

E 1-5 Standorterkundung bei Verfüllungen in Gruben, Tagebauen und Tagebau-Restlöchern

Stand: GDA 1997

1 Allgemeines

Bei der Standorterkundung ist nach TA Siedlungsabfall, Abschn. 10.3.1 k „das Setzungsverhalten verfüllter Restlöcher“ zu beachten und hinsichtlich der Eignung als Deponieauflager zu beurteilen. Sinngemäß gehören hierzu auch Verfüllungen in Gruben und Tagebauen sowie Aufschüttungen. Die Empfehlung ergänzt somit E 1-1, die sich ausschließlich mit Standorten aufgewachsenem Untergrund befasst. Im Sinne der Anforderungen der TA Siedlungsabfall wird unterschieden zwischen:

- verfüllten Gruben der Steine- und Erdengewinnung (z. B. Steinbrüche, Sand- und Kiesgruben)
- verfüllten Tagebauen und Tagebau-Restlöchern (z. B. Braunkohletagebaue).

Dabei ist hinsichtlich Umfang und Sorgfalt der Untersuchungen auch hier der Grundsatz nach E 1-1 zu beachten, dass Deponien so auszubauen und zu betreiben sind, dass keine schädigenden Stoffe in unzulässigen Mengen in die Biosphäre gelangen. Insbesondere muss das Deponiekonzept in Abhängigkeit von der Ausbildung und dem Setzungsverhalten des Untergrunds gewählt, sowie die Standsicherheit des Deponiekörpers und der Grundwasserschutz beachtet werden. Die Untersuchungsanforderungen von E 1-1 gelten sinngemäß.

2 Verfüllte Gruben der Steine- und Erdgewinnung

2.1 Bestandsaufnahme

Neben den in E 1-1, Abschn. 2, genannten, geologisch orientierten Punkten zur Bestandsaufnahme ist bei Verfüllungen zusätzlich eine Zusammenstellung aller historischen Informationen über die zeitlichen Abbau- und Verfüllungs- bzw. Aufschüttungszustände und -abfolgen sowie deren Geometrie u. a. auf der Grundlage der Betriebs-Chronik nach dem Bundesberggesetz (BBergG) erforderlich. Dies gilt auch für Art und Zusammensetzung der verfüllten Materialien, sowie für die Art des Einbaus, um systematische von wilden Kippenbereichen unterscheiden zu können (s. Bild 1-5.1). Die Beschaffung abbaurechtlicher Grubenbilder und Grubenprofile sowie dazugehöriger geologischer Unterlagen ist hierfür besonders zweckdienlich.

2.2 Aufschlüsse, Feld- und Laboruntersuchungen

Ziel der Aufschlüsse sowie der Feld- und Laborversuche ist, die abgelagerten Materialien nach DIN 4022, Teil I, bodenmechanisch zu identifizieren, nach DIN 18196

zu klassifizieren sowie die Aufschüttungsgrenzen, Schichtmächtigkeiten und Grundwasserzustände zu erkunden, um das Spannungs- Formänderungsverhalten der Aufschüttung auch unter Berücksichtigung veränderlicher Grundwasserstände beurteilen zu können.

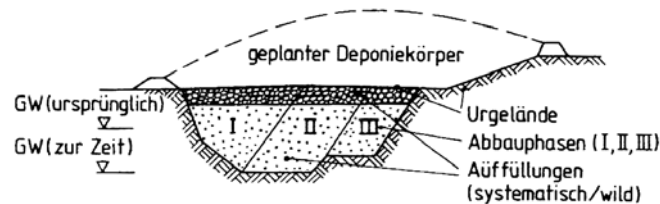


Bild 1-5.1: Bestandsaufnahme bei verfüllten Gruben

Umfang und Auswahl des Feld- und Laborprogramms richten sich nach dem Kenntnisstand über Art, Zusammensetzung und Eigenschaften der anstehenden Materialien sowie über die Grundwasserverhältnisse. Neben den direkten Erkundungsmethoden nach DIN 4021 (Bohrungen und Schürfe) sind zur Bestimmung der Lagerungszustände und der Tragfähigkeit in einem ersten Schritt insbesondere die indirekten Erkundungsmethoden nach DIN 4094 (Druck- und Rammsondierungen) in Verbindung mit den direkten Aufschlüssen geeignet.

