

## **Böschungsgestaltung in der Bergbaufolgelandschaft der Lausitz**

### **1 Bergbauliche Situation**

Die Anpassung der Kohleförderung nach der politischen Wende an den geänderten Bedarf hat zu einer einschneidenden Veränderung für den gesamten Braunkohlebergbau geführt. Dadurch mußten eine Reihe von Tagebauen aus dem laufenden Betrieb heraus stillgesetzt werden. Von den ursprünglich 17 in der Lausitz fördernden Tagebauen sind im Jahr 2000 nur noch 4 aktiv und einer gestundet. Die ursprünglich vorgesehene Verfüllung der durch die Kohlegewinnung entstandenen Hohlformen, im bergmännischen Sprachgebrauch Restlöcher genannt, mit den Aufschlußmassen der Folgetagebaue war nicht mehr zu realisieren. Daraus resultierend ergaben sich Zwangspunkte für die Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft. Die nach 1990 durchgeführten Landesplanungen für die Bergbaugebiete der Lausitz hatten diese veränderte Situation zu berücksichtigen. Mit den von den Landesregierungen per Rechtsverordnung für verbindlich erklärten Plänen werden u.a. die Nutzungsziele der aus den Restlöchern entstehenden künftigen Bergbauseen einschließlich deren Umfeld unter Abwägung der Interessen unterschiedlichster Nutzer definiert. Damit wurden u.a. auch die maßgeblichen geotechnischen und wasserwirtschaftlichen Randbedingungen für die künftigen Bergbauseen fixiert und im Behördengang für die weiteren Planungen verbindlich geregelt.

Im Rahmen der Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft werden in der Lausitz in den nächsten Jahren Bergbauseen mit einer Wasserfläche von ca. 13 500 ha entstehen und somit zu einer völlig neuen Landschaft beitragen.

Das Primat bei der Tätigkeit der LMBV mbH bei der Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft haben die Gefahrenabwehr sowie die Herstellung der öffentlichen Sicherheit. Im Rahmen ihrer bergrechtlichen Verantwortung führt die LMBV mbH die Sicherungs- und Sanierungsarbeiten so durch, daß mit Beendigung der Bergaufsicht eine gefahrlose öffentliche Nutzung der Bergbauseen sowie deren Umfeld in einer den landesplanerischen Zielen gemäßen Form möglich wird.

### **2 Geotechnische Randbedingungen**

Grundlage für die Nutzung der Restseen sowie deren Umfeld sind stabile Böschungen und Uferbereiche. Das verlangt den Nachweis sowohl der geotechnischen Sicherheit als Dauerstandfestigkeit für die gewachsenen und gekippten Böschungen gegen Rutschungen und Geländebrüche als auch der

hydromechanischen Sicherheit als die Stabilität der Ufer und Uferböschungen gegenüber den Wirkungen von Wellen und Strömung.

## **2.1 Geotechnische Stabilität der Böschungen**

Die für den Gewinnungsbergbau mit in der Regel vergleichsweise steilen und nur kurzzeitig stehenden Böschungen entwickelten lokalen und regionalen bodenmechanischen Modelle sind hinsichtlich ihres Geltungsbereiches für die Phasen während und nach Abschluß der Sanierung zu überprüfen. Die aus den geologischen, bodenphysikalischen, hydrologischen und technologischen Teilmodellen für den Gewinnungsbergbau maßgebenden Randbedingungen und Eingangsgrößen sind für die während und nach Ende der Flutung auftretenden Verhältnisse nicht mehr zutreffend. Deshalb sind sie der veränderten Situation anzupassen.

Grundsätzlich gilt, daß für alle Uferbereiche sowie das angrenzende Hinterland entlang der künftigen Bergauseen für die Böschungen in gewachsenen und gekippten Bereichen die Dauerstandfestigkeit gesichert werden muß.

