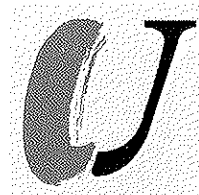


Studien und Tagungsberichte
Band 1

Geotechnik im Deponiebau



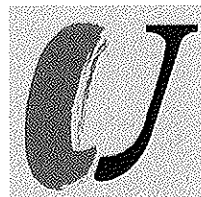
LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



Studien und Tagungsberichte
Band 1

Geotechnik im Deponiebau

Ausgewählte Beiträge aus
den Geotechnischen Seminaren des
Landesumweltamtes Brandenburg
1992/93



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



Impressum

Studien und Tagungsberichte
Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg

Herausgeber:
Landesumweltamt Brandenburg
Referat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Berliner Straße 21 - 25
14467 Potsdam

Gesamtherstellung:
Märker · Wildpark-West

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

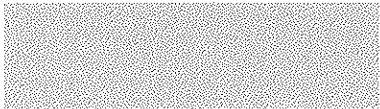
Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Studien und Tagungsberichte Band 1

© 2004 by VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften

Inhalt

Vorwort	
Walter Haase, Präsident des Landesumweltamtes Brandenburg	5
Probleme der Planung und Errichtung von Abfalldeponien in Brandenburg vor dem Hintergrund der TA Siedlungsabfall	
Ulrich Stock, Landesumweltamt Brandenburg	7
Setzungen und Sackungen unter Deponien auf Kippen	
Wolfgang Förster, Technische Universität Bergakademie Freiberg	11
Möglichkeiten des Einsatzes geophysikalischer Voruntersuchungen für Deponiestandorte	
Hellfried Petzold u.a., Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft, Senftenberg	19
Einsatzmöglichkeiten der dynamischen Intensivverdichtung	
Volker Böhme, Ingenieurbüro Böhme & Partner, Spremberg	26
Dynamische Stabilisierung des setzungsfließgefährdeten Randbereiches der Innenkippe des ehemaligen Tagebaues Koschen durch Sprengen	
Walther Kuntze, Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft, Senftenberg	31
Bewertung biologischer Bodenmechanik	
Ernst Scheid, Ingenieurbüro für Boden- und Gewässerschutz Außenstelle Berlin-Brandenburg	40
Geotechnische Eignungsprüfungen von Deponiematerialien	
Hans-Volker Huth, Ingenieurbüro für Boden- und Gewässerschutz Außenstelle Berlin-Brandenburg	52
Einsatz eines Tonminerals als mineralische Basisabdichtung im Deponiebau	
Hans-Gerd Franke, ORA Handels GmbH & Co., Berlin	56
Geokunststoffe im Deponiebau	
Lutz Wichter, Technische Universität Cottbus	59
Die Sicherung einer geschlossenen Deponie am Beispiel Golm, Landkreis Potsdam – Mittelmark	
Ulrich Turczynski, Boden- und Deponie-Sanierungs GmbH, Potsdam	65
Verallgemeinerte Erfahrungen bei der Sanierung eines Sonderabfall-Zwischenlagers einer Lackfabrik	
Jürgen Keßler, BIUG – Gesellschaft, Freiberg	72



Vorwort

Walter Haase

Präsident des Landesumweltamtes Brandenburg

Das Landesumweltamt Brandenburg hat sich innerhalb nur eines Jahres dreimal auf Vortragsveranstaltungen mit Problemen der Abfallablagerung befaßt. Diese Veranstaltungen unter dem Thema 'Geotechnische Seminare' fanden am 1. Oktober 1992, 1. Februar 1993 sowie am 30. September des gleichen Jahres statt.

Während die ersten Seminare überwiegend auf spezielle Fragen der Nutzung von Kippenflächen des Braunkohlenbergbaus als Deponiestandorte eingingen, war das dritte Seminar umfassender angelegt und bezog sich auf den Gesamtkomplex der Erkundung, Errichtung und Sicherung von Abfalldeponien im Land Brandenburg.

Die Resonanz auf diese Veranstaltungen spiegelte sich sowohl in der großen Teilnehmerzahl als auch der regen Fachdiskussion wider. Aus diesem Anlaß ist die Fortführung entsprechender Vortragsveranstaltungen im Rahmen dieser Geotechnischen Seminare vorgesehen und der nächste Termin wird bereits jetzt für das IV. Quartal 1994 vorbereitet.

Für alle, die in unserem Land Verantwortung in den Umweltbereichen tragen, gilt nach wie vor der Grundsatz:

Abfälle sind zu vermeiden.

Gelingt dies mit den derzeit verfügbaren technischen und wirtschaftlichen Mitteln in vertretbarem Maße nicht, so müssen wir sie verwerten.

Der Vermeidung kommt dabei die höchste Priorität zu. Wir wollen damit den im Land Brandenburg festgeschriebenen Weg fortsetzen. Wir wissen natürlich, daß dieses Ziel wie auch jedes der anderen Ziele, die wir uns sowohl in der Technik als auch in der gesellschaftlichen Entwicklung stecken, niemals ganz oder ideal erreichbar sein wird.

Wir wollen die verbleibenden Abfälle so behandeln, daß sie möglichst emissionsarm abgelagert werden können.

Als Behandlungsverfahren favorisiert Brandenburg die Verfahren der biologisch-mechanischen Abfallbehandlung, obwohl bekanntlich die TA Siedlungsabfall auf die Abfallverbrennung orientiert.

Die Abfallverbrennung wird durch Brandenburg nicht generell, aber als ausschließliches Prinzip der Abfallbehandlung abgelehnt. Insbesondere für bestimmte Sonderabfälle wie Klärschlämme, Shredderleichtfraktionen sowie Teilfraktionen von Siedlungs-

abfällen, wird die thermische Behandlung befürwortet.

Die ausschließliche Verbrennung von Siedlungsabfällen ist jedoch solange abzulehnen, wie nicht widerlegt ist, daß durch Anwendung der biologisch-mechanischen Behandlungsmethoden Abfälle ausreichend emissions- und nachsorgearm abgelagert werden können.

Wir sehen die Gefahr, daß die einseitige Orientierung auf die Abfallverbrennung den Bemühungen um Abfallvermeidung und die vorrangig stoffliche Verwertung zuwiderläuft. Darüber hinaus wirft die Verbrennung weitere Probleme auf. Es ist zum einen auf die fehlende Akzeptanz in der Bevölkerung zu verweisen. Aber auch die Kosten der Verbrennungsanlagen – Brandenburg muß nach heutigen Schätzungen mit einem Aufwand von bis zu 2 Mrd DM rechnen – fallen schwer ins Gewicht und drücken sich in höheren Abfallgebühren aus.

Aber auch nach Ausschöpfung aller verfügbaren bzw. effizienten Mittel der Abfallvermeidung, -behandlung und -verwertung verbleiben doch Restabfälle, die auf Deponien zu entsorgen sind. Die Bereitstellung der erforderlichen Deponiekapazität bleibt deshalb eine zentrale Aufgabe der entsorgungspflichtigen Körperschaften. Sie muß ohne zeitlichen Verzug vorangebracht werden.

Nach der Schließung von etwa 2.000 Ablagerungsplätzen, die vor der Wende genutzt wurden, stützt sich die Abfallentsorgung Brandenburgs auf derzeit 57 Deponien, die der „Vorläufige Abfallentsorgungsplan des Landes Brandenburg, Teilplan Siedlungsabfälle“ aufführt.

Der Betrieb dieser Anlagen wurde schon zu DDR-Zeiten aufgenommen, wobei die Standortauswahl und die Errichtung dieser Anlagen nicht dem Stand der Technik entsprachen. Diesem Mangel kann auch durch nachträgliche Auflagen nur bedingt abgeholfen werden. Wir müssen uns vor Augen halten, daß die Ertüchtigungsmaßnahmen, wie sie für die noch bestehenden Anlagen laufen, die notwendige Entsorgungssicherheit auf Dauer nicht gewährleisten können.

Es ist deshalb dringend erforderlich, diese veralteten Anlagen zu sichern und sie durch moderne Deponien abzulösen. In Brandenburg gehen wir davon aus, daß zukünftig etwa 15 moderne Zentraldeponien

benötigt werden, die Abfälle aus Brandenburg und Berlin aufnehmen müssen.

Den bei der Errichtung dieser Deponien einzuhalten- den Stand der Technik schreibt die TA Siedlungsab- fall vor. Der Stand der Technik ist etwas Lebendiges. Er entwickelt sich mit neuen Erkenntnissen und Er- fahrungen. Neue Technologien, wie z.B. die fort- schreitende Entwicklung kontrollierbarer Abdich- tungssysteme oder alternativer Dichtungen können dazu beitragen, daß Abfaldeponien sicherer und zu- gleich kostengünstiger gebaut werden.

Das Landesumweltamt Brandenburg als fachtechni- sche und fachwissenschaftliche Behörde des Um- weltministeriums hat es sich zum Ziel gestellt, ge- meinsam mit Fachexperten einschlägiger Institutio- nen, Ingenieurbüros und Praxisbetrieben zur Weiter- entwicklung des technischen Standes auf dem Ge- biet der Abfallablagerung beizutragen.

Wir sehen unsere Aufgabe aber auch darin, durch die Verbreitung neuer wissenschaftlich – technischer Erkenntnisse sowie durch entsprechende Information die entsorgungspflichtigen Körperschaften in ihrer Arbeit zu unterstützen. Die Durchführung der Geo- technischen Seminare und die Veröffentlichung ihrer wichtigsten Ergebnisse ist ein Beitrag hierzu.

Wolke Haase

Dr.-Ing. Walter Haase
Präsident des Landesumweltamtes Brandenburg
Potsdam, März 1994

Probleme der Planung und Errichtung von Abfalldeponien in Brandenburg vor dem Hintergrund der TA Siedlungsabfall

Ulrich Stock, Landesumweltamt Brandenburg

Einleitung

Das Landesabfallvorsichtgesetz des Landes Brandenburg fordert von den entsorgungspflichtigen Körperschaften, daß die Abfallwirtschaftsplanung von der Gewährleistung einer mindestens 10jährigen Entsorgungssicherheit auszugehen hat. Es gehört zu den wichtigsten Aufgaben einer entsorgungspflichtigen Körperschaft, die dazu erforderliche Anlagenkapazität bereitzustellen.

Trotz wachsender Erfolge bei den Bemühungen um die Vermeidung und Verwertung von Abfällen, trotz der Entwicklung neuer Technologien der Abfallentsorgung wie Thermoselect ist davon auszugehen, daß die Ablagerung von Reststoffen auf Deponien auch in der nächsten Zukunft eine wichtige Säule der Abfallwirtschaft bleibt. Es ist zwar zu erwarten, daß Initiativen der Gesetzgeber, Fortschritte der Abfallwirtschaft, wachsendes Umweltbewußtsein und steigender Kostendruck zu einer Verringerung des zu deponierenden Abfallvolumens führen, in Anbetracht langwieriger Genehmigungsverfahren und hoher Investitionskosten ist jedoch einem ausreichenden Planungsvorlauf bei der Errichtung von Abfalldeponien höchste Priorität beizumessen.

Da sich die Regierung des Landes Brandenburg dazu bekennt, Siedlungsabfälle des Landes Berlin weiterhin in Brandenburg abzulagern, sind in Summe in einem kurz- bis mittelfristigen Zeitraum ca. 2,5 Mio t Siedlungsabfälle auf Hausmülldeponien im Land Brandenburg jährlich zu deponieren, was einem Volumenbedarf von etwa 3 Mio m³ entspricht.

Nutzung und Ertüchtigung bestehender Deponien

Für die Deponierung dieser Abfälle stehen dem Land Brandenburg in den nächsten Jahren nur solche Deponien zur Verfügung, mit deren Errichtung und Betrieb schon zu DDR-Zeiten begonnen wurde. Diese Anlagen entsprechen nicht dem Stand der Technik. Ihre Ertüchtigung ist in begrenztem Maße möglich. Im Rahmen der Altgenehmigung können vorhandene Erweiterungsflächen durch Einbau einer Basisabdichtung und weiterer Einrichtungen zur Emissionsminderung immerhin so ausgebaut werden, daß ihr technischer Standard dem einer Neuanlage nahe-

kommt. Keinesfalls jedoch können vorhandene Standortnachteile ausgeglichen werden.

Das Landesumweltamt erläßt nachträgliche Anordnungen nach § 9a des Vorsichtgesetzes über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen - Abfallgesetz (AbfG) mit folgenden Inhalten:

1. Vorgabe der Abfälle, die für die weitere Ablagerung zugelassen sind
2. Vorgaben zum Aufbau der Deponie, Optimierung der Betriebsführung und Einbautechnologie
3. Komplettierung der baulichen und technischen Einrichtungen
4. Maßnahmen des Arbeits- und Brandschutzes
5. Maßnahmen zur Verminderung der Deponieemissionen (Basisabdichtungen auf Erweiterungsflächen)
6. Kontrolle und Dokumentation
7. Einrichtung der Fremd- und Eigenüberwachung
8. Rekultivierung und Sicherung (Oberflächenabdichtung) abgeschlossener Deponieabschnitte.

Bei der Formulierung der Anforderungen an die deponietechnischen Einrichtungen sind grundsätzlich die Festlegungen der Technischen Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall) zu Altanlagen (Punkt 11) zu beachten. In Einzelfällen wird es jedoch notwendig sein, von der TA Siedlungsabfall abweichende pragmatische Lösungen zu finden.

Beispielsweise erhebt das Landesumweltamt Brandenburg derzeit noch nicht die Forderung, auf Altanlagen eine Oberflächenabdichtung in der Ausführung als Kombinationsdichtung gemäß TA Siedlungsabfall aufzubringen. Die Begründung dafür ist in dem schwer vorherbestimmbaren Setzungsverhalten der Altanlagen und in der daraus resultierenden Gefahr der Zerstörung der Abdichtung zu finden. Unter 11.2.1.h) läßt die TA Siedlungsabfall den Einbau einer sickerwasserminimierenden Abdeckung zu.

Diese Anforderungen können mit einer Abdeckung, die aus einer mineralischen Schicht ausreichender Mächtigkeit (mindestens 50 cm, $k_f = 1 \times 10^{-7}$ m/s) und einer Rekultivierungsschicht besteht, ausreichend erfüllt werden. Denkbar ist auch der Einsatz alternativer Technologien wie z.B. der Abdeckung mit Bentonitmatten.

Dem Punkt 11.2.1 der TA Siedlungsabfall ist keine Forderung nach einer Basisabdichtung bei dem weiteren Betrieb von Altanlagen zu entnehmen. Das Landesumweltamt ist jedoch der Ansicht, daß der Einbau einer Basisabdichtung Voraussetzung für die Nutzung von Flächen ist, die vom Genehmigungsbestand erfaßt, aber noch nicht mit Abfall belegt sind. Die Berechtigung für diese Forderung entnehmen wir § 2 Abs. 1 AbfG. Immerhin kann eine solche Erweiterung der Deponie im Rahmen bestehender Altgenehmigungen dem Umfang einer neuen Deponie nahekommen.

Planung und Errichtung neuer Abfalldeponien

Nach vollzogener Kreisgebietsreform und der Bildung von Abfallzweckverbänden entstanden in Brandenburg 12 Entsorgungsgebiete, in denen eine Kreisverwaltung oder ein Abfallzweckverband als entsorgungspflichtige Körperschaft tätig ist.

In jedem dieser Entsorgungsgebiete wird zumindest eine neue Zentraldeponie zur Gewährleistung der Entsorgungssicherheit benötigt. Nach derzeitigem Planungsstand ist mit mindestens 13 und höchstens 15 neuen Deponien zu rechnen.

Grundlage der Planung neuer Abfalldeponien ist das von STIEF entwickelte Multibarrierenkonzept. Dieses besagt, daß in jeder Deponie mehrere unabhängig voneinander wirkende Sicherheiten, im übertragenen Sinne „Barrieren“, gegeben sein müssen, die Deponieemissionen verhindern. Diese Barrieren sind

- der Deponiestandort selbst, insbesondere durch seine geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften
- die Basisabdichtung
- der Deponiekörper selbst
- die Oberflächenabdichtung
- die Langzeitkontrolle der Deponieemissionen und des Deponieverhaltens und
- die Abfallvorbehandlung mit dem Ziel der Schadstoffentfrachtung, –einbindung oder –aufkonzentrierung (dieser Barriere wird wachsende Bedeutung beigemessen).

Die TA Siedlungsabfall definiert die Anforderungen an jede einzelne Barriere. In einigen Fällen wird durch die Anforderungen der TA Siedlungsabfall die Barrierewirkung über die eigentliche begriffliche Bestimmung von STIEF hinausgeführt.

Bei der Festlegung der Anforderungen an die Barrieren wird nach Deponieklassen unterschieden. Damit wird das schon aus anderen Regelwerken (z.B. aus Nordrhein–Westfalen) bekannte Deponieklassensystem weiterentwickelt. Nach Einführung der TA Siedlungsabfall lassen sich im wesentlichen drei Klassen oberirdischer Deponien unterscheiden:

- die Sonderabfalldeponie nach TA Abfall
- die Deponiekategorie II nach TA Siedlungsabfall (vergleichbar der alten Hausmülldeponie)
- die Deponiekategorie I nach TA Siedlungsabfall (vergleichbar der alten Bauschuttdeponie).

Dieser Systematik liegt der Gedanke zugrunde, daß sich die Qualität der Sicherheitseinrichtungen einer Deponie und das Gefährdungspotential der abzulegenden Abfälle gegenseitig bedingen.

Bei den Deponien, von denen in diesem Abschnitt die Rede ist, handelt es sich um solche der Deponiekategorie II nach TA Siedlungsabfall.

Deponiestandortsuche

In Brandenburg werden im Rahmen eines dem eigentlichen Genehmigungsverfahren vorausgehenden Raumordnungsverfahren möglichst geeignete Deponiestandorte gesucht.

Der zuständigen Behörde des Umweltministeriums liegen derzeit Unterlagen über Suchverfahren in 10 Entsorgungsgebieten vor.

Die begriffliche Bestimmung der Barriere „Deponiestandort“ nach STIEF orientiert sich in erster Linie am Schutzgut Wasser. Die TA Siedlungsabfall geht aber davon aus, daß die Barrierewirkung eines Standortes nicht nur durch die Geologie/Hydrologie bestimmt wird.

Dementsprechend werden im Kapitel 10.3 (Standort) unter 10.3.1 allgemeine Anforderungen formuliert, die sich nach „Ausschluß–“ und „Einschränkungskriterien“ unterscheiden lassen. Des weiteren werden unter 10.3.2 und 10.3.3 Forderungen hinsichtlich der Eignung eines Standortes als geologische Barriere erhoben.

Bei der Deponiestandortsuche sind weiterhin die landesplanerischen Vorgaben des vorläufigen Abfallentsorgungsplanes des Landes Brandenburg (Teil Siedlungsabfälle) zu beachten. Zu nennen sind insbesondere die Forderung nach Berücksichtigung von Berliner Abfällen bei der Gesamtplanung und die Bevorzugung des Schienentransportes.

Die Methodik der Standortsuche wird in einem Merkblatt beschrieben. Danach sind folgende Schritte auszuführen:

1. Negativkartierung
(Darstellung ungeeigneter Standorte auf der Basis von Ausschlußkriterien)
2. Positivkartierung
(Darstellung potentiell geeigneter Standorte auf der Basis von Einschränkungskriterien unter maßgeblicher Beachtung des Kriteriums „Geologie“)
3. Standortauswahl für den Standortvergleich
4. Standortvergleich.

