
E 2-6 Grundsätze der Abfallmechanik

Oktober 2021

1 Allgemeines

Abfälle werden in einer Haldendeponie zu einem allseits abgeböschten und in einer Hangdeponie zu einem vornehmlich einseitig abgeböschten Abfallkörper lagenweise aufgebaut. Je nach Geometrie des Abfallkörpers, Art und Einbauzustand der Abfälle sowie Beanspruchungszuwachs infolge Aufhöhung des Abfallkörpers stellen sich vertikale und horizontale Verformungen des Abfallkörpers bzw. dessen Oberfläche ein. Diese Verformungen sind ggf. mit denen des Deponieauflagers oder Untergrundes zu überlagern. Durch langfristige chemisch-biologische Veränderungen der Abfallstoffe (vornehmlich in Altdeponiekörpern) können die Abfallkörperverformungen verstärkt werden. Außerdem können diese hier als Setzungen und Querverformungen bezeichneten Verformungen in feinkörnigen und undurchlässigen Bereichen des Abfallkörpers im Anfangszustand der Belastung von porenwasserdruck- und porenwasserdruckabhängigen Scherfestigkeitsabminderungen begleitet sein.

In der Böschungszone des Abfallkörpers treten in Abhängigkeit von der Geometrie (Neigung und Höhe) Scherbeanspruchungen mit ungleichmäßiger Verteilung auf, die zunächst die Querverformungen im unteren Böschungsbereich und die Setzungen im oberen Bereich vergrößern. Es ist sicherzustellen, dass die hier eingebauten Abfälle eine ausreichende Scherfestigkeit aufweisen, um die Entstehung eines progressiven Böschungsbruches zu verhindern. Weiterhin ist nachzuweisen, dass die auftretenden Spreizverformungen die Funktionsfähigkeit der Oberflächen- und Basisabdichtung im Böschungsbereich nicht beeinträchtigen. Bei nicht bodenähnlichen Abfällen ist eine mögliche Interaktion zwischen der Verformung der Deponiebasis bzw. des Abdichtungssystems und der Verformung des Abfallkörpers zu berücksichtigen.

2 Stabilität des Abfallkörpers

Die Fragen der Böschungsbruch- bzw. Gleitsicherheit sowie die Standsicherheit in der Umgebung des Abfallkörpers werden hier der „äußeren“ Standsicherheit der Deponie als geotechnischem Bauwerk zugeordnet (s. Bild 2-6.1). Die „innere“ Standsicherheit bezieht sich auf Fragen des Deponiebetriebes zur Sicherheit des Einbaus der Abfälle, die in die für die äußere Standsicherheit nicht maßgebende Zone eingebaut werden.

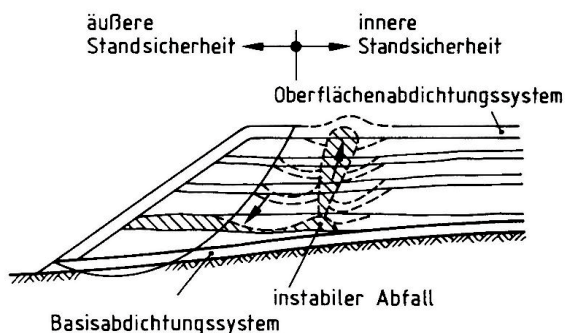


Bild 2-6.1: Äußere und innere Standsicherheit einer Deponie nach [DRESCHER, J., 1990]

2.1 Äußere Standsicherheit

2.1.1 Böschungsbruch

Die Standsicherheit der Böschung bzw. einer Böschungszone wird bei bodenähnlichen körnigen Abfallstoffen in der Regel durch eine Böschungsbruchuntersuchung nach DIN EN 1997-1 in Verbindung mit DIN 4084 nachgewiesen. Dazu sind die Wichte des Abfallkörpers nach DIN 1055 Teil 2 und die Parameter der Scher- und ggf. Zugfestigkeit nach E 2-23, sowohl im Anfangs- und Endzustand als auch in Zwischenzuständen festzulegen.

