

## E 2-23 Scherparameter nicht bodenähnlicher Abfälle

Stand: GDA 1997

### 1 Allgemeines

Für Deponien, die aus nicht bodenähnlichen Abfällen gemäß E 1-7 bzw. E 1-8 aufgebaut sind, können Standsicherheitsberechnungen mit Hilfe konventioneller bodenmechanischer Berechnungsverfahren durchgeführt werden (E 2-19). Dies gilt z. B. für den Nachweis der Böschungsbruchsicherheit von Siedlungsabfalldeponien.

Auf der Grundlage umfangreicher Untersuchungen zur Scherfestigkeit von Mischabfall aus nicht bodenähnlichen Abfällen nach *Kockel* [1], d. h. im Sinne „Nichtbodenähnlicher Abfälle“ nach E 1-8, wird das Vielstoffsystem des Deponiekörpers als homogen hinsichtlich seiner stofflichen Zusammensetzung beschrieben, da im Großen betrachtet der Einbau- und Verdichtungsvorgang zu einer ungerichteten und räumlich gleichmäßigen Verteilung der Abfallkomponenten führt. Dies trifft in erster Linie für den Kippkanteneinbau und für „ungeordnete“ Altdeponien zu.

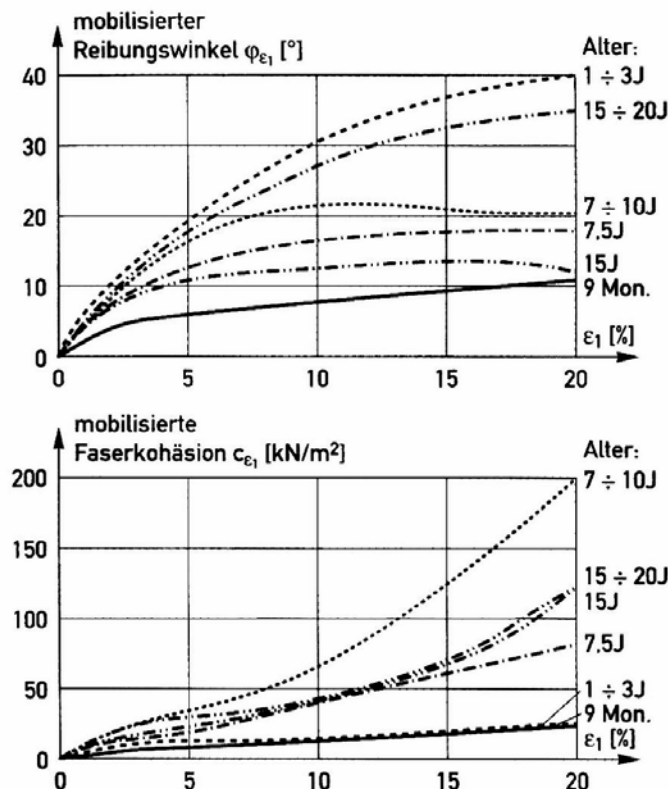


Bild 2-23.1 Dehnungsabhängige Scherparameter, Beispiel für Dreiaxialversuche an unterschiedlichen nicht bodenähnlichen Abfällen [1]

Mischabfall wird in abfallmechanischer Hinsicht in Anlehnung an die Grundsätze faserbewehrter Böden als ein Kompositmaterial, bestehend aus einer Grundmatrix und einer Fasermatrix, aufgefasst. Die Grundmatrix wird vereinfachend als Fraktion mit Bestandteilen  $\leq 120$  mm definiert, für die im einaxialen Druckversuch nur untergeordnete Bewehrungswirkungen zu erwarten sind. Die Grundmatrix stellt das Traggerüst des Siedlungsabfalls dar.

Die Fasermatrix ist das Stoffgemisch derjenigen Komponenten, die als Bewehrung der Grundmatrix zu erheblichen Festigkeitssteigerungen führen können. Sie umfasst die Abfallkomponenten  $>120$  mm. Die in der Kompositmatrix übertragbare Schubspannung setzt sich zusammen aus der „Reibspannung“, die im wesentlichen aus der interpartikulären Reibung der Grundmatrix resultiert, und aus Zugspannungen, die der bewehrungsähnlichen Wirkung der Fasermatrix zugeordnet werden. Spezielle Untersuchungen zur Zugfestigkeit der einzelnen, im Abfall eingelagerten flächigen Bestandteile sind in [2] veröffentlicht.

Unter Zugrundelegung der *Mohr-Coulombschen* Grenzbedingung können für definierte Verformungszustände in dreiaxialen Druckversuchen gemäß E 3-11 verformungsabhängige Scherparameter ermittelt werden, die in konventionellen Berechnungsverfahren gemäß E 2-19 Verwendung finden.