Die Definition der Ausschluß– und Einschränkungskriterien erfolgte unter Beachtung der Anforderungen der TA Siedlungsabfall und der landesplanerischen

schen Vorgaben des vorläufigen Abfallentsorgungsplanes.

Geologische Barriere

Die TA Siedlungsabfall erhebt von einem als geologische Barriere dienenden Untergrund folgende Anforderungen:

- natürlich anstehendes schwach durchlässiges Locker- bzw. Festgestein nach DIN 18 130 (dies entspricht einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 10^{-8} \text{ m/s} - 10^{-6} \text{ m/s}$)
- hohes Schadstoffrückhaltepotential
- flächige Verbreitung.

Kann bei der Standortsuche kein geologisch geeigneter Standort gefunden werden, gestattet die TA Siedlungsabfall, daß die geologische Barriere durch den Einbau einer 3 m mächtigen homogenen Ausgleichsschicht mit $k_f \leq 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ ersetzt werden kann.

Die Anforderungen an die geologische Barriere können in Brandenburg nur von an der Oberfläche anstehenden glazialen Geschiebemergelhorizonten erfüllt werden. Solchen Standorten ist bei der Deponiestandortsuche deshalb der Vorzug zu geben.

Die Barrierewirkung dieses Geschiebemergels kann aber durch im Rahmen der Standortsuche schwer erkundbare Inhomogenitäten oder Lagerungsstörungen eingeschränkt werden. Es empfiehlt sich daher, von „geologisch geeigneteren“ anstatt von „geologisch geeigneten“ Standorten zu sprechen.

Die geologischen Verhältnisse in Brandenburg ließen von vornherein erwarten, daß in einigen Regionen nur Standorte mit sehr geringer geologischer Eignung zu finden sind bzw. daß geologisch geeignete Deponiestandorte in geschützten Gebieten liegen und deshalb nach der Negativkartierung aus der weiteren Betrachtung entfallen müssen.

Unter diesen Umständen wurde nach Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall vor dem Hintergrund bereits stattgefundener Standortsuchverfahren die Diskussion um die Frage geführt, welche Wertigkeit dem Vorhandensein einer geologischen Barriere bei der Deponiestandortsuche zukommen soll.

Das Ergebnis dieser Diskussion läßt sich wie folgt zusammenfassen:

- In Übereinstimmung mit dem Text der TA Siedlungsabfall ist das Kriterium „Eignung als geologische“ Barriere nicht als Ausschluß-, sondern als Einschränkung- oder auch Rückstellungskriterium zu betrachten.
- Es ist bei der Standortsuche mit der ihm gebührenden Wichtung zu beachten. Nach der TA Siedlungsabfall muß eine wirksame geologische Barriere maßgebend für die Standortauswahl sein. Der geeignetste Standort ist unter Würdigung aller Kriterien auszuwählen.

- Die Einbeziehung geologisch wenig oder nicht geeigneter Standorte in den Standortvergleich ist statthaft, wenn im Suchgebiet nach der Negativkartierung kein geologisch geeigneter Standort vorhanden ist oder wenn zu vermuten ist, daß durch die Gesamtabwägung aller Kriterien geologisch ungeeignete Standorte mit geologisch geeigneteren konkurrieren können.

Eine Besonderheit der Standortsuche im Süden des Landes ergibt sich durch das Vorhandensein großer durch den Braunkohlenbergbau devastierter Flächen. Diese drängen sich den entsorgungspflichtigen Körperschaften als Standorte für Deponien förmlich auf, da Aspekte des Natur- und Immissionsschutzes (und z.Z. auch noch des Gewässerschutzes) hier kaum eine Rolle spielen.

Dem Landesumweltamt sind Planungen für die Erweiterung einer bestehenden Hausmülldeponie, die Errichtung von drei neuen Kreisdeponien und einer Sonderabfalldeponie auf Kippenstandorten bekannt.

Das Landesumweltamt als Genehmigungsbehörde hatte gewisse Bedenken gegen diese Vorhaben hinsichtlich der Eignung als Baugrund. Es ist zu erwarten, daß auf den regellos hergestellten Kippenböden Setzungen in Größenordnungen auftreten, die zur Zerstörung der Basisabdichtung und der Sickerwasserfassungen führen können. Des weiteren ist die Gefährdung durch Verflüssigungserscheinungen der Kippen zu beachten.

Der gegenwärtige Erkenntnisstand zu dieser Problematik ist der, daß die technische Machbarkeit solcher Deponievorhaben grundsätzlich bejaht wird, die geotechnischen Untersuchungen des Kippenstandortes und die erforderlichen Maßnahmen zur Baugrundverbesserung jedoch für den Vorhabensträger erhebliche Mehraufwendungen verursachen.

Diese Mehraufwendungen entstehen durch

- die Ermittlung der zu erwartenden Setzungen unter Berücksichtigung der durch den Depo-niekörper verursachten Auflast (die erheblich über den Setzungen eines gewachsenen Baugrundes liegen)
- baugrundverbessernde Maßnahmen (Verdichtung, Verfestigung), die im Ergebnis der Gegenüberstellung der zu erwartenden und der – für die Funktionsfähigkeit des Basisabdichtungs- und Sickerwasserfassungssystems – zulässigen Setzungen erforderlichenfalls zu ergreifen sind
- den durch das Fehlen der geologischen Barriere bedingten Einbau einer zusätzlichen technischen Barriere, die zugleich die Funktion eines stabilisierenden Auflagers übernimmt.

Die grundsätzliche Zustimmung des Landesumweltamtes zur Errichtung von Abfalldeponien auf Kippenstandorten basiert auf Gutachten, die von Planungsträgern in Auftrag gegeben wurden und auf den Ergebnissen von Untersuchungen in Sachsen.

Der Arbeitskreis „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ hat den Entwurf einer Empfehlung für die Erkundung von Kippenstandorten vorgelegt. Eine Arbeitsgruppe des Landesumweltamtes Brandenburg hat ein Merkblatt zu dieser Thematik erarbeitet, das ebenfalls im Entwurf vorliegt.

Basis- und Oberflächenabdichtungssysteme

Der Aufbau der Basis- und Oberflächenabdichtungssysteme in Deponien ist im Punkt 10.4.1 der TA Siedlungsabfall genau vorgeschrieben. Es ist aber festzustellen, daß daneben zahlreiche andere Varianten bzw. Technologien für die Abdichtung entwickelt und vorgestellt wurden. Auch in Brandenburg wurden dem Landesumweltamt Planungen für Basisabdichtungssysteme vorgestellt, die von dem in der TA Siedlungsabfall vorgeschriebenen System abweichen. Diese Abweichungen betreffen sowohl den grundsätzlichen Aufbau als auch die verwendeten Materialien.

Für die Genehmigungsbehörde erhebt sich die Frage, inwiefern solche Planungslösungen genehmigungsfähig sind. Zwar werden „gleichwertige Systeme“ zugelassen, doch läßt die TA Siedlungsabfall offen, wie und nach welchen Kriterien die Gleichwertigkeit festzustellen ist. Mit diesem Problembereich beschäftigt sich ein Arbeitskreis „Grundsätze der Deponietechnik und Sicherung von Altlasten“ unter Federführung des Deutschen Instituts für Bautechnik.

Es ist nicht damit zu rechnen, daß von der TA Siedlungsabfall abweichende Basisabdichtungssysteme für neu zu errichtende Deponien zugelassen werden, bevor dieser Arbeitskreis Ergebnisse seiner Arbeit vorlegen kann bzw. die Gleichwertigkeit für Technologien im Einzelfall geprüft hat.

Für Brandenburg kann die Zulassung alternativer Basisabdichtungssysteme dadurch besonderes Interesse erlangen, da für die Herstellung der mineralischen Dichtungsschicht geeignete Materialien nur in geringem Umfang zur Verfügung stehen.

Sicherung und Rekultivierung geschlossener Deponien

Eine Erfassung ergab, daß in Brandenburg etwa 5.000 Abfallablagerungen (die einer Fläche von ca. 3.060 ha entsprechen) vorhanden sind. Das Spektrum reicht dabei von der Dorf Müllkippe mit 0,1 ha und 1.000 m³ Inhalt bis zu solchen Anlagen wie der Deponie Schöneiche mit 140 ha und zur Zeit 15 Mio m³. Die überwiegende Anzahl ist jedoch eher der Kategorie „Dorf Müllkippe“ zuzuordnen.

Alle diese Kippen müssen zu einem geordneten Abschluß geführt werden. Die Größenordnungen zeigen, daß Vorstellungen, jede Dorf Müllkippe mit

einer Kombinationsabdichtung nach TA Siedlungsabfall zu überziehen, unsinnig und unrealistisch sind. Die zu ergreifenden Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen sind vielmehr im Einzelfall festzulegen und haben sich am Gefährdungspotential zu orientieren.

Das Landesumweltamt Brandenburg hat dazu eine im Entwurf vorliegende Richtlinie erarbeitet, dessen Erläuterung Gegenstand eines Vortrages für sich sein könnte.

Es erweist sich als hilfreich, Abfallablagerungen bestimmten Gefährdungskategorien zuzuordnen und für jede Kategorie Anforderungen an die Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen zu formulieren.

Die Zuordnungskriterien sind

- Art der abgelagerten Abfälle
- Abfallvolumen
- hydrogeologische Verhältnisse am Standort
- Lage zu Schutz-, insbesondere Trinkwasserschutzgebieten.

Im einfachsten Falle (bei geringem Gefährdungspotential) wird das Aufbringen einer kulturfähigen Schicht und die Bepflanzung ausreichend sein. Bei nachgewiesenem hohem Gefährdungspotential ist der Einbau einer Kombinationsabdichtung nach TA Siedlungsabfall vorzunehmen, nachdem die Setzungen abgeklungen sind, und ggf. weitere Einrichtungen, wie Schlitzwände z.B., vorzusehen.

Literatur

STIEF, K.: Das Multibarrierekonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien

*Dr.-Ing. Ulrich Stock
Landesumweltamt Brandenburg
Abteilung Abfallwirtschaft, Altlasten und
Bodenschutz
Leiter des Referates Abfallablagerung*

Setzungen und Sackungen unter Deponien auf Kippen

Wolfgang Förster, Institut für Geotechnik
der TU Bergakademie Freiberg

1. Problemstellung

Der Bau von Deponien auf Kippen bringt in erster Linie auf Grund der auf Deponien zu erwartenden großen Setzungen und der Unstetigkeiten in der Ableitung der Setzungsmulde bedenkenswerte Probleme mit sich. Trotz dieser Besonderheiten der Kippen als Baugrund müssen nach Vorschriften zu stellende Anforderungen erfüllt werden. Es ist ein ausreichender Abstand zwischen dem Deponiegut und dem späteren Grundwasserspiegel einzuhalten; das Mindestgefälle der Dränagen muß garantiert werden, es darf nicht zur Bildung von Wassersäcken in den Dränagen kommen und die zulässige Beanspruchung technischer Elemente, dazu gehören Dichtungen, Rohre, evtl. Tunnel, darf nicht überschritten werden. Diese Forderungen gelten sowohl für den Endzustand als auch für Zwischenzustände (Bild 1).

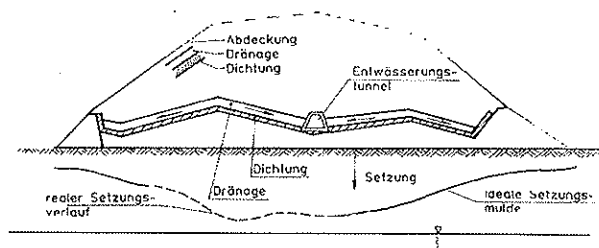


Bild 1 Prinzip des konstruktiven Aufbaues einer Deponie - stark vereinfacht

Um ihnen zu entsprechen, gibt es verschiedene Varianten.

Es könnten zum ersten Setzungen weitestgehend verhindert werden. Die Kippen als Baugrund müßten dann eine wesentliche Vergütung erfahren. Das Vorgehen ist sehr kostenintensiv, und die Konsequenz könnte sein, daß der Bau von Deponien auf Kippen fast ausgeschlossen ist.

Der zweite und bessere Weg ist der, sich ausreichend genaue Voraussagen über wahrscheinliche Verformungen zu verschaffen und diesen angepaßt konstruktive Vorkehrungen zu treffen, d.h., die Dränagen ausreichend zu überhöhen und solche Baustoffe für Dichtung, Dränagerohre u.a. auszuwählen, die den auftretenden Beanspruchungen gewachsen sind.

2. Besonderheiten des Kippenbaugrundes

Die erwähnten großen Setzungen und Abweichungen von einer Monotonie resultieren aus den spezifischen Eigenschaften der Kippen. Die Kippen sind inhomogen, d.h., ihre Eigenschaften verändern sich von Ort zu Ort. Die Ursachen dafür liegen in der Ortsveränderlichkeit geologischer Horizonte, in der Veränderung der Zusammensetzung des verstärzten Lockergesteinsgemisches und in daraus resultierenden Gefügeunterschieden (Einzelkornggefüge, Makrogefüge) sowie schließlich in der Technologie des Verkippens. Absetzer und Abraumförderbrücken werden gerückt. Es entstehen in der Kippe Rippen und Täler. Die Absetzer werden darüber hinaus geschwenkt. Bei Spülkippen erfolgt die Einspülung punktweise. Das Verspülen selbst bewirkt eine Klassierung. Hinzu kommt andererseits aber auch eine bewußte Steuerung der Materialverteilung. Der Bergmann bemüht sich um einen sicheren Drehpunktbereich, er bemüht sich um eine sichere Basis für Brückensützen und Arbeitsebenen.

Als Folge des Verkippens kommt es weiterhin zu einer lockeren Ablagerung. Dichteunterschiede durch unterschiedlichen Energieeintrag beim Verstoß sind gering. Zum Teil rollen Klumpen bindigeren Materials von der Kippe ab. Die lockere Lagerung wird durch Kapillarspannungen stabilisiert. Dieser Gleichgewichtszustand wird vor allem durch Schub wieder zerstört.

Der Nachweis der lockeren Lagerung und der Inhomogenität der Kippe kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Angewandt werden u.a. Drucksondierungen. Zur Zeit fehlt noch eine ausgefeilte geostatistische Aufbereitung der Ergebnisse, die die Sondierungen zueinander korreliert und einen genaueren quantitativen Einblick in den Aufbau der Kippe ermöglicht.

Das sicherste Verfahren sowohl zum Nachweis der lockeren Lagerung als auch der Inhomogenität sind Probebelastungen, die meßtechnisch umfangreich überwacht werden, aus denen dann auch Berechnungsparameter (Steifemodulen) abgeleitet werden können.

In geringem Maße werden geophysikalische Verfahren in verschiedener Art eingesetzt.

3. Setzen von Kippen

Wenn wir über die Setzungen von Kippen sprechen, haben wir in der Hauptsache drei Komponenten zu berücksichtigen. Das sind

- Eigensetzungen,
- Sackungen und
- Setzungen unter Last.

3.1. Eigensetzungen

Die Ursachen der Eigensetzungen, einer Verdichtung unter Übergang lockerer Lagerung in eine dichtere, sind Störungen, die Scherspannungen erzeugen. Dazu könnte z.B. auch einsickerendes Niederschlagswasser gehören. Andere bisher noch weniger erkundete Ursachen sind denkbar. Die Größe dieser Eigensetzung ist von der Kippenhöhe und vom Abstand eines betrachteten Kippenpunktes zum Böschungsrand abhängig. Der Einflußbereich der Böschung kann bis zum 15fachen der Böschungshöhe reichen. Es gibt weitere Komponenten - nämlich Einfallen des Liegenden, Tagebaurestlöcher u.a. -, die den Ablauf der Setzungen beschleunigen.

Normalerweise darf man annehmen, daß die Eigensetzungen im mitteldeutschen Raum und in der Lausitz nach 6 Jahren abgeklungen sind. Im rheinischen Revier könnte das zwischen 9 bis 16 Jahren dauern.

Die Größe der Eigensetzungen liegt im Mittel bei 0,5% bis 1,5% der Kippenhöhe. In der Lausitz sind Endwerte zwischen 1,5% und 2% gemessen worden, in Mitteldeutschland zwischen 0,8% und 1,2% und im Rheinland zwischen 0,8% und 2,3% der Kippenhöhen. Danach verbleibt immer noch eine Auflockerung, die etwa 1% bis 3% der Kippenhöhe ausmacht.

3.2. Sackungen

Wie bei den Eigensetzungen treten auch bei den, was wir als Sackungen bezeichnen, Setzungen der Geländeoberfläche ohne erkennbaren äußeren Anlaß ein. Auch die Sackung ist die Folge einer Störung des Gefügegenleichgewichts. Es kommt zu einer Umlagerung der Körner und zum Aufbau eines neuen Gefüges, das dichter ist. Anlaß ist der Anstieg des Grundwassers. Durch das Wasser werden Kapillarspannungen abgebaut, mögliche Verkittungen der Körner werden erweicht (Verminderung der Scherfestigkeit), und die deviatorische Komponente des Spannungszustandes wird vergrößert. Auftrieb und Strömungsvorgänge können weiterhin beteiligt sein. Im allgemeinen verläuft der Sackungsprozeß dem Grundwasseranstieg folgend großräumig kontinuierlich.

Es wurden aber auch besonders große, plötzliche, lokal begrenzte Geländeabsackungen beobachtet. Hierzu lassen sich nur Vermutungen äußern. Ist ein

Restloch in der Nähe, wäre es denkbar, daß im Gefolge einer Verflüssigung eine Materialverlagerung horizontal in Richtung des Restlochs eintritt. Denkbar wären auch sehr große Dichteinhomogenitäten. Sehr ungleichmäßige Sackungsvorgänge könnten dann zu Hohlraumbildung führen, die danach Hohlraumbrüche und Verflüssigungen mit schockartigen, lokalen Einsenkungen zur Folge hätten. So etwas muß für einen Baugrund ausreichend sicher ausgeschlossen werden können.

Von Interesse ist natürlich die Größe auftretender Sackungen, das Sackungsmaß. Leider gibt es nur wenige Messungen der Sackungen von Kippen. Man nimmt an, daß schwachbindige Kippen mit einem Wassergehalt von 0,15 nahezu keine Sackungen zeigen. Diese Hypothese bedarf aber weiterer Prüfung. Üblicherweise werden für Sackungen 1% bis 2% der überfluteten Kippenhöhe genannt. In Ausnahmefällen werden auch lokale Sackungen von 4% beobachtet. Darüber hinaus scheinen die Setzungen unter Last (siehe Abschnitt 3.3) und die Sackungen in ihrer Summe etwa zum gleichen Gesamtsetzungswert zu führen.