Für die Lausitzer Verhältnisse gilt es, eine durch die geologischen Verhältnisse bedingte Besonderheit zu beachten. Die mit geringen bindigen Anteilen versehenen rolligen Sedimente neigen bei durch den Verkippungsprozeß erzeugter lockerer Lagerung und Wassersättigung zu spontaner Verflüssigung. Dieses Phänomen eines bei der Verflüssigung eintretenden nahezu totalen Festigkeitsverlustes gilt als Auslöser für die gefährlichste Rutschungsart, weil die Böschungsbewegungen ohne vorherige Anzeichen ausgelöst und dabei große Böschungsbereiche bis tief in das Hinterland erfaßt werden können. Als Kriterien für die Abschätzung der Verflüssigungsneigung gelten:

- die Kornverteilung und Kornform
- der erreichte Wasserstand in der Kippe
- die bezogene Lagerungsdichte  $I_D$  sowie die Festigkeitseigenschaften des verkippten Materials.

Liegen die Angaben für die zu beurteilende Böschung im Zutreffensbereich der Kriterien vergl. z.B. [ 1 ], so sind die Voraussetzungen für das Eintreten einer Setzungsfließrutschung gegeben. Ein z.B. durch ein vorbeifahrendes Fahrzeug eingetragenes Initial kann als Auslöser für die spontane Verflüssigung auftreten. Insgesamt sind entlang der Restlöcher und Bergauseen in der Lausitz ca. 330 km Böschungen als setzungsfließgefährdet einzustufen. Mit zunehmendem Wasserstand in den Kippen, bedingt durch den Wasseranstieg in den Bergauseen, nimmt der Grad der Gefährdung zu. Deshalb sind derzeit zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit große Flächen entlang der künftigen Bergauseen für jegliches Betreten gesperrt.

Grundsätzlich sind die setzungsfließgefährdeten Kippen und Kippenböschungen vor der Gestaltung dauerhaft zu sichern, d.h., die Verflüssigungsgefahr ist durch geeignete Verfahren für immer zu beseitigen.

Seit Beginn der 90iger Jahre wurden in Erwartung der sich abzeichnenden Gestalt der Bergbaufolgelandschaft intensiv an Verfahren der Kippenstabilisierung gearbeitet. Die Herstellung von Stützkörpern in Form „versteckter Dämme innerhalb des Böschungsbereiches z.B. durch Spreng-, Rüttel- und Dynamische Intensivverdichtung wurde nach umfangreichen wissenschaftlichen Untersuchungen [ 5,8 favorisiert und vom Versuchsstadium zum Routinebetrieb entwickelt [ 8,9]. Weitere Verfahren, wie die Hochdruckinjektion mit Wasser (Jetting), die Injektionen mit Montanwachssuspensionen und das Luft-Impuls-Verfahren [7] befinden sich für die Anwendung auf Kippen in der Entwicklung.

Die technischen Möglichkeiten sind in [ 3 ] unter Berücksichtigung geotechnischer Bedingungen ausführlich beschrieben. Die möglichen Verfahren zur Sicherung setzungsfließgefährdeter Böschungen sind in Bild 1 dargestellt.

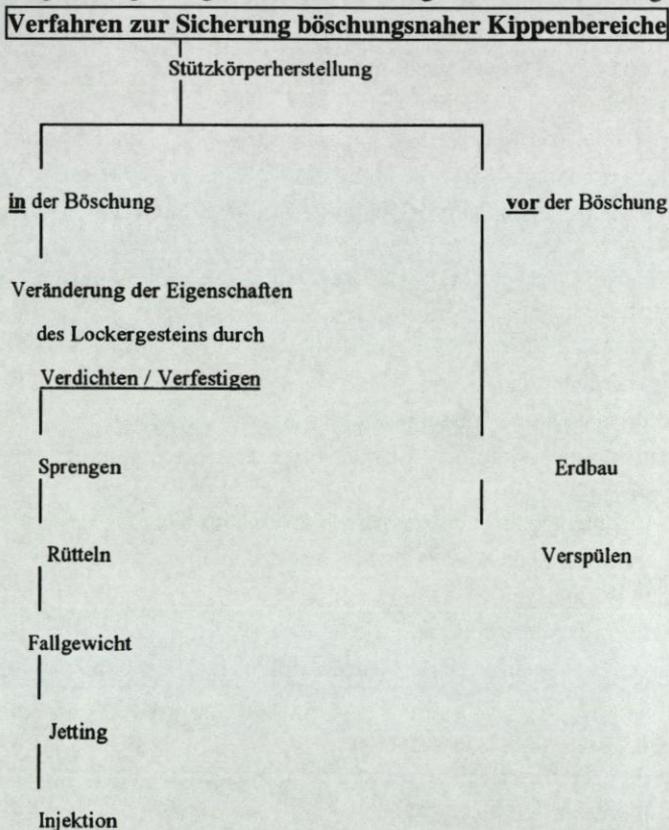


Bild 1: Verfahren zur Sicherung böschungsnaher Kippenbereiche [4]