## **2 Verformungsabhängige Scherfestigkeit von überwiegend nicht bodenähnlichem Abfall**

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit stellt sich für den Abfall ein plastisches Versagen ein, das als ein Zonenbruch mit unendlich vielen, den Probekörper durchziehenden Scherfugen beschrieben werden kann. In jeder Scherfuge werden Schubspannungen infolge Reibung sowie infolge einer Zugspannungsaktivierung der Fasermatrixkomponenten übertragen. Die Aktivierung von Zugspannungen innerhalb des Abfallkörpers bewirkt eine Kohäsion, die nicht wie bei bindigen Böden aus Bindungskräften zwischen Tonmineralen entsteht und deshalb analog den bei faserbewehrten Böden eingeführten Begriffen als Faserkohäsion bezeichnet wird.

In dreiaxialen Druckversuchen wird ein Grenzzustand der Tragfähigkeit (Bruchversagen) i. allg. nicht erreicht. Allerdings zeigt sich gemäß Bild 2-23.1 eine stetige Mobilisierung der Scherparameter (Reibungswinkel und Faserkohäsion) mit zunehmender axialer Probenstauchung  $\varepsilon_1$ . Die Mobilisierung des Reibungswinkels erfolgt weitgehend unabhängig vom Vorhandensein einer Fasermatrix. In der Regel wird der Grenzwert des mobilisierbaren Reibungswinkels für Probenstauchungen  $\varepsilon_1 > 20$  % erreicht. Dieser Grenzwert entspricht dem Reibungswinkel im Grenzzustand der Tragfähigkeit und stellt somit einen eindeutigen Materialkennwert dar.

Als Beispiel sind in Bild 2-23.2 einige Versuchsergebnisse nach [1] für unterschiedliche Abfälle dargestellt, die mit ihren „natürlichen“ Wassergehalten, d. h. im teilgesättigten Zustand, ermittelt wurden. Als Unterscheidungsmerkmal ist das

Abfallalter angegeben. Hinsichtlich des Ansatzes von Scherparametern in Stand-  
sicherheitsberechnungen ist zu beachten, dass

- eine Zunahme des Wassergehaltes ggf. zu einer Reduzierung des Reibungs-  
winkels führen kann [1]
- eine Verringerung der Scherfestigkeit des Abfalls mit dem Abfallalter bisher  
jedoch nicht nachgewiesen wurde.

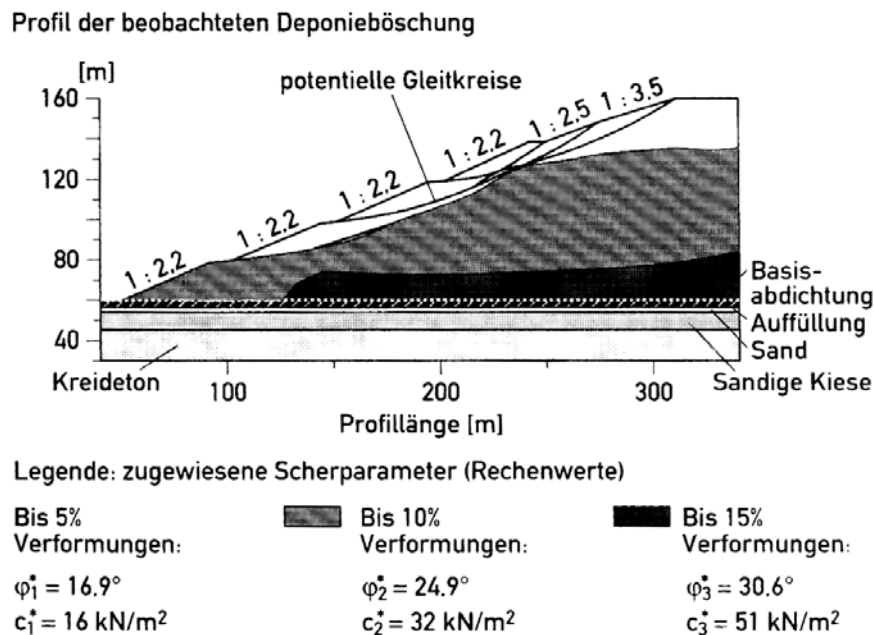


Bild 2-23.2: Beispiel für die Zuordnung der verformungsabhängigen Scherparameter nach (Reuter, 1995)

Die Faserkohäsion wird im Gebrauchszustand mit zunehmender Verformung mobilisiert und zeigt dabei einen stetigen Anstieg. Ein Grenzwert der mobilisierbaren Faserkohäsion ist im Gegensatz zum Reibungswinkel im Allgemeinen nicht nachweisbar.

Entsprechend den hier beschriebenen Eigenschaften setzt ein Böschungsbruch einer Deponie mit den Abfallkörper durchziehenden Gleitflächen oder Scherzonen erhebliche Verformungen des Deponiekörpers voraus, die größer sind als die zur vollständigen Mobilisierung des Reibungswinkels erforderlichen Verformungen.