Die Größe der Sackungen hängt darüber hinaus erheblich vom Spannungszustand ab. Es sacken vor allem oberflächennahe Bereiche. Je tiefer der Grundwasserspiegel bleibt, um so geringere Bedeutung haben Sackungen. Wenn die Spannungen einen kri-

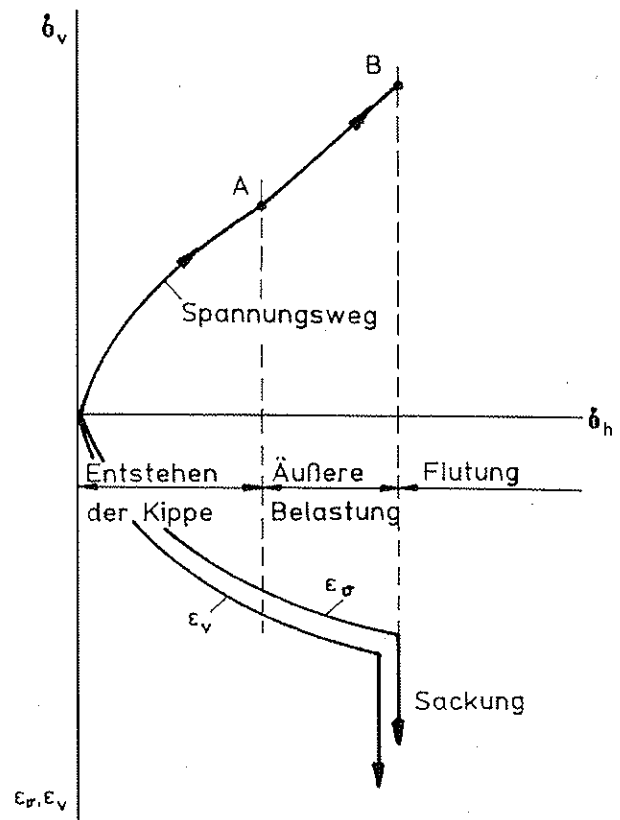


Bild 2

Simulation der Spannungsgeschichte im Triaxialgerät (σ_v - vertikale Spannung; σ_h - horizontale Spannung; ϵ_v - Vertikalstauchung; ϵ_v - Volumenänderung)

tischen Wert überschreiten, sind kaum noch Sackungen zu beobachten.

Zur Problematik der Sackungen gibt es eine Reihe von Arbeiten, die bisher vor allem auf Ergebnissen von Laborversuchen aufbauen. Laborativ wird das Sackungsmaß normalerweise im Ödometerversuch bestimmt. Das Material ist einzubauen, zu belasten, danach zu fluten und der Setzungsbetrag zu messen.

Im Triaxialgerät ist darüber hinaus auch eine Simulation der Spannungsvorgeschichte möglich (Bild 2).

Solange man sich allein auf die Verschiebungen der Oberfläche beschränkt, müßten Untersuchungen im Feld vom Markscheider durchgeführt werden. Spezielle Meßeinrichtungen unter Verwendung nachgiebiger vertikaler Rohre lassen auch eine Deformationsmessung im Inneren der Kippe zu (Bild 3).

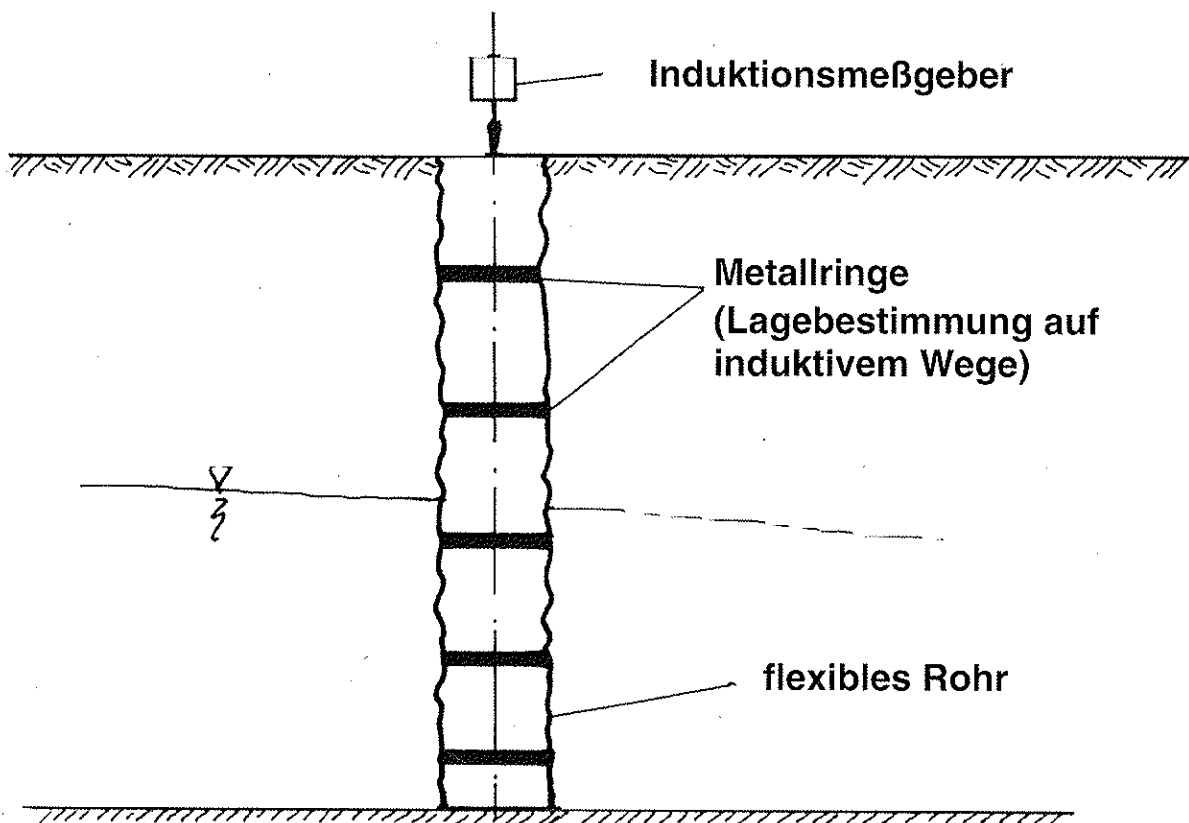


Bild 3 Deformationsmessungen im Kippeninneren

3.3. Setzungen unter Last der Deponie

Die Berechnung der Setzungen kann prinzipiell nach bekannten Verfahren durchgeführt werden. Die spezielle Belastungsfigur durch die Deponie wirft das Problem des korrekten Beachtens der Lastverteilung auf. Das ist unter Nutzung geeigneter Programme und ausreichend schnellen Rechnern möglich. Bisher liegen kaum Bemühungen vor, die Steifigkeit des Deponiekörpers, die zu einer Umlagerung der Sohlspannungen führen könnte, zu berücksichtigen. Sie dürfte einen setzungsausgleichenden Einfluß haben. Die größere Schwierigkeit besteht in der Wahl eines zutreffenden Steifemoduls, eventuell als Funktion des Ortes.

Diesbezüglich verlässliches ist eigentlich nur -wie bereits erwähnt- durch Rückrechnung aus Probeschüttungen zu gewinnen. Eine solche Probeschüttung wurde bisher neben einer zweiten in Espenhain auf

der Kippe des Tagebaues Jänschwalde durchgeführt. Die Ergebnisse der Messungen (Bild 4) lassen erkennen, daß der Setzungsverlauf nicht monoton ist und daß eine Idealsetzungsmulde (theoretische Setzungsmulde) durch ein „Rauschen“ (Störungen) überlagert ist. Bedeutsam für die konstruktiven Elemente sind die Krümmungen der Setzungsmulde, die zu Rissen in Dichtungen, Rohren usw. führen könnten (Bild 5). Für den Krümmungsradius gilt die Gleichung

$$R \approx 1/s''.$$

s'' ist numerisch aus (Bild 6)

$$s'' = \frac{1}{(\Delta x)^2} (s(x + \Delta x) - 2 \cdot s(x) + s(x - \Delta x))$$

zu errechnen. Das Ergebnis ist offensichtlich von der Wahl der Stützweite Δx abhängig. Sie muß nach der

Längsprofil I₃

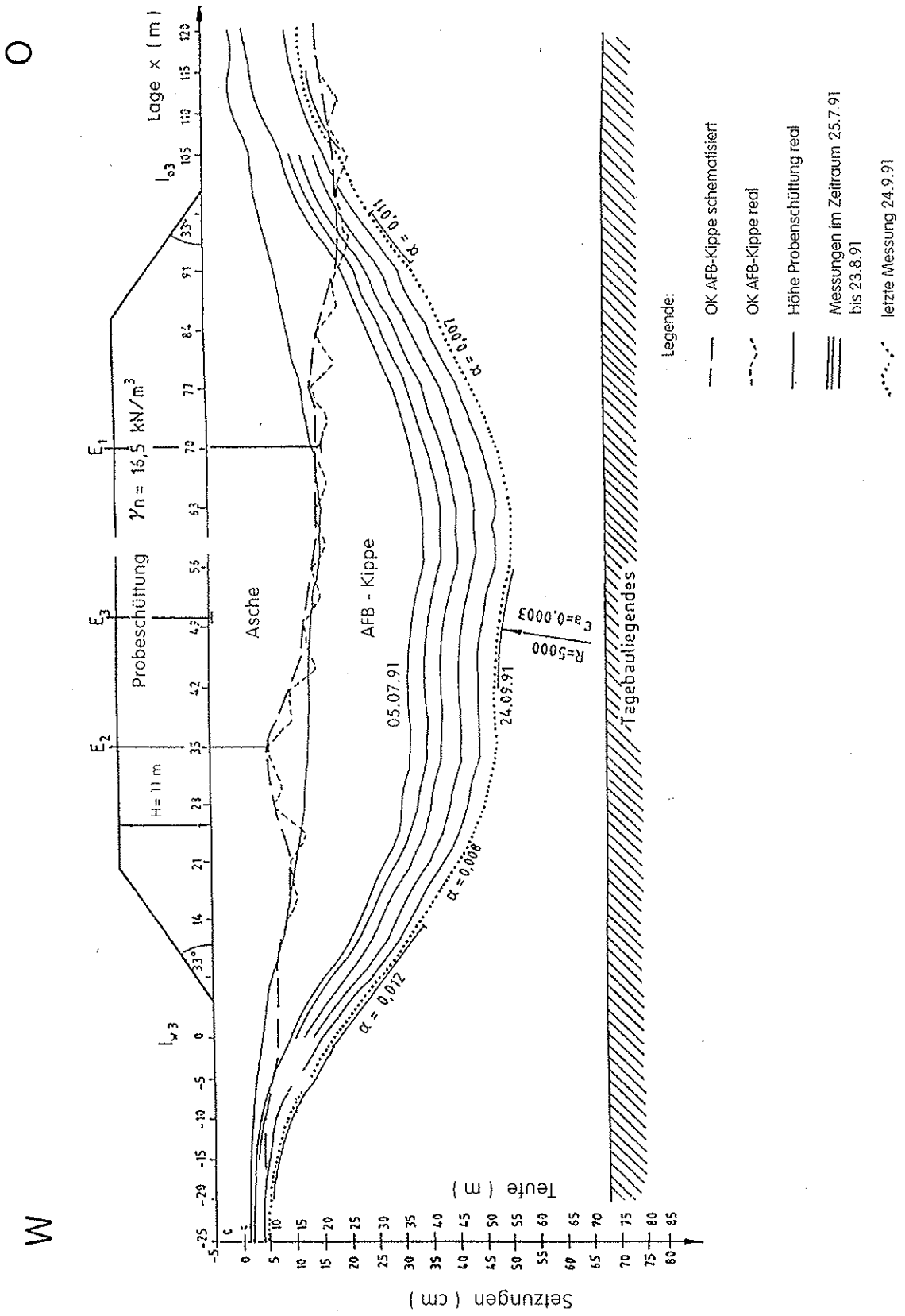


Bild 4 Probelastung auf der Kippe des Tagebaues Jänschwalde im Längsprofil I₃

Versuchsschüttung Jänschwalde - QMS - 1

Gemessene Krümmungsradien (km)

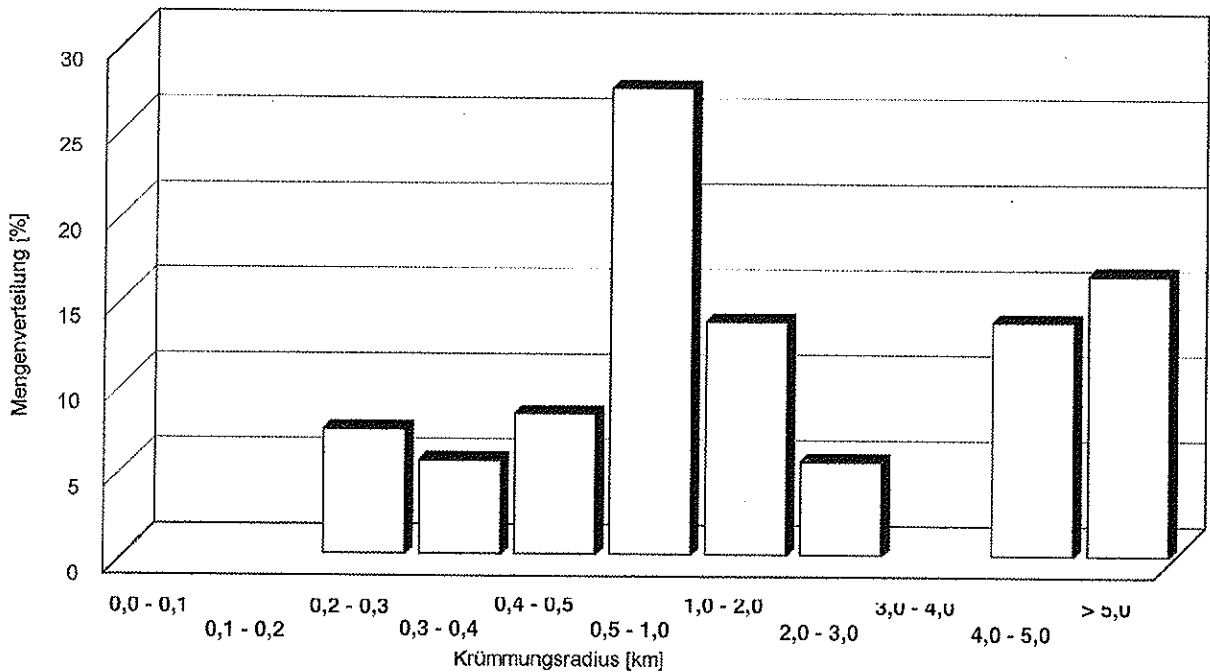


Bild 5 Verteilung der Krümmungsradien unter der Versuchsschüttung des Tagebaues Jänschwalde - Querprofil 1

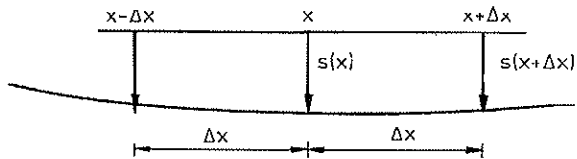


Bild 6 Numerische Ermittlung von s''

Steifigkeit des betrachteten Elements festgelegt werden. Die Ergebnisse der Probebelastung sind als Modellversuch für die Deponie als Prototyp zu werten. Dabei ist zu bedenken, daß der errechnete Steifemodul als konstante Größe für die Deponie sicher etwas höher ist als der aus der Probebelastung bestimmte. Das liegt daran, daß die Spannung unter der Deponie größer ist unter der Probebelastung ist. Es wird die mit einem konstanten Steifemodul berechnete Setzung zu groß. Deshalb ist es zweckmäßig, den Steifemodul als spannungsabhängige Größe gemäß

$$E_s = E_s(\sigma_v) = \nu \left(\frac{\sigma_v}{p_a} \right)$$

anzusetzen. Eine Extrapolation über den Spannungsbereich hinaus, für den E_s berechnet wurde, erscheint zumindest gerechtfertigt. Bezüglich der Krümmungen ist als sicher anzunehmen, daß die höhere Deponiebelastung vergleichbar wirkt. Die Setzungsmulde nähert sich in stärkerem Maße der Ideallinie an, und die daraus rechnerisch ermittelten Krümmungen können maßgebend werden.

3.4. Setzungsprognosen

Normalerweise gehen wir mit unserer Deponie so spät auf die Kippe, daß die Eigensetzungen bei Baubeginn abgeklungen sein dürften. Eine genaue Voraussage der Setzungen, nämlich der Summe aus Sackung und Lastsetzung, als Funktion des Ortes und der Zeit in der Form

$$s = s(x, y, t)$$

ist nur bei sorgfältiger Arbeit möglich und gelingt absolut zutreffend gar nicht. Die Ursache liegt in der Komplexität des Problems:

- der Grundwasseranstieg als Funktion der Zeit ist unsicher
- der Deponiefortschritt als Funktion der Zeit ist ebenso wenig sicher vorhersagbar
- der Sackungsverlauf aber ist abhängig von den eben genannten Faktoren
- und auch der Setzungsverlauf ist abhängig vom Grundwasseranstieg, noch stärker natürlich vom Deponiefortschritt.

Es ist unter diesen Umständen eigentlich nur möglich, auf der sicheren Seite liegende Abschätzungen vorzunehmen und gegebenenfalls -falls keine genaueren Angaben existieren- Kombinationen aus Varianten für Grundwasserbestand und Deponiefortschritt zu wählen (siehe folgende Grafik).

Deponiefortschritt	Grundwasserstand
leer	in Höhe des Liegenden
halb voll	halbe Endhöhe
voll	Endhöhe

Darüber hinaus sollte mit dem Aufbau der Deponie ein ständiges Meßprogramm anlaufen, das die Grundwasserstandsentwicklung verfolgt, das aber auch die Setzungen erfaßt. Diese gemessenen Setzungen sind Voraussetzung für eine ständige Verbesserung der Eingangsparameter und damit für die sichere Voraussage von Deformationen nachfolgender Deponieabschnitte.

Für Hausmülldeponien erscheint dieses Vorgehen durchaus vertretbar; für Sondermülldeponien ist das Risiko zu hoch. Hier wird man sicherlich Maßnahmen zur Setzungsminderung ergreifen.

4. Wege zur Vergütung des Baugrundes

Wenn eine Baugrundverbesserung gewählt werden muß, sind die Größe der zu vergütenden Fläche und wohl auch die Größe der erforderlichen Vergütungstiefe zu bedenken. Man muß nach einem angepaßten, wirtschaftlichen Verfahren suchen. Bei der Wahl von Deponiestandorten sind solche zu bevorzugen, bei denen nur eine Abraumförderbrückenkippe vorliegt. Eine Vergütung über die Gesamtkippenhöhe ist kaum möglich.

Bei Vorliegen einer besonders lockeren, inhomogenen oberen Schicht (Absetzerkippe) könnte man an **Aus- und Wiedereinbau unter Verdichtung** (einmal vorgeschlagen) denken. Das Verfahren ist sehr aufwendig. Alles andere dürfte wirtschaftlicher sein.

Ein weiteres Verfahren wäre der Einsatz eines **Tiefenrüttlers** (Bild 7). Bei ihm läuft während des Absenkens in den Untergrund eine Unwucht um eine vertikale Achse. Die Wirkung wird durch Spülung und eine statische Zusatzlast erhöht. Es kommt dadurch zu einer Störung des Gefüges, einer Verflüssigung und einer Umlagerung der Körner. Die Volumenminderung wird durch die Zugabe grobkörniger Materialien ausgeglichen. Das Verfahren ist in reinem Sand anwendbar. Die bisher erreichte Tiefe ist 25,0 m, wobei die oberen 2,0 m nicht verdichtbar sind. Der erzielte Verdichtungserfolg ist durch einen Dichteindex $D = 0,8$ charakterisiert.

