

Zu den geologischen Bedingungen und den bergbautechnologischen Möglichkeiten der Wiedernutzbarmachung im Lausitzer Braunkohlerevier

Carsten Drebenstedt und Jochen Rascher



0. Einführung

1. Geologisch-bergbauhistorischer Überblick

1.1 Geologisch Entwicklung

1.2 Bergbaugeschichte

1.3 Rohstoff Braunkohle

2. Wiedernutzbarmachung als komplexer Prozeß

3. Geologische Einflüsse bei der Wiedernutzbarmachung

3.1 Lagerstättentyp

3.2 Ausbildung des Deckgebirges

3.3 Hydrogeologische Verhältnisse

4. Geologische Faktoren in der Bergbaufolgelandschaft

4.1 Ausbildung abiotischer Standortverhältnisse

4.2 Grundwasserwiederanstieg und Oberflächenentwässerung

4.3 Bodenmechanische Verhältnisse

4.4 Gestaltung von Land- und Forstwirtschaftsflächen

4.5 Anlage von Sonderstandorten

5. Literaturnachweis

0. Einführung

Das heutige Landschaftsbild der Lausitz ist vorwiegend durch die Jahrhunderte währende menschliche Tätigkeit geprägt. Die ursprüngliche, jung- und nacheiszeitlich entstandene wald- und sumpfreiche Lausitzer Moränenlandschaft war ein Eichenmischwaldgebiet mit einem großen Anteil an Kiefern. In den grundwasserbeeinflussten Niederungen und Auen bestanden Erlen- und Eschenwälder sowie zahlreiche Moore.

Die Wälder grundwasserferner Standorte wichen im Mittelalter teilweise weidewirtschaftlich extensiv genutzten Grünflächen und Äckern. Es entwickelten sich ausgedehnte Heidegebiete sowie Trockenrasenflächen. Im 19. Jahrhundert, mit Beginn der planmäßigen Forstwirtschaft, wurde ein großer Teil dieser Flächen zu Nutzwald gewandelt, was zum Entstehen von Kiefern-Monokulturen führte. Die bis dahin weniger vom Menschen beeinflussten Bruch- und Auenwälder wurden in dieser Zeit zu Grünland, natürliche Senken zu Teichen umgestaltet und Flüsse kanalisiert. Besonders überprägte seit Mitte des vorigen Jahrhunderts der Braunkohlenabbau, zuerst im Tiefbau, später im Tagebau, die Landschaft. Die jungen Bergbaufolgelandschaften werden zukünftig in der Lausitz ca. 100 000 ha einnehmen.

Die aktuellen energiepolitischen Grundsätze des Landes Brandenburg und des Freistaates Sachsen räumen der Braunkohlenverstromung und damit dem Tagebaubetrieb in der Lausitz einen festen Platz ein. Für die fünf zur langfristigen Kohleförderung vorgesehenen Tagebaue (Nochten, Reichwalde, Welzow-Süd, Jänschwalde, Cottbus-Nord) wurden auf der Grundlage der Landesplanungsgesetze Braunkohlenpläne aufgestellt und von den Landesregierungen bestätigt. Damit wird der ökonomischen, sozialen und ökologischen Notwendigkeit einer angepassten Kohleförderung in der Lausitz Rechnung getragen. Für die stillgelegten Tagebaue werden Sanierungsrahmen- bzw. Sanierungspläne erarbeitet.

Der mit der Nutzung des Bodenschatzes Braunkohle verbundene Eingriff eines Tagebaues in das naturräumliche Gefüge ist mit keiner der vorangegangenen Veränderungen vergleichbar. Die natürlichen Lebensgrundlagen wie Boden, Wasser und Vegetation sowie ihre Funktionen gehen, wenn auch nur zeitweise, so doch großflächig verloren. Zusätzlich entstehen durch die großräumige Grundwasserabsenkung auch Einflüsse auf den Naturhaushalt außerhalb des Abbaugbietes.

Gleichzeitig liefert die postmontane Bergbaufolgelandschaft für die Entwicklung einer artenreichen Naturausstattung in einer überwiegenden Kulturlandschaft einzigartige Bedingungen. In den Braunkohlen- und Sanierungsplänen als Teile der Regionalplanung sind nach Abwägung aller Inte-

ressen auch die Ziele und Grundsätze der Wiedernutzbarmachung und zur Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft definiert. Bei der Wiedernutzbarmachung steht heute eine lausitztypische forstwirtschaftliche Rekultivierung im Vordergrund. Ziel ist die Schaffung von Voraussetzungen für die Entwicklung einer mehrfach nutzbaren Landschaft, die land- und forstwirtschaftlichen Betrieben ebenso Platz bietet wie dem Erholung suchenden Menschen und verdrängten Pflanzen- und Tierarten. Dem ökologischen und touristischen Aspekt wird mit dem Rückgang der wirtschaftlichen Bedeutung einer intensiven Landnutzung auf den kargen Lausitzer Böden zunehmend mehr Aufmerksamkeit gewidmet.

Bei der Planung und Gestaltung von Bergbaufolgelandschaften in Braunkohlentagebauegebieten werden naturräumliche, sozioökonomische, sicherheitstechnische und gesetzliche Randbedingungen beachtet. Weniger ist hingegen bewußt, daß die seit Jahrmillionen ablaufenden geologische Prozesse und die dabei entstandenen Strukturen und Gesteinsablagerungen direkt oder indirekt bis auf den heutigen Bergbauprozeß und die Wiedernutzbarmachung wirken. Nachfolgender Aufsatz möchte dazu beitragen, die Kausalität von geologischen Verhältnissen, Entwicklung des Braunkohlenbergbaues und Gestaltungspotentialen der Bergbaufolgelandschaften am Beispiel des Lausitzer Braunkohlenreviers zu verdeutlichen. Da eine monographische Zusammenstellung den Rahmen dieses Beitrages sprengen würde, beschränken sich die Autoren auf die Darstellung wesentlicher Zusammenhänge und Fallbeispiele.

1. Geologisch-bergbauhistorischer Überblick

1.1 Geologische Entwicklung

Wohl einer der frühen Funde von „unterirdischem Holz“ in der Lausitz führte dazu, daß bereits 1740 bei Zittau der erste Oberlausitzer Bergbau einsetzte. In der Niederlausitz wurden Braunkohlen 1789 bei Lauchhammer, 1856 bei Zeiðholz und 1864 bei Senftenberg entdeckt. Der vermutlich allererste Braunkohlenabbau erfolgte jedoch schon im Zusammenhang mit der Alaungewinnung bei Weißwasser im Jahre 1597.

Zum **Lausitzer Braunkohlenrevier** [1,2,3,4,5,6] zwischen Elbe und Lausitzer Neiße gehört der Oberlausitzer Lagerstättenbezirk mit den Tertiärbecken von Berzdorf und Zittau innerhalb des granit- und basalt dominierten Oberlausitzer Berglandes sowie der im nördlich vorgelagerten Tiefland gelegene, wirtschaftlich auch zukünftig bedeutsame, Niederlausitzer Lagerstättenbezirk.

Der **Oberlausitzer Lagerstättenbezirk** umfaßt die südlich der geschlossenen Tertiärverbreitung liegenden kleinen kohleführenden Tertiärvorkommen sowie die Tertiärbecken von Zittau und Berzdorf. Diese weisen infolge tektonisch bedingter Senkungen eine miozäne Sedimentfolge auf, in die mehrere Flöze mit einer Gesamtkohlemächtigkeit von mehr als 100 m eingebettet sind. Der Bergbau ist inzwischen ausgelaufen, die Tagebaue werden derzeit saniert.

Die bis zu 250 m mächtigen tertiären und quartären Schichten des **Niederlausitzer Lagerstättenbezirkes** lagern über einer allmählich nach Norden abtauchenden prätertiären Festgesteinsoberfläche. Es stehen im Südwesten präkambrische bis altpaläozoische Gesteine der Lausitzer Antiklinalzone (Lausitzer Grauwackeneinheit und Granodioritmassiv, Görlitzer Synklinarium, Torgau-Doberluger Synklinorium) an, die durch den saxonisch angelegten Lausitzer Hauptabbruch von den nordöstlichen jungpaläozoischen und mesozoischen Ablagerungen der Lausitzer Permo-Trias-Platte und der Ostbrandenburg-Nordsudetischen Senke getrennt werden.

Bedingt durch die permanente Lage der Lausitz am Südrand der Nordwesteuropäischen Tertiärsenke, griffen tertiäre Sedimente allmählich aus dem Paläo-Nordseebereich nach Südosten über. Im Oligo-/Miozän kam es zu mehrfachen Wechseln von marinen Ingressionen (Ablagerung mächtiger mariner Sande und Schluffe: Rupel-Folge, Cottbuser Folge, Briesker Folge), paralischen Vermoorungen (1. bis 4. Lausitzer Flözhorizont, Flöz Calau) und terrestrischen Schüttungen von Süden (Sande und helle Tone: Spremberger Folge, Raunoer Folge). Typisch für das Lausitzer Tertiärprofil ist deshalb die enge räumlich-zeitliche Verzahnung dieser Sedimente.

Diese Auswirkungen von klimatisch und epirogen bedingten Meeresspiegelschwankungen sind bis in die Flözbereiche nachweisbar [6,10]. Besonders deutlich spiegeln sich im 2. Lausitzer Flözhorizont die Meeresspiegeloszillationen wider. Der Flözkörper wird im nördlichen Revier durch schluffig-sandige Zwischenmittel in mehrere Flözbänke aufgespalten. Am südlichen Rand des Paläomoores kam es zum Eintrag von terrestrischem Material. Die Kohlenqualität im 2. Lausitzer Flözhorizont ist deshalb im nördlichen und südlichen Kohleverbreitungsgebiet am schlechtesten. Die qualitativ hochwertigen Braunkohlen aus dem dazwischen liegenden Bereich wurden frühzeitig durch die Tagebaue im Lausitzer Urstromtal gewonnen und für die Braunkohlenveredlung (Brikettierung, Verkokung, Vergasung) genutzt.