### 3 Schерparameteransatz in Standsicherheitsnachweisen

Die Böschungsbruchberechnungen erfolgen in der Regel EDV-gestützt nach DIN 4084 mit dem Lamellenverfahren. Grundsätzlich gilt, dass in den Berechnungen Schерparameter des Abfalls nur in der Größe angesetzt werden, die den erwarteten Deponiekörperverformungen entsprechen. Hier sind folgende Aspekte von Bedeutung:

- Im Verhältnis zu der in Abschnitt 2 dargestellten Größenordnung der Scherverformungen des Abfalls ist die Scherverformung von Böden im Bruchzustand wesentlich kleiner.
- Die zur Schерfestigkeitsmobilisierung erforderlichen Verformungen des Deponiekörpers müssen von den Abdichtungssystemen sowie von Bauwerken innerhalb des Abfallkörpers aufgenommen werden können, ohne dass deren Funktionsfähigkeit beeinträchtigt wird.
- Ein Standsicherheitsnachweis erfordert u. a. die Betrachtung von Gleitflächen, die sowohl den Abfallkörper als auch die Dichtungsschichten und den Untergrund durchziehen. Die Kompatibilität der Schubverformungen und der mobilisierten Schерparameter entlang der untersuchten Gleitflächen ist zu berücksichtigen.

Die Entscheidung über die in Standsicherheitsberechnungen anzusetzenden Schерparameter des Abfalls ist im Einzelfall in Abhängigkeit von der Lage und den Verformungsbedingungen entlang der angenommenen Gleitfläche zu treffen, ggf. sind hierfür Verformungsanalysen gem. Kapitel 4 erforderlich. Liegen Feldmessungen zum Verformungszustand der Deponie vor, sind diese im Hinblick auf die in unterschiedlichen Bereichen mobilisierten Schерparameter auszuwerten und beim Ansatz der verformungsabhängigen Schерparameter zu berücksichtigen.

Im Falle einer Betrachtung von Gleitflächen, die im Abfallkörper verlaufen, ist im Allgemeinen die Verträglichkeit der Verformungen entlang der Gleitfläche gewährleistet. Können große Verformungen (z. B. bei Betriebsböschungen) zugelassen werden, sind für den Standsicherheitsnachweis der maximale Reibungswinkel und die zugehörige Kohäsion anzusetzen.

Sollen die Verformungen des Deponiekörpers beschränkt werden, um die Funktionsfähigkeit von Abdichtungssystemen oder Einbauten sicherzustellen, ist ein Nachweis gegen den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu führen. Dieser Nachweis wird näherungsweise dadurch erbracht, dass unter Beachtung der Verträglichkeitsanforderungen dem Abfall diejenigen Schерparameter zugeordnet werden, die bei der zulässigen Verformung  $\epsilon_j$  mobilisiert werden. Häufig kann der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bzw. der zugehörige Verformungszustand des Deponiekörpers zunächst nur abgeschätzt werden. Gegebenenfalls kann der in DIN V 4084-100 angegebene Gebrauchstauglichkeitsnachweis für weiche bindige Böden sinngemäß auf Abfälle übertragen werden.

Durchzieht die betrachtete Gleitfläche Abfälle und Böden mit sehr unterschiedlichen Scherdehnungseigenschaften, so ist die Verträglichkeit der Scherverformungen entlang der betrachteten Gleitfläche ein wichtiges Kriterium für den Ansatz der Scherparameter. In diesen Fällen, z. B. Böschungsbruchversagen mit sowohl den Untergrund als auch den Abfallkörper durchziehenden Gleitflächen, ist der Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit zu führen, wobei für die Materialien, die bereits bei kleinen Scherdehnungen ihren Bruchzustand erreichen, die Scherparameter des Bruchzustandes anzusetzen sind. Für den nicht bodenähnlichen Abfall sind die mit dieser Scherdehnung korrespondierenden Scherparameter anzusetzen. Bei sehr geringen Bruchdehnungen des Bodenmaterials kann somit ggf. die Scherfestigkeit des Abfallkörpers vernachlässigt werden.

Die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen sind anhand von Feldmessungen nach E 2-16 kontinuierlich zu überprüfen. Für kritische Deponiebereiche mit vergleichsweise geringen Globalsicherheiten sind ggf. zusätzliche Verformungsmesseinrichtungen anzuordnen.

#### **4 Verformungszustand des Deponiekörpers**

In vielen Fällen genügt für die Standsicherheitsuntersuchung eine einfache Abschätzung des Verformungszustandes des Deponiekörpers. Für genauere Untersuchungen kann eine Verformungsanalyse gemäß [3] durchgeführt werden. Hierzu dienen Feldmessungen, Berechnungen mit geeigneten Programmen (z. B. FEM) oder Zentrifugenmodellversuche. Liegen umfangreiche Feldmessungen zum Verformungsverhalten des Deponiekörpers nach E 2-16 vor, kann der Verformungszustand unmittelbar aus diesen Messungen bestimmt werden [4]. Oft beschränken sich die Feldmessungen allerdings auf die Oberflächensetzungen der Deponien, so dass daraus nicht auf die Dehnungsverteilung im Inneren des Abfallkörpers geschlossen werden kann.

In [3] wird als Kenngröße zur Beurteilung der im Abfallkörper mobilisierten Scherparameter die in Zentrifugenmodellversuchen ermittelte Verteilung der Hauptachsendehnung  $\varepsilon_1$  über den Querschnitt der Deponie herangezogen. Die in Bild 2-23.2 dargestellten und aus den Ergebnissen von Zentrifugenmodellversuchen abgeleiteten Bereiche gleicher Hauptