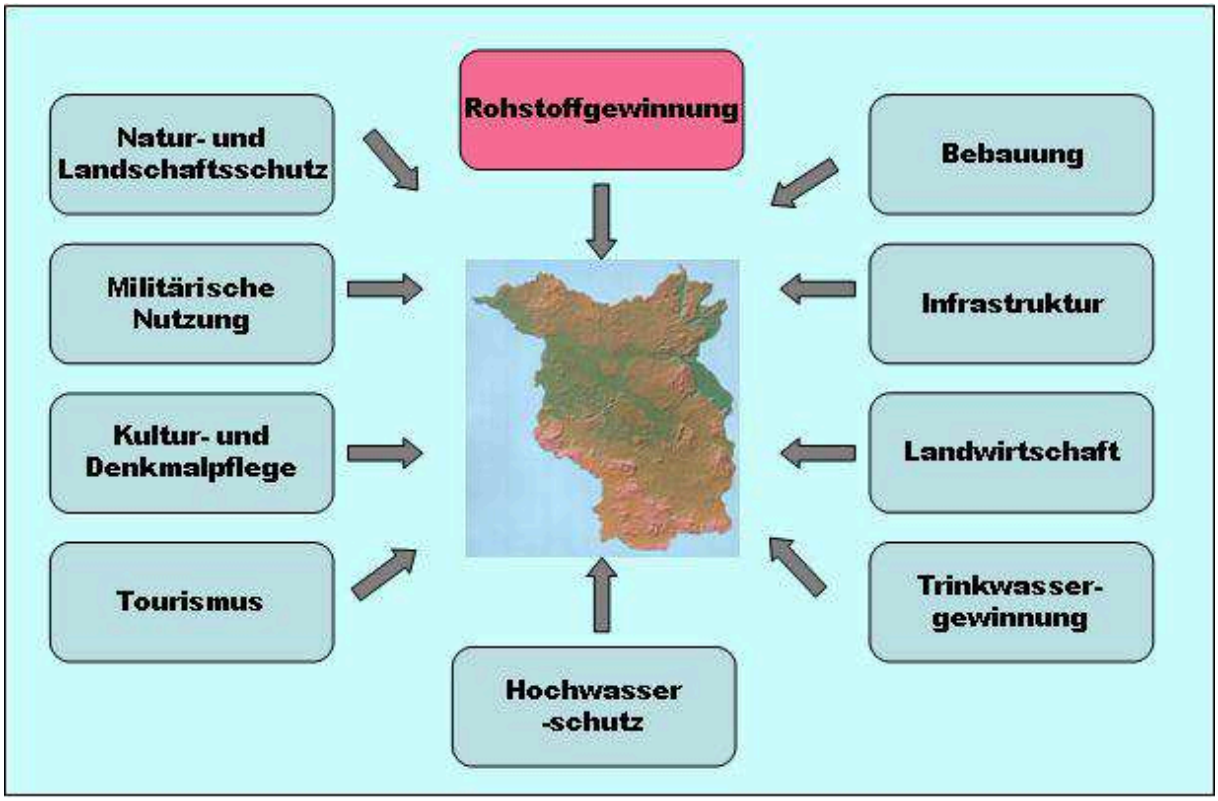


Abb. 5: Die konkurrierenden Nutzungsansprüche an die Landesfläche veranschaulichen den Abwägungsbedarf durch die Landes- und Regionalplanung

Der Bedarf an Steine- und Erdenrohstoffen ist einem ständigen Wandel unterworfen, wie ein Blick auf die letzten ca. 20 Jahre zeigt.

Betrug die Förderung an Steine- und Erdenrohstoffen im Jahre 1992, ausgehend von einer noch niedrigeren Förderung im Vorjahr, lediglich ca. 21,5 Mio t, so wurde sie in den darauf folgenden Jahren bis 1996 stetig gesteigert und erreichte 1996 mit ca. 35,5 Mio t einen vorläufigen Höhepunkt. Im Jahre 1997 ging die Förderung erstmalig wieder zurück. Die Gründe

dafür sind hauptsächlich im Stagnieren der Bauwirtschaft seit 1996 zu sehen. Einen Tiefpunkt erreichte die Förderung im Jahre 2006 mit 17,6 Mio t, seither ist wieder eine leichte Steigerung zu verzeichnen und die Förderzahlen von Steine- und Erdenrohstoffen in Brandenburg pendelten sich in den letzten 4 Jahren auf einem Niveau von gut 20 Mio t ein. Schwerpunkte der Rohstoffgewinnung von Steinen und Erden sind aufgrund der günstigen Lagerstättensituation nach wie vor die Kreise Elbe-Elster, Märkisch-Oderland, Barnim und Oberspreewald-Lausitz.

Obwohl die Verfügbarkeit von Steine- und Erdenrohstoffe, bezogen auf das gesamte Land Brandenburg, als gut gesichert erscheint, gibt es regional und bezogen auf bestimmte Rohstoffgruppen einige Engpässe. Beispiele dafür sind:

Einige Landesgebiete, wie z.B. der Kreis Havelland, sind aufgrund der geologischen Gegebenheiten arm an Steine- und Erdenrohstoffen. In diesen Gebieten kommt der Sicherung auch kleinerer Lagerstätten eine besondere Bedeutung zu. Aufgrund der Transportkostenempfindlichkeit der Steine- und Erdenrohstoffe verbieten sich in den meisten Fällen lange Transportwege für diese Stoffe (WETZEL & HÖDING 2004)

Nach wie vor existieren im Land nicht aufgeschlossene Lagerstätten mit Rohstoffen hoher Qualitäten und einer exzellenten Vorratslage, z.B. Blähton Nennhausen (Kreis Havelland), Komplexlagerstätte Stolper Bogen (Kreis Uckermark), Kiessand Rühstädt (Kreis Prignitz). Das Wissen um diese Lagerstätten zu bewahren und bei der Ersterkundung ermittelte Parameter dieser Rohstoffe immer wieder mit den jeweils aktuellen substantiellen Rohstoffanforderungen zu vergleichen, bleibt eine Daueraufgabe des LBGR. Wie schnell Rohstofflagerstätten buchstäblich „in Vergessenheit“ geraten können, zeigt das Beispiel der Kupferschieferlagerstätte Spremberg-Graustein in Südbrandenburg, die erst mit dem Rohstoffhype im Jahre 2007 eine plötzliche furiose „Auferstehung“ erlebte (KOPP et al. 2008).

Besondere Aufmerksamkeit bei der Rohstoffsicherung kommt den Tonlagerstätten des Landes zu. Zur Unterstützung der Ziegelindustrie wurden durch das LBGR systematische phasenanalytische und keramtechnische Versuche an Tonrohstoffen durchgeführt mit dem Ziel, die Vorratsbasis und die Variationsbreite bei der Herstellung von keramischen Versätzen zu vergrößern (HÖDING 2001). Aus heutiger Sicht wäre es in Fortführung dieser Arbeiten wünschenswert, durch systematische rohstoffgeologische Untersuchungen neue Flaschentonlagerstätten in Südbrandenburg zu finden, die Vorratsbasis grobkeramisch verwendbarer Tone und Nordwestbrandenburg zu erweitern und Grundlagenuntersuchungen von potenziellen Versatzmaterialien im keramischen Prozess wie Auelehmen und Waschschlämmen der Kiesindustrie durchzuführen.

Literatur

HÖDING, T.: Komplexe Untersuchung und Bewertung grobkeramischer Rohstoffe in Brandenburg. – Berichte d. DTTG, Band 8 (2001), S. 82 – 94.

KOPP, J.; HERRMANN, S.; HÖDING, T.; SIMON, A.; ULLRICH, B.: Die Kupfer-Silber-Lagerstätte Spremberg-Graustein (Lausitz, Bundesrepublik Deutschland) – Buntmetallanreicherungen an der Zechsteinbasis zwischen Spremberg und Weißwasser. – Zeitschr. geol. Wiss. 36 (2008) 1-2, 75 – 114.

LBGR (Ed.): Mineralische Rohstoffe und Energierohstoffe im Land Brandenburg. Rohstoffbericht Brandenburg 2007. – Brandenburgische geowiss. Beitr. 14 (2007) 2, 112 S.

MANHENKE, V.; HÖDING, T.: Gegenwärtige Nutzung des Geopotenzials in Brandenburg. – In: LBGR (Ed.): Atlas zur Geologie von Brandenburg 1:1.000.000, 4. Auflage, Cottbus 2010, S. 34-36.

WETZEL, E.; HÖDING, T.: Aspekte der Bedarfsermittlung und Analyse von Stoffströmen der Steine- und Erdenrohstoffe in Brandenburg. - Brandenburgische Geowiss. Beitr. 11 (2004) 1/2 , 73 – 80.

WETZEL, E.; HÖDING, T.: Oberflächennahe mineralische Rohstoffe in Brandenburg – neue Ergebnisse der Rohstoffsicherung am Beispiel der Planungsregion Prignitz-Oberhavel. - Schriftenr. d. Deutschen Gesell. f. Geowiss., H. 68 (2010), S. 601-602.

Dr. Thomas Höding

Landesamt für Bergbau, Geologie

und Rohstoffe Brandenburg

Inselstraße 26

03046 Cottbus

E-Mail: Thomas.Hoeding@lbgr.brandenburg.de

Dr. Karsten Obst
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern

Nutzungspotenziale und Nutzungskonflikte im Ostteil des Norddeutschen Beckens – Herausforderungen für die unterirdische Raumplanung

1. Einführung

Die Nutzungsmöglichkeiten des tieferen Untergrundes im Nordosten Deutschlands sind aufgrund der lithologisch und faziell differenzierten, bis ca. 10 km mächtigen Abfolge des Norddeutschen Beckens vielfältig. Erste „bergbauliche“ Aktivitäten reichen teilweise bis in vorgeschichtliche Zeit. Tiefreichende Störungen haben den Aufstieg salinarer Wässer des Zechstein bis zur Erdoberfläche ermöglicht und die natürlichen Salzquellen führten zur Errichtung von Siedlungen und Marktflecken. Daran erinnern z. B. in Mecklenburg-Vorpommern Ortsnamen wie Sülten bei Brüel, wo eine Urkunde aus dem Jahr 1222 die Salzgewinnung belegt, oder Bad Sülze.

Seit 150 Jahren wird Kali- und Steinsalz in Nordostdeutschland auch im Untertagebergbau gewonnen. In den 1930er Jahren und nach dem Zweiten Weltkrieg wurden Erkundungsbohrungen nach Erdöl und Erdgas in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt abgeteuft, die besonders ab den 1960er Jahren zur intensiven Förderung von Kohlenwasserstoffen führten. Während nach der Wiedervereinigung viele der oftmals relativ kleinen Lagerstätten in den Rotliegend- und Zechsteinablagerungen aus wirtschaftlichen Gründen aufgegeben wurden, haben steigende Öl- und Gaspreise in den vergangenen Jahren eine neue Explorationswelle ausgelöst.

Thermalwasser führende Sandsteinhorizonte (salinare Aquifere) des Mesozoikums sind seit den 1980er Jahren die Grundlage geothermischer Heizzentralen und in jüngster Zeit werden die Solen auch verstärkt balneologisch genutzt. Dieselben Nutzhorizonte des Mittleren Buntsandstein, des Rhät/Lias und des Dogger sind in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus für die Untergrundspeicherung von Erdgas sowie für die dauerhafte Deponierung des schädlichen Klimagases Kohlendioxid gerückt. Dafür scheinen insbesondere die im Ostteil des Norddeutschen Beckens zahlreich vorhandenen Antiklinalstrukturen, z. B. über den Salzkissen des Zechstein, geeignet. Geophysikalische und geologische Erkundungsergebnisse belegen aber nicht nur die Verbreitung von potenziellen Speicher- und

Barrierehorizonten, sondern haben bereits zur Errichtung von Porenspeichern in Berlin, Brandenburg und Sachsen-Anhalt geführt.

Auch die vor allem im Beckenzentrum mächtigen Salzstöcke sind für eine Nutzung als Kavernenspeicher interessant. Neben einer Zwischenspeicherung von Erdgas könnten sie auch als temporäre Speicher für Produktionsspitzen von Ökostrom, u. a. aus Off-shore-Windkraftanlagen in der Ostsee dienen, indem sie mit Druckluft, Wasserstoff oder „erneuerbarem Methan“ (wird aus CO_2 zusammen mit elektrolytisch hergestellten Wasserstoff durch Methanisierung gewonnen) befüllt werden. Diese Salzstöcke sind weiterhin als mögliche Standorte eines atomaren Endlagers in der Diskussion. Daneben besitzen aber auch Tonsteinformationen des Jura ein Potenzial für die untertägige Deponierung radioaktiver Abfälle. Für die Bewertung von Wirtsgesteinen und potenziellen Endlagerstandorten sind neben einer Studie der geologischen Verhältnisse vor Ort auch weitere Risikofaktoren, z. B. neotektonische Krustenbewegungen, Erdbeben u.ä. zu berücksichtigen.

Aus diesen verschiedenen genannten Nutzungen, die sich zum Teil gegenseitig behindern oder sogar ausschließen, können sich zukünftig Konfliktsituationen ergeben, die nicht nur wirtschaftliche, sondern auch politisch motivierte Regelungen erfordern. Der energische Ruf von Geowissenschaftlern und Juristen nach einer unterirdischen Raumplanung hat inzwischen bei den verantwortlichen Politikern Gehör gefunden und erste Szenarien werden bereits in einigen Ministerien und Behörden diskutiert. Da aber geologische Gegebenheiten weder an Landes- noch an Bundesgrenzen enden und bestimmte Nutzungen auch Auswirkungen in größerer Entfernung haben, wie z. B. die Untergrundspeicherung in Aquiferen mit entsprechend weit reichenden Änderungen des hydrodynamischen Systems, ist eine grenzüberschreitende Abstimmung erforderlich.

2. Nutzungspotenziale des tieferen Untergrundes in Nordostdeutschland

Bei den Nutzungspotenzialen des tieferen Untergrundes im Nordosten Deutschlands ist zwischen einer direkten Nutzung im Sinne einer Förderung fester, flüssiger oder gasförmiger Rohstoffe und einer indirekten Nutzung geologischer Ressourcen, z. B. zur Gewinnung der in tieferen Gesteinsschichten vorhandenen geothermischen Energie, der zeitweiligen Speicherung von Rohstoffen und Energieträgern oder der dauerhaften Einlagerung von Abfallstoffen zu unterscheiden, da sie unterschiedliche Auswirkungen auf die im Untergrund befindlichen Gesteine und Formationswässer und damit auch auf nachfolgende Nutzungen haben.

2.1 Förderung von Bodenschätzen

2.1.1 Salzgewinnung aus Solen

Im Ostteil des Norddeutschen Beckens einschließlich der südlich angrenzenden Senkungsareale des Subherzyn und am Unterlauf der Saale reicht die Förderung von tiefen Bodenschätzen in Form der historischen Salzgewinnung mindestens bis ins frühe Mittelalter zurück. Insbesondere die Klostergründungen im 12. Jahrhundert im Nordosten Deutschlands standen häufig im Zusammenhang mit der Errichtung von Salinen, wie urkundliche Quellen belegen. Die Salzherstellung erfolgte dabei durch das Eindampfen der natürlich vorkommenden Solen. Aber auch bereits in vorgeschichtlicher und slawischer Zeit wurden Salzwasserstellen zur Gewinnung des „weißen Goldes“ genutzt. Dies gilt insbesondere für die Salzquellen in und um Halle (Saale) mit entsprechenden archäologischen Funden aus der Jungsteinzeit sowie der Bronze- und Eisenzeit (BACHMANN 2008).

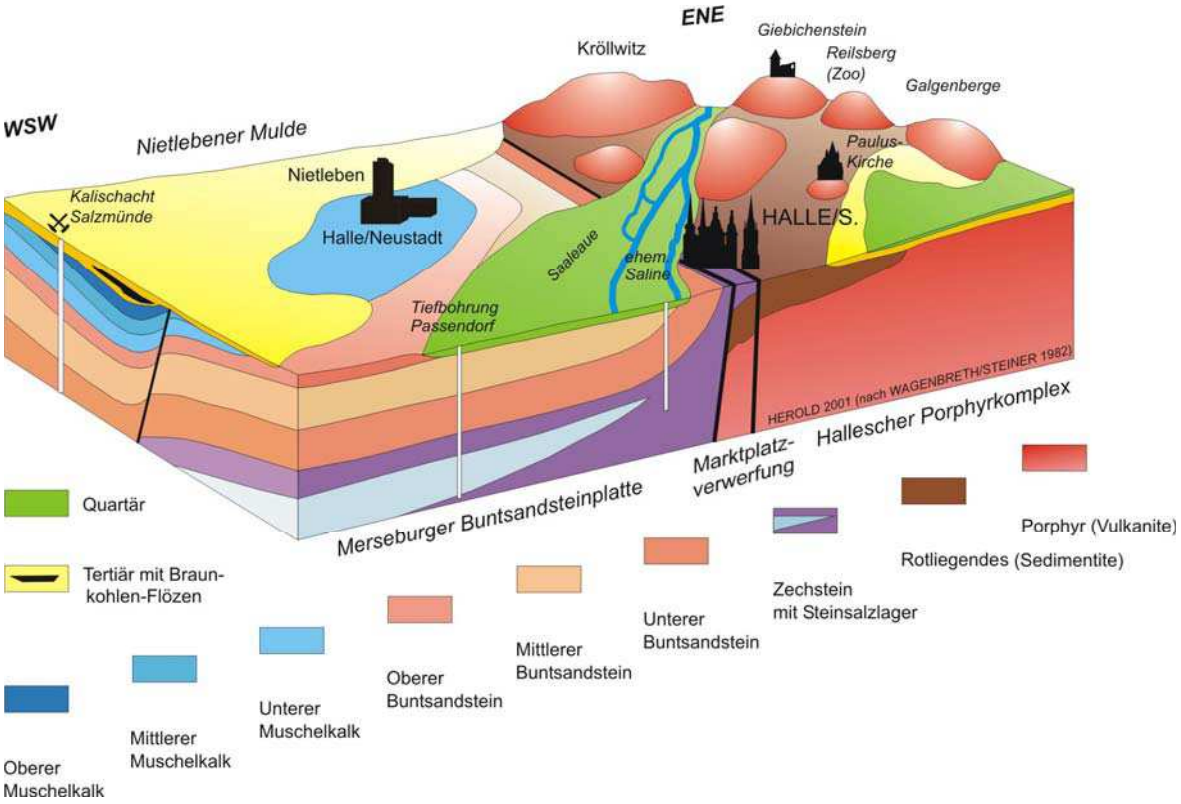


Abb. 1: Geologisches Blockbild der Stadt Halle (Saale) mit der für den Soleaufstieg wichtigen „Marktplatzverwerfung“ (WAGENBRETH & STEINER 1982 / HEROLD 2001).

In Sachsen-Anhalt wurde neben den bekannten Salinen von Halle (vor 961) und Staßfurt (vor 1170) auch Salz an zahlreichen anderen Orten gewonnen, so dass die mittelalterliche Salzproduktion fast 50.000 t pro Jahr erreichte (WIRTH 2008). Als Ursache dieser Häufung

von Solquellen sind die großflächig verbreiteten Zechsteinsalze zu sehen, die insbesondere im Süden des Bundeslandes in geringer Tiefe vorkommen und daher leicht der Subrosion ausgesetzt waren. Oft erfolgte der Soleaufstieg entlang von linearen Strukturen, wie z. B. an der „Halleschen Markplatzverwerfung“ (Halle-Störung; Abb. 1).

Nach DEECKE (1898) und PINZKE (1986) gehören zu den ältesten Salinen in Mecklenburg-Vorpommern die von Golchen (vor 1170), Greifswald (vor 1206), Sülten bei Brüel (vor 1222), Bad Sülze (vor 1243) und Conow (vor 1307). Zwar gab es vermutlich auch in Brandenburg in dieser Zeit primitive Formen der Salzgewinnung, jedoch datiert die erste urkundliche Erwähnung einer Saline aus dem Jahre 1476. Das älteste Salzwerk lag demnach bei Tremsdorf, nordöstlich von Beelitz (JEUTE 2009).

Zur Steigerung der Kochsalzproduktion wurden meistens Brunnen und später auch Schächte (z. B. 1763 in Bad Dürrenberg) und Solebohrungen (z. B. 1855 in Schönebeck) abgeteuft. Viele der kleineren Salinen stellten jedoch bereits im Mittelalter ihren Betrieb wieder ein. Ende des 19. Jahrhunderts bzw. Anfang des 20. Jahrhunderts waren die meisten verbliebenen Salinen Nordostdeutschlands wirtschaftlich nicht mehr rentabel und 1964 wurde auch das industrielle Salzsieden in der Saline von Halle (Saale) eingestellt. Danach wurde die aus natürlichen Quellen geförderte Sole häufig nur noch zu Heilzwecken in Bädern genutzt.

2.1.2 Stein- und Kalisalzbergbau

Die bergbaulichen Aktivitäten zur untertägigen Aufsuchung und Gewinnung von Stein- und Kalisalzen begannen in Nordostdeutschland erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. 1852-1856 wurden in Staßfurt zwei Schächte zur Steinsalzgewinnung abgeteuft. Aufgrund der zufälligen Entdeckung des Kalisalzlagers Staßfurt erfolgte ab 1861 weltweit die erste Förderung von Kalisalz zur Düngemittelherstellung (WIRTH 2008). 34 Schachtanlagen wurden bis zum ersten Weltkrieg errichtet. Die Förderung von festem Steinsalz dauerte bis in die 1970er Jahre. Seit 1967 wird Steinsalz im Solverfahren mittels Bohrungen gewonnen.

In anderen Kali- und Salzbergbaurevieren Sachsen-Anhalts (Aschersleben ab 1878, Bernburg ab 1884, Wettin bei Halle ab 1903/1904, Allertal ab 1906) begann die Errichtung von Schachtanlagen erst nach der Lockerung des Preußischen Bergrechts 1865, wodurch sich zunehmend auch private Investoren im Bergbau engagierten. In den 1960er und 1970er Jahren wurden Kalisalze der Staßfurt-Serie besonders in Teutschenthal westlich von Halle abgebaut und 1974 begann die Förderung von Kalisalzen der Leine-Serie in Zielitz, nördlich von Magdeburg (WIRTH 2008).

Der Abbau von Kali- und Steinsalz erfolgte in Sachsen-Anhalt häufig in Bereichen von Salzsatteln (Aschersleben, Bernburg, Staßfurt) und Salzspalten bzw. Spaltendiapiren (Oberes Allertal) sowie in den tektonisch herausgehobenen Zechsteinsalzen der Scholle von Calvörde. Nördlich und östlich davon, im Westen und Süden Mecklenburg-Vorpommerns sowie im nördlichen Brandenburg sind die Salinarstrukturen häufig als Salzkissen und Salzdiapire ausgebildet. Da sich die Stein- und Kalisalzlager in den Salzkissen aufgrund der Nähe zum Beckenzentrum in zu großen Tiefen befinden, waren die wenigen bergbaulichen Aktivitäten auf die Salzstöcke Lübtheen (ab 1886) und Conow (ab 1912) im Südwesten Mecklenburgs beschränkt. Die bergmännische Gewinnung von Kalisalzen aus dem Salzstock Lübtheen erfolgte zwischen 1900 und 1916 mittels zweier Schachtanlagen. Zwischen 1914 und 1926 wurde auch aus dem Salzstock Conow Kalisalz gefördert. Daneben konnte auch sehr reines Staßfurt-Steinsalz als Speise- und Gewerbesalz gewonnen werden (KATZUNG & GRANITZKI 2004).

Zwar wurden in Brandenburg keine Schächte zur Förderung von Stein- und Kalisalz abgeteuft, aber eine Tiefbohrung in den Salzstock Sperenberg soll nicht unerwähnt bleiben. Diese Bohrung wurde zwischen 1867 und 1871 vorangetrieben und erreichte als erste weltweit eine Tiefe von über Tausend Meter Tiefe. Mittels Temperaturmessungen in dem 1.271,45 m tiefen Bohrloch konnte zudem erstmals die geothermische Tiefenstufe von ca. 3 K/100 m bestimmt werden.

In Nordostdeutschland beschränkt sich der heutige Abbau von Kali- und Steinsalz auf wenige Standorte in Sachsen-Anhalt: Zielitz (12 Mio. t Kalirohsalz) und Bernburg (2,5 Mio. t Steinsalz, 1,4 Mio. t Sole und 0,28 Mio. t Siedesalz; Quelle: LAGB 2011). Stillgelegte Bergwerke bzw. Bergwerksfelder, u. a. in Teutschenthal und Zielitz werden zur Verfüllung mit bergbaufremden Abfällen genutzt (s. u.).

2.1.3 Förderung von Kohlenwasserstoffen (KW)

Im Ostteil des Norddeutschen Beckens sind in den klüftig-porösen Staßfurt-Karbonaten des Zechstein sowie in den Rotliegend-Sandsteinen der Elbe-Folge (Sachsen-Anhalt) Erdöl- und Erdgaslagerstätten vorhanden, die größtenteils in den 1960er und 1970er Jahren entdeckt und erschlossen wurden. Die räumlich eng begrenzten Zechstein-Reservoire sind an den nordöstlichen und südöstlichen Beckenrand, insbesondere an die bis 100 m mächtigen Karbonatsand-Wälle gebunden und werden häufig durch strukturelle Faktoren (Hochlagen, Störungen) kontrolliert. In Mecklenburg-Vorpommern wurden 11 und in Brandenburg 27 KW-

Lagerstätten im Staßfurt-Karbonat nachgewiesen (MÜLLER et al. 1993). Die 5 erkundeten Erdgaslagerstätten Sachsen-Anhalts – darunter die größte Norddeutschlands: Salzwedel-Peckensen – befinden sich in der Altmark an der Grenze zu Niedersachsen. Sie sind an strukturelle Fallen (z. B. Antiklinalen) im höheren Rotliegenden gebunden, die durch Salinare des Zechstein versiegelt werden.

Die KW-Lagerstätten des Zechstein befinden sich in Mecklenburg-Vorpommern in Tiefen zwischen ca. 2.200 und 2.700 m. Die Förderung wurde nach der Wiedervereinigung in den meisten Feldern eingestellt und erfolgt gegenwärtig nur noch aus den Lagerstätten (Kirchdorf)-Mesekenhagen und Lütow/Usedom. Die Förderung betrug 2010 knapp 4.000 t Rohöl aus 8 Sonden. Kumulativ wurden in den vergangenen 50 Jahren über 2 Mio. t Rohöl und fast 1 Mrd. m^3 Begleitgas gefördert (Abb. 2). Davon stammen ca. 1,3 Mio. t aus der größten Lagerstätte Lütow. In Heringsdorf ist vor der Küste seit 1981 eine Gaskondensatlagerstätte mit Vorräten von 12 Mrd. m^3 in-place nachgewiesen, die bisher nicht erschlossen wurde. Neue Explorationen (3D-Seismik und Bohrungen) durch die deutsch-kanadische Firma CEP GmbH haben jüngst zum Fund von ca. 14 Mio. t Öl im Raum Barth geführt. Über eine Förderung wird erst nach Vorlage von Testergebnissen entschieden. Auch auf Usedom werden weitere Aufschlussbohrungen abgeteuft. Neue Erlaubnisanträge umfassen nahezu den gesamten Küstenbereich zwischen Fischland-Darß und Usedom bis in den Raum Anklam sowie Offshore-Gebiete in der Ostsee (Abb. 3).

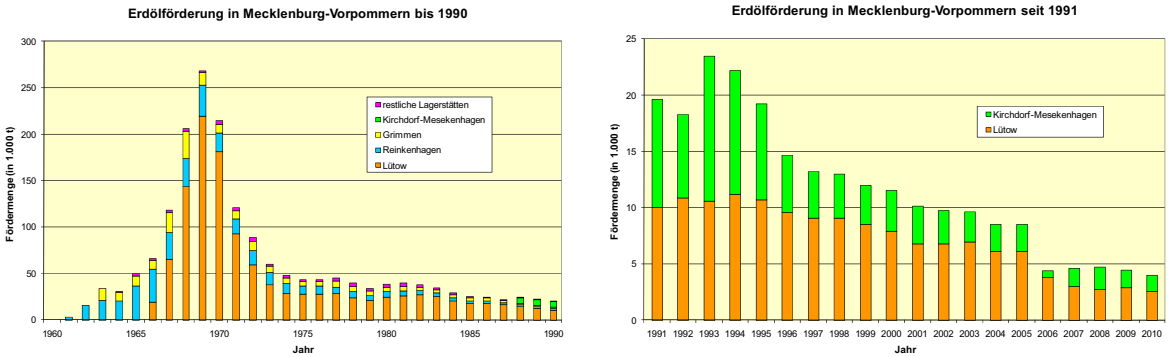


Abb. 2: 50 Jahre Erdölförderung in Mecklenburg-Vorpommern. In diesem Zeitraum wurden 2,06 Mio. t Rohöl und 930 Mrd. m^3 Begleitgas gefördert.

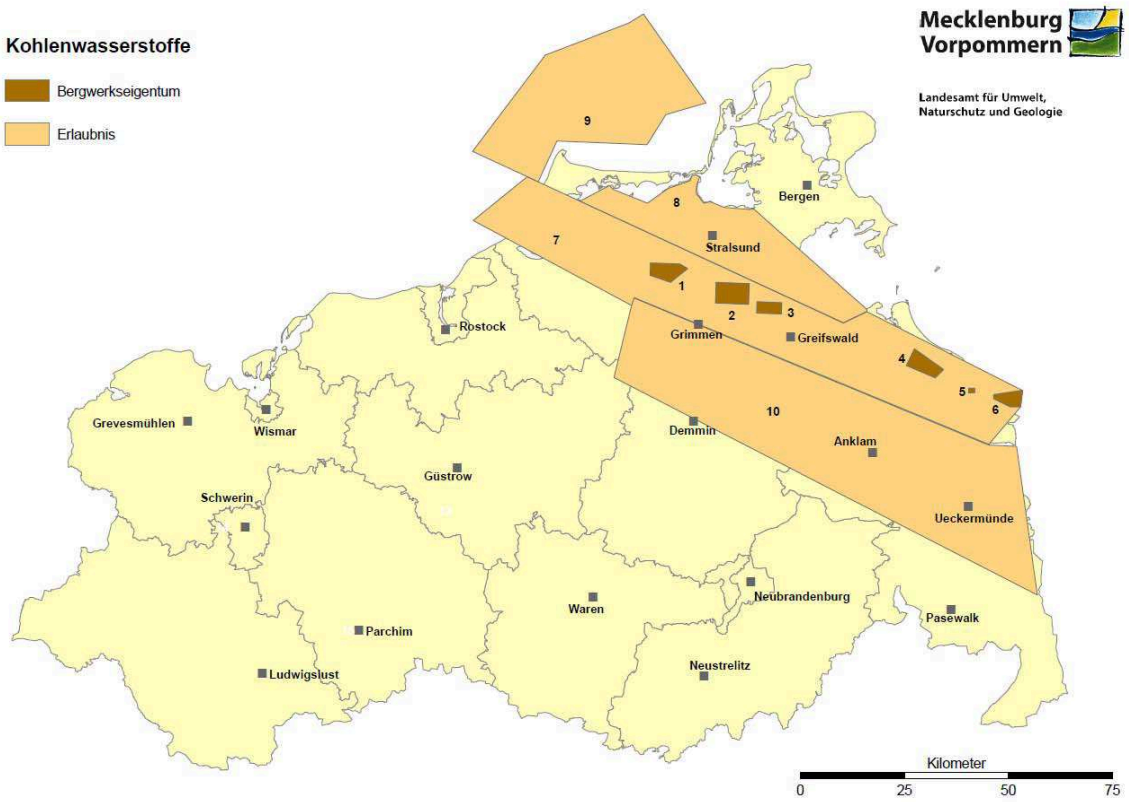


Abb. 3: Bergwerkseigentümer und bergrechtliche Erlaubnisse zur Aufsuchung von Erdöl und Erdgas in Mecklenburg-Vorpommern (Daten: Bergamt Stralsund, Stand 08/2011).

In Brandenburg liegen die KW-Lagerstätten des Zechstein etwa im gleichen Tiefenintervall. Bis 1998 wurde die Förderung aus wirtschaftlichen Gründen in fast allen Erdöllagerstätten eingestellt. Aus der einzig verbliebenen Lagerstätte Kietz konnten 2010 über 16.000 t Rohöl und ca. 5 Mio. m^3 Begleitgas gefördert werden. In Märkisch-Buchholz befindet sich noch eine größere Gaskondensatlagerstätte, die für eine zukünftige Förderung offen steht. Seitens der CEP GmbH werden auch in Südostbrandenburg im Erlaubnisfeld Lübben neue seismische Untersuchungen durchgeführt bzw. sind Aufschlussbohrungen geplant. Ein weiteres Feld Forst wurde beantragt.

Die Erdgaslagerstätten in der Altmark befinden sich in der Auslaufphase der Erdgasgewinnung. 2010 wurden etwa 0,5 Mrd. m^3 Erdgas aus 143 Sonden produziert. Insgesamt wurden in Sachsen-Anhalt bisher ca. 210 Mrd. m^3 Erdgas aus etwa 475 Bohrungen gefördert. Die sicheren und wahrscheinlichen Reserven betragen gegenwärtig noch etwas mehr als 2 Mrd. m^3. Sämtliche Förderzahlen für 2010 stammen aus der Jahresbericht "Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland" (LBEG 2011).

2.2 Geothermische Ressourcen

2.2.1 Petrothermale Nutzungspotenziale

Beckenweit verbreitete Vulkanite und dichte Sandsteine des Rotliegenden an der Basis der Abfolgen im Norddeutschen Senkungsraum weisen aufgrund ihrer Tiefenlage (häufig > 4 km) hohe Gebirgstemperaturen (mindestens 150°C) auf und sind daher das Ziel einer petrothermalen Energiegewinnung mittels so genannter Hot-Dry-Rock (HDR)-Verfahren bzw. Enhanced-Geothermal-Systems (EGS)-Technologien, bei denen durch Stimulation künstliche Wegsamkeiten (Risse, Klüfte) geschaffen bzw. Zuflussbedingungen verbessert werden sollen. Diese Form der geothermischen Nutzung des Untergrundes ist prinzipiell Standort unabhängig. Da aber neben einer primären Stromerzeugung aus wirtschaftlichen Überlegungen eine sekundäre Wärmenutzung – möglichst im Kaskadenprinzip – sinnvoll ist, sind entsprechende Projekte in der Nähe größerer Städte mit entsprechend hohen Abnehmerzahlen anzusiedeln.

Dass eine wirtschaftliche Energiegewinnung aus Heißwasserlagerstätten im Norddeutschen Becken möglich ist, soll das in-situ Geothermielabor Groß Schönebeck des GFZ Potsdam beweisen. Zur Stimulation der Rotliegend-Sandsteine in über 4 km Tiefe wurde in zwei benachbarten Tiefbohrungen ein Wasserfrac-Verfahren angewandt. Dabei waren keine seismischen Aktivitäten zu verzeichnen. Ein Langzeitzirkulationsexperiment soll zeigen, ob das erzeugte Risssystem zum dauerhaften Transport und Wärmeaustausch des im Untergrund vorhandenen Wassers geeignet ist. In dem ersten Geothermie-Kraftwerk Brandenburgs ist die Produktion von 500 kW bis 1 MW geplant (HUENGES 2010 u. a.).

In Mecklenburg-Vorpommern beabsichtigt die Berliner Geothermis AG die Errichtung eines kommerziell betriebenen Geothermie-Kraftwerkes in Lohmen bis 2013. Es soll auf 6.200 m tiefen Bohrungen basieren und eine Leistung von 10 MW haben. Ein Hauptbetriebsplan liegt allerdings noch nicht vor. Eine weitere Nutzungsmöglichkeit zur reinen Wärmegewinnung aus einer beliebigen Gesteinsabfolge bieten tiefe Erdwärmesonden mit einem geschlossenen Wasserkreislauf. Seit 1994 wird in der nordbrandenburgischen Stadt Prenzlau eine fast 2.800 m tiefe Erdwärmesonde als Pilotanlage betrieben. Die maximale thermische Leistung beträgt 500 kW.

2.2.2 Hydrothermale Energiegewinnung und balneologische Nutzungen

In Nordostdeutschland sind hochporöse und gut permeable Sandsteinaquifere des Mesozoikums in Tiefen zwischen 1.000 und 3.000 m verbreitet. Dazu zählen insbesondere die Reservoire folgender stratigraphischer Einheiten: Mittlerer Buntsandstein (im Nordosten und Südosten des Norddeutschen Beckens vorhanden), Rhät/Lias (fast flächendeckend im Ostteil des Norddeutschen Beckens vertreten), Dogger und Unterkreide (lokal in Randsenken von Salinarstrukturen; vgl. FELDRAPPE et al. 2008). Mit Temperaturen zwischen 40 und 120°C gehören die Geothermielagerstätten zum Niedrigenthalpiebereich.

In den 1980er Jahren wurden auf dem Gebiet Mecklenburg-Vorpommerns an 6 Projektstandorten (Waren/Müritz, Neubrandenburg, Neustadt-Glewe, Stralsund, Karlshagen und Schwerin) insgesamt 20 Bohrungen mit dem Ziel der Erschließung ergiebiger Aquifere zur Thermalwassernutzung abgeteuft. Die drei produzierenden Geothermieanlagen in Mecklenburg-Vorpommern repräsentieren technologische Spitzenleistungen auf dem Gebiet der tiefen Hydrogeothermie. Die 1984 in Betrieb genommene Geothermische Heizzentrale (GHZ) in Waren war die erste ihrer Art in Deutschland. Sie belegt, dass eine hydrothermale Dublette auch noch nach über 25 Jahren erfolgreich funktioniert. Die zweite GHZ Neubrandenburg hat 1988 ihre Arbeit aufgenommen und über 10 Jahre im üblichen Dublettenbetrieb Erdwärme produziert. Nach einer technischen Umrüstung wurde sie 2004 auf Einspeicherung von Abwärme aus einem konventionellen GuD-Kraftwerk umgestellt und ist mit 3 bis 3,5 MW der größte Wärmespeicher weltweit. Durch die Wärmeeinspeicherung in einen hochporösen Sandsteinhorizont des Rhätkeupers bei 1.250 m Tiefe wird die natürliche Schichttemperatur von 54°C auf 80-90°C zu Beginn der Ausspeicherungsphase erhöht, was zur deutlich gestiegenen Wärmeausbeute in der Heizperiode führt (OBST & WOLFGRAMM 2010). Die seit 1995 arbeitende GHZ Neustadt-Glewe stellt nicht nur eines der modernsten geothermischen Heizwerke Europas dar, sondern sie ist bei einer Fördertemperatur von ca. 98°C im Jahre 2003 mittels zusätzlichem Einbau einer ORC-Anlage auf kombinierte Wärme- und Stromproduktion umgerüstet worden. Mit einer elektrischen Leistung von maximal 180 kW stellt sie eine Pilotanlage für den Niedrigenthalpiebereich in Deutschland dar. Die Jahresproduktion beläuft sich nur auf ca. 0,36 GWh, da die Wärmeversorgung bei niedrigen Temperaturen den Vorrang hat.

Für die Standorte Stralsund, Karlshagen und Schwerin liegen seit etwa 20 Jahren fundierte Eignungsnachweise vor. Der ursprünglich geplante Ausbau zu Geothermischen Heizzentralen wurde wegen fehlender Investoren nach 1990 nicht realisiert. Der etwa 1.300 bis 2.100 m tiefe Porenspeicher (Aalensandstein des Dogger) im Raum Schwerin ist in seiner Nutzung

als Verpresshorizont für die künstliche Sole aus den Kavernenspeichern Kraak umgewidmet worden. Für Stralsund und Karlshagen, wo der Detfurth-Sandstein (Mittlerer Buntsandstein) in Tiefenlagen von etwa 1.550 bzw. 1.750 m den geeigneten Nutzhorizont darstellt, liegen z. Z. bergrechtliche Bewilligungen für die Förderung von Sole und Erdwärme vor. Für die Standorte Grimmen, Baabe, Hohen Wangelin und Ludwigslust wurde ebenfalls noch vor der Wiedervereinigung das tiefengeothermische Potenzial zur Wärmegewinnung untersucht. Seit 1990 wurden beim Bergamt Stralsund vielfach Erlaubnisanträge zur Aufsuchung von Erdwärme und/oder Sole gestellt (Abb. 4). Allerdings kam es in den seltensten Fällen zur Beantragung eines Bewilligungsfeldes (vgl. OBST 2010).

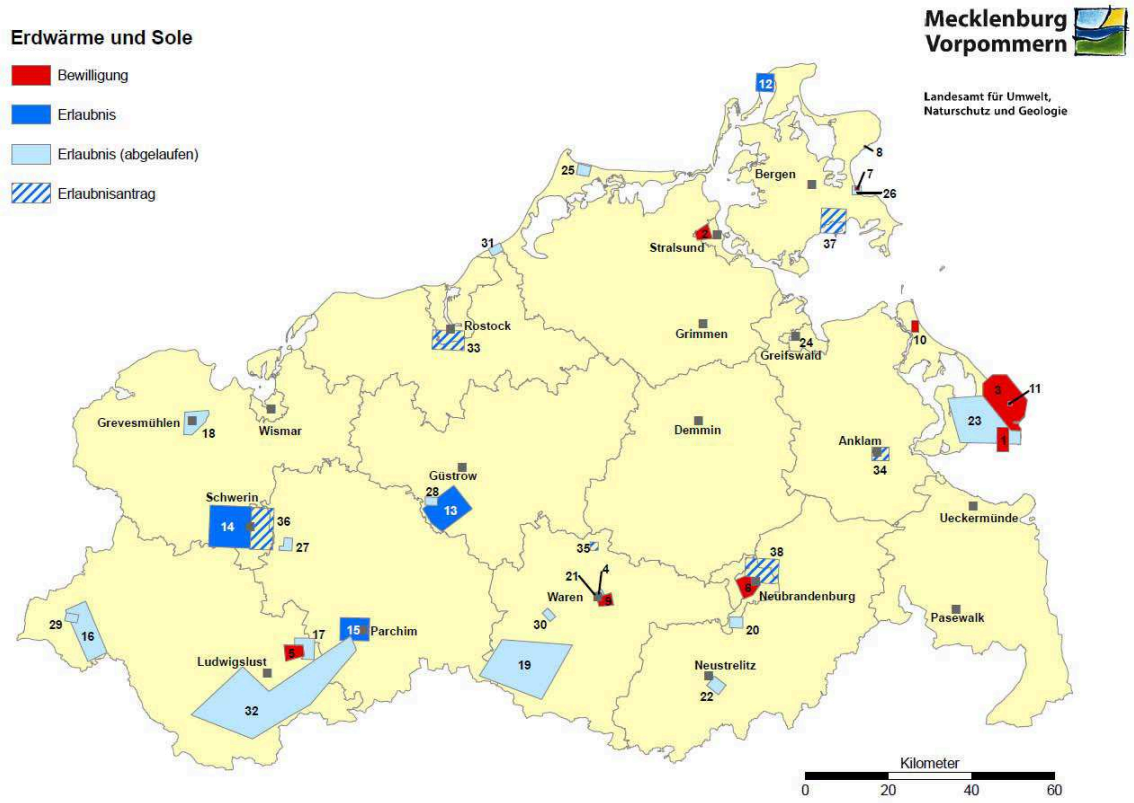


Abb. 4: Ehemalige und gültige Bergbauberechtigungen sowie Aufsuchungsanträge für Erdwärme und Sole in Mecklenburg-Vorpommern (Daten: Bergamt Stralsund, Stand: 06/2011).

In Mecklenburg-Vorpommern werden in Heringsdorf (seit 1996) und Binz (seit 1998) Solen für balneologische Zwecke gefördert. In Waren wird die jodhaltige Thermalsole auch stofflich genutzt. Durch Eindampfen lässt sich z. B. ein Badesalz herstellen, das auch für die Herstellung von Kosmetikerzeugnissen weiterverarbeitet werden kann. Eine kleine Kollektion dieser Wellnessprodukte wird bereits erfolgreich vertrieben.

In Brandenburg ging 2007 die erste GHZ in Neuruppin in Betrieb (Abb. 5). Die aus etwa 1.650 m Tiefe geförderte, 64°C warme Sole wird aber nicht nur für die Nahwärmeverteilung, sondern auch balneologisch in einem Thermalsolebad genutzt. Bereits vor der Wiedervereinigung wurden auf dem Gebiet Berlin/Brandenburg an 5 Standorten (Prenzlau, Wartenberg, Neuruppin, Pritzwalk und Velten) 8 Bohrungen für die hydrothermale Energiegewinnung aus verschiedenen Nutzhorizonten (Mittlerer Buntsandstein, Rhät) niedergebracht. 1995 wurde in Rheinsberg eine ca. 1.700 m tiefe Geothermiebohrung abgeteuft. Für diese Standorte liegen jedoch keine konkreten Nutzungsprojekte vor. Solen für Heilzwecke und Thermalsolebäder werden in Brandenburg an den Standorten Bad Saarow (etwa seit 1920, 1998 wieder eröffnet), Bad Wilsnack (seit 2000), Templin (seit 2000), Belzig (seit 2002), Burg (seit 2005) und Ludwigsfelde (seit 2005) genutzt. Die Förderung der dafür verwendeten Wässer erfolgt durch neue Solebohrungen, die teilweise aus öffentlichen Mitteln finanziert wurden.