Anhand der Ergebnisse des Feld- und Laborprogramms ist zu entscheiden, ob die Feld- und Laboruntersuchungen zusammen mit den direkten Aufschlüssen und der Bestandsaufnahme für die Beurteilung des Standorts ausreichen. Bei unsicheren Beurteilungsgrundlagen (z. B. bei nicht abgrenzbaren Inhomogenitäten und daraus resultierendem unbekanntem Setzungsverhalten) sind zusätzliche Untersuchungen, z. B. Probelastungen, einzusetzen.

2.3 Zusammenfassende Beurteilung

Grundlage für die geotechnische Standortbeurteilung sind neben den in E 1-1 für den gewachsenen Untergrund genannten Gesichtspunkten die Ergebnisse der Standsicherheits- und Setzungsuntersuchungen für die Aufschüttung und den gewachsenen Untergrund, sowie die Beurteilung der sich hieraus ergebenden Verformungseinwirkung auf die Abdichtungssysteme und Einbauten.

Die Standsicherheitsnachweise für den Deponiekörper sind nach E 2-6 unter Berücksichtigung des Endzustandes und ggf. von Bauzuständen zu führen. Bei größeren Setzungsunterschieden ist ein Verformungsnachweis für die mineralischen Abdichtungsschichten nach E 2-13 zu führen.

Hinsichtlich der Sicherheitsbetrachtungen bei Abdichtungssystemen wird auf E 2-17 verwiesen. Anhand der erdstatischen Berechnungen ist außerdem zu beurteilen, inwieweit Maßnahmen zur Reduzierung der Setzungen und Setzungsunterschiede des Deponieauflagers notwendig sind.

Zur Minimierung der Setzungen und Setzungsunterschiede und ggf. zur Erhöhung der Böschungs- und Grundbruchsicherheit sind generell folgende Maßnahmen einzeln oder in Kombination geeignet:

- Einbau einer lagenweise verdichteten Ausgleichs- und Polsterschicht zur Setzungsvorwegnahme als Vorbelastung [3], ggf. verbunden mit einer Kalibrierung der Setzungsprognose.
- Tiefenverdichtung (z. B. Rütteldruck- oder Rüttelstopfverdichtung, dynamische Intensivverdichtung, etc.) [4] u. [5]

3 Verfüllte Tagebaue und Restlöcher

3.1 Allgemeines

Die Wahl des Deponiekonzeptes für einen Standort auf der Kippe eines ehemaligen Tagebaues hängt in besonderem Maße ab von Aufbau und Mächtigkeit des die Deponie unterlagernden Kippensystems, der Gewinnungs- und Versturztechnologie des Tagebaubetriebes, sowie dem langfristigen Wiederanstieg des Grundwassers nach Einstellung der Bergbautätigkeit.

Die genaue Kenntnis und Berücksichtigung dieser Faktoren ist notwendig. Sie beeinflussen in Abhängigkeit von Zusammensetzung und Verbreitung der vor Beginn der Bergbautätigkeit natürlich anstehenden Lockergesteine die wesentlichen Eigenschaften der neu entstandenen künstlichen Lockergesteinsablagerungen wie

- Zusammensetzung und Homogenitätsgrad
- Lagerungsdichte
- Verformungs- und Scherfestigkeitsverhalten
- Sackungsempfindlichkeit.

Die am Kippenstandort abgelagerten Abraummassen sind lediglich unter dem Einfluss ihres Versturzes und der nachfolgenden Konsolidation infolge ihres Eigengewichtes verdichtet. Durch geeignete geotechnische Maßnahmen muss somit erreicht werden, dass durch die als Folge von Eigensetzungen, Lastsetzungen und Sackungen langfristig eintretenden Verformungen die Funktionsfähigkeit des Basisabdichtungs- und des Entwässerungssystems der Deponie zu keinem Zeitpunkt in Frage gestellt wird.

3.2 Bestandsaufnahme

In Ergänzung der schon beschriebenen Elemente der Bestandsaufnahme sind zu berücksichtigen:

- vorhandene geowissenschaftliche Karten des Abbauggebietes
- im anstehenden Untergrund und nachfolgend auf den Kippenflächen niedergebrachte und dokumentierte Bohrungen
- Unterlagen zum Tagebaubetrieb