Im **Quartär** entstand als Folge der glazialen Wirkungen des Inlandeises die heute in der Niederlausitz vorherrschende flachwellige Moränen- und Beckenlandschaft, die von etwa Ost-West-verlaufenden Urstromtälern durchbrochen wird.

Im Unterpleistozän durchzogen breite Flüsse das Gebiet. In der ersten Vereisungsperiode des Mittelpleistozäns (Elsterkaltzeit) wurde die gesamte Lausitz weitgehend vom Inlandeis überzogen. Erosionsrinnen schnitten sich bis unter den 2. Lausitzer Flözhorizont ein und zerlegten den Flözkörper in einzelne Kohlenfelder. Die nachfolgende Vereisungsphase (Saalekaltzeit) erreicht nicht mehr die Ausdehnung der vorangegangenen Kaltzeit. Im Oberpleistozän gehörte ein großer Teil der Niederlausitz zum periglazialen Gletschervorland der Weichsel-Kaltzeit. Im Holozän entstanden Flußauen der heutigen Spree, der Schwarzen Elster und der Neiße. Gleichzeitig begann die Herausbildung der rezenten Böden.

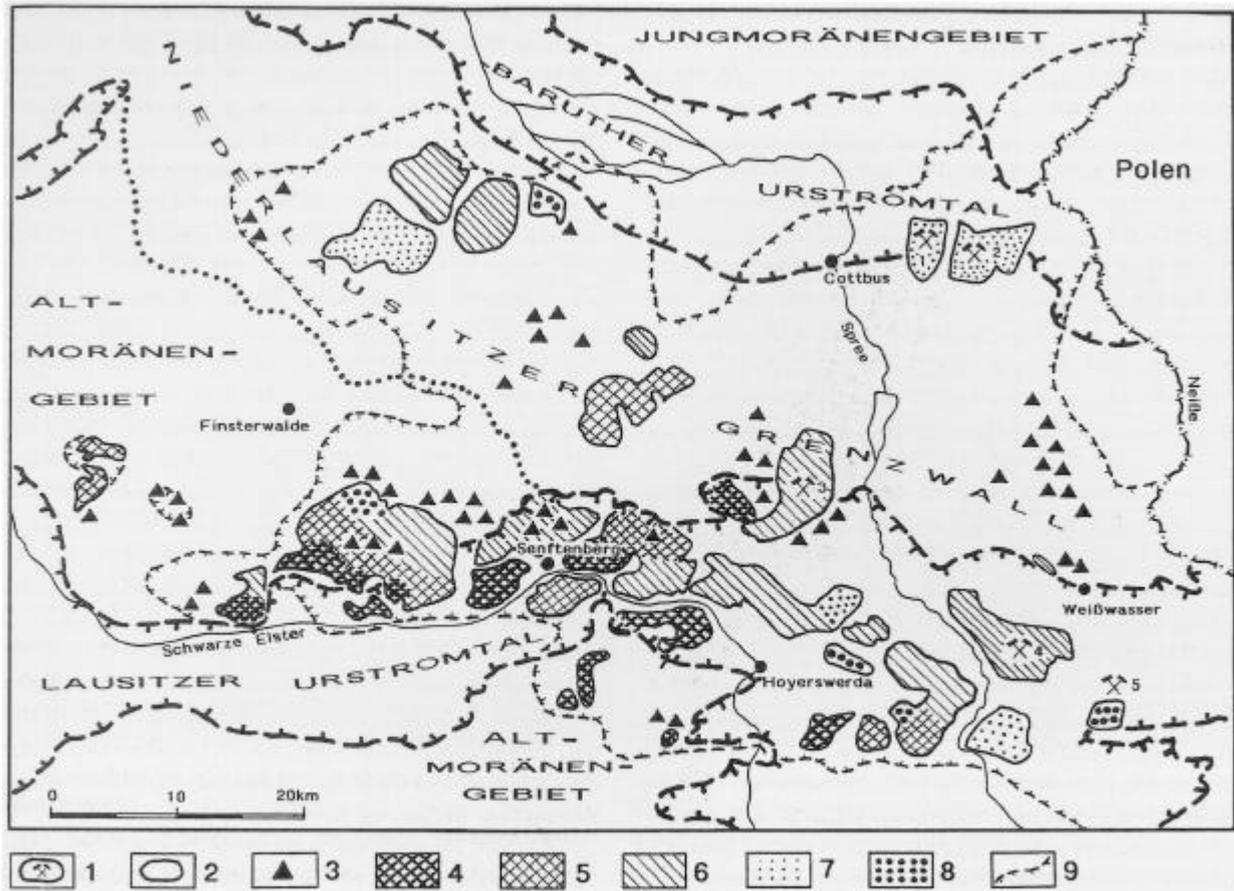
An der **Oberflächengestaltung der Lausitz** sind deshalb auch die morphologischen Formen der glazialen Serie maßgeblich beteiligt:

- Endmoränen, d.h. aufgestauchte und aufgeschüttete Wälle an der Stirnseite der Endlage einer Inlandvereisung, in denen die Braunkohlenflöze teilweise steilgestellt oder aufgefaltet vorkommen.
- Sander, die durch Sedimentation der Schmelzwässer, die von den Endmoränen abfließen, entstanden sind.
- Urstromtäler, die den Endmoränen vorgelagert sind und die als Abflußbahnen für die Schmelzwässer dienen.
- Glaziale Hochflächen im Hinterland der Endmoränen, auf denen die ausgetauten Grundmoränen lagern und in denen sich später eiszeitliche Seen oder Becken herausbilden.

Infolge der quartären landschaftsformenden Vorgänge läßt sich der Niederlausitzer Lagerstättenbezirk von Nord nach Süd geomorphologisch in folgende Struktureinheiten gliedern:

- Das Jungmoränengebiet der letzten Vereisung, die das Gebiet im Nordosten erreichte (Brandenburger Stadium der Weichselkaltzeit) mit Endmoräne, weiten Sandern und Grundmoränenplatte, für die zahlreiche Seen charakteristisch sind.
- Das Baruther Urstromtal als Schmelzwasserabflußbahn der Weichselkaltzeit.
- Der Niederlausitzer Landrücken, das geomorphologische Hauptelement im Zentrum der Niederlausitz, das mit Endmoränen und Sanderbildungen die Haupteisrandlage der Saale-Vereisung markiert. Im nördlichen Hinterland befinden sich glaziale Hochflächen und Beckenniederungen, die in das Baruther Urstromtal einmünden.
- Das Lausitzer Urstromtal, die Abflußbahn der saalekaltzeitlichen Schmelzwässer.

- Das Altmoränengebiet südlich des Lausitzer Urstromtales mit Übergängen zum Oberlausitzer Berg- und Hügelland, in dem die prätertiären Gesteine oberflächennah anstehen bzw. zutage treten.



Geomorphologische Gliederung und Bergbauentwicklung im Niederlausitzer Lagerstättenbezirk
 1 Tagebaue in Betrieb (1 - Cottbus-Nord, 2 - Jänschwalde, 3 - Welzow-Süd, 4 - Nochten, 5 - Reichwalde), 2 Tagebaue in Sanierung, 3 Altbergbau des 19. Jahrhunderts (vorwiegend Tiefbau, Auswahl), 4 Tagebauaufschluß vor 1930, 5 Tagebauaufschluß zwischen 1930 und 1945, 6 Tagebauaufschluß zwischen 1945 und 1965, 7 Tagebauaufschluß zwischen 1965 und 1980, 8 Tagebauaufschluß nach 1980, 9 Verbreitung des 2. Lausitzer Flözhorizontes (schematisch)

1.2 Bergbaugeschichte

Der reguläre Braunkohlenbergbau begann im vorigen Jahrhundert in der Regel dort, wo glazigen gestörte Flöze oberflächennah zugänglich waren. Dies trifft für die kleineren Tief- und Tagebaue innerhalb des morphologisch landschaftsprägenden Niederlausitzer Grenzwalls bei Weißwasser, Drebkau, Calau und Luckau zu. Ebenso wurde der auf tertiären Hochflächen erhalten gebliebene 1. Lausitzer Flözhorizont sehr frühzeitig gewonnen.

In den **Braunkohlentagebauen** [11] herrschte bis etwa 1885 der reine Handbetrieb vor. Bis etwa 1925 wurde die Abraumbeseitigung durch den Einsatz von Baggern und anderen Gewinnungsgeräten mechanisiert, während die eigentliche Kohlegewinnung fast ausschließlich manuell mit der

Kohlenhaue erfolgte. Nach 1925 war dann eine vollmechanisierte Förderung (Bagger-Zug-Betrieb) möglich. 1924 wurde in der Grube Agnes bei Plessa der erste erfolgreiche Versuch mit einer Abraumförderbrücke gemacht, dem deutschlandweit bis 1945 der Aufbau weiterer 25 Förderbrücken folgte.

Parallel zu dieser Entwicklung ging in der Lausitz wie auch in anderen Braunkohlenrevieren der Anteil der Tiefbauförderung bis etwa 1940 allmählich zurück. Demgegenüber stieg die Gesamtförderung an Braunkohlen in Deutschland sehr schnell an: 1860 – 4 Mio. t, 1880 – 12 Mio. t, 1900 – 40 Mio. t, 1920 – 112 Mio. t, 1930 – 146 Mio. t, 1943 – 253 Mio. t.

Die ersten größeren Tagebaue des Lausitzer Reviers wurden im Lausitzer Urstromtal aufgeschlossen, da hier ein relativ günstiges Abraum – Kohle-Verhältnis infolge geringer Deckgebirgsausbildung bestand. Gewonnen wurde der über 10 m mächtige, kompakte 2. Lausitzer Flözhorizont mit sehr guten Kohlequalitäten. Mit der Erschließung der Lagerstätte Greifenhain 1035 entstand der erste Tagebau nördlich des Niederlausitzer Grenzwalls.