Die Wahl des anzuwendenden Sicherungsverfahrens wird von Kriterien

- der geotechnischen Bedingungen (z.B. Wasserstand in der Kippe),
- der Gewährleistung der geotechnischen Sicherheit für Personal, Technik und zu schützende Objekte,
- der Qualitätsanforderung,
- betriebswirtschaftlicher Überlegungen und
- des Umfangs der notwendigen Sicherung

bestimmt.

Für den Einsatz der Verfahren der Sprengverdichtung, der Rütteldruckverdichtung und der Dynamischen Intensivverdichtung, den am häufigsten angewandten seien folgende maßgebende Bedingungen genannt [4]:

Sprengverdichtung (SV):

- nur wirksam in wassergesättigten Kippenbereichen
- kostengünstiges Verfahren
- bis ca. 60 m Tiefe wirtschaftlich anwendbar,
- große erreichbare Wirtiefe und großer Wirkradius,
- fast ebene Geländeoberfläche nach der Sprengverdichtung (wenig Erdarbeiten)
- nicht in der Nähe von zu schützenden Objekten einsetzbar (Erschütterungen).

Rütteldruckverdichtung (RDV):

- in erdfeuchten und wassergesättigten Kippen einsetzbar,
- Stabilisierung in einer Etappe erreichbar (schnelle Fertigung eines Objektes möglich),
- in der Nähe von zu schützenden Objekten einsetzbar,
- höhere spezifische Kosten als Sprengverdichtung,
- kleine Wirkradien,
- Massenzugabe erforderlich,
- höherer Erdbauaufwand durch notwendige Oberflächenplanierung.

Dynamische Intensivverdichtung (DYN IV):

- in erdfeuchten und wassergesättigten Kippen einsetzbar,
- geringe Wirtiefe bis ca. 15 m,
- höherer Erdbauaufwand durch notwendige Oberflächenplanierung.

Mit dem Wasseranstieg im Bergbausee und den sich dadurch verschiebenden Bedingungen bietet sich eine Verfahrenskombination von vornehmlich Spreng- und Rütteldruckverdichtung an.

Erst nach Realisierung des versteckten Damms kann eine Vorfeldstabilisierung (Bereich zwischen restlochseitiger Dammgrenze und Böschung) mit anschließender

Böschungsgestaltung vorgenommen werden.

Ein Beispiel der Herstellung „versteckter“ Dämme durch Kombinationen der Verfahren Sprengverdichtung und Rütteldruckverdichtung zeigt Bild 2.

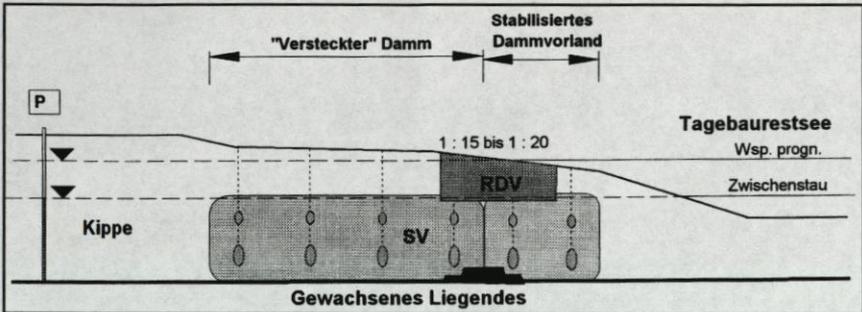


Bild 2: Herstellung versteckter Dämme durch Kombinationen der Verfahren Sprengverdichtung und Rütteldruckverdichtung (Prinzipische Skizze) [ 4 J

## 2.2 Hydromechanische Stabilität

Besonderes Augenmerk bei der Böschungsgestaltung an den Bergbauseen ist der Ausbildung der Uferbereiche zu schenken. Die durch wechselnde Wasserstände bei Speicherbetrieb sowie durch Wellenwirkung auftretenden Belastungen sind zu berücksichtigen. In der Regel dienen regionalspezifische Wellenprognosen der Ermittlung der von den Wellen ausgehenden Uferbelastungen sowie in Verbindung mit bodenmechanischen Berechnungen der Bestimmung möglicher Wellenrückgriffweiten.