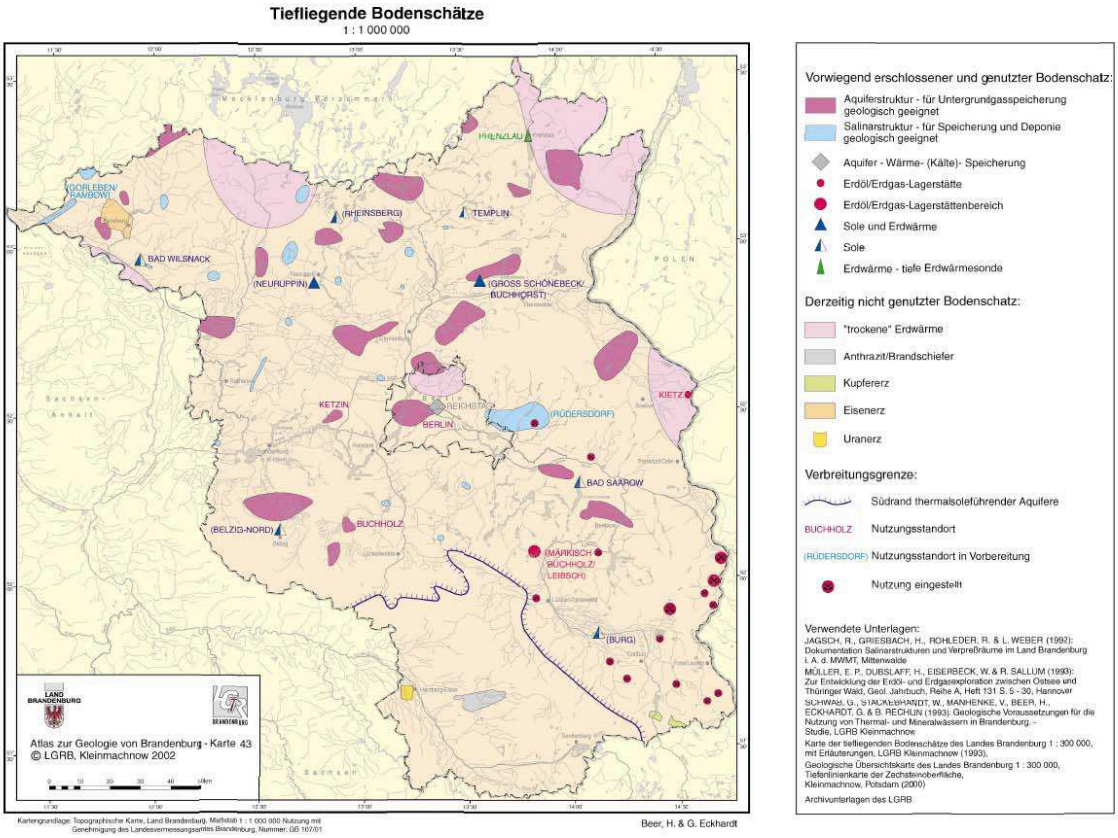


Abb. 5: Übersichtskarte tiefliegender Bodenschätze in Brandenburg (Atlas zur Geologie von Brandenburg i. M. 1:1.000.000, LBGR, Stand 2004)

In Sachsen-Anhalt sind verschiedene Berichte und Analysen zum niedrigthermalen geothermischen Potenzial des Bundeslandes vorhanden. Für einzelne Standorte (Arendsee, Blankenburg, Stendal, Osterburg, Kalbe und Halle) liegen bereits detaillierte Studien vor. Thermalsolen werden in Schönebeck/Bad Salzelmen (seit 1802), Bad Kösen (seit 1834) und

Bad Dürrenberg (seit 1846) auch balneologisch genutzt. Für letzteren Standort wurde im Jahr 2000 eine neue Solebohrung abgeteuft.

2.3 Untergrundspeicherung von Rohstoffen und Energieträgern

Die Untergrundspeicherung von gasförmigen und flüssigen Rohstoffen und Energieträgern dient dem Ausgleich jahreszeitlich bedingter Bedarfsschwankungen, der Abdeckung von großen Bedarfsspitzen sowie als strategische und Havariereserve. Dies erfolgt größtenteils in fein verteilten Hohlräumen im Gestein (Poren, Klüfte) oder in künstlichen, durch Bergbau geschaffenen Hohlräumen (Kavernen). Bei den Speichertypen ist daher zwischen Poren- und Kavernenspeichern zu unterscheiden (vgl. auch OBST 2008).

2.3.1 Porenspeicher

Für den östlichen Teil des Norddeutschen Beckens sind als Porenspeicher vor allem die Sandsteinaquifere des Mittleren Buntsandstein, des Rhät/Lias, des Dogger und der Unter-Kreide sowie untergeordnet des Rotliegenden und des Mittleren Keuper (Schilfsandstein) geeignet, die auch für die hydrogeothermische Nutzung günstigste Eigenschaften aufweisen. Auch Antiklinalstrukturen als potenzielle Fallen sind in Nordostdeutschland aufgrund der Salzbewegungen und Bildung von Salzkissen verbreitet. Zusätzlich ist aber das Vorhandensein undurchlässiger Deckschichten, z. B. Steinsalz oder Ton-/Tonmergelstein, an konkreten Standorten erforderlich. Dazu gehören entsprechende Horizonte im Oberen Buntsandstein sowie im Jura und in der Unter-Kreide.

In Sachsen-Anhalt wird Erdgas in einer ehemaligen Gaslagerstätte bei Bad Lauchstädt gespeichert. Das Speichervolumen in den Rotliegend-Sandsteinen beträgt 670 Mio. m^3, davon sind als Arbeitsgas 440 Mio. m^3 nutzbar. Der Speicher Berlin befindet sich im Nordwesten der Stadt. Als Speicherreservoir dient der Detfurth-Sandstein, der sich oberhalb eines Salzkissens in Tiefen zwischen 750 und 1.000 m befindet. 2010 betrug das Speichervolumen 550 Mio. m^3. Der Arbeitsgasanteil soll von derzeit 135 Mio. m^3 auf 180 Mio. m^3 ausgebaut werden. Nach einer neuen 3D-Seismik 2008 wurde 2009 mit dem Abteufen von zwei Speicherbohrungen begonnen (SEDLACEK 2009). Ein weiterer Porenspeicher im Mittleren Buntsandstein ist südwestlich von Berlin im benachbarten Brandenburg fertig ausgebaut. Das Reservoir des Speichers Buchholz liegt in einer Tiefe zwischen 570 und 610 m. Das Speichervolumen beträgt 234 Mio. m^3, davon sind als Arbeitsgas 175 Mio. m^3 nutzbar.

Aufgrund des Baus der Ostsee-Pipeline Nord Stream vom russischen Wyborg nach Lubmin bei Greifswald und der zugehörigen Anbindungsleitungen OPAL und NEL nach Süd- und

Westeuropa hat eine intensive Suche nach großen Erdgasspeichern entlang dieser Trassen in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg eingesetzt. Neue Untersuchungen (Bohrungen und 3D-Seismik) der geeignet erscheinenden Antiklinalstrukturen Hinrichshagen bei Waren (geplantes Speichervolumen: 2,5 bis 5,0 Mrd. m^3 Arbeitsgas und 3,5 bis >5,0 Mrd. m^3 Kissengas) und Schweinrich (geplantes Speichervolumen: jeweils >5,0 Mrd. m^3 Arbeitsgas und Kissengas) in Sandsteinen des Lias haben zu einer deutlichen Reduzierung der ursprünglich prognostizierten Speichervolumina bzw. sogar zum Abbruch der Erkundungsarbeiten geführt. Als weiterer potenzieller Speicherstandort wird in Mecklenburg-Vorpommern die Struktur Triepkendorf/Serrahn erkundet und auch die Strukturen Groß Spiegelberg und Löcknitz im Südosten des Landes besitzen nach bisherigem Kenntnisstand ein großes Speicherpotenzial (vgl. OBST 2008; Abb. 6).

2.3.2 Kavernenspeicher

Zechsteinsalze sind im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens mit Ausnahme von Rügen und den südlichen Landesteilen von Sachsen-Anhalt und Brandenburg großflächig verbreitet. Das Steinsalz bietet wegen seiner mechanischen Eigenschaften ausgezeichnete Möglichkeiten für den Kavernenbau zur unterirdischen Speicherung von Gasen und Flüssigkeiten. Aufgrund der geringeren Tiefenlage sind besonders Salzstöcke mit mehreren tausend Metern Staßfurt- und Leine-Steinsalz für die Solung von Kavernen geeignet.

Zu den bereits in Betrieb befindlichen Kavernenspeichern für Erdgas in Nordostdeutschland gehören in Sachsen-Anhalt die Standorte Bad Lauchstädt (871 Mio. m^3 Speichervolumen in 18 Kavernen, 661 Mio. m^3 Arbeitsgas; weitere 4 Kavernen geplant), Bernburg (1.406 Mio. m^3 Speichervolumen in 34 Kavernen, 1.087 Mio. m^3 Arbeitsgas; weitere 2 Kavernen geplant), Peckensen (341 Mio. m^3 Speichervolumen in 3 Kavernen, 220 Mio. m^3 Arbeitsgas; weitere 7 Kavernen geplant) und Staßfurt (242 Mio. m^3 Speichervolumen in 4 Kavernen, 200 Mio. m^3 Arbeitsgas; weitere 7 Kavernen geplant; sämtliche Angaben aus LBEG 2011). Weiterhin werden in Sachsen-Anhalt zwei Kavernenspeicher in Bernburg-Gnetsch und Teutschenthal zur Einlagerung von Flüssiggasen (Propan bzw. Ethylen und Propylen) genutzt. Als Sonderfall ist die Erdgasspeicherung in dem stillgelegten Bergwerk Burggraf-Bernsdorf anzusehen.

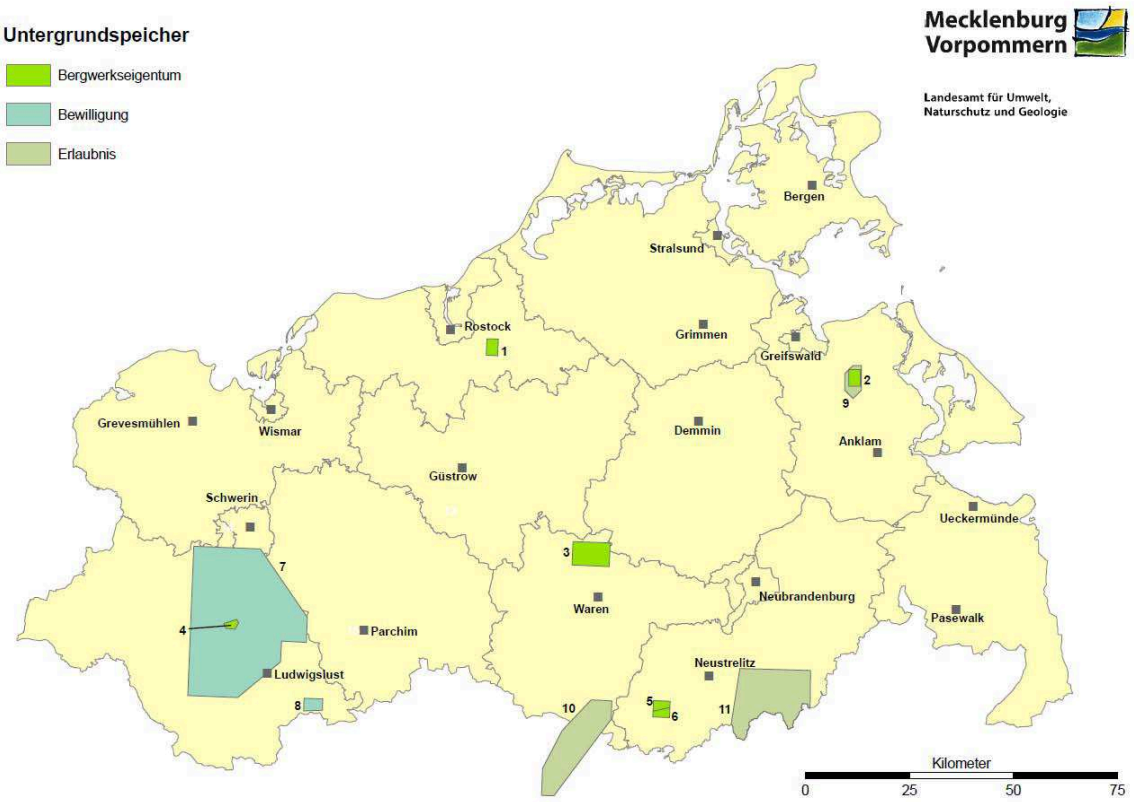


Abb. 6: Bergbauberechtigungen zur Aufsuchung und zum Betrieb von Untertage-Erdgasspeicher in Mecklenburg-Vorpommern (Daten: Bergamt Stralsund, Stand 08/2011).

In Mecklenburg-Vorpommern wurde am Standort Kraak südlich von Schwerin 2010 eine vierte Kaverne gesolt, die in diesem Jahr erstmals befüllt werden soll (Abb. 6). Das Speichervolumen beträgt bisher 205 Mio. m^3 in 3 Kavernen. Der Arbeitsgasanteil beläuft sich z. Z. auf 180 Mio. m^3 und soll auf 285 Mio. m^3 erhöht werden. Am Standort Moeckow südöstlich von Greifswald waren die bisherigen Untersuchungen (3D-Seismik und Aufschlussbohrung) erfolgreich (vgl. OBST 2008). Die Errichtung eines Kavernenfeldes mit maximal 24 Kavernen ist geplant und eine entsprechende Bewilligung wurde bereits beantragt. In Brandenburg ist der Speicher Rüdersdorf im Bau. Eine erste Kaverne wurde bereits gesolt. Sie hat 47 Mio. m^3 Speichervolumen und enthält 36 Mio. m^3 Arbeitsgas. Der Bau von weiteren 7 Kavernen ist geplant, davon ist eine bereits in Solung (LBEG 2011).

Zahlreiche weitere Salzstrukturen im Norddeutschen Becken kommen als potenzielle Speicherstandorte für Erdgas, aber auch für Druckluft, Wasserstoff und „erneuerbares Methan“ in Frage. Dazu gehören auch die Salzstöcke Fresendorf und Wesenberg in Mecklenburg-

Vorpommern, in deren Bereichen Bergwerkseigentümer seitens der BVV GmbH zum Verkauf angeboten werden.

2.4 Untertagedeponierung

Die dauerhafte unterirdische Speicherung von Gasen und Solen bzw. Einlagerung von flüssigen und festen Abfallstoffen unterscheidet sich von der „klassischen“ Untergrundspeicherung (s.o.) vor allem durch die im Normalfall nicht beabsichtigte Rückholung der verbrachten Nebenprodukte und Abfälle. Bei einer gemeinsamen Betrachtung unter dem Begriff der Deponierung dieser Substanzen ist aber zu beachten, dass es hinsichtlich möglicher Auswirkungen auf die Umwelt im Falle von Leckagen doch erhebliche Unterschiede gibt, ob die Substanzen nur bei entsprechend sehr hohen Konzentrationen negative Auswirkungen auf die Umwelt haben (z. B. Salzwasser oder Kohlendioxid) oder ob bereits kleinste Mengen (z. B. Dioxin oder hochradioaktive Nuklide) im Boden oder in wasserführenden Gesteinsschichten eine tödliche Bedrohung für Mensch und Natur darstellen.

2.4.1 Kohlendioxid-Speicherung

Das Treibhausgas CO_2 entsteht vor allem beim Verbrennen fossiler Energieträger. Durch den Ausstieg aus der Atomenergie und bis zu deren Ersatz durch genügend erneuerbare Energieträger ist mittelfristig auch der Betrieb von Kohle- und Gaskraftwerken vorgesehen. Die Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid aus Kraftwerksprozessen (CCS = Carbon Capture and Storage) stellt daher eine Brückentechnologie dar, um die CO_2-Emissionen im Bereich der Stromerzeugung innerhalb der nächsten 20 bis 50 Jahre deutlich zu reduzieren. Zu den potenziell nutzbaren geologischen Speicherstrukturen gehören in Deutschland erschöpfte Erdöl- und Erdgaslagerstätten und tiefe, salzwasserführende Sandsteinschichten. Besonders die salinaren Sandsteinaquifere sind im Ostteil des Norddeutschen Beckens in ausreichender Tiefenlage und Mächtigkeit vorhanden, wie die aktuellen Ergebnisse des von der BGR geführten Projektes „Speicher-Kataster Deutschland“ zeigen (vgl. MÜLLER et al. 2011).

Auch wenn in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und im Norden von Sachsen-Anhalt potenziell geeignete Speicherregionen (vgl. BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES & OBST 2011 und REINHARD et al. 2011) und Speicherstrukturen (vgl. CHADWICK et al. 2008) vorhanden sind, müssen neben den geologischen Bedingungen weitere umweltrelevante Anforderungen an eine dauerhafte CO_2-Speicherung berücksichtigt werden. Dazu gehören neben einer hohen Speichersicherheit, die Vermeidung von schädlichen Auswirkungen auf Grundwasser und Böden und auch der Ausschluss von Nutzungskonflikten (s. u.).

Die unterirdische Speicherung von Kohlendioxid kann in verschiedene geologische Strukturen erfolgen, von denen tiefe, salinare Sandsteinaquifere das größte Speicherpotenzial in Deutschland aufweisen (vgl. KNOPF et al. 2010). Für ein europäisches Projekt im Festlandsbereich wurde seit 2004 der Speicher Ketzin in Brandenburg als Feldlabor zur CO_2-Speicherung ausgebaut. Unter Federführung des GFZ Potsdam wird erstmals untersucht, wie Kohlendioxid in tief gelegene, mit Salzwasser gefüllte, poröse Gesteinsschichten eingebracht und gespeichert werden kann. Dafür sollen insgesamt 60.000 t CO_2 in über 600 m Tiefe unterhalb eines ehemaligen Erdgasspeichers gespeichert werden. Mit der Einspeicherung von lebensmittelreinem CO_2 (Reinheitsgrad > 99,9%) in den Schilfsandstein (= Stuttgart-Formation) wurde 2008 begonnen. Im Jahr 2011 wurden zwischenzeitlich auch ca. 1.500 t CO_2 aus der CCS-Versuchsanlage Schwarze Pumpe (Projekt der Vattenfall Europe AG) injiziert. Um die Sicherheit der Speicherung zu gewährleisten, hat das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) die Aufsuchung, Entwicklung und Untersuchung zum Speicherstandort Ketzin fachlich und sicherheitstechnisch begleitet sowie die erforderlichen bergrechtlichen Genehmigungen erteilt (HÖDING et al. 2009).

In Sachsen-Anhalt war ebenfalls im Rahmen des Forschungsprojektes CLEAN (CO_2 Large-Scale Enhanced Gas Recovery in the Altmark Natural-Gas Field) die Speicherung von Kohlendioxid in einem ausgeförderten Erdgasfeld geplant. Dafür sollten ab 2009 ca. 100.000 t CO_2 aus dem Pilotkraftwerk Schwarze Pumpe in Brandenburg per LKW in die Altmark transportiert werden. Mit dem Hinweis auf fehlende gesetzliche Grundlagen zur Anwendung der CCS-Technologie wurde die Einspeicherung von CO_2 zu seitens des Landesamtes für Geologie und Bergbau Sachsen Anhalt (LAGB) bisher nicht genehmigt.

Zukünftig soll die CO_2-Speicherung aber auch im industriellen Maßstab im Rahmen von Demonstrationsprojekten getestet werden. Dafür werden durch die Vattenfall Europe Mining AG und die Verbundnetz Gas AG in Brandenburg geeignete Antiklinalstrukturen erkundet. Mangels der 2009 noch nicht erfolgten Verabschiedung eines nationalen CCS-Gesetzes wurden dafür vom LBGR bergrechtliche Erlaubnisse zur Aufsuchung von Sole für die Felder Birkholz-Beeskow (550 km^2) sowie Neutrebbin (350 km^2) erteilt. Trotz offensiver Information über die beabsichtigten Untersuchungen stehen viele Bürger in den betroffenen Regionen diesen skeptisch gegenüber und haben Bürgerinitiativen gegen die Vorhaben gegründet.

Da das inzwischen 2011 durch den Bundestag verabschiedete CCS-Gesetz den Ländern quasi ein Vetorecht gegen CCS-Forschungs- und Demonstrationsprojekte einräumt, ist auch in Brandenburg die politische Unterstützung der umstrittenen Technologie geschrumpft. In

Mecklenburg-Vorpommern wurden CCS-Anträge von großen Energieunternehmen seitens des Bergamtes Stralsund unter Verweis auf die bislang fehlende Rechtsgrundlage zurückgewiesen und auch politisch wird die Deponierung von Kohlendioxid aus anderen Bundesländern nicht unterstützt.

2.4.2 Soleversenkung

Bei der Solung von Salzkavernen entstehen Laugen mit einer hohen Mineralisation. Aufgrund des Salzgehaltes können sie jedoch nicht in einen Vorfluter eingeleitet werden ohne Schäden für Fauna und Flora hervorzurufen. Alternativ bietet sich die Einleitung in die schwach salzhaltige Ostsee an – allerdings nur in stark verdünnter Form, wie im Falle des Erdgaspeichers Moeckow vorgesehen. In den meisten Fällen bleibt aber nur die Versenkung der anfallenden Solen in tiefe Sandsteinaquifere, die bereits hoch mineralisierte Grundwässer führen. Diese Möglichkeit wird u. a. für die Erdgasspeicherprojekte Kraak und Rüdersdorf erfolgreich angewandt, wobei aber die Kapazitäten durch die Größe der Reservoire und der maximal möglichen Drücke, denen das abdichtende Deckgebirge standhält, limitiert ist.

2.4.3 Einlagerung von Sonderabfällen

Für die Deponierung von flüssigen und festen Abfallstoffen stehen in Nordostdeutschland ehemalige Salzbergwerke bzw. Grubenteile zur Verfügung. Die Grube Teutschenthal in Sachsen-Anhalt wird seit 1992 als Versatzbergwerk betrieben, um die offen stehenden Abbaukammern mit geeigneten bergbaufremden Abfällen zu verfüllen und dadurch die Standsicherheit dauerhaft herzustellen und große Gebirgsschläge, wie z. B. im Jahr 1996 zu verhindern. Als Versatzmaterial werden Abfälle im Direktversatz, in Big Bags oder zu Versatzstoffen verarbeitete Abfall-Mischprodukte sowie Dickstoff-Suspensionen eingesetzt. Zugelassen sind mineralische Abfälle wie Aschen, Schlacken, Erden, Abfälle aus Wasseraufbereitung, Abwasser- und Abgasreinigung sowie Salze (Quelle: LAGB 2011).

Seit 1992 werden auch im östlichen Steinsalzfeld der Grube Bernburg Versatzmaßnahmen mit bergbaufremden Abfällen durchgeführt. Das Verfüllen von Abbaukammern stützt unterdimensionierte Abbaupfeiler und verringert damit die Senkungen an der Tagesoberfläche. Jährlich werden etwa 140.000 t Bergbau-Versatzmischen verwendet, die aus anorganischen, mineralischen Abfällen (Bodenaushub, Flugasche oder Bohrschlamm) bestehen. Im Kaliwerk Zielitz wird seit 1994 die erste in Deutschland abfallrechtlich planfestgestellte Untertagedeponie betrieben. Genehmigte Abfallarten sind Filterstäube und Reaktionsprodukte aus der Rauchgasreinigung, verunreinigter Boden und Bauschutt, Transformatoren/Kondensatoren

und schwermetallhaltige Abfälle. Jährlich werden etwa 11.600 t Abfälle in der Untertagedeponie beseitigt (Quelle LAGB 2011).

2.4.4 Endlagerung radioaktiver Abfälle

Das einzige in Deutschland ehemals betriebene Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) befindet sich in Sachsen-Anhalt. Zwischen 1971 bis 1998 wurden ca. 37.000 m³ radioaktive Abfälle und 6.621 Strahlenquellen in einem ehemaligen Kali- und Steinsalzbergwerk eingelagert (Quelle LAGB 2011). Für den Betrieb der Anlage des Bundes ist nach Atomgesetz das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zuständig ist. Der Bund hat die Einlagerung beendet und die atomrechtliche Planfeststellung zur Stilllegung des Endlagers beim Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt als zuständiger Genehmigungsbehörde beantragt. Das LAGB ist parallel dazu die bergaufsichtlich zuständige Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde. Seit 2003 werden bergbauliche Gefahrenabwehrmaßnahmen in einem Teilbereich des Bergwerks ausgeführt. Insgesamt 24 ehemalige Salzabbaukammern wurden bis zum Jahr 2010 mit Salzbeton verfüllt, um auch hier die Abbaupfeiler zu stabilisieren und damit die Integrität der Barriere in den Schichten oberhalb des betroffenen Grubenteils zu erhalten. Diese Arbeiten werden abseits der Einlagerungsgrubenbaue für die radioaktiven Abfälle vorgenommen.

Nach dem vom Bundestag 2011 beschlossenen, stufenweisen Automausstieg bis zum Jahr 2022 muss in den nächsten Jahren die Suche nach einem atomaren Endlager für hochradioaktive Abfälle intensiviert werden. Neben dem bereits gut untersuchten Salzstock Gorleben in Niedersachsen kommen auch weitere Salzstöcke im Zentrum des Norddeutschen Beckens als mögliche Standorte in Frage, die nach einheitlichen Kriterien zu erkunden und zu bewerten sind. Aus geologischer Sicht eignen sich ebenfalls impermeable Tonsteine als potenzielle Speichergesteine. Besonders mesozoische Tonsteinhorizonte sind auch im Ostteil des Norddeutschen Beckens in entsprechender Tiefe und mit ausreichender Mächtigkeit vorhanden (vgl. HOTH et al. 2007).

3. Nutzungskonflikte und Problemlösungen

Nach dem Bundesberggesetz (BBergG 1980, zuletzt geändert 2009) sind verschiedene Nutzungsmöglichkeiten des tieferen Untergrundes in einem Gebiet möglich bzw. können bergrechtliche Erlaubnisse und Bewilligungen erteilt werden, deren Feldesgrenzen sich überschneiden, insoweit es sich nicht um denselben Bodenschatz handelt und sich keine Einschränkungen bestehender Nutzungen durch neue Zulassungen ergeben. Die Ausbeutung von Lagerstätten ist jedoch keinesfalls nur auf eine Reduzierung der stofflichen Menge eines

Rohstoffes begrenzt, sondern eine Förderung von Erdöl und Erdgas oder die Gewinnung von Erdwärme und Sole kann auch weitreichende Änderungen des hydrodynamischen Systems bzw. der Druck- und Temperaturverteilung in einem Reservoir haben. Bergwerke mit Schachtanlagen, Stollensystemen und Abbaufeldern verändern die Tragfähigkeit der Schichten, aber auch der Bohrlochbergbau führt zu Änderungen in der Integrität von Deckschichten über Reservoirhorizonten und es können künstliche Leckagewege entstehen, die eine nachfolgende Nutzung als Speicher- und Deponieraum erschweren oder sogar ausschließen.

3.1 Konkurrenzsituationen

Anhand der vielfältigen rohstoffgeologischen, geothermischen und speichergeologischen Nutzungsoptionen des tieferen Untergrundes lassen sich unschwer mögliche Nutzungskonkurrenzen erkennen. Besonders die Thermalwasser führenden Sandsteinhorizonte stellen sowohl aus energetischer als auch aus speichergeologischer Sicht wertvolle Heißwasserreservoire bzw. Porenspeicher dar. Grundsätzlich besteht daher zunächst eine Konkurrenzsituation zwischen den Anwendungen der tiefen Geothermie und Projekten zur Untergrundspeicherung. Weiterhin stehen aber auch die verschiedenen Speichermedien in Konkurrenz zueinander und es ist abzuwägen, ob in einem Zielhorizont befristet Erdgas bzw. unbefristet Sole oder Kohlendioxid eingespeichert wird.

Die dauerhafte, leckagefreie Untergrundspeicherung von Kohlendioxid über lange Zeiträume ist eine neue Technologie, die noch in der Phase der Erprobung ist. Aufgrund der Mengen an CO_2, die im Laufe eines über mehrere Jahrzehnte betriebenen Kohlekraftwerkes anfallen, sind große Speicherstrukturen in Tiefen zwischen 800 m und >2.000 m notwendig. Aufgrund der bisher nur unzureichend bekannten Reichweite der Verdrängung von vorhandenen Schichtwässern infolge der Einspeicherung von Kohlendioxid und den damit verbundenen Druckänderungen im Zielhorizont, sind die benötigten Speicherareale und die folglich zu beantragenden Feldesgrößen nur schwer abzuschätzen. Die Größe eines Genehmigungsfeldes hängt zudem von der geologischen Struktur des geplanten Kohlendioxidlagers (Antiklinale oder Synklinale zwischen zwei Antiklinalen) inklusive der nötigen Barrierehorizonte und dem Sicherheitsabstand zu anderen Anwendungen im Untergrund ab (CHARISSÉ & LOHSE 2009). Das Genehmigungsfeld wird daher häufig sehr groß sein und voraussichtlich mehrere hundert Quadratkilometer betragen. Damit würden andere Nutzungen blockiert oder wären sogar dauerhaft ausgeschlossen. Diese Befürchtungen belegen entsprechende Anträge von der RWE Dea AG, die in Mecklenburg-Vorpommern große Landesteile (Stichwort: Senke Ost) umfassten, jedoch mangels gesetzlicher Grundlage abschlägig beschieden wurden.

Konkurrierende Nutzungsansprüche entstehen, wenn zwei Genehmigungsanträge (CO_2-Speicherung vs. Geothermier) für ein und dieselbe geologische Formation vorliegen. Ein aktuelles Beispiel dafür liegt aus Brandenburg vor. Auf Anraten einer Bürgerinitiative hatte die Stadt Beeskow einen Antrag auf Erteilung einer Erlaubnis zur Aufsuchung von Erdwärme und Sole gestellt. Dieser wurde aber seitens des LBGR abschlägig beschieden, da dem die CCS-Untersuchungsrechte der Vattenfall AG entgegenstehen.

Das neue CCS-Gesetz weist darauf hin, dass im Genehmigungsfall öffentliche und volkswirtschaftliche Interessen abzuwägen sind (CHARISSÉ & LOHSE 2009). Ob eine Nutzung überander liegender Zielhorizonte (Stockwerksnutzung) möglich ist, hängt von der regionalen geologischen Situation und dem Ausschluss der gegenseitigen Beeinflussung ab. Dabei müssen notwendige Sicherheitsanforderungen für Barrierehorizonte über dem Kohlendioxidlager beachtet werden. Ein nachträgliches Durchteufen ist problematisch, da es dadurch zu plötzlichen Druckänderungen im Reservoir kommen kann. Ein Umbohren wäre zwar auch möglich, stellt aber die technische und ökonomische Machbarkeit geothermischer Projekte in Frage. CHARISSÉ & LOHSE (2009) verweisen auch auf Probleme, die durch den Einsatz der EGS-Technologie auftreten können. Künstlich erzeugte Risse besitzen häufig eine größere radiale Ausdehnung als angenommen und können im Zusammenhang mit geringen seismischen Erschütterungen zu Beeinträchtigungen der hydraulischen Eigenschaften in benachbarten CO_2-Reservoiren und ihren Deckschichten (Porendruck, Gebirgsspannung, Klüftigkeit) führen. Ähnliche Probleme sind auch bei einer nachträglichen Erschließung von Erdgas aus nicht-konventionellen Lagerstätten (z. B. Shale Gas) in großer Tiefe mittels hydraulischen Frac-Verfahren zu erwarten.

Ein Beispiel für die mögliche Nutzungskonkurrenz bei der Speicherung von unterschiedlichen Medien stellt die Struktur Schweinrich im Grenzbereich zwischen Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg dar. Diese zunächst als erstklassiger CO_2-Speicher ausgewiesene „passive“ Antiklinalstruktur wurde im Jahr 2006 mit einer bergrechtlichen Erlaubnis zur Erkundung eines Porenspeichers für Erdgas belegt (vgl. OBST 2008). Eine von der GAZPROM Germania GmbH durchgeführte 1.680 m tiefe Bohrung (Ug Schweinrich 1/2009) zeigte aber, dass trotz guter Reservoireigenschaften die wechselhafte Lithologie in den Deckschichten einer wirtschaftlichen Ein- und Ausspeicherung von Erdgas entgegensteht bzw. sich das erhoffte Speichervolumen nicht realisieren lässt. Daher wurde das Projekt 2009 aufgegeben. Trotzdem ist eine Nutzung der Struktur als CO_2-Speicher damit nicht ausgeschlossen, da in diesem Falle eine „Rückgewinnung“ nicht erforderlich ist.

Neue Geothermie-Projekte, die im Raum Schwerin geplant sind, stehen in Konkurrenz zur Sole-Versenkung aus dem Kavernenspeicher Kraak, die in Aalensandsteine erfolgt (s. o.). Obwohl die geothermischen Nutzhorizonte tiefer liegen, müssen geplante Bohrungen einen Sicherheitsabstand zur Dogger-Senke von Schwerin einhalten, um nicht unkontrollierte Wegsamkeiten für die unter einem erhöhten Druck stehenden, salzhaltigen Schichtwässer zu verursachen und damit die Trinkwassergewinnung der Stadt zu gefährden.

3.2 Möglichkeiten einer unterirdischen Raumordnung

Die aufgeführten Nutzungskonkurrenzen zeigen, dass die verschiedenen Nutzungsoptionen gegeneinander abgewogen werden müssen, wie auch im CCS-Gesetz 2011 vorgesehen. Dies setzt eine umfassende geologische Datenbasis voraus, auf deren Grundlage die für das jeweilige Bundesland zuständige Genehmigungsbehörde letztlich eine Entscheidung treffen muss. Damit es im Einzelfall nicht zu zeitlichen Verzögerungen bei der Bearbeitung von Anträgen kommt, empfiehlt es sich, bereits frühzeitig eine unterirdische Raumordnung einzuführen und Vorrang- bzw. Vorbehaltsgebiete auszuweisen (OBST 2008, CHARISSÉ & LOHSE 2009 u. a.). Dabei sollte die dauerhafte Speicherung von CO_2 energetische Nutzungen, wie die geothermische Wärme- und Stromerzeugung, nicht behindern oder einschränken. Darauf wird auch seitens des Umweltbundesamtes (in einer Studie hingewiesen (UBA 2009). Um konkrete Konflikte zwischen CCS und anderen, nachhaltigen Nutzungsformen zu vermeiden, sollten demnach anhand verschiedener geologischer, infrastruktureller sowie ökonomischer und ökologischer Kriterien die Flächeneinteilung des Untergrundes vorgenommen werden. Für die geologische Bewertung des Untergrundes wurde seitens der BGR in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Dienste der Länder begonnen, das „Speicher-Kataster Deutschland“ aufzubauen, in dem zunächst Potenzialgebiete für die unterirdische Speicherung ausgewiesen werden (MÜLLER et al. 2011).

Prinzipiell haben laut UBA geothermische Wärme- und Stromerzeugung den Vorrang. Dies bedeutet, dass geeignete Standorte für eine Speicherung des CO_2 nicht oder nur beschränkt zur Verfügung stehen würden. Zudem wäre ein Sicherheitsabstand vorzusehen, um andere tatsächliche oder potenzielle Nutzungen – wie Geothermiereservoire, Grundwasser- oder Thermalwasserbrunnen – nicht zu gefährden (UBA 2009). Diese Ansicht wird seitens der Landesregierung von Mecklenburg-Vorpommern geteilt und es wurde am 29.09.2010 folgender Antrag gestellt: „Der Landtag fordert die Landesregierung auf, die Möglichkeiten zur Schaffung einer unterirdischen Raumordnung zu prüfen mit dem Ziel, unterirdische Nutzungskonflikte zu vermeiden oder zu vermindern, um eine nachhaltige wirtschaftliche, soziale und ökologische Raumentwicklung in Mecklenburg-Vorpommern sicherzustellen.“ (Druck-

sache 5/3802). Die nachhaltige Nutzung der Ressource Untergrund müsse durch ein geordnetes Verfahren gewährleistet werden. Dabei will man aber nicht nur geothermische Nutzungen den Vorrang einräumen, sondern sogar in attraktiven Tourismusregionen die Anwendung der CCS-Technologie ausschließen. Der Antrag wurde einstimmig angenommen.

4. Fazit

Die Nutzungsansprüche an den tieferen Untergrund in Nordostdeutschland haben in den letzten Jahren zugenommen. Neben der traditionellen bergbaulichen Nutzung (Kali- und Steinsalz, Kohlenwasserstoffe) konkurrieren weitere Nutzungsformen wie die geothermische Wärme- und Stromerzeugung, Erdgas-, Druckluft-, Wasserstoff oder Kohlendioxid-Speicher um die begrenzten unterirdischen Ressourcen. Die im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens vorhandenen großflächigen Aquifere und zahlreichen Salzstrukturen bieten günstige Bedingungen für geothermische und speichergeologische Projekte. Damit eine zukünftige Nutzung durch erneuerbare Energien nicht durch unterirdische Deponieräume eingeschränkt wird, sollte eine unterirdische Raumordnung geschaffen werden, die es den Ländern ermöglicht, Vorranggebiete für spezifische Nutzungen auszuweisen.

Literatur

BACHMANN, G.H.(2008): Halle und das Salz. – In: BACHMANN, G.H., EHLING, B.-C., EICHNER, R. & SCHWAB, M. [Hrsg.]: Geologie von Sachsen-Anhalt. – S. 516-519, E. Schweizerbart; Stuttgart.

BEBIOLKA, A., GÖTHEL, M. & HÖDING, T. (**2011**): Speicher- und Barrieregesteine im tieferen Untergrund von Brandenburg und Berlin. – In MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.]: Speicher-Kataster Deutschland. SDGG **74**: 45-74.

BRANDES, J. & OBST, K. (2011): Geologische Charakterisierung potenzieller Speicher- und Barrieregesteinskomplexe in Mecklenburg-Vorpommern. – In MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.]: Speicher-Kataster Deutschland. SDGG **74**: 208-228.

CHADWICK, A., ARTS, R., BERNSTONE, CH., MAY, F., THIBEAU, S. & ZWEIGEL, P. [eds] (2008): Best practice for the storage of CO_2 in saline aquifers. Observations and guidelines from the SACS and CO2STORE projects. – IEA Greenhouse Gas R&D Programme, British Geological Survey Occasional Publication Nr. 14, 267 S.; Keyworth/Nottingham.

CHARISSÉ, T. & LOHSE, C. (2009): Geothermische Energieerzeugung und CO_2-Lagerung – mögliche Nutzungskonkurrenz. – Geothermiekongress 2009, Bochum, Tagungsband: 17-19.

DEECKE, W. (1898): Die Solquellen Pommerns. Ein Beitrag zur Heimatskunde. – Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Neu-Vorpommern und Rügen in Greifswald **30**: 43-119.

FELDRAPPE, H., OBST, K. & WOLFGRAMM, M. (2008): Die mesozoischen Sandstein-Aquifere des Norddeutschen Beckens und ihr Potential für die geothermische Nutzung. – Z. geol. Wiss. **36** (4-5):199-222.

HÖDING, T., GÖTHEL, M. & STACKEBRANDT, W. (2009): Geologische Möglichkeiten für die CO_2-Speicherung in Brandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **16** (1/2): 1-18.

HOTH, P., WIRT, H., REINHOLD, K., BRÄUER, V., KRULL, P. & FELDRAPPE, H. (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands – Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen. – 118 S., BGR Berlin/Hannover.

HUENGES, E. (2010): Geothermische Stromerzeugung – Grundlaststrom für den erneuerbaren Energiemix 2050. – FVEE-Jahrestagung 2010, Berlin, Tagungsband: 73-76.

JEUTE, G.H. (2009): Weißes Gold aus wildem Wasser. Forschungen zum Salinenwesen in Brandenburg. – Mitteilungsblätter der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit **21**: 189-198.

KATZUNG, G. & GRANITZKI, K. (2004): Salze und Erze. – In: KATZUNG, G. [Hrsg.]: Geologie von Mecklenburg-Vorpommern. S. 423-424, E. Schweizerbart; Stuttgart.

LBEG (2011): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2010. – 62 S., Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.

KNOPF, S., MAY, F., MÜLLER, C. & GERLING, J.P. (2010): Neuberechnung möglicher Kapazitäten zur CO_2-Speicherung in tiefen Aquifer-Strukturen. – Energiewirtschaftliche Tagesfragen **60** (4): 76-80.

MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.] (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes. – Abschlussbericht, BGR Berlin/Hannover.

MÜLLER, E.P., DUBSLAFF, H., EISERBECK, W. & SALLUM, R. (1993): Zur Entwicklung der Erdöl- und Erdgasexploration zwischen Ostsee und Thüringer Wald. – Geologisches Jahrbuch **A 131**: 5-30.

OBST, K. (2008): Möglichkeiten der Untergrundspeicherung für Erdgas und CO_2 im Nordosten Deutschlands. – Z. geol. Wiss. **36** (4-5): 281-302.

OBST, K. (2010): Geothermische Nutzungen in Mecklenburg-Vorpommern: eine 25jährige Erfolgsgeschichte mit Zukunft. – 20 Jahre Bergamt Stralsund, Festschrift: 34-41.

OBST, K. & WOLFGRAMM, M. (2010): Geothermische, balneologische und speichergeologische Potenziale und Nutzungen des tieferen Untergrundes der Region Neubrandenburg. – Neubrandenburger Geologische Beiträge **2010/10**: 145-174.

PINZKE, G. (1986): Zur Geschichte des Berg- und Salinenwesens in Mecklenburg. - Wissenschaftliche Zeitschrift der W.-P.-Universität Rostock, **G-Reihe 35** (2): 78-80.

REINHOLD, K., EHLING, B.-C., BRANDES, J. & SCHNELLENBACH, M. (2011): Tiefe Aquifere in Sachsen-Anhalt und ihr Potenzial für die Untergrundspeicherung. – In MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.]: Speicher-Kataster Deutschland. SDGG **74**: 176-190.

SEDLACEK, R. (2009): Untertage-Gasspeicherung in Deutschland. – Erdöl Erdgas Kohle **125** (11): 412-426.

UBA (2009): CCS – Rahmenbedingungen des Umweltschutzes für eine sich entwickelnde Technik. – 20. S., Broschüre des Umweltbundesamtes.

WIRTH, J. (2008): Stein- und Kalisalze. – In: BACHMANN, G.H., EHLING, B.-C., EICHNER, R. & SCHWAB, M. [Hrsg.]: Geologie von Sachsen-Anhalt. S. 506-516, E. Schweizerbart; Stuttgart.

Dr. Karsten Obst

Landesamt für Umwelt,
Naturschutz und Geologie
Mecklenburg-Vorpommern
Goldberger Str. 12
18273 Güstrow

E-Mail: karsten.obst@lung.mv-regierung.de

Dipl.-Geol. Ingo Schäfer
Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld

Geothermie – Projekte sicher planen
Notwendige geowissenschaftliche Fachdaten zur Planung geothermischer Anlagen

1. Unendliche Energie unter unseren Füßen

Als Geothermie oder Erdwärme bezeichnet man die im Untergrund, d. h. im Gestein und im Grundwasser in Form von Wärme gespeicherte Energie. Während in den bodennahen Schichten die Temperaturen mit durchschnittlich 10 - 12 °C noch verhältnismäßig gering sind, macht sich mit zunehmender Tiefe der Einfluss des gewaltigen Wärmestroms aus dem Erdinneren bemerkbar. Pro 100 m Tiefe steigt die Temperatur dabei um etwa 3 °C an. Im Erdkern selbst werden Temperaturen von ca. 4500 - 6000 °C vermutet.

Die im Erdkörper vorhandene Wärme stammt zu etwa einem Drittel aus dem heißen Erdkern, von welchem kontinuierlich geringe Wärmemengen zur Erdoberfläche abströmen. Der weitaus größere Teil der Erdwärme bildet sich jedoch durch den Zerfall der radioaktiven Elemente Uran, Thorium und Kalium, die fein verteilt in vielen Gesteinen der Erdkruste vorhanden sind. In den oberflächennahen Erdschichten bis durchschnittlich 15 m Tiefe ist auch die durch die Sonne eingestrahlte Energie ein nicht zu vernachlässigender Faktor (Abb1.).