Beim **Rüttelstopfverfahren** (Bild 8) wird der Rüttler wie bei der Tiefenrüttlung nach unten gebracht. Beim Ziehen werden Füllstoffe durch Rohre mit Druck von unten nach oben zugegeben. Mit diesem Verfahren wurde bisher eine wirtschaftliche Tiefe von 10 m erreicht.

Beide Verfahren (besonders die Tiefenrüttlung) könnten mit der **dynamischen Intensivverdichtung** (Bild 9) gekoppelt werden. Die Verdichtung wird hier durch ein aus größerer Höhe (bis 40,0 m) fallendes Gewicht erreicht. Die Verdichtungswirkung beschränkt sich aber auf oberflächennahe Bereiche.

TIEFENRÜTLUNG

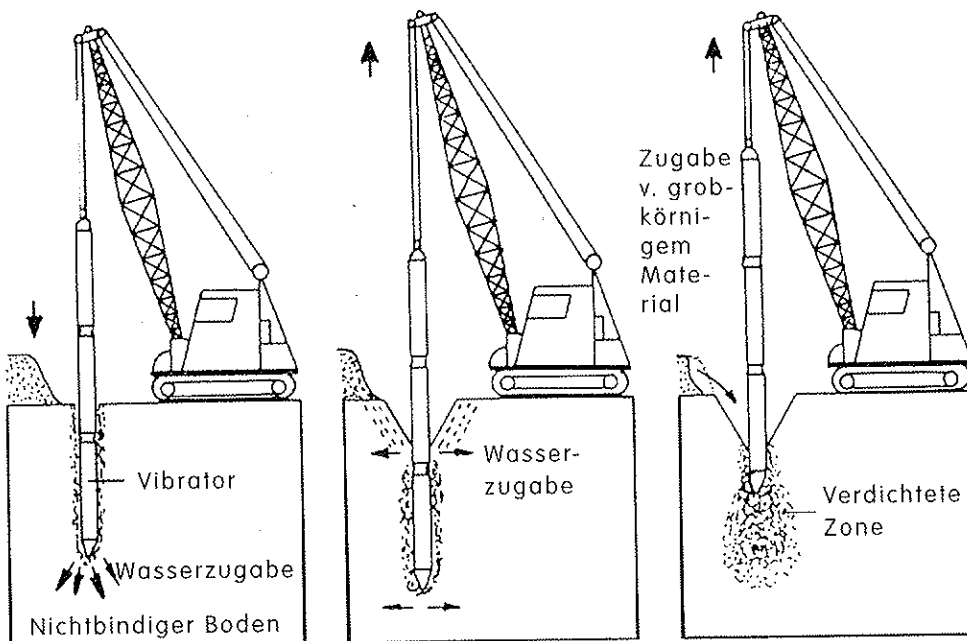
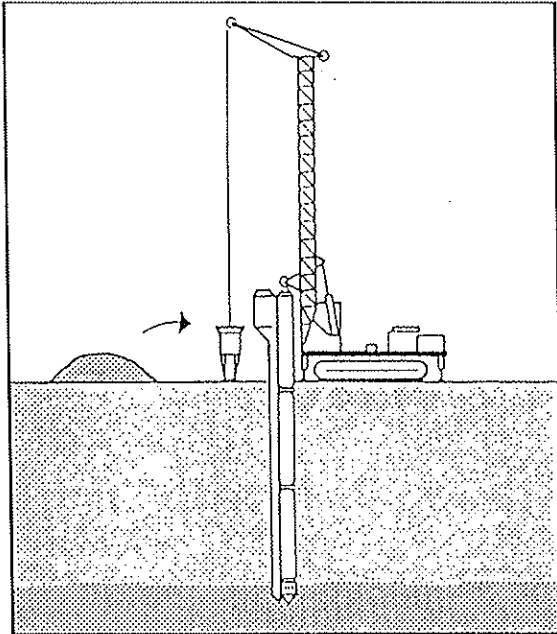


Bild 7 Tiefenrüttlung
(Quelle: Merkblatt für Untergrundverbesserung durch Tiefenrüttler)

Phase 1

Eindringen des Rüttlers,
Verdichten und Verdrängen
des Bodens



Phase 2

Ziehen des Rüttlers,
Zugabe von nichtbindigem Erdstoff
und Verdichten

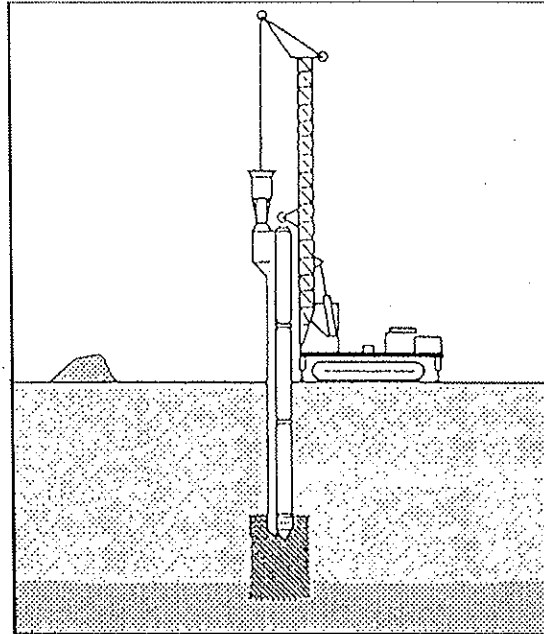
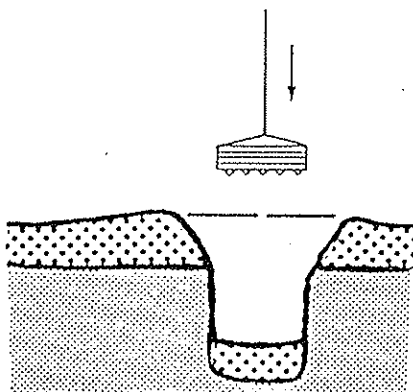


Bild 8 Rüttelstopfverdichtung (VIBRO)
nach dem Verfahren der Fa. Keller Grundbau GmbH
(Quelle: Placzek und Nendza, Baugrundtagung Dresden 1992)

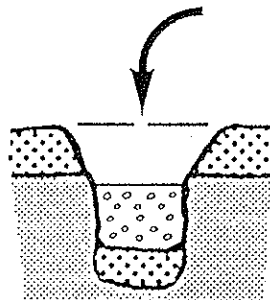
Phase 1

Herstellen des Arbeits-
planums und wieder-
holtes Abwerfen der
Fallmasse auf einen
Verdichtungspunkt,
Verdichten und Verdrängen
des Bodens



Phase 2

Auffüllen des
Schlagtrichters
mit nichtbindigem
Erdstoff



Phase 3

Wiederholung des
Verdichtungs Vorganges
bei weiterer Zugabe
von nichtbindigem
Erdstoff bis zum
tragfähigen Untergrund
und abschließender
Oberflächenverdichtung

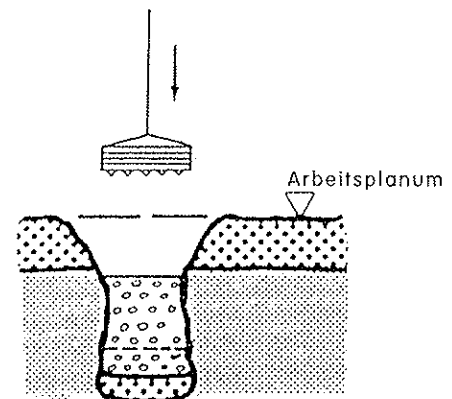


Bild 9 Dynamische Intensivverdichtung (DYNIV) nach dem Verfahren der Fa. DYNIV GmbH
(Quelle: Placzek und Nendza, Baugrundtagung Dresden 1992)

In der Lausitzer Braunkohle AG liegen große Erfahrungen mit der **Verdichtung durch Sprengen** vor. Durch ein Initial kommt es zu einer Verflüssigung und danach zu einer Neuordnung des Gefüges und einer Auflast. Das Verfahren ist sehr wirtschaftlich, aber nur im wassergesättigten Bereich anwendbar.

Schließlich wären noch die **hydraulische Verdichtung** und die **Vorbelastung** zu nennen. Bei der hydraulischen Verdichtung läßt man größere Mengen Wasser versickern. Man nimmt dadurch quasi Sackungen vorweg. Die besten Erfolge bringt sicherlich eine Vorbelastung. Dabei wird auf den Baugrund eine Schüttung aufgebracht, die eine Belastung möglichst in Größe der späteren Baugrundbelastung erzeugt und nach ausreichender Einwirkungszeit wieder abgeräumt wird. Der Aufwand ist selten und höchstens bei geringen Flächen vertretbar.

Zwischen Rüttelstopfverdichtung und dynamischer Intensivverdichtung liegt ein Vergleich vor. Die Rüttelstopfverdichtung erreicht größere Gleichmäßigkeit; die dynamische Intensivverdichtung ist wirtschaftlicher.

Alle Verfahren sind bisher nur auf begrenzte Tiefe anwendbar.

5. Zusammenfassung

In dem Vortrag wird der Versuch unternommen, die Besonderheit der Kippen als Standort von Deponien zu verdeutlichen. Es werden quantitative Angaben zu auftretenden Verformungen gemacht und Verfahren zu ihrer genaueren Ermittlung angegeben. Es gibt Fälle, bei denen der Bau von Deponien auf Kippen ohne weitere Vergütung des Untergrundes zu risikobehaftet erscheint (Sondermülldeponien). Mögliche Vergütungsverfahren werden diskutiert.

Literatur

Literaturrecherche zum Forschungsthema Tagebaukippen als Baugrund; TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Abteilung Bodenmechanik, 1992 (unveröffentlicht)

BIUG GmbH Freiberg: Geotechnisches Gutachten zur REA-Deponie Jänschwalde; Freiberg, 1992 (unveröffentlicht)

BENKEN, D.: Bauen auf Kippen; Diplomarbeit, Bergakademie Freiberg, 1992 (unveröffentlicht)

BENSCH, P.: Zur Bestimmung von Deformations- und Scherfestigkeitsparametern von Kippenböden unter Berücksichtigung ihrer Belastungsgeschichte und des eingetretenen Grades der Wassersättigung; Diplomarbeit, Bergakademie Freiberg, 1992 (unveröffentlicht)

HALLBAUER, T.: Geotechnische Grundlagen für die Errichtung von Eisenbahnstrecken auf Kippen des Braunkohlenbergbaus unter besonderer Berücksichtigung des Eigensetzungsverhaltens; Dissertation, HfV Dresden, 1981 (unveröffentlicht)

ROBERTSON, P.K.; CAMPANELLA, R.G.: Interpretation of cone penetration tests, Part I: Sand, Part II: Clay; Canadian Geotechnical Journal, 20(1983), p. 718 - 733

CHARLES, J.A.; BURFORD, D.: Settlement and Groundwater in opencast mining backfills; Proceedings of the IX ECSMFE in Dublin, p. 289 - 292, A.A. Balkema, Rotterdam, 1987

FORMAZIN, J.: Bebauung von Kippen des Braunkohlentagebaus; Bauplanung-Bautechnik, 42(1988)11, p. 483 - 486

SACHSE, H.: Zum zeitlichen Verlauf von Sackungen nichtbindiger Kippen des Braunkohlenbergbaus; Bauplanung-Bautechnik, 42(1988)11, p. 483 - 486

SPARMANN, H.: Bauwerke auf Kippen des Braunkohlentagebaus; Bauplanung-Bautechnik, 42(1988)11, p. 491 - 493

SPERLING, G.; VOGEL, W.: Zur Bebauung von Tagebaukippen; Bauplanung-Bautechnik, 39(1985)10, p. 437 - 441

LÖSCHNER, J.: Dynamische Intensivverdichtung als Baugrundverbesserung auf Tagebaukippen; Bauplanung-Bautechnik, 41(1987)4, p. 147 - 150

SCHEFFLER, H.: Nutzung von Restlöchern auf Kippenflächen des Braunkohlenbergbaus für Deponiestandorte; Vortrag zum Seminar Neuzeitliche Deponietechnik, Bochum, 1990

DORSCHNER, E.: Setzungsverlauf der Tagebaukippen des Braunkohlenbergbaus; Freiburger Forschungshefte, A 334, 1965, p. 121 - 142

GÖBEL, C.; HÄHNEL, K.: Setzungsverhalten einer Eisenbahnversuchsstrecke auf einer Tagebaukippe; Bauplanung-Bautechnik, 42(1988)11, 498 - 499

KEBLER, J.; FÖRSTER, W.: Sprengverdichtung zur Verbesserung von setzungsfließgefährdeten Kippen; Freiburger Forschungshefte A 819, Freiberg, 1992

PLACZEK, D.; NENDZA, H.: Rüttelstopfverdichtung und Dynamische Intensivverdichtung - Vergleichende Bewertung bei der Deponie Schlibeck; Vorträge der Baugrundtagung, Dresden, 1992

THOMPSON, J.; HOLDEN, J.M.W.; YILMAZ, M.: Compaction of opencast backfill beneath highways and associated developments; Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes, Rainbow (ed.), p. 293 - 312, A.A. Balkema, Rotterdam, 1990

KUNTSCHE, K.: Bodenmechanische Setzungsprognosen für Tagebaukippen; Braunkohle Tagebau-technik, 44(1992)1/2, p. 17 - 24

*Prof. Dr. habil. Wolfgang Förster
Institut für Geotechnik
der TU Bergakademie Freiberg*

Möglichkeiten geophysikalischer Voruntersuchungen für Deponiestandorte (Geelektrik, Georadar)

Hellfried Petzold u.a., Lausitzer Braunkohle AG, Senftenberg

1. Zielstellung

Bei der Vorbereitung und Errichtung von Deponien müssen eine Vielzahl von Anforderungen und Bedingungen erfüllt werden. Eine sehr wichtige Grundlage ist dabei die Baugrunderkundung. Der geologische Aufbau und die hydrologischen Verhältnisse haben wesentlichen Einfluß auf die Auswahl des Deponiestandortes und die geotechnische Dimensionierung. Für derartige Langzeitbauwerke sollte eine geologisch-geophysikalische Detailerkundung durchgeführt werden. Durch die Kombination der

- flächendeckenden geophysikalischen Aussagen mit den
- punkthaften Ergebnissen aus Bohrungen und Sondierungen

wird insgesamt eine sehr hohe Aussagequalität und Repräsentanz der Erkundungsergebnisse erreicht.

2. Geophysikalische Meßverfahren

Die Auswahl des geeignetsten oberflächenphysikalischen Meßverfahrens hängt vom zu erkundenden Teufenbereich und den abzugrenzenden Bodenarten ab. Voraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz eines Meßverfahrens sind

- Unterschiede im bodenphysikalischen Parameter, wie z.B. Dichte, spezifischer Widerstand, Ausbreitungsgeschwindigkeit u.a. sowie
- günstige Verhältnisse zwischen Schichtmächtigkeiten und Teufenlagen (methodenspezifisch).

Nachfolgende Meßmethoden können für eine Deponievorerkundung eingesetzt werden. Von den *Potentialverfahren* eignen sich die Mikrogravimetrie (Hohlräume, Festgesteine), die Widerstandsgeoelektrik (Verbreitung bindiger Böden) sowie Eigenpotentialmessungen. Mit diesen Untersuchungen können schnell flächendeckende Aussagen zu Anomaliestrukturen gewonnen werden.

Mit den *Wellenverfahren* sind Verlauf und Teufenlage von Schichtgrenzen bestimmbar. Das betrifft vor allem die seismischen Varianten Refraktions- und oberflächennahe Reflexionsseismik für Festgestein und Grundwassererkundung. Von den effektiven elektromagnetischen Methoden bietet sich das Georadar zur Strukturerkundung an.

In den Flachbohrungen ist auch die *Bohrlochmessung* mit ihrem radiometrischen und elektrischen Meßkomplexen einzusetzen.

Sehr gute Ergebnisse erhält man bei der Kombination der Bohrlochmeßprinzipien mit der *Drucksondierung*. Nach entsprechender Eichung vor Ort können quantitative Aussagen zu den bodenphysikalischen Parametern (z.B. Dichte, Wassersättigung) ermittelt werden.

Ausführliche Informationen zu diesen und weiteren im Einzelfall einsetzbaren Verfahren sind der einschlägigen Fachliteratur zu entnehmen (z.B. MILITZER und WEBER, 1987; JACOBS u.a. 1987; VOGEL-SANG 1991, FORKMANN und PETZOLD, 1989).

3. Widerstandsgeoelektrik

Für die Erkundung der Verbreitung rolliger und bindiger Lockergesteine, wie in der Lausitz häufig der Fall, eignet sich besonders die Geoelektrik. Das Prinzip besteht in der Messung des scheinbaren spezifischen Widerstandes mit einer 4-Elektroden-Meßanordnung. Im Bild 1 ist das Meßprinzip schematisch dargestellt. Die erreichbare Wirkungstiefe hängt vom Elektrodenabstand ab und muß entsprechend der Aufgabenstellung festgelegt werden (z.B. 3, 5, 10 oder 20 m). Neben dieser horizontalen Widerstandsverteilung kann durch Widerstandssondierungen (schrittweise Erhöhung der Eindringtiefe an einen Punkt) der vertikale Schichtaufbau ermittelt werden. Der Teufenfehler beträgt hier ca. 10%. Vorteile dieser Verfahren sind vor allem geringe Kosten und schnelle Durchführbarkeit.

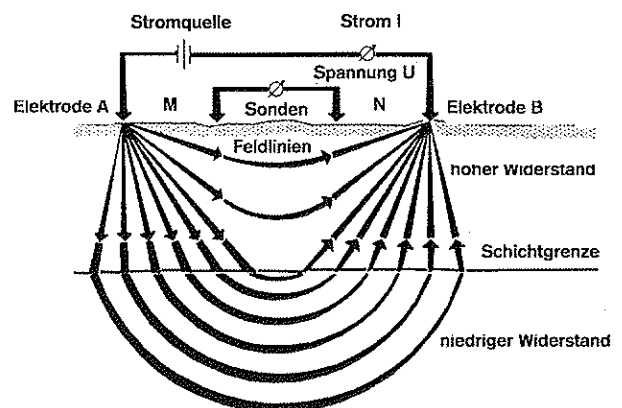


Bild 1: Meßprinzip der Widerstandsgeoelektrik

4. Georadar

Mittels einer Sende-Empfangs-Antenne werden die Laufzeiten hochfrequenter elektromagnetischer Wellen (Radarimpulse) bis zu den jeweiligen Suchobjekten gemessen. Bei der Ausbreitung der Radarwellen im Gestein erfolgt eine Intensitätsabnahme in Abhängigkeit von der Meßfrequenz und vom Laufweg (Begrenzung der Eindringtiefe). Entscheidend für das Reflexionsvermögen der Suchobjekte ist der Unterschied in den Dielektrizitätskonstanten. Diese hängt vom spezifischen Widerstand, Wassergehalt u.a. ab. Reflektierende Schichtgrenzen und lokale Einlagerungen bilden sich durch zwei- bis mehrphasige Signale in den Radargrammen ab, welche durch kontinuierliche Bewegung der Antenne im Profil entstehen (Bild 2). Das Meßsystem kann mobil oder

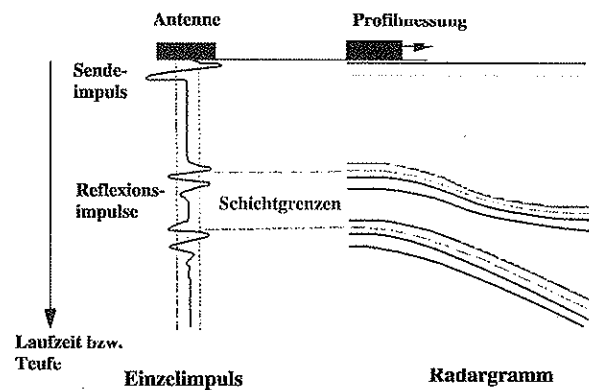


Bild 2: Meßprinzip des Georadar

manuell eingesetzt werden. Die unmittelbar während der Messung aufgezeichneten Radargramme sind vor Ort interpretierbar. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber anderen geophysikalischen Verfahren. Mit dem Georadar können in Dezimetergenauigkeit Bodenartenwechsel, lokale Einlagerungen (Steine, Rohre u.a.) und Strukturen (Schichtgrenzen, Flanken, Mulden u.a.) erkundet werden. Ein Vergleich eines in 2 m Abstand aufgenommenen Profiles mit dem gemessenen Radargramm ist in Bild 3 dargestellt.