In der Aufbauphase der fünfziger Jahre der DDR stieg der Energiebedarf sprunghaft an, so daß weitere bereits früher erkundete Kohlenfelder aufgeschlossen wurden. Der Braunkohlenbergbau dehnte sich im Lausitzer Urstromtal nach Osten aus. Im Nordwesten des Reviers wurden zwar qualitativ minderwertigere, jedoch relativ oberflächennah liegende Kohlen für die Neubaukraftwerke Lübbenau und Vetschau erschlossen. Meilensteine der Bergbautechnik waren der Einsatz von Bändern für den Massentransport, 1985 der erste Einsatz einer Direktversturzkompositionen für die Schüttung von Innenkippen im Tagebau Dreiweibern und die Entwicklung von Typenförderbrücken mit 34 m, 45 m bzw. 60 m Abtragmächtigkeit.

Das zunehmende Autarkiebestreben der DDR führte dann in den 70er und 80er Jahren zur Einrichtung von weiteren Tagebauen im Raum Schlabendorf, Cottbus, Bärwalde, Klettwitz und Hoyerswerda. Dabei wurde zunehmend versucht, ungünstigere Lagerstättenverhältnisse (Flözaufspaltungen, glazigene Lagerungsstörungen, stärkere Wasserhebung, ungünstige Abraum-Kohle-Verhältnisse u.a.) durch einen enormen Erkundungsaufwand und eine bis an die Leistungsgrenze beanspruchte Bergbautechnik zu kompensieren. Infolge der größeren Massenströme war keine selektive Gewinnung von Deckgebirgsschichten möglich, wodurch sich die Möglichkeiten der Wiedernutzbarmachung verschlechterten. Dies sollte durch die teilweise Einrichtung von Vorschnittbetrieben ausgeglichen werden.

1.3 Rohstoff Braunkohle

Hauptbauhorizont des Niederlausitzer Braunkohlenbezirkes war um die Jahrhundertwende der **1. Lausitzer Flözhorizont**. Das Flöz ist nur noch in den tertiären Hochflächen von Klettwitz, Rauno, Welzow, Trebendorf und Stannewisch bzw. in der Endmoränenstruktur des Muskauser Faltenbogens erhalten geblieben.

Von wirtschaftlichem Interesse ist seit dem Tagebauaufschluß der Grube Marga im Jahre 1908 der im gesamten Niederlausitzer Lagerstättenbezirk verbreitete **2. Lausitzer Flözhorizont** [7,8,9,10], auf dem bereits im ausgehenden 19. Jahrhundert Tiefbau umging (z.B. 1886-1904 Grube Guerrini bei Vetschau). Von den ca. 13 Mrd. t Rohbraunkohle dieses Flözhorizontes sind derzeit ca. 2 Mrd. t für den Abbau vorgesehen.

Der mittelmiozäne Flözhorizont (Mächtigkeit 6-15 m) entstand in einem paralischen Moor mit verschiedenen Moorfaziesbereichen, die sich je nach vorherrschenden Wasserständen und bestehendem Nährstoffangebot einstellten. Eine normale moorfazielle Abfolge [7] umfaßt koniferen- bzw. angiospermenbetonte Waldmoore an der Basis, die von Riedmoor- und Kiefern-Waldmoorkohlen überlagert werden und mit einem Schirmtannen-Hochmoor endet. Diese Kohletypen weisen unterschiedliche Qualitätseigenschaften auf. Durchschnittliche Qualitätsparameter [1] der (Weich-) Braunkohlen sind:

Wassergehalt	-	52 - 58 %
Aschegehalt, roh	-	3,5 – 10,0 %
Heizwert, roh	-	8,2 – 8,8 MJ/kg
Schwefelgehalt, roh	-	0,35 – 1,10 %

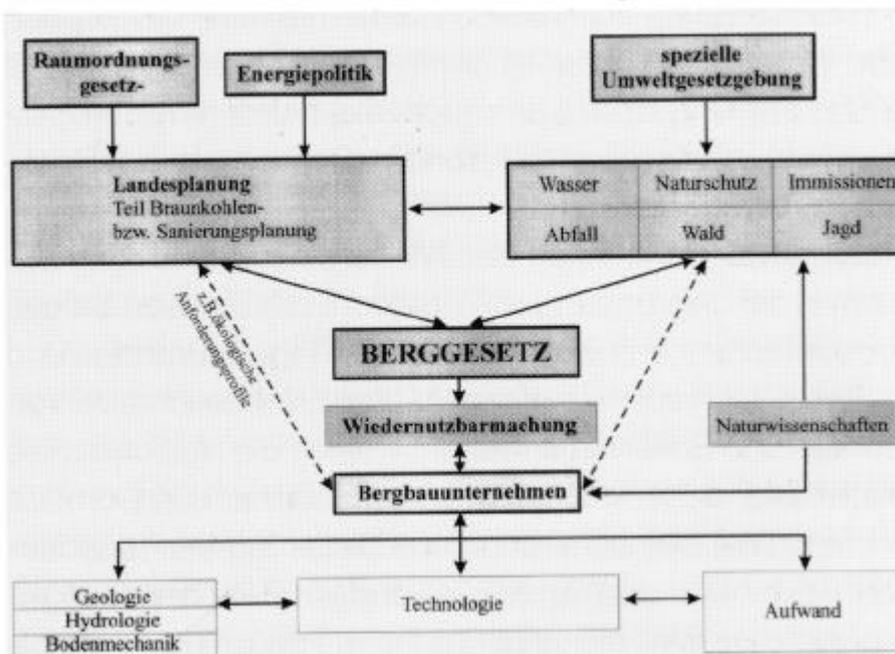
Der Rohstoff Braunkohle, dessen Förderung im Jahre 1988 allein in der Lausitz 200 Mio. t erreichte, wurde zur Energieerzeugung in den Großkraftwerken sowie als Briketts für den Hausbrand bzw. in Kleinkesselanlagen eingesetzt. Etwa 6 % der Kohleförderung veredelte man zu Braunkohlenhochtemperaturkoks und Stadtgas. Heute werden Lausitzer Braunkohlen zu 85 % für die Stromerzeugung in den Großkraftwerken Jänschwalde, Boxberg und Schwarze Pumpe eingesetzt. Weiterhin erfolgt die Verarbeitung zu Brennstaub (350 000 t 1997) und Hausbrandbriketts (1,7 Mio. t 1997) bzw. die Verstromung in Grubenkraftwerken. Die 1997er Jahresförderung von 59,4 Mio. t ist etwa $\frac{1}{3}$ der BRD-Gesamtförderung an Braunkohlen.

2. Wiedernutzbarmachung als komplexer Prozeß

Das Bundes-Berggesetz verpflichtet den Bergbautreibenden mit der Genehmigung des Rohstoffabbaues zur Wiedernutzbarmachung, d.h. „zur ordnungsgemäßen Gestaltung der vom Bergbau in Anspruch genommenen Oberfläche unter Beachtung der öffentlichen Interessen“. Das öffentliche Interesse reicht dabei

- von der traditionell vor dem Bergbau schon vorhandenen land- und forstwirtschaftlichen Nutzung (Dauergrasland, Wiesen, Äcker, Laubmischwald, Kippenforste)
- bis zur wasserwirtschaftlichen Nutzung der Restseen,
- der Realisierung infrastruktureller Maßnahmen,
- der Anlage von Deponien und Truppenübungsplätzen oder
- der Nutzung der Landschaft für Freizeit und Erholung sowie für die Belange des Naturschutzes (Tümpel, Fließgewässer, terrestrische Trockenstandorte).

Einflußfaktoren auf die Wiedernutzbarmachung



Die **Landinanspruchnahme** [12,13] in der Lausitz durch den Braunkohlenbergbau bis zum 1.1.1998 beläuft sich auf ca. 77 558 ha abgegrabenes oder mit Halden überschüttetes Land. Diese Fläche wurde für den Braunkohlenabbau aus insgesamt 42 Tagebauen benötigt. Darüber hinaus sind in der Lausitz etwa 5 000 ha Landinanspruchnahme dem sog. Altbergbau ohne Rechtsnachfolge zuzuschreiben. Dabei handelt es sich um stillgelegte Kohlegruben (Tief- und Tagebaue) aus der fast 100jährigen Bergbaugeschichte vor 1945, die in der Folge durch kein Bergbauunterneh-

men weiter genutzt wurden. Dazu gehören z.B. die Abbaugelände im Muskauer Faltenbogen, bei Drebkau (Merkur) sowie bei Annahütte. Andere Altbergbaugelände wurden inzwischen nach dem tieferliegenden Flöz erneut überbagert.

Die Größe des durch den Braunkohlenbergbau in der Lausitz bisher in Anspruch genommenen Gebietes (ca. 82 600 ha) läßt sich etwa mit der Fläche des Landes Berlin (88 300 ha) vergleichen. Davon entfallen knapp zwei Drittel der bergbaulichen Landinanspruchnahme auf das Land Brandenburg (50 082 ha) und ca. ein Drittel auf den Freistaat Sachsen (27 476 ha). Die bergbaulich in Anspruch genommene, bereits stark anthropogen veränderte Landschaft wies vor dem Eingriff folgende Nutzungsstrukturen auf:

- 60 % Forstliche Nutzung
- 31 % Landwirtschaftliche Nutzung
- 1 % Wasserfläche
- 8 % sonstige Nutzungen (Siedlungen, Infrastruktur etc.)

Der Landinanspruchnahme steht per 1.1.1998 im Lausitzer Braunkohlenrevier eine Wiedernutzbarmachung von 45 600 ha gegenüber. Bei den Rekultivierungsrückständen handelt es sich um 18 000 ha Kippen- und Vorfelddfläche und 14 999 ha in aquatischen Bereichen (Restlochböschungen).