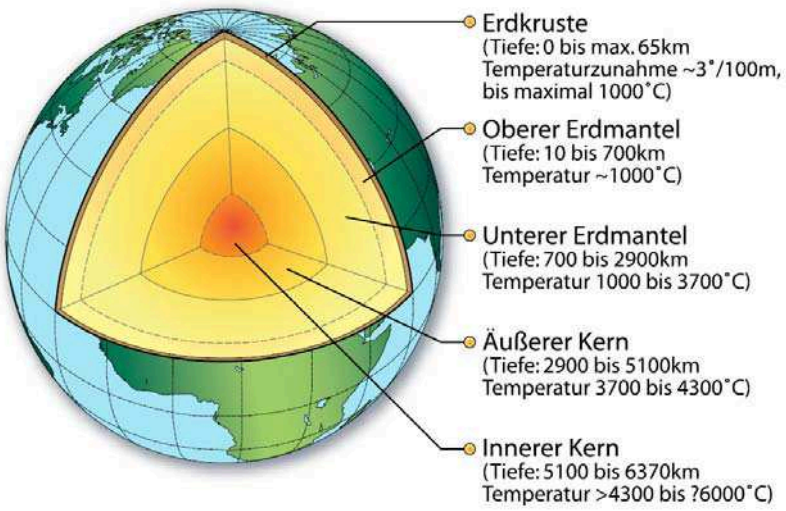


Abb. 1: Schnitt durch die Erde (HOLL-HAGEMEIER et al, 2003)

2. Anlagen im oberflächennahen Bereich

Zur Nutzung oberflächennaher Erdwärme, d. h. von Erdwärme bis zu einer durchschnittlichen Tiefe von 100 m, steht ein ganzes Spektrum von technischen Möglichkeiten zu-Verfügung. Allen Verfahren gemein ist, dass sie zur Umwandlung der Erdwärme in Heizenergie eine Wärmepumpe benötigen. Wärmepumpen sind in der Lage, einer Wärmequelle mit relativ niedriger Energie - beispielsweise Grundwasser - Wärme zu entziehen und unter Zufuhr von mechanischer Energie auf ein höheres Temperaturniveau zu bringen.

Heute wird Erdwärme zunehmend durch die zuverlässigen, wartungsarmen Erdwärmesonden erschlossen. Erdwärmesonden sind geschlossene Kunstoffrohrsysteme, die in Bohrlöchern installiert werden und in denen ein Wasser- / Sole-Gemisch zirkuliert, welches dem umgebenden Gestein die Wärme entzieht. Die Tiefe der Erdwärmesonden liegt in der Regel zwischen 40 bis 150 m.

Möglich ist auch eine horizontale Verlegung von Kunststoffrohrsystemen in 1,0 bis 1,5 m Tiefe. Die als Erdwärmekollektoren bezeichneten Systeme ähneln in ihrer Funktionsweise den Erdwärmesonden, nutzen jedoch nicht die nachströmende Erdwärme, sondern die in den oberen Bodenschichten eingestrahlte Sonnenenergie. Die zur Verfügung stehende unbebaute Grundstücksfläche sollte je nach Kollektorart etwa das 1,5 bis 2,0-fache der zu beheizenden Fläche betragen (Abb. 2a, Abb. 2b, Abb. 2c).

Abb. 2a: Grundwasserbrunnen

Abb. 2b: Erdwärmesonde

Abb. 2 c: Erdkollektor

Am weitesten verbreitet ist der Einsatz von Erdwärmesonden. Sie können sowohl als Einzelsonden im Ein- bis Zweifamilienhausbereich als auch als Sondenfelder für Wohnsiedlungen oder für größere Einzelgebäudekomplexe wie beispielsweise für Schulen oder Geschäftshäuser eingesetzt werden. Dabei ist nicht nur eine Beheizung, sondern auch eine Bereitstellung von Kälte zur Klimatisierung möglich. Gebäude, die mittels Erdwärmesonden mit Wärme bzw. Kälte versorgt werden, sind mittlerweile keine Seltenheit mehr.
Der Erde kann nicht nur Wärme entzogen werden, in ihr kann auch Wärme gespeichert werden - Solarwärme, für die es im Sommer keinen Bedarf gibt oder Abwärme von Kraftwerken,

die ansonsten ungenutzt in die Atmosphäre entweicht. Ein populäres Beispiel hierfür ist das Bundesdeutsche Parlamentsgebäude (Berliner Reichstag).

Neben der Speicherung in Grundwasserleitern ist auch eine Speicherung in gering ergiebigen Horizonten über ein geschlossenes Sondensystem möglich. In Neckarsulm befindet sich ein Erdsondenfeld als Hochtemperaturspeicher in der Erprobung. Praktische Anwendung im öffentlichen Alltagsleben findet die Speicherung von Wärme bereits in der Schweiz. Dort werden zum Beispiel mit saisonal gespeicherte Solarwärme Autobahnbrücken im Winter eisfrei gehalten.

Die Speicherung von Wärme und Kälte im Untergrund setzt konkrete Eigenschaften des Gesteins voraus. Neben einer Mindestmächtigkeit des Speicherhorizontes ist eine geringe Fließbewegung des Grundwassers von entscheidender Bedeutung (Abb. 3).

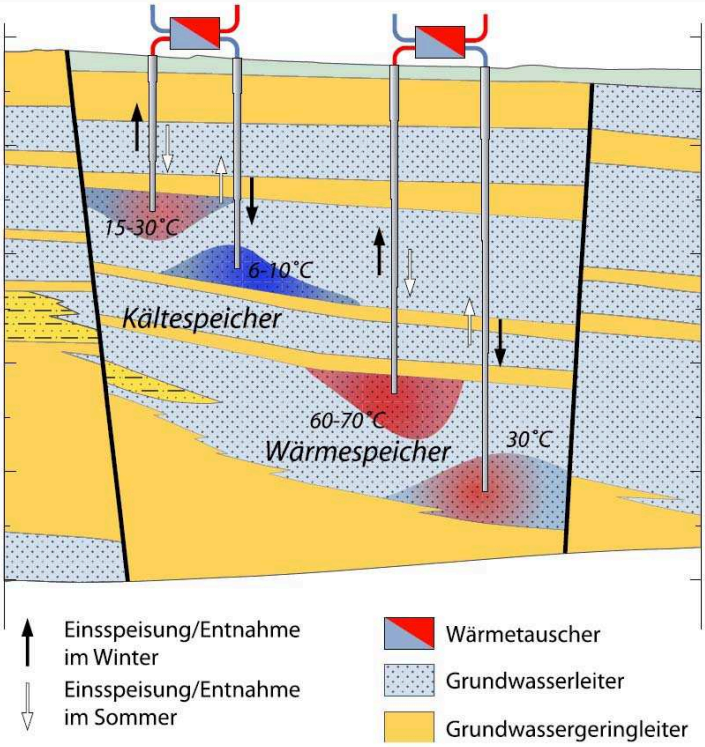


Abb. 3: Wärme- und Kältespeicher (Holl-Hagemeier et al, 2003)

3. Planerische Faktoren bei der Gewinnung von Erdwärme

3.1. Vermeidung von Bohrrisiken

Die Nutzung der oberflächennahen Erdwärme hat in Deutschland im letzten Jahrzehnt einen enorm starken Aufschwung erlebt. Besonders im privaten Neubaubereich werden mit stetig steigender Tendenz Erdwärmesondenanlagen installiert. Dies bedeutet, dass sowohl die Bohrbranche als auch die Genehmigungsbehörden sich in kurzer Zeit auf ein neues Betäti-

gungsfeld einstellen mussten. Während eine Vielzahl von Bohrunternehmen in der Zeit vor dem „Erdwärmesondenboom“ größtenteils Bohrungen im Tiefenbereich von wenigen zehner Metern, zum Beispiel zur Grundwassergewinnung und Lagerstättenerkundung, abteuften, werden heute für die Erdwärmesonden Bohrtiefen bis zu 100 m und mehr als selbstverständlich abgefordert. Hinzu kommt, dass mit der verstärkten Nachfrage zahlreiche neue Unternehmen ohne langjährige Erfahrung im Bohrgeschäft versuchen, sich am Markt zu etablieren. Die leider oft mangelnde Bohrerfahrung, die fahrlässige Unkenntnis über die regionalen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse sowie die natürliche Zunahme von geologischen Gefährdungspotenzialen zur Tiefe hin führen unweigerlich bei der Vielzahl der durchgeführten Bohrungen vermehrt zu Havarien mit unterschiedlichem Ausmaß. Ebenfalls werden mit den größeren Bohrtiefen die Genehmigungsbehörden vor neue Probleme gestellt. Sie benötigen zum Schutz des Grundwassers und zur Erteilung von wasserrechtlichen Genehmigungen zum Betrieb der Erdwärmesondenanlagen nun verstärkt Kenntnisse über den tieferen Untergrund.

Diese Informationen über die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse und Gefährdungspotenziale können die staatlichen Geologischen Dienste bereitstellen. Aus diesem Grund hat zum Beispiel der Geologische Dienst von Nordrhein-Westfalen eine „Karte zur Beurteilung von Standorten zum Einbau und Betrieb von Erdwärmesonden“, die so genannte „Ampelkarte“, entwickelt. Diese Karte weist für die gesamte Landesfläche von Nordrhein-Westfalen Flächen in drei Kategorien aus. Die Kategorien geben Angaben zur Umsetzung von Erdwärmesondenanlagen aus geologischer und hydrogeologischer Sicht bis maximal 100 m Tiefe. Die erste Kategorie (rot) weist Flächen aus, in denen der Einbau und die Nutzung von Erdwärmesonden generell untersagt sind. Hier handelt es sich um Wasser- und Heilquellenschutzzonen I und II. Die zweite Kategorie (gelb) fasst alle Flächen zusammen, in denen im Untergrund mit hydrogeologisch kritischen Verhältnissen zu rechnen ist. Hierzu gehören Gebiete, in denen zum Beispiel ungünstiger Stockwerksbau und unterschiedliche Druckpotenziale in den verschiedenen Grundwasserleitern bis hin zu Grundwasserleiter mit artesischen Druckverhältnissen erwartet werden. Es wird bei der Errichtung von Erdwärmesondenanlagen in diesen Bereichen empfohlen die Bohrtiefen, in denen diese ungünstigen Verhältnisse zu erwarten sind, zu vermeiden oder diese Tiefen nur unter besonderen Auflagen, die jegliches Risiko ausschließen, zu erschließen. Ebenfalls werden Gebiete dargestellt, in denen durch Lösungsprozesse im Untergrund (Verkarstung) mit großen Klüften bis hin zu Hohlräumen gerechnet werden muss. Ergänzend wurden die weiteren Schutzzonen von festgesetzten und geplanten Wasser- und Heilquellenschutzgebiete in der Karte aufgenommen. In den Flächen dieser zweiten Kategorie ist aus hydrogeologischen Aspekten der Einbau und Betrieb von Erdwärmesonden nur unter erweiterten Auflagen empfehlenswert.

In der dritten Kategorie (grün) werden alle Gebiete zusammengefasst, in denen die oben genannten kritischen Verhältnisse im Untergrund nicht zutreffen. In diesen Bereichen erscheint die Installation und Betrieb von Erdwärmesondenanlagen nach dem aktuellen Stand der Technik, nach den gültigen technischen Regelwerken und nach den Vorgaben der Genehmigungsbehörden im Vereinfachten Verfahren als nicht kritisch (Abb. 4).

Abb. 4: Ampelkarte NRW

3.2 Kompetente Auslegung einer Anlage

Für eine energetische Beurteilung eines Standortes hinsichtlich seiner Eignung für Erdwärmenutzung müssen die geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnisse ebenfalls gut bekannt sein, d. h. es müssen Angaben über Art, Mächtigkeit und Verbreitung der Gesteine sowie über Grundwasserflurabstand und Fließ- und Druckverhältnisse des Grundwassers vorliegen.

Die daraus resultierende Kenntnis der lokalen thermischen Eigenschaften des Untergrunds ist eine wesentliche Voraussetzung für die Dimensionierung einer Anlage. Während bei größeren Erdwärmesondenanlagen Probebohrungen, Thermal-Response-Tests und Modellierungen die Regel sind, werden die geothermischen Randbedingungen bei kleinen Anlagen anhand geologischer Vorkenntnisse über Literaturwerte bzw. über die VDI-Richtlinie 4640 abgeschätzt (Tab. 1).

Gestein	Wärmeleitfähigkeit [W /(m K)]
Kies, trocken	0,4 – 0,5
Kies, grundwassererfüllt	ca. 1,8
Kalkstein	2,5 – 4,0
Basalt	1,3 – 2,3

Tab. 1: Wärmeleitfähigkeiten unterschiedlicher Gesteine

Aufgrund deren erfahrungsgemäß großer Variationsbreiten müssen daher bei der Auslegung entsprechende Sicherheiten berücksichtigt werden. Nur wenn diese Informationen vorliegen und man abschätzen kann, wie das Wärmetransportvermögen der Gesteine ist, lässt sich beurteilen, ob der Untergrund überhaupt für eine Erdwärmenutzung geeignet ist und wie viel Wärme dem Untergrund entzogen werden kann, ohne das es langfristig zu einer Auskühlung kommt. Der Fachplaner dimensioniert eine Erdwärmeanlage immer konkret auf den Energiebedarf des zukünftigen Nutzers in Abhängigkeit von dem Energieangebot des Untergrundes am Projektstandort. Eine der wichtigsten Kenngröße in dem Zusammenhang der korrekten Dimensionierung ist die Wärmeleitfähigkeit. Sie ist vereinfacht ausgedrückt ein Maß dafür, wie schnell die entnommene Wärme über die im Untergrund anstehenden Gesteine sowie über das Grundwasser nachgeliefert werden kann. Unterschiedliche Gesteine leiten Wärme unterschiedlich schnell weiter.
Einige Staatliche Geologische Dienste messen bereits routinemäßig an Bohrkernen verschiedener Gesteine Wärmeleitfähigkeiten und spezifische Wärmekapazitäten. Die Messungen werden sowohl an trockenem als auch wassergesättigtem Material durchgeführt.

3.3 Bereitstellung geologischer Fachdaten

Eine Erhöhung der Planungssicherheit für geothermische Anlagen bieten die bei den Staatlichen Geologischen Diensten in einem großen Umfang vorhandenen geologischen Informationen, die unter geothermischen Gesichtspunkten interpretiert und bereitgestellt werden. Welche Informationen in den einzelnen Ländern zur Verfügung gestellt werden, kann der gemeinsamen Internetpräsenz der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands entnommen werden: www.infogeo.de.
Da auch die nordrhein-westfälische Landesregierung bereits im Jahr 2000 große Entwicklungschancen für die Geothermie gesehen hat, hatte sie den Geologischen Dienst NRW

beauftragt, für das gesamte Land NRW eine flächendeckende geothermische Potenzialstudie zu erstellen. Schwerpunkt dieser bundesweit bislang immer noch einmaligen Studie war die Ermittlung des oberflächennahen geothermischen Potenzials bis 100 m Tiefe sowie dessen optimale Nutzung mittels Erdwärmesonden. Die ermittelten Daten beziehen sich auf kleinere Erdwärmeprojekte bis zu einem Wärmebedarf von 30 kW, d. h. auf Ein- und Mehrfamilienhäuser und kleinere Bürogebäude. Für Gebäude mit einem größeren Energiebedarf und / oder einer zusätzlichen Kältenutzung können die in der Studie ermittelten geowissenschaftlichen Grundlagendaten für weiterführende geothermische Modellierungen weiterverwendet werden.

Für die Bewertung des oberflächennahen geothermischen Potenzials bis 100 m Tiefe wurden landesweit Angaben zur Geologie (Lithologie, Stratigraphie, Mächtigkeit, Tektonik) und Hydrogeologie (Flurabstand, Grundwasserführung, relative Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers) herangezogen. Diese Daten liegen im Geologischen Dienst NRW in Form verschiedener Kartenwerke und Datenbanken vor. Zu nennen ist vor allem eine umfangreiche Bohrungsdatenbank mit über 263 000 Schichtenverzeichnissen.

Das Ergebnis ist ein blattschnittfreies digitale Informationssystem im Maßstab 1 : 50 000 auf CD-ROM. Das Informationssystem weist die geothermische Ergiebigkeit des Untergrundes für die Tiefenbereiche 0 bis 40, 0 bis 60 m, 0 bis 80 m und 0 bis 100 m aus.

Auf der CD-ROM kann ausgehend von einer Übersichtsdarstellung Nordrhein-Westfalens jede gewünschte Fläche bis zum Maßstab 1 : 25 000 hochgezoomt werden (Abb. 5).

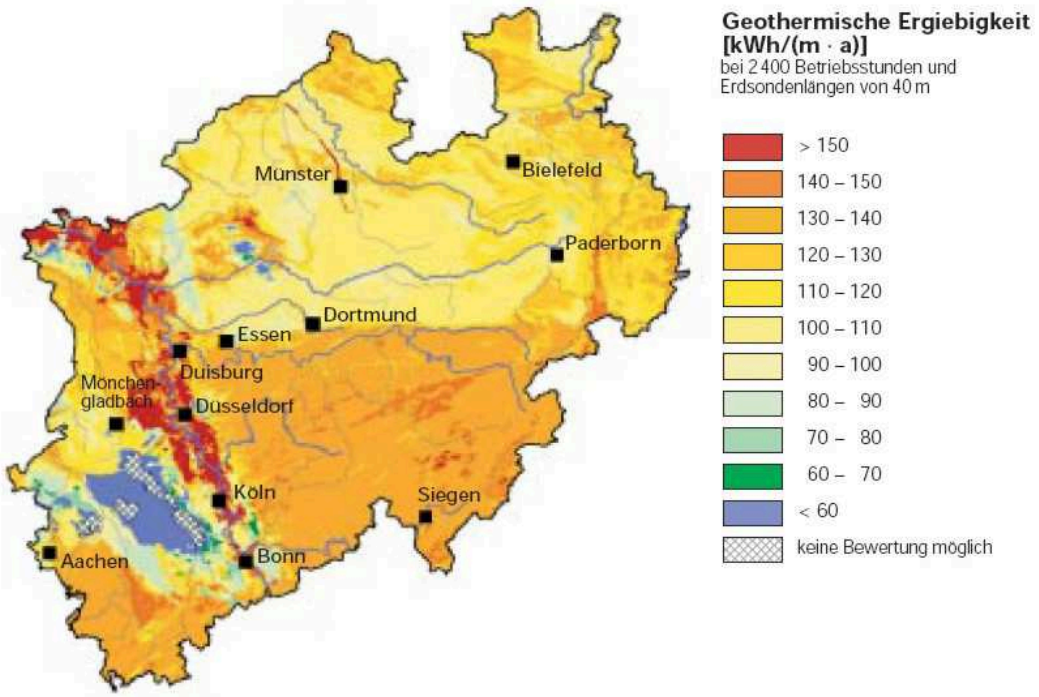


Abb. 5: Geothermische Potenzialkarte NRW

Durch Anklicken einer Fläche können die vorhandenen Untergrunddaten abgefragt werden. Jeder auf der digitalen Karte ausgewiesenen Fläche wurde eine spezifische Bohrsäule mit

wichtigen geologischen und hydrogeologischen Hintergrundinformationen zugeordnet. Weiterhin wird die geothermische Ergiebigkeit für die oben genannten vier Sondenlängen dargestellt.

Wesentliches Ziel war es, ein Instrument zu schaffen, welches die grundsätzliche Eignung von Erdwärme für den privaten Nutzer erleichtert und die Dimensionierung von Erdwärmesonden für Planungsbüros ermöglicht. Des Weiteren wurde dadurch ein schnellerer und verbesserter Zugriff auf die in Form unterschiedlichster Karten und Datenbanken zur Verfügung stehenden geowissenschaftlichen Daten über den Untergrund von Nordrhein-Westfalen bis zu einer Tiefe von 100 m ermöglicht (Abb. 6).

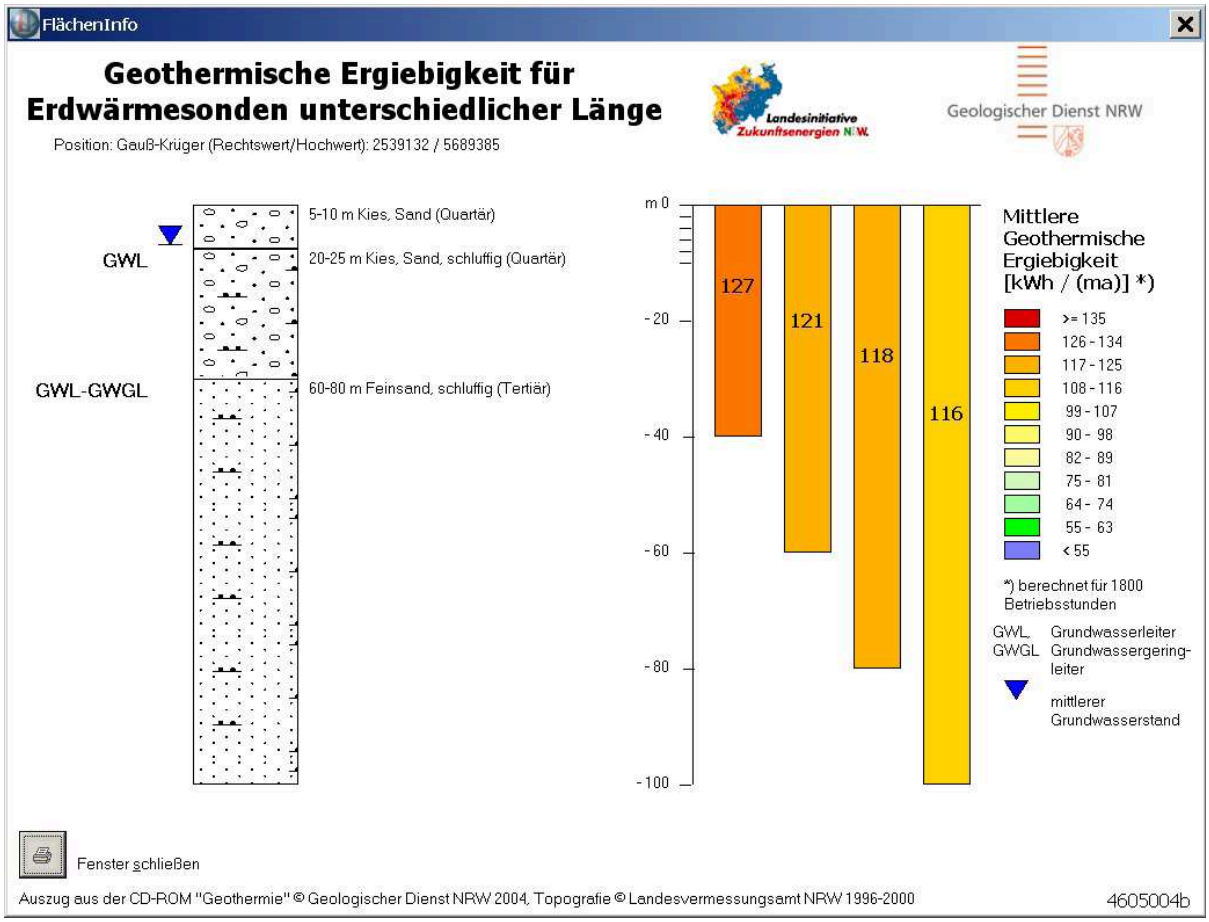


Abb. 6: Standortinformation aus der CD-ROM „Geothermie“

Zusammenfassung

Die technischen Möglichkeiten der Erdwärmenutzung reichen von der Versorgung einzelner Einfamilienhäuser mittels der oberflächennahen Erdwärme bis hin zur Nutzung von Temperaturen deutlich über 100 °C aus Tiefen bis 5 000 m zur Versorgung großer Energieabnehmer mit Wärme und Strom durch Tiefengeothermie. Der Einsatz geothermischer Technologien und die Gewinnung von Erdwärme setzen eine gute Kenntnis der lokalen geologischen Untergrundverhältnisse sowie eine enge Zusammenarbeit zwischen Geowissenschaftlern, Verfahrenstechnikern und Ingenieuren voraus. Hierbei ermöglicht die Aufbereitung geowissenschaftlicher Daten durch die Staatlichen Geologischen Dienste regionale Gebietsbewertungen und damit Machbarkeits-, aber auch Risikoabschätzungen.

Geologischer Dienst
Nordrhein-Westfalen
-Landesbetrieb-
De-Greiff-Str. 195
47803 Krefeld

E-Mail: ingo.schaefer@gd.nrw.de.

Dr. Henning Bombien
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover

Geologische 3D-Modellierung in Niedersachsen und dem deutschen Nordsee-Sektor

Im Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) wird seit einigen Jahren das Thema der geologischen 3D-Modellierung bearbeitet. Erste Arbeiten wurden seit Mitte der 1990iger Jahre im Rahmen der geologischen Landesaufnahme und in einem Projekt mit der Wirtschaft für den Bereich der quartären Lockersedimente durchgeführt.

Seit Oktober 2007 werden die im Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland (GTA) veröffentlichten Informationen (KOCKEL et al. 1995, BALDSCHUHN et. al. 2001) für den tieferen Untergrund Niedersachsens in ein 3D-Modell umgesetzt, seit Anfang 2009 wird im Rahmen des Projektes Geopotenzial deutsche Nordsee (GPDN) der GTA dreidimensional modelliert.

Der Geotektonische Atlas wurde in den 1970er und 1980er Jahren von der BGR unter der Leitung von F. Kockel auf der Grundlage von Seismik- und Bohrungsdaten der Erdöl- und Erdgasindustrie erarbeitet. Hier werden 14 stratigraphische Horizonte in Struktur- und Strukturentwicklungskarten, paläogeographischen Karten, Profilschnitten, etc. dargestellt. Nach Fertigstellung erfolgte eine Freigabe durch die KW-Industrie (WEG) für den Maßstab 1:300.000 und eine Veröffentlichung durch die BGR. Dieser Atlas stellt ein einzigartiges zweidimensionales Informationswerk dar, das zwar bereits intensiv genutzt wird, dessen Möglichkeiten aber bei weitem noch nicht ausgeschöpft wurden.

Die Umsetzung des GTA in ein dreidimensionales Modell (GTA-3D, Abb. 1) vereinfacht die Nutzung der enthaltenen Informationen deutlich und bietet stark verbesserte Auswertungsmöglichkeiten. Dies wird zukünftig für viele Fragen, die den Untergrund betreffen (CO_2-Lagerung, tiefe Geothermie, Kavernenbau, etc.), von besonderer Bedeutung sein. Entscheidende Vorteile des 3D-Modells gegenüber der jetzt verfügbaren Version sind ein stringent geprüfter Datensatz, der effizient aktualisierbar ist, eine einfach verfügbare Visualisierung der geologisch-tektonischen Verhältnisse und die Möglichkeit zur Quantifizierung der dargestellten Verhältnisse (z.B. Volumen- oder Flächenermittlung).

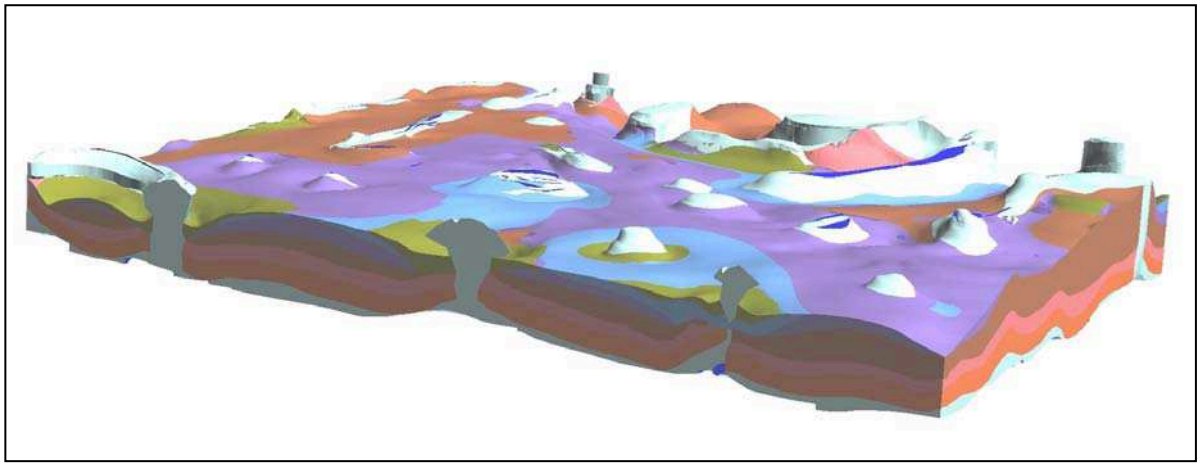


Abb. 1: Ausschnitt aus dem 3D-Modell für Niedersachsen auf Grundlage des geotektonischen Atlas.

Ein wesentliches Ziel der Arbeiten ist, Auswertungsergebnisse von 3D-Modellen ohne spezielle Software oder besondere Kenntnisse in einem Browser über das Internet für den Nutzer verfügbar zu machen. Dies wurde zunächst für beliebig wählbare geologische Schnitte und „virtuelle“ Bohrungen realisiert. In einem komplexen Vorgang werden die 3D-Modelle aufbereitet und für die Auswertungen bereitgestellt. Die vom Nutzer über den Browser angeforderten Schnitte bzw. Bohrungen werden entsprechend der räumlichen Lage zusammengestellt und dann in kartographisch aufbereiteter Form als Bild über das Internet zur Verfügung gestellt (Abb. 2). Diese Anwendung steht im Kartenserver des LBEG zur Verfügung (http://nibis.lbeg.de/cardomap3; -> Fachanwendungen – „Auswertung 3D-Modell“).

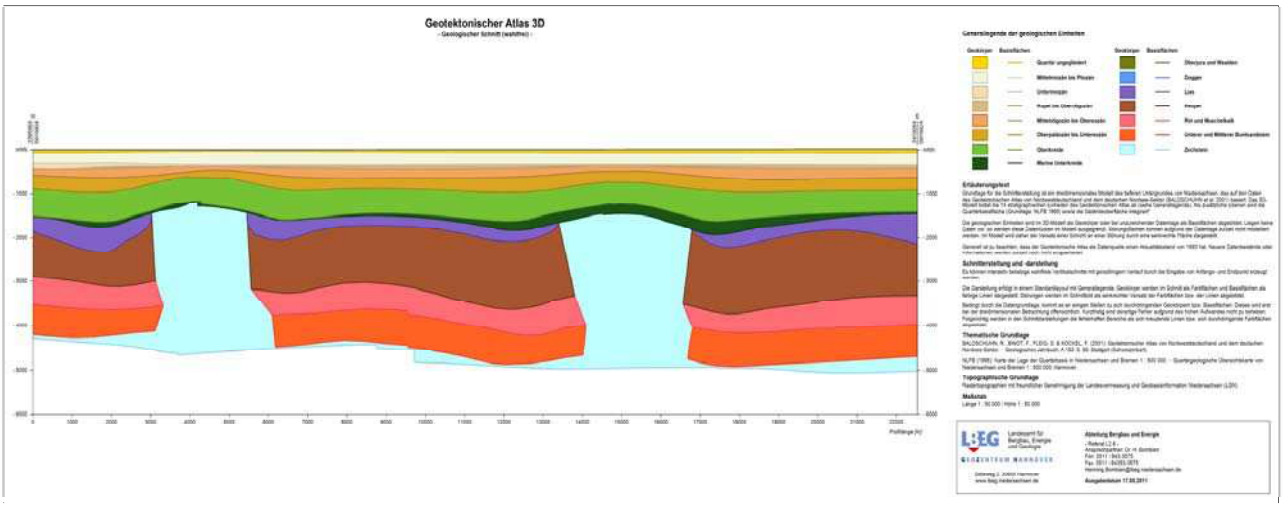


Abb. 2: Ergebnis eines frei wählbaren Schnittes durch das 3D-Modell des tieferen Untergrundes von Niedersachsen.

Die stratigraphische Reichweite des Geotektonischen Atlas umfasst die Zeitspanne vom Zechstein bis zum Tertiär. Zusätzlich wurden die Quartärbasis- und die Geländeoberfläche in den Datenbestand integriert.

Quartär kann noch nicht differenziert dargestellt werden. Seit 2010 wird an der 3D-Modellierung der quartärzeitlichen Lockergesteine für Niedersachsen gearbeitet. Hier gilt es zunächst, entsprechende Grundlagen (Bohrungsinterpretationen, Schnittkonstruktion) zu schaffen und bereits vorhandene 3D-Modelle zu sichten, zu prüfen und weiter zu entwickeln. Für den deutschen Nordseesektor werden die quartärzeitlichen Lockersedimente im Rahmen des GPDN-Projektes bearbeitet.

Literatur

BALDSCHUHN, R., BINOT, F., FLEIG, S. & KOCKEL, F. (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor: Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie. - Geol. Jb., A153: 88 S.; Stuttgart (Schweizerbart).

KOCKEL, F., BALDSCHUHN, R., BEST, G., BINOT, F., FRISCH, U., GROSS, U., JÜRGENS, U., RÖHLING, H.-G., SATTLER-KOSINOWSKI, S. (1995): Structural and palaeogeographical development of the german north sea sector. - Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde, 96 S.; Berlin - Stuttgart (Gebrüder Bornträger)

Dr. Henning Bombien

Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie (LBEG)
im GEOZENTRUM HANNOVER
Stilleweg 2
30655 Hannover

E-Mail: henning.bombien@lbeg.niedersachsen.de

Dipl.-Ing. Ingolf Arnold
Vattenfall Europe Mining AG

Einsatz von Dichtwänden im Lausitzer Braunkohlenbergbau

Im Bauwesen gehört die Errichtung von Dichtwänden zur geübten Praxis, wenn es um tiefe Gründungen in einem von Grundwasser durchflossenen Baugrund geht. Tiefgaragen mit mehreren Etagen unter der Erde sind ohne das Errichten von Dichtwänden kaum noch vorstellbar. Als Technik gelangen hier überwiegend so genannte Schlitzgreifer zum Einsatz und als dichtendes Material werden schnell härtende und rissfreie Spezialbetone eingesetzt. Die Dimensionen solcher Dichtwände sind dem Bauwerk angepasst und erreichen kaum Längen von 1000 m, Teufen von einigen Metern bis zu 50 m gehören heute zum Alltag.

Im Bergbau ist der Einsatz von Dichtwänden noch relativ jung. Im Lausitzer Bergbau begann die Geschichte vor etwa 40 Jahren, getrieben durch eine zunächst ganz andere Idee. Es sollte ein Gerät entwickelt werden, mit welchem man von Übertage aus das Braunkohlenflöz Untertage abbauen konnte. Über zwei parallel in die Erde bis zum Kohleflöz eingebrachte Schlitze wollte man diese im Flözniveau miteinander verbinden. Mittels unterirdischen Hobels sollte die Kohle jeweils zu den Schlitzen befördert und von da nach Übertage ausgebracht werden. Dass diese Idee, abgeschaut im Untertagebergbau der Steinkohle oder des Kupferschieferabbaues im Mansfeldischen, nicht umsetzbar, besser unrealistisch war bei den konkreten hydrogeologischen Verhältnissen in der Lausitz, leuchtet wohl jedem ein. Die Forscher hinterließen damals jedoch ein interessantes auf Schienen fahrbares Bergbaugerät, mit welchem man, wie es im Bergbau üblich ist, kontinuierlich einen Schlitz bis in Teufen von 50 m auffahren konnte (Abb. 1).

Zur gleichen Zeit, also ebenfalls vor etwa 40 Jahren, erfolgten die Planungen zum Tagebau Jänschwalde. Durch die Republik Polen wurden erhebliche Schadensersatzforderungen an die deutsche Seite angekündigt für den Fall, dass auf polnischer Seite das Grundwasser erheblich beeinflusst werden sollte. Dies aber konnte man bei einer Annäherung des Tagebaues auf minimal 300 m an den Grenzfluss Neiße nicht verhindern.

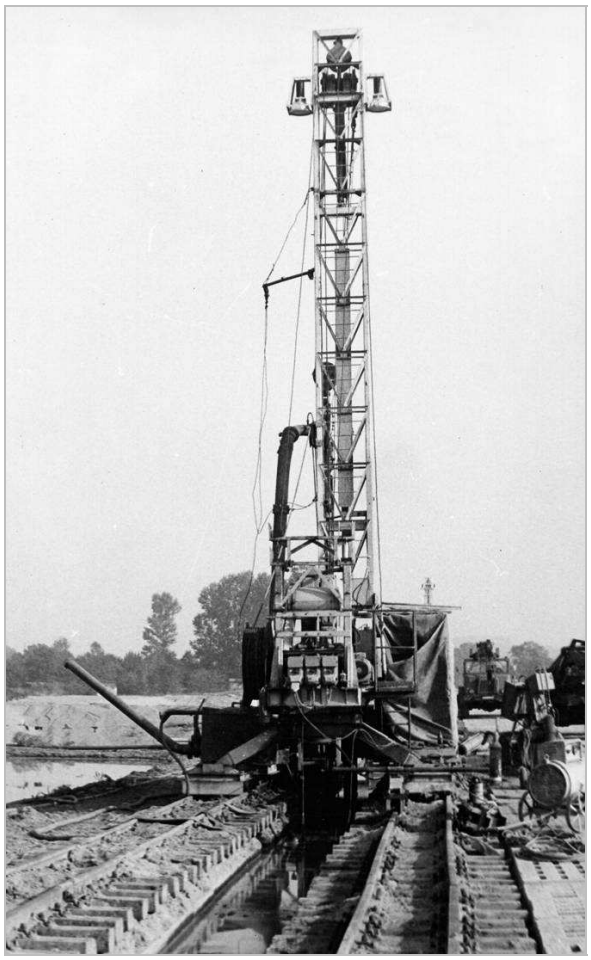


Abb. 1: Prototyp Schlitzfräsgerät SF.

Wer damals den genialen Einfall hatte, diesen Gerätetorso umzufunktionieren, um damit eine Dichtwand zu bauen, ist nicht überliefert. Innerhalb von wenigen Jahren wurde eine Technik und Technologie entwickelt, die es bislang nirgends auf der Welt gab.
Ziel war, zwischen dem Tagebau Jänschwalde und dem Grenzfluss Neiße eine bis zu 10 km lange und bis zu 85 m tiefe Dichtwand zu bauen, um polnisches Hoheitsgebiet weitestgehend vor den Folgen der tagebaubedingten Grundwasserabsenkung zu schützen.
Eines der damals wichtigsten Forschungsergebnisse war die Entwicklung einer sicheren und auch wirtschaftlichen Technologie zur Herstellung der Dichtwände. Was jeden Bohrer ärgerte, nämlich die Bildung von Kolmationskrusten im Bohrloch, machte man sich einfach zunutze und strebte eine Technologie an, bei der sich ganz bewusst an beiden Seiten des Erdschlitzes vertikal durchgehende Kolmationskrusten als eigentlicher Dichtstoff bildeten.
Erreicht wird das dadurch, dass der Wasserspiegelunterschied zwischen anstehendem Grundwasser und dem mit Tonspülung vollgefüllten Schlitz mindestens 10 % der Dichtwandteufe beträgt. Gegebenenfalls muss das Grundwasser während der Bauphase temporär abgesenkt werden. Mit einer Spülungs-dichte um Rho = 1,2 und dem hydraulischen Überdruck

im Schlitz wird dabei nicht nur der Schlitz selbst stabilisiert, sondern - durch Infiltration der Wasser-moleküle aus dem Schlitzinneren ins Gebirge lagern sich die Tonblättchen als wasserundurchlässige Kruste an beiden Seiten des Schlitzes ab (Abb. 2).

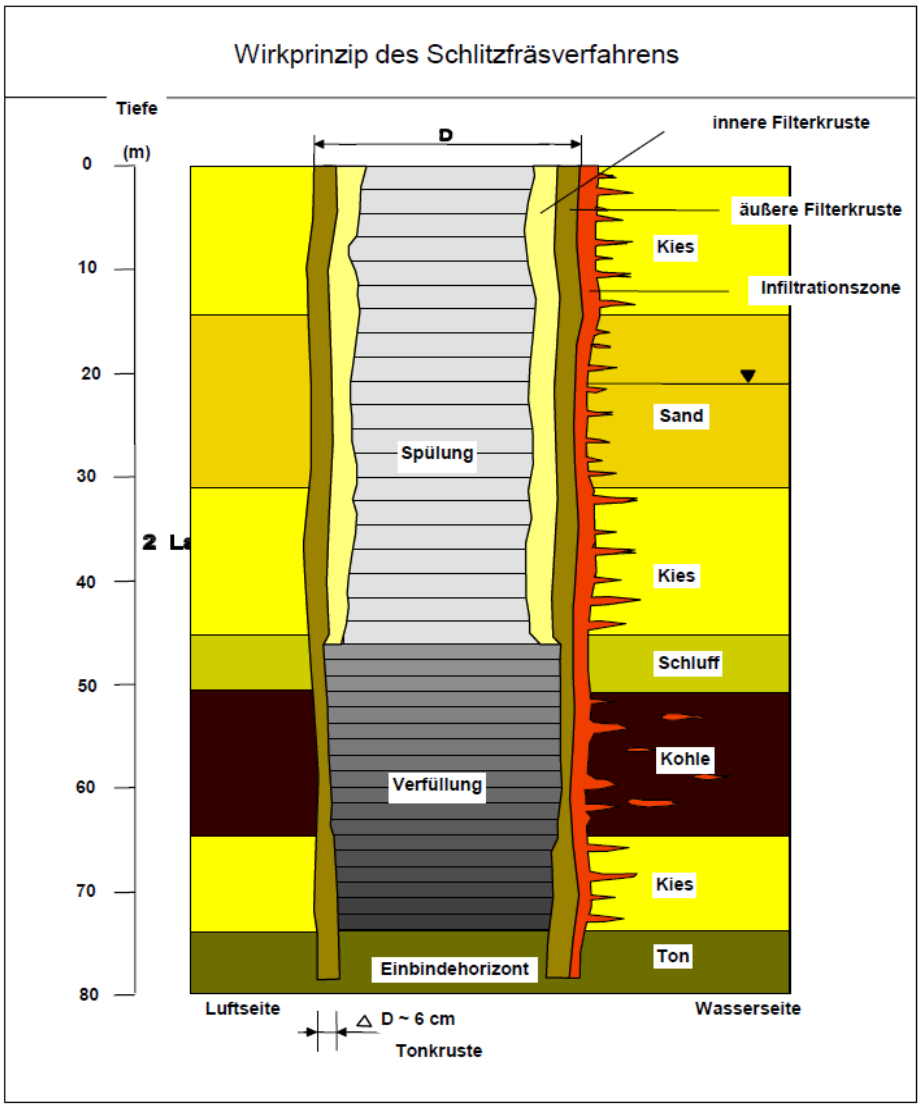


Abb. 2: Wirkprinzip der Entstehung von Tonkrusten.

Regelmäßig wird aufbereitetes Tonmehl mit dem Hauptmineral Illit aus der Nähe von Neubrandenburg geliefert und unter Zugabe von Wasser mittels Rührwerken auf die geforderte Qualität gebracht. Dies ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal in der gesamten Prozesskette. Ständig muss Tonsuspension nachgefüllt werden, um den Spülungsspiegel und geforderte Dichte konstant zu halten. Das Wachstum der Tonkrusten endet mit einer Dicke von 3 bis 4 cm nach 15 bis 20 Stunden; dann geht kein Wasser mehr hindurch und die Tonkruste kann demzufolge nicht mehr weiter wachsen. Was so einfach klingt, war schwer zu entwickeln und

verlangt auch heute noch alle bergmännischen Anstrengungen (Abb. 3). Ab 1979 begann die Erfolgsgeschichte mit dem Gerät SG 73 (Abb. 4).

Abb. 3: Aufgegrabener Schlitz Dichtwand Jänschwalde

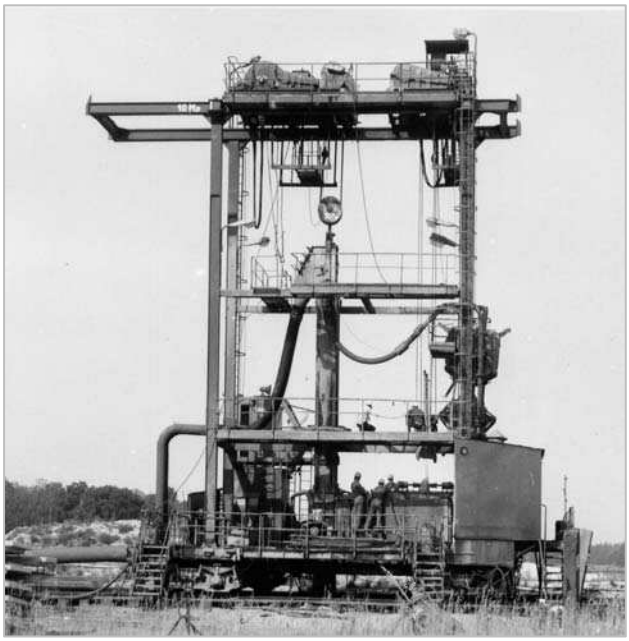


Abb. 4: SG 73

Es folgten zwei baugleiche Geräte vom Typ SG 100 (Abb. 5), wobei die Zahl 100 für die technisch erreichbare Teufe steht.