Der Verlauf der Lehmschicht bildet sich deutlich im Radargramm ab. Im rolligen Lockergestein können Eindringtiefen bis 10 m erreicht werden. Mit zunehmendem bindigem Anteil verringert sich diese auf 1 - 2 m. Deshalb ist das Georadar in bindigen und feuchten Böden nicht oder nur zur lateralen Abgrenzung der bindigen Verbreitung einsetzbar.

Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in der schnellen Durchführbarkeit, der Sofortaussagemöglichkeit und im hohen Auflösungsvermögen.

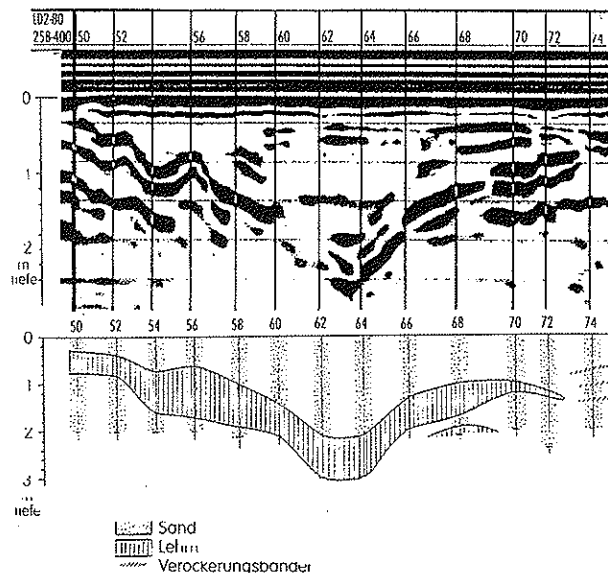


Bild 3: Vergleich eines Radargrammes und eines Bodenprofils

5. Erkundungsbeispiele

Zur Erkundung oberflächennaher bindiger Schichten eignen sich geoelektrische Kartierungen und Sondierungen gut. Im Bild 4 ist ein solches Ergebnis dargestellt. Zwischen den beiden Bohrungen wurde eine geoelektrische Anomalie (Maximum des spez. Widerstandes) festgestellt. Die daraufhin durchgeführten geoelektrischen Tiefensondierungen ergaben den bei WS1 - WS3 eingetragenen Schichtaufbau. Bei WS2 steht nur Sand an. Damit ist die Ursache dieser lokalen Anomalie (fehlender Stauer) eindeutig geklärt.

5.1 Rollige Kippe

Zur Untersuchung der Homogenität eines Kippenbereiches wurden geoelektrische Kartierungen mit einer Wirkungstiefe bis ca. 3 m und Radarmessungen durchgeführt (Bild 5). Während aus der Geoelektrik nur Widerstandsanomalien erkennbar sind, bildet sich im Radargramm die konkrete Struktursituation ab.

Im Anfangsteil ist noch die Flanke der gewachsenen Böschung erkennbar. Das ab 35 m anschließende starke Reflexionsband wird durch den Grundwasserspiegel hervorgerufen. Dies ist nur im grobkörnigen Material möglich, da hier kein großer Kapillarraum ausgebildet ist. Durch einen geringen Geländeanstieg erhöht sich die Mächtigkeit der trockenen Kippen-scheibe (Zunahme des spezifischen Widerstandes, relatives Absinken des Wasserspiegels). Die bei 160 m einsetzende Veränderung im Reflexionsbild und das einsetzende geoelektrische Minimum werden durch eine nicht bekannte Hausmülldeponie mit bindigen Einlagerungen hervorgerufen, was nachträglich mit gezielten Schachtungen belegt wurde.

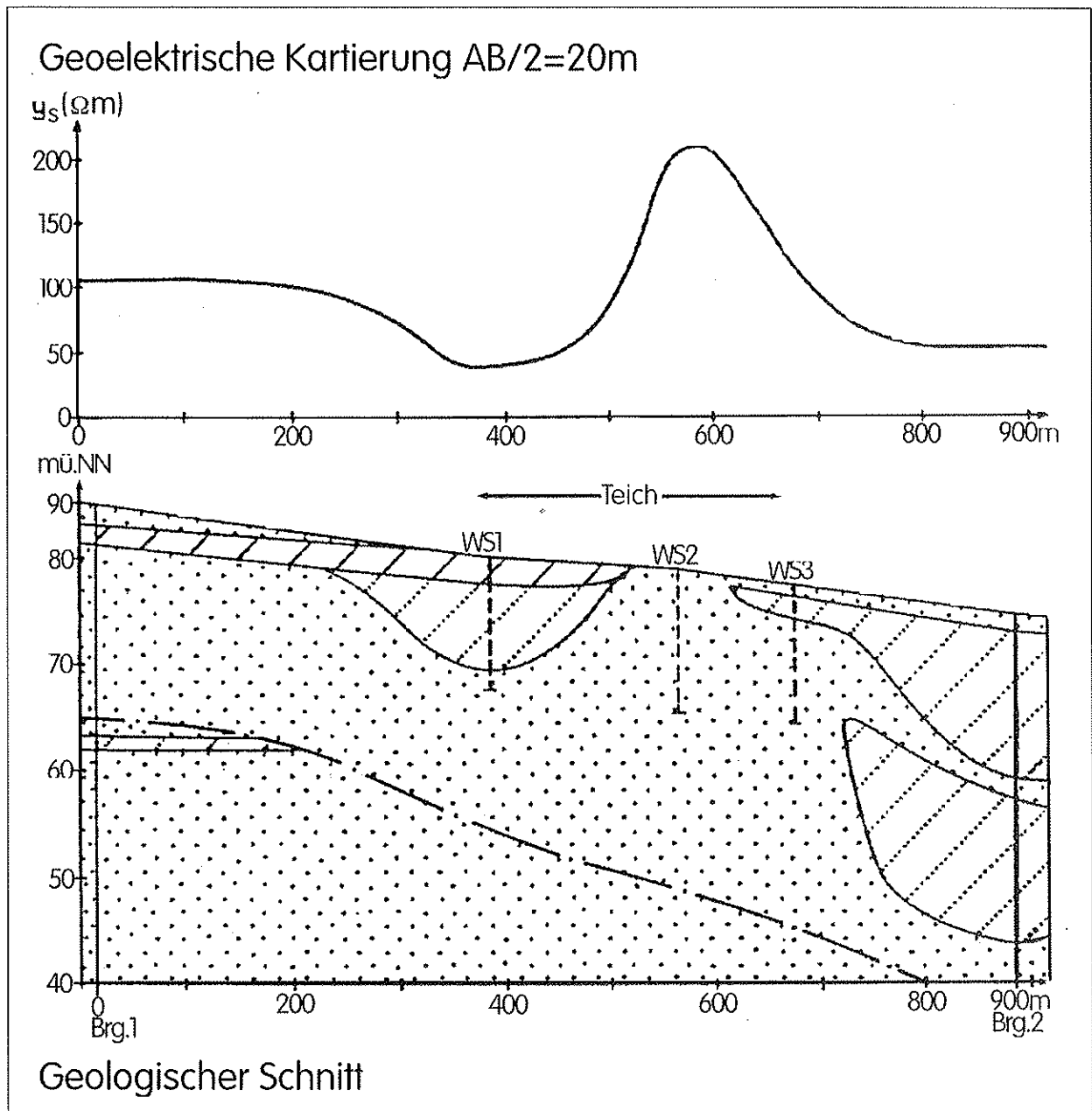


Bild 4: Geoelektrisches Profil und geologischer Schnitt

5.2 Erweiterung einer Deponie

Zur Vergrößerung einer Deponiefläche erfolgten Baugrunduntersuchungen. Mit Georadarmessungen im Profilabstand von 5 m konnten in einem homogen abgelagerten sandig-kiesigen Untergrund Unregelmäßigkeiten im Radargrammbild festgestellt werden. Durch eine gezielte Schachtung ist als Ursache ein verdeckter Graben mit Müllablagerungen ermittelt worden. Insgesamt wurden drei Gräben (5 x 15 m) nachgewiesen, was zunächst zum Baustopp führte. Gleichzeitig erkennt man im linken Teil des Bildes 6 die sehr geringe Eindringtiefe im Bereich der vorhandenen Hausmülldeponie. Mit dem Georadar sind dort oberflächennahe Schrotteinlagerungen erkennbar.

5.3 Komplexe Untersuchung eines neuen Deponiestandortes

Zur Auswahl eines optimalen Deponiestandortes in Südbrandenburg kamen 4 Bereiche in die engere Auswahl. Dazu ist schrittweise ein komplexes Untersuchungsprogramm realisiert worden. Zunächst wurden flächendeckend zwei geoelektrische Kartierungen mit den Wirkungstiefen von ca. 2 m ($L/2 = 5$ m) und 10 m ($L/2 = 30$ m) durchgeführt. Das Ergebnis in Bild 7 zeigt sehr unterschiedliche Widerstandsverteilungen. Während in den Flächen 1 und 2 hoch- und niederohmige Bereiche vorliegen, ist die Fläche 3 niederohmig und die Fläche 4 sehr hochohmig ausgebildet.

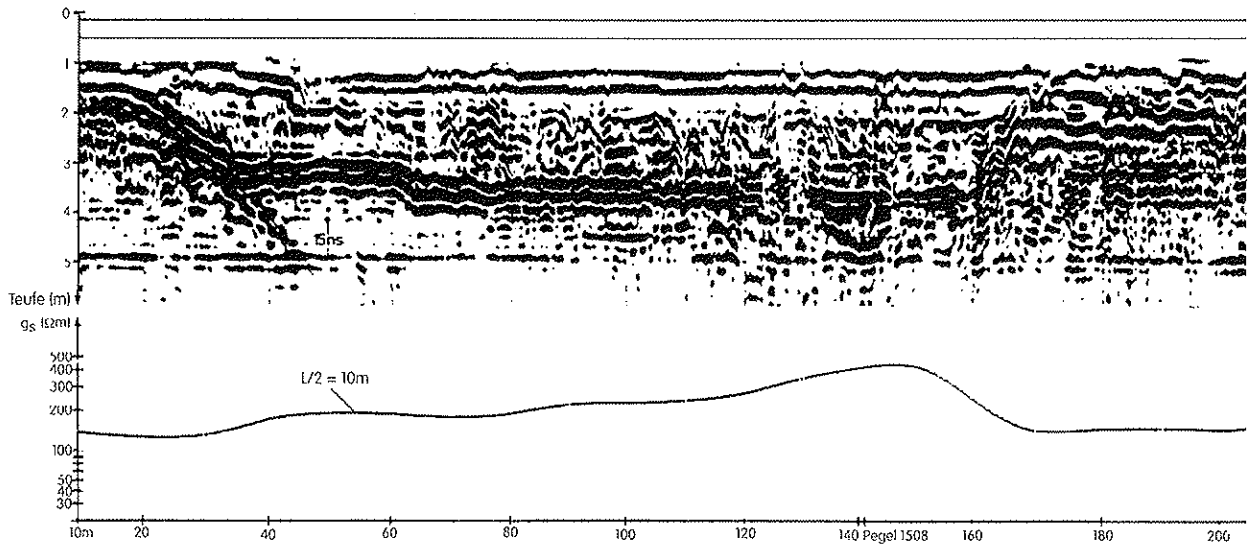


Bild 5: Geoelektrisches Profil und Radargramm einer rolligen Kippe

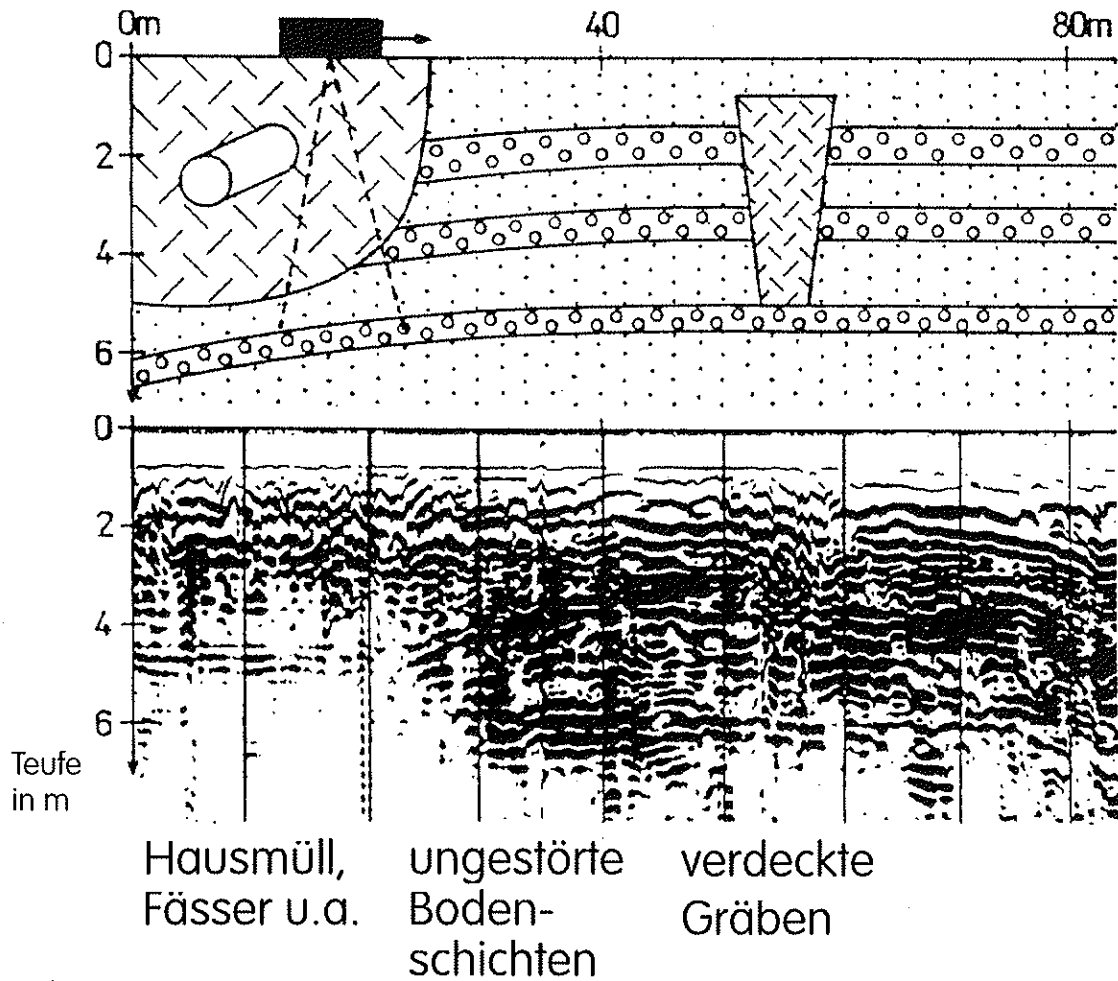


Bild 6: Radargramm einer Baugrund- und Deponieuntersuchung

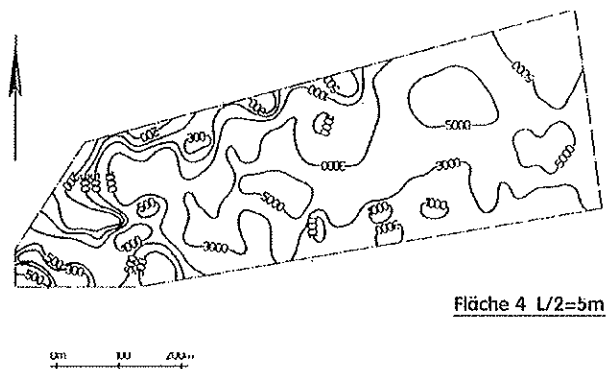
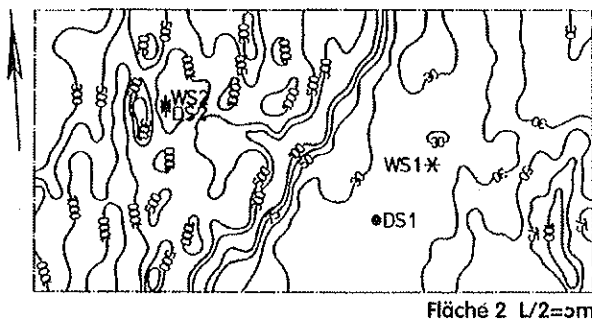
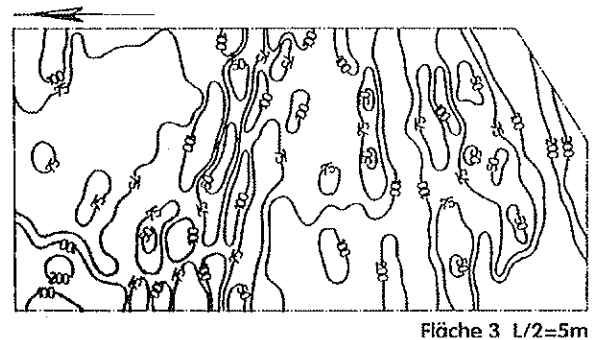
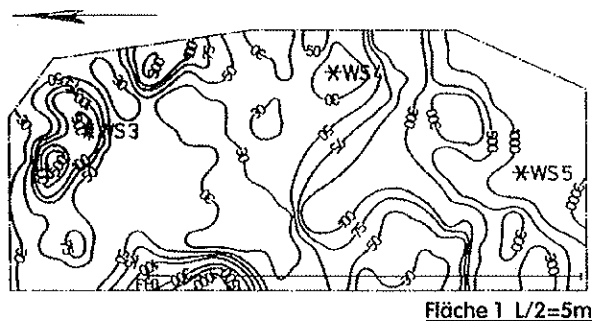


Bild 7: Geoelektrische Kartierung $L/2 = 5\text{ m}$ von 4 Teilflächen

Die ausgeprägten Streichrichtungen in Fläche 3 bilden die Kipptechnologie dieser Tagebaukippe ab. Die geeignete Fläche 4 mußte aus anderen Gründen verworfen werden, so daß sich die weiteren Untersuchungen zum vertikalen Schichtaufbau und Kennwertbestimmung auf die Fläche 1 und 2 konzentrieren.