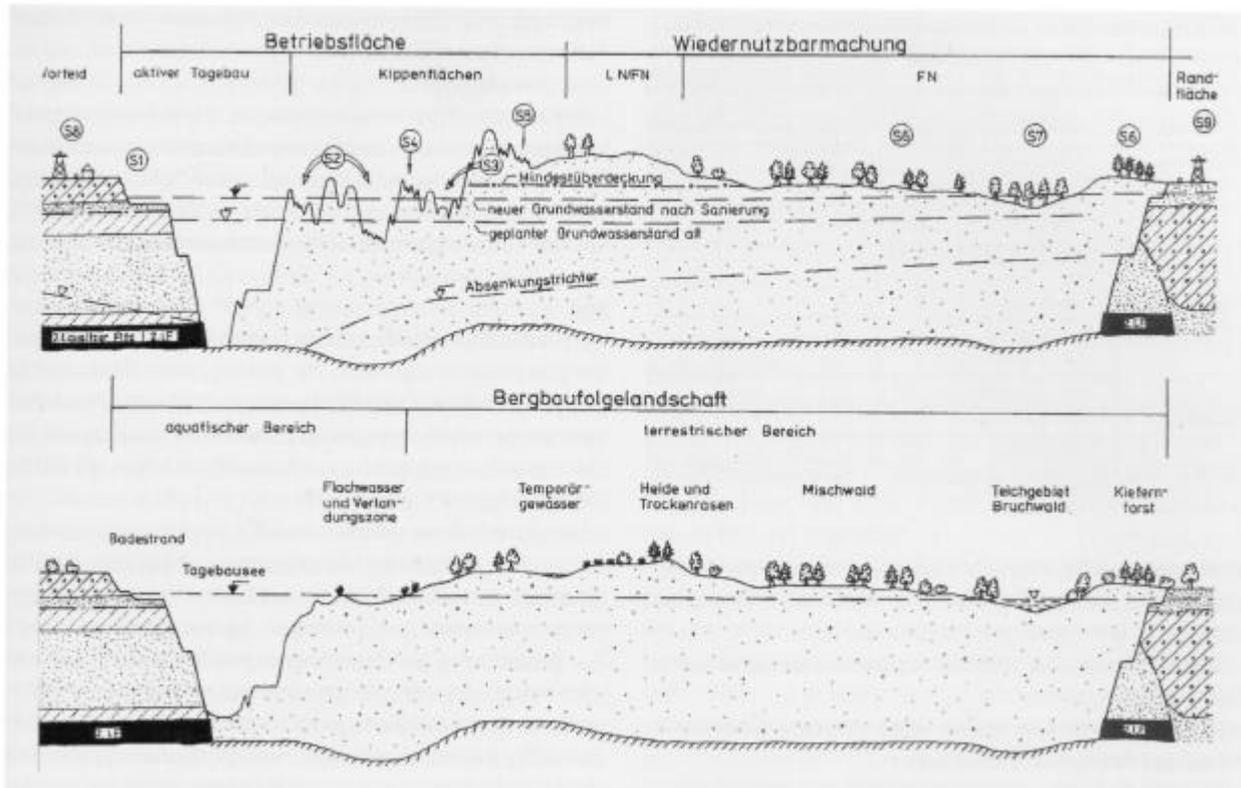
Voraussetzung zur Wiedernutzbarmachung der Kippen und Tagebaurestlöcher ist deren Standsicherheit. Erst die Sicherstellung von Standsicherheit und Wiedernutzbarmachung führt gemäß Bundes-Berggesetz zur Beendigung der Bergaufsicht.

Der wesentliche **Inhalt der Wiedernutzbarmachung** besteht in der Begründung von Standortverhältnissen auf den terrestrischen Standorten (Kippen, Tagebauränder und –vorfeldd, technische Betriebsflächen), insbesondere von Boden- und Reliefverhältnissen, welche die Nutzungsziele nachhaltig sichern. Die Wiedernutzbarmachung umfaßt weiterhin die Ufersicherung und Gestaltung der Tagebaurestseen. Mit den anschließenden Rekultivierungsmaßnahmen wird die Inkulturnahme, Pflege, Bewirtschaftung und nutzungsorientierte Ausgestaltung der wiedernutzbarmachten Flächen angestrebt.

Die Planung der Wiedernutzbarmachung unterliegt komplexen Einflußfaktoren. Gesetzliche, energiepolitische, bergrechtliche und umweltschutzrechtliche Vorschriften und landesplanerische Anforderungen bilden den Rahmen. Die bergtechnischen und wirtschaftlichen Bedingungen im aktiven und sanierenden Bergbaubetrieb setzen Möglichkeiten und Grenzen der Wiedernutzbarma-

chung. Die geologischen Bedingungen stehen in diesem System zwar nicht im Mittelpunkt, sind jedoch ein begrenzender Einflußfaktor im Zusammenhang mit der Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Wiedernutzbarmachungsarbeiten. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, auf die drei nach den technologischen Möglichkeiten der Abschlußschüttung im Lausitzer Revier aushaltbaren Tagebaugruppen [14] zu verweisen:

- *Planmäßig stillgelegte Tagebaue bis 1990:* In den 25 vor 1990 planmäßig stillgelegten Tagebauen ist bergtechnisch so gut wie nichts mehr möglich. Schwerpunkt in diesen Bereichen ist neben der Herstellung der Standsicherheit von Tagebaurestlochböschungen und Kippen die Reliefgestaltung und Bodenverbesserung der überwiegend kulturfeindlichen Kippstandorte beziehungsweise Maßnahmen zum Erhalt dieser extremen Standorte aus Sicht des Arten- und Naturschutzes.
- *Ab 1990 stillgelegte Tagebaue:* Seit 1990 wurden 11 weitere Tagebaue zum Teil aufgrund von Auskohlung, jedoch überwiegend wegen des starken Absatzrückgangs an Rohbraunkohle stillgelegt. Ursprünglich vorgesehene Rekultivierungskonzepte in Verbindung mit Tagebauneuaufschlüssen sind nicht mehr realisierbar. Im Zuge der Stilllegung der Tagebaue wurde noch eine Reihe bergtechnischer Maßnahmen zur geotechnischen Sicherung, zur Vergrößerung des „Festlandbereiches“ und zur Schüttung kulturfreundlicher Abraummassen durchgeführt. Hier sind unter anderem zu nennen:
 - Weiterführung von Abraumschnitten ohne Kohlefreilage zur Fortführung von Kippenschüttungen;
 - Abtrag von zum Teil bereits rekultivierten Kippenhochlagen zur Auffüllung tiefer gelegener, im Laufe des Grundwasserwiederanstieges wieder vernässender Bereiche;
 - Massentransport zwischen noch aktiven und bereits stillgelegten Tagebauen für Sanierungszwecke (Reliefgestaltung).
- *Aktive Tagebaue:* Planmäßig können die bergtechnischen Voraussetzungen eigentlich nur in den sechs gegenwärtig noch aktiven Tagebauen genutzt werden. Hier befinden sich mit ca. 9 000 ha zum heutigen Zeitpunkt auch die größten terrestrischen Flächenbereiche, welche zum Großteil schon vor 1990 entstanden und zukünftig endgültig überkippt werden. Dabei besteht die Möglichkeit, die für die Nachnutzung geeignetsten Kippsubstrate an die Oberfläche zu schütten. Die Konturen der Tagebaurestseen können durch eine entsprechende Abbauplanung landschaftsmorphologisch vielfältiger gestaltet werden. Die bestätigten Rahmenbetriebspläne sehen für die 5 auch im 21. Jahrhundert zu betreibenden Tagebaue noch einen Landbedarf von ca. 20 000 ha vor, die nach Bergbauende etwa zu 20 % als Restseefläche und ca. 80% Landnutzung vorgesehen sind.



3. Geologische Einflüsse bei der Wiedernutzbarmachung

Für die Planung der Bergbaufolgelandschaft ist es wichtig, die Zusammenhänge zwischen der geologischen Situation und der sich auf dieser Basis einstellenden natürlichen Gegebenheiten zu kennen, um sie bewußt bei der Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft einzusetzen. Nur so können sich mittel- und langfristig wieder stabile landschaftliche Systeme entwickeln. Fehler bei der Landschaftsgestaltung korrigiert die Natur selbst, wobei erhebliche Schäden entstehen können (Vernässungen, Erosionen, Rutschungen, Setzungsfliessen u.a.).

3.1 Lagerstättentyp

Für die Wiedernutzbarmachung entscheidende Lagerstättenparameter sind die Zusammensetzung und Mächtigkeit des Deckgebirges, die Größe der Lagerstätte sowie das Einfallen der Flözbasisfläche. Diese Angaben sind maßgeblich für die Auswahl und Effektivität der Technik und Technologie zur Abraumbeseitigung und -verkippung, die wiederum die Möglichkeiten der Wiedernutzbarmachung bestimmen.

Diese Verhältnisse sind von den differenzierten paläogeographischen und faziellen Bedingungen, unter denen sich die Ablagerung der tertiären und quartären Schichtenfolge vollzog, abhängig und werden traditionell in sog. Lagerstättentypen verallgemeinernd zusammengefaßt. Die Braunkoh-

lenlagerstätten von Zittau und Berzdorf werden dem tektonischen Typ, der Niederlausitzer Lagerstättenbezirk dem epirogenetischen Typ zugeordnet. Einige Braunkohlenvorkommen des letztgenannten Types weisen infolge glazigener Prozesse starke Lagerungsstörungen auf und sind deshalb gesondert zu betrachten. Kausalzusammenhänge zwischen Lagerstättengeologie, Bergbautechnologie und Wiedernutzbarmachung sind in Tab. dargestellt.

Technologische Komplexe			Bewertung aus Sicht der Wiedernutzbarmachung			
Gewinnung	Transport	Verkippung	selektive		Massen- disposition	Relief- gestaltung
			Gewinnung	Verkippung		
Schaufelradbagger	Förderbrücke		+	0	-	0
	Absetzer		+	0	0	0
	Band/Zug	Absetzer	+	+	+	+
	Zug	Pflugkippe	+	+	+	0
	Zug	Spülkippe	+	-	0	-
Eimerkettenbagger	Förderbrücke		0	0	-	0
	Band/Zug	Absetzer	0	+	+	+
	Zug	Pflugkippe	0	+	+	0
	Zug	Spülkippe	0	-	0	-
Eingefäßbagger	Zug	Pflugkippe	+	+	+	0
	Lastkraftwagen		+	+	+	+
			- ungeeignet	0 bedingt geeignet	+ gut geeignet	

3.2. Ausbildung des Deckgebirges

Für die Wiedernutzbarmachung ist das Deckgebirge sowohl hinsichtlich seiner Mächtigkeit als auch seiner Zusammensetzung von Interesse. Je nach geologischer Position des Tagebaues kann dies unterschiedlich ausfallen. Neben den oben genannten prinzipiellen lagerstättengeologischen Bedingungen ist die Gewinnungstechnologie der Abraumschichten entscheidend für die Qualität und das Angebot an Kippsubstraten zur Oberflächengestaltung. Tab. gibt dazu eine Bewertung der technologischen Komplexe aus Sicht der Wiedernutzbarmachung [13,15].