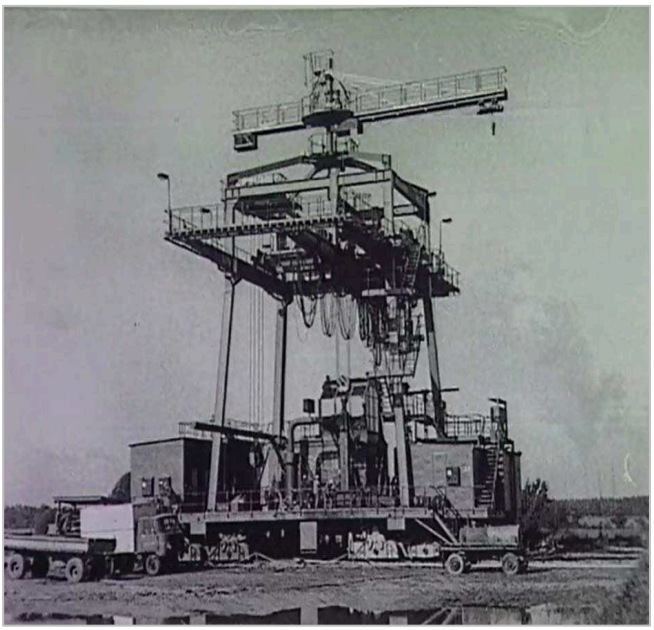


Abb. 5: SG 100

Praktisch erreicht wurden mit Mühe 85 m, denn nicht die zu bewältigenden Lasten sind das Entscheidende, sondern es muss der Gesamtprozess bis hin zur Ausbildung der Tonkruste zuverlässig funktionieren. An der Baustelle Jänschwalde arbeiten zeitgleich alle 3 Geräte, um den nötigen Vorsprung vor der entwässernden Wirkung des nachrückenden Tagebaues zu sichern. Eines der Geräte war bis zur Ablösung durch eine neue Gerätegeneration im Jahr 1998 im Einsatz und es wurden verschiedenste Hindernisse gemeistert, wie im folgenden Bild zu sehen ist (Abb. 6).

Abb. 6: „Durchfahrt“ des SG 100/2 nahe Grießen

Das neue Gerät SFG LW 120 war von Beginn an ein Erfolg; es erreichte die 3-fache Leistung der Vorgängertypen, vollendete die Dichtwand Jänschwalde am Kilometer 10.8, hat am Tagebaurand Cottbus-Nord 5,5 km Dichtwand mit Teufen um 72 m hergestellt und ist jetzt im sächsischen Tagebau Reichwalde im Einsatz (Abb. 7).

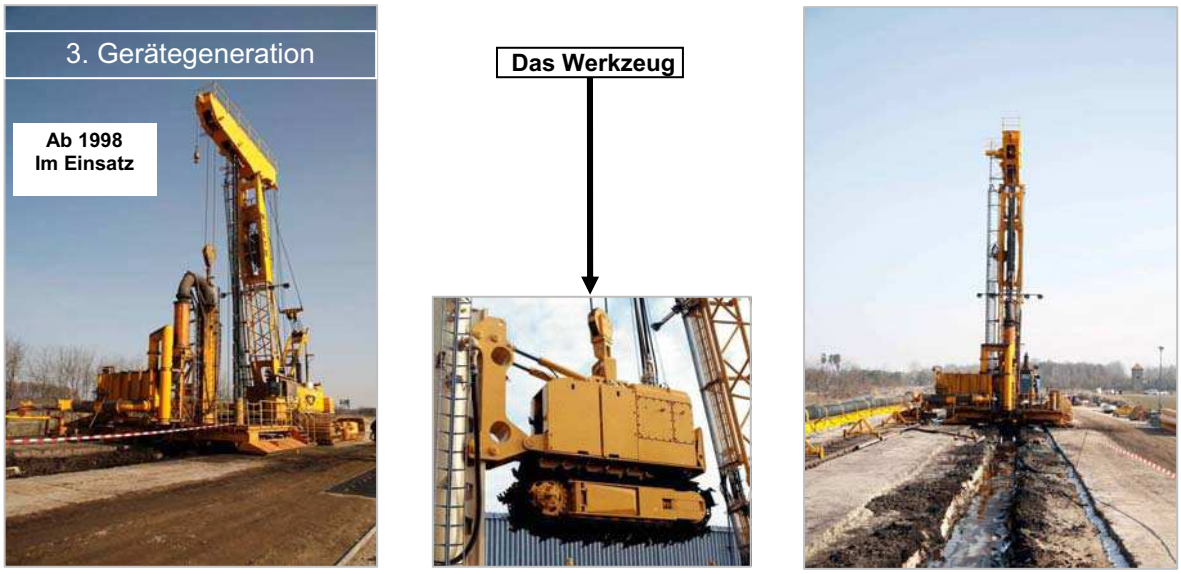


Abb. 7: SFG LW 120 im Einsatz am Tagebaurand Reichwalde

Längst ist der Begriff Dichtwand zu einem Umweltsynonym des Lausitzer Braunkohlenbergbaues geworden. Und überall dort, wo es aus Umweltgründen geboten ist und wo zugleich die natürlichen geologischen Gegebenheiten dies ermöglichen, wird der Bau von Dichtwänden geprüft und bei positivem Ergebnis umgesetzt. Neben einer Vielzahl von Prüfkriterien gehören nachfolgende 2 Kriterien mit zu den wesentlichsten:

1. Es muss im geologischen Untergrund ein weitestgehend horizontal abgelagerter und flächenhaft lückenlos verbreiteter grundwasserundurchlässiger Sedimentkörper lagern, in den die vertikal herzustellende Dichtwand mindestens 1 m eingebunden werden kann. Und dieser Sedimentkörper muss sich in einer Teufe befinden, bis zu welcher man sicher eine Dichtwand abteufen kann.

2. Der Schutz des Grundwassers allgemein bzw. der Objektschutz (z.B. kommunale Wasserwerke, FFH- Gebiete u.v.m.) können mit anderen wirksamen Maßnahmen nicht ausreichend erreicht werden.

In der Öffentlichkeit entbrennt über diese Kriterien häufig ein Streit, welcher selten sachlich geführt wird. Es soll an dieser Stelle deshalb klargestellt werden: Die Entscheidung für oder gegen eine Dichtwand ist eine gesamtunternehmerische Entscheidung. Der Einsatz hoher finanzieller Mittel muss im Interesse der Umwelt und des Unternehmens nachhaltig sein. Bekanntlich errichtet man mit den Dichtwandgeräten - illustriert am Beispiel eines Topfes - nur die Topfwand, der Topfboden dagegen muss von der Natur bereitgestellt werden. Nur dann entfaltet die Dichtwand ihre volle Wirkung. Wird die Dichtwand durch einen fehlenden Einbindehorizont unterströmt, ist sie für den bestimmungsgemäßen Gebrauch nicht geeignet. Dies ist der große Unterschied zum Einsatz im Bauwesen, wo nach Errichten der Dichtwand, dem Abpum-pen des Grundwassers und der Herausnahme der Bodenschichten eine wasserdichte Bodenplatte gegossen wird.

Einer neuen Herausforderung musste sich Vattenfall stellen, um das Nebeneinander zwischen aktivem und Sanierungsbergbau zu ermöglichen. Bekanntlich entstehen aus den infolge der Umstrukturierung der ostdeutschen Braunkohle vorgenommenen Stilllegungen vieler Tagebaue neue Tagebauseen. Die Lausitzer Seenkette zwischen Senftenberg und Hoyerswerda wird einmal die größte künstlich hergestellte Seenlandschaft in Deutschland sein (Abb.8).

Abb. 8: Luftbild der Lausitzer Seenlandschaft

Der leistungsstärkste Tagebau von Vattenfall, der Tagebau Welzow-Süd, wird sich diesem fast vollständig gefluteten Seen-Land in den nächsten Jahren bis auf etwa 800 m nähern. Nur die Errichtung einer Dichtwand auf 10 km Länge kann hier ein konfliktfreies Nebeneinander gewährleisten. Problematisch ist jedoch ein geeigneter Einbindehorizont, welcher sich hier erst in Teufen um 90 bis 120 m befindet. Zudem muss die Dichtwand größtenteils in einer im Quartär durch Erosion entstandenen pleistozänen Rinne geführt werden, in welcher neben Geschiebemergel auch mächtige glazilimnische Beckenbildungen abgelagert sind (Abb.9). Gerade das Durchteufen bindiger Sedimente war und ist eine Schwachstelle der bisherigen Geräte, wo mittels umlaufenden Fräsketten das Gebirge gelöst wird.

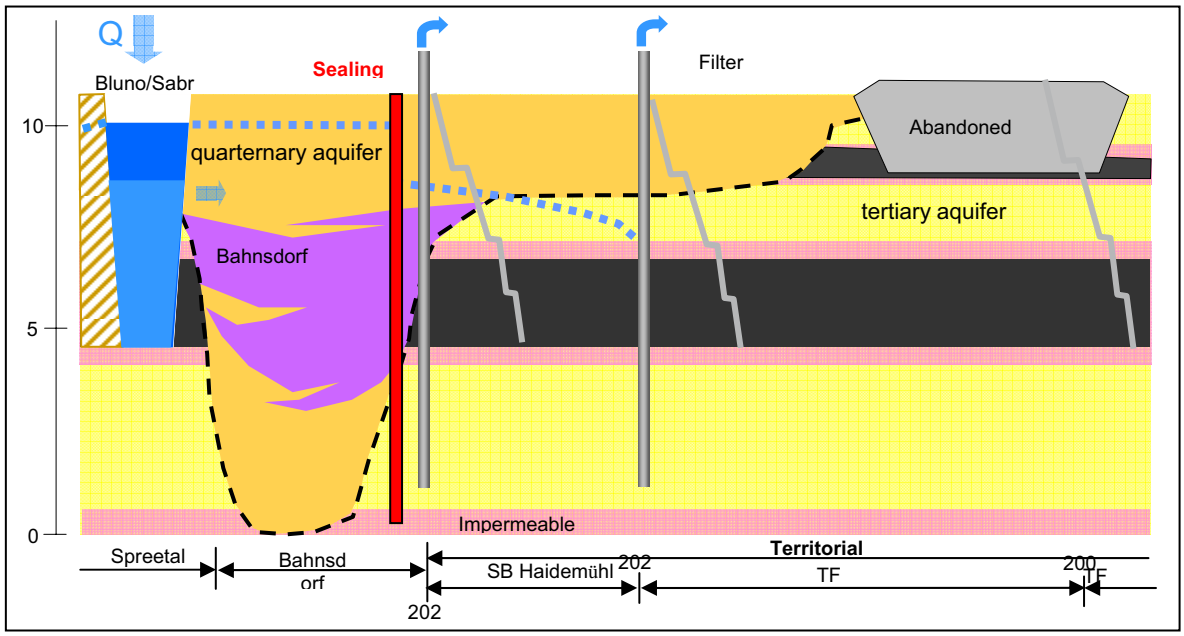


Abb. 9: Profil-Schnitt von Süd nach Nord durch die Bahnsdorfer Rinne

In der Firma BAUER aus dem süddeutschen Schrobenhausen konnte ein Partner gefunden werden, der auf dem Gebiet des Spezialtiefbaues weltweit zu den Spitzenfirmen gehört. In nur reichlich 18 Monaten von der Auftragserteilung bis zur Vor-Ort-Montage wurde eine neue Gerätegeneration geliefert, die das Herstellungsprinzip nach Vattenfall mit dem Know How von BAUER kombiniert. Das Gerät heißt SFG VB 130, wobei V für Vattenfall, B für BAUER und 130 für die technisch erreichbare Teufe steht. An einem kalten Oktobertag 2010 wurde das Gerät angeliefert und zum Einsatz gebracht (Abb. 10).

Abb. 10: Anlieferung des Hauptgerätes SFG VB 130 im Oktober 2010

Nach nur einem halben Jahr Einsatzzeit lässt sich das Fazit ziehen, dass man mit diesem Gerät sicher Teufen um die 110 m herstellen kann und die an das Gerät gestellten wirtschaftlichen Forderungen erfüllt werden (Abb. 11).

4. Gerätegeneration

Startschacht auf 110 m Teufe
Fräsbeginn: 25.11.2010

Abb. 11: Schlitzfräsgerät SFG VB 130 am Einsatzort

Die Dichtwandtechnik hat mittlerweile eine Reife, die es erlaubt, in deutlich größerem Umfang als bisher Dichtwände zu errichten. Dies ist auch notwendig, um den strengen Bedingungen des europäischen und nationalen Umweltschutzes an den Bergbau Rechnung zu tragen. Der Vattenfall-eigene Entwässerungsbetrieb, welcher als Spezialgewerk auch die Dichtwände herstellt, wird künftig mit vier Geräten zeitgleich an zwei Dichtwandprojekten arbeiten. Schon jetzt ist klar, dass eine der Zulassungsvoraussetzungen zur Genehmigung von Tagebauerweiterungen der Bau von Dichtwänden sein wird. In der letzten Abbildung (Abb. 12) ist das Gesamtkonzept der Dichtwände dargestellt.

Realisierte Objekte

Tagebau	Länge in m	Tiefe in m	Technologie
Jänschwalde	10 740	52 - 85	Schlitzfräs-verfahren
Cottbus-Nord	7 100	51 - 72	1 500m Schlitz-greiferverfahren 5 600m Schlitz-fräsverfahren
Berzdorf	5 500	25 - 65	Schlitzgreifer-verfahren
Rüdersdorf	210	35 - 45	Schlitzfräs-verfahren

Bau und Planung
(Dichtwandherstellung im Schlitzfräsverfahren)

Tagebau	Länge in m	Tiefe in m	Bau/Planung
Reichwalde	12 000	37 - 120	im Bau
Welzow-Süd TA 1	10 600	95 - 120	im Bau
Welzow-Süd TA 2	6 000	90 - 110	in Planung
Nochten Abbaufeld 2	9 600	115 - 150	in Planung
Jänschwalde Nord	20 000	65 - 120	in Planung

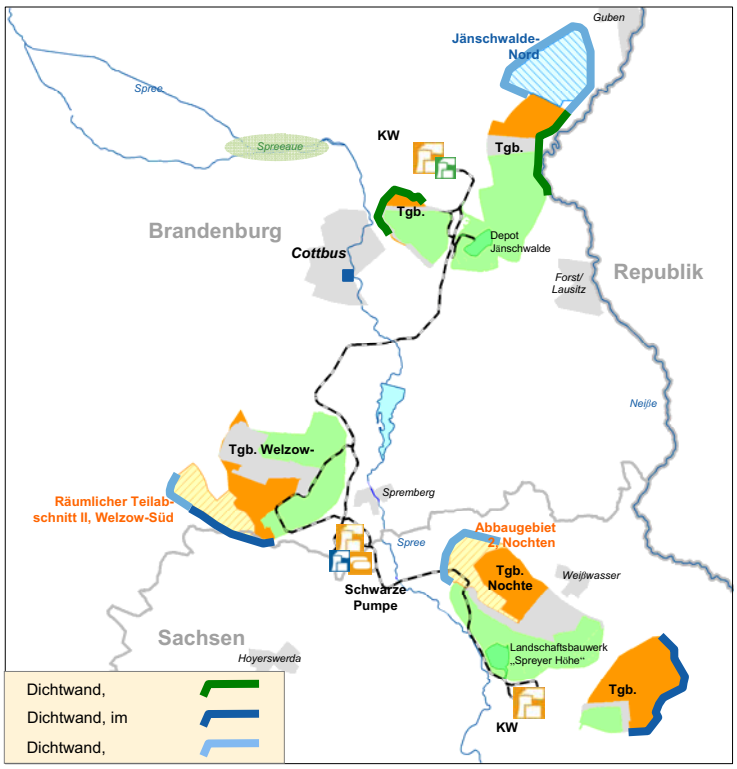


Abb. 12: Dichtwandkonzept von Vattenfall, Stand Februar 2011

Häufig wird die Frage gestellt, was mit den Dichtwänden nach Beendigung des Bergbaues und abgeschlossenen Grundwasserwiederanstieg passieren soll. Hierauf gibt es zwei unterschiedliche Antworten. In vielen Fällen wirkt die Dichtwand nachbergbaulich weiter als grundwassersteuerndes Element und überall dort, wo sie von Nutzen ist, bleibt sie erhalten. Überall dort, wo ihre stauende Wirkung sich dem sich wiedereinstellenden Grundwasserfluss entgegen stellt, wird sie in den oberen Bereichen perforiert. Hier ist es ausreichend, alle 80 bis 150 m mittels Großlochbohrer das Dichtwandmaterial bis in Teufen von 30 m auszubohren und anschließend wieder mit Kies zu verfüllen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass diese in der Lausitz entwickelte Innovation seinesgleichen auf der Welt sucht und vielleicht über kurz oder lang Nachahmer finden wird.

In diesem Sinne allen ein herzliches Glückauf

Dipl.-Ing. Ingolf Arnold

Vattenfall Europe Mining AG
Vom-Stein-Str. 39
03050 Cottbus

E-Mail: ingolf.arnold@vattenfall.de

Prof. Dr. rer. nat. habil. Uwe Grünewald
Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Nutzung von Tagebauseen für ein verbessertes Hochwasserrisikomanagement in den Einzugsgebieten

1. Das Hochwasserjahr 2010 aus regionaler Sicht und der Kreislauf von Hochwasservorsorge und -bewältigung

In den bergbaulich beeinflussten Einzugsgebieten der Neiße, der Spree und der Schwarzen Elster kam es im Jahre 2010 zu einer Ballung von Hochwasserereignissen. Viele der betroffenen Einwohner waren überrascht und verbittert, viele der zuständigen Behörden und Dienststellen waren überrascht, stark gefordert, manche auch überfordert. Waren doch diesmal vor allem Regionen betroffen, die z. B. im Hochwasserjahr 2002 im Elbegebiet nicht oder kaum in Mitleidenschaft gezogen waren. Wieder gab es Tote und erhebliche Schäden. Im Freistaat Sachsen z. B. summierten sich die hochwasserbedingten Gesamtschäden im Jahr 2010 auf „deutlich über 900 Mio. Euro“ (SACHSEN.DE, 12.11.2010). Wieder hagelte es Klagen und Schuldzuweisungen zwischen den verschiedenen Betroffenen, Institutionen und Akteuren z. B. über mangelnde bzw. mangelhafte (grenzüberschreitende) Vorwarnungen und Vorhersagen, unzureichende Bemessung und hochwassergerechte Ausführung technischer Anlagen, mangelhafte Pflege und Unterhaltung von Deichen, unzureichende technische und finanzielle Unterstützung während und nach dem Schadereignis, mangelhafte (Eigen-)Vorsorge im kommunalen und privaten Bereich.

Wieder reklamierten betroffene und aufgebrachte Bürger den von Medien und Politikern immer wieder versprochenen Hochwasserschutz, obwohl spätestens nach der Ballung von „Vb-wetterlagenartig verursachen Hochwasserereignissen“ z. B. im Juli 1997 an der Oder, im Mai 1999 an der Donau, im Juli 2001 an der Weichsel, im August 2002 an Elbe und Donau, im August 2005 an der Donau, im Mai 2010 an der Oder und Weichsel klar sein müsste, dass es einen solchen (absoluten) „Schutz“ überhaupt nicht geben kann.

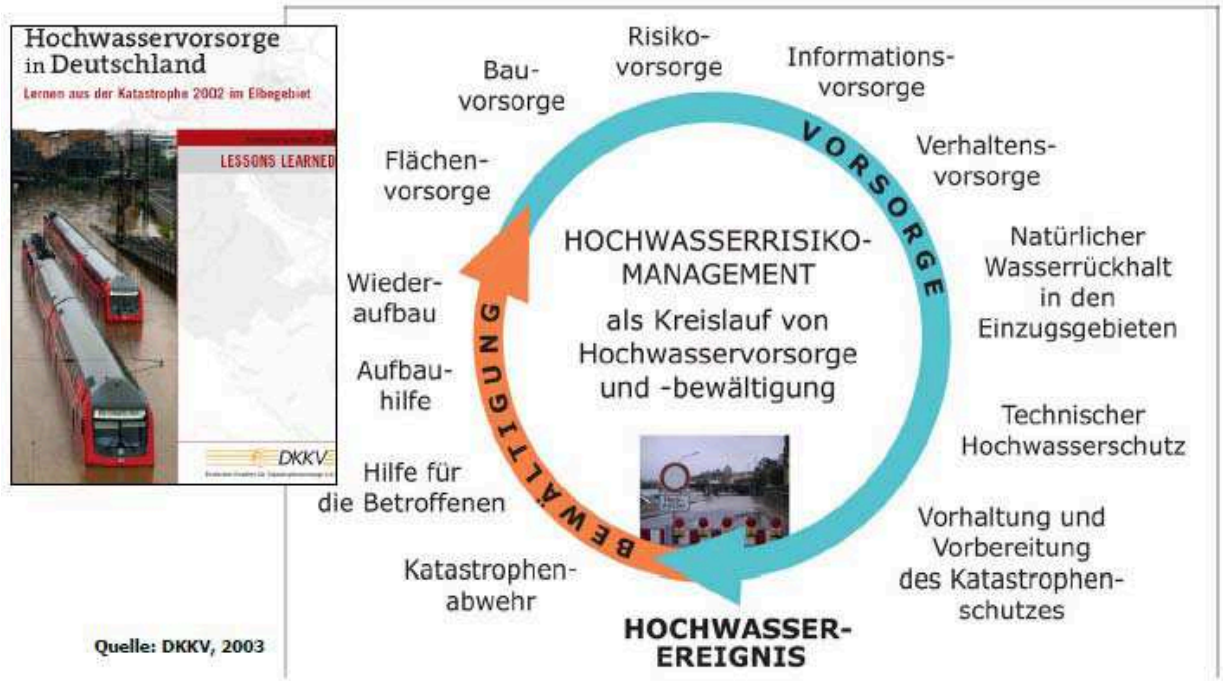


Abb. 1: Hochwasserrisikomanagement – Kreislauf von Hochwasservorsorge und - bewältigung (DKKV 2003)

Mehr als deutlich wurde in den Fachmedien herausgearbeitet, dass dem traditionellen Hochwasser**schutz**versprechen eine Risikokultur entgegenzusetzen ist, die sich der permanenten Bedrohung durch Naturereignisse wie Hochwasser bewusst ist. Ein solches „Hochwasser**risiko**management“ ist, wie es inzwischen auch die Europäische Union im Rahmen der „Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie“ (EG 2007) für ihre Mitglieder verbindlich festgelegt hat, nur in der Einheit von Hochwasser**vorsorge** und –**bewältigung** (DKKV 2003) übersektoral und interdisziplinär (GRÜNEWALD 2005) zu bewältigen (Abb. 1).

2. Rahmen- und Randbedingungen für die Nutzung von Tagebauseen für die Hochwasservorsorge

Inzwischen hat erfreulicherweise die für die sechzehn deutschen Bundesländer mit jeweils eigenen Wassergesetzen agierende „Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser“ **(LAWA)** im März 2010 Empfehlungen zur Umsetzung von (EG 2007) gegeben und dort einen **„Hochwasserrisikomanagement (HWRM)-Zyklus“** entwickelt, der diese Philosophie vollständig aufgreift und für die Aufstellung der HWRM-Pläne weiterentwickelt (Abb. 2).

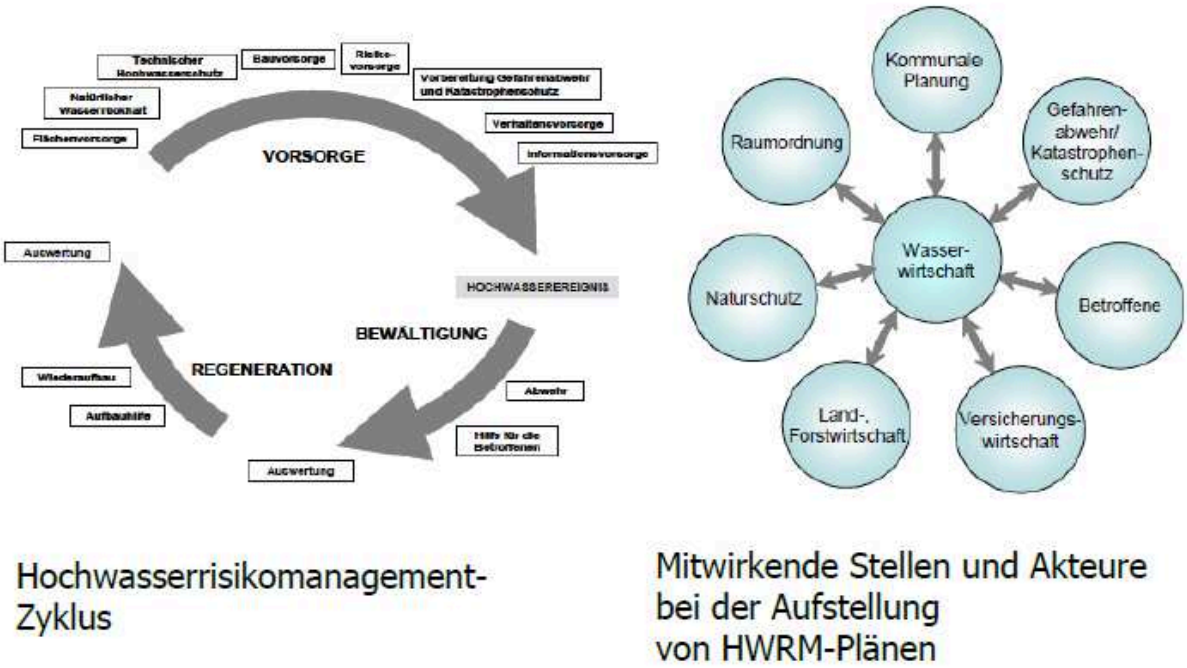


Abb. 2: Akteursvielfalt und Ressortzuständigkeiten im Hochwasserrisikomanagement (LAWA 2010)

Wie die Ereignisse an der Neiße im Zusammenhang mit der unfreiwilligen Flutung des Tagebausees Berzdorf mit ca. 5 Mill. m³ am 07. August 2011 (SZ, 18.08.2010) sowie bei der gezielten Flutung an der Spree mit ca. 7 Mill. m³ und der Schwarzen Elster mit ca. 13 Mill. m³ (LMBV-Pressemitteilungen 09.08.2010 und 30.09.2010, www.lmbv.de) zeigten, trugen die in der Bergbaufolgelandschaft der Lausitz entstehenden Tagebauseen nicht unwesentlich zur Hochwasser-Bewältigung bei, ohne dass diese bisher gezielt im Rahmen der Hochwasservorsorge auf diese Aufgabe vorbereitet waren. Letztlich liegt die Verantwortung für den Umgang mit Hochwasser nach deutscher Gesetzeslage (siehe oben) eindeutig bei den jeweiligen Bundesländern. Ziel einer „Potenzialstudie“ (GRÜNEWALD & SCHÜMBERG 2011) war es herauszuarbeiten:

- ob Tagebauseen generell Potenziale zum Hochwasserrückhalt bieten, so dass eine nachhaltige Einbeziehung in die Hochwasserrisikomanagementpläne gerechtfertigt ist,
- wie groß diese Potenziale auch im Vergleich zu bestehenden Anlagen sind,
- welche Randbedingungen zu beachten sind und
- welche Handlungsempfehlungen abzuleiten sind.

Der Vergleich eines im Rahmen der Füllung eines bergbaulich entstandenen Restlochs mit Wasser entstandenen Tagebausees mit einer – im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Planung und Umsetzung entstandenen – Talsperre verdeutlicht zunächst, dass der Nutzraum eines Tagebausees im Verhältnis zu seinem in der Regel sehr großen Gesamtvolumen meist gering ist, während Talsperren so angelegt sind, dass dieser Nutzraum fast das ganze Volumen ausmacht (Abb. 3).

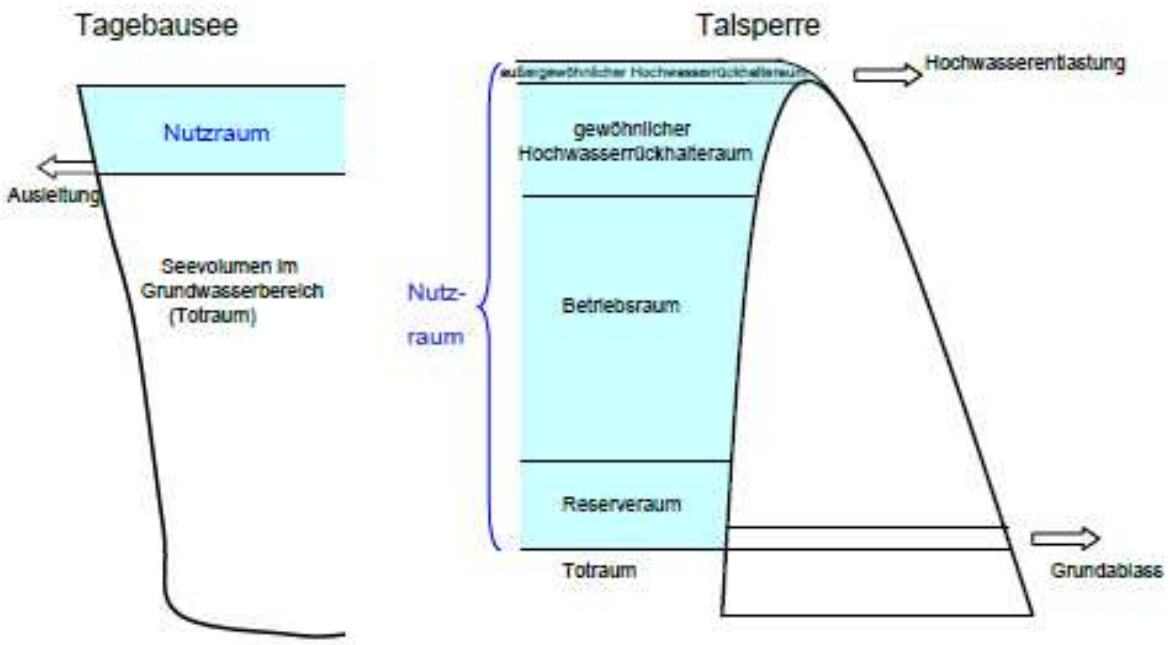


Abb.. 3: Prinzipieller Vergleich der Speicherräume eines Tagebausees und einer Talsperre

Daraus ergibt sich indirekt, dass Tagebauseen in viel stärkerem Maße in die bergbaulich beeinflusste „Grundwasserlandschaft“ eingebunden sind als Talsperren, so dass Tagebauseen (besonders in der Lausitz) stark durch versauerungs- und mineralisierungsverursachende Stoffeinträge geprägt sind.

Darüber hinaus liegen Tagebauseen im Gegensatz zu Talsperren (fast alle) im Nebenschluss der Fließgewässer. D. h. während den Talsperren der gesamte Zufluss des aufgestauten Fließgewässers zufließt, kann dem Tagebausee nur soviel Wasser aus den angeschlossenen Fließgewässern zugeführt werden, wie es die hydraulische Kapazität des/der Ein-/Überleiter(s) zulässt. Umgekehrt können Tagebauseen nur soviel Wasser aus dem (gewöhnlichen) Hochwasserrückhalteraum in die Fließgewässer zurückführen, wie es die hydraulische Kapazität des/der Ausleiter(s) zulässt.

Folgende Rahmen- und Randbedingungen müssen demgemäß berücksichtigt werden:

- die Gewährleistung der Standsicherheit der Seeböschungen sowie der Ein-, Aus- und Überleitungsbauwerke,
- die sachgemäße Bemessung der Ein-, Aus- und Überleiter hinsichtlich der hydraulischen und hydrologischen Dimensionierung sowie der Anlagensicherheit,
- die Wasserbeschaffenheit bezüglich z. B. der Einhaltung der Ausleitungsbedingungen,
- die Grundwasserströmungsverhältnisse bezüglich z. B. der Wechselwirkung der Seen untereinander und der Gefährdung von Schutzgütern sowie
- die Beachtung der Nutzungskonflikte z. B. bezüglich der touristischen Nutzung und der Niedrigwasseraufhöhung.

3. Analyse der Tagebauseen in den Einzugsgebieten von Schwarzer Elster und Spree hinsichtlich ihrer Nutzung für eine verbesserte Hochwasservorsorge und -bewältigung

In der Potenzialstudie (GRÜNEWALD & SCHÜMBERG 2011) wurden verschiedene Bereiche der bergbaubeeinflussten Flusseinzugsgebiete von Schwarzer Elster und Spree systematisch hinsichtlich ihrer Potenziale (z. B. Lage, Fläche, Volumen, vorhandene und mögliche Zu- und Abläufe) zur dauerhaften Nutzung der dort befindlichen Tagebauseen bzw. Tagebauseensysteme zur Hochwasservorsorge und -bewältigung analysiert.

Dabei zeigte sich, dass im **Einzugsgebiet der Schwarzen Elster** einzelne Bereiche - wie einerseits der von Lugteich, Kortitzmühler See und Erikasee und andererseits der der „Kleinen Restlochkette“ (u. a. Bergheider See, Heidesee, Grünhauser See und Kleinleipischer See) - keine relevanten Potenziale besitzen. Demgegenüber bieten die Seen der „Erweiterten Restlochkette“ auf Grund ihrer Lage, Fläche und Volumina hervorragende diesbezügliche Potenziale im Schwarze-Elster-Gebiet. Für die Kommunen Senftenberg, Ruhland, Schwarzheide und Lauchhammer könnte durch die Ableitung von Hochwasser aus der Schwarzen Elster in die Tagebauseen der Abfluss deutlich reduziert werden. Für die Siedlungen ab Elsterwerda, wo die Pulsnitz mündet und unterhalb, wo die Große Röder zufließt, ist die Abminderung aber stark einschränkt.

Für das **Einzugsgebiet der Spree** bestehen hervorragende Potenziale für den Bärwalder See und den Scheibe See, insbesondere aber für das Speichersystem Lohsa II mit dem Dreiweiberner See, dem Speicherbecken Lohsa II sowie dem zukünftigen Bernsteinsee. Je nach angenommener nutzbarer Speicherlamelle ergeben sich dabei entsprechend nutzbare Speicherräume, die in GRÜNEWALD & SCHÜMBERG (2011) detailliert aufgeführt sind. Bei-

spielsweise besitzt eine Speicherlamelle von zwei Metern allein im Speicherbecken Lohsa II mit einem damit verknüpften (theoretischen) Hochwasserrückhalteraum von 21,6 Mill. m³ mehr Volumen als der gegenwärtige gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum von 19 Mill. m³ der brandenburgischen Talsperre Spremberg/Spree, die im Herbst 2010 ihre besondere „Schutzwirkung“ z. B. für die Stadt Cottbus unter Beweis stellen konnte.

Insgesamt zeichnen sich eine Reihe von **Schlussfolgerungen** und **Handlungsempfehlungen** ab.

Volumenmäßig besitzen einige der Tagebauseen im Einzugsgebiet der Spree und der Schwarzen Elster auf Grund ihrer zum Teil großen geotechnisch gesicherten Speicherlamellen sehr gute Hochwasserrückhaltepotenziale. Zur Dimensionierung der Hochwasserrückhalteräume sowie der Ein- und Ausleitungsbauwerke sind Bemessungsganglinien aufzustellen.

Handlungsbedarf besteht bei der Aufteilung der nutzbaren Speicherräume der Tagebauseen. Sie müssen bezüglich ihrer Bewirtschaftungsziele (Niedrigwasseraufhöhung, Verbesserung der Wasserbeschaffenheit, Hochwasserrückhalt, …) einer objektspezifischen Risikoanalyse unterzogen werden. Bei der Aufteilung der Nutzräume der Tagebauseen ist ihre Verbundwirkung und gegenseitige Beeinflussung zu berücksichtigen.

Die Konsequenzen veränderter Bewirtschaftungsziele und -strategien für die Grund- und Oberflächenwassermenge und -beschaffenheit sind objektkonkret und flusseinzugsgebietsbezogen aufzuzeigen und hinsichtlich ihrer Risiken zu bewerten.

Handlungsbedarf besteht weiterhin bei der systematischen Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit sowie der geotechnischen und hydraulischen Sicherheit der Ein-, Überleitungs- und Auslaufbauwerke der Tagebauseen sowie der dabei zu beachtenden Randbedingungen (z. B. „(n-1)-Bedingung“) im Rahmen der Erarbeitung der gesetzlich vorgeschriebenen HWRM-Pläne. Die Analyse und Überprüfung muss bundesländer-, akteurs- und ressortübergreifend erfolgen und sollte die empfohlene „hochwasserereignisbezogene Auswertung“ (LAWA 2010) der verschiedenen Behörden der betroffenen Bundesländer und der LMBV ebenso einbeziehen wie die Öffentlichkeit (EG 2007) z. B. in Form der verschiedenen Bürgerinitiativen.

Empfohlen wird kurzfristig die Einrichtung einer ständigen länderübergreifenden (Unter-)Arbeitsgruppe „Hochwasserrisikomanagement Lausitz“ (analog bzw. im Rahmen der existierenden gemeinsamen AG „Flussgebietsbewirtschaftung Spree - Schwarze Elster“). Auch im Sinne der Sicherung der jahrzehntelangen Nachsorge scheint längerfristig die Einrichtung eines länderübergreifenden „Wasserwirtschaftsverbandes Lausitz“ oder einer „Wassergenossenschaft Spree/Schwarze Elster (analog der mitgliederfinanzierten NRW-Wasserverbände), die „Wasserwirtschaft aus einer Hand“ betreiben, dringend empfohlen.

Literatur

DKKV (2003): Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge (Hrsg.): U. Grünewald, M. Kaltofen, S. Schümberg, B. Merz, H. Kreibich, T. Petrow, A. Thieken, W. Streitz, W. R. Dombrowsky: Hochwasservorsorge in Deutschland. Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. Schriftenreihe des DKKV Heft 29, 150 S.

EG (2007): Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Ok tober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amts blatt der Europäischen Union. L 288/27, 06.11.2007, 8 S.

GRÜNEWALD, U. (2005): Hochwasserrisikomanagement als Kreislauf von Vorsorge und Bewältigung - eine Aufgabe, die nicht sektoral zu bewältigen ist. In: Bundesministeri um für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Flussgebietskonferenz 2005 der Bundesregierung. Forum 4, Katastrophenschutz – Koordinierung (Bund, Länder und Gemeinden) Umgang mit Katastrophensituationen – Katastrophenvorsorge. 23./24.06.2005, Berlin, S. 164-168. Internet: http://www.bmvbs.de/Anlage/original_961406/Dokumentation-der-Flussge bietskonferenz-2005-Teil-III.pdf

GRÜNEWALD, U., SCHÜMBERG, S. (2011): Potenzialstudie zur dauerhaften Nutzung von Tagebauseen in den Einzugsgebieten von Spree und Schwarzer Elster für eine ver besserte Hochwasservorsorge und –bewältigung. (unveröffentlicht) Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Branden burg. Cottbus, 92 S.

SACHSEN.DE (12.11.2010): Hochwasser in Sachsen 2010. Ostritz und Kloster Marienthal erhalten Fördermittel zur Beseitigung der Hochwasserschäden. http://www.regionen.sachsen.de (abgerufen am 05.01.2011).

SZ (18.08.2010): Hochwasser in Sachsen. Das Neiße-Hochwasser flutet den Berzdorfer See viel zu schnell. Sächsische Zeitung. 18. August 2010, S. 6.

LAWA (2010): Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen.
LAWA - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, beschlossen auf der 139. LAWA-VV am 25./26. März 2010, Dresden, 53 S., Internet: http://www.lawa.de/documents/EmpfHWRMPl_25_260310_e48.pdf (Zugriff am 18.08.2010)

Prof. Dr. rer. nat. habil. Uwe Grünewald

Lehrstuhl Hydrologie und Wasserwirtschaft
Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik
Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Postfach 10 13 44
03013 Cottbus

E-Mail: Uwe.Gruenewald@tu-cottbus.de

Dipl.-Geologe Gerhard Hotzan
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)

Die hydrogeochemisch-genetische Kartierung salinarer Wässer auf der Grundlage von Geneseklassen

Hydrogeochemische Karten sind thematische Karten, die dazu dienen, die Beschaffenheit des Grundwassers in einem Grundwasserleiter zu verdeutlichen. Darüber hinaus können in Abhängigkeit vom Charakter der kartierten Einheiten (z.B. Ionenverhältnisse, genetisch relevante Ionen wie SO_4^{2-} und Cl^-) damit in Zusammenhang stehende genetische Bezüge dargestellt werden. Vorstellungen zum Charakter und Inhalt hydrogeochemischen Karten findet man bei JORDAN & WEDER 1988, HÖLTING 1992 sowie MATTHEß 1994.

Die Grundlage der hydrogeochemisch-genetischen Kartierung bilden Grundwasserproben, die aus den einzelnen Grundwasserleitern mit Hilfe von Brunnen bzw. Grundwassermessstellen gewonnen werden. Diese Proben werden unter Beachtung der einschlägigen DIN-Vorschriften und Richtlinien entnommen und in Laboren analysiert. Für hydrogeochemisch-genetische Auswertungen sind die folgenden Kationen und Anionen von Bedeutung und zu analysieren: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-. Darüber hinaus besitzen Verbindungen der N-Gruppe (NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+), Fe und Mn sowie UV 254 und DOC als Störkomponenten in der Ionenbilanz bzw. zur Identifikation anthropogener Einflüsse Bedeutung und sollten ebenfalls untersucht werden. Der relative Fehler der Ionensummenbilanz sollte 2% nicht überschreiten.

Die Darstellungsformen der hydrogeochemischen Karten variieren in Abhängigkeit von der jeweiligen thematischen Zielstellung. Sehr häufig sind Parameterkarten. Hierbei wird die Variabilität eines oder mehrerer Ionen in Form von Punkten, Diagrammen oder Isokonzen dargestellt. Als Beispiele für derartige Kartenwerke dienen die hydrogeologische Übersichtskarte der DDR i. M. 1: 200 000 aus dem Jahre 1969 mit Parameterkarten für Chlorid und Gesamthärte (SARATKA & GLÄßER 1969)sowie das Kartenwerk „Hintergrundwerte Grundwasser“ der BGR Hannover (WAGNER et al. 2009), das Parameterkarten für eine Vielzahl von Hauptionen, Neben- und Spurenstoffen beinhaltet.

Eine höhere Qualität stellen die hydrogeochemischen Bewertungskarten dar. Sie werden auf der Grundlage einer Klassifizierung bzw. Typisierung der im Grundwasser gelösten Ionen und ihren Verhältnissen zueinander erarbeitet. Als Ordnungsprinzipien können dabei die Dominanz von bestimmten Ionen in der Lösung, Ionenverhältnisse sowie hypothe-

tische Salze dienen. Als historisches Beispiel einer Kartierung dominierender Ionen im Grundwasser dient das Kartenwerk von GLANDER et.al. 1974, das auf der Grundlage der Klassifikation nach ŠCUKAREV basiert (in SYDYKOV, Z. S. & K. M. DAVLETGALIEVA 1974).

Auch die in diesem Beitrag vorzustellende Kartierungsmethodik stellt eine hydrogeochemische Bewertungskarte dar. Die Kartierungseinheiten sind Geneseklassen, die auf der Grundlage des „Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg“ ermittelt werden. Die Methodik der Zuordnung der Grundwässer zu Geneseklassen wurde in einer Reihe von Arbeiten publiziert (RECHLIN 1997, 2000, HOTZAN 2010). Mit GEBAH 1.1 (RECHLIN et al. 2010) liegt ein software- Paket zur Berechnung der Lagepunkte von Wasseranalysen im VALJAŠKO - Diagramm (VALJAŠKO 1961) einschließlich der prozentualen Anteile der in der Lösung befindlichen hypothetischen Salze sowie typischer Salzverhältnisse vor, d.h. für die Daten, die für die Unterscheidung der Geneseklassen notwendig sind. Die Zuordnung der Wasseranalysen zu Geneseklassen konnte durch die Bewertung der typprägenden Anionen mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsnetzen (WAGNER et al. 2009) statistisch abgesichert werden. Das Verfahren ist konzentrationsunabhängig, d.h. es kann sowohl für hochmineralisierte Salzwässer, als auch für Süßwässer angewendet werden. Generell können als große genetische Gruppen einerseits die neubildungsbürtigen und andererseits die salinaren Wässer im Süß- und Salzwasserstockwerk mit spezifischem Entwicklungsgrad, der sich in den Geneseklassen ausdrückt, unterschieden werden.

Bei den neubildungsbürtigen Grundwässern sind die folgenden Geneseklassen am weitesten verbreitet:

- junge Neubildungswässer (Geneseklasse D11), anthropogen beeinflusste junge Neubildungswässer (D21), salinar beeinflusste junge Neubildungswässer (D31)
- gealterte Neubildungswässer (E11), anthropogen beeinflusste gealterte Neubildungswässer (E21), salinar beeinflusste gealterte Neubildungswässer (E31)
- alte Neubildungswässer (F11), salinar beeinflusste alte Neubildungswässer (F31)
- statische Grundwässer (G11), salinar beeinflusste statische Wässer (G31).

Bei den salinaren Wässern im Niveau des Süßwasserstockwerks findet man die folgenden Geneseklassen am häufigsten:

- salinare Ablaugungswässer (Geneseklasse I311)
- salinare alkalisierte Wässer (I312), gealterte salinare alkalisierte Wässer (I33) – d.h. Geneseklassen der Aufsüßung / Regeneration
- salinare erdalkalisierte Wässer (I313), gealterte salinare erdalkalisierte Wässer (I32) –

d.h. Geneseklassen der salinaren Intrusion
- salinare Gleichgewichtswässer (I34).

Die nachfolgenden Geneseklassen sind im Niveau des Salzwasserstockwerks am häufigsten:
- salinare Ablaugungswässer (Geneseklasse H311)
- salinare alkalisierte Ablaugungswässer (H312)
- salinare erdalkalisierte Ablaugungswässer (H313)
- salinare Formationswässer I (H321), salinare Formationswässer II (H322), salinare Formationswässer III (H323)
- salinare Regenerationswässer (H33).

Nach der Zuordnung der Wasseranalysen zu Geneseklassen werden diese anschließend mit spezifischen Symbolen entsprechend Legende lagegenau auf einer topografischen Karte dargestellt.