Bei anderen Abfallstoffen oder Mischablagerungen können je nach Abfallart bzw. Größe der Abfallkomponenten, d. h. je nach den abfallmechanischen Bedingungen, die Parameter mit Laborversuchen nach E 3-6 oder in entsprechend großen Kastengeräten oder Triaxialgeräten nach E 3-11 ermittelt werden. Das betrifft insbesondere Abfälle, die ohne weitere Vorbehandlung (vor 2005) abgelagert wurden. Durch Sonderuntersuchungen an Großversuchsböschungen, die bis hin zum Scherbruch an unterschiedlich altem Abfall getestet werden, können ggf. Scherparameter für die getrennt oder gemischt abgelagerten Abfallarten ermittelt und der Zeiteinfluss abgeschätzt werden. Bei Vorliegen entsprechender Kennwerte ist die Böschungsstandsicherheit nach DIN 4084 nachzuweisen.

Im Sinne der Beobachtungsmethode nach DIN EN 1997-1 ist durch Messung der Setzungen und Querverformungen entsprechend Abschnitt 3 das Verhalten der Böschung beim Aufbau des Abfallkörpers zu beobachten; die Ergebnisse sind dem für die Deponiestandsicherheit zuständigen qualifizierten geotechnischen Fachmann als Grundlage für die Beurteilung der aktuellen Standsicherheitssituationen sowohl in der Betriebs- als auch in der Nachbetriebsphase zu übergeben.

Kommentiert [B11]: Behandelt nur nicht bodenähnliche Abfälle, besser Verweis auf E 2-35 (Geotechnische Kennwerte für Siedlungsabfälle)

2.1.2 Spreizspannungen

Die Standsicherheit einer Böschung kann dadurch gefährdet sein, dass insbesondere im Bereich der Basisabdichtung erhebliche Schubspannungen infolge der Spreizverformung des Abfallkörpers auftreten können (Spreizspannungen). Der entsprechende Standsicherheitsnachweis kann nach E 2-21 geführt werden. Für den Nachweis ist die Schicht bzw. die Kontaktfläche innerhalb des Basisabdichtungssystems maßgebend, welche die geringste Scherfestigkeit aufweist.

Im Falle nicht-bodenähnlicher Abfälle ist der Einfluss aus dem speziellen abfallmechanischen Verhalten dieser Stoffe zu beurteilen. Abfälle und Systemkomponenten der Basisabdichtung zeigen unterschiedliche Spannungs-Verformungseigenschaften, die nicht oder nur bedingt kompatibel sind. Hieraus können sich Rückwirkungen auf Größe und Verteilung der Spreizspannungen ergeben (KOCKEL 1992).

2.1.3 Standsicherheit in der Umgebung des Abfallkörpers (Grundbruch)

Die Standsicherheit des Deponiegeländes und der unmittelbaren Umgebung vor dem Abfallkörper ist analog einer Böschungsbruchuntersuchung bzw. einer Grundbruchuntersuchung nach DIN EN 1997-1 in Verbindung mit DIN 4084 nachzuweisen.

2.2 Innere Standsicherheit

Im Bereich der inneren Standsicherheit können Abfälle mit geringeren, jedoch für die Betriebssicherheit noch ausreichenden Scherfestigkeiten eingebaut werden. Die DepV (2009) stellt keine spezifischen Anforderungen an die Scherfestigkeit und Steifigkeit der Abfälle, sondern verlangt ganz allgemein, dass "die Abfälle unter Ablagerungsbedingungen entwässern und konsolidieren oder sich verfestigen, so dass unter Berücksichtigung des Deponieaufbaus eine Beeinträchtigung der Standsicherheit des Deponiekörpers nicht zu besorgen ist". In den Vorschriften, die Grundlage für Errichtung von Deponien zwischen 1991 und 2005 waren, wurden Festigkeiten gefordert, die sich auf die innere, jedoch nicht auf die äußere Standsicherheit beziehen.

Gegenüber der Abfallkörperoberfläche unter Einbeziehung der Böschungssicherheitszone muss ein genügender Sicherheitsabstand eingehalten werden, so dass die im Inneren des Deponiekörpers eingebauten Abfälle keine negative Beeinträchtigung auf die Gesamtstandsicherheit des Deponiekörpers („äußere“ Standsicherheit) haben. Dies ist anhand von Böschungs- bzw. Geländebruchuntersuchungen gemäß Abschnitt 2.1 zu verifizieren.