Die in Fläche 2 durchgeführten Tiefensondierungen (Bild 8) ergaben zwei unterschiedliche Schichtenprofile. In der WS 1 (niederohmige Zone) folgt nach 0,5 m Feinsand ein mächtiges bindig-toniges Schichtpaket. Die WS 2 dagegen weist bis 10,1 m Sand und Kies aus.

Zur weiteren bodenphysikalischen Kennzeichnung dieser unterschiedlichen Baugrundverhältnisse sind Drucksondierungen mit der radiometrischen Kombinationsdrucksonde (neben Spitzen- und Porenwasserdruck, Messung der natürlichen und künstlichen Gammastrahlung sowie Neutronenstrahlung) realisiert worden. Die nach entsprechender Eichung durchgeführte quantitative Auswertung dieser beiden Drucksondierungen sind in Bild 9 dargestellt.

Die teufengerechte Auswertung des Spitzendrucks, des Feinkornanteiles, der Rohdichte, der Porosität und des Wassergehaltes zeigen deutliche Unterschiede zwischen beiden Sondierungspunkten sowie auch Veränderungen mit der Teufe. Auf dieser Grundlage einschließlich einiger Laboruntersuchungen konnte eine Ansprache verschiedener Mischbodenarten und des Sandes erfolgen. Die dazugehöri-

gen Parameter und das vereinfachte Baugrundmodell sind im Bild 10 dargestellt.

Auf dieser Grundlage wurde schließlich im Vergleich mit der Fläche 1 die endgültige Auswahl des Deponiestandortes vorgenommen. Dieses Beispiel zeigt, daß durch eine komplexe Bearbeitung mit relativ geringem Aufwand eine optimale Auswahl erreicht und ein repräsentatives Ergebnis für den Deponiestandort erhalten wurde.

6. Empfehlungen zur geophysikalischen Voruntersuchung für Deponiestandorte

Durch die Kombination von flächen- und profildeckenden Aussagen mit Punktaufschlüssen (Bohrungen und Sondierungen) wird eine hohe Aussageicherheit und Qualität der Erkundungsergebnisse erreicht. Deshalb sind in Abhängigkeit von den örtlichen geologischen und geotechnischen Bedingungen nachfolgende Methoden einzeln oder in Ergänzung einsetzbar:

- Mikrogravimetrie (Festgesteinsmassiv, Hohlräume),
- geoelektrische Kartierung (Anomaliezonen, Verteilung, rollig-bindig)
- geoelektrische Tiefensondierung
- elektromagnetische Messungen (Streichrichtungen, Anomaliezonen)
- Georadar (Detailerkundung von Schichtgrenzen und Störeinsparungen bis 10 m)
- Kleinseismik (Festgesteinsoberkante, GW, Schichtgrenze ab 10 m)

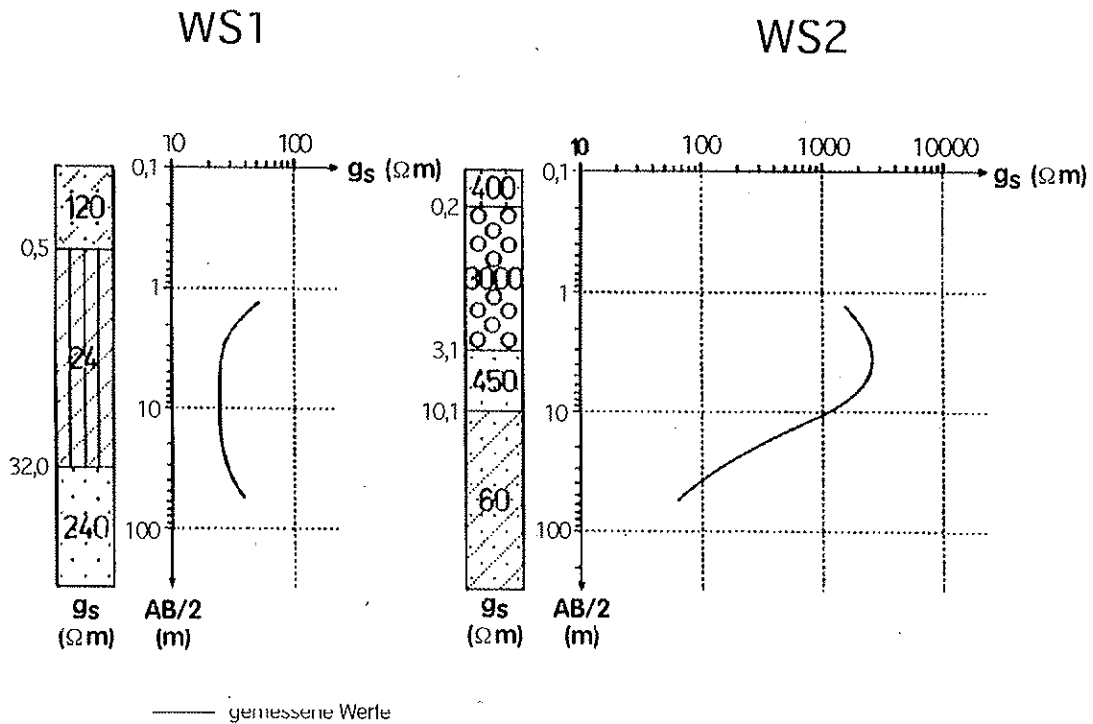


Bild 8: Widerstandstiefensondierungen WS 1 und WS 2 in der Teilfläche 2

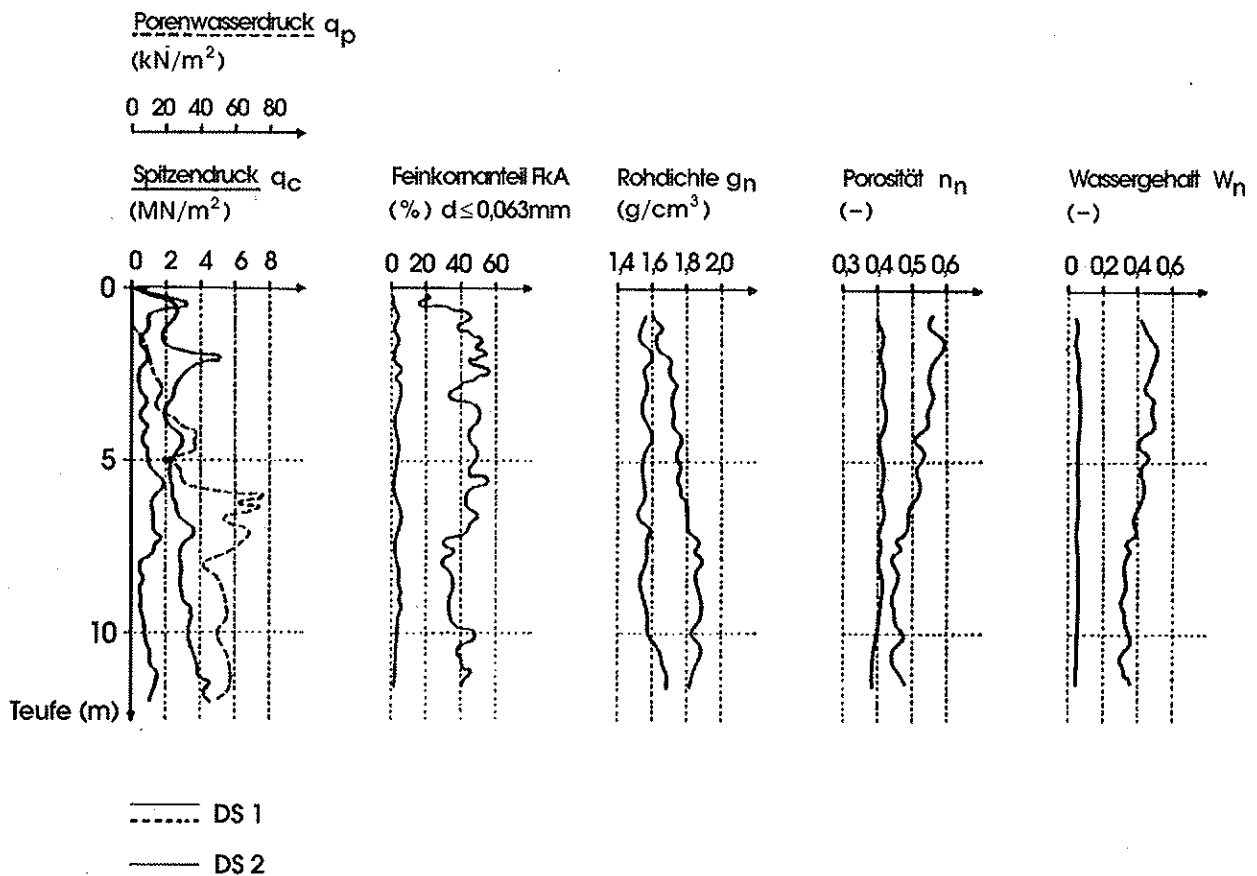


Bild 9: Quantitative Auswertung der radiometrischen Kombinationsdrucksondierung in Fläche 2 DS1 (linke Kurve) und DS2 (rechte Kurve)

$$E_s = V \cdot 100 \left(\frac{6 + 0,5 \Delta 6}{100} \right)^w \quad [\text{kN/m}^2]$$

Nr.	Ansprache	V	w	ϕ [°]	c [kN/m ²]	ρ_n [kN/m ³]
1	Misch- boden A	80 ... 110	0,7	28	15	17,0
2	Sand	320 ... 600	0,5	34	10	17,5
3	Misch- boden B	70 ... 90	0,5	27	10	17,5
4	Misch- boden C	50 ... 70	0,6	25	20	18,0

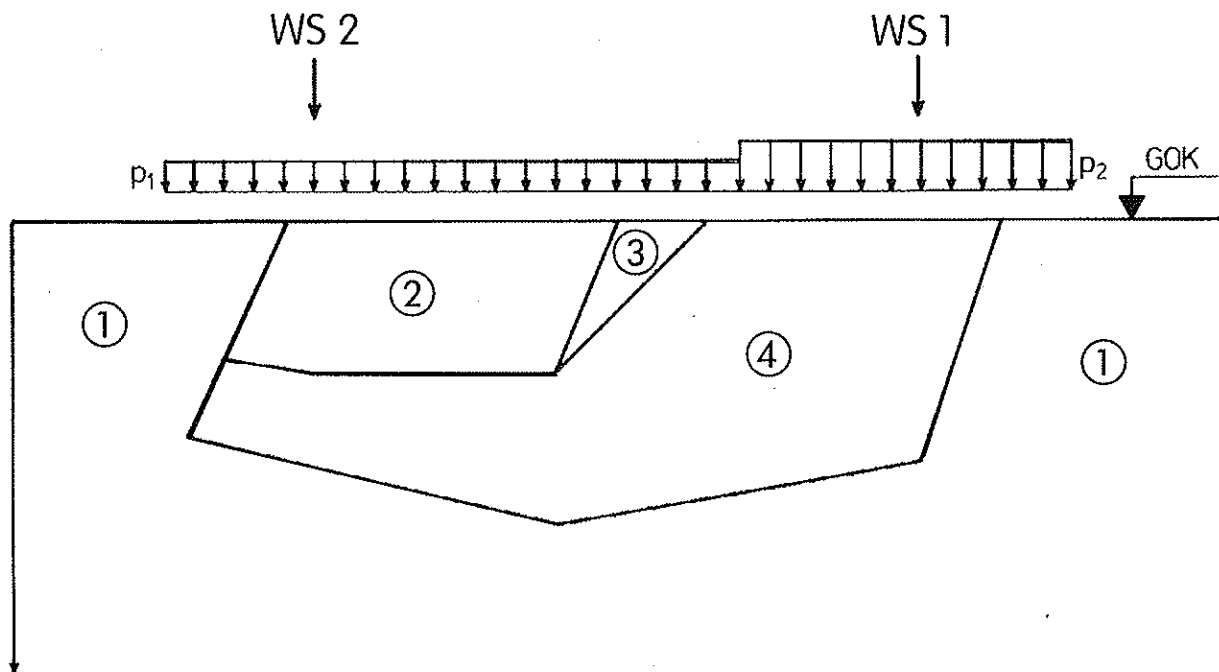


Bild 10: Vereinfachtes Baugrundmodell (überhöhte Darstellung) Fläche 2: Teilprofil WS1 - WS2

– Radimetrische Kombinationsdrucksondierungen und gezielte Probennahme.

Je früher die Geophysik eingesetzt wird, um so effektiver können die Ergebnisse das Gesamtprojekt beeinflussen. Bei zeitlich und methodisch richtiger Einordnung führt die Anwendung geophysikalischer Verfahren zu einer höheren Repräsentanz der Ergebnisse und zur Kostenreduzierung.

Literatur

FORKMANN, B.; PETZOLD, H.:
Prinzip und Anwendung des Gesteinsradars zur Erkundung des Nahbereiches
Freib. Forschungshefte C 432, Leipzig (1989)

JACOBS, F.; PETZOLD, H.; NITSCH, K.-H.:
Goelektrische Erkundung von Lagerungsstörungen in Lockergesteinen Geologie und Geophysik, Band III, Heft 4, Berlin, 1987

MILITZER, H.; WEBER, F.:
Angewandte Geophysik, Band 1-3
Springer Verlag, Wien, 1987

VORGELANG, D.:
Geophysik an Altlasten
Springer Verlag, Berlin, 1991

*Dr. rer. nat. Hellfried Petzold
Dipl. Geophysiker Karl-Heinz Nitsch
Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft,
Senftenberg*

*Dipl.-Ing. Volker Böhme
Ingenieurbüro Böhme und Partner,
Spremberg*

Einsatzmöglichkeiten der dynamischen Intensivverdichtung

Volker Böhme, Ingenieurbüro Böhme & Partner GmbH,
Spremberg

1. Einführung

In der Vergangenheit wurden zahlreiche Verfahren zur Bodenstabilisierung entwickelt. Die in der Praxis am häufigsten angewendeten Verfahren beruhen auf folgenden Wirkprinzipien:

- Fixierung der Gesteinskörner durch Verkleben und/oder Verfüllen der Poren durch Injektionen
- Verringerung des Porenraumes durch Verdichten.

Die Wahl eines geeigneten Verfahrens richtet sich nach der zu lösenden Aufgabe, dem anstehenden Boden und ökonomischen Aspekten.

Die nach dem Wirkprinzip der Verdichtung angewendeten Verfahren unterscheiden sich durch die Art der Einwirkung und Übertragung der Verdichtungsenergie.

2. Dynamische Intensivverdichtung

2.1 Historie, Technologie

Die Dynamische Intensivverdichtung (DYNIV) wird seit Anfang der 70er Jahre (MENARD, Frankreich) angewendet.

Der technologische Ablauf ist folgender:

Ein Fallgewicht aus Stahlbeton mit meist quadratischer Grundfläche von mindestens 2 m mal 2 m und einem Gewicht $G \geq 5$ t wird aus großer Höhe ($h \geq 10$ m) auf die Oberfläche des zu verdichtenden Untergrundes fallengelassen (Bild 1). Die Stoßbelastung verursacht verschiedene Verformungsvorgänge, die an der Oberfläche zu beachtlichen Setzungen führen. Radial um den Aufschlagtrichter sind oft deutliche Risse und das Entweichen von Gasen und Wasser zu beobachten. Der Aufschlagtrichter ist nach einigen Aufschlägen jeweils mit Material aufzufüllen, um ein Verkanten des Fallgewichtes beim Aufschlag zu vermeiden.

Die Anzahl der Schläge je Aufschlagstelle und das Aufschlagstellenraster werden im allgemeinen auf der Grundlage von Feldversuchen ermittelt und vorgegeben (Bild 2).

Dynamische Intensivverdichtungen wurden mit Fallgewichten bis 200 t und Fallhöhen bis 40 m ausgeführt.

Mit Ausnahme von Ton lassen sich alle Bodenarten, auch Torfe, sowie Müll verdichten. Bindige Böden können Wassergehalte bis zur Fließgrenze enthalten.

Die Kontrolle des Verdichtungserfolges ergibt sich aus Messungen vor und nach der Verdichtung; vorzugsweise mittels Sondierungen nach DIN 4094.

2.2 Verdichtungs Vorgang

Wegen der im Verhältnis zu Konsolidierungsvorgängen im Boden kurzfristigen Eintragung von Verdichtungsenergie kommt der Entwicklung des Porenwasserdruckes (PWD) im Boden besondere Bedeutung zu.

Man unterscheidet daher zwei Fälle:

- Ansteigen des Porenwasserdruckes während der Verdichtung (dynamic consolidation)
- keine Zunahme des Porenwasserdruckes infolge Verdichtung, in der Literatur als „Schockbruchverdichtung“ bezeichnet.

Der erstgenannte Fall bezieht sich auf Böden mit hohem Feinkornanteil.

Der Porenwasserdruck steigt im Baugrund während der Bearbeitung bis auf einen Grenzwert an, der auch durch weitere Impulslasten nicht mehr erhöht werden kann. Erfahrungsgemäß tritt dieser Zustand nach 3 bis 8 Schlägen ein. Bei Erreichen des Grenzwertes erfolgt die Weiterfahrt des Gerätes zum nächsten Rasterpunkt. Während der folgenden Ruhepause, die je nach Bodenart bis zu mehreren Stunden, eventuell bis zu einigen Wochen dauern kann, klingt der Porenwasserdruck ab. Wichtig ist, daß der Abbau des Porenwasserdruckes schneller vonstatten geht, als von den bekannten Ödometerversuchen her geschätzt wird. Nach Bearbeitung aller Rasterpunkte können noch 2 bis 4 weitere Übergänge erforderlich sein.

Im zweiten Fall treten keine durch PWD erzwungenen Pausen auf. Die erforderliche Zahl von Schlägen wird hintereinander aufgebracht, ehe am nächsten Rasterpunkt die Verdichtung erfolgt.