Von größter Bedeutung für genetische Aussagen sind geologische Strukturelemente, die Wasserwegsamkeiten zwischen Grundwasserleitern schaffen und somit den Grundwasseraustausch ermöglichen. Sie sind deshalb ein unverzichtbarer Bestandteil einer hydrogeochemisch-genetischen Karte. Dazu zählen:
- „Geologische Fenster“, d.h. Fehlstellen der Grundwassergeringleiter im Hangenden und Liegenden der Grundwasserleiter
- Pleistozäne Rinnenstrukturen, die mehrere Grundwasserleiter verbinden und insbesondere in den Flankenbereichen gute Wasserwegsamkeiten aufweisen
- Glazigene Stauchungskomplexe
- Tektonische Störungen im mesozoischen und z.T. tertiären Schichtenverband.

Die Konfiguration des Verbreitungsgebietes und die Ausbreitungsrichtung von Wässern einer Geneseklasse innerhalb eines Grundwasserleiters wird maßgeblich durch die Grundwasserdynamik bestimmt. Diese wird mit Hilfe eines Isohypsenplanes dargestellt. Neben den Isohypsen sollten auch die hydraulischen Felder von Wasserfassungen in die Darstellung aufgenommen werden.

In Abhängigkeit vom Maßstab der Karten unterscheidet man Übersichtskarten sowie Detailkarten. Die in diesem Beitrag vorgestellte hydrogeochemisch-genetische Übersichtskarte im Maßstab 1: 200 000 ist der relativ geringen Aufschlussdichte geschuldet, ihrem Charakter nach eine Punktkarte. In ihr werden grundwasserleiterspezifisch die beprobten

Aufschlüsse mit den für die einzelnen Geneseklassen spezifischen Symbolen dargestellt. Vervollständigt wird die Karte durch die Darstellung des Isohypsenplanes sowie der wirksamen geologischen Strukturelemente wie „geolologische Fenster“, pleistozäne Rinnenstrukturen, glazigene Stauchungskomplexe sowie tektonische Störungen. Ein Beispiel für eine derartige Karte zeigt Abb.1.

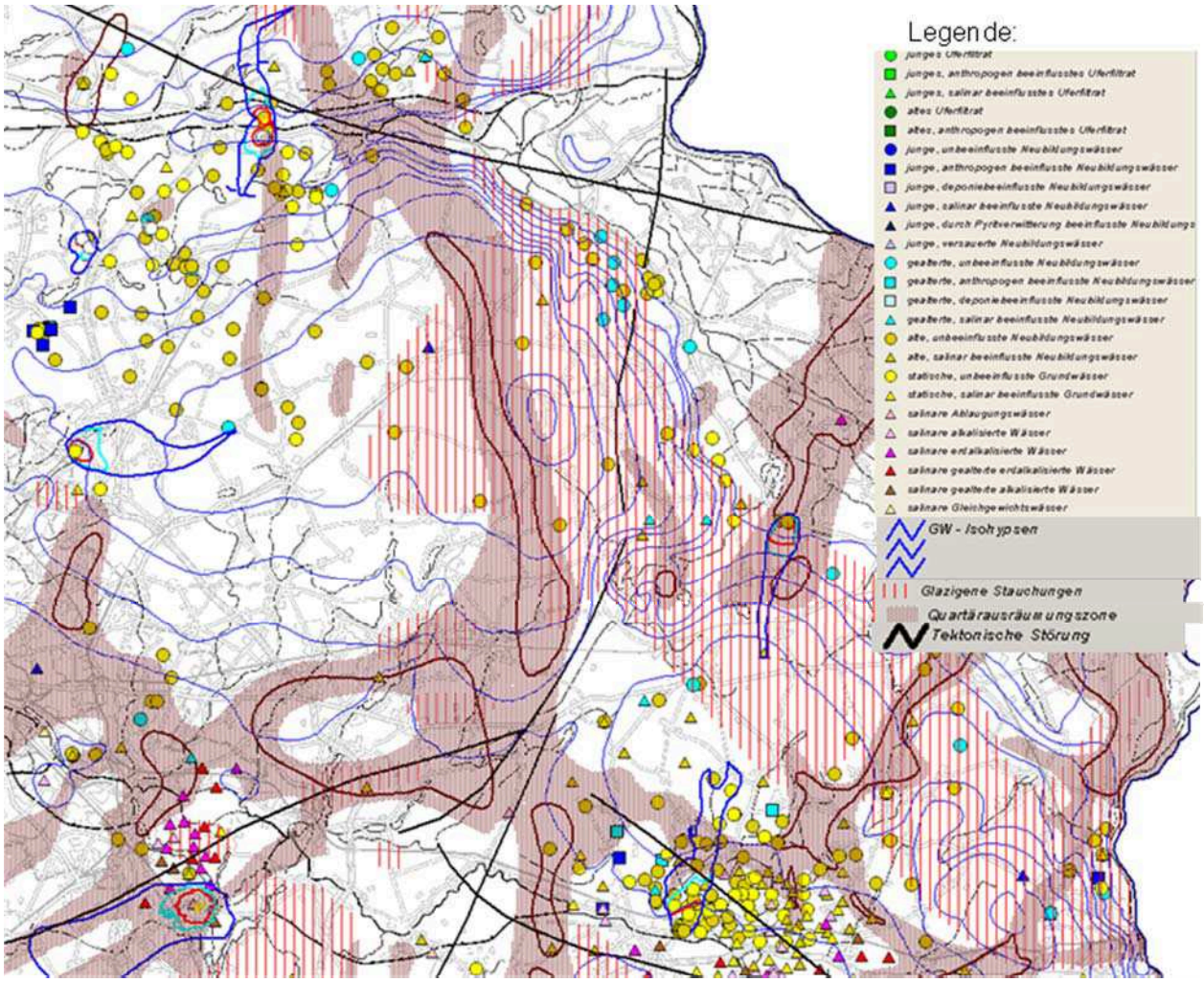


Abb. 1 Ausschnitt aus einer hydrogeochemisch-genetische Übersichtskarte (Punktkarte) für den tiefliegenden bedeckten Grundwasserleiterkomplex (GWLK 3 nach MANHENKE et al. 1995)

Hydrogeochemisch-genetische Detailkarten (Maßstab 1: 50 00 und größer) werden in analoger Weise erstellt. Aufgrund der höheren Aufschlussdichte ist es möglich, die Verbreitungsgebiete der Geneseklassen flächenhaft darzustellen. Ein Beispiel für eine derartige Karte zeigt Abb. 2.

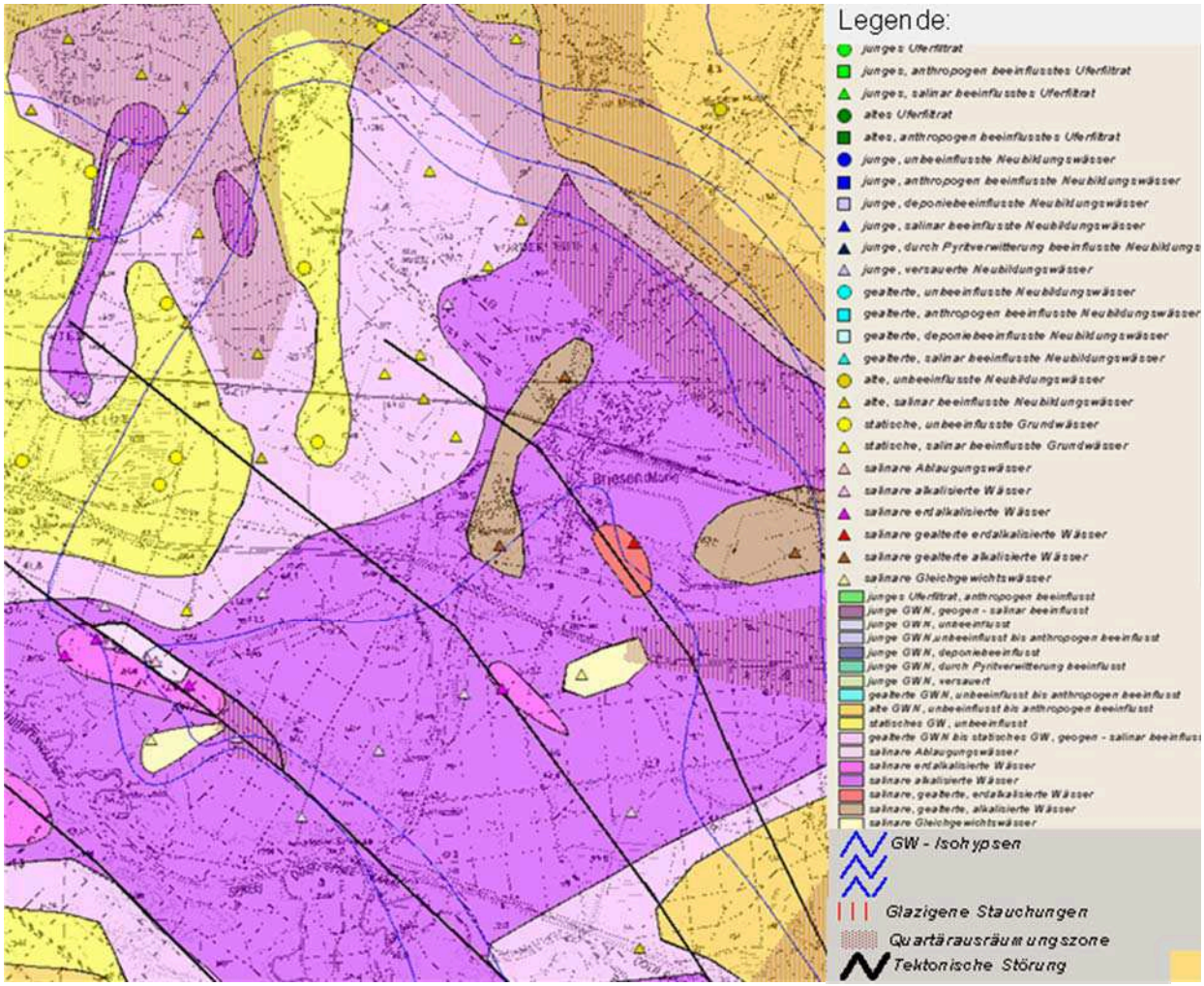


Abb. 2 Ausschnitt aus einer hydrogeochemisch-genetische Detailkarte für einen miozänen Grundwasserleiter (GWLK 3 nach MANHENKE et al. 1995)

Die auskartierten Geneseklassen können konkreten Entwicklungsbedingungen des Grundwassers zugeordnet werden und sind über Isotopenverfahren altersmäßig datierbar. Unter Berücksichtigung der für die Speisung relevanten geologischen Strukturelemente können mit der hydrogeochemisch-genetischen Karte die Migrationswege der Grundwässer nachvollzogen werden, wie z.B. die Aufstiegsbahnen salinarer Wässer. Die Ausbreitung salinarer Wässer in den Grundwasserleitern des Süßwasserstockwerks in Form von Salzwasserströmen und -fahnen (vgl. HOTZAN 2010) mit einer typischen Zonalität wird im Kartenbild deutlich erkennbar. Auch großflächige Aussüßungszonen im Niveau des Salzwasserstockwerks werden durch die Verbreitung von salinaren alkalisierten Ablaugungswässern sowie Regenerationswässern (Geneseklassen H312 und H33) deutlich.

Im Ergebnis der hydrogeochemisch-genetischen Kartierung sind auch Aussagen zur Schutzfunktion der hangenden Deckschichten möglich. Indirekt erhält man somit über den Grundwasserchemismus Aussagen zur Herkunft und Entwicklungsrichtung des Grundwassers in einem bestimmten Grundwasserleiter. Durch die Kombination von Grundwasserdynamik, geologischen Strukturelementen und hydrogeochemischen Befunden können die Transportbahnen der Grundwässer erkannt und sichere Prognosen zur Versorgungssicherheit von Wasserwerken erarbeitet werden.

Literatur

GLANDER, H., SCHIRRMEISTER, W. & J. ZIESCHANG (RED.) (1974): Hydrogeologische Über sichtskarte der DDR 1 : 200 000 / Hydrogeochemische Rayonierung und Gesamtmineralisation des Süßwasserbereiches / Obere Mineralwassergrenzfläche (Süß-/Salzwassergrenze).- Zentrales Geologisches Institut (Hrsg.), Berlin

HÖLTING, B. (1992): Hydrogeologie - Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. - 415 S., Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag)

HOTZAN, G. (2010): Genetische Grundwassertypen der Binnenversalzung, ihre Klassifizierung und Erscheinungsformen. - Brandenburg. Geowiss. Beitr. 17, S. 39-53, Cottbus

JORDAN, H. & H.-J. WEDER (HRSG.) (1988): Hydrogeologie. - 444 S., Leipzig (VEB Deut scher Verlag für Grundstoffindustrie)

MANHENKE, V., HANNEMANN, M. & B.RECHLIN (1995): Gliederung und Bezeichnung der Grundwasserleiter-komplexe im Lockergestein des Landes Brandenburg. – Branden burg. Geowiss. Beitr., 2, 1 Kleinmachnow

MATTHEß, G. (1994): Die Beschaffenheit des Grundwassers. - 499 S., Berlin, Stuttgart (Gebrüder Borntraeger)

RECHLIN, B. (1997): Zur Anwendung des Hydrochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg (mittelbrandenburgischer Raum, Stand April 1997). – Brandenburg. Geowiss. Beitr. 4, S. 67-71, Kleinmach now

RECHLIN, B. (2000): Möglichkeiten der Identifizierung anthropogener Stoffeinträge mit Hilfe des „Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiter komplexen des Landes Brandenburg. - Tagungsband BTU Cottbus, Teil 2, Aktuelle Reihe 4.2/2000, S.68-79, Cottbus

RECHLIN, B., HOFFKNECHT, A., SCHOLZ, H. & A. HELMS (2010): Genetische Bewertung von Analysen der Hydrosphäre. - Software LBGR/GCI, Cottbus, Königs Wusterhausen

SARATKA, J. & H. GLÄßER (1969): Hydrogeologische Übersichtskarte der Deutschen De mokratischen Republik 1:200000/ Hydrochemische Karten Chloride und Gesamthärte.- Zentrales Geologisches Institut (Hrsg.), Berlin

SYDYKOV, Z. S. & K. M. DAVLETGALIEVA (1974): Gidrochimičeskie klassifikacii i grafiki (Hydrochemische Klassifikationen und Diagramme).- 137 S., Alma-Ata, (Izd. Nauka)

VALJAŠKO, M.G. (1961): Geochemie der Halokinese. - In: Sb. Tr. geol. Fakut. Moskau, Isdat. mosk. Univ. (russ.)

WAGNER, F., BEER, A., BROSE, D., BUDZIAK, D., CLOS, P., DREHER, T., FRITSCHE, H.- G., HÜBSCHMANN, M., MARCZINEK, S., PETERS, A., POESER, H., SCHUSTER, H.-J., WAGNER, B., WALTER, T., WIRSING, G. & R. WOLTER (2009): Erläuterungen zum Web Map Service (WMS) „Hintergrundwerte Grundwasser“. – 21S., BGR Hannover.

Dipl.-Geologe Gerhard Hotzan

Landesamt für Bergbau, Geologie

und Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus

E-Mail: Gerhard.Hotzan@lbgr.brandenburg.de

Dipl.-Geol. Lothar Steinberg
LINEG Kamp-Lintfort

Ausdehnung und Hydrologie des inneren saalezeitlichen Stauchmoränenzuges im Bereich Kamp-Lintfort und Rayen, Linker Niederrhein, NRW

Die Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft (LINEG) ist ein sondergesetzlicher Wasserverband im linksrheinischen Bergbaugebiet von Steinkohle und Steinsalz in Nordrhein-Westfalen (Abb. 1). Eine der gesetzlichen Hauptaufgaben ist die Vermeidung schädigender Auswirkungen des untertägigen Abbaus auf Grundwasser und Gewässer.

Bei der Neubearbeitung von Grundwasser-Gleichenplänen im Bereich der hydrogeologisch sehr anspruchsvollen Stauchmoränenzüge im linksniederrheinischen Steinkohlengebiet konnten neue Ergebnisse zur ehemaligen Ausdehnung der inneren Inselbergkette und zur Ausbreitung der Grundwasserstockswerkstrennung durch das Holstein-Interglazial erarbeitet werden.

Die Inselberge im Bereich von Kamp-Lintfort und Rayen - vom Niersenberg über Kamper Berg mit dem Kloster Kamp, dem Dachsberg, dem Eyller Berg mit Auskiesungen und Deponien über den Rayener Berg bis zum Gülixberg - gehören einem Stauchmoränenrest der „Kamper Staffel“, eines 2. Eisvorstosses der saalezeitlichen Heisterbergphase (Drente-Stadium) an (Abb. 2/3).

Durch intensive Seiten- und Tiefenerosion in der Weichsel-Kaltzeit ist aus diesem Stauchmoränenzug eine Insel¬bergkette entstanden, deren Einzelberge teilweise weniger als ein Viertel der ursprünglichen Breite auf¬weisen. Die Erosion war eventuell deshalb so aus-geprägt, weil sich ein Teilstrom des Rheins durch die nahe gelegene unterstromige Engstelle zwischen dem Schaephuysener Höhenzug und dem Bönninghardt-Sander „zwängen“ muss-te.

Zur Erarbeitung dieser Ergebnisse trugen neue Auf¬schlüsse durch Grundwasser¬boh¬rungen und die Grundwasser- und Analysendaten der LINEG bei. Die Ausdehnung des Interglazials lässt sich aus dem Vergleich der Grundwasserstände des oberen freien – häufig durch Pol-dermaßnahmen beeinflussten - GW-Teilstockwerks zu den Druckhöhen des unteren ge-spann¬ten Teilstock¬werks des quartären Grundwasserleiters abschätzen (Abb. 4).

Nordrhein-Westfalen

Abb. 1
Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft

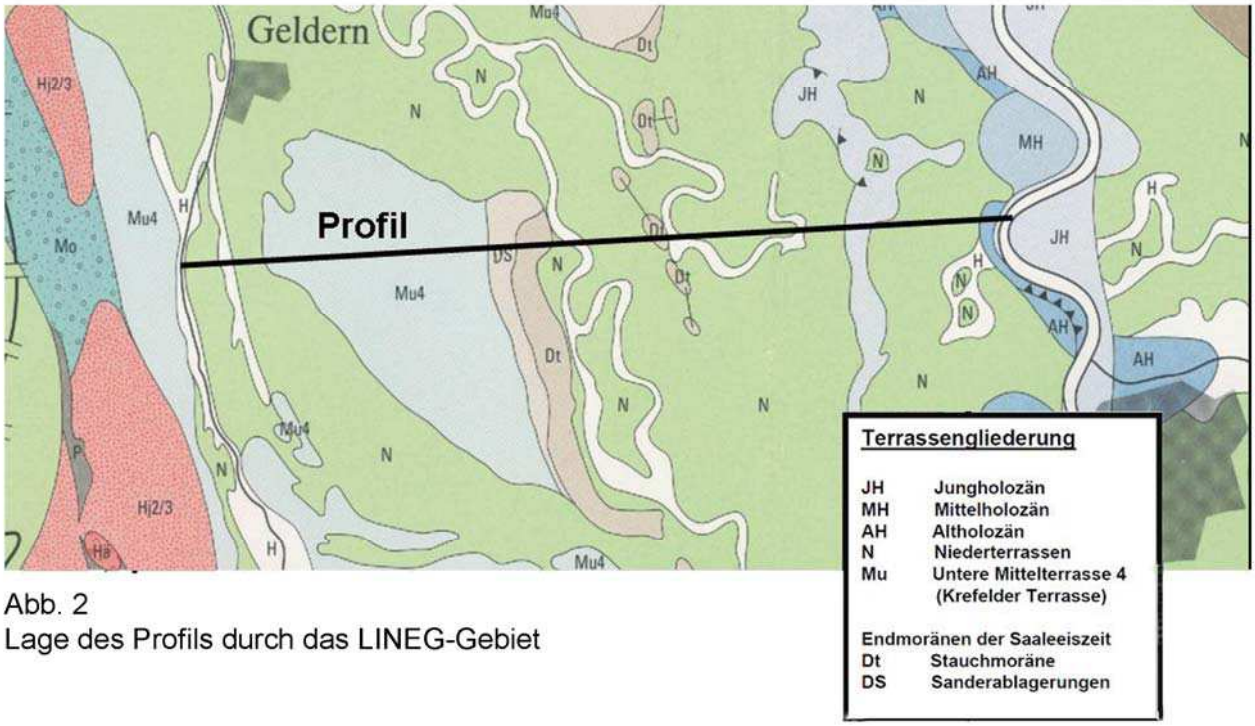


Abb. 2
Lage des Profils durch das LINEG-Gebiet

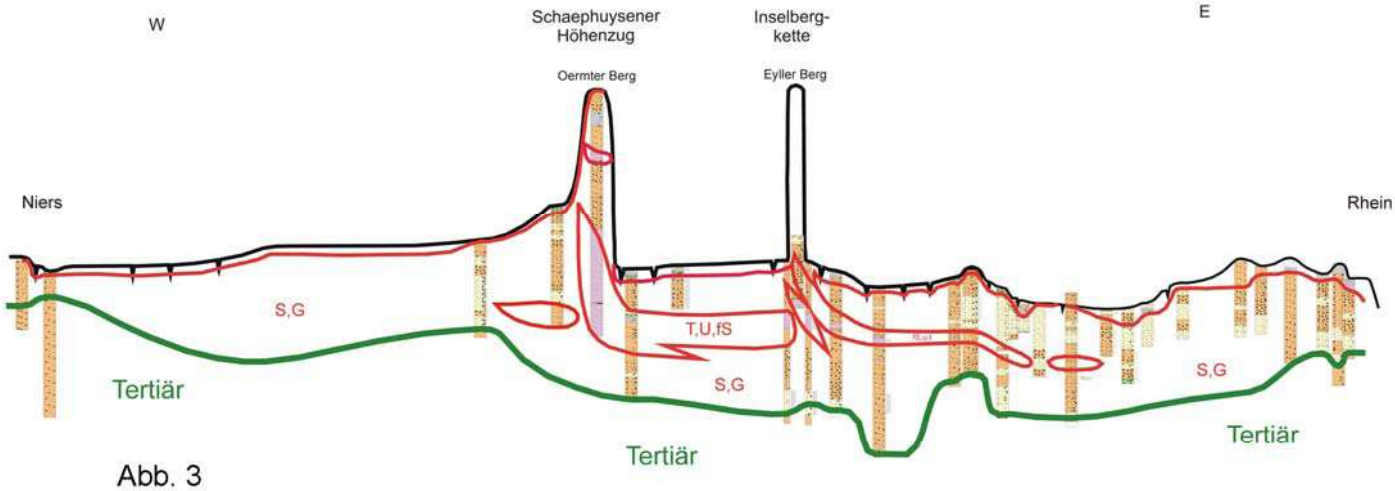


Abb. 3
Profil Niers - Rhein

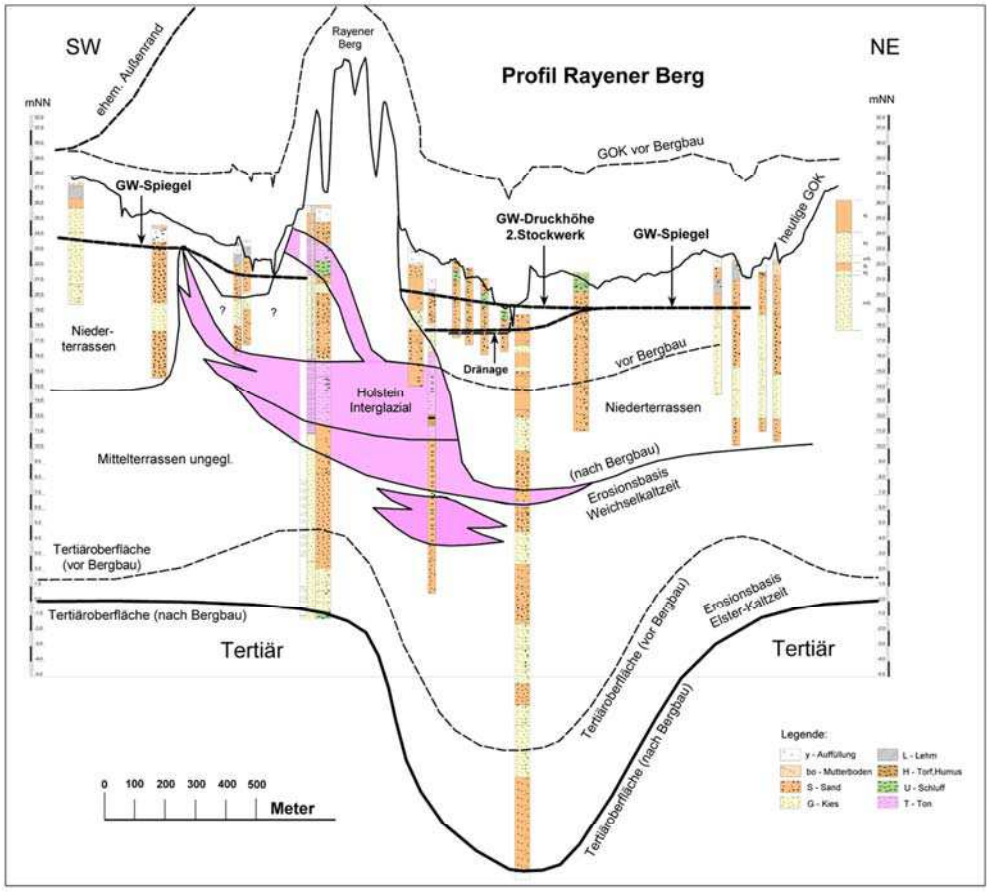


Abb. 4
Profil durch den Rayener Berg

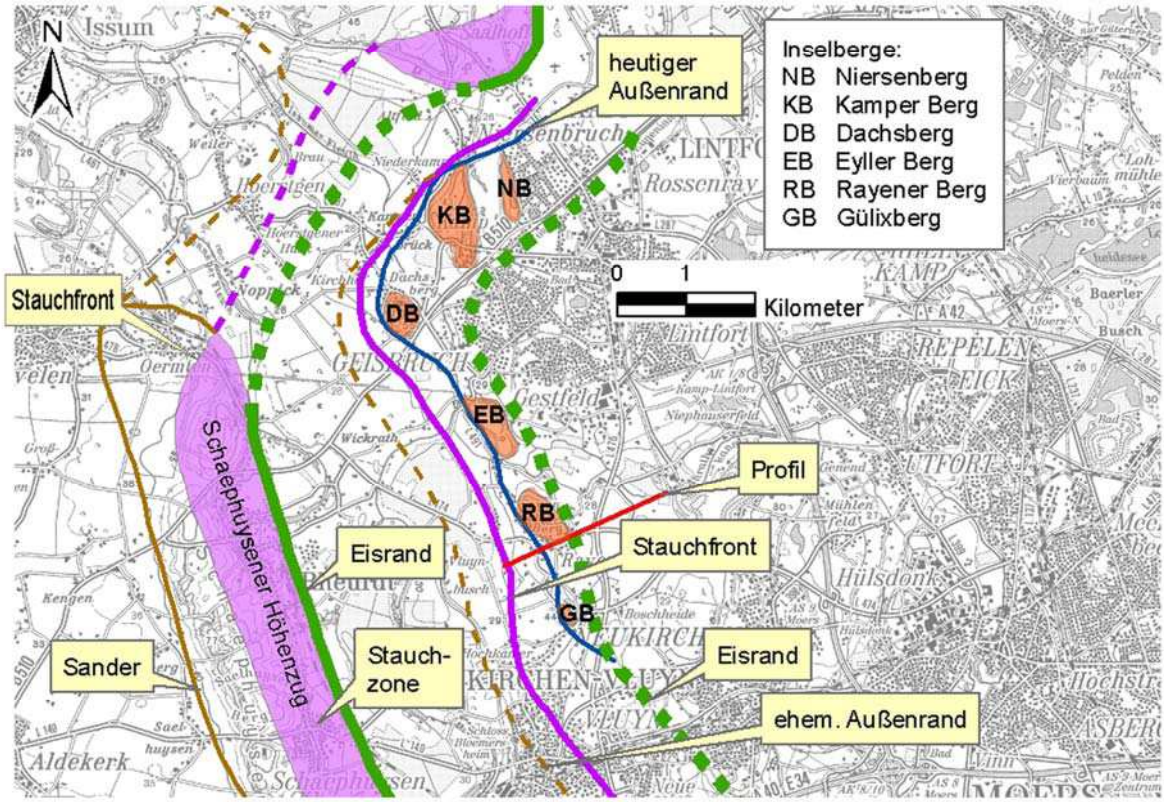


Abb. 5
Heutige und ehemalige Ausdehnung der Endmoränenzüge

lässt sich mit etwa 1,3 km und - einschließlich der Sanderablagerungen - mit ca. 1,7 km angeben (Abb. 5). Die Kamper Staffel dürfte somit zur Saale-Eiszeit die ähnliche Höhe und Ausdehnung wie der äußere Stauchmoränenzug – „Neusser Staffel“ / Schaephuysener Höhenzug – des 3. Eismassenvorstoßes des saalezeitlichen Gletschers gehabt haben. Mit seinen noch erhaltenen Sandervorschüttungen hat dieser Hügelzug, als äußerste Endmoräne des Moerser Lobus - eine Querausdehnung von 1,5 bis 1,7 km und eine relative Höhe von heute noch ca. 50 m.

Literatur

Klostermann, J.: Das Quartär der Niederrheinischen Bucht – Ablagerungen der letzten Eiszeit am Niederrhein. GLA NRW, Krefeld, 1992

Skupin, K. und Zandstra, J.G.: Die Entstehung der Stauchmoränen des linken Niederrheins aufgrund der sedimentpetrographischen Zusammensetzung und der Leitgeschiebe führung. Vortrag und Poster: Tagung der ND Geologen 2006 in Halle

Unter Verwendung von Daten von Messstellen und Anlagen der LINEG und Grundwasser- und Analysendaten der LINEG

Dipl.-Geol. Lothar Steinberg

Linksniederrheinische
Entwässerungs-Genossenschaft
Friedrich-Heinrich-Allee 64
47475 Kamp-Lintfort

E-Mail: steinberg.l@lineg.de

Dr.-Ing. Wilfried Hüls & Dr.-Ing. Dietmar Grießl
G.U.B. Ingenieur AG Zwickau

Bewertung der Verflüssigungsempfindlichkeit sandiger Böden aufgrund verkehrsbedingter Erschütterungen

Bei der Gewinnung von Braunkohle im Tagebau werden große Flächen devastiert. Neben den verbleibenden Hohlformen, die als Tagebaurestseen beim Grundwasserwiederanstieg entstehen, bleiben Kippen zurück, die sich ebenfalls über große Flächen erstrecken.

Für die Wiedernutzbarmachung und Bebauung von Kippen ist wesentlich, die Verformungen der Kippenoberfläche richtig zu bestimmen. Wesentliche Phänomene sind dabei

- die Sackungen, definiert als Setzungen infolge Grundwasseranstieg und
- der Verflüssigungsgrundbruch gesättigten Kippenmaterials infolge dynamischer Initiale.

Um die Verflüssigungsgefahr bei dynamischen Belastungen einschätzen zu können, ist die Kenntnis der Größe dieser Belastung und der Verflüssigungsneigung des anstehenden Materials erforderlich.

Der Verflüssigungsvorgang wird offensichtlich dadurch ausgelöst, dass durch einen Lasteintrag das Korngerüst den Kontakt verliert und die Belastung vom Porenwasser aufgenommen werden muss. Dabei entsteht aus dem durch eine Scherdeformation beanspruchten, wassergesättigten kontraktanten Korngerüst durch Porenwasserdruckanstieg und Verminderung der wirksamen Spannungen eine Suspension. Es kommt zu einer völligen oder weitestgehenden Entfestigung des Lockergesteins. Die Restfestigkeit kann bis auf einen Wert nahe Null absinken. Nach vorliegenden Erkenntnissen muss mit solchen Verflüssigungserscheinungen immer dann gerechnet werden, wenn nachstehende geologisch-bergbaulich hervorgerufene Bedingungen gegeben sind:

- Kritischer Wasserstand in der Kippe im Verhältnis zur Kippenhöhe (>0,2),
- Kornband 0,09 mm < d_{50} < 1,0 mm, Feinkornanteil gering,
- Kornform gerundet (typisch für quartäre Sande des Lausitzer Urstromtales),
- Geringe Lagerungsdichte,
- Lasteintrag (Böschungsabbruch, Strömung, Sackung, rasche Belastung).

Dabei ist zu beachten, dass die nach der Verkippung entstandene lockerer Lagerung der Böden sich auch nach längerer Liegezeit nicht verändert.

Zur Abschätzung der Verflüssigungsempfindlichkeit von Kippenböden aufgrund verkehrsbedingter Erschütterungen ist eine quantitative Bewertung der Verflüssigungsgefahr bei zyklischer Anregung erforderlich. Mit Hilfe dynamischer Triaxialscherversuche kann die dynamische Stabilität des locker gelagerten Kippenbodens untersucht und der Grenzwert der Schwingbeschleunigung ermittelt werden, für den eine Verflüssigung eintritt. Zur konkreten Ermittlung der dynamischen Beeinflussung des Kippenuntergrundes sind teufenabhängig Schwingungsmessungen unter den relevanten Verkehrsbelastungen in situ durchzuführen. Um die Porenwasserdruckreaktion beim Eintrag von Erschütterungen an der Oberfläche zu erfassen, werden auch Initialversuche mittels Rüttelplatte und Vibrationswalzenzug eingesetzt.

Die vorgenannten Untersuchungsmethoden in Feld und Labor werden im Vortrag vorgestellt und die relevanten Berechnungsmodelle zur Standsicherheit abgeleitet. Anhand von zwei Beispielen für Bahn und Straße über Kippengelände werden erforderliche Sicherungs- und Sanierungsarbeiten aufgezeigt.

Das Auftreten von Verflüssigungsgrundbrüchen auf böschungsfernen Kippenflächen im Zusammenhang mit dem großräumigen Grundwasserwiederanstieg macht jedoch eine Wiederaufnahme der Forschungen zu speziellen Fragen der Setzungsfließproblematik erforderlich, um den Mechanismus theoretisch exakt beschreiben und daraus praktische Schlussfolgerungen ziehen zu können.

Mit diesem Projekt soll ein wissenschaftlich begründetes numerisches Modell und anwendungsbereites Berechnungsprogramm für Sackungen und Verflüssigungsgrundbruch bei geringen dynamischen Initialen - Sackungsfließen - in Kippen des Braunkohlenbergbaus im Zusammenhang mit dem Aufgang von Grundwasser erarbeitet werden.

Über den derzeitigen Bearbeitungsstand wird hier berichtet.

Dr.-Ing. Wilfried Hüls & Dr.-Ing. Dietmar Grießl

G.U.B. Ingenieur AG
Büro Leipzig
Gutenbergplatz 1c
04103 Leipzig

E-Mail: huels@gub-ing.de

Claudia Thomsen, Reinhard Kirsch, Thomas Liebsch-Dörschner
Geologischer Dienst im Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein

Erdfallproblematik an Salzstockhochlagen in Schleswig-Holstein

Die Entstehung von Erdfällen ist in Schleswig-Holstein eng mit der Entwicklung und dem Aufstieg von Salzstrukturen im tieferen Untergrund verknüpft. An der Salzstrukturentwicklung sind zumeist sowohl die Rotliegend- als auch die Zechsteinsalinare des Perm beteiligt und werden als „Doppelsalinare“ bezeichnet. Das Hutgestein des Rotliegendsalinars besteht dabei überwiegend aus roten Tonsteinen (Residualton) und das des Zechsteinsalinars aus Anhydrit/ Gips, Kalkstein und Tonsteinen. Als verkarstungsfähige Gesteine sind die Hutgesteine des Zechstein sowie Ablagerungen der Oberkreide, die im Zuge des Salzaufstiegs aufgeschleppt worden sind, zu nennen In Schleswig-Holstein sind einige Erdfallgebiete (Abb. 1) in Münsterdorf und Lägerdorf (Kr. Seinburg), in Elmshorn (Kr. Pinneberg), in Quickborn (Kr. Pinneberg) sowie in Bad Segeberg (Kr. Segeberg) bekannt, die anhand von drei Beispielen näher beschrieben werden.

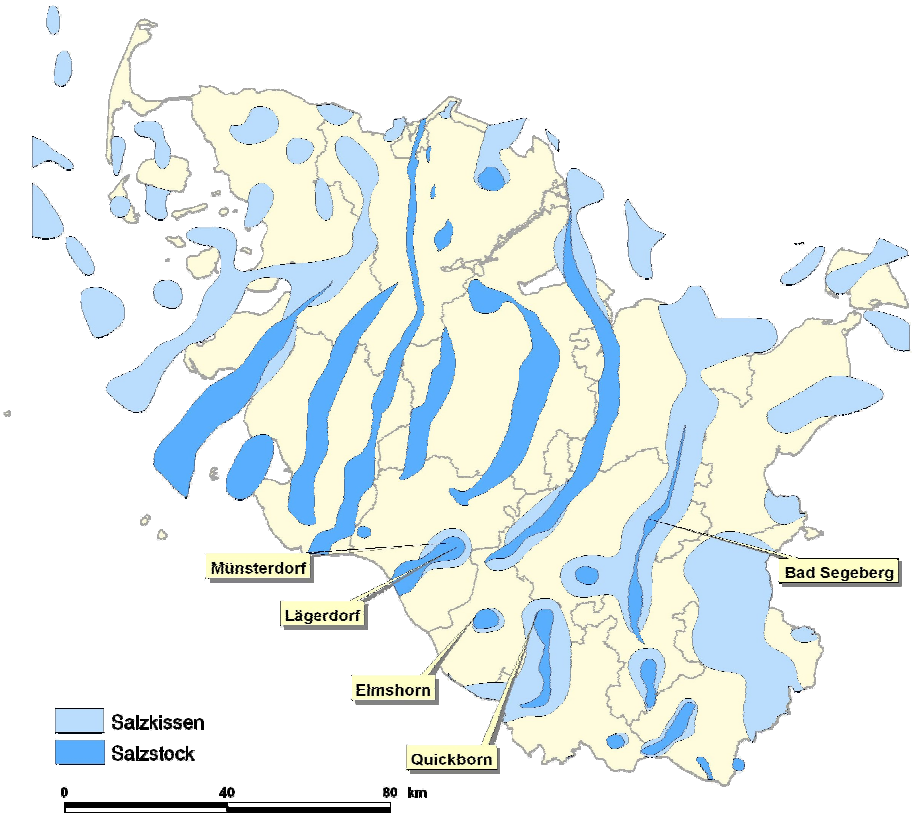


Abb. 1: Auswahl von Gebieten mit Salzstrukturen im südlichen Schleswig-Holstein mit potenzieller Erdfallgefährdung (Kartenbasis: Geotektonischer Atlas von Norddeutschland, Baldschuhn et al., 2001)

Aufgrund eines aktuellen Erdfallereignisses (2010) in **Quickborn** vor einem Mehrfamilienhaus mit einem Senkungsbetrag an der Erdoberfläche von etwa 70 cm sind zur weiteren Klärung der geologischen Verhältnisse vorhandene Bohrdaten ausgewertet sowie seismische Messungen mit anschließenden Bohrungen durchgeführt worden. Von den im Stadtgebiet auffälligen Senken geogenen Ursprungs sind der Prophetensee (Abb. 2, rechts), der Elsensee und der Mühlbergsee als Erdfälle interpretiert worden. Insgesamt weisen die Bohrergebnisse auf Tiefenlagen der Oberkante des Hutgesteins zwischen 19 m und 72 m hin. Dabei wurden sowohl Anhydrit und Gipsgestein als auch Rotliegendresidualtone erfasst. Aufgrund der unterschiedlichen Bohrteufen und der heterogenen Verteilung der Bohransatzpunkte sind weder zur Dachmorphologie noch zur Abgrenzung zwischen dem Gipshut und dem Rotliegendton fundierte Aussagen möglich.

In **Münsterdorf** bilden sich die Erdfälle durch Auslaugung der Kreide, die durch den Salzaufstieg bis in Tiefen von ca. 20 m unter der Geländeoberfläche gelangt ist. Im Bereich eines Sportplatzes (Abb. 2, links) sind in den Jahren 2004-2010 wiederholt Erdfälle neben einem historischen Erdfall, der „Knickenkuhle, aufgetreten. Verschiedene geophysikalische Messungen wie geoelektrische Sondierungen, Reflexionsseismik (Kompressionswellen, Scherwellen), aeroelektromagnetische Vermessung, Radiomagnetotellurik sind zur Verbesserung des Kenntnisstandes durchgeführt worden (Abb. 3). Als Ergänzung zu den geophysikalischen Arbeiten erfolgten auf dem Sportplatz und dem angrenzenden Gelände Rammkernsondierungen sowie Rammsondierungen. Die Oberkante der Kreide konnte sowohl mit seismischen als auch mit geoelektrischen Verfahren nachgewiesen werden. Bereiche mit alternierenden erhöhten und verringerten elektrischen Widerständen (aeroelektromagnetischen Messungen) sowie lokal verringerte Scherwellengeschwindigkeiten können auf Störungen innerhalb der Kreide hinweisen.

Abb. 2: Erdfall in Münsterdorf (links) und in Quickborn (rechts)

Im Zuge der Laugungsprozesse entstanden neben dem Höhlensystem vom „Kalkberg“ in **Bad Segeberg**, der an die Oberfläche aufgestiegene markante Teil des Gipshutes oberhalb eines Salzstocks, auch weitere fossile Erdfälle, die als Geotop (Stipsdorfer Erdfall-Landschaft) unter Landschaftsschutz gestellt sind.

Die Möglichkeit von Subrosionsprozessen im Untergrund erfordert erhöhte Aufmerksamkeit und Berücksichtigung bei der Aufstellung von Flächennutzungs- und Bebauungsplänen sowie weitere geologische Erkundungen. Zur Abgrenzung erdfallgefährdeter und –nichtgefährdeter Bereiche ist ein interdisziplinäres Vorgehen notwendig. Hierzu ist ein Forschungsvorhaben geplant, in dem die geologischen Dienste von Schleswig-Holstein und Hamburg gemeinsam mit geowissenschaftlichen Hochschulinstituten Erdfalllokationen in Schleswig-Holstein und Hamburg untersuchen werden.

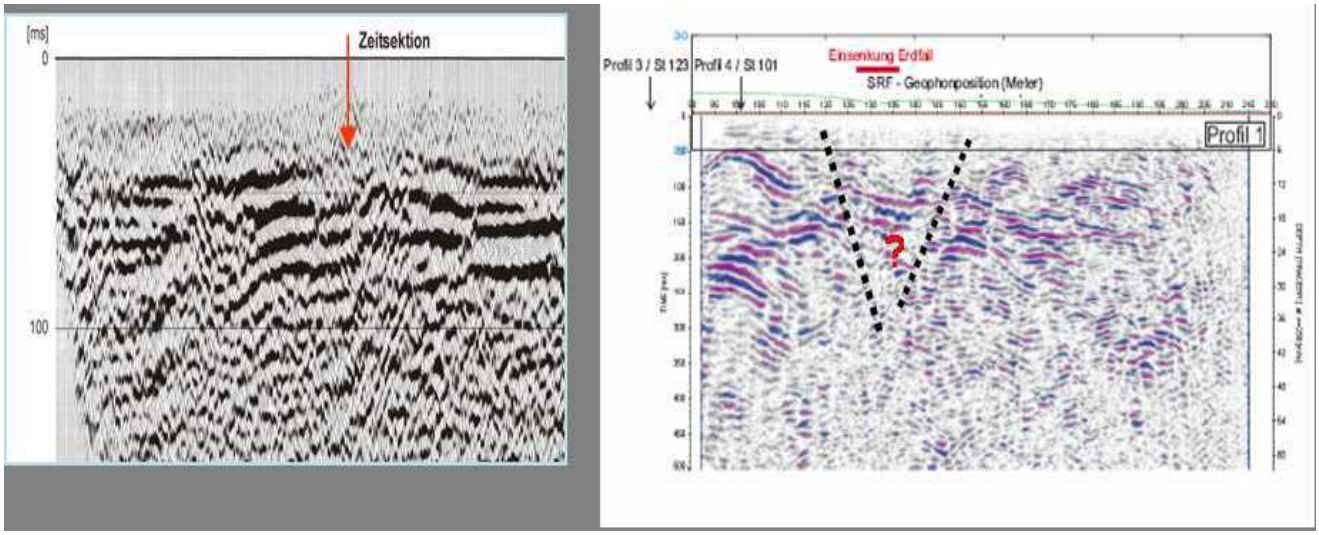


Abb. 3: Reflexionsseismik im Bereich von Erdfällen, links Münsterdorf (P-Wellen) Pfeil weist auf Erdfall, rechts Quickborn (S-Wellen)

Dipl.-Geoln. Claudia Thomsen

Landesamt für Landwirtschaft,
Umwelt und ländliche Räume
des Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25
24220 Flintbek

E-Mail: Claudia.Thomsen@llur.landsh.de

Dr.-Ing. Christian Gau, Dr. Thomas Heym, Dipl.-Ing. Uwe Reimer
Baugrundinstitut Franke-Meißner Berlin-Brandenburg GmbH

Steilhänge im Geschiebemergel – Standsicherheit und Sicherung am Beispiel Oderbergs (Brandenburg)

1. Vorkommen und Charakteristika von Steilhängen im Geschiebemergel

Im norddeutschen Raum finden sich zahlreiche markante Steilhänge im Geschiebemergel. Einer der bekanntesten ist der Steilhang oberhalb der Alten Oder bei Oderberg. Aufgeschlossen im weichselzeitlichen Geschiebemergel ist hier ein ehemaliger Prallhang der Oder, dessen Höhe lokal über 30 m beträgt.