Nach den vorliegenden Prognosen werden die unbefestigten Ufer bis zum Erreichen eines Gleichgewichtszustandes, dem Wellenausgleichsprofil, umgeformt. Dabei ist es nach Untersuchungen von WAGNER [ 6 ] unbedeutend, ob es sich um gewachsene oder gekippte Böschungen handelt. Lediglich der Zeitraum bis zur Einstellung des Wellenausgleichsprofils ist unterschiedlich.

Ist die Böschung bereits im Rahmen bergbaulicher Maßnahmen im Bereich des künftigen Wasserspiegels mit einer dem Ausgleichsprofil nahekommenden Neigung gestaltet, sind nur geringe Umformungen zu erwarten. Je nach Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Streichlänge des Windes ist eine Böschungsneigung von ca. 1:15 bis 1:20 im Schwankungsbereich des

Wasserspiegels als ausreichend anzusehen.

Durch vielfältige Gründe bedingt ist in manchen Bereichen eine vorherige Profilierung der Böschungen in einer dem Ausgleichsprofil entsprechenden Neigung nicht möglich. Dann erfolgt die Ufergestaltung mit bei Wasseraufgang wandernden Kliff. Eine nachträgliche Abflachung auf die erforderliche Böschungsneigung im Wellenauflaufbereich auf ca. 1:15 bis 1:20 ist im Rahmen der Ufergestaltung zur Verminderung nachträglicher Instandhaltungsarbeiten erforderlich. Bild 3 zeigt das Beispiel einer nachträglichen Böschungsteilabflachung mit der Ausbildung eines wandernden Kliffs.

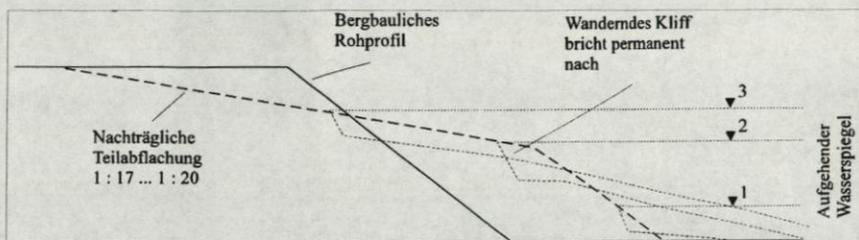


Bild 3: Teilverflachung mit wanderndem Kliff bei aufgehendem Wasserspiegel [4]

Dabei ist zu beachten, daß [4,9]:

- die im verflüssigungsgefährdeten Korngrößenspektrum liegenden Abtragsmassen setzungsfließgefährdet sind,
- die unverdichteten Abtragsmassen vom Wasser in das Restloch mit der Ausbildung steiler Abbruchkanten umgelagert werden
- die entstehenden Kliffs bis zum Erreichen des Wellenausgleichsprofils ohne Sicherungsmaßnahmen bzw. Absperrungen in der Regel nur bis zu Höhen von < 1 m zugelassen werden und
- die Kippenböschungen im gesamten Profil gegen Setzungsfließen zu sichern sind.

In Gebieten mit begrenztem Wellenrückgriff bzw. im Bereich zu schützender Objekte ist ein Uferverbau angeraten.

### 3 Ufersicherung durch Verbaumaßnahmen

Oft stehen aus Gründen der Bebauung die für die Abflachung auf die erforderliche Ausgleichsneigung notwendigen Flächen nicht zur Verfügung. Dann sind zur Fixierung des Ufers bzw. zur Begrenzung der Wellenrückgriffweite hinreichende Verbaumaßnahmen erforderlich. Auch zur Sicherung sich in das Hinterland entwickelnder Kliffs haben sich linienhaft angeordnete Uferverbaue als geeignet erwiesen.