- regionale geologische und hydrogeologische Verhältnisse des Tagebaues mit Darstellung der Verhältnisse vor dem Abbau, vor allem Stratigraphie, Lithogenese, Tektonik und Hydrogeologie sowie Seismizität
- Tagebautechnologie mit Abbau, Transport- und Versturztechnologie sowie dazu eingesetzte Geräte als wesentliche Einflußfaktoren der Zusammensetzung und der Eigenschaften der aufgefüllten Erdmaterialien am vorgesehenen Deponiestandort
- Aufbau des Kippensystems mit Liegezeiten, Zusammensetzung des aufgefüllten Erdmaterials, Verhalten bei aufgehendem Grundwasser und bei Belastung
- Altlasten in den Kippschichten
- gegenwärtige und künftige hydrogeologische Verhältnisse am vorgesehenen Deponiestandort mit aktuellem Grundwasserstand, Anstiegsgeschwindigkeit und –dauer, Endstand des Grundwassers im Verhältnis zur vorgesehenen Deponiebasis, Grundwasserfließrichtung, Grundwasserqualität und deren Entwicklung.

3.3 Aufschlüsse, Feld- und Laboruntersuchungen

Kippensysteme des Bergbaues können Mächtigkeiten von 100 m und mehr erreichen.

Feld- und Laboruntersuchungen müssen die durch die Bestandsaufnahme ermittelten Besonderheiten dieser Kippensysteme, insbesondere das spezifische Gefüge der aufgefüllten Erdmaterialien und vorhandene Inhomogenitäten berücksichtigen und die Bandbreite der bodenphysikalischen Eigenschaften der Abraummassen nachweisen.

Die direkte Erkundung nach DIN 4021, d. h. hier vorzugsweise durch Kern-Bohrungen nach DIN 4022, Teil 3 mit relativ großem Durchmesser sowie feststehender Hülle ist so zu planen und auszuführen, dass sie zugleich als Leitaufschlüsse für in größerer Anzahl durchzuführende indirekte Erkundungsmaßnahmen, vor allem Sondierungen, insbesondere von Drucksondierungen, dienen [2], [7], [8], [9], [10].

Die mittels direkter Aufschlüsse zu gewinnenden Bodenproben sind nach DIN 4022, Teil 1 zu identifizieren und nach DIN 18196 zu klassifizieren. Aus den bodenphysikalischen Untersuchungen ist die Schwankungsbreite der Kennwerte in den einzelnen Kippscheiben oder im Kippenmassiv nach statistischen Methoden zu untersuchen.

Soweit es das Gefüge der aufgefüllten Erdmaterialien und die hiervon in besonderem Maße abhängige Qualität der Probengewinnung (DIN 4021) überhaupt gestatten, können auch Scherversuche und insbesondere Kompressionsversuche zur Prüfung des veränderten Verformungsverhaltens bei aufsteigendem Grundwasser durchgeführt werden.

Vielfach sind hierbei keine sicheren Anhaltswerte zu erhalten. In diesem Fall sind

besonders die o. a. Drucksondierungen geeignet, tiefenabhängige Steifezahlen des Kippensystems auf der Grundlage standortspezifischer Zusammenhänge zu bestimmen [1], [6], [10].

Insbesondere ist die Auswertung des Setzungsverhaltens vergleichbarer Kippensysteme (Aufbau, Zusammensetzung, Mächtigkeit des Kippensystems, Grundwasserstand im System, Größe und Tiefenwirkung der Belastung) zur Bestimmung der für die Setzungsprognose erforderlichen Steifemoduln mit zu berücksichtigen.

Stehen keine vergleichbaren Setzungsauswertungen zur Verfügung, so ist die Durchführung eines Belastungsversuches im Sinne von DIN 1054 zu empfehlen. Dies kann im Falle noch vor Ort im Einsatz befindlicher Tagebaugroßgeräte durch Aufschüttung einer Belastungshalde und deren Abtrag nach Belastungsende wesentlich erleichtert werden [7]. Die notwendigen Abmessungen sind unter Berücksichtigung des Tiefeneinflusses festzulegen.

Die messtechnische Begleitung des Großversuches erfordert im Belastungsplanum die Anordnung von horizontalen Meßsystemen (Schlauchwaage, Horizontal-Inklinometer) [7]. Ggf. sind auch Tiefpegel zur Messung der Setzungsverteilung im Kippenmassiv anzuordnen.

Stets ist bei der Auswahl des Meßsystems die erforderliche und erreichbare Messgenauigkeit im Verhältnis zur Größenordnung der Verformungsgrößen im Sinne von DIN 4107 zu beachten (siehe E 2-16). Außerdem sind die Versagensmöglichkeiten des Meßsystems infolge der Betriebsbedingungen beim Aufbau des Belastungskörpers zu berücksichtigen.