Westlich der Ortsmitte besteht der Geschiebemergel im Wesentlichen aus stark schluffigem, schwach tonigem Sand und stark schluffigem, sandigem Ton, in den nur vereinzelt Steine und Blöcke eingelagert sind. Unmittelbar unterhalb der Böschungskrone beträgt der Böschungswinkel 70 – 80°; ein nahezu senkrechter Einfall der Böschung ist keine Seltenheit. Auffallend ist eine starke Zerlegung des Geschiebemergels durch polygenetische Trennflächen, die sowohl böschungsparallel als auch senkrecht zur Böschung orientiert sind (Abb. 1).

Abb. 1: Trennflächen in der Böschung, Bsp. Oderberg.
Maßstab: Block in der Böschungsfläche am oberen Bildrand, Durchmesser etwa 30 cm.

Die Zerlegung in Trennflächen führt dazu, dass das Material als Verband von Kluftkörpern angesehen werden muss, zwischen denen zwar häufig Materialbrücken ausgebildet sind, die jedoch einen dauerhaften Zusammenhalt nicht gewährleisten können. Ein Versagen tritt hier gelegentlich in Form des Herausgleiten oder des Herauskippen einzelner Blöcke auf. Als Auslösemechanismen kommen die in Kap. 2 genannten Faktoren in Betracht.

Östlich der Ortmitte von Oderberg dagegen besteht die Grundmoräne aus deutlich gröberem Material mit kiesigen bis steinigen Nebengemengteilen. Die Böschung fällt hier zumeist unmittelbar hinter der bestehenden Bebauung unter einem Winkel von 40 bis 60° ein. Letztmalig trat hier im April 2008 eine Rutschung auf, wobei aufgrund der unmittelbar an den Hang angrenzenden Bebauung die Sicherheit von Anwohnern gefährdet wurde. Aus vorliegenden Unterlagen konnte zudem auf subrezente Rutschungen geschlossen werden. In Kap. 3 wird über die Sicherung dieses Böschungsabschnittes berichtet.

2. Auslösemechanismen von Rutschungen in geklüftetem Geschiebemergel

Als Auslöser für Rutschungen in stark geklüftetem Geschiebemergel kommen die folgenden Prozesse in Frage, die nachstehend näher erläutert werden:

Kluftwasserdruck

Besteht die Möglichkeit des Zuflusses von Niederschlagswasser in an der Böschungskrone ausbeißende, steilstehende und offene Trennflächen und wird der weitere Abfluss dieses Wassers im Gebirge verhindert, bildet sich in der Trennfläche ein Wasserdruck aus, der der Höhe der Wassersäule in der Trennfläche entspricht. Als Ursache für den verhinderten Abfluss kommen fehlende Trennflächen im basalen Bereich des Kluftkörpers oder ein geringer Durchtrennungsgrad der Trennflächen in Frage. Ein solcher Wasserdruck bewirkt eine luftseitig gerichtete Kraft (Kluftwasserschub).

Ist eine basale Trennfläche ausgebildet, greift auch hier der Wasserdruck in der gleichen Höhe an (Auftrieb). Dadurch werden die Normalspannungen auf die Basisfläche reduziert, die haltenden Kräfte folglich verringert.

Eisdruck

Der Eisdruck entsteht durch die Zunahme des Volumens von Wasser um etwa 9% bei Übergang in den festen, gefrorenen Zustand. Die dabei entstehenden Kräfte können zu einer vollständigen Ablösung des Kluftkörpers von der basalen und der rückwärtigen Trennfläche führen und schließlich ein Herausdrücken des Kluftkörpers aus der Böschung im Zuge einer Gleit- oder Kippbewegung bewirken.

Ein Eisdruck in den Trennflächen wird sich immer dann aufbauen, wenn die Durchlässigkeit des anstehenden Materials wie im hier vorliegenden Fall sehr gering ist, das in die Trennfläche einströmende Niederschlagswasser damit nicht zu einer Durchfeuchtung des Materials führt, sondern in der Trennfläche aufgestaut wird und hier gefrieren kann.

Besonders durch Eisdruck gefährdet sind Trennflächen in den Bereichen unmittelbar unterhalb der Böschungskrone, da hier die Frosteinwirkung aufgrund der exponierten Lage und des fehlenden Bewuchses hoch ist. Relevant in diesem Zusammenhang ist auch der mehrmalige wiederholte Frost-Tau-Wechsel, der mit jeder erneuten Frosteinwirkung zu einem fortgesetzten Aufreißen bestehender Trennflächen und zu einem langsamen, stetigen Herausdrücken von Kluftkörpern aus der Böschung durch Gleiten oder Kippen führen kann. Gleichzeitig werden hierdurch vermehrt Wasserwegsamkeiten geschaffen, die bei Infiltration von Niederschlägen zur Entstehung von Kluftwasserschub oder Strömungsdruck führen können. Die Frosteinwirkung kann damit nicht nur selbst als Auslöser für Blockbewegungen fungieren, sondern auch das Auftreten anderer Versagensmechanismen begünstigen.

Wurzeldruck

Ursächlich ist der Quelldruck von wasseraufnehmenden Wurzeln. Sie werden bevorzugt die vorhandenen Trennflächen als Wuchsbahnen nutzen, da hier entlang der Trennflächenwandungen eine pflanzenverfügbare Durchfeuchtung gegeben ist.

Die mechanische Wirkung der Wurzel unterscheidet sich hierbei nicht von der des Eises. Insbesondere kann auch das Wachstum größerer Wurzeln in einer Trennfläche zu einem kontinuierlichen Herausdrücken von Kluftkörpern führen. Dagegen existieren durchaus positive Effekte eines Bewuchses. So kann die Durchwurzelung als Bewehrung in der Trennfläche fungieren. Der Zusammenhalt der Kluftkörper im Gebirgsverband wird dadurch gestärkt.

3. Sicherung des Geschiebemergel-Steilhanges in Oderberg

Basierend auf den Ergebnissen einer Variantenstudie wurde die Sanierung des potenziell rutschgefährdeten Böschungsabschnittes östlich der Ortsmitte durch Sicherungspfeiler als wirtschaftlichste und gleichzeitig die landschaftsästhetische Wirkung des Steilhanges weitgehend erhaltende Maßnahme festgelegt.

Abb. 2: Schema der Anordnung der Sicherungspfeiler.

Obige Abb. 2 verdeutlicht die Geometrie des Böschungssystems und das Schema der Anordnung der stehenden und liegenden Sicherungspfeiler.

Die Sicherungspfeiler werden liegend oberhalb des auf halber Höhe liegenden Weges sowie im unteren Böschungsabschnitt hergestellt; unmittelbar unterhalb des Weges werden stehende Sicherungspfeiler hergestellt. Die aus bewehrtem Spritzbeton ausgeführtem Sicherungspfeiler sind in Abhängigkeit ihrer Länge zwei- bis achtfach durch Verpresspfähle rückverankert.

Nachfolgende Abb. 3 zeigt das Grundprinzip der Herstellung der Sicherungspfeiler anhand eines anderen, bereits abgeschlossenen Bauvorhabens.

Abb. 3: Grundprinzip der Herstellung der Sicherungspfeiler:

a) Aushub und Herstellung der Arbeitsebene mit Spritzbeton,

b) Herstellen der Verpresspfähle,

c) Einlegen der Bewehrung,

d) Einbringen des Spritzbetons.

Nach erfolgter Herstellung können die Sicherungspfeiler mit Boden überdeckt werden. Ebenso wird sich der Bereich zwischen den Sicherungspfeilern wieder durch Anflug und natürliche Sukzession begrünen. Nach den bisherigen Erfahrungen ist davon auszugehen, dass bereits innerhalb eines Zeitraums von 1 bis 2 Jahren nach Abschluss der Baumaßnahmen eine Krautschicht und nachfolgend ein Bewuchs aus Sträuchern und Büschen das vormalige Baufeld überdecken werden.

Dr.-Ing. Christian Gau, Dr. Thomas Heym, Dipl.-Ing. Uwe Reimer

Baugrundinstitut Franke-Meißner
Berlin-Brandenburg GmbH
Am Borsigturm 50
13507 Berlin

E-Mail: c.gau@bfm-berlin.de; heym@bfm-berlin.de; reimer@bfm-berlin.de

Manfred Kupetz
c/o Förderverein Geopark Muskauer Faltenbogen e.V.

Der Geopark Muskauer Faltenbogen – Attraktionen im polnischen Teil

Der Geopark Muskauer Faltenbogen liegt wie ein großes Hufeisen als glazialtektonische Großstruktur (Grundbruchmoräne) in der nordmitteleuropäischen Eiszeitlandschaft. Die Lausitzer Neiße zerschneidet ihn mit einem für Flachlandverhältnisse schroffen, terrassierten Taleinschnitt von 20-30 m Tiefe. Sein westlicher Teil befindet sich in Deutschland (Brandenburg und Sachsen), sein östlicher in der Wojewodstwo Lubuskie (Wojewodschaft Lebuser Land) Polens. Großräumlich gesehen liegt er etwa im Mittelpunkt des Städtedreiecks, das Berlin, Wrocław und Dresden auf der Karte bilden. 2006 wurde der deutsche Teil des Geoparks Nationaler Geopark Deutschlands. 2009 erhielt sein polnischer Teil die Anerkennung als 1. Nationaler Geopark Polens überhaupt. Im September 2011 wurde er als 43. Mitglied in das Europaen Network of Geoparks aufgenommen. Ein umfangreicher Führer durch den Geopark mit geologischer Beschreibung des Faltenbogens und sieben thematischen Exkursionen ist 2009 erschienen (Hrsg.: KUPETZ & KUPETZ 2009). Den Kontakt zum Geopark vermittelt die

Geschäftsstelle Geopark Muskauer Faltenbogen
Forster Str. 8
03159 Döbern
info@muskauer-faltenbogen.de
Tel. 035600-385 18
www.muskauer-faltenbogen.de

Die natürlichen Randbedingungen sind die Ursache für das Auftreten von 31 Geotoparten auf relativ kleinem Raum. Von besonderer Attraktivität für Geoparkbesucher wie für Fachgeologen sind die Eisensulfatquellen in der historischen Braunkohlengrube „Babina“ („Großmutter“) am Oberlauf der Mlynska Struga (Mühlenstruga) östlich von Łęknica (Lugknitz) sowie die sich in einem Renaturierungsprozess befindlichen Bergbaufolgegewässer und Außenhalden (Hochhalden) des Braunkohlenbergbaus bei Bronowice (Braunsdorf). Beide Geotopbereiche befinden sich im Verwaltungsverfahren der Ausweisung als Geologische Reservate nach polnischem Naturschutzgesetz.

Die Babina-Quellen sind saure Eisen-Sulfat-Quellen mit ausgedehnten mineralischen Absätzen („Eisenhydroxidschlämme“). Sie werden ausführlich von RZEPA & BOŻĘCKI (2007), BOŻĘCKI (2010) sowie KUPETZ et al. (2012, i. Dr.) beschrieben. Die Restseen von Bronowice sind ph-neutrale bis extrem saure, meist stehende Gewässer von rostbrauner, dunkelbrauner, grüner oder schwarzer Farbe.

Der Vortrag vermittelt an Hand von Graphiken, Geländefotos und Hubschrauberbildern sowie REM-Aufnahmen der Eisenhydroxidminerale für die beiden Geologischen Reservate einen Eindruck. Geologische Exkursionen in diese Gebiete werden ausführlich in KUPETZ & KUPETZ (2009) beschrieben.

Literatur:

BOŻĘCKI, P. (2010): Ergebnisse mineralogischer Untersuchungen im polnischen Teil des Muskauer Faltenbogens.- Schriftenr. Deutsch. Gesellsch. Geowissensch., **62**, S. 24-32, 7 Abb., Stuttgart.

KUPETZ, A. & KUPETZ, M. [Ed.] (2009): Der Muskauer Faltenbogen.- Wanderungen in die Erdgeschichte 24, München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 224 S., 339 Abb., 2 Karten.

KUPETZ, A., KUPETZ, M., KOŹMA, J. & BOŻĘCKI, P. (2012): Quellen und Eisenhydroxidminerale im polnischen Teil des Geoparks Muskauer Faltenbogen.- Der Aufschluss, Heidelberg, 62, zum Druck angenommen

RZEPA, G. & P. BOŻĘCKI (2007): Mineral composition of AMD precipitates in the Łęknica region (the Muskau Arch, Western Poland).- Mineralogia Polonica, Special Papers **31**, S. 243-246, 2 Abb., 1 Tab.

Manfred Kupetz

c/o Förderverein
Geopark Muskauer Faltenbogen e.V.
Schulweg 1a
03055 Cottbus

E-Mail: Manfred.kupetz@t-online.de

Herausgeber:

Landesamt für Bergbau,
Geologie und Rohstoffe
Brandenburg (LBGR)
Inselstraße 26
03046 Cottbus

Telefon: 0355 / 48640 – 0
Telefax: 0355 / 48640 – 510
e-mail: lbgr@lbgr.brandenburg.de
Internet: www.lbgr.brandenburg.de

Landesamt für Bergbau,
Geologie und Rohstoffe
Brandenburg

EXKURSION I

1 Tgb. Jänschwalde, Tagesanlagen Jänschwalde

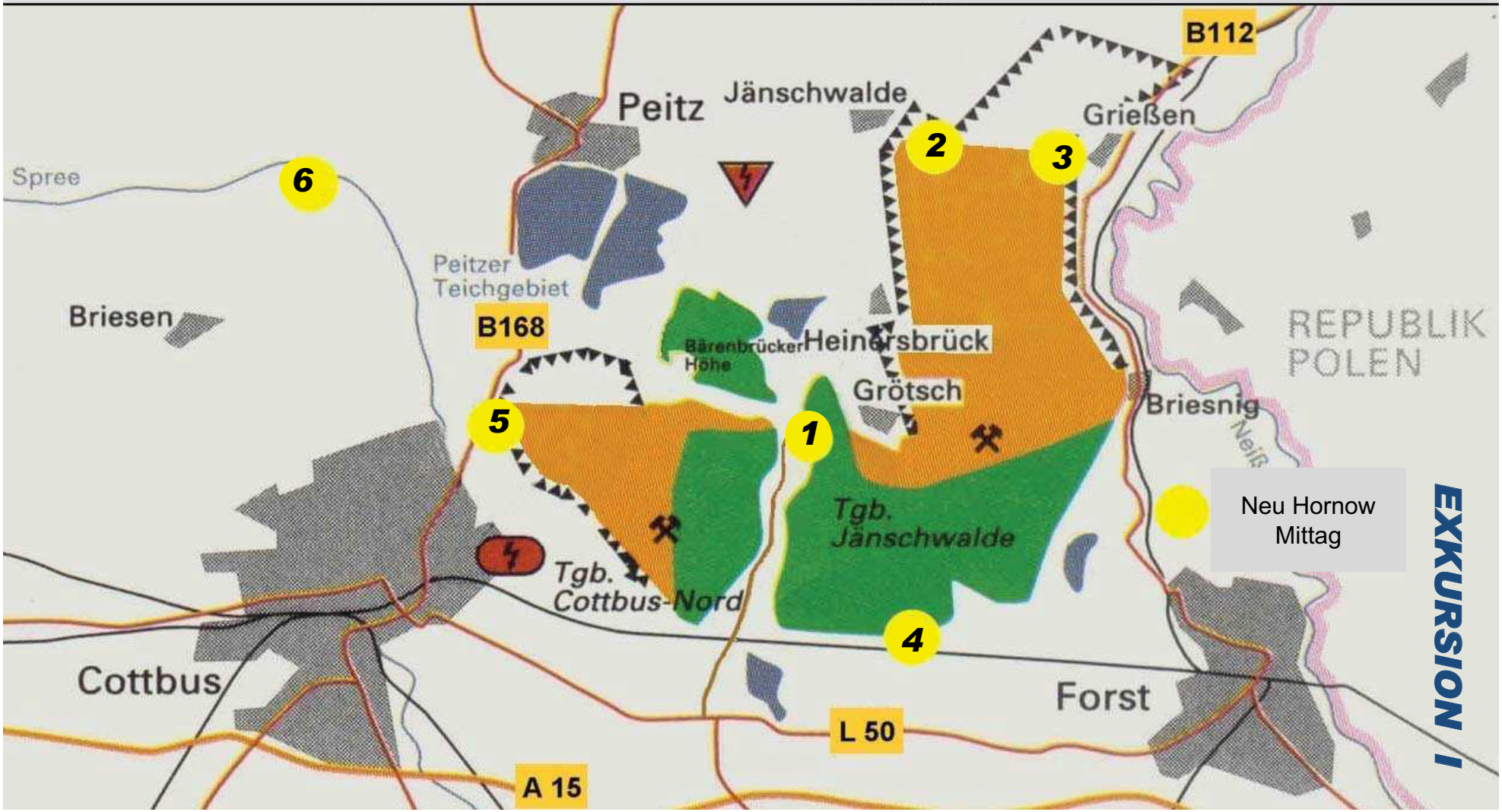
2 Tgb. Jänschwalde, Eem Jänschwalde

3 Tgb.Jänschwalde, Drenthe- und Warthe-Grundmoräne

4 Eem von Klinge und Freilichtmuseum Zeitsprung

5 Tgb. Cottbus-Nord, Aussichtspunkt Lakoma

6 Renaturierung Spreeaue



EXKURSION I

EXKURSION I
TAGEBAU JÄNSCHWALDE

Dipl. -Ing. Ralf Kühner
Vattenfall Europe Mining AG

Dr. Jaqueline Strahl
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg

Einführung

Der Tagebau Jänschwalde befindet sich ca. 15 km nordöstlich der Stadt Cottbus und versorgt seit dem 01.10.1976 das gleichnamige Kraftwerk mit Rohbraunkohle. Die Abraumgewinnung erfolgt mit einer Abraumförderbrücke vom Typ F 60, einem rund 600 m langen Geräteverband mit drei angeschlossenen Eimerkettenbaggern vom Typ Es 3750. Ihre jeweilige Förderleistung beträgt ca. 5500 m³/Stunde. Im Jahr 2000 wurde auf Grund gestiegener Abtragsmächtigkeiten im Bereich der Hornoer Hochfläche ein Vorschnittbetrieb eingerichtet, wo ein Schaufelradbagger SRs 2000 die oberen Deckgebirgsschichten abträgt. Sie gelangen über eine 2 m breite Bandanlage auf die Kippenseite und werden hier durch einen Absetzer gezielt als kulturfreundliche obere Bodenschicht auf die F 60-Kippe aufgebracht. Der 2. Miozäne Flözkomplex erreicht Mächtigkeiten bis 12 m und wird im Grubenbetrieb durch drei Schaufelradbagger (SRs 1300) und zwei Eimerkettenbagger (ERs 710) gewonnen und über eine rund 7800 m lange Bandanlage direkt zur Kohleverladung im Kraftwerk Jänschwalde transportiert. Jährlich werden bis zu 13 Millionen Tonnen Rohbraunkohle gefördert. Die Entwässerung des Tagebaubereiches erfolgt durch Filterbrunnen, die im Vorfeld und an den Tagebaurändern bis in eine Teufe von 90 m reichen. Das gehobene Grundwasser wird nach entsprechender Reinigung (Belüftung, Enteisenung) zur Stabilisierung des regionalen Wasserhaushaltes der Spree und umliegender Feuchtgebiete eingesetzt bzw. findet Verwendung als Brauchwasser im Kraftwerk. Im Osten des Tagebaus verhindert eine rund 11 km lange und durchschnittlich 65 m tiefe Dichtwand die Beeinflussung des angrenzenden polnischen Staatsgebietes durch Grundwasserabsenkung.

Das Eem-Vorkommen Jänschwalde

Seit 2010 sind in der Vorschnittböschung des Tagebaus warmzeitliche Sedimente aufgeschlossen, die zu einem der größten Eem-Vorkommen der Lausitz zählen (Abb. 1). Sie liegen unmittelbar östlich der Ortslage Jänschwalde in einer N-S orientierten, rinnenförmigen Struktur von ca. 2500 m Länge und bis zu 500 m Breite.

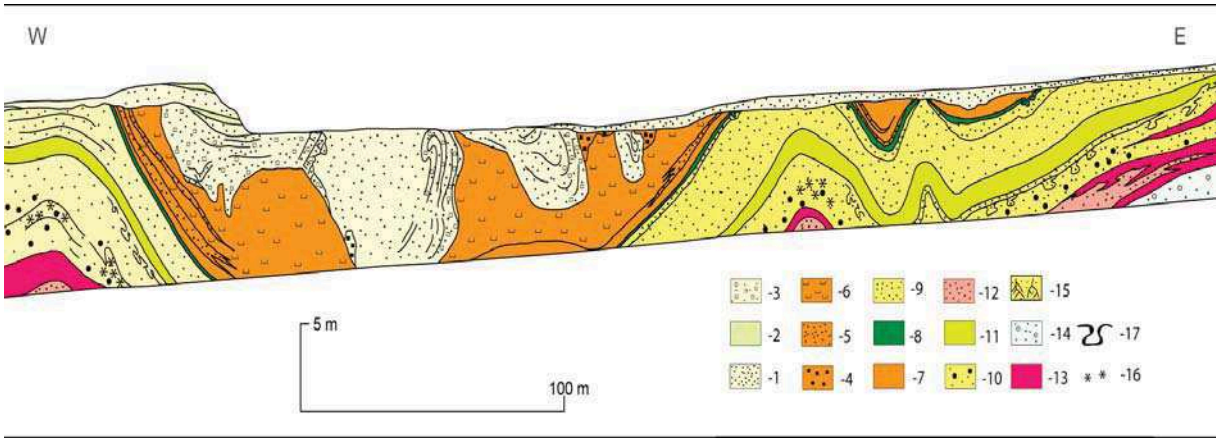


Abb. 1: Kartierungsprofil des Eem-Vorkommens Jänschwalde vom März 2011, Kühner 2011

Weichsel-Kaltzeit:
1 - Mittelsand, grob- bis feinsandig;
2 - Schluff, feinsandig-tonig;
3 - Mittelsand mit umgelagerten Eem-Geröllen;
4 - umgelagerte Eem-Gerölle;
Eem-Warmzeit:
5 - Mittelsand, feinsandig,
6 - graugrüne bis hellbraune, stark kalkhaltige Mudden;
7 - Schluff-Mudde, z. T. blauschwarzen Schlieren;
Saale-Komplex:
8 - Schluff, sandig-tonig, z.T. stark organisch;
9 - Mittelsand/Feinsand;
10 - Sand, grobsandig, z. T. kiesig;
11 - Bänderschluff;
12 - Geschiebesand;
13 - Geschiebemergel;
14 - Sand, z. T. kiesig (Tranitzer Fluviatil);
15 - Wurzelreste;
16 - Schwemmkohle;
17- Kryogene Deformationen.

Die Struktur befindet sich im Übergangsbereich vom Taubendorfer Sander zu den Niederungen des Baruther Urstromtals, ca. 3,5 km westlich der saalezeitlich angelegten Hornoer Hochfläche und ca. 5 km südwestlich der Endmoränen des Brandenburger Stadiums (Brandenburg-Phase, LITT et al. 2007) der Weichsel-Eiszeit. Östlich und westlich der Depression sind zwei saalezeitliche Geschiebemergelhorizonte ausgebildet, die großflächig von den fluviatilen Schwemmfächersedimenten des Tranitzer Fluviatils unterlagert werden. Die beiden Geschiebemergel tauchen im Flankenbereich der Struktur unter das Eem ab, wobei die obe-

re Bank vielfach erosionsbedingt ausfällt. Die geschlossene Verbreitung der unteren Bank im Liegenden der Eem-Ablagerungen konnte aufschlussbedingt bislang noch nicht belegt werden. Über dem Geschiebemergel folgen mittel- bis grobsandige Schmelzwassersedimente mit hohem Anteil an umgelagerten Braunkohlegeröllen. Die Sande wurden von Ost nach West geschüttet (FENTROHS 2010) und zeigen keine Beziehung zum Verlauf der Rinne, die zu diesem Zeitpunkt noch mit Toteis plombiert war und morphologisch nicht in Erscheinung trat. Im Hangenden gehen sie in einen markanten, großflächig ausgebildeten und durch kryogene Verbrodelungen gekennzeichneten Bodenhorizont über. Er wird erosiv von dm-starken, ungeschichteten Grobsanden überlagert und ist dadurch nur noch reliktisch erhalten (Abb. 2).

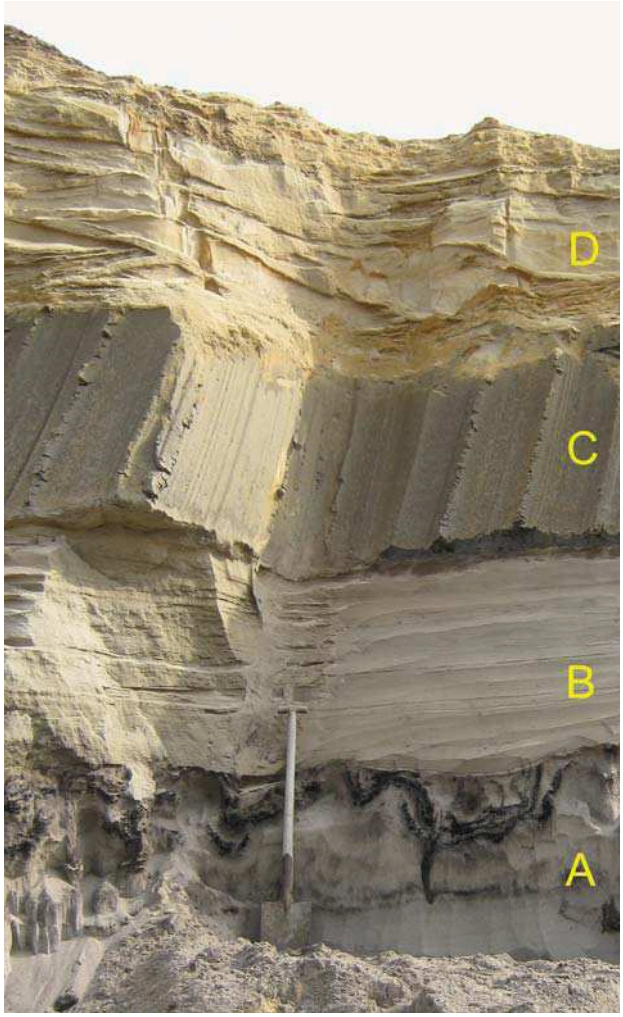


Abb. 2: Schichtenfolge am Ostrand des Beckens

A- grobe Schmelzwassersande im Hangenden des Saale-Geschiebemergels (nicht aufgeschlossen) mit erosiv gekapptem Brodelboden-Horizont;
B- Mittel- bis Grobsand;
C- Bänderschluff;
D- Schmelzwassersande des Brandenburger Stadiums der Weichsel-Eiszeit.
Foto: Kühner 2010

Mit der Ablagerung eines ca. 0,8 bis 1,2 m mächtigen Bänderschluffs schalten sich glazilimnische Sedimente ein, die sich mit schwach geschichteten und vereinzelt bereits organische Flitter führenden Feinsanden fortsetzen. Zahlreiche Holzreste in den oberen Dezimetern (Abb. 3) konnten durch H. GÄRTNER (frdl. schrftl. Mitt.) als Wurzeln, Stamm- und Astteile des Sanddorns (*Hippophaë rhamnoides*) bestimmt werden. Sie lassen ein zeitweises Trockenfallen des relativ flachen Gewässers erkennen. Zeitlich korreliert diese Phase mit der für die Pollenzone (PZ) SII (nach ERD 1973) bzw. PZ B (HERMSDORF & STRAHL 2008, STRAHL in KÜHNER et al. 2008) typischen Ausbreitung von Sanddorngebüschen im frühen Saalespätglazial. Die sich anschließende Wechsellagerung aus cm-starken, schwarzen Sandmudden mit hellgrauen Feinsandlagen kann als Ergebnis einer erneuten Vernässung gewertet werden, wobei in den Pollenspektren Sumpf- und Wasserpflanzen bis auf den häufigeren Nachweis von Schachtelhalm (*Equisitum*) nahezu bedeutungslos bleiben (STRAHL in KÜHNER et al. 2008).

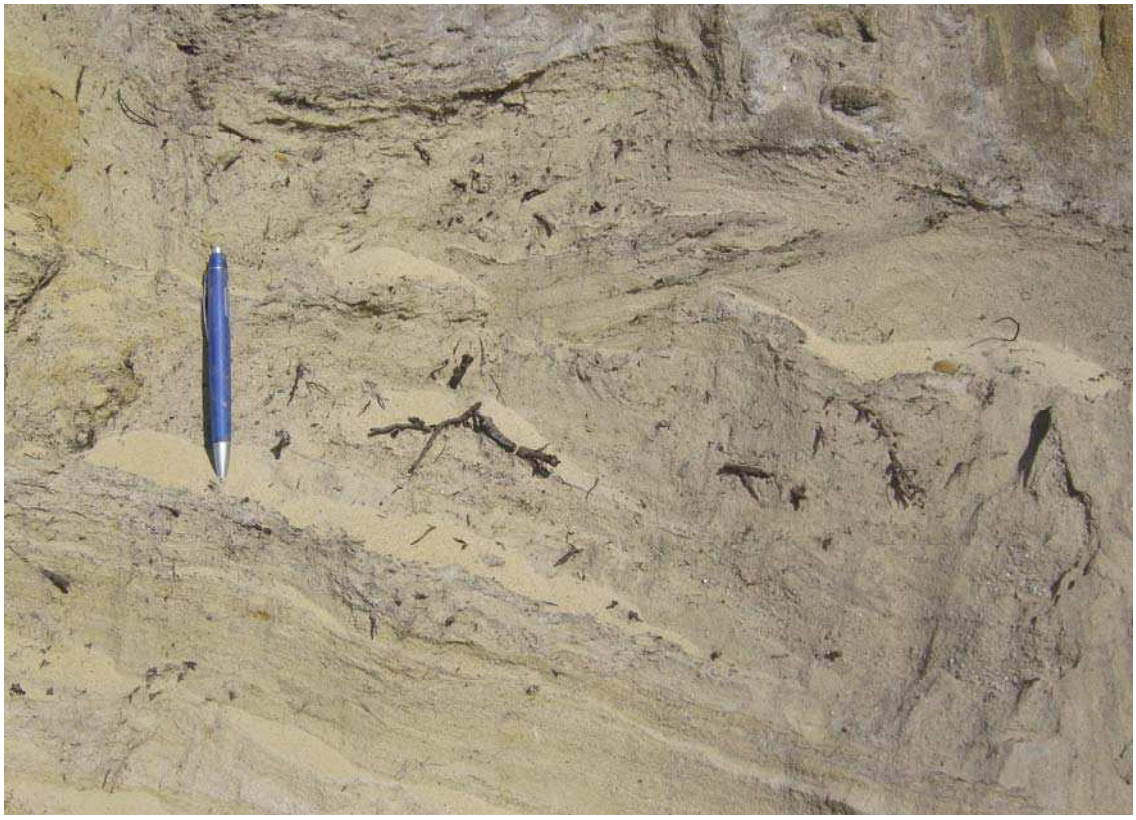


Abb. 3: Wurzelhorizont im Liegenden der saalespätglazialen Sandmudde.
Foto: Kühner 2011

Graugrüne bis olivgrüne, z. T. intensiv mit blauschwarzen Schlieren durchsetzte Schluff- und Tonmudden leiten auch lithologisch in den eemwarmzeitlichen Sedimentkomplex über. Hier treten, als Zeichen des beginnenden Zerfalls der im Untergrund konservierten Toteisplombe und der nun einsetzenden Entwicklung eines langgestreckten, tieferen Rinnensees, erste

Mächtigkeitsunterschiede der Sedimente zwischen Beckenzentrum und Beckenrand auf. Das austauende, unregelmäßig eingelagerte Toteis führte zur Ausbildung eines morphologisch stark gegliederten Basisreliefs, das durch mehrere Einzelbecken unterschiedlicher Größe mit teilweise sehr steilen Flanken, Schwellen und lokalen Übertiefungen geprägt ist. Die Absenkungen erreichen, bezogen auf das Niveau des saalezeitlichen Bänderschluffs, Werte bis 15 m.

Die Ablagerungen der Eem-Warmzeit sind in Mächtigkeiten bis ca. 8 m erhalten. Im Wesentlichen treten ungeschichtete, kalkhaltige Schluffmudden mit wechselnden Ton- und Schluffgehalten in Erscheinung, in denen makroskopisch kaum eine lithologische Differenzierung erkennbar wird. Die Färbung reicht von olivgrünen bis zu schwarzgrauen Tönen, sie ist nicht horizontbezogen ausgebildet sondern geht wolkig bis schlierig ineinander über. Zum Hangenden entwickelt sich die Serie unter allmählichem Übergang in hellbraune und stark kalkhaltige Mudden, die in trockenem Zustand schneeweiß werden. Bezüglich der pollenanalytischen Untersuchungen (im Folgenden nach STRAHL in KÜHNER et al. 2008) beginnt die eemzeitliche Entwicklung mit der PZ 1 (Birken-Zeit; ERD 1973) und bricht bereits in der PZ 5b (Hasel-Eiben-Linden-Zeit) erosionsbedingt ab. Mit der PZ 1 zeigt sich das typische Bild der früheemzeitlichen Birken-Dominanz bei deutlichem Rückgang der Kiefer und der Kräuter. Noch während der PZ 1 begann die Ulme und im Übergang zur PZ 2 auch die Eiche in das Gebiet einzuwandern. Mit der PZ 1 nach ERD (1973) zeigt sich das typische Bild der früheemzeitlichen Birken-Dominanz bei deutlichem Rückgang der Kiefer und der Kräuter. Noch während der PZ 1 begann die Ulme und im Übergang zur PZ 2 auch die Eiche in das Gebiet einzuwandern.

Während der Kiefern-Birken-Zeit (PZ 2) wurde die immer noch lichte Bewaldung (nach wie vor Süßgräser und Beifuß reichlich vertreten) durch die Kiefer beherrscht, daneben breiteten sich Ulme und Eiche sukzessive weiter aus. Ausdruck der zunehmenden Erwärmung sind neben den genannten Laubgehölzen auch erste Nachweise von Efeu (*Hedera*) und Stechpalme (*Ilex*).

In der PZ 3 (Kiefern-Eichenmischwald-Zeit) lösten Eichen-dominierte Laubmischwälder die taigaähnliche Kiefern-Birken-Vegetation der PZ 2 ab. Neben der Eiche und der Ulme etablierten sich die Esche (*Fraxinus*) und im Übergang zur PZ 4 die Hasel und Erle. Außer dem Efeu erreichten weitere, ozeanisch bis subozeanisch geprägte Elemente, wie die Mistel (*Viscum*), der Ahorn (*Acer*) und die Binsenschneide (*Cladium mariscus*) das Gebiet.

In der PZ 4 (Eichenmischwald-Hasel-Zeit) erfolgte die für das Eem-Warmzeit typische, starke Ausbreitung der Hasel, begleitet durch die Erle auf Feuchtstandorten. Die Eiche, die Ulme und auch die Kiefer wurden entsprechend zurückgedrängt. Vereinzelt erschienen bereits die

Eibe (*Taxus*) und die Fichte im Gebiet. Als Waldbegleiter etablierte sich der Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*).

Mit der PZ 5 (Hasel-Eiben-Linden-Zeit) bricht die eemzeitliche Entwicklung ab. Das Profil wird erosiv durch Feinsande gekappt, in denen Schluffmudde und Torf aus dem jüngeren Eem-Warmzeit aufgearbeitet wurden (s. u.).

Neben der Hasel waren in der Subzone 5a Bestände mit Eibe und in der Subzone 5b mit Linde (*Tilia*) maßgeblich. Der Übergang zur PZ 6 deutet sich im Profil mit dem Anstieg der Hainbuchen-Kurve, der in die beginnende Schattholzphase des Eems überleitet, gerade noch an. In den ufernahen Randbereichen (Abb. 4) verzahnen sich die organogenen Ablagerungen mit Lagen aus cm- bis dm-starken, graugrünen und vereinzelt schwach schluffigen Mittelsanden.

A - Sande mit Holz- und Wurzelresten;

B - Wechsellagerung Sandmudde/Feinsand;

C - stark tonige Schluffmudde mit blau schwarzen Schlieren und Streifen;

D - Feinsand, mittelsandig, schluffig;

E - Schluffmudde, geflasert, vereinzelt Feinsandschlieren;

F - Mittelsand, feinsandig, vereinzelt Holzreste;

G - Feinsand, stark schluffig, schwach humos;

H - Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig;

I - ungeschichtete Schluffmudde mit hellbraunen und blauschwarzen Schlieren;

J - Schmelzwassersande des Brandenburger Stadiums der Weichsel-Eiszeit.

Foto: Kühner 2010

Abb. 4: Schichtenfolge im Ostteil des Eem-Beckens

Sie dünnen zum Beckentiefsten vollständig aus und wurden eemzeitlich offenbar durch kleinere Bäche in den See eingespült. Etwas jünger sind die hellgrauen bis gelblichen Mittelsande in der Füllung mehrerer fluviatiler Rinnen einzustufen, die sich bei einer Breite von maximal 60 m bis zu 8 m tief in die warmzeitlichen Sedimente eingeschnitten haben.

Die Rinnen folgen in ihrem Verlauf grundsätzlich dem Streichen des Eem-Beckens, wobei sich durch mehrfache Aufspaltung und Wiedervereinigung ein netzartiges System gebildet hat. In der durch Mittelsand dominierten Füllung sind lokal große Mengen an umgelagerten und aufgearbeiteten Eem-Geröllen eingebettet, die auch eine nicht mehr anstehende Lebermudde enthalten. Sie konnte palynologisch in die PZ 9 (nach ERD 1973) eingestuft werden (STRAHL 2011) und belegt die zu erwartende, ehemals vollständige Entwicklung des Eem-Vorkommens Jänschwalde bis in die abschließende Kiefern-Zeit. Des Weiteren liefert das Ergebnis eine wichtige Zeitmarke für das Mindestalter der Rinnenanlage.

Die Flanken der Rinnen weisen eine markante Asymmetrie auf: Während die Westflanken eine rein erosive Gestaltung zeigen, sind die Ostflanken steilgestellt, überkippt und vereinzelt über die Rinnenfüllung geschleppt (Abb. 5).

Abb. 5: Ostflanke einer in den Eem-Körper eingeschnittenen frühweichselzeitlichen Rinne, Foto: Kühner 2011

Die stark mit aufgearbeiteten Eem-Geröllen durchsetzten Rinnensande sind wie die Rinnenflanke selbst durch intensive, westvergente Deformationen gekennzeichnet. Im Hangenden wird der deformierte Schichtkomplex diskordant durch grobe Schmelzwassersande des Brandenburger Stadiums abgeschnitten.

Auch in den angrenzenden Rinnensanden sind intensive, plastische Deformationen mit westvergenten Strukturen ausgebildet, die offenbar auf eine glazitektonische Überprägung des Vorkommens durch den weichselzeitlichen Gletscher des Brandenburger Stadiums deuten.

Die gesamte Beckenfolge, einschließlich der gestauchten frühweichselzeitlichen Rinnensedimente, wird diskordant im Niveau um +65 mNHN durch die Sanderschüttungen der Brandenburger Eisrandlage erosiv abgeschnitten. Die über den Taubendorfer Sander abfließenden Schmelzwässer zerstörten die jüngeren Eem-Ablagerungen bis einschließlich PZ 6 und lagerten eine 8 bis 10 m mächtige Folge aus sandig-kiesigen Sedimenten ab, die vorwiegend im unteren Drittel durch dm-starke Schluffhorizonte unterbrochen wird.

Das Tranitzer Fluviatil

Das Tranitzer Fluviatil repräsentiert als lithostratigraphische Einheit den wichtigsten fluviatilen Leithorizont in der östlichen Niederlausitz und ist im Tagebau Jänschwalde in großer Verbreitung und in weitestgehend originärer Ausbildung aufgeschlossen (Abb. 6). Es liegt erosionsdiskordant dem Elster-Geschiebemergel bzw. der anstehenden mittelmiozänen Tertiärfolge auf und setzt sich aus 5 bis 10 m mächtigen, horizontweise auch stark kiesigen Mittel- und Grobsanden zusammen. In den ehemaligen, frühsaalezeitlich noch in Erscheinung getretenen Talungen der alten Rinnensysteme der Elster-Kaltzeit kann die Mächtigkeit des Fluviatils bis auf 40 m ansteigen.

Seine Oberkante fällt vom Südrand der Hornoer Hochfläche bis in das Gebiet nordwestlich Taubendorf (ca. 8,5 km) relativ gleichmäßig von +72 auf +62 m NHN ein. Das entspricht einer Neigung von 1,18 m/km, ein fast identisches Gefälle von 1,15 m/km ergibt sich auch für die rund 17 km lange Strecke von den klassischen Aufschlüssen bei Klinge bis nach Taubendorf. Im Vergleich dazu weist das Flussbett der rezenten Lausitzer Neiße in diesem Raum ein Gefälle von ca. 1,3 m/km auf, dabei liegt es 3 bis 5 m unterhalb der saalefrühglazialen Schwemmfächer-Oberkante.

Die hellgrauen bis hellgelben, fein- und grobsandigen Mittelsande sind vorwiegend in Form horizontaler bis trogförmiger Schüttungskörper abgelagert. Kiesige, deutlich schräggeschichtete Horizonte treten untergeordnet in Erscheinung. Als dominierende Schüttungsrichtung

wurden hier Orientierungen um Nord gemessen, abweichende Richtungen nach West resultieren aus dem Umfließen einer inselartigen Tertiäraufragung unter der Hornoer Hochfläche (KÜHNER et al. 2008).

Geröllzählungen lassen sehr quarzreiche Spektren (68,6 % bis 80,1 %) mit hohen Gehalten an südlichen Komponenten erkennen. Nordisches Kristallin ist durchschnittlich mit 8,6 %, Feuerstein mit 1,8 % vertreten. Die grauschwarzen, vereinzelt auch gelbbraunen Flinte fallen durch eine häufig ausgebildete, glänzende und lackartige Oberfläche sowie stark abgerollte Kanten auf. In den oberen Abschnitten des Schotterkörpers erreichen die blassrosa bis weißgrau gefärbten, kissenförmigen Isergebirgsfeldspäte Anteile zwischen 9,7 % und 11,4 %. Sie weisen in Verbindung mit einem Kieselschiefergehalt von durchschnittlich 2,1 % sowie Quarzanteilen um 75 % auf das Flusssystem der Lausitzer Neiße. Feuerstein ist hier mit Anteilen zwischen 0,2 % und 2,9 % vertreten, der Anteil von nordischem Kristallin bleibt meist unter 7 %. Dagegen liegen die Feldspatgehalte in den unteren Abschnitten nur bei durchschnittlich 6,9 %, auch der Kieselschieferanteil ist sichtbar reduziert. Die geringeren Anteile des Isergebirgsmaterials werden dabei im Wesentlichen nur durch höhere Kristallinanteile ausgeglichen, alle anderen Komponenten lassen keine markanten Verteilungsunterschiede erkennen. Ähnliche Verdünnungserscheinungen der feldspatreichen Neißeschotter sind von HELLWIG (1975) aus dem unteren Teil des Tranitzer Fluviatils sowie von CEPEK & NOWEL (1991) für das Klinger Fluviatil beschrieben worden. Sie werden auf die im Oberlausitzer Bergland entspringende Spree zurückgeführt, deren quarzreiche, primär aber nahezu feldspat- und kieselschieferfreien Schotter mit Neißematerial vermischt wurden.

Auch in den Schwermineralfraktionen 0,1–0,2 und 0,063–0,1 mm repräsentieren die hohen Gehalte an vulkanischen Augiten aus den tertiären Basalten der Lausitz und der Sudeten den großen Einfluss der Neiße als Schotterlieferant. Gleichzeitig vermitteln oszillierende Anteile von Pyroxen, der Metamorph-Gruppe und von Zirkon größere Klimaschwankungen während der Ablagerung, die sowohl unter stadialen als auch unter wärmeren, verwitterungsintensiveren Phasen erfolgte (THIEKE 1975, CEPEK & NOWEL 1991, THIEKE in KÜHNER et al. 2008). Letztere leiten sich aus kräftigen Korrosionserscheinungen (Hahnenkammstrukturen) sowie einer markanten Reduzierung instabiler Minerale (Pyroxene, Amphibole) ab und werden auf Grund ihrer Intensität bis auf hochinterglaziale Verhältnisse zurückgeführt. Ihre stratigraphische Position ist jedoch infolge kenntnisstandsbedingt fehlender Vergleichsmöglichkeiten derzeit nicht mit orthostratigraphischen Einheiten zu korrelieren.