In der Praxis sind es vorwiegend elastische Verbauarten, die zur Anwendung kommen. Bei ausreichender Reaktionszeit werden ingenieurbioologische Böschungs- und Ufersicherungen als besonders kostengünstig bevorzugt. Für die durch die LMBV mbH zu gestaltenden Bergbauseen hat diese Verbauart eine weite Verbreitung vornehmlich zur Ufersicherung der zahlreich anzulegenden Gewässer für die Zuführung von Flutungswasser gefunden.

Die wie am Senftenberger See notwendige nachträgliche Sicherung des Ufers in bestimmten exponierten Bereichen ist durch den Einsatz von mit Schotter oder Steinen gefüllten Drahtkäfigen, den sogenannten Gabionen, möglich. Die Gabionen erhalten durch eine versetzte Anordnung eine ausreichende Stabilität und verhalten sich trotzdem in erforderlichem Umfang elastisch. Die Verwendung von Geotextilien verhindert die Erosion hinter dem Verbau und sichert so die Stabilität der Verbaumaßnahme.

Die Gründung der Gabionen hat nach den Prinzipien des Grundbaus zu erfolgen und ist für eine Stützwand bei in der Regel zur Wasserseite gerichteter Neigung zu bemessen. Sicherheit gegen Grundbruch und ausreichend tiefe Gründungssohle sind Voraussetzungen für dauerhafte Wirksamkeit.

Für die durch die LMBV mbH zu gestaltenden Bergbauseen ist bei den Sicherungsmaßnahmen zu beachten, daß sich mit der Flutung der bergbaulichen Hohlform der Wasserspiegel im Bergbausee erst langsam dem endgültigen Niveau annähert. Das bedeutet, daß sich der Wasserspiegel über längere Zeit im Steilbereich der künftigen Unterwasserböschung befindet und somit die Böschung der Wellenerosion ausgesetzt ist. Längeres Verweilen des Wasserspiegels in einem Niveau, z.B. durch Aussetzen der Flutungswasserzuführung infolge anhaltender Trockenheit, kann für die Steilböschung fatale Folgen haben. Das Nachbrechen der Böschung bis in bereits endgültig gestaltete Bereiche würde für die Sanierung betriebenen Aufwand zunichte machen.

Eine nach bodenphysikalischen Kriterien festgelegte Mindestanstiegsgeschwindigkeit hilft die Beschädigung der Böschungen zu verhindern. Besonderes Augenmerk ist der Einhaltung der erforderlichen Anstiegsgeschwindigkeit im Niveau der Gründungssohle der Verbaumaßnahmen zu schenken. Eine Gefährdung der Gründungssohle durch die Abrasion der Wellen darf unter keinen Umständen eintreten. Durch ein all diese Zwänge beachtendes Management der Wasserverteilung für die Flutung unter Beachtung vergebener Nutzungsrechte und erforderlicher ökologischer Mindestabflüsse kann dieser Situation vorbeugen.

Mit den nachfolgenden Bildern sollen Beispiele für den Einsatz von Gabionen vorgestellt werden, die sich bei geschickter Anordnung recht harmonisch in die Landschaft einfügen.