Die komplexen Anforderungen an den Belastungs-Großversuch erfordern die Einschaltung eines qualifizierten geotechnischen Sachverständigen.

In den Kippen des Braunkohlenbergbaues vollziehen sich im Gefolge des wieder ansteigenden Grundwassers Veränderungen der Lagerungsdichte und meistens auch negative Veränderungen der Grundwasserqualität (ggf. hoher Eisen- und Sulfatgehalt, saures Milieu). Gegebenenfalls können sich auch seismische Beanspruchungen auf den Lagerungszustand auswirken.

Die Auswirkungen auf das Sackungsverhalten des Kippensystems sind zu bewerten und erforderlichenfalls zu untersuchen. Die Veränderung der Grundwasserqualität ist zur Beweissicherung rechtzeitig und lückenlos durch regelmäßige Probennahmen und chemische Untersuchungen zu dokumentieren. Hierfür sind Pegel im künftigen An- und Abstrombereich der Deponie anzuordnen.

3.4 Zusammenfassende Beurteilung

Die Beurteilung einer Kippenfläche des Bergbaues als Standort einer Deponie erfordert die Bewertung des gesamten Kippenmassives als Untergrund und Deponieaufstandsfläche, einschließlich der sich verändernden Lage des Grundwasserspiegels. Insbesondere ist die langzeitige Funktionstüchtigkeit des Basisabdichtungssystems nachzuweisen.

Grundlage hierfür ist die komplexe Auswertung, Interpretation und Darstellung aller Untersuchungen und Messungen sowie vorliegender Erfahrungen an vergleichbaren Kippensystemen durch den qualifizierten geotechnischen Fachmann entsprechend den Darstellungsanforderungen nach E 1-1, Abschnitt 5.

Als wesentliches Element der Beurteilung der Funktionsfähigkeit des künftigen Basisabdichtungssystems sind die repräsentativen Verformungsmoduli, hiervon ausgehend die absoluten und relativen Setzungen der Deponiebasis und die ungünstigstenfalls zu erwartenden Verformungsradien zu ermitteln [2], [7]. Es ist eingehend darzulegen, mit welcher Sicherheit die sich aus dem Deponiesystem ergebenden Anforderungen an das Deponieauflager auch bei ansteigendem Grundwasser eingehalten werden können.

Zu berücksichtigen ist, dass langzeitige Messerfahrungen für die sichere Prognose des Setzungs- und Verformungsverhaltens des Kippenmassivs unter den außerordentlich großen Belastungen durch den Deponie-Körper noch nicht in dem Umfang wie bei Dämmen auf gewachsenen Böden vorliegen. Belastungsgroßversuche sind daher immer dann erforderlich und vorzusehen, wenn

- keine hinreichenden, d. h. durch vergleichbare Setzungsbeobachtungen und -messungen belegte und damit prüfbare Erfahrungen zum Setzungsverhalten des belasteten Kippenmassivs vorliegen. Diese Erfahrungen sind durch die Angabe repräsentativer Steifemoduln für das Massiv zu dokumentieren
- die zur Bestimmung tiefenabhängiger Steifemoduln verwendeten Korrelationen mit Messergebnissen aus Feldversuchen, hier vorzugsweise Drucksondierungen, noch nicht hinreichend gesichert sind oder Steifemoduln bisher allein auf der Grundlage von Laborversuchen ermittelt wurden.

Zum Abbau der Verformungsunterschiede der Kippscheiben eignet sich zugleich als Vorbelastung eine ausgleichende Polsterschicht zwischen der Basisabdichtung und dem Kippenmassiv. Dabei kann diese Polsterschicht zusätzlich als geotechnische Barriere durch Verwendung adsorptiven Bodenmaterials genutzt werden [9]. Sie ist stets als eine der Qualitätskontrolle unterliegende Erdbaumaßnahme aus einheitlich geeignetem Material herzustellen.

Im Sinne der Vorbelastungswirkung der Polsterschicht ist diese als flächendeckender Belastungsgroßversuch zu nutzen, messtechnisch zu begleiten, sowie mit der Setzungsprognose und gegebenenfalls der I. Probelastung zu vergleichen und diese danach zu justieren [2].

Für die Polsterschicht als Deponiebasis ist schließlich darzulegen, welche setzungsabhängigen Höhen- und Gefälleangaben einzuhalten sind.

