

E 1-5 Standorterkundung bei der Errichtung von Deponien in verfüllten Gruben, Tagebauen und Tagebau-Restlöchern

Juli 2010

1 Allgemeines

Bei der Standorterkundung ist das Setzungsverhalten verfüllter Gruben, Tagebaue, Tagebau-Restlöcher und von Aufschüttungen zu beachten und hinsichtlich der Eignung als Deponieauflager zu beurteilen.. Die Empfehlung ergänzt somit E 1-1, die sich ausschließlich mit Standorten aufgewachsenem Untergrund befasst.

Im Allgemeinen 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-, 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

Das Ziel der Aufschlüsse sowie der Feld- und Laborversuche ist es, die abgelagerten Materialien nach DIN EN ISO 14688-1 und 14688-2 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.

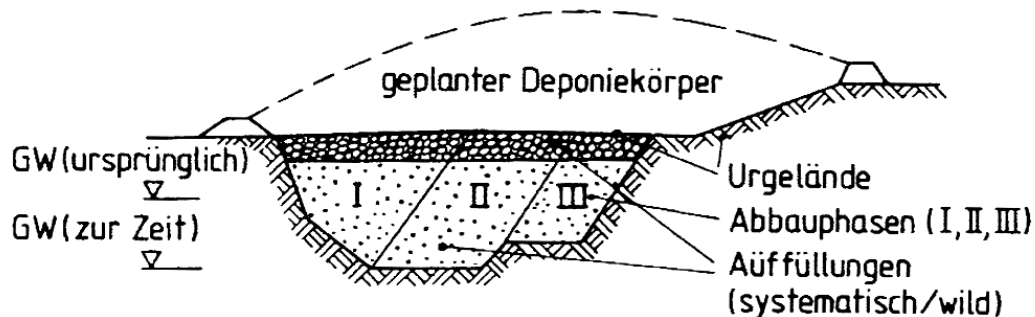


Bild 1-5.1: Bestandsaufnahme bei verfüllten Gruben

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 EN ISO 22475-1 (Bohrungen und Schürfe) sind zur Bestimmung der Lagerungszustände und der Tragfähigkeit in einem ersten Schritt insbesondere die indirekten Erkundungsmethoden (Druck- und Rammsondierungen) in Verbindung mit den direkten Aufschlüssen geeignet.

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

2.2 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, E 2-21 und E 2-29, unter Berücksichtigung des Endzustandes und ggf. von Bauzuständen zu

führen. Bei größeren Setzungsunterschieden ist ein Verformungsnachweis für die mineralischen Abdichtungsschichten nach E 2-13 erforderlich. 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 (FGSV, 1988), ggf. verbunden mit einer Kalibrierung der Setzungsprognose.
- Tiefenverdichtung (z. B. Rütteldruck- oder Rüttelstopfverdichtung, dynamische Intensivverdichtung, etc., nach FGSV 1979, FRANK/VARASKI 1977).

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 ferner die folgenden Punkte zu berücksichtigen:

- vorhandene geowissenschaftliche Karten des Abbaubereiches
- im anstehenden Untergrund und nachfolgend auf den Kippenflächen niedergebrachte und dokumentierte Bohrungen
- regionale geologische und hydrogeologische Verhältnisse des Tagebaues mit Darstellung der Verhältnisse vor dem Abbau, vor allem Stratigraphie, Lithogenese, Tektonik und Hydrogeologie sowie Seismizität
- Unterlagen zum Tagebaubetrieb
- Tagebautechnologie mit Abbau, Transport- und Versturztechnologie sowie dazu eingesetzte Geräte als wesentliche Einflussfaktoren der Zusammensetzung und der Eigenschaften der aufgefüllten Erdmaterialien am 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 EN ISO 22475-1, d. h. hier vorzugsweise durch Kern-Bohrungen nach DIN EN ISO 14688-2 mit relativ großem Durchmesser sowie feststehender Hülle, ist so zu planen und auszuführen, dass sie zugleich als Leitenaufschlüsse für in größerer Anzahl durchzuführende indirekte Erkundungsmaßnahmen, vor allem Sondierungen, insbesondere von Drucksondierungen, dienen (DORGARTEN, ET AL. 1994, JOLAS 1993, JOLAS ET AL. 1991, SCHEFFLER 1995, Schneider 1974).

Die mittels direkter Aufschlüsse zu gewinnenden Bodenproben sind nach DIN EN ISO

14688-1 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 EN ISO 22475-1) 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 (BRUNNER ET AL., 1985, HUBÁČEK, 1986, Schneider, 1974).

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 Steifemoduli mit zu berücksichtigen.

Stehen keine vergleichbaren Setzungsauswertungen zur Verfügung, so ist die Durchführung eines Belastungsversuches im Sinne von DIN 1054/DIN EN 1997-1 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 (JOLAS 1993). 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). Gegebenenfalls 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 4107-1 zu beachten (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 Verformungsmoduln, hiervon ausgehend die absoluten und relativen Setzungen der Deponiebasis und die ungünstigstenfalls zu erwartenden Verformungsradien zu ermitteln (DORGARTEN ET AL. 1994, JOLAS 1993). 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 (SCHEFFLER 1995). Sie ist stets als eine der Qualitätskontrolle unterliegende Erdbaumaßnahme aus einheitlich geeignetem Material herzustellen.