Hinsichtlich des Kulturwertes der Deckgebirgsschichten, d.h. für die Eignung bei der Wiedernutzbarmachung, sind die quartären, insbesondere bindigen Substrate von besonderer Bedeutung für eine landwirtschaftliche bzw. anspruchsvolle forstliche Nutzung [16].

Die tertiären Substrate sind meist schwefelhaltig und weisen dadurch extreme bodenchemische Eigenschaften auf, die eine Vegetation verhindern. Gelangen diese Kulturfeindlichen Substrate an

die Kippenoberfläche, sind vor der Inkulturnahme bodenverbessernde Maßnahmen, die Grundmelioration, unerlässlich. Auch rollige quartäre Kippprohböden besitzen aufgrund ihrer Nährstoffarmut (N, P, K teilweise Ca, Mg), zerstörter Bodenstruktur, Heterogenität der Bodensubstrate und fehlenden Humus und Edaphons einen geringen Kulturwert.

Mit der Melioration [17] wird das Kippsubstrat folgendermaßen beeinflusst:

- Regulierung des Säurehaushaltes, insbesondere schwefelhaltiger tertiärer Kippsubstrate.
- Nährstoffversorgung der Kippprohböden, insbesondere mit den Makronährstoffen Kalium, Phosphor und Stickstoff (K, P, N).
- Verbesserung der Sorptionseigenschaften sandiger bzw. Strukturverbesserung bindiger Böden (Regulierung des Luft- und Wasserhaushaltes im Boden).
- Humusanreicherung und Aktivierung des Bodenlebens.

Die Richtlinie des Oberbergamtes des Landes Brandenburg für die Wiedernutzbarmachung bergbaulich in Anspruch genommener Bodenflächen vom 24.08.94 gliedert die im Vorfeld der Tagebaue anstehenden Sedimente in 4 Kategorien (Tab.). Bezogen auf die bereits geschilderte unterschiedliche geologische Position der Tagebaue in Abhängigkeit von ihrer Aufschlußzeit ergibt sich nachfolgendes Bild.

- *Aufschlußphase 1:*
Der Beginn des Braunkohlenabbaues konzentrierte sich hauptsächlich auf die tertiären Hochflächen. Diese sind durch die Verbreitung des 1. Lausitzer Flözes und eine überwiegend gering mächtige quartäre Schichtenfolge gekennzeichnet. Durch das Vorherrschen von tertiären Sedimenten der Raunoer und Briesker Folge (Sande, Kiese und Flaschenton) war nur ein relativ geringes Potential an rekultivierungsfreundlichen Schichten vorhanden (Kategorie 2 bis 3).
- *Aufschlußphase 2:*
Der Braunkohlenabbau verlagerte sich in die Urstromtäler. Diese setzen sich in den oberen 20 bis 30 m aus Schmelzwassersanden (Talsandhorizonten) zusammen. Die Tiefenlage der Quartär-/Tertiärgrenze in den Urstromtälern ist erheblichen Schwankungen unterworfen und somit variiert auch der Anteil tertiärer Sedimente am Gesamtabraum zwischen 10 und 50 %. Dieses Material verfügt in der Regel nur über ein geringes Nährstoff- und Wasserhaltevermögen (Kategorie 2).

- *Aufschlußphase 3:*

Braunkohlenabbau mit steigender Abraummächtigkeit verlagerte sich in den Bereich der Endmoränen. Den Tagebauen stehen hier vielfältige quartäre Schichtenfolgen, welche die gesamte glaziale Folge (Sander, Endmoräne, Grundmoräne, glazilimnische Bildungen) beinhalten, zur Wiedernutzbarmachung zur Verfügung. Die teilweise mächtige quartäre Schichtenfolge schafft günstige Voraussetzungen für die Schaffung einer reich gegliederten Bergbaufolgelandschaft. Die anstehenden Geschiebemergel und -lehme, die Bänder-sande und -schluffe stellen kalkhaltige, relativ bindige Sedimente dar, die sich gut für die Rekultivierung land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen eignen (Kategorie 1).

Bezug nehmend auf die in Kap. 2 genannte Einteilung der Tagebaue nach den technologischen Möglichkeiten der gezielten Abschlußschüttung verfügen die aktiven Tagebaue über ausreichend Abraum der Kategorien 1 bis 2. Zur Beseitigung der Rekultivierungsrückstände in den bereits stillgelegten Tagebauen steht nur Abraum der Kategorien 2 bis 3 zur Verfügung. Vielerorts, insbesondere in den stillgelegten Tagebauen, weisen deshalb große Flächen, selbst nach Jahrzehnten keine natürliche Vegetation auf und bedürfen für eine Nachnutzung der Melioration.

3.3 Hydrogeologische Verhältnisse

Der **Grundwasserstand nach dem Bergbau** wird durch die freien Wasserspiegel der Restseen und die Durchlässigkeitsbeiwerte der Kippenkörper beeinflusst. Die Kenntnis der künftigen Grundwasserstände ist eine entscheidende Planungsgrundlage und wird über hydrogeologische Großraummodelle [18] prognostiziert, in die alle relevanten hydrologischen und hydrogeologischen Daten (Auftreten, Lagerung und Durchlässigkeit von Grundwasserleitern und -geringleitern etc.) eingehen. Genaue Kenntnisse zum lagerstättengeologischen Aufbau sind dafür unerlässlich.

Weitere, für die Planung der Wiedernutzbarmachung wichtige Fragen sind die **Wasserbereitstellung für die Restseeflutung** und die **Sicherung der Wasserqualität**. Die im Zusammenhang mit dem Tagebaubetrieb notwendige Entwässerung zeigt in Abhängigkeit von der Verbreitung durchlässiger Schichten und Rinnen weit über das unmittelbare Abbaugelände hinaus Wirkung. Die Kenntnis der Reichweite der Entwässerung und ihre Wirkung auf den Naturraum bilden die Grundlage zur Planung entsprechender gegensteuernder Maßnahmen (Dichtungswände, Infiltrationsanlagen, Wassereinleitung in die Gewässer u.a. [18]).

Die geologischen Lagerungsverhältnisse können teilweise aktiv für den Erhalt ökologisch wertvoller Feuchtgebiete und Moore innerhalb des Grundwasserabsenkungstrichters der Tagebaue genutzt werden. So können oberflächennah anstehende, tonige Interstadialhorizonte oder Tone der Raunoer Folge als Grundwassergeringleiter das darüber liegende Stockwerk gegen die bergbaubedingte Grundwasserabsenkung abschirmen. Trägt man dafür Sorge, die so oberflächennah ausgebildeten sog. schwebenden Grundwässer zu schützen (Zuleitung von Sumpfungswasser u.ä.), können ökologisch wertvolle Bereiche (Moore, Feuchtwiesen) auch im Grundwasserabsenkungstrichter eines Tagebaues erhalten werden. Ein Beispiel dafür ist das Altteicher Moor, welches seit Jahrzehnten in direkter Nachbarschaft des Tagebaues Nochten existiert.

4. Geologische Faktoren in der Bergbaufolgelandschaft

4.1 Ausbildung abiotischer Standortverhältnisse

Für die Entwicklung stabiler ökologischer Verhältnisse in der Bergbaufolgelandschaft spielen neben den biotischen (Flora, Fauna) auch die abiotischen Faktoren (Boden, Relief, Wasser, Luft, Licht etc.) eine Rolle. Die ordnungsgemäße Gestaltung der Oberfläche beginnt mit dem bergmännischen Verkippungsprozeß. Hier entscheidet sich, welche Kippsubstrate an die Oberfläche gelangen, welche Lage die Kippe zum künftigen Grundwasserstand einnimmt und welche Reliefbedingungen sich einstellen.

Als Ergebnis der Verkippung können nachstehende Standortverhältnisse und ihre Kombinationen entstehen:

- Bodenarten von Geröll über Kies und Sand bis Ton.
- Reliefformen von tiefen Einschnitten über ausgedehnte Ebenen bis zu Bergen.
- Grundwasserbeeinflussung von Überstauung über Staunässe bis grundwasserfern.

Die Morphologie der Kippen-/Haldenoberfläche hat entscheidenden Einfluß auf deren Standsicherheit, Erosionsanfälligkeit durch Wind und Wasser, landschaftsästhetische Wirkung, wirtschaftliche Nutzbarkeit sowie deren Biotop- und Artenvielfalt. Bereits bei der Schüttung der Geländeoberfläche werden die künftigen Fließrichtungen und Sammelstellen für das Niederschlagswasser vorgezeichnet, die Lage des Geländes zur Hauptwindrichtung und die Intensität der Sonneneinstrahlung auf den Flächen bestimmt. Diese und andere Bedingungen, wie die bodenphysikalischen und –chemischen Eigenschaften und die Gestaltung der Übergänge zum natürlichen Umfeld, haben entscheidenden Einfluß auf das Entwicklungspotential der Bergbaufolgelandschaft.