3.5 Beispiel der Standorterkundung mit Belastungsversuch

Südlich von Leipzig wird die Zentraldeponie Cröbern auf einem 70 m mächtigen Kippensystem errichtet. Die untere, im Mittel 45 m mächtige Kippscheibe der Abraum-Förderbrücke (AFB-Kippe) ist nahezu homogen, die obere, im Mittel 25 m hohe Kippscheibe des Zugabesetzers (As-Kippe) hingegen sehr inhomogen aufgebaut (s. Bild 1-5.2). Auf dem 69 ha großen Ablagerungsbereich soll eine bis 68 m hohe Deponie errichtet werden [2], [7], [8].

Diese Aufgabe ohne Vorbild mit vergleichbarer Lastgrößenordnung konnte nicht allein auf der Grundlage einer konventionellen Standorterkundung (Schürfe, Bohrungen, Laboruntersuchungen) gelöst werden. Deshalb wurden eine große Anzahl von Drucksondierungen sowie ein Belastungsversuch durchgeführt und dieser durch Setzungsbeobachtungen beim Aufbau der als geotechnische Barriere ausgebildeten profilierten Polsterschicht ergänzt (s. Bild 1-5.3).

Die statistische Auswertung der Drucksondierungen (s. Bild 1-5.4) ermöglichte die Bestimmung tiefenbezogener Steifezahlen $E_s=f(q_c)$ in Abhängigkeit vom festgestellten Spitzendruck q_c und den Setzungsmessungen aus dem Belastungsversuch, die dann durch die Setzungsmessergebnisse der Vorbelastung durch die Polsterschicht justiert wurden. Die Setzungen wurden dazu mittels Horizontal-Inklinometer gemessen (s. Bild 1-5.5).

Auf der Grundlage dieses komplexen Erkundungsprogramms wurde zusammen mit der flächenhaften relativ großen Vorbelastung durch die Polsterschicht eine zuverlässige Prognose der zu erwartenden Setzungen, Setzungsunterschiede und der daraus folgenden Krümmungsradien der Basisabdichtungsschicht und damit deren Verformungsnachweis nach E 2-13 und E 2-16 möglich.

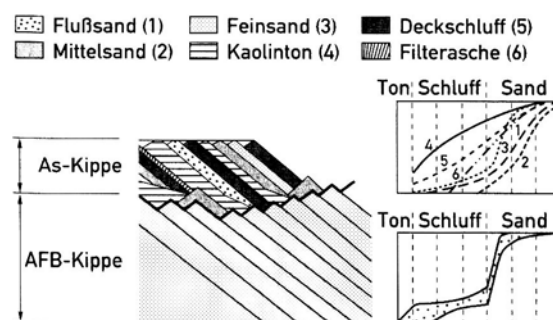


Bild 1-5.2: Geotechnischer Aufbau des Kippensystems im Deponieuntergrund der Zentraldeponie Cröbern

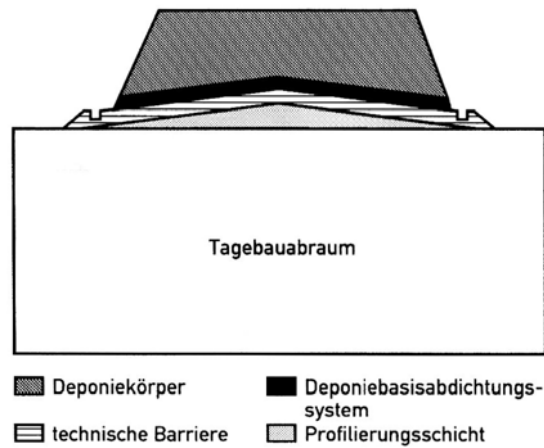


Bild 1-5.3: Prinzipskizze der konstruktiven Elemente des Deponieaufbaus der Zentraldeponie Cröbern