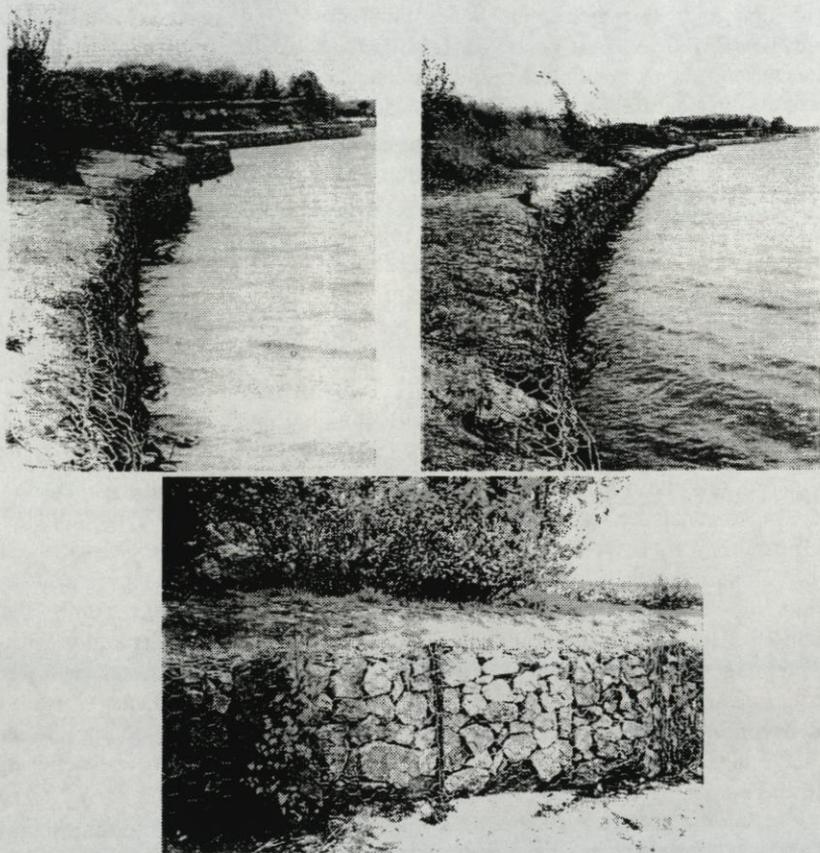


Bild 4: Beispiele für Gabionenverbau zur Ufersicherung

#### 4 Ausblick

Die Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft mit ihren zahlreichen Wasserflächen bedeutet für uns alle Neuland. Vor allem die nur geringe Festigkeit aufweisenden gleichförmigen Sande des Lausitzer Braunkohlereviere werden uns noch einiges Lehrgeld abverlangen. Für uns Bergleute war der Senftenberger See mit seinen nunmehr über 25 Jahren den Wirkungen von Wind und Wellen ausgesetzten Ufern und Böschungen ein Lehrbeispiel. Die an diesem Objekt gesammelten Erfahrungen sowie wissenschaftliche Bearbeitungen im Rahmen des Grundsatzgutachtens für den künftigen Speicher Lohsa II waren uns eine große Hilfe bei der Gestaltung der entstehenden Bergbauseen.

## 5 Literatur

- [1] FÖRSTER, W.  
Bodenmechanik  
Teubner Studienbücher Bauwesen, 1998
- [2] FÖRSTER, W.; WALDE, M.  
Gestaltung von Kippenböschungen an Tagebaurestlöchern -ostdeutsche Erfahrungen  
Vortrag zum Tagebautechnischen Kolloquium, Freiberg, 1994
- [3] WARMBOLD, U.; VOGT, A.  
Geotechnische Probleme und technische Möglichkeiten der Sanierung und Sicherung  
setzungsfließgefährdeter Kippen und Restlochböschungen in der Niederlausitz  
Braunkohle, 1994, Heft 7, S.22 u.f.
- [4] GOCKEL, G.; VOGT, A.  
Böschungsstabilisierung im Umfeld gefluteter Tagebaurestlöcher in der  
Lausitz - Notwendigkeit, Möglichkeiten und Wirkungen  
Proceedings 6. DGW-Forschungstage, 1997
- [5] KUNTZE, W.; WARMBOLD, U.  
Sicherung böschungsnaher setzungsfließgefährdeter Kippenbereiche an  
Tagebaurestseen  
Proceedings Baugrundtagung Köln, 1994, S.331 u.f.
- [6] WAGNER, H.  
Böschungsumbildungen durch Wellen Wasserbauliche Mitteilung der TU Dresden,  
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, Heft 9, 1996
- [7] STOLL, R.D.; TUDESHKI, H.H.; KOOP, J.; NIEZEN, G.R.  
Das Luft-Impuls-Verfahren unter Einsatz der steuerbaren Horizontalbohrtechnik zur  
Verdichtung locker gelagerter Böden Braunkohle, 1996, Heft 6, S.633 u.f.
- [8] NOVY, A.  
Rütteldruckverdichtung in wassergesättigten Tagebaukippen zur  
Sicherung setzungsfließgefährdeter Kippenrandbereiche  
Braunkohle, 1995, Heft 7, S.8 u.f.
- [9] NOVY, A.; REICHEL, G.; WARMBOLD, U.; VOGT, A.  
Geotechnische Untersuchungen und Verfahren bei der Sicherung  
setzungsfließgefährdeter Tagebaukippen der N iederlausitz Braunkohle, 1999, Heft 4,  
S.465 u.f.

Dr.-Ing. Gert Gockel  
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH  
Karl-Liebknecht-Str. 33  
10100 Berlin