Bodensubstrate nach Richtlinie OLB [21]		Geologisches Ausgangsmaterial
Kategorie	Bodensubstrat	
1 gut geeignet	quartäre, bindige Substrate (überwiegend Geschiebemergel)	<ul style="list-style-type: none"> • Schmelzwassersand und Geschiebemergel mit wechselnden Anteilen • Bändersand und Beckenschluff, untergeordnet Schmelzwasser- und Flußsand sowie Löß- und Beckenbildungen
	quartäre, bindige Mischsubstrate (Sand/Geschiebemergel)	<ul style="list-style-type: none"> • Schmelzwasser-, Tal-, Geschiebe- und Beckensand, untergeordnet Geschiebemergel
2 geeignet	quartäre, schwach bindige Substrate (bindige Beimengungen)	<ul style="list-style-type: none"> • Schmelzwasser-, Becken-, Tal- und Geschiebesand mit wechselnden Anteilen an Geschiebelehm, Becken- und Talschluff
	tertiäre und quartäre, sandige Substrate und Mischsubstrate (kohlefrei bis sehr schwach kohlehaltig)	<ul style="list-style-type: none"> • Obere Briesker Folge (ausschließlich kohle- und kohleschlufffreier mariner Sand)
3 bedingt geeignet	tertiäre oder tertiär-quartäre, kiesig sandige Substrate bzw. Mischsubstrate (schwach bis mittel kohlehaltig)	<ul style="list-style-type: none"> • Obere Briesker Folge (marin-brackischer Sand) • Schmelzwassersand, -kies und Flußsand, -kies; Becken- und Talsand, untergeordnet Obere Briesker Folge (Kohlesand, Kohle)
	tertiäre oder tertiär-quartäre, bindige Substrate bzw. Mischsubstrate (meistens stark oder sehr stark kohlehaltig)	<ul style="list-style-type: none"> • Obere Briesker Folge, z.T. untergeordnet Raunoer Folge sowie Geschiebemergel, -lehm, Beckenschluff, Schmelzwasser- und Flußsand bzw. -kies, Becken- und Talsand • z.T. Dominanz von marin-brackischem Sand mit zwischengeschalteten Kohleschluff- bzw. Tonlagen
4 nicht geeignet	quartäre und tertiäre, extrem bindige Substrate (Tone)	<ul style="list-style-type: none"> • Raunoer Folge (Flaschenton) bzw. Obere Briesker Folge
	quartäre, tertiäre und prätertiäre, extrem skeletthaltige Substrate (Schotter)	<ul style="list-style-type: none"> • vorwiegend fluviatile/glazifluviatile Bildungen, untergeordnet Obere Briesker Folge • Verwitterungsprodukt prätertiärer Gesteine

4.2 Grundwasserwiederanstieg und Oberflächenentwässerung

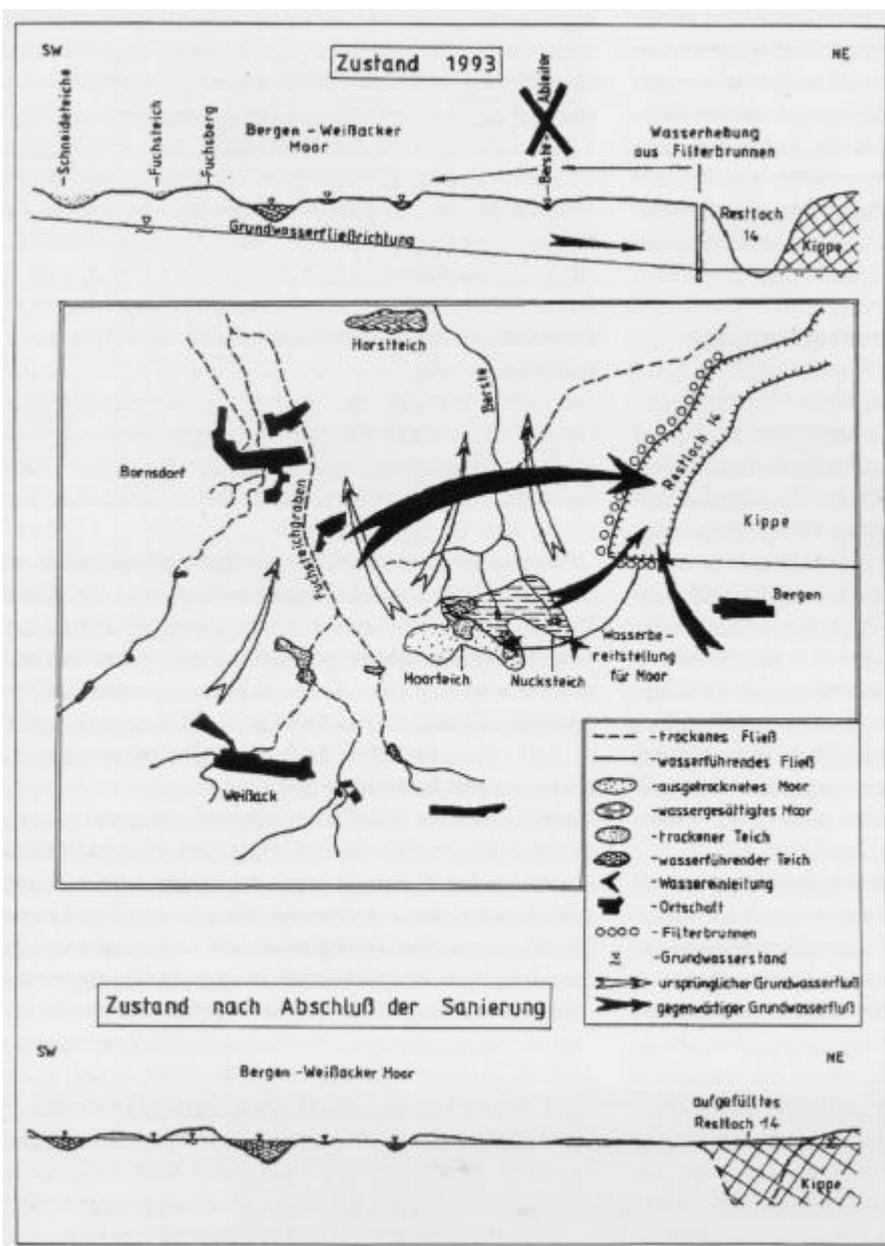
Der seit dem vorigen Jahrhundert betriebene Braunkohlenbergbau in der Niederlausitz hat bis heute eine Grundwasserabsenkung auf einer reichlich 2 000 km² großen Fläche hervorgerufen. Das Volumendefizit des Grundwassers wird mit 13 Mrd. m³ geschätzt [12].

Die etappenweise Auffüllung dieses Defizites geschieht normalerweise durch Eigenflutung über den natürlichen **Grundwasserwiederanstieg** nach Aussetzen der Sumpfung. Nach allen bisherigen Erfahrungen ist die Wasserbeschaffenheit in den durch Grundwasserwiederanstieg gefluteten Tagebaurestsseen durch sehr niedrige pH-Werte (2.5-3.0) sowie hohe Sulfat- und Eisengehalte gekennzeichnet. Ursache dafür ist die Verwitterung, d.h. Oxidation der insbesondere in tertiären Sedimentschichten vorkommenden Eisensulfidminerale Pyrit und Markasit infolge Belüftung des Gebirges bzw. der Kippen. Die Wasserqualität läßt sich durch Fremdeinleitung von pH-neutralem Oberflächenwasser beeinflussen und nach entsprechend langfristigen hydrochemischen Austauschvorgängen zwischen saurem aufsteigendem Grundwasser und nicht versauertem Oberflächenwasser verbessern. Insofern ist die Restlochflutung nicht nur ein Mittel zur Gefahrenabwehr bezüglich bodenmechanisch bedingter Böschungs- und Geländebrüche, sondern auch hinsichtlich der Herausbildung schwefelsaurer Restseen.

Ein interessantes Beispiel, wie im Rahmen der Ausgestaltung der Bergbaufolgelandschaft durch die Kenntnis der geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse in der Braunkohlenlagerstätte und den dort noch vorhandenen Tagebaugroßgeräten die zukünftigen Grundwasserverhältnisse beein-

beeinflusst werden können, bieten die Massenbewegungen zum Erhalt des Weißacker Moores im Bereich des Tagebaues Schlabendorf-Süd. Dieses Heidemoor vom Typ eines Durchströmungsmoores kann dadurch erhalten werden, indem das wie ein riesiger Entwässerungsgraben wirkende Restloch 14 am Südende auf 1 300 m Länge durch die Verkipfung von ca. 10 Mio. m³ Massen verfüllt wird.

Grundsätzlich sollte von Kippen nur die Wassermenge abgeleitet werden, die nicht zurückgehalten und auf der Fläche gezielt versickert werden kann. Die **Oberflächenentwässerung** ist notwendig, um die bei Starkniederschlägen über einen kurzen Zeitraum oder bei der Schneeschmelze zu erwartenden freien Wassermengen ordnungsgemäß fassen und ableiten zu können.



Hydrogeologische Verhältnisse im Bergen-Weißacker-Moor vor und nach der Sanierung (aus 8.)

Entscheidenden Einfluß auf die zu fassenden Wassermengen übt das Wasseraufnahmevermögen des Bodens und der Vegetationsdecke aus. Je bindiger der Boden, desto mehr Wasser sammelt sich oberflächlich und muß in Richtung eines Sammelgrabens abgeleitet werden. Diesbezüglich günstige Verhältnisse sind bei den Kippen der Tagebaue im Urstromtal und in den tertiären Hochflächen zu erwarten. Zur Sicherung der Befahrbarkeit von in der Regel versiegelten Wegen auch unter extremen Witterungsbedingungen sind wegebegleitend Gräben notwendig, die gleichzeitig das überschüssige Wasser der angrenzenden Flächen aufnehmen können. Die durch Wege umschlossenen Flächen sollten ein leichtes Dachprofil aufweisen. In der Regel zeichnet die Natur bereits nach kurzer Zeit selbst die potentiellen Abflußbahnen nach, die bei der weiteren Planung und Gestaltung der Fläche zu berücksichtigen sind.

4.3 Bodenmechanische Verhältnisse

Bei der Planung der Geländeoberfläche von Kippen sind das Setzungs-, Sackungs- und Verflüssigungsverhalten des verkippten Materials zu berücksichtigen. Die Eigensetzung der Kippe durch ihre Last und die Sackung bei Grundwasseranstieg können in der Summe 2 – 2,5 % der Kippenhöhe betragen. Verlässliche Angaben sind im Einzelfall zu ermitteln.