3 Verformung des Abfallkörpers

Kommentiert [BV2]: kann der Literaturverweis raus ?
Hinweis auf
E2-21 sollte genügen

Die Verformungen - vertikal und horizontal - des Abfallkörpers sind dann unschädlich, wenn die Abdichtungssysteme oder mögliche Einbauten der Deponie nicht durch unzulässige Beanspruchungen in ihrer Funktion eingeschränkt werden und die Gesamtsicherheit nicht gefährdet wird. Insbesondere können der Nachweis gegenüber ungleichmäßigen Deponiekörpersetzungen sowie der Nachweis der Spreizverformungen der Deponiebasis maßgebend sein.

Größere Setzungsunterschiede, die zu einer unzulässigen Beanspruchung des Oberflächenabdichtungssystems geführt haben, sind bisher bei großen Setzungsbeträgen nur dann beobachtet worden, wenn

- in Nähe der Abfalloberfläche Abfallarten mit stark unterschiedlicher Zusammensetzung bzw. unterschiedlicher Konsistenz und Setzungsfähigkeit eingebaut worden sind
- die Abfalloberfläche als Unterlage des Oberflächenabdichtungssystems ein sehr unterschiedliches Alter oder eine sehr unterschiedliche Vorbelastung z. B. infolge Umprofilierung aufwies.

Querverformungen im mittleren Böschungsbereich sind Hinweise dafür, dass normales Verformungsverhalten infolge fortschreitender Aufhöhungsbelastung vorliegt. Dagegen sind größere Querdehnungen im unteren Böschungsbereich in Verbindung mit größeren Setzungen im oberen Böschungsbereich Anzeichen dafür, dass hier die Scher- und ggf. Zugfestigkeit in der Böschungszone stärker in Anspruch genommen wird. Hier sind deshalb zusätzlich zu den Beobachtungen von Oberflächensetzungen nach E 2-16 auch tiefenabhängige Horizontalverformungen (z. B. anhand von Inklinometer-Bohrungen) zu ermitteln, um aussagekräftige Hinweise für die Ausdehnung der stärker beanspruchten Böschungszone zu erhalten.

Bei bodenähnlichen körnigen Abfallstoffen wird das zu erwartende Setzungs- und Querverformungsverhalten aus Spannungs-Verformungsuntersuchungen nach E 3-6 abgeleitet; das tatsächliche Verformungsverhalten im Deponiekörper wird durch Feldmessung nach E 2-16 erfasst.

Bei nichtbodenähnlichen Abfallstoffen, ggf. in Wechsellagerung mit bodenähnlichen körnigen Abfallstoffen, wie sie vorrangig in vor 2005 abgelagerten Altdeponiekörpern vorliegen, ist eine realistische Prognose der Setzungen und Querverformungen beim derzeitigen Stand der Kenntnisse über die allgemeinen Zusammenhänge nur anhand der Auswertung von Messungen möglich. Da Abfälle seit 2005 nicht mehr unbehandelt abgelagert werden dürfen, betrifft dies vor allem Deponieerweiterungsmaßnahmen (z. B. „Deponie auf Deponie“), bei denen Altdeponiekörper durch einen neuen Deponiekörper zusätzlich belastet werden. Es empfiehlt sich für diese Fälle, das Kompressionsverhalten des Altdeponiekörpers aus bereits erhobenen Setzungsmessungen abzuleiten. In diesem Zusammenhang sind die Hinweise nach E 2-24 zu beachten. Sofern keine belastbaren Messergebnisse vorliegen, sollten die bodenmechanischen Kennwerte anhand von Messungen an vergleichbar aufgebauten Abfallkörpern ermittelt werden und sollte das Verformungsverhalten des Altdeponiekörpers im Sinne der Beobachtungsmethode nach DIN EN 1997-1 das im

Kommentiert [B13]: Die verweist diesbezüglich auf die E3-1, die auch nicht mehr aktuell ist.

Zuge der Erweiterung der Deponie messtechnisch überwacht werden. Hinsichtlich des Messumfangs wird empfohlen, zusätzlich zu Setzungsmessungen an Deponieoberflächen möglichst auch Verformungsmessungen im Deponiekörper vorzunehmen, um aus dem gemessenen Zeitsetzungsverhalten das Verformungsverhalten des Abfallkörpers zu erfassen. Die im Zuge der Planung getroffenen Annahmen zu den Verformungseigenschaften der Abfallkörper sind anhand der Messergebnisse zu kontrollieren und ggf. anzupassen. Außerdem sind aus den Verformungsmessungen Folgerungen für die Beanspruchung des zu errichtenden Oberflächenabdichtungssystems zu ziehen.