Vergleichende Untersuchungen haben ergeben, daß die beim Einsatz der DYNIV aufgewendete Energie wesentlich geringer ist als die mit anderen Verfahren bei gleichem Erfolg. Dieser Umstand wird auf die

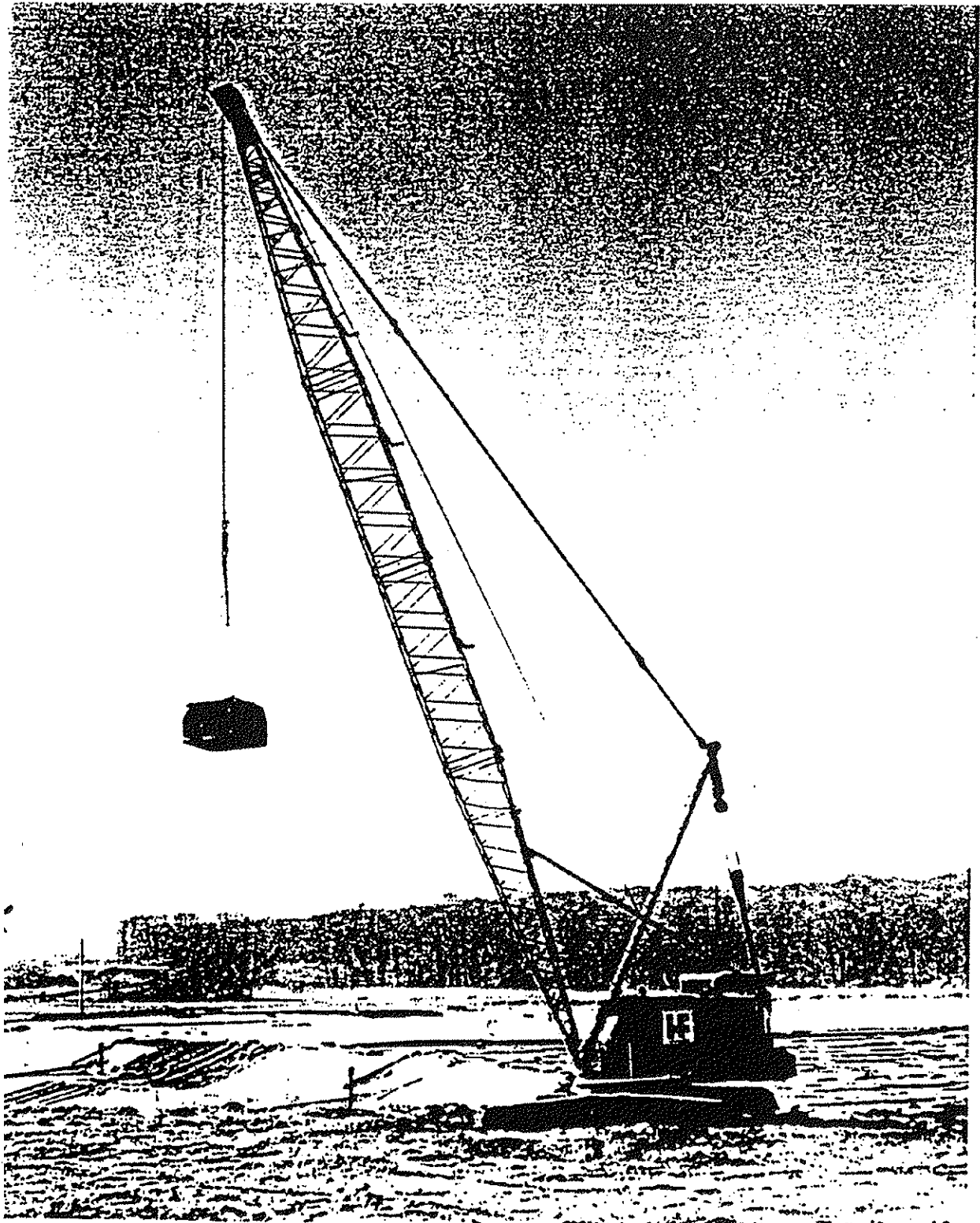


Bild 1 Dynamische Intensivverdichtung (DYNIV)

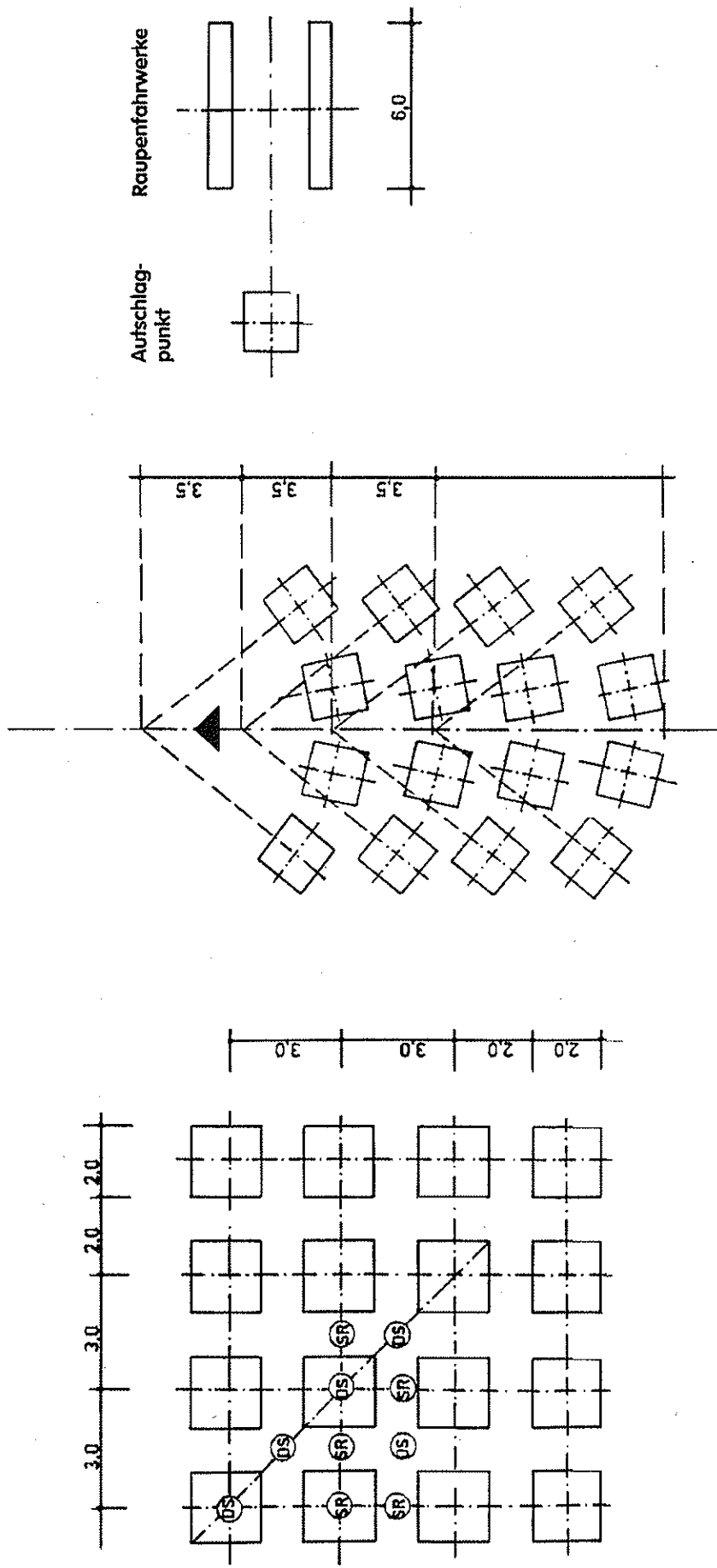


Bild 2 DYNIV - Anordnungen von Aufschlagstellen (Raster)

Fallenergie E_1 je Schlag

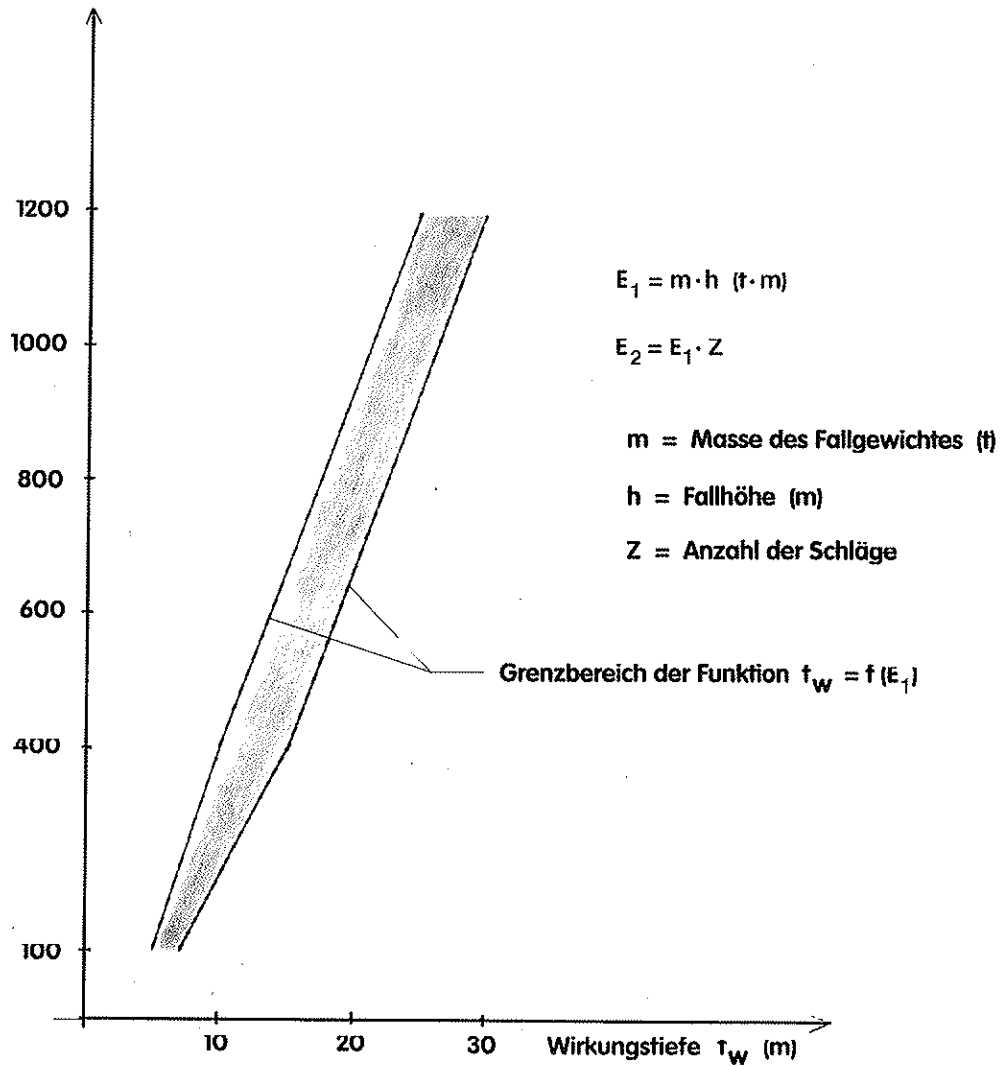


Bild 3 Abhängigkeit der Wirkungstiefe von E_1

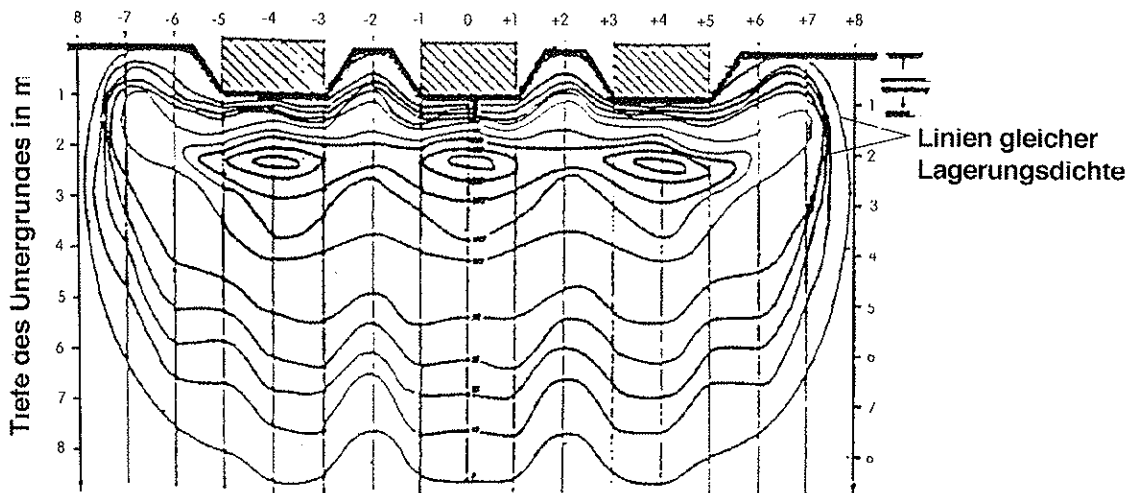


Bild 4 Vertikalschnitt einer mit DYNIV verdichteten Fläche

Verringerung der inneren Reibung durch Entweichen der Gase beim Aufschlag des Fallgewichtes erklärt.

Bei Einsatz der DYNIV gilt als Faustregel für quasihomogenes Bodenmaterial:

- Die erreichbare Tiefe der Verdichtung (Wirkungstiefe t_w) ist abhängig von der Fallenergie (potentielle Energie), die in Bild 3 vereinfacht als Produkt aus Fallgewicht (G in t) und Fallhöhe (h in m) dargestellt ist.
- Die jeweils erreichte Verdichtung ist im Bild 4 dargestellt und ist abhängig von der Anzahl der Schläge bzw. der Energie E_2 , wobei die Zunahme der Verdichtung je Schlag sich asymptotisch zu einem Grenzwert verhält.

2.3 Abschließende Bemerkungen

Die dynamische Intensivverdichtung (DYNIV) ist ein anwendungsreifes, in der Praxis bewährtes und kostengünstiges Verfahren zur Verdichtung fast aller Bodenarten und anderer, flächenhaft abgelagerter Materialien.

Mit in der Praxis erreichten Verdichtungstiefen von 3 bis 25 m kann sie zwischen die Oberflächenverdichtung (Platte, Walze) und die Tiefenverdichtung (Tiefenrüttler, Sprengverfahren) eingeordnet werden. Sie eignet sich besonders bei großen, grobplanierten Flächen zur Vorwegnahme von Setzungen infolge Auflast (z.B. Deponien auf Tagebaukippen) und Sackungen.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit der DYNIV wird auf solchen Oberflächen von Tagebaukippen gesehen, bei denen das verkippte Material als verflüssigungsempfindlich eingestuft wird, der Grundwasserspiegel eine entsprechende Höhe erreicht und die sich außerhalb von Bereichen möglicher Setzungsfließen befinden.

*Dipl.-Ing. Volker Böhme
Ingenieurbüro Böhme und Partner GmbH,
Spremberg*

Dynamische Stabilisierung des setzungsfließgefährdeten Randbereiches der Innenkippe des ehemaligen Tagebaues Koschen durch Sprengen

Walther Kuntze

Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft, Senftenberg

1. Vorbemerkungen

Im Ergebnis des Braunkohlenabbaues in Tagebauen der Niederlausitz verblieb eine Vielzahl wassergefüllter Restlöcher. Bei nahezu allen Restlöchern ist ein größerer Abschnitt des Ufers Kippenrand.

Auf Grund der sehr lockeren Lagerung der verkipperten vorherrschenden Sande besteht bei Grundwasserwiederanstieg in solchen Bereichen die Gefahr einer „Verflüssigung“ des Sandboden-Wasser-Gemisches, die sich in Setzungsfließ-Rutschungen auswirken kann (Bild 1).

Solche Ereignisse

- kündigen sich nicht durch übliche Rutschungsanzeichen (Rißbildungen u.a.) an,
- beginnen plötzlich und laufen in kurzer Zeit, meist innerhalb weniger Minuten ab,
- können in der angrenzenden Wasserfläche zu Flutwellen führen (Badeverbot),
- erfassen oftmals weite Kippenbereiche im Böschungshinterland (bis zu ca. 600 m) und
- führten immer wieder zu schwerwiegenden Verlusten an Menschen und Technik (FÖRSTER, VOGT 1992).

Deshalb sind im Ergebnis bodenmechanischer Standsicherheitsuntersuchungen längs der Restlochufer bis zu ca. 600 m breite Kippenstreifen gegen jede Art der Nutzung und das Betreten gesperrt. Diese, mit den Schildern

„Lebensgefahr
Betreten verboten“

gekennzeichneten Sperrstreifen nehmen in der Lausitz insgesamt eine Fläche von ca. 50,6 km² ein.

An den Ufern des Tagebaurestloches „Koschener See“ sind Kippenstreifen mit einer

Länge von ca. 10,5 km und einer
Fläche von ca. 345 ha

gesperrt.

Ganz abgesehen von dem Verlust an nutzbarer Fläche ist ein sicheres Sperren vor allem gegen Betreten erfahrungsgemäß nicht zu garantieren.

Es ist also zwingend erforderlich, die setzungsfließgefährdeten Bereiche so zu sichern, daß keine Rutschungsgefahr mehr besteht.

Aus den in Betracht kommenden technischen Möglichkeiten zur Sicherung solcher Bereiche zeichnet sich die dynamische Stabilisierung durch Sprengen auch unter dem Aspekt der Größe der zu sanierenden Fläche als geeignetes und kostengünstiges Verfahren ab.

Mit dem Ziel, die bestehende Setzungsfließ-Rutschungsgefahr in den Sperrbereichen des Restlochkomplexes Sedlitz-Skado-Koschen zu beseitigen, wurde mit der Sprengstabilisierung zunächst in der Innenkippe des ehemaligen Tagebaues Koschen begonnen.



Bild 1

Rutschungskessel des Setzungsfließens vom 19.06.1991 am Restloch „Skado“. Dieses Setzungsfließen zerstörte eine abgeflachte Absetzerkippenböschung und reichte in Richtung Hinterland bis an das gewachsene Randböschungssystem des ehemaligen Tagebaues „Skado“ heran.

Mögliche Initialwirkungen:

- Wellenschlag
- Sackungen im Kippenboden infolge Grundwasseranstieg.

2. Geotechnische Situation in dem setzungsfließgefährdeten Kippenrandbereich

Das Innenkippenmassiv ist in diesem Bereich bis ca. 45 m mächtig und besteht aus einer Pflugkippe und zwei Absetzertiefschüttungen (Kippenaufbau in Bild 7).

Die Verflüssigungsneigung des hauptsächlich aus Sanden zusammengesetzten Kippenmassives zeigte sich in mehreren Rutschungen während der Flutung des Restloches Koschen.

Der Kippengrundwasserspiegel befindet sich in Höhe des Wasserspiegels im Koschener See und etwa 7 m unter der Geländeoberfläche.

Die Uferböschung wurde vor der Flutung des Restloches auf eine Neigung von ca. 8° abgeflacht.

Das Restlochufer ist durch 300 - 600 m breite Sperrstreifen gegen Betreten und Befahren gesichert.

Die geotechnische Situation geht aus der Lageskizze und dem geologisch-geometrischen Schnitt A hervor.

3. Technologische Erläuterungen zur Sprengstabilisierung

In das zu stabilisierende Kippengebiet werden in einem bestimmten Raster Bohrlöcher niedergebracht, diese mit bemessenen Sprengstoffmengen besetzt und in einem vorgegebenen Zündregime abgetan.

Die Dimensionierung der Sprengparameter (Abstand der Sprengbohrlöcher, Ladungsteufe und -menge, Zündzeitfolge und Reihenfolge des Initialeintrages) erfolgt an Hand von Richtlinien (u.a. KESSLER, FOERSTER 1992). Diese Parameter werden in Vorversuchen unter vergleichbaren Bedingungen in der Kippe getestet. Die Stabilisierung wird im uferfernen Hinterland begonnen und „Vor Kopf“ in Richtung Ufer vorangetrieben.

Die Sprengbohrlöcher werden im Rotary-Spülbohrverfahren und unverrohrt abgeteuft (Bild 2) und mit den Sprengladungen besetzt (Bild 3). Nach dem

Beräumen und Absperren des jeweiligen Sprengfeldes erfolgt die Zündung der Ladungen (Bild 4 und Bild 4.1).

Durch den hohen Detonationsdruck und die Erschütterungswirkung wird das Sandkorngefüge im wassergesättigten Untergrund zerstört und es kommt zu einer Verflüssigung in dem Sprengfeld. Infolge Eigengewicht der überlagernden Schichten entstehen im Untergrund enorme Porenwasserüberdrücke, die sich oftmals in Form von Wasserfontänen an der Oberfläche abbauen (Bild 5).