Ist der Abstand der Kippenoberfläche zum Grundwasser zu gering und neigt das Kippenmaterial zur Verflüssigung, können durch Erschütterungen (Betreten, Verkehr) Grundbrüche auftreten. Der Flurabstand nach Abklingen der Setzungen und Sackungen sollte in diesem Fall mindestens 2 m betragen. Ein Sonderfall sind in diesem Zusammenhang Kippenbereiche, die sich künftig als Inseln oder Flachwasser darstellen. Hier besteht die Alternative, die Kippe bis 2 m unter den Mindeststau abzutragen und so ein Betreten (Initial) des Seegrundes zu verhindern.

Die verkippten Materialien müssen die Standsicherheit der Kippe gewährleisten. Insbesondere an gekippten Uferböschungen können unter bestimmten Bedingungen Setzungsfließrutschungen auftreten. Der Verflüssigungsvorgang wird offensichtlich dadurch ausgelöst, daß durch einen Lasteintrag das Korngerüst den Kontakt verliert und die Belastung vom Porenwasser aufgenommen wird. Nach vorliegenden Erkenntnissen muß mit solchen Verflüssigungserscheinungen immer dann gerechnet werden, wenn nachstehende geologisch-bergbaulich hervorgerufene Bedingungen gegeben sind [19]:

- Kritischer Wasserstand in der Kippe im Verhältnis zur Kippenhöhe ($>0,2$).
- Kornband $0,09 \text{ mm} < d_{50} < 1,0 \text{ mm}$, Feinkornanteil gering.

- Kornform gerundet (typisch für quartäre Sande des Lausitzer Urstromtales).
- Geringe Lagerungsdichte (kritischer Wert wird bei der Verkippung von Sanden kaum überschritten).
- Lasteintrag (Böschungsabbruch, Strömung, Sackung, rasche Belastung)

Zahlreiche Setzungsfließrutschungen führten in der Vergangenheit zu bedauerlichen Verlusten an Menschen und Technik. Deshalb sind prophylaktische Maßnahmen bereits bei der Planung zu beachten. Dazu zählen möglichst kurze (am besten keine) wasserumspülte Kippenböschungen, die Schüttung geeigneter Substrate (stark durchlässig – Drainage oder bindig) sowie die sichere Gestaltung der Böschung, solange sie wasserfrei ist.

In den Sanierungsgebieten ist die Einflußnahme auf den Kippenaufbau nur noch begrenzt möglich, da ein Großteil der Kippen bereits vollständig oder zum Teil im Wasser steht.

Die Kippen können dynamisch, z.B. mittels Sprengungen, Rüttler und Fallgewicht oder durch die Herstellung von Stützkörpern vor der gefährdeten Böschung stabilisiert werden. Die Verfahren können einzeln oder kombiniert eingesetzt werden. Als weitere Verfahren sind die Hochdruckinjektion und Porenwasserbarrieren bekannt. Auf die Auswahl des Stabilisierungsverfahrens haben insbesondere der Wasserstand in der Kippe, der Zeitraum des Wasseranstieges und die Böschungshöhe Einfluß.

Als effektives Verfahren gilt die Sprengverdichtung, mit deren Hilfe im Hinterland der Böschung ein verdichteter Kippenkörper geschaffen wird, in dem eine Rutschung zum Stillstand kommen kann. In einer zweiten Phase wird vom „versteckten Damm“ aus das Vorland gesichert. Im Bereich des Dammes tritt aufgrund der durch die Sprengung angeregten Umlagerung des Korngefüges eine merkliche Setzung der Oberfläche ein.

Kann aufgrund des Risikos für zu schützende Objekte die Sprengverdichtung nicht angewendet werden, bietet sich die Rütteldruckverdichtung als Alternative an. Da dieses Verfahren am Gegensatz zur Sprengung auch im trockenen Material einsetzbar ist, kann in Abhängigkeit vom Wasserstand in der Kippe die Kombination beider Verfahren sinnvoll sein.

Wenn die vorgenannten Verfahren auf die Erhöhung der Lagerungsdichte im Böschungsbereich abzielen, sollen ausreichend dimensionierte Stützkörper **vor** der Böschung ein Ausfließen verhindern. Diese Stützkörper können durch Anspülen, Abspülen oder Antransport von Material hergestellt werden, müssen auf einem sichern Untergrund aufliegen und dürfen selbst nicht zur Verflüssigung neigen.

4.4 Gestaltung von Land- und Forstwirtschaftsflächen

Konventionell besteht die Forderung, in der Bergbaufolgelandschaft wieder die Land- und Forstwirtschaft zur Erwerbsgrundlage zu machen. Die Standorte sollten dafür das beste Bodensubstrat (Kategorie 1 und 2) aufweisen und sich bei rolligeren Substraten künftig in Grundwassernähe befinden.

Für eine landwirtschaftliche Nutzung werden möglichst flache Neigungen ($> 1:200(0,5\%)$) angestrebt, um einerseits eine sichere Wasserableitung zu gewährleisten und andererseits für die Erosion wenig Angriffsfläche zu bieten. Lokale Unebenheiten im Relief sind in der Regel unerwünscht. Eine maschinelle Pflanzung ist im forstlichen Bereich bis Neigungen von 1:7 (14 %) möglich. Böschungen bis 1:4 sind noch forstlich bewirtschaftbar, stellen aber Sonderstandorte dar. Steilere Böschungen sollten auch wegen der Erosionsgefahr vermieden werden.

Die natürlichen Voraussetzungen in der Lausitz, die bereits kontinentalem Klima ausgesetzt ist, lassen wettbewerbsfähige landwirtschaftliche Erträge nur bei besten Böden erwarten. In vielen Tagebauen können hinsichtlich der Ertragsfähigkeit nur Grenzstandorte erreicht werden, so daß ihr Anteil auf den Kippen zurückgeht (von 31 auf 11 %). Der forstwirtschaftliche Flächenbestand bleibt dagegen erhalten (ca. 60 %), wobei heute in Abhängigkeit von bodengeologischen Standortverhältnissen das Ziel der forstlichen Rekultivierung in der Schaffung artenreicher Waldbestände mit einem möglichst hohen Laubbaumanteil, der bei ca. 50 % geplant ist, liegt.

4.5 Anlage von Sonderstandorten

Neben der Land- und Forstwirtschaft sind auch andere Nutzungsstrukturen und Landschaftsteile in ihrer ursprünglichen Form und Funktion weitgehend wiederherstellbar. Dazu gehören beispielsweise die Anlage von **Teichen** (z.B. Tagebau Lohsa) oder von das Landschaftsbild prägenden **Relief-formen** (wie die Einbettung der Halde des Tagebaues Reichwalde in die Dünenlandschaft der Muskauer Heide). Unter Ausnutzung der anstehenden Bodenarten, der Lage zum Grundwasser und der Verkippungstechnologie könnten z.B. auch Initialstandorte für eine Moorbildung gestaltet werden.

Aufgrund der herkömmlichen Nutzungsmöglichkeiten ist die Anlage von **Wohn- und Gewerbegebieten** in der Bergbaufolgelandschaft eingeschränkt. Während des teilweise Jahrzehnte beanspruchenden Grundwasserwiederanstieges finden Sackungen in der Kippe statt, die bei einer Nutzung als Baugrund zu beachten sind. Eine Siedlungsstruktur fehlt zunächst in der Bergbaufolgeland-

schaft. Neue Möglichkeiten bieten sich aber für die **Verkehrsplanung**. Straßen und Bahnlinien können optimalen Trassen folgen.

Interessant sind Kippen auch hinsichtlich der **Deponieplanung**. Mit der Planung von Vorbehaltsflächen für Deponien im Rahmen der Wiedernutzbarmachung ist eine zusätzliche Landinanspruchnahme durch die Deponien nicht notwendig. Die Aufstandsflächen können in ihrer Lage zu Siedlungen und zum Grundwasser sowie am Aufbau des geologischen Untergrundes gezielt vorbereitet werden, insbesondere wenn Ton im Deckgebirge ansteht.

Die mitunter auf kleinstem Raum stark wechselnden Reliefformen und Bodenarten, die der Tagebaubetrieb hinterläßt, müssen jedoch nicht in jedem Fall umgestaltet werden. Auf der einen Seite stellen sich interessante Landschaftsstrukturen ein und auf der anderen Seite erfolgt eine natürliche Wiederbesiedlung (Sukzession) durch an diese teilweise extremen Standortbedingungen angepassten Pflanzen und Tiere. Mit der Kippengestaltung werden abiotische Standortfaktoren geschaffen, die unabhängig von der Zielnutzung Pflanzen und Tieren in unterschiedlicher Weise als Lebensraum dienen. Für den **Naturschutz** ist deshalb stets die gesamte (100 %) Bergbaufolgelandschaft von Bedeutung. Da diese von vielfältigen Ökosystemen umgeben ist, haben die dort vorkommenden Arten Einfluß auf die sukzessive Wiederbesiedlung der Kippen. Dabei handelt es sich zu etwa einem Drittel um sogenannte Spezialisten mit speziellen Lebensraumansprüchen und zu etwa zwei Dritteln um Arten, die an die heimische Kulturlandschaft gebunden sind. Sollen sich diese Arten wieder in der Bergbaufolgelandschaft ansiedeln, sind deren Ansprüche an den Lebensraum zu beachten. Für die Spezialisten unter den Arten sind spezielle Standorte erforderlich wie z.B. mit stark wechselnden Substraten (Rohbodenbiotope); mit hohem Steinanteil; auch extrem trockene, nährstoffarme Sand- und Kiesflächen (Trockenrasen- und Zwergstrauchheidenbiotope); stark reliefgeprägte Bereiche (Steilwandbiotope) und sonnenexponierte Lagen; extrem bindige Flächen; Feuchtgebiete und Seen (oligotrophe Standgewässerbiotope); Fließgewässer; Uferbereiche (Röhrichtbiotope) und Inseln.