In allen Abschnitten des Fluviatilkomplexes sind organogene Ablagerungen in unterschiedlicher Verbreitung ausgebildet. Meist treten cm- bis dm-starke Lagen und Schmitzen aus sandigen und stark schluffigen Mudden auf, selten auch Torfe oder zusammengeschwemmte Pflanzenreste innerhalb laminierter, schluffig bis stark schluffiger Feinsandkörper. Pollenana-

lytische Untersuchungen in den unteren Teilen des Tranitzer Fluviatils aus einer Bohrung westlich der Hornoer Hochfläche belegen eine Entwicklung von interstadialen hin zu stadialen Vegetationsverhältnissen, ermöglichen aber keine eindeutige stratigraphische Zuordnung (STRAHL in KÜHNER et al. 2008). Interstadial anmutende Abschnitte sind seitens der Gehölze durch Kiefer (*Pinus*), Erle (*Alnus*) und Fichte (*Picea*) sowie seltener bzw. nur in Spuren Hainbuche (*Carpinus*), Tanne (*Abies*), Lärche (*Larix*), Ulme (*Ulmus*) und Eiche (*Quercus*) charakterisiert. Der Kräuteranteil ist recht hoch und wird hauptsächlich durch Süßgräser (Poaceae), untergeordnet Sauergräser (Cyperaceae) und Heidekraut (*Calluna*) gebildet.

Es folgt ein Erlenrückgang bei gleichzeitiger Ausbreitung der Birke (*Betula*). Angesichts des zum Hangenden erkennbaren negativen Klimagangs kann es sich hierbei sowohl um eine klimatisch bedingte Verdrängung der Erle durch die Birke auf Feuchtstandorten, als auch eine Ausbreitung der Birke innerhalb der zu diesem Zeitpunkt verbreiteten lichten interstadialen Kiefern-Wälder handeln. Dies wird insbesondere durch die anschließende Verdrängung der Kiefer durch die Birke im nachfolgenden Stadial deutlich. Unter den Kräutern blieben weiterhin Süßgräser dominant.

In den stadialen Abschnitten stehen in ihrer Zusammensetzung deutlich kräuterreichere Vegetationsgemeinschaften im Vordergrund, vor allem mit Süß- und Sauergräsern, in denen Gehölze nur noch eine untergeordnete Rolle spielten. Höhere Pollenfrequenzen erreichen lediglich noch Birke und Kiefer sowie auch der Wacholder (*Juniperus*).

Vereinzelt führen die sandig-kiesigen Schüttungen umgelagerte Gehäuse und Schalenreste von Viviparus diluvianus KUNTH. Eine autochthone, aber kaltzeitliche Molluskenfauna konnte einmalig im Bereich der Hornoer Hochfläche mit Gyraulus acronicus (FÉRUSSAC 1807), Radix sp., Pisidium obtusale f. lapponicum (CLESSIN 1873) und Pisidium stewartii (PRESTON) in einer graugrünen, stadialen Schluffmudde nachgewiesen werden (MENG in KÜHNER et al. 2008). Der kaltzeitliche bzw. stadiale Charakter der Fauna wird durch die pollenanalytischen Ergebnisse unterstrichen (STRAHL in KÜHNER et al. 2008): Einer offensichtlich sehr schütteren Bewaldung mit hauptsächlich Birke, wenig Kiefer und nur in Spuren Erle), Fichte und Tanne steht eine sehr arten- und individuenreiche Kräuterflora gegenüber. Es dominieren Süß- und Sauergräser sowie vor allem Beifuß (Artemisia).

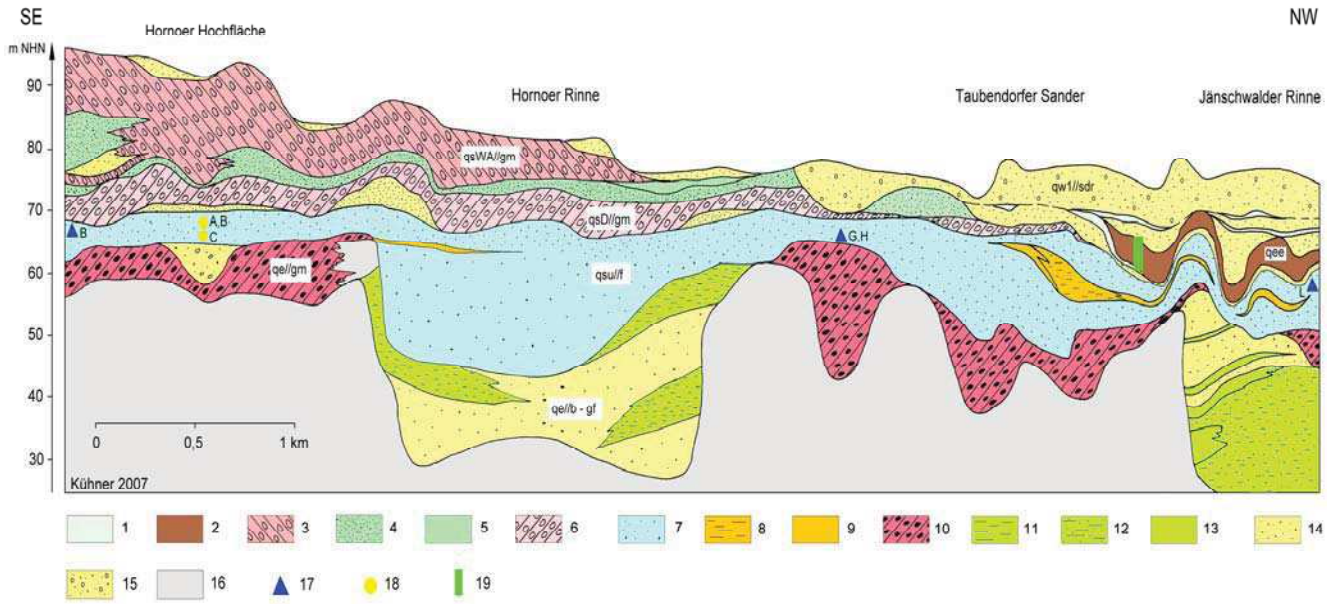


Abb. 6: Geologischer Übersichtsschnitt zum Raum Horno–Jänschwalde, Kühner 2007

1 - Schluff, z. T. organisch, wh//l;
2 - Schluffmudde, qee;
3 - Warthe-Geschiebemergel, qsWA//gm;
4 - Feinsand, schluffig bis stark schluffig, qsD - qsWA//b;
5 - Schluff, meist hoher Anteil von umgelagertem Miozän-Material, qsD -qsWA//b;
6 - Drenthe-Geschiebemergel, qsD//gm;
7 - Fein- bis Grobsand, vereinzelt kiesig, Tranitzer Fluviatil, qsu;
8 - Fein- bis Mittelsand, z. T. mit organischen Einlagerungen, qsu;
9 - Schluff, z. T. organisch, qsu;
10 - Elster-Geschiebemergel, qe2//gm;
11 - Mittelsand, fein- bis grobssandig, schluffig, Schlufflagen, z. T. mit Solifluktionsschutt, qe2//b - p;
12 - Feinsand, schluffig, qe//b;
13 - Bänderschluff, qe//b;
14 - Schmelzwassersande, z. T. kiesig,
15 - Grobsand, kiesig,
16 - Mittelmiozän, ungegliedert;
17 - Geröllanalyse;
18 - Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierung; 19 - Pollenanalyse

Ca. 9 km südlich der Hornoer Hochfläche wurde im ehemaligen Südrandschlauch des Tagebaus Jänschwalde ein innerhalb der klastischen Ablagerungen des Oberen Tranitzer Fluviatils aufgeschlossener Schluffmuddehorizont pollenanalytisch untersucht (STRAHL in

KÜHNER et al. 2008). Im Ergebnis konnte eine vierphasige Vegetationsentwicklung mit höchstens interstadialem Charakter ausgehalten werden. Eine eindeutige zeitliche Einstufung der Wärmeschwankung war auch hier nicht möglich.

Sowohl in den Aufschlüssen im ehemaligen Ostrandschlauch des Tagebaus als auch in den derzeitig aufgeschlossenen Bereichen sind in den gröberen Partien der oberen, nach LIPPSTREU et al. (1994) post-dömnitzzeitlichen Folge zahlreiche Holzreste eingeschwemmt. Neben kleineren Ästen und Zweigen finden sich auch größere Stämme von mehreren Metern Länge und bis zu 40 cm Durchmesser (Abb. 7).

Abb. 7: Eingelagerter Baumstamm im kiesigen Teil des Tranitzer Fluviatils, Hornoer Hochfläche, Tagebau Jänschwalde

Foto: Kühner 2011

Ein Baumstamm im oberen Tranitzer Fluviatil bei Gosda wurde 1993 von HABBE als von der Eiche stammend bestimmt (in NOWEL 1996).

Erste geochronologische Altersbestimmungen am Tranitzer Fluviatil im Raum Klinge erbrachten bereits 1994 korrigierte TL-Alter von 336 bis 248 ka für den unteren Abschnitt (Klinger Fluviatil) und 290 bis 208 ka für den oberen Abschnitt (KRBETSCHEK & STOLZ 1994). Geringere Alterswerte ergaben sich 2004 im Bereich der ca. 9 km nördlich gelegenen Hornoer Hochfläche, wo die fluviatilen Schüttungen grobe Schmelzwassersedimente im Hangenden der Elster-Moräne überlagerten (Abb. 8).

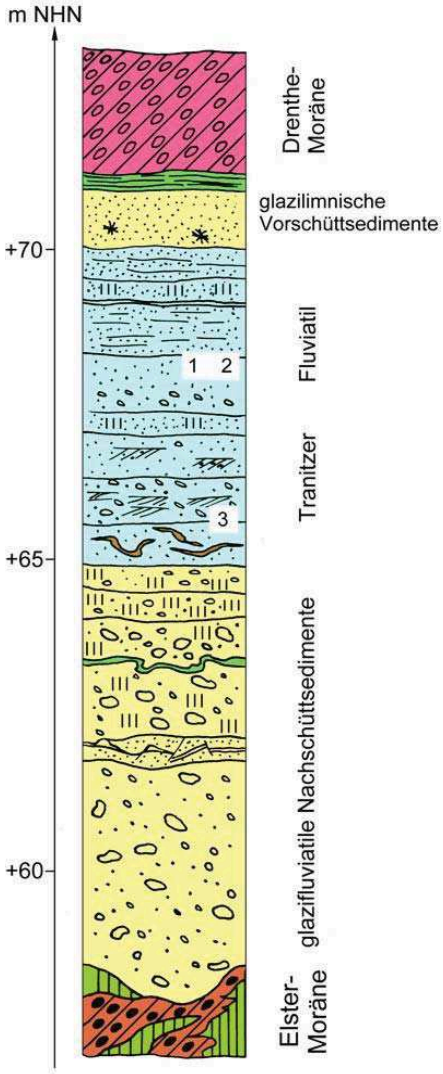


Abb. 8: Schichtenfolge im Bereich der Probenahme für IR-RF-Datierung
(Kühner 2011, Alter nach Krbetschek et al. 2008)

1 - 158 ± 9 ka;

2 - 149 ± 8 ka;

3 - 171 ± 15 ka

Die Entnahmepunkte dieser Proben befanden sich, bei Ansatz des allgemeinen Gefälles im Schwemmfächer von 1,2 m/km, niveaumäßig über den datierten Horizonten von Klinge und ließen hier einen stratigraphisch jüngeren Abschnitt des Fluviatilkomplexes vermuten. Die Ergebnisse der Infrarot (IR)-Radiofluoreszenz (RF)-Datierungen konnten diese Vermutung bestätigen und für die untere Probe, ca. 0,8 m über den elsterzeitlichen Schmelzwasserschottern, ein IR-RF-Alter von 171 ± 15 ka ausweisen (KRBETSCHEK et al. 2008). Zwei weitere Proben aus dem oberen Abschnitt belegen das Andauern der saalefrühglazialen Schotterakkumulation bis 158 ± 9 ka bzw. 149 ± 8 ka. Darüber folgten in konkordanter Lagerung die ersten Sedimente des Saale-Hochglazials mit geringmächtigen, feinsandig-schluffigen Vorschüttbildungen und dem Drenthe-Geschiebemergel.

Die Hornoer Hochfläche

Die Hornoer Hochfläche bildet als saalezeitlicher Hochflächenrest am Nordrand des Baruther Urstromtals mit Höhen von max. +103 m NHN eine markante morphologische Erhebung. Nach Osten fällt das Gelände auf ca. +60 m NHN in das Tal der Lausitzer Neiße ab, im Nordwesten und Norden schließt sich der Taubendorfer Sander als Abflussbahn weichselzeitlicher Schmelzwässer an.

Über den fluviatilen Schüttungen setzt, vereinzelt auch unter Einschaltung geringmächtiger glazilimnischer Vorschüttbildungen, in konkordanter Lagerung und mit tischebener bis flach welliger Basis der erste saalezeitliche Geschiebemergelhorizont ein. Er zeigt im unteren Teil eine relativ ungestörte Wechsellagerung aus gelbbraunen Sanden und diamiktischen, sandig-schluffigen Lagen. Diese vermutlich noch subglazial gebildete Folge geht nach wenigen Dezimetern in einen sehr kompakten, ungeschichteten und stark geklüfteten Absetzgeschiebemergel von etwa 3 bis 5 m Mächtigkeit über. Im Kleingeschiebebestand (Kleingeschiebeanalyse nach TGL 25 232) zeichnet er sich durch eine deutlich ostbaltische Zusammensetzung mit Dolomitgehalten bis 4,6 % aus (Tab. 1); Kartierungsprofil (Abb.9).

NK	PK	PS	D	F	MK	S	Q	SO	Südl.
36,4	28,4	-	2,5	1,7	0,8	5	22,3	1,7	1,2
35,6	27,5	-	3,6	3,2	-	4,4	21	0,8	3,6
39,7	30,1	1,4	4,6	1,4	-	3,65	16,9	1,4	0,9
38,6	28,2	1,2	3,4	3,1	-	8	13,5	1,2	2,5

Tab. 1: Kleingeschiebezusammensetzung (in %) des Drenthe-Geschiebemergels in der Hornoer Hochfläche, Sonntag 2002

NK - Nordisches Kristallin;
PK - Paläozoische Kalke;
PS - Paläozoische Schiefer;
D - Dolomit;
F - Feuerstein;
MK - Mesozoische Kalke;
S - Sandstein;
Q - Quarz;
SO - Sonstiges;
Südl. - Südliche Komponenten

Das Hangende des Geschiebemergels wird überwiegend durch einen Übergang in subaquatische Sedimentationsverhältnisse geprägt. Sandiges, z. T. geschichtetes Moränenmaterial mit häufig subvertikal eingeregelten Geschieben wechsellagert mit feinsandigen bis stark tonigen Schluffen und Sanden. Daraus entwickelte sich im östlichen Teil der Hochfläche ein glazilimnischer Sedimentkomplex mit Mächtigkeiten bis 13 m, in dem vorwiegend kalkfreie, dunkelbraune bis schwarzbraune Schluffe und grauschwarze bis weiße Fein- und Mittelsande mit geringem Karbonatgehalt vorherrschen).

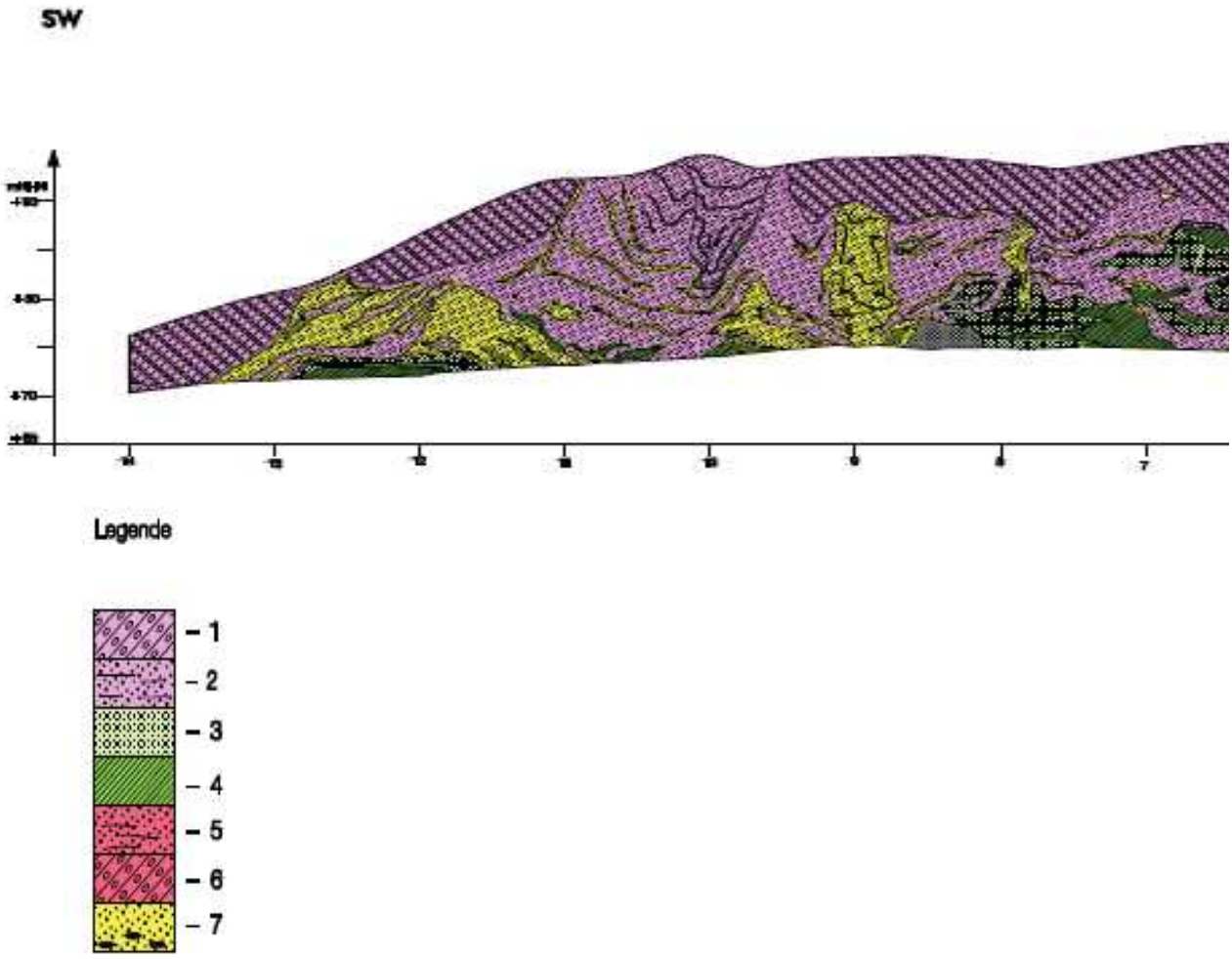


Abb. 9: Kartierungsprofil der saalezeitlichen Schichtenfolge im Vorschnitt der Hornoer Hochfläche, Kühner 2000

1- kompakter Warthe-Geschiebemergel der oberen Folge;
2- Warthe-Geschiebemergel der unteren Folge;
3- glazilimnische Feinsande;
4- Schluffe, z. T. mit hohem Anteil an umgelagertem Miozänmaterial;
5- subaquatisches Moränenmaterial;
6- Drenthe-Geschiebemergel;
7- Schmelzwassersande, z. T. kiesig.

Die Sande sind vielfach massig bzw. mit schwacher Horizontalschichtung entwickelt, Schluffe und schluffige Feinsande lassen Flaserschichtung oder ansteigende Rippelschichtungen erkennen. Vereinzelt eingeschaltete Straten und Schlieren aus sandigem Moränenmaterial sowie bis kopfgroße dropstones weisen auf eisrandnahe Ablagerungsverhältnisse hin, die zudem durch relativ hohe Sedimentationsraten gekennzeichnet waren.

Die Schluff/Feinsand-Serie ist substanziell vorwiegend aus umgelagerten tertiären Sedimenten gebildet worden. Zahlreiche schwarzbraune Flitter, die in großer Menge in den Sanden eingelagert sind, bestehen aus kleinen Fusitkörnern bzw. Kohlepartikeln (nach Analyse LABORATORIES FOR APPLIED ORGANIC PETROLOGY; NIEMZ 2002, frdl. mündl. Mitt.). In den Pollenspektren der feindetritischen Schluffe dominieren mit rund 80 % Vertreter der Gruppe Sumpfzypressen/Zypressen (Taxodiaceae/Cupressaceae), verschiedene Kiefern (*Pinus*)-Typen und diverse tricolporate Formen (STRAHL 2002). Daneben treten in untergeordneter Menge Amberbaum (*Liquidambar*), die zu den Heidekrautartigen gehörende Gattung *Symplocos* und Schirmtanne (*Sciadopytis*; 3,5 %) sowie als sowohl mögliche tertiäre und quartäre Formen Erle, Hasel (*Corylus*), Eiche und Tanne (3,7 %) in Erscheinung. Als sicherer quartärer Vertreter findet sich lediglich die auf kühlere Wassertemperaturen hinweisende Süßwasseralge *Pediastrum kawraiskyi*.

Ohne erkennbaren zeitlichen Hiatus gehen die Beckenbildungen in eine mächtige warthezeitliche Geschiebemergelsequenz über, die im gesamten Bereich der Hochfläche das dominierende Element darstellt (Abb. 10).

Abb. 10: Warthe-Moränenkomplex der Hornoer Hochfläche im Tagebau Jänschwalde mit kompakter und tiefgründig verlehmter oberer Folge und durch Sandlagen gekennzeichneter unterer Folge.

Foto: Kühner 2011

Der deckenförmig anstehende Moränenkomplex bildet mit seinem Hangenden die rezente Oberfläche und weist Mächtigkeiten zwischen 5 und 10 m auf, lokal kann seine Mächtigkeit bis auf 24 m ansteigen. Besonders im westlichen und mittleren Abschnitt der Hochfläche sind die glazilimnischen Sedimente stark unterentwickelt, so dass vielfach Warthe- und Drenthe-Geschiebemergel unmittelbar aufeinander liegen.

Die Ergebnisse zahlreicher Böschungskartierungen lassen eine markante Zweigliederung in eine kompakte obere Folge und eine strukturell sowie lithologisch sehr wechselhaft aufgebaute untere Folge erkennen. Die untere Folge beginnt vielfach mit einem Übergangsbereich ein, in dem sich die unterlagernden glazilimnischen Sande mit rasch auskeilenden Lagen und Schlieren aus Moränenmaterial verzahnen. Daraus entwickelt sich ein mehrere Meter mächtiger Schichtkomplex aus sandigen Fließ- und Abtropfgeschiebemergeln, die durch zahlreiche, stark absetzige Sand- und Kieslagen in zahlreiche Bänke aufgespalten sein können.

Die Kleingeschiebezusammensetzung der unteren Folge repräsentiert feuersteinreiche (Ø 5,2 %), aber noch relativ sandsteinarme (Ø 6,7 %) Spektren. Der Gehalt an Mesozoischen Kalken steigt im Vergleich zum Drenthe-Geschiebemergel fast auf den zweifachen Wert, bleibt mit 0,5 % aber sehr niedrig. Dagegen ist der Dolomitanteil mit durchschnittlich 2,4 % noch relativ hoch und bedingt entsprechend niedrige NK/D-Quotienten zwischen 14,8 und 21,4 sowie erhöhte (PK+D)/S-Quotienten bis 8,4. Insgesamt zeigt sich hier ein noch erhöhter ostbaltischer Einfluss, der aus einer ungenügenden Aufarbeitung drenthezeitlichen Moränenmaterials resultieren könnte. Andererseits erlaubt die zeitliche Einengung des gesamten Saale-Hochglazials auf ca. 20 000 Jahre (KRBETSCHEK et al. 2008) nur eine relativ schnelle Ereignisabfolge, die in der Hornoer Hochfläche besonders in den kaltzeitlich sedimentierten und eisrandnahen Ablagerungen zum Ausdruck kommt. Während des kurzzeitigen Gletscherabbaus blieben weite Teile Brandenburgs unter Toteisbedeckung (LIPPSTREU 1995), so dass nach Aufbau des Warthe-Gletschers aus den Resten des Drenthe-Eises lokal noch die entsprechenden ostbaltischen Spektren dominierten.

Der Geschiebemergel der oberen Folge zeigt dagegen in seiner Kleingeschiebezusammensetzung (CEPEK et al. 1994) bereits die typischen, dolomitarmen Spektren einer "klassischen" Saale III-Moräne sensu CEPEK. Er ist von kompakter, massiger Ausbildung und liegt mit relativ eben ausgebildetem Basisrelief der unteren Folge auf. Seine Abgrenzung zum Liegenden erfolgt dabei im Wesentlichen nach strukturellen Gesichtspunkten, nur vereinzelt wird die Basis durch einen dm-starken, ungestörten und nur schwach eingemuldeten Kiessandhorizont markiert.

Literatur:

CEPEK, A. G. & W. NOWEL (1991): Zum Pleistozän im Raum Klinge-Dubrau (östliche Nieder lausitz), ein Typusgebiet für den Saale-Komplex. – Z. geol. Wiss. **19**, 3, S. 289-316; Berlin.

ERD, K. (1973): Pollenanalytische Gliederung des Pleistozäns der Deutschen Demokrati schen Republik. – Z. geol. Wiss., **1**, 9: 1087-1103; Berlin.

FENTROHS, A. (2010): Lithologische und genetische Charakterisierung der Sedimente des Eem-Vorkommens Jänschwalde, Südbrandenburg. – Bachelorarbeit an der Freien Universität Berlin: 36 S.; Berlin.

HELLWIG, D. (1975): Fluviatile Bildungen innerhalb des Saale-Komplexes im Raum Cottbus-Forst. - Z. geol. Wiss. **3**, 8, S. 1077-1090; Berlin.

HERMSDORF, N. & STRAHL, J. (2008): Karte der Eem-Vorkommen des Landes Brandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr., **15**, 1/2: 23-55; Kleinmachnow.

KÜHNER, R. (2011): Quartär – In: Autorenkollektiv: Die geologische Entwicklung der Lausitz: 95-134; Cottbus.

KÜHNER, R., STRAHL, J., SÜSSMILCH, P. & THIEKE, H.U. (2008): Lithologische und pollenanaly tische Befunde aus dem saalefrühglazialen Fluviatilkomplex (Tranitzer Fluviatil) und dem Eem-Interglazial im Tagebau Jänschwalde, Südbrandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr., **15**, 1/2: 1-21; Kleinmachnow.

KRBETSCHEK, M. R. & W. STOLZ (1994): Lumineszenz-Datierungen an pleistozänen Sedimen ten aus Tagebauen des Mitteldeutschen und Lausitzer Braunkohlenreviers. - In: EISSMAN, L. & T. LITT (Hrsg.): Das Quartär Mitteldeutschlands, Exkursionsf. 27. DEUQUA-Tagung in Leipzig. - Altenburger naturwiss. Forsch. **7**, S. 289-295; Alten burg.

KRBETSCHEK, M. R., DEGERING, D. & W. ALEXOWSKY (2008): Infrarot-Radiofloureszenz-Alter (IR-RF) der Unteren Saale Mittel- und Ostdeutschlands. - Z. dt. Ges. Geowiss. **159**, 1, S. 133-140; Stuttgart.

LIPPSTREU, L., HERMSDORF, N., SONNTAG, A. & H. U. THIEKE (1994): Zur Gliederung der quar tären Sedimentabfolgen im Niederlausitzer Braunkohlentagebau Jänschwalde und in seinem Umfeld – Ein Beitrag zur Gliederung der Saale-Kaltzeit in Brandenburg. - Brandenburgische Geowiss. Beitr. **1**, 1, S. 15-35; Kleinmachnow.

LITT, T., BEHRE, K.-E., MEYER, K.-D., STEPHAN, H.-J. & WANSA, S. (2007): Stratigraphische Begriffe für das Quartär des norddeutschen Vereisungsgebietes. - Eiszeitalter und Gegenwart (Quaternary Science Journal) **56**, 1/2, S. 7–65; Stuttgart.

NOWEL, W. (1996): Aktuelle Bemerkungen zur Gliederung des Saale-Komplexes im Quartär der Niederlausitz. – Natur u. Landschaft in der Niederlausitz **17**, S. 54-77, Cottbus

STRAHL, J. (2011): Kurzbericht zur pollenanalytischen Untersuchung von zwei Proben aus dem Eem-Vorkommen Jänschwalde, Land Brandenburg. – Unveröff. Ber. LBGR vom 24.01.2011, 4 S., Cottbus.

THIEKE, H.-U. (1975): Schwermineralogische Kennzeichnung von fluviatilen spätelster- gla zialen bis frühsaaleglazialen Ablagerungen im mittleren Teil der DDR. – Z. geol. Wiss., **3** ,8: 1091-1101; Berlin.

Tagebau Cottbus-Nord

R. KÜHNER & R. THIELE

Einführung

Der Tagebau Cottbus-Nord (Vattenfall Europe Mining AG) befindet sich im Nordosten der Stadt Cottbus und versorgt zusammen mit dem benachbarten Tagebau Jänschwalde das gleichnamige Kraftwerk mit Rohbraunkohle. Die bergmännischen Aktivitäten setzten 1975 mit der beginnenden Absenkung des Grundwassers ein, drei Jahre später wurde der erste Abraum gefördert und 1981 verließ der erste Zug mit Rohbraunkohle den Tagebau. Die jährliche Kohleförderung liegt derzeit bei ca. 6 Millionen Tonnen (im Vergleich 1986: 12,875 Millionen Tonnen).

Die relativ geringen Abraummächtigkeiten von 32 bis 45 m werden durch eine Förderbrücke vom Typ F34 mit zwei angeschlossenen Eimerkettenbaggern Es 1120.2 bewältigt. Sie transportiert die abgetragenen Deckgebirgsschichten auf kürzestem Weg direkt auf die Kippenseite, wo sie verstürzt werden. Die Förderleistung des rund 300 m langen Geräteverbandes beträgt 8100 m³ pro Stunde.

Der Abbau des 8 bis 10 m mächtigen 2. Miozänen Flözes (2. MFK) erfolgt im Grubenbetrieb durch Schaufelradbagger im Kohlehochschnitt und Eimerkettenbagger im Kohletiefschnitt. Die gewonnene Kohle wird direkt in Waggons verladen und mit Zügen ins Kraftwerk Jänschwalde transportiert. Die geförderte Rohbraunkohle besitzt einen Heizwert von 8350 kJ/kg und einen Wassergehalt von 51,5 %. Der Aschegehalt liegt bei 11,5 %, der Schwefelgehalt bei 1,1 %.

Zur Gewährleistung eines sicheren Tagebaubetriebes müssen pro Minute etwa 120 m³ Wasser mittels Unterwasserpumpen aus Filterbrunnen gehoben werden. Es wird zum überwiegenden Teil als Brauchwasser im Kraftwerk Jänschwalde genutzt, aber auch nach entsprechender Reinigung in die Spree oder in zu schützende Feuchtgebiete geleitet. Im Süden und Westen des Tagebaus verhindern Dichtwände bis in eine Tiefe von 70 m die Beeinflussung des angrenzenden Umlandes durch Grundwasserabsenkung.

Geologische Schichtenfolge

Tertiär

Die geologischen Verhältnisse im Tagebau Cottbus-Nord werden durch eine durchschnittlich 170 m mächtige Folge aus tertiären und quartären Lockersedimenten charakterisiert (Abb. 1). Sie lagern über bruchtektonisch übergeprägten Festgesteinen aus oberkretazischen Ton- und Kalkmergelsteinen (Ostbrandenburger Kreidemulde), lokal auch über Sandsteinen des Mittleren Keuper. Im tieferen Untergrund treten Salz- und Karbonatgesteine des Zechstein in Erscheinung, an die im Umkreis von Cottbus mehrere kleine Erdöl-/Erdgas-Vorkommen gebunden sind (SCHRETZENMAYR & VULPIUS 2002).

Dem prätertiären Untergrund liegen marine Sedimente der oberoligozänen Cottbus-Formation auf, die sich aus 50 bis 60 m mächtigen, zum Teil glaukonitführenden Sanden [GWL (Grundwasserleiter) 800] zusammensetzen und lokal Schluffbänke enthalten. Sie werden von 15 bis 20 m mächtigen untermiozänen Ablagerungen der Spremberg-Formation überdeckt, an deren Basis im Südostteil der Lagerstätte der 4. Miozäne Flözkomplex (4. MFK) in Mächtigkeiten von max. 1,9 m entwickelt ist. Nach Norden hin tritt er nur noch sporadisch, meist als Schluffäquivalent auf. Die darüber liegenden Schichten sind sehr wechselhaft aufgebaut und bestehen aus terrestrisch abgelagerten Schluffen, Tonen und Sanden (Älterer Lausitzer Schuttfächer).

Eine Transgression von Nordwesten leitete die Sedimentation der 40 bis 70 m mächtigen Brieske-Formation ein, die basal mit einem geringmächtigen, nur lokal entwickelten Braunkohleflöz (3. MFK) beginnen kann und im Liegenden überwiegend schluffig, zum Hangenden verstärkt sandig ausgebildet ist. Generell dokumentiert sich in dieser zwischen marin-brackischer bzw. lagunärer Schluff-Feinsand-Sedimentation und mariner Sand-

Sedimentation wechselnden Schichtenfolge die häufige Veränderung der Küstenposition des miozänen Meeres. In seinem Randbereich entwickelten sich weiträumige Braunkohlenmoore, die zur Bildung des gegenwärtig im Abbau stehenden 2. Miozänen Flözkomplexes führten. Er umfasst drei Flözbänke und einen ca. 10 bis 15 m unter der 3. Flözbank lagernden, aushaltenden und annähernd niveaukonstanten Unterbegleiter mit geringer Mächtigkeit. Zwischen Unterbegleiter und 3. Flözbank wurde während eines kurzzeitigen Meeresvorstoßes ein mittelsandiger Feinsandhorizont, der GWL 500, sedimentiert. Die Flözbänke 1, 2 und 3 (nach bergmännischer Tradition wie die Flöze von oben nach unten gezählt) sind durch Zwischenmittel getrennt, die im Kontaktbereich zu den Flözbänken schluffig-tonig (Hangend- bzw. Liegendschluffe) und in ihren Zentralbereichen auch sandig entwickelt sind (GWL 453). Im Tagebau werden gegenwärtig nur die Flözbänke 1 und 2 gewonnen.

Während die Schichtenfolge bis einschließlich des 2. MFK im gesamten Kohlenfeld relativ gleichmäßig entwickelt ist, sind die tertiären Deckgebirgsschichten durch starke, z. T. relativ engräumige Fazieswechsel geprägt. Diese führen zu räumlich differenziert angeordneten Verschluffungen in den Hangendgrundwasserleitern, aber auch zu Ausfällen einzelner Hangendschluffbänke in verschiedenen Abschnitten des Betrachtungsgebietes. Der über dem Hangendschluffkomplex lagernde Feinsand des GWL 410 (vom Hangenden zum Liegenden zunehmend mit kohligen Schlufflagen durchsetzt) ist feldesweit abgelagert, seine Mächtigkeit wird jedoch maßgeblich durch das Höhenniveau der ihn erosiv überlagernden Quartärschichten bestimmt. Jüngeres Tertiär ist nur in lokalen Hochlagen in Form von geringmächtigen, kohligen Schlufflagen als Äquivalent des Oberbegleiters des 2. MFK und den Sanden des GWL 320 erhalten.

Innerhalb der Lagerstätte sind Sonderentwicklungen im 2. MFK zu beobachten, die auch bis in benachbarte Kohlenfelder zu verfolgen sind. Dabei handelt es sich um lineare Verschluffungszonen mit mäandrierendem Verlauf (Jüngerer, Mittlerer und Älterer Hornoer Mäander), die als syn- bis postgenetisch zur Entwicklung der 2. bzw. 3. Flözbank wirkende Flussläufe (SCHNEIDER 1978, BÖNISCH & GRUNERT 1985, BÖNISCH & LISKOW 1988) bzw. als gezeitenbeeinflusste Abflussrinnen gedeutet werden (STANDKE 2006, 2011). Petrographisch setzen sich die Mäandersedimente aus Schluffen mit schwankenden Kohle- und Tongehalten und meist geringem Sandgehalt zusammen (Ausnahme: Mittlerer Hornoer Mäander, dessen mittlere Partie häufig stark sandig entwickelt ist).

Quartär

Der Tagebau Cottbus-Nord befindet sich regionalgeologisch im Gebiet des Baruther Urstromtals, ca. 10 km südlich der Taubendorfer und Reicherskreuzer Sander, über die die Schmelzwässer der Brandenburger Eisrandlage abflossen. Im Süden und Osten greifen inselartig erhaltene Hochlagen aus saalezeitlichen Sedimenten in den Tagebaubereich über.

Die quartäre Schichtenfolge (die Lage der Quartärbasis bewegt sich etwa im Niveau der Brückenarbeitsebene) wird vorwiegend durch die weichselhochglazialen Sedimente des Baruther Urstromtals dominiert, die diskordant in weiten Bereichen unmittelbar die marin-brackische Folge der Meuro-Formation überlagern. Ältere pleistozäne Bildungen sind nur lokal erhalten und treten als Füllung rinnen- oder wannenförmiger Erosionsstrukturen auf. Ihre Basis bewegt sich innerhalb des Kohlenfeldes maximal im Niveau des 2. MFK, außerhalb kann sie bis -150 m NHN absinken, wodurch das ehemals flächendeckend ausgebildete Braunkohlenflöz in zahlreiche Einzelfelder zerschnitten wird. Als Rinnenfüllung treten glazilimnische Beckensedimente, Schmelzwassersande, Geschiebemergel und umgelagerte Tertiärsedimente auf, die bei meist komplizierten Lagerungsverhältnissen in unterschiedlicher Mächtigkeit und Dominanz ausgebildet sind.

Im Drehpunktbereich des Tagebaus ist im Brückentiefschnitt ein Rest der ***Lieskower Rinne*** aufgeschlossen, die bereits 1987 von den Abraumböschungen angeschnitten wurde und ein Jahr später einen Strossenanteil von nahezu 50 % erreichte (STRZODKA et al. 1990, KÜHNER 1991). Die annähernd Nord-Süd streichende, leicht mäandrierende Struktur hat bei einer Längserstreckung von ca. 5500 m eine durchschnittliche Breite von 200 bis 300 m. Ihre

Vorländer werden bis in eine Entfernung von 100 m zum Rinnenrand durch staffelbruchartige Störungen geprägt. Vereinzelt konnten im Flözbereich rinnenparallele Einengungsstrukturen in Form von Aufschiebungen und horstartigen Aufpressungen beobachtet werden. Die pleistozänen Erosionen erreichten im Allgemeinen das Niveau des 2. MFK, wobei die Rinnenbasis durch zahlreiche lokale Übertiefungen sehr unregelmäßig ausgebildet ist. Ein generelles Gefälle im Basisrelief ist nicht entwickelt.

Den Hauptteil der Füllung dominiert ein sandig-schluffiger Sedimentkomplex mit einer Vielzahl unregelmäßig eingelagerter Schollen der Meuro- und Rauno-Formation. Grobe Schmelzwasserschotter sind nur untergeordnet ausgebildet und finden sich im Basis- und Flankenbereich als stark feuersteinführende Kiessande mit Steinen und Blöcken, die vor allem in kolkartigen Übertiefungen angereichert sind. Im Streichen der Rinnenachse ist ein zentraler, ca. 20 m mächtiger Kiessandkörper ausgebildet. Der sandig-schluffige Komplex setzt sich aus dunkelgrauen, z. T. geflaserten Schluffen in Wechsellagerung mit grauen und braunen Sanden zusammen, die scheinbar überwiegend aus resedimentiertem Tertiärmaterial bestehen. Er ist durch schlierig eingelagerte Sand- und Tonschmitzen, turbulente Schichtungen, Fließfältelungen sowie wulstartige Aufpressungen charakterisiert. Sie belegen eine hohe Mobilität der Rinnenfüllung und dürften vorwiegend mit Rutschungs- und Fließbewegungen der wassergesättigten Sedimente im Flankenbereich der Rinne sowie hohen Sedimentationsraten in Zusammenhang stehen. Die eingelagerten Tertiärschollen, vielfach noch mit intern originärem Schichtverband, können Volumina von mehreren 10 000 m³ aufweisen und sind meist scharf zum umgebenden Sediment abgegrenzt (Abb. 2). Neben Braunkohlen des 1. MFK mit seinen charakteristischen Begleithorizonten treten auch Schollen aus fast reinen Quarzkiessanden auf. Auffällig sind weiterhin helle, graugrüne Feinsande mit lagenweise sehr hohem Muskovit-Gehalt, grüngraue Schluffe und Tone sowie graublaue bis hellgraue Tone mit ockerfarbenen und hellroten Flecken, Schlieren und Streifen.

Das Vorhandensein von Schollen aus dem höheren, heute nicht mehr anstehenden Tertiär deutet auf eine wahrscheinlich bereits elsterzeitlich erfolgte Anlage der Struktur und impliziert ein Niveau der damaligen Geländeoberfläche um +100 m NHN. Im Vergleich dazu bewegt sich die heutige Oberfläche um +65 bis +70 m NHN, die Quartärbasis im Allgemeinen um +50 m NHN.

Genetisch ist die Lieskower Rinne ein typischer Vertreter subglazialer Erosionsstrukturen. Dafür sprechen:

- die schmale, langgestreckte Form mit mäandrierendem Verlauf,
- zahlreiche Übertiefungen in dem durch kein generelles Gefälle gekennzeichneten Basisrelief,
- das Fehlen basalen Geschiebemergels und
- grobklastische Sedimente im Basisbereich.

Im Westen des Tagebaus stehen im Bereich der Randböschung Sedimente der ***Merzdorfer Rinne*** an. Sie ist auf einer Länge von ca. 5 500 m in das Kohlenfeld eingeschnitten und lässt hinsichtlich ihres mäandrierenden Verlaufs, ihrer äußeren Form, dem Erosionsniveau und dem unregelmäßigen Basisrelief eine Reihe von Parallelen zur Lieskower Rinne erkennen. Als Füllung dominieren hier in erster Linie grobe Schmelzwassersedimente, Geschiebemergel und vereinzelt glazilimnische Beckensedimente (Abb. 3). Tertiärschollen treten, mit Ausnahme einzelner Braunkohlebrocken und -gerölle aus dem anerodierten 2. MFK, nicht auf. In den Schmelzwasserschottern finden sich jedoch große Mengen an Isergebirgsfeldspäten, Kieselschiefern und polierten Feuersteinen, die augenscheinlich aus dem frühsaalezeitlichen Tranitzer Fluviatil aufgenommen wurden und auf eine saalezeitliche Anlage der Merzdorfer Rinne hinweisen.

Die vorwiegend sandig ausgebildeten Geschiebemergel wurden unter subaquatischen Verhältnissen sedimentiert und zeichnen sich durch eine schwache Schichtung mit internen

Fließstrukturen aus. Häufig sind Einschaltungen oder Verzahnungen mit schluffig-tonigen Beckensedimenten zu beobachten. Die einzelnen Geschiebemergelhorizonte weisen erhebliche Mächtigkeitsschwankungen von wenigen Zentimetern bis ca. 15 m auf und sind sehr unregelmäßig innerhalb der Rinne verteilt. Vielfach treten nur lokale, stark absätzige Lagen und Schlieren auf.

Im Bereich des Willmersdorf-Neuendorfer Faltenbogens sind die Füllsedimente der Merzdorfer Rinne in die glazigenen Deformationen involviert. Steilstellungen der Westflanke mit Überschleppungen und lokalen Überschiebungen des 2. MFK über die Rinnenfüllung können jedoch nur eine relative Altersabfolge zwischen Rinne und Faltenbogen belegen und lieferten bislang keine belastbaren Hinweise auf das vermutete weichselzeitliche Alter der glazigenen Deformationen.

Im Niveau um +45 m NHN werden die Rinnensedimente diskordant durch weichselhochglaziale Schmelzwasserschotter des Baruther Urstromtals überlagert. Während in benachbarten, bereits überbaggerten Strukturen (Tranitzer Ausräumung, Ausräumung Weiße Berge, KÜHNER 1991) die Sedimentation über regelmäßig geschichtete Bändersande und Bänderschluffe/-tone bis in die Schluff- und Diatomeenmudden der Eem-Warmzeit verfolgt werden konnte (Abb. 4), sind diese Schichtglieder in der Merzdorfer Rinne infolge der intensiven erosiven Überprägung nicht mehr erhalten.

In der Weichsel-Kaltzeit erreichten die Gletscher des Brandenburger Stadiums ihre Maximalausdehnung auf der Linie Guben – Tauer, dabei reichte ein Lobus kurzzeitig noch bis in das Gebiet des heutigen Tagebaus hinein. An ihn ist die ***Merzdorfer Ausräumung*** gebunden, eine kesselförmige Erosionsstruktur von 300 m Durchmesser, deren Basis bis unter das Liegende des 2. MFK reicht. Ihre Füllung bestand ausschließlich aus sandig-kiesigen Schmelzwasserablagerungen, in denen als wichtige stratigraphische Zeitmarken zahllose Eem-Gerölle eingelagert waren (HORN et al. 2005).