Im Sinne der Vorbelastungswirkung der Polsterschicht ist diese als flächendeckender Belastungsversuch zu nutzen, messtechnisch zu begleiten, sowie mit der Setzungsprognose und gegebenenfalls der I. Probelastung zu vergleichen und diese danach zu justieren (DORGARTEN ET AL. 1994).

Für die Polsterschicht als Deponiebasis ist schließlich darzulegen, welche setzungsabhängigen Höhen- und Gefällevorgaben 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 (DORGARTEN ET AL. 1994, JOLAS 1993, JOLAS ET AL. 1991).

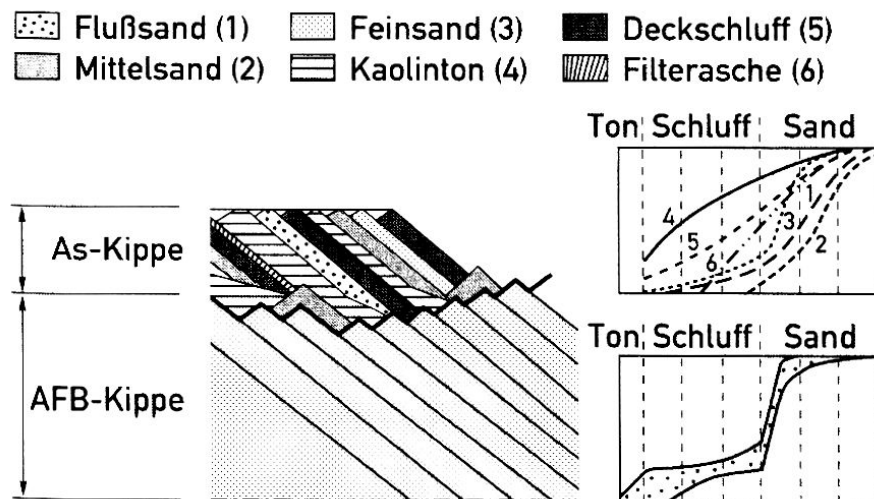


Bild 1-5.2: Geotechnischer Aufbau des Kippensystems im Deponieuntergrund der Zentraldeponie Cröbern

Diese Aufgabe 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 des tiefenbezogenen Steifemoduls $E_s = f(q_c)$ in Abhängigkeit vom festgestellten Spitzendruck q_c . Die Funktion konnte durch Setzungsmessungen aus dem Belastungsversuch und durch Rückrechnung der beim Bau beobachteten Setzungen kalibriert werden. 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 möglich.

Bild 1-5.3: Prinzipskizze der Komponenten des Deponieaufbaus Zentraldeponie Cröbern

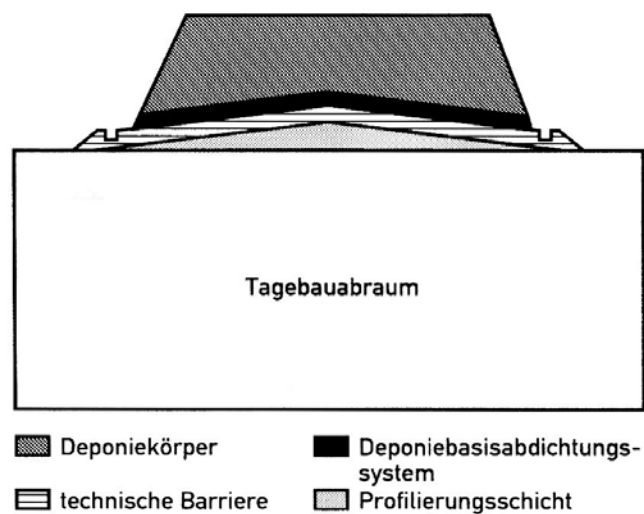
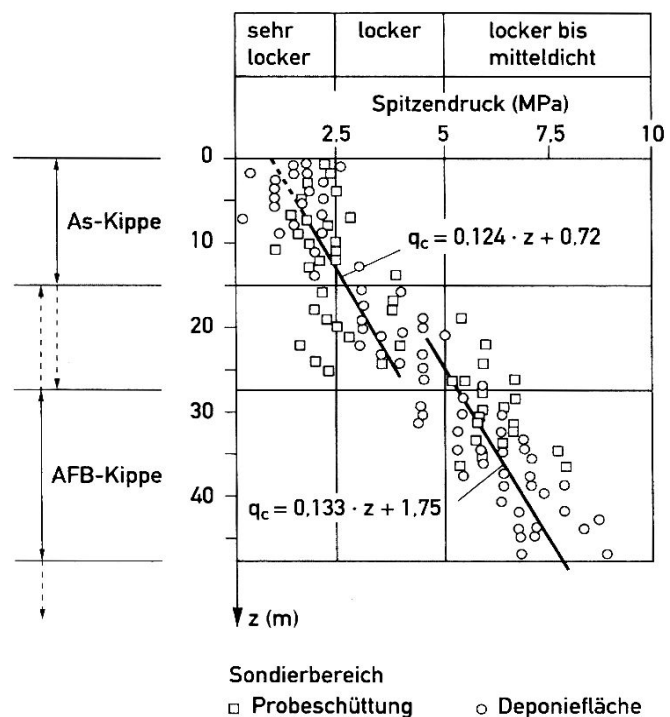