Lagerstättentyp	Nr.	verursachender geologischer Prozess	entstehende geologische Strukturen/Sedimente	Folgen für den Braunkohlenbergbau	Auswirkungen auf die Wiedernutzbarmachung
 <p>„Epigener“ Typ (Niederlausitzer Braunkohlenbecken)</p> <p>Quartäre Sedimente Tertiäre mit Braunkohle Eozäne Sedimente</p>	1	Trans- und regressive Sedimentationsabläufe am SO-Rand der NW-Europäischen Terräsenke	Ablagerung weitläufiger, relativ flach liegender Tertiärschichten mit bauwürdigem 1. und 2. Lausitzer Flözhorizont	großflächige Tagebaue, Einsatz von Förderbrücken möglich	große Kippfläche aus kulturländlichen Kippsubstraten, die mit quartärem Material überkippt bzw. melioriert werden müssen
	2	mäandrierende Fließgewässer während der Bildung des 2. Lausitzer Flözhorizontes	Falten bzw. Verschüften von Flözbänken	bindiger Abraum in der Grube, Direktversatz auf das Liegende	lokal höherer bindiger Anteil in Kippe möglich, hydraulische Verbindung zum Liegende Grundwasserleiter
	3	marine Ingressionen während der Bildung des 2. Lausitzer Flöztes	Ablagerung von sandig – schluffigen Zwischenschichten zwischen Kohlebänken	mehrere Kohleschnitte erforderlich, Direktversatz auf das Liegende	lokal höherer bindiger Anteil in Kippe möglich
	4	Ausbildung verschiedener Moorfloras im Paläozän in Abhängigkeit von Grundwasserständen und Nährstoffverhältnissen	vertikal und horizontal wechselnde Lithotypen in den Braunkohleflözen	selektive Gewinnung von kohlenqualitativ unterschiedlich nutzbaren Flözbeständen	bei Melioration mit Kraftwerkaschen ist deren unterschiedliche geochemische Zusammensetzung zu berücksichtigen
	5	Ausbildung gezellenbeeinflusster Astuare im Obermiozän	mächtige Forsschichten mit zwischengelagerten Kiessanden (Rauner Folge)	Schwierigkeiten bei der Baggerung; Sondergewinnung als Begleitrohstoff	Anlage und Bewirtschaftung von Begleitrohstoffhalten, Schüttung von schwer rekultivierbaren Kippsubstraten
	6	elsterkaltzeitliche Erosion	Anlage von Tiefeninnen bis unterhalb des Flöznievus	Zerlegung der Flözverbreitungsfäche in einzelne Kohlenfelder, Entwässerungsprobleme	Kippen grenzen z.T. direkt an Grundwasserleiter an
	7	Anlage von Unstromtälern in der Saale- und Weichselzeit	Erosion von tertiären und älteren quartären Schichten	geringes, leicht baggerbares Deckgebirge, starke Wasserehebung aus mächtigen Grundwasserleitern nötig	setzungsbedingtes Material, größere Mengen quartärer Substrate für Abschluffschüttung
	8	Ablagerung von schluffigtönigen Material im Gletscherstauzone	Beckenschulfe, Bänderschulfe	rutschungsgefährdete Horizonte, Ausblutung von Bläschungen über wasserstauende Lagen	Rutschungsgefahr bei Endböschungen, mögliche Vermäsurensgestalten können ökologisch genutzt werden
	9	weichselzeitliche periglaziale Prozesse und holozäne Bodenbildung	periglaziale Deckschichten mit Bodenbildungen	selektive Oberbodengewinnung oder Zerstörung/Abtragung des kulturrelevanten Oberflächensubstrates	Verlust des Kulturbodens muß durch Melioration kulturreicher tertiärer oder durch Auftrag kulturreicher quartärer Kippsubstrate ausgeglichen werden
 <p>Glazial genörfte Lagerstätten (z.B. Muskauer Faltenbogen, Zeitzhofer Endmoräne, Kohlenfeld Spreewald-NO)</p>	10	elster- und saalezeitliche Inlandeisbedeckung mit exaktiver Wirkung	Ausbildung weit ausladender, mächtiger Endmoränenzüge, gestörte Flözagerung (Schollen, Falten)	Abbau steiler Flöze im Tiefbau (Historisch), kleine Tagebaue, komplizierte hydrologische Verhältnisse, Standsicherheitsprobleme durch schnellen Wechsel im Schichtfall	Beschneider an Erdoberfläche, zahlreiche kleine schmale Restlöcher mit steilen Böschungen und z.T. separaten Grundwasserständen
	11	glazitektonische Beanspruchung tertiärer Schichten	gestörte Flözagerung (Flözverbiegungen, -falten, -flexuren)	wechselnde Deckgebirgsmächtigkeiten	Entstehung stark reliefierter Restlöcher, Nebeneinander trockener und grundwasserbeeinflusster Standorte (ökologisch günstig)
 <p>Taktonischer Typ (Zittauer und Berndorfer Becken)</p>	12			analog 9	
	13	tektonische Bewegung im Untermiozän	tektonische Becken mit max. 140 m mächtigem Flözkomplex mit zahlreichen Zwischenschichten	kleinflächige, (z.T. tief) Tagebaue, steil einfallende Beckenflanken führen zu Standsicherheitsproblemen, große Flözmächtigkeiten erfordern zahlreiche Baggerchnitte	großes Volumendefizit (Restlöcher), hoher Terräranstieg in Kippen, sehr lange Flutungszeiten der Restlöcher
	14			analog 9	

5. Literaturnachweis

- [1] NOVEL, W.; BÖNISCH, R.; SCHNEIDER, W.; SCHULZE, H.: Geologie des Lausitzer Braunkohlenreviers. – LAUBAG Senftenberg 1998, 101 S.
- [2] SCHROEDER, J. H.; NOVEL, W.: Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg, Nr. 3: Lübbenau – Calau. – Selbstverlag Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg e.V., Berlin 1995, 279 S.
- [3] STANDKE, G.: Sedimentologie und Fazies des Tertiär im Lausitzer Raum. – Exkursionsführer Sediment '95, Freiberg 24.-28.05.1995, S. 51-61.
- [4] ALEXOWSKI, W.; STANDKE, G.; SUHR, P.: Beitrag zur weiteren stratigraphischen Untergliederung des Tertiärprofils im Niederlausitzer Braunkohlenrevier. – Geoprofil 1 (1989), S. 57-62.
- [5] SEIFERT, A.; BRAUSE, H.; RASCHER, J.: Geology of the Niederlausitz Lignite District, Germany. – Int. J. of Coal Geology 23 (1993), p. 263-289.

- [6] STANDKE, G.; RASCHER, J.: Relative sea-level fluctuations and brown coal formation around the Early-Middle Miocene boundary in the Lusation Brown Coal Distikt. – Geol. Rundsch. 82 (1993), p. 285-305.
- [7] SCHNEIDER, W.: Floral successions in Miocene bogs of Central Europe. – Proc. Symp. Paleofloristic and Paleoclimatic changes in the Cretaceous and Tertriary (1989), p. 205-212.
- [8] BÖNISCH, R.: Zur Gliederung der faziellen Abfolge und Zwischenmittel im 2. Lausitzer Flöz. – Z. angew. Geol. 28 (1983), S. 434-441.
- [9] SÜSS, M.; VULPIUS, R.: Geologie und Petrologie der Weichbraunkohlen der DDR. – in KRUG & NAUNDORF „Braunkohlenbrikettierung“. – VEB Dt. Verlag f. Grundstoff-industrie, Leipzig 1984, S. 18-106.
- [10] BRAUSE, H.; RASCHER, J.; SEIFERT, A.: Transgressionsgeschichte und Kohlenqualität im Miozän der Lausitz. – Geoprofil 1 (1989), S. 18-30.
- [11] KROLL, F.: Die Technik und Technologie der Gewinnung von Braunkohle bis 1945. – 20 Jahre Braunkohlebergbau in der DDR, Leipzig 1966.
- [12] PFLUG, W. (Ed.): Braunkohlentagebaue und Rekultivierung. – Springer Verlag 1997, 1050 S.
- [13] DREBENSTEDT, C.: Planungsgrundlagen der Wiedernutzbarmachung. – in [12], S. 476-513.
- [14] DREBENSTEDT, C.: Vom Kippsubstrat zur ökologisch wertvollen und nachhaltig nutzbaren Bergbaufolgelandschaft – Fallstudie Lausitzer Braunkohlenrevier. – Glückauf-Forschungshefte 1998 (im Druck).
- [15] DREBENSTEDT, C.: Erfahrungen bei der Wiedernutzbarmachung von Förderbrückenkippen am Beispiel des Tagebaues Reichwalde. – Braunkohle (1994) 5, S. 18-24.
- [16] HAUBOLD, W.; KATZUR, J.; OEHME, W.-D.: Standortkundliche Grundlagen. – in [12], S. 236-558.

- [17] ILLNER, K.; KATZUR, J.: Betrachtungen zur Bemessung der Kalkgaben auf schwefelhaltigen Tertiärkippen. – Landeskultur (1964) 5, S. 423-426.
- [18] ARNOLD, I.; KUHLMANN, K.: Wasserwirtschaft und Bergbau in der Lausitz. – Braunkohle (1994), S. 10-21.
- [19] WARMBOLD, U.; VOGT, A.: Geotechnische Probleme und technische Möglichkeiten der Sanierung senkungsfließgefährdeter Kippen und Restlochböschungen in der Niederlausitz. – Braunkohle (1994) 7, S. 22-28.
- [20] MÜLLER, A.; EISSMANN, L.: Die geologischen Bedingungen der Bergbaufolgelandschaft im Raum Leipzig. – Abh. d. Sächs. Akad. Wiss. zu Leipzig, Math.-naturwiss. Klasse, 57 (1991), 3, S. 39-44.
- [21] RICHTLINIE des OLB für die Wiedernutzbarmachung bergbaulich in Anspruch genommener Bodenflächen. – Oberbergamt des Landes Brandenburg, Cottbus 24.08.1994.