Die im Baruther Urstromtal abfließenden Schmelzwässer schütteten eine mehr als 20 m mächtige, sandig-kiesige Serie auf, deren differenzierter Aufbau unterschiedliche Halte des sich zurück ziehenden Weichsel-Gletschers widerspiegelt und sich mit dem Älteren und dem Jüngeren Baruther Urstrom nach MARCINEK (1961) korrelieren lässt. Im Hangenden der Schmelzwassersedimente folgen fluviatile Ablagerungen der Spree, die vor 20 000 Jahren, zeitgleich zur Maximalausdehnung des Weichsel-Eises, den südlich gelegenen Niederlausitzer Grenzwall durchbrach (CEPEK 1965) und seitdem einen ausgedehnten Schwemmfächer in das Urstromtal schüttete (Abb. 4). Die ältesten Spreesedimente werden durch eine Wechselfolge dm-starker Lagen aus kiesigen Mittel- bis Grobsanden charakterisiert und entsprechen den Ablagerungen eines ungeregelten, verwilderten Fluss-Systems (braided river). Innerhalb der ca. 5 m mächtigen Serie treten zahlreiche Eiskeilpseudomorphosen mit Längen bis 4 m in Erscheinung. Sie sind vielfach durch intraformationelle Erosionen gekappt und deuten auf noch hochglaziale Bildungsbedingungen hin. Mit dem Einsetzen deutlich feinkörnigerer Schüttungen beginnt im Weichsel-Spätglazial ein neuer Sedimentationszyklus (Oberer Spreeschwemmfächer) aus vorwiegend limnisch-fluviatilen Sanden mit kryogen deformierten Mudde-Lagen und eingeschalteten äolischen Bildungen (Abb. 5). Er dokumentiert die Entwicklung aus dem braided river system des vegetationslosen Hochglazials zu einem mäandrierenden Fluss-System im Zuge der dichter werdenden Pflanzendecke und umfasst nahezu die komplette Abfolge des Weichsel-Spätglazials. Trotz der kurzen Dauer von ca. 3 000 Jahren wurde dieser Abschnitt durch mehrfache Klimaschwankungen zwischen stadialen und interstadialen Verhältnissen geprägt, die sich deutlich in der aufgeschlossenen Schichtenfolge widerspiegeln. Zahlreiche Pollenanalysen und ^{14}C-Datierungen an Holzresten und Torfen erlauben eine sehr detaillierte Rekonstruktion der vegetations- und landschaftsgeschichtlichen Entwicklung (BITTMANN & PASDA 1999, KÜHNER et al. 1999, NEUBAUER-SAURER 1999, POPPSCHÖTZ & STRAHL 2004).

Der Beginn des Holozäns (11 590 Warvenjahre v.h., LITT & STEBICH 1999) wird im Bereich des Schwemmfächers durch ein kurzzeitiges Aufleben der fluviatilen Erosion charakterisiert,

wobei sich die Spree nochmals unter Ausbildung flacher Rinnenstrukturen in den Untergrund einschnitt. Während der sich anschließenden Entwicklung zu ruhigeren, mäandrierenden Abflussverhältnissen erfolgte eine relativ rasche Verfüllung der einzelnen Rinnen mit Fein- und Mittelsanden und/oder limnisch-sedentären Ablagerungen. Außerhalb der Flussrinnen lagerten sich im Zuge temporärer Hochwasserereignisse mittelkörnige Sande, Auelehme sowie Mudden und humose Sande ab, die lokal von abschließend aufgewachsenen Torfen begleitet werden.

In geschichtlicher Zeit hat die Entblößung der leichten Sandböden des Schwemmfächers durch großflächige Rodungsaktivitäten wiederholt intensive äolische Aktivitäten ausgelöst. Sie führten von der späten Bronzezeit über das Mittelalter bis in das heutige Industriezeitalter neben der Anwehung dünner Flugsanddecken auch zur Um- und Neubildung ausgedehnter Dünenfelder, in denen einzelne Dünen eine Höhe bis zu 15 m erreichten (NOWEL et al. 1972).

Lagerungsstörungen

Gegenwärtig ist im zentralen Abschnitt der Strosse das Störungsgebiet „Am Hammerstrom“ als Teil des Willmersdorf-Neuendorfer Faltenbogens aufgeschlossen (Abb. 5). Es wird durch vielfältige Faltenstrukturen, Überschiebungen und Zerrungserscheinungen geprägt, die den 2. MFK einschließlich seiner Begleitschichten bis in das Niveau des GWL 500 beeinflusst haben (HORN et al. 2005). Die Bedeutung dieses Grundwasserleiters für die Anlage des Faltenbogens kommt besonders durch prägnante Mächtigkeitsschwankungen bei unbeeinflusster Basis und vereinzelt injektiven Materialabwanderungen in die überlagernde Schichtenfolge zum Ausdruck. Seine Einspannung zwischen der Burg-Peitzer Hauptrinne im Nordwesten und der Bärenbrücker Rinne im Nordosten sowie den von West nach Nordost streichenden Verschluffungszonen des Älteren und Jüngeren Hornoer Mäanders werten HORN et al. (2005) als Hauptursache der glazigenen Deformation in diesem Gebiet. Durch die vom Gletscher eingebrachten, lastbedingten Druck- und Schubkräfte (ABER et al. 1989) konnten in dem wassergesättigten und von undurchlässigen Schluffschichten begrenzten Grundwasserleiter erhebliche Porenwasserdrücke aufgebaut werden, deren Abbau zu Materialverfrachtungen mit Bildung von Injektivfalten (Abb. 7) sowie zur Verschiebung ganzer Schichtpakete auf den tonig ausgebildeten Liegendschluffen führte.

Stratigraphisch interpretieren HORN et al. (2005) den Faltenbogen als Resultat einer Aufstauchung im Zuge des Maximalausvorstoßes des Weichsel-Eises, das mit dem Cottbuser Lobus bis in das Gebiet des heutigen Tagebaus Cottbus-Nord reichte.

Literatur:

ABER, J.S., CROOT, D.G. & FENTON, M.M. (1989): Glaciotectonic Landforms and Structures. – Kluwer Academic Puplishers: 200 S.; Dordrecht.

BITTMANN, F. & PASDA, C. (1999): Die Entwicklung einer Düne während der letzten 12.000 Jahre – Untersuchungsergebnisse von Groß Lieskow (Stadt Cottbus) in der Niederlausitz. – Quartär, **49/50**: 39-54; Saarbrücken.

BÖNISCH, R. & GRUNERT, K. (1985): Verschluffung und Aufspaltung der 2. Bank des 2. Lausitzer Flözes im Gebiet Lübbenau-Cottbus-Forst. – Z. angew. Geol., **31**, 2: 33-39; Berlin.

BÖNISCH, R. & LISKOW, CH. (1988): Die faziellen Verhältnisse des 2. Lausitzer Flözhorizontes im Gebiet östlich von Peitz. – Z. angew. Geol., **347**: 202-205; Berlin.

BÖNISCH, R. (2011): Makropetrographische Faziesanalyse des 2. Miozänen Flözes. – In: Autorenkollektiv: Die geologische Entwicklung der Lausitz: 86-94; Cottbus.

CEPEK, A.-G. (1965): Geologische Ergebnisse der ersten Radiokarbondatierungen von Interstadialen im Lausitzer Urstromtal. – Geologie, **14**, 5/6: 625-657; Berlin.

HORN, M., KÜHNER, R. & THIELE, R. (2005): Die Ausräumung „Merzdorfer Ausbauten“ im Tagebau Cottbus-Nord und ihre Beziehung zur Ausdehnung des Weichsel-Eises in Südostbrandenburg. – Brandenb. geowiss. Beitr., **12**, 1/2: 37-44; Kleinmachnow.

KÜHNER, R. (2011): Quartär – In: Autorenkollektiv: Die geologische Entwicklung der Lausitz: 95-134; Cottbus.

KÜHNER, R. (1991): Einige Aspekte zu bemerkenswerten Pleistozänaufschlüssen im Tagebau Cottbus-Nord. – Z. geol. Wiss., **19**, 3: 317-330; Berlin.

KÜHNER, R., HILLER, A. & JUNGE, F.W. (1999): Die spätweichselzeitlichen Ablagerungen der Spree im Tagebau Cottbus-Nord und ihre zeitliche Einordnung unter besonderer Berücksichtigung von ersten 14C-Daten an Hölzern. – Geologie, **49/50**: 8-20; Saarbrücken.

LITT, T. & STEBICH, M. (1999): Bio- und chronostratigraphy of the Lateglacial in the Eifel region, Germany. – Quaternary International, **61**, 1: 5-16; Oxfort.

MARCINEK, J. (1961): Über die Entwicklung des Baruther Urstromtals zwischen Neiße und Fiener Bruch. – Wiss. Z. Univ. Berlin, math.-nat. R., **10**, 1: 13-46; Berlin.

NEUBAUER-SAURER, D. (1999): Holozäne Erosion und Akkumulation der alten Spree im Gebiet um Cottbus. – Quartär, **49/50**: 21-28; Saarbrücken.

NOWEL, W., ATANASOV, O. & ERD, K. (1972): Neue Ergebnisse zur Dünenbewegung im Baruther Urstromtal. Geologische Untersuchungen einer Sandlagerstätte im Raume Cottbus. – Z. angew. Geol., **18**, 9: 410-418; Berlin.

POPPSCHÖTZ, R. & STRAHL, J. (2004): Fazies- und Pollenanalyse an einem weichselspätglazialen Flusslauf im „Oberen Spreeschwemmfächer“ bei Cottbus. – Berliner Geographische Arbeiten, **96**: 69-88; Berlin.

SCHNEIDER, W. (1978): Zu einigen Gesetzmäßigkeiten der faziellen Entwicklung im 2. Lausitzer Flöz. – Z. angew. Geol. **24**, 3: 125-130; Berlin.

SCHRETZENMAYR, S. & VULPIUS, R. (2002): Erdöl- und Erdgas-Lagerstätten in der Lausitz. – Natur und Landschaft in der Niederlausitz, **22**: 139-147; Cottbus.

STANDKE, G. (2006): Paläogeographisch-fazielle Modellierung des Unter-/Mittelmiozän-Grenzbereichs in der Lausitz (Briesker Folge/Formation). – Schriftenr. f. Geowiss., **14**: 130 S.; Berlin.

STANDKE, G. (2011): Tertiär – In: Autorenkollektiv: Die geologische Entwicklung der Lausitz: 41-75; Cottbus.

STRZODKA, M., KÜHNER, R. & FISCHER, P. (1991): Erste Betriebserfahrungen beim Überbaggern der pleistozänen Störung „Lieskower Rinne“ im Tagebau Cottbus-Nord. – Neue Bergbautechnik, **28**, 2: 51-57; Leipzig.

Abbildungen:

Abb. 1: Stratigraphisches Normalprofil der tertiären Schichtenfolge im Raum Dissenchen

1- quartäre Sande, ungegliedert; 2- Braunkohle; 3- Schluff, tonig bis feinsandig, z. T. kohlig; 4- Ton, z. T. schluffig; 5- Fein- bis Mittelsand; 6- oberkretazische Ton- und Kalkmergelsteine.

Abb. 2: Anhäufung von Tertiärschollen in den Füllsedimenten der Lieskower Rinne. Foto: Kühner 1987

Abb. 3: Kartierungsprofil durch die Merzdorfer Rinne (KÜHNER 2007)

T e r t i ä r: 1- kohlige Schluffe und Sande des Älteren Hornoer Mäanders; 2- 1. und 2. Flözbank des 2. MFK; 3- Hangendschluff; 4- Fein- bis Mittelsande, 5- Feinsande, z. T. schluffig;

Q u a r t ä r: 6- Geschiebemergel; 7- Bändersand; 8- Mittelsand; 9- Mittelsand, stark grobsandig mit kiesigen Lagen und lokal hohem Anteil südlicher Gerölle; 10- Basis Urstromtal; 11- Steine.

Abb. 4: : Geologischer Schnitt durch das Baruther Urstromtal (KÜHNER 1991, verändert)

T e r t i ä r: 1- Braunkohle; 2- Sande, allg.; 3- Schluff, allg.;

S a a l e - Kaltzeit: 4- Schollen der Brieske-Formation mit umgelagertem Frühsaale-Fluviatil; 5- Geschiebemergel, älterer Vorstoß; 6- Geschiebemergel, jüngerer Vorstoß; 7- Feinsand, z.T. stark schluffig; 8- Bänderton;

E e m - Warmzeit: 9- Schluff- und Diatomeen-Mudden;

W e i c h s e l - Kaltzeit: 10- Kiessande des Älteren Baruther Urstroms; 11- Sande des Jüngeren Baruther Urstroms; 12- Sande des Unteren Spreeschwemmfächers; 13- Sande des Oberen Spreeschwemmfächers (mit holozänen Ablagerungen im oberen Teil); 14- Schluffmudden, Torfe; 15- Steine; 16- Eem-Muddegerölle; 17- Eiskeilpseudomorphosen.

Abb. 5: Schematisches Übersichtsprofil der Spree-Ablagerungen im Tagebau Cottbus-Nord (^{14}C-Daten nach NOWEL et al. 1972, KÜHNER 1995, NEUBAUER-SAURER 1999, KÜHNER et al. 1999).

Abb. 6: Strukturkarte Nordteil des Kohlenfeldes Cottbus-Nord. (verändert nach HORN et al. 2005)

1- Verbreitung Mittlerer Hornoer Mäander; 2- Verbreitung Jüngerer Hornoer Mäander; 3- Verbreitung 1. Flözbank; 4- Vermuteter Rand des Willmersdorf-Neuendorfer Faltenbogens; 5- Hauptachsen glazitektonischer Flözstrukturen.

Abb. 7a: Sattelstrukturen des 2. MFK im Willmersdorf-Neuendorfer Faltenbogen. Foto: Thiele 2002

Abb. 7b: Faltenstruktur im 2. MFK mit 1. Flözbank, 1. Zwischenmittel, 2. Flözbank und sandig-schluffig ausgebildetem 2. Zwischenmittel (von links oben nach rechts unten) im Willmersdorf-Neuendorfer Faltenbogen. Foto: Kühner 2005

Renaturierung der Spreeaue nördlich von Cottbus

Nördlich von Cottbus findet derzeit eines der größten Gewässerrenaturierungsprojekte in Brandenburg statt. Auf einer Länge von über 11 km und einer Fläche von 400 ha wird die Spree und ihrer Aue renaturiert. Damit wird einer Vielzahl von Tieren und Pflanzen natürlicher Lebensraum zurückgegeben. Auch für seine Bewohner und Besucher wird dieser Landschaftsteil, in unmittelbarer Nähe zum Spreewald, an Vielfalt und Reiz gewinnen.

Der neu gestaltete Abschnitt der Spree liegt am Ausläufer des Cottbuser Schwemmsandfächers, der nach der letzten Eiszeit entstanden ist. Am Fuß des Schwemmsandfächers bei Maiberg ändert die Spree ihre Fließrichtung nach Westen und bildete zu Urzeiten ein flaches, weit verzweigtes Gewässersystem mit einer bis zu 5 km breiten Aue. Doch die Besiedelung durch den Menschen führte über Jahrhunderte durch bauliche Maßnahmen zu einer weitreichenden Veränderung der Landschaft. Heute ist die Spreeaue geprägt durch landwirtschaftliche Nutzung und Flussbegradigungen. Auf weiten Strecken fehlt die Vernetzung mit dem Umland, potentielle Feuchtstandorte sind trocken gelegt, Ufer- und Auenwald fehlen weitgehend. Strukturarmut, fehlende Dynamik und ökologische Durchgängigkeit führen zu einer Verarmung an Arten, z.B. machen zwei Fischarten 75 % des gesamten Fischbestandes aus.

Die Renaturierung der Spreeaue ist eine naturschutzfachliche Kompensationsmaßnahme für die Inanspruchnahme des FFH-Gebietes Lakomaer Teiche durch die Vattenfall Europe Mining AG. Dafür darf das Energieunternehmen die im Tagebau Cottbus-Nord Lakomaer Fischteiche dauerhaft trocken legen. Ein über mehrere Jahre geführtes umfangreiches Genehmigungsverfahren, in das auch die europäische Generaldirektion Umwelt eingebunden war, kam zu dem Ergebnis, dass unter Beachtung der Gemeinwohlinteressen eine Beseitigung des FFH-Gebietes zulässig sei. Dies jedoch nur unter der Auflage, dass die wertvollen Pflanzengesellschaften und Tiere der Teichgruppe im Naturraum der Spree ausgeglichen bzw. umgesetzt werden.

Neben den umfangreichen naturschutzfachlichen Belangen bildet auch der Verlauf der Spree eine Herausforderung. Die Form des Cottbuser Schwemmsandfächers in Verbindung mit den baulichen Veränderungen führte dazu, dass die Spree in weiten Teilen nicht in ihrer Tiefenlinie, sondern in höchster Geländelage fließt. Dadurch strömt das Oberflächen- und Grundwasser nicht der Spree zu, sondern die Spree infiltriert Wasser in das Grundwasser. Dieser Sachverhalt ist bei allen Renaturierungsmaßnahmen zu beachten.

Durch die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit, verbunden mit Strukturverbesserungen durch den Einbau von Inseln und Totholz, der Deichrückverlegung und der Neuanlage von Nebengerinnen wird die Spree maßgeblich aufgewertet. Die bessere Vernetzung von Spree und Deichhinterland sowie Stilllegung vorhandener Entwässerungssysteme führt zu einer nachhaltigen Veränderung der Aue. Zusätzlich werden neue Habitate für spezielle Arten wie z.B. die Rotbauchunke angelegt, sodass eine Vielzahl von Pflanzen und Tieren ihren angestammten Lebensraum zurückbekommen.

Die Umsetzung dieser umfangreichen Renaturierungsmaßnahmen erfolgen im Zeitraum 2007 – 2012.

Dr. Christoph Gerstgraser
Ingenieurbüro für Renaturierung
Gaglower Straße 17/18
03048 Cottbus

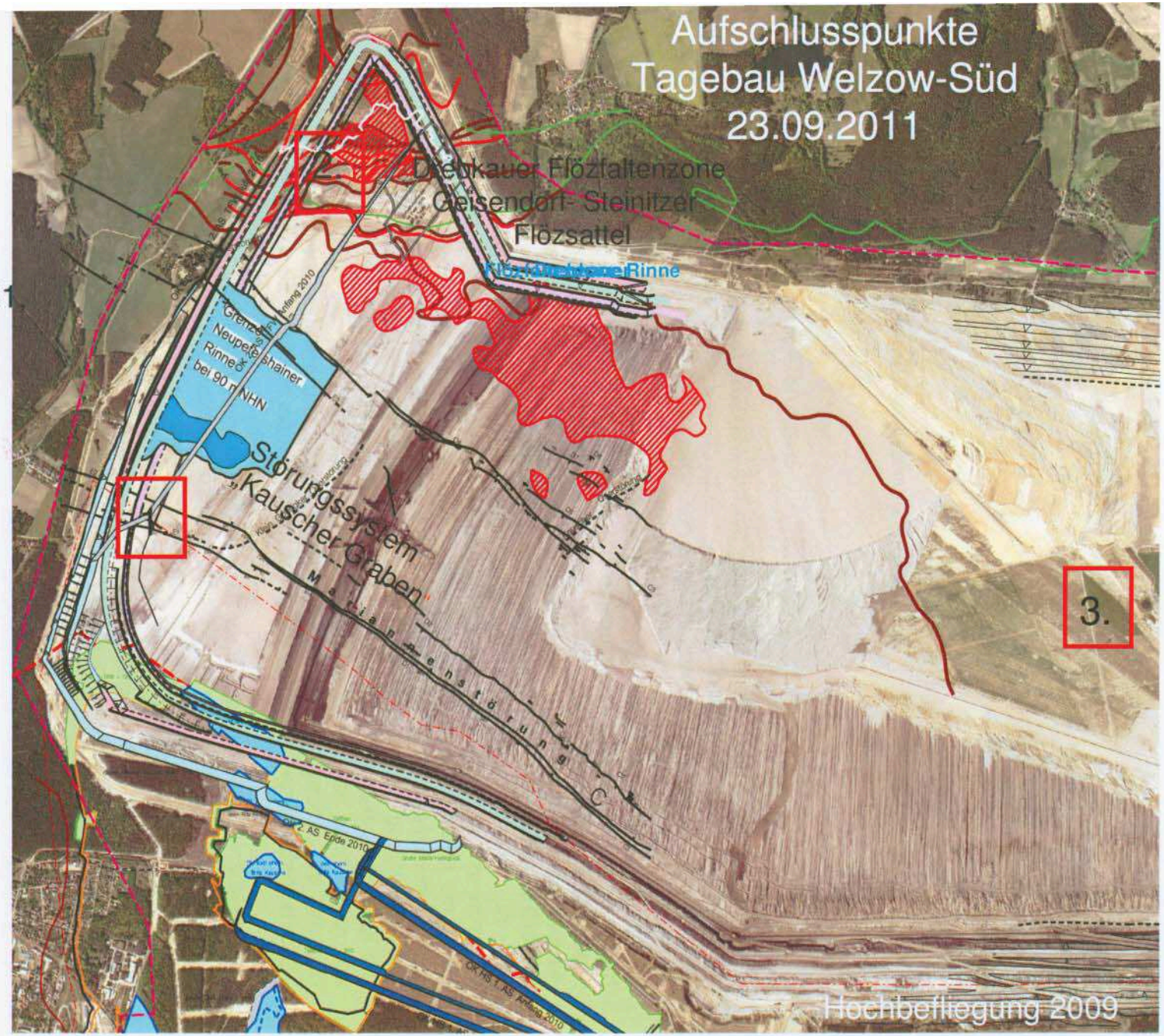
29.06.2011

EXKURSION II

1. Kauscher Graben
   südl. Störung E1
   ggf. nördliche Störung E4

2. Drebkauer Flözfaltenzone (Geisendorf-Steinitzer Flözsattel)

3. Rekultivierte Flächen



EXKURSION II
(Teil 1)

Exkursionspunkte Tagebau Welzow 23.09.2011
(B. Seibel)

Aufschluss glazigene Störungen

Regionalgeologisch und bezogen auf die oberflächennahen Ablagerungen und die Morphologie baggerte der Vorschnitt des Tagebaues Welzow-Süd in den Jahren ab ca. 1975 bis 2009 mit seinem nördlichen Strossenabschnitt im Bereich des Niederlausitzer Grenzwalls, einer Stauchendmoräne der Warthe-Vereisung. Hier kam es an präexistenten Eisrandlagen zur Ausbildung markanter Störungszonen im pleistozänen Deckgebirge mit Sattel- und Muldenstrukturen, Überschiebungen und Verschuppungen sowie zu lokalen Erosionsstrukturen. Die pleistozänen Lagerungsstörungen beeinträchtigten den Vorschnittbetrieb teilweise erheblich durch Restwässer in den Muldenstrukturen und Böschungsbewegungen auf vorgegebenen Gleitflächen bei annähernd strossenparallel streichenden Sattelstrukturen in den Bänderschluffhorizonten. Außerdem war ein extrem erhöhter Steinanfall zu verzeichnen. Durch komplexe Erkundungs- und Auswertungsmaßnahmen wurde ein detailliertes Modell des pleistozänen Deckgebirges erstellt und damit wesentliche Grundlagen für Maßnahmen zur Gewährleistung der Tagebausicherheit geschaffen. Flächendeckend wurden geoelektrische Kartierungen auf der Rasensohle und auf der Arbeitsebene im Tagebau durchgeführt. Mittels Georadar wurden auf Profilen das Schichteinfallen bestimmt und Steine ab 50 cm Kantenlänge geortet. Im Tagebau wurden die Vorschnittböschungen kartiert, auf der Rasensohle wurden Baggerschürfe angelegt und kartiert.
Im Bereich der Drebkauer Flözfaltungszone reichte die glazigene Beeinflussung bis in das Liegende des 2. Lausitzer Flözhorizontes. Es wurden mehrere Großfalten des Braunkohlenflözes mit Sattelachsen bis 80 m über Normalniveau, Verschuppungen, Auf- und Überschiebungen nachgewiesen. Der Geisendorf-Steinitzer Flözsattel mit einem Satteltop bis nahe zur Geländeoberfläche ist gegenwärtig (2010 bis 2011) in den Brückenschnitten und in der Grube aufgeschlossen (Abbildung 1).

Abb. 1: Geisendorf-Steinitzer Flözsattel im 2. und 3. Brückenschnitt

Aufschluss endogene Tektonik am Kauscher Graben

Der Kauscher Graben war die bestimmende geologische Struktur für die Tagebauentwicklung und die Abbautechnologie in Welzow-Süd.
Das herzyn (NW-SE) streichende, endogen-tektonische Störungssystem Kauscher Graben liegt im SE-Teil der Lausitzer Permotriasscholle und wird von der erzgebirgisch streichenden Störungszone von Neupetershain und der Stradow-Buckower Querstörungszone begrenzt. Der Kauscher Graben ist dem Lausitzer Hauptabbruch in einem Abstand von ca. 2 bis 5 km nordöstlich vorgelagert. Die Störungsstruktur weist eine streichende Länge von ca. 10 km und eine Breite bis 2 km auf und wird mehrfach durch erzgebirgisch (SW-NE) streichende Querstörungen versetzt.

Die SW-Flanke des Kauscher Grabens wird durch die sogenannte Hauptstörung begrenzt. Mit einem Abstand bis ca. 2 km ist nordöstlich der Hauptstörung ein System von mehreren Störungen mit geringeren Versetzungsbeträgen ausgebildet, die als NE-Vorstaffeln bezeichnet werden. Das generelle Einfallen des nordöstlich der Hauptstörung vorgelagerten tertiären Schichtenkomplexes nach SW ergibt für den südöstlichen und mittleren Teil des Störungssystems das Gesamtbild eines asymmetrischen Grabens. Im NW-Teil des Kauscher Grabens erscheint der Bereich zwischen Hauptstörung und den NE-Vorstaffeln als nahezu symmetrischer Graben. Die etwa 200 m breite Zone der tiefsten Absenkung an der Hauptstörung bildet bezüglich des 2. Lausitzer Flözhorizontes die sogenannte Zentrale Grabenzone. Generell zeigen die Störungen des eigentlichen Kauscher Grabens den Charakter von Abschiebungen. Oberflächennah wurde der westliche Teil des Kauscher Grabens glazigen beeinflusst. Der südliche Endmoränenzug des Warthe-Eisvorstoßes überstreicht das Gebiet.

Die Hauptstörung des Kauscher Grabens setzt sich im Streichen aus drei kulissenartig angeordneten Hauptelementen zusammen, die entsprechend alter Braunkohlengruben als Clara-, Mariannen- und Ilsestörung bezeichnet werden. Jeweils im Vergitterungsbereich dieser einzelnen Störungselemente mit Querstörungen übernimmt das östlichere Element den Hauptversetzungsbetrag und klingt das westliche Element aus bzw. setzt sich als untergeordnete Störung parallel dem Hauptelement fort. Das Generalstreichen des Störungssystems liegt bei 120° bis 130°. Im Übernahmebereich des Hauptversetzungsbetrages besitzt die jeweilige Störung ein lokales Streichen von >130° bis 150°, rißlich damit den Charakter einer Verbiegung. Im Anschnitt ist dieser Bereich als Staffelbruch sichtbar. Die Störungselemente sind in beiden Achsen im Meter- bis Dekameterbereich wellig ausgebildet, so dass lokale Streichrichtungswinkel zwischen 100° und 145° pendeln. Die durchschnittlichen Fallwinkel liegen bei 60°nach NE, lokale Fallwinkel schwanken zwischen 45° und 90°.
Im Feinbau sind die tektonischen Hauptelemente überwiegend als Störungszonen mit 1 bis 10 m Mächtigkeit ausgebildet. Sie sind durch einen Schleppungsbereich sowie gering dimensionierte Einzelscherbahnen im Liegendblock, ein bis zwei Hauptscherbahnen und einen bis ca. 4 m mächtigen Deformationshof im Hangendblock aufgebaut. An der Hauptstörung treten bindige Störungsfüllungen (Störungsletten), großflächige Harnische mit Schrägstriemung und linsenförmige Scherkörper (Phacoide) auf. Zwischen den Hauptscherbahnen wurden brekzienartige Schollen (Flaschenton, Kohle) und muldenförmige Einsenkungen angetroffen.

Die NE-Vorstaffeln streichen unter einem Generalstreichwinkel von 120° bis 130° ± parallel zur Hauptstörung. Das Einfallen der Vorstaffeln beträgt überwiegend 65° bis 75° nach SW. Die Vorstaffeln zerschlagen sich an den Querstörungen, sie fiedern auf oder ändern die Einfallrichtung. Überwiegend treten im Niveau des 2. Lausitzer Flözhorizontes vertikale Versetzungsbeträge bis ca. 4 m auf (Abbildung 2). In nordwestlicher Richtung steigen die Versetzungsbeträge an und erreichen im äußersten NW des Kauscher Grabens Werte bis 16 m. Oft wird der Versetzungsbetrag durch Staffelbrüche geringer Störungsintensität realisiert. Auch Grabenbrüche im dm- bis m-Format und Y-Strukturen ähnlicher Dimensionen wurden im Niveau des 2. Lausitzer Flözes beobachtet. Lokal sind nur Flexuren ausgebildet.

Die Querstörungen besitzen eine unterschiedliche streichende Erstreckung und einen generellen Verlauf SW-NE. Sie sind vielfach nicht durchgängig ausgebildet und zeichnen sich durch nur geringe bruchtektonische Intensitäten und uneinheitlichen Bau aus. In den bindigen Schichten im Bereich des 2. Lausitzer Flözhorizontes wurden innerhalb der Wolkenberger Querstörung beispielsweise lokal vertikale Bruchstrukturen mit <1 m Abschiebungsbetrag und Schichtverdopplungen mit annähernd horizontaler Gleitbahn beobachtet. Außerdem traten lokale Einmuldungen des Flözkörpers im Störungsbereich und Aufwölbungen nordöstlich davon auf. Im NE der Stradow-Buckower Querstörung belegt eine Serie kleiner Staffelbrüche geringer Sprunghöhe, die spitzwinklig zum Generalstreichen des dort ausgebildeten grabenartigen Subsystems angeordnet sind, die Wahrscheinlichkeit von Blattverschiebungen im tieferen Untergrund.

Abb. 2: Störung D4 Kauscher Graben im Kohlehochschnitt

Aufschluss Altbergbau

Der Tagebau Welzow-Süd überbaggert gegenwärtig (2009 bis 2021) mit seinem Vorschnitt ein ca. 12,2 km² umfassendes Altbergbaugebiet auf 1. Lausitzer Flöz, dessen Abbau bereits Mitte des vorletzten Jahrhunderts begann. Das Altbergbaugebiet ist durch ein bewegtes Relief gekennzeichnet: Hochkippen mit Höhen bis + 153 m NN wechseln mit Restlöchern um
+ 105 m NN.
Das 1. Lausitzer Flöz stand im Altbergbaugebiet in ca. 30 m Teufe ungespalten mit Mächtigkeiten bis 10 m an. In den unverritzten Bereichen der Standorte der ehemaligen Brikettfabriken Kausche, Welzow und Haidemühl sind noch Flözmächtigkeiten von 8 m bis 10 m nachgewiesen. Unmittelbar westlich und südlich des Altbergbaugebietes verläuft die erosive Verbreitungsgrenze des 1. Lausitzer Flözes. Nördlich (weitgehend im Tagebau Welzow-Süd als Deckgebirge abgebaut und verkippt) und östlich des Altbergbaugebietes steht das 1. Lausitzer Flöz, in drei Bänke mit Mächtigkeiten überwiegend < 1 m aufgespalten, an.

Der Abbau des 1. Lausitzer Flözes erfolgte im Zeitraum von 1867 bis 1951 in mehreren Tagebauen und in den Jahren 1912 bis 1934 zusätzlich durch untertägigen Bergbau im Pfeilerbruchbauverfahren. Entsprechend dem Stand der Technik kamen für die Verkippung des Abraumes der Tagebaue verschiedene Technologien zur Anwendung: bis 1924 Hand- und Pflugkippen, ab 1924 Absetzerkippen, ab 1930

Verkippung im Förderbrückenbetrieb. Verbliebene Restlöcher wurden überwiegend als Absetzbecken für Kohletrübe und Asche aus den Brikettfabriken genutzt. Von 1962 bis 1974 wurden die Aufschlussmassen des Tagebaues Welzow-Süd als Außenkippe auf dem östlichen bis mittleren Altkippenareal verkippt.
An der schwach wellig ausgebildeten Kippenbasis stehen oft noch geringmächtige Flözreste bis 0,7 m über dem weit verbreiteten Liegendschluff des 1. Lausitzer Flözes an. Lokal fehlt der Liegendschluff und im Liegenden der Kippe stehen Sande des GWL 310 an. Zwischen den ehemaligen Altbergbautagebauen sind Kohlerestpfeiler von geringer Ausdehnung mit Kohlemächtigkeiten bis 10 m stehengeblieben .
Die Kippen des Altbergbaus setzen sich vorrangig aus ehemals im Bereich der Welzower Tertiärhochfläche anstehenden, überwiegend rolligen Sedimenten der Rauno-Formation und einem nur geringfügigen Anteil pleistozäner Sedimente zusammen. Die verkippten Aufschlußmassen des Tagebaues Welzow-Süd enthalten dagegen, entsprechend der Quartärmächtigkeit bis 30 m im Aufschlußraum, einen erheblichen Anteil quartärer Sedimente (Geschiebemergel und Geschiebelehm, Mittelsande bis Feinkiese). Der ebenfalls erhebliche Anteil verkippter bindiger, tertiärer Sedimente der Oberen Brieske-Formation und der Rauno-Formation, hier vor allem Flaschenton, bereitet gegenwärtig im 1. Vorschnitt des Tagebaues Welzow-Süd Schwierigkeiten bezüglich der Böschungsstabilität.
In den ehemaligen Tiefbaugebieten steht Bruchgebirge an, in dem die ursprüngliche Schichtenfolge über zu Bruch geworfenen Altstrecken erhalten geblieben ist (Abbildung 3). Nicht verbrochene Altstrecken wurden durch Versatzmaßnahmen 1980 überwiegend verwahrt. Es wurden aber auch noch unverwahrte Strecken angetroffen, die zu gefährlichen Tagesbrüchen im Abbaubereich und im Vorfeld des Tagebaues führen können.

Abb. 3: Altbergbau (Pfeilerbruchbau) auf 1. Lausitzer Flöz im Vorschnitt 2

Exkursionspunkt Dichtwand Welzow

Dichtwände werden zur Ergänzung der Tagebauentwässerung am Tagebaurand gegenüber besonders zu schützenden Objekten angelegt. Gleichzeitig vermindern sie den entwässerungstechnischen Aufwand und verursachen minimale Betriebskosten.
Mittels Schlitzfräsgerät (Kettenschrämgerät am Bohrpfahl) wird ein ca. 1 m breiter Schlitz bis zu einer undurchlässigen Schicht in einer Teufe bis ca. 100 m hergestellt. Zur Gerätekombination gehören eine Einbauvorrichtung zum Setzen von Absperrwänden sowie eine Separieranlage, die das gehobene Material und die Spülung zur Wiederverwendung trennt. Die Stützkraft im Schlitz gegen den Erddruck wird durch eine Suspension aus Tonmehl mit einer Dichte γ = 1,1 bis 1,3 g/cm³ gewährleistet. Der Erdschlitz wird abschnittsweise entsprechend der vorher gesetzten Absperrwände mit einem Gemisch aus dem gehobenem Material und der Suspension verfüllt. Der Durchlässigkeitskoeffizient in der Dichtwand ist deshalb mindestens um den Faktor 10^{-5} kleiner als das angrenzende Material der Grundwasserleiter.
Zur Gewährleistung der Standsicherheit für die Herstellungsphase der Dichtwand muß der Druck des Grundwassers auf den Schlitz vermindert werden. Dazu ist der Grundwasserstand auf einen bestimmtes Niveau unter Geländeoberkante abzusenken.

Erdschlitze wurden erstmals ab 1971 im Braunkohlentagebau Bluno und im Kalksteintagebau Rüdersdorf sowie ab 1979 im Braunkohlentagebau Jänschwalde hergestellt. Die seit 2010 im Bau befindliche Dichtwand Welzow trennt das Kohlenfeld Proschim (Südfeld Tagebau Welzow-Süd) im Norden von einer wassergefüllten Restlochkette, bestehend aus den ausgekohlten Kohlenfeldern Sedlitz, Skado, Bluno und Spreetal, im Süden. Die Dichtwandtrasse verläuft überwiegend im Bereich der quartären Bahnsdorf-Blunoer Erosionsrinne, im mittleren Teil quert sie eine Ausbuchtung des Kohlenfeldes Proschim in die Rinne und im östlichen Teil bindet sie unmittelbar südlich des ehemaligen Aufschlußraumes des Tagebaus Welzow-Süd in das Kohlenfeld Welzow-Süd/Proschim ein (Abbildung 4).

Die Basis der NW-SE streichenden Bahnsdorf-Blunoer Rinne verläuft in ca. 100 bis 110 m Teufe im Niveau der GWL 612 bis 710. Die Rinnenfüllung wird dominiert von einem ca. 40 bis 50 m mächtigen, elsterzeitlichen, bindigen Sedimentkomplex, der sich aus Bänderschluffen, stark schluffigen Bändersanden und Geschiebemergeln zusammensetzt. Zwischen dem bindigen Komplex und der Quartärbasis stehen überwiegend rollige, pleistozäne Sedimente an. Im Hangenden des bindigen Komplexes, das im Niveau um + 80 m NN schwankt, stehen bis zur Rasensohle ca. 30 m mächtige, sandig-kiesige Ablagerungen an, die vorwiegend im westlichen Teil durch oberflächennah anstehende Schluffe, Bändersande und Geschiebemergel überlagert werden.
Der geplante Einbindehorizont für die Dichtwand ist ein ca. 5 m mächtiger, toniger, kohlehaltiger, tertiärer Schluff, der sogenannte B1-Horizont. Die Quartärbasis liegt in größeren Bereichen im NW und im Süden der geplanten Dichtwandtrasse direkt auf dem Hangenden des geplanten Einbindehorizontes. Im mittleren Bereich quert die Dichtwandtrasse die endogen-tektonische Proschimer Störung, die einen Versetzungsbetrag von ca. 10 m im Niveau des Einbindehorizontes aufweist.

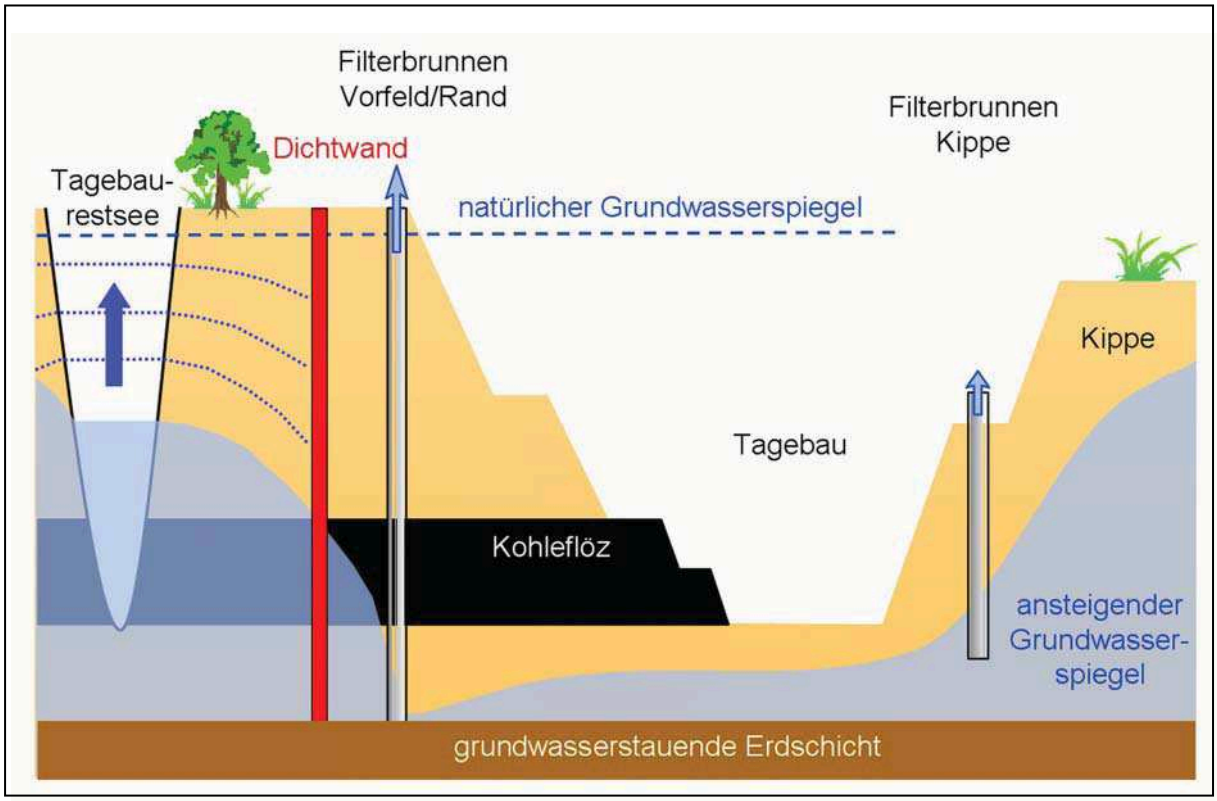
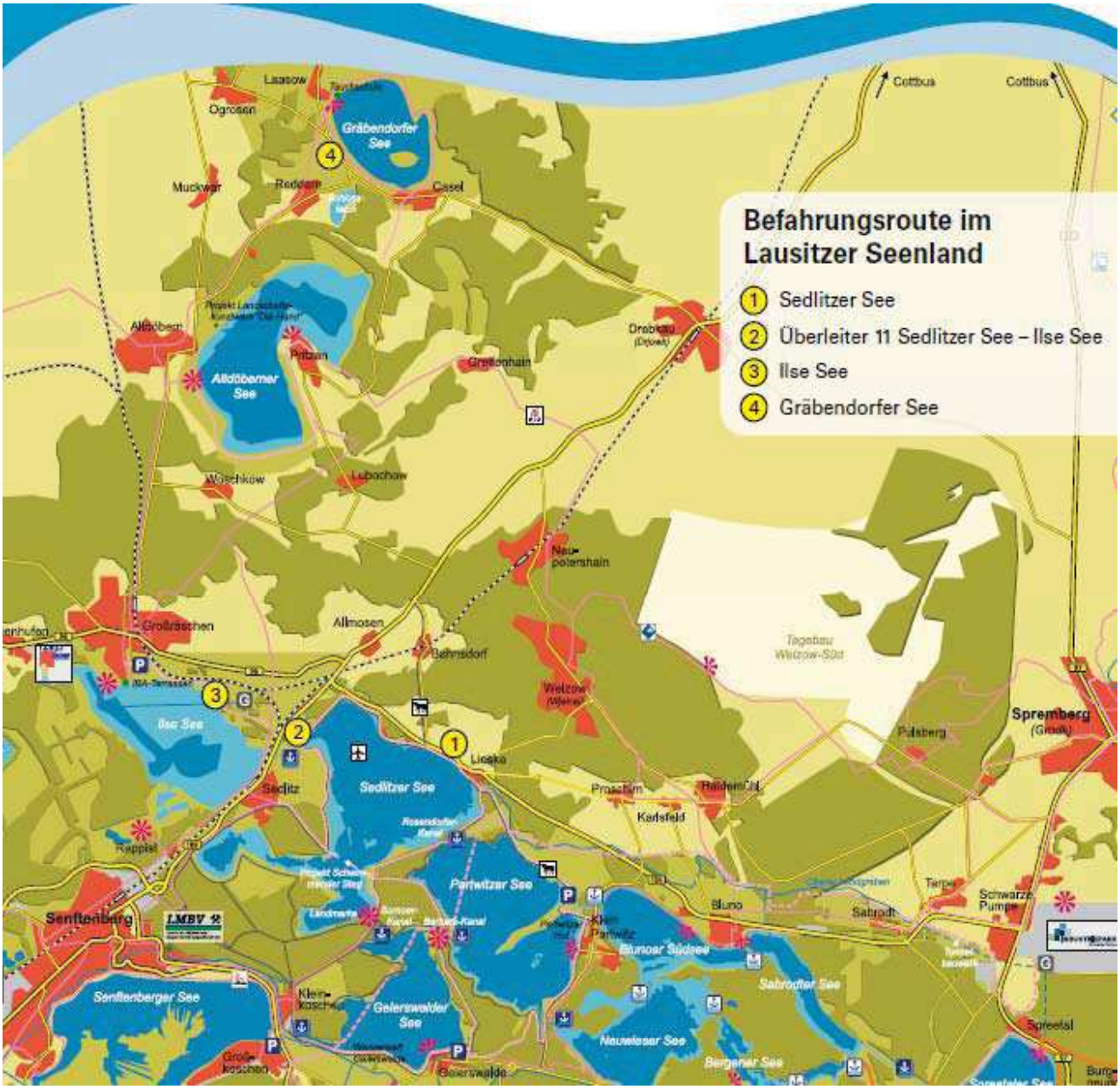


Abb. 4: Prinzipskizze der Dichtwand Tagebau Welzow-Süd

EXKURSION II
(Teil 2)



EXKURSION II
(Teil 2)

Überleiter 11

Gräbendorfer See

Sedlitzer See

Ilse See