Kommentiert [BI4]: Das passt so nicht mehr ganz

Die abfallspezifische Auswertung der Setzungsbeobachtungen setzt stets ein entsprechendes Abfallkataster voraus.

Zur Abschätzung der Setzungen des Abfallkörpers kommen infrage:

- Untersuchungen nach E 2-24
- Ermittlung der Gesamtsetzung bzw. der rein mechanischen Setzung in Abhängigkeit von Einbaudichte, Einbautechnik und Müllzusammensetzung mit Näherungswerten für den Steifemodul (JESSBERGER & KOCKEL 1993)
- Ermittlung des zeitlichen Setzungsverlaufes über die Berechnung der Gasproduktion
- Setzungsversuche mit Erdbaumaterial zur Ermittlung des Last- und Zeitsetzungsverhaltens.
- Numerische Untersuchungen, wobei das Stoffverhalten der Abfallstoffe zutreffend abgebildet werden muss. Ansätze für nicht bodenähnliche Abfallstoffe wurden u. a. basierend auf der Theorie poröser Medien durch Einführung einer weiteren Feststoffphase (organisch und anorganisch) entwickelt.

Kommentiert [BV5]: Gibt es aktuelleres ?

Kommentiert [BV6]: Gibt es was aktuelleres ?

Kommentiert [BI7]: Siehe Veröffentlichung von Robeck, Ricken, Widmann (2008)
Sicherlich gibt es dazu auch noch Weiteres...

4 Hinweise für den Bauentwurf

Die zum Einbau im Abfallkörper vorgesehenen Stoffe sowie die Einbaumethoden, die zur Einhaltung der Berechnungsparameter erforderlich sind, werden in Abstimmung mit dem Deponiebetreiber bei der Aufstellung des Bauentwurfes nach E 2-1 in einem Betriebsplan festgelegt.

Mit den Vorgaben des Deponiebetreibers über die Abfälle und deren Parameter sowie den zugehörigen Einbauanforderungen wird der geotechnische Entwurf aufgestellt. Aus diesem Entwurf folgen zur Wahrung der Standsicherheit die Anforderungen an die zugelassenen Abfälle entsprechend der Eignungsprüfung nach E 3-6 sowie die Anforderungen an den Einbau der Abfallstoffe und die zugehörigen Kontrollen nach E 5-4 beim Aufbau des Abfallkörpers im standsicherheitsrelevanten Bereich, d. h. sowohl in der nachgewiesenen Böschungszone als auch in der oberflächennahen Zone der gesamten Oberfläche der Deponie.

Literatur zu E 2-6:

- DRESCHER, J. (1990): Standsicherheit von Deponiekörpern, Festigkeit des Deponiegutes. 6. Nürnberger Deponieseminar, S. 91-107.
- BRAUNS, J. (1980): Spreizsicherheit von Böschungen auf geneigtem Gelände. Bauingenieur 55, S. 433-436.
- DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009: Verordnung über Deponien und Langzeitlager, Artikel 1 der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts, vom 27.04.2009, BGBl. I, S. 900, zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 27.09.2017 (BGBl. I, S. 3465)
- KOCKEL, R. (1992): Schubbeanspruchungen im Basisabdichtungssystem von Haldendeponien. Schriftenreihe des Instituts für Grundbau, H. 20. Ruhr-Universität Bochum. (Festschrift Prof. Dr.-Ing. H. L. Jessberger), Rotterdam: Balkema.
- JESSBERGER, H. L. & R. KOCKEL (1993): Mechanische Eigenschaften von Siedlungsabfall -Labor- und Modellversuche. 9. Nürnberger Deponieseminar, 1993. Veröffentlichungen des Grundbauinstitutes der Landesgewerbeanstalt Bayern, Nürnberg, Heft 67.
- Robek, M, Ricken, T. & R. Widmann (2008): Prognose der Setzungen und des Emissionsverhaltens von Deponien mit Hilfe eines numerischen Modells, Praxistagung Deponie 2008.

Ansprechpartner:

Bearbeiter: Kölsch