Während der ablaufenden Sackungen und Setzungen wird eine Umordnung der Sandkörner und eine dichtere Lagerung des Bodens erzielt. Dabei entsteht an der Oberfläche eine Absenkmulde (Bild 6).

Die Eigenstabilisierung der Kippe, in der gesprengt wurde, erfolgt innerhalb eines Tages. Dadurch ist täglich die Sicherheit von Personal und Technik bei der Durchführung der Arbeiten im unmittelbaren Vorfeld gewährleistet.

Die Stabilisierung erfolgt zunächst in Form eines uferparallel verlaufenden Kippenstreifens (vgl. Lageskizze Koschener See).

Dieser sogenannte „versteckte“ Damm wirkt im Falle einer Verflüssigung des wassergesättigten Kippenbodens im uferfernen Hinterland als Stützkörper und an dessen uferseitiger Begrenzung kommen Setzungsfließen, die an der Böschung eintreten, zum Stillstand (Prinzip im geologisch-geometrischen Schnitt A dargestellt). Im Anschluß daran wird „vor Kopf“ das uferseitige Vorfeld des „versteckten“ Dammes stabilisiert.

Der Nachweis des Stabilisierungserfolges verlangt begleitende Messungen und Prüfungen, die den Zustand der Kippe vor und nach der Sprengstabilisierung erfassen. Dazu gehören u.a. markscheiderische Höhennivellements (Ermittlung der Oberflächenabsenkung), Drucksondierungen (Erfassung der Lagerungsdichteänderung), Prüfungen an ungestört entnommenen Bodenproben (Gefriermethode) im Labor und Sonderprüfungen in repräsentativen Kippenbereichen (in situ - Verflüssigungstest, Scherwellengeschwindigkeitsmessungen).



Bild 2
Abteufen der Sprengbohrlöcher in einem bestimmten Raster
Im Vordergrund Aushubmassen aus den Bohrspülungsgruben;
im Hintergrund Drucksonde im Einsatz.



Bild 3
Nach dem „Klarspülen“ des Sprengbohrloches erfolgt der Ladungseinbau im vorliegenden Fall in zwei Etagen.
Im Vordergrund sind zwei Sprengladungen abgelegt.



Bild 4
Sprengfeld beim „Abtun der Ladungen“. Das Feld wurde vor dem Sprengen geräumt und das Zünden erfolgt mit Standort im sicheren uferfernen Hinterland – „Detonationsdruckphase“.

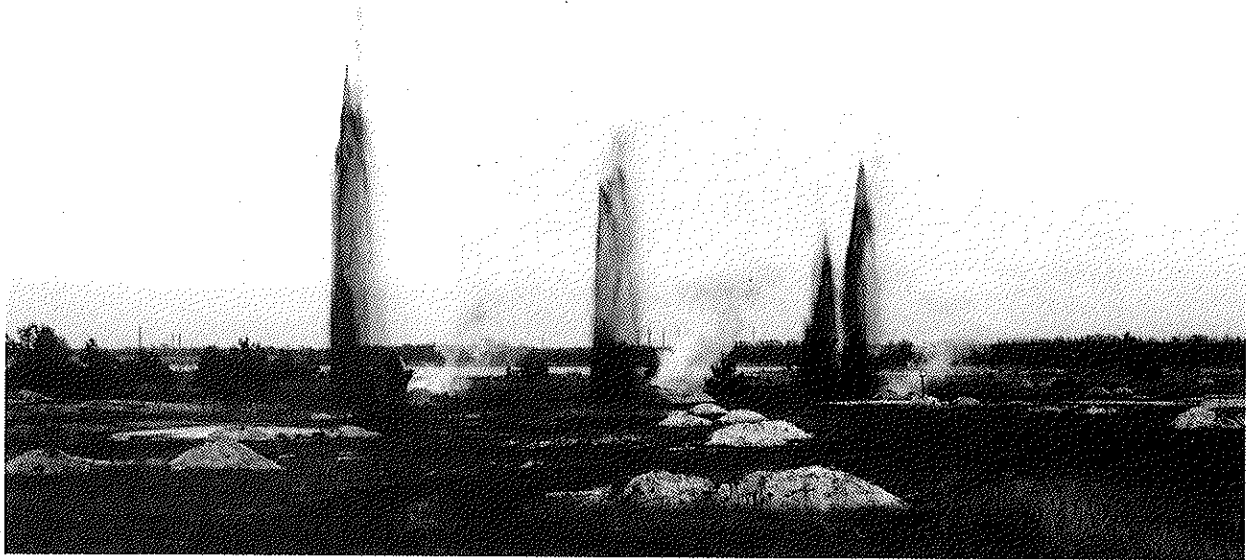


Bild 4.1
Sprengfeld unmittelbar nach dem Zünden der Ladungen – „Gasdruckphase“.
Der im Untergrund mobilisierte Gasdruck baut sich zum Teil in Form von Bohrspülungsfontänen ab.



Bild 5
Nach dem Initialeintrag entstehen infolge Eigengewicht der überlagernden Schichten im Untergrund enorme Porenwasserüberdrücke, die sich oftmals in Form von Wasserfontänen an der Oberfläche bis zu 30 Minuten lang abbauen. Dies erfolgt meist über die Sprengbohrlöcher (im Bild).



Bild 6

Einen Tag später sind die mobilisierten Porenwasserüberdrücke, Sackungen und Setzungen weitestgehend abgeklungen und die Stabilisierungsarbeiten können im angrenzenden Bereich weitergeführt werden. Die Absenkungsmulde des vorangegangenen Sprengfeldes (im Vordergrund) ist mit ausgepreßtem Porenwasser gefüllt.

4. Erste Ergebnisse der Sprengstabilisierung

Mit der dynamischen Kippenbodenstabilisierung in den Gebieten Phase I, II, III und IV (in der Lageskizze dargestellt) wurde die systematische Beseitigung der Setzungsfließ-Rutschungsgefahr in der Innenkippe des ehemaligen Tagebaues Koschen erfolgreich begonnen.

Gegenwärtig stehen die Stabilisierungsarbeiten im Gebiet der Phase IV kurz vor dem Abschluß.

Im Verlauf der Stabilisierung trat innerhalb des stabilisierten Gebietes eine mittlere Oberflächenabsenkung von $\Delta h = 1,55$ m ein (Ergebnis des marksscheiderischen Höhennivellements vor und nach dem Sprengen).

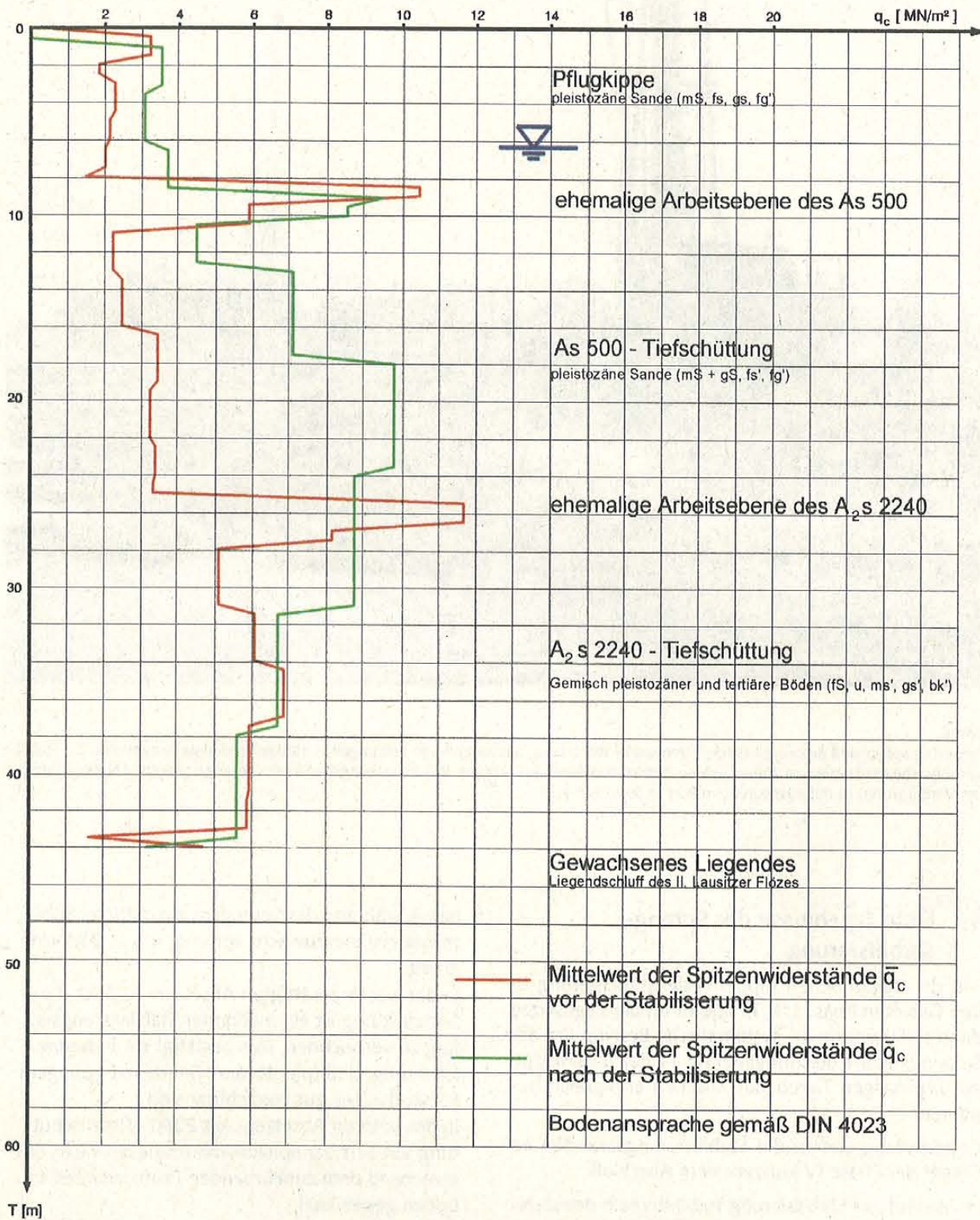
Ein Vergleich der Ergebnisse von Drucksondierungen vor und nach der Stabilisierung ist im Bild 7 dargestellt (Nacherkundung bisher nur in einem Teilbereich des Gebietes Phase III abgeschlossen):

- In der überwiegend erdfuchten Pflugkippe über dem Grundwasserspiegel wurde auf Grund der Dy-

namik während des Sprengens ein mittlerer Spitzenwiderstandszuwachs von $\Delta q_c = 1 \dots 2 \text{ MN/m}^2$ erzielt.

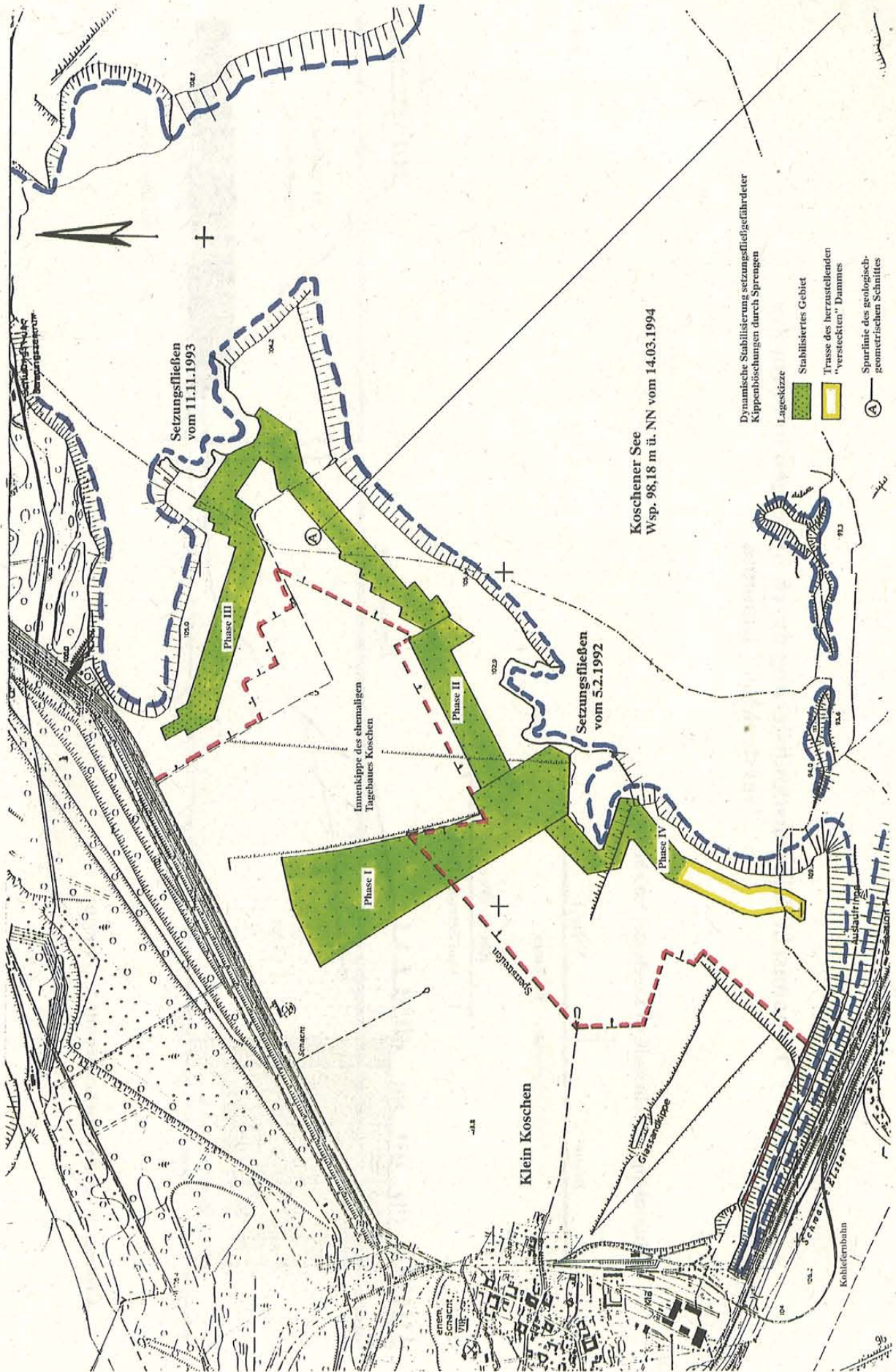
- In der wassergesättigten Absetzer- As 500 -Tiefenschüttung ist ein markanter Stabilisierungserfolg zu verzeichnen. Das bestätigt die bisherige Erfahrung, daß (pleistozäne) Sande mit geringem Feinkornanteil gut verdichtbar sind.
- In der unteren Absetzer- A_{2s} 2240 -Tiefenschüttung tendiert der Spitzenwiderstandszuwachs entsprechend dem zunehmenden Feinkornanteil im Boden gegen Null. Das Entstehen großräumiger Verflüssigungen in diesem Teufenbereich ist wegen des erhöhten Feinkornanteiles unwahrscheinlich.
- Infolge der Sprengungen wurden zwei Setzungsfließ - Rutschungen in besonders labilen Uferböschungsabschnitten ausgelöst (Rutschungskessel der Setzungsfließen vom 05.02.92 und vom 11.11.93 in der Lageskizze).

Diese Böschungsbewegungen kamen in den bereits stabilisierten Gebieten zum Stillstand!



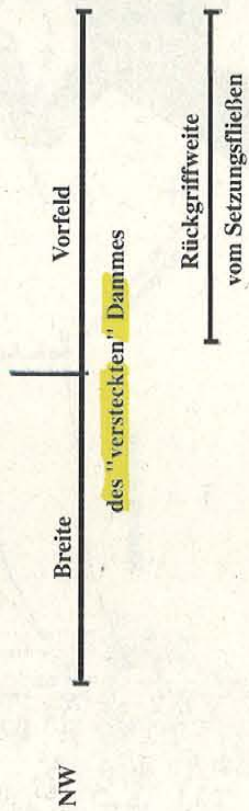
Mittelwert der Spitzenwiderstände von Drucksondierungen im Bauabschnitt I des Gebietes Phase III vor und nach der Stabilisierung

Objekt: Innenkippe des ehemaligen Tagebaues Koschen · Sondierzeitraum: 6.1. - 14.12.1993



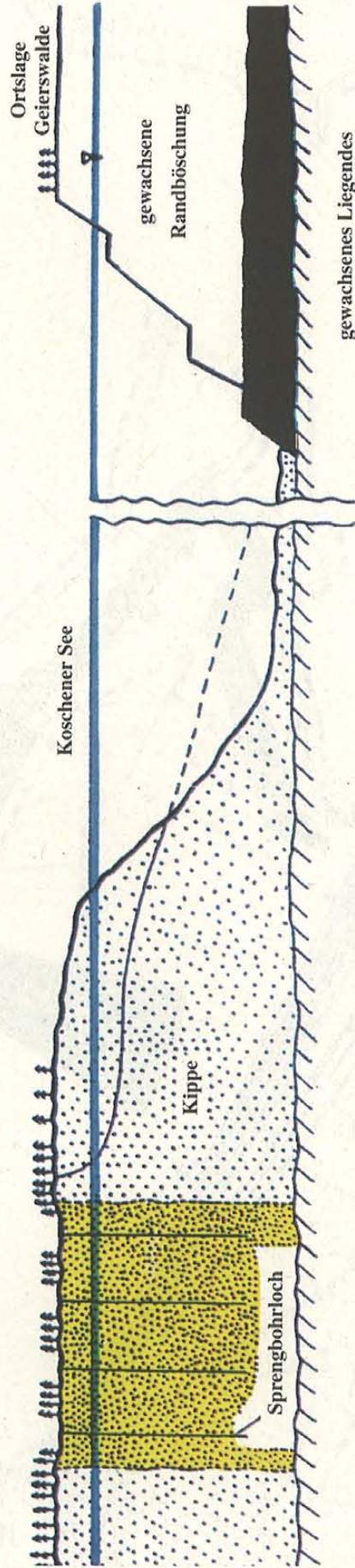
Dynamische Kippenstabilisierung durch Sprengen in Form des "versteckten" Dammes

Innenkippe des ehemaligen Tagebaues Koschen



NW

SO



Geologisch - geometrischer Schnitt A (Prinzip)

Nach Abschluß der Sprengarbeiten in der Dammtrasse sowie der Messungen und Prüfungen in dem hergestellten „versteckten“ Damm in der Innenkippe des ehemaligen Tagebaues Koschen sind die Standsicherheitsverhältnisse neu zu bewerten. Mit dem Nachweis der Stabilität des vorher setzungsfließgefährdeten Gebietes und der Bestätigung des betreffenden Gutachtens durch das zuständige Bergamt kann der stabilisierte Bereich zur Nutzung durch die Öffentlichkeit freigegeben werden.

Literatur

FÖRSTER, W.; VOGT, A.: Rutschung Sedlitz - Beispiel für ein Setzungsfließen in Niederlausitzer Kippen des Braunkohlenbergbaues; Vortrag zur Baugrundtagung Dresden, September 92

KEßLER, J.; FÖRSTER, W.: Sprengverdichtung zur Verbesserung von setzungsfließgefährdeten Kippen; Freiburger Forschungshefte A 819; Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1992

*Dipl.-Ing. Walther Kuntze
Lausitzer Braunkohle AG, Senftenberg
Hauptabteilung Geotechnik,
Abteilung Gebirgs- und Bodenmechanik*