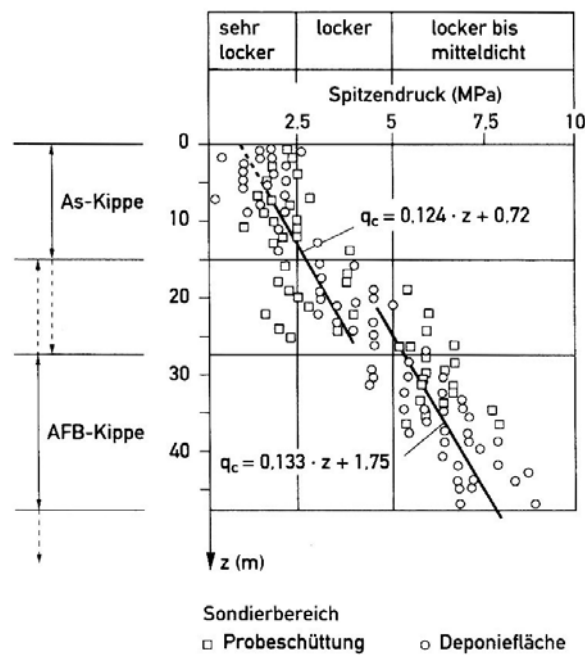


Bild 1-5.4: Teufenabhängige Entwicklung der Spitzendrücke q_c der Drucksondierungen

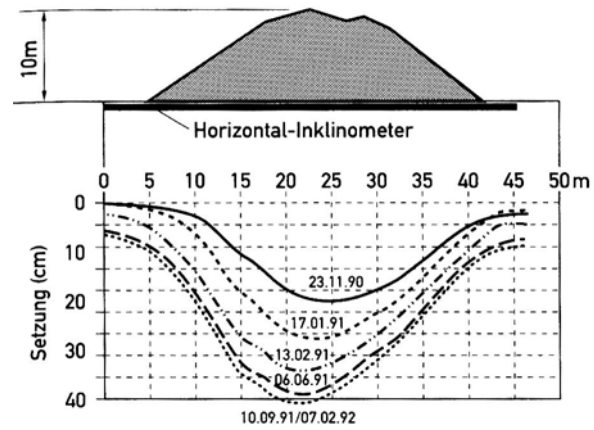


Bild 1-5.5: Setzungen und Setzungsentwicklung eines Belastungsversuchs

Literatur zu E 1-5:

- [1] BRUNNER, A., HUBÁČEK, H. UND MOSLER, J.: Analogieverhalten von Drucksetzungs- und Drucksondierungs-Kennlinien, Wissenschaftl. Zschr. d. Hochsch. f. Verkehrsw. „Friedrich List“ Dresden, 1985, Heft 31, S. 933-949.

- [2] DORGARTEN, H.-W, STROH, D. UND JOLAS, P: Deponie auf 70 m mächtiger Tagebauverfüllung. Vorträge der Baugrundtagung 1994 in Köln. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V, S. 69-84.

- [3] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRAßENWESEN: Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund, Köln 1988.

- [4] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRAßENWESEN: Merkblatt für die Untergrundverbesserung durch Tiefenrüttler, Köln 1979.

- [5] FRANK, A., VARASKI, S.: Verdichtung von Böden durch dynamische Einwirkung mit Fallgewichten über und unter Wasser, Baumaschine + Bautechnik, Heft 9, 1977.

- [6] HUBÁČEK, H.: Quantifizierung von Sondierergebnissen zur Bestimmung von Bodenkennwerten, Geotechnik 9 (1986) 4, S. 206-213.

- [7] JOLAS, P: Eignung von Bergbaukippen als Deponiebasis - Auswertung von Großversuchen. Kongreß „West-Ost-Transfer Umwelt 93“ im Rahmen der Terratec, Fachmesse für Umwelttechnik und Umweltschutz, Kongreßteil „Planung, Ertüchtigung und Bau von Deponien“, Leipzig 10./11.03.1993.

- [8] JOLAS, R, PFEIFFER, H. UND SCHEFFLER, H.: Lastsetzungen von Haldendeponien auf unverdichteten Kippenflächen. In: Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien, 1991, 7. Nürnberger Deponieseminar, Herausgeber: E. Gattung. Veröffentlichungen des Grundbauinstitutes der Landesgewerbeanstalt Bayern, Heft 59, S. 71-91.

-
- [9] SCHEFFLER, H.: Geotechnische Voraussetzungen für den Bau von Deponien auf unverdichteten Kippenflächen des Braunkohlenbergbaues. In: Deponiestandorte mit Risikofaktoren - Gleichwertigkeit von Dichtungssystemen für Ertüchtigung und Systemverbesserung. Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, Heft 35, Karlsruhe 1995.
- [10] SCHNEIDER, E.: Beitrag zur Durchführung und Auswertung von Drucksondierungen in gewachsenen und verkippten Erdstoffen. Diss. A 1974, Hochschule für Bauwesen Leipzig.