Bild 1-5.4: Teufenabhängige Entwicklung der Spitzendrucke q_c der Drucksondierungen



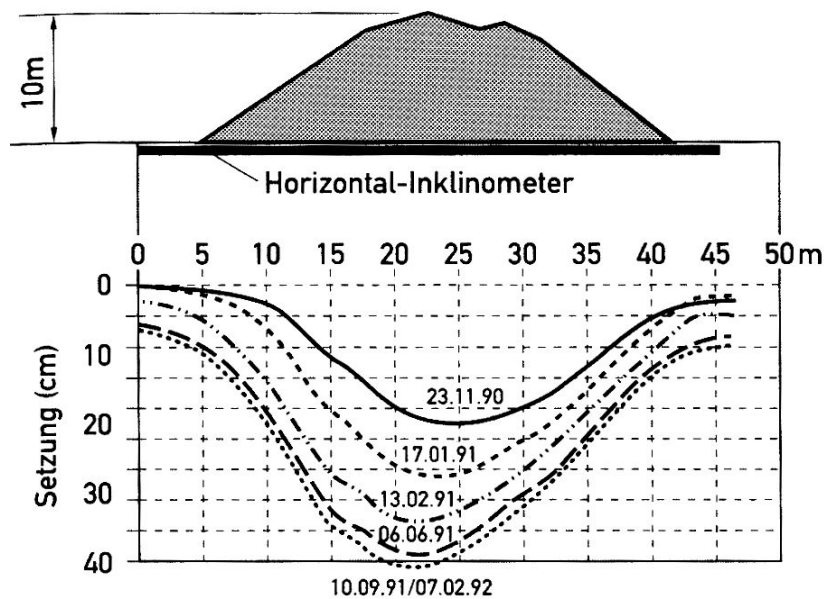


Bild 1-5.5: Setzungen und Setzungenentwicklung eines Belastungsversuchs

Literatur

BRUNNER, A., HUBÄCEK, H. UND MOSLER, J., 1985: Analogieverhalten von Drucksetzungs- und Drucksondierungs-Kennlinien, Wissenschaftl. Zschr. d. Hochsch. f. Verkehrsw. „Friedrich List“ Dresden, Heft 31

DORGARTEN, H.-W; STROH, D.; JOLAS, P, 1994: Deponie auf 70 m mächtiger Tagebauverfüllung, Vorträge der Baugrundtagung in Köln Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Essen

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV), 1988: Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund, Köln

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV), 1979: Merkblatt für die Untergrundverbesserung durch Tiefenrüttler, Köln.

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

HUBÄCEK, H., 1986: Quantifizierung von Sondierergebnissen zur Bestimmung von Bodenkennwerten, Geotechnik, Heft 4

JOLAS, P, 1993: Eignung von Bergbaukippen als Deponiebasis - Auswertung von Großversuchen
in: 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

JOLAS, P; PFEIFFER, H; SCHEFFLER, H., 1991: Lastsetzungen von Haldendeponien auf unverdichteten Kippenflächen
in: Gartung, E. (Hrsg), 1991: Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien, 7. Nürnberger Deponieseminar, Veröffentlichungen des Grundbauinstitutes der Landesgewerbeanstalt Bayern, Heft 59

SCHEFFLER, H., 1995: 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

SCHNEIDER, E., 1974: Beitrag zur Durchführung und Auswertung von Drucksondierungen in gewachsenen und verkippten Erdstoffen, Dissertation A, Hochschule für Bauwesen Leipzig

Regelwerke

Bundesberggesetz (BBergG), 1980: 13.08.1980, BGBl. I, S. 1310
zuletzt geändert am 31.07.2009, BGBl. I, S. 2585

DIN 1054:2005-01: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau

DIN 4107-1:2008-07: Geotechnische Messungen – Teil 1: Grundlagen

DIN 18196:2006-06: Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

DIN EN 1997-1:2009-09: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln

DIN EN ISO 14688-1:2003-01: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung

DIN EN ISO 14688-2:2004-11: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen

DIN EN ISO 22475-1:2007-01: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung

Ansprechpartner: Dr. U. Maier-Harth
Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz
55129 Mainz,
ulrich.maier-harth@lgb-rlp.de

Bearbeiter: Dr.-Ing. P. Jolas, LMBV, Leipzig
Dr. U. Maier-Harth, Mainz
Dipl.-Ing. S. Geß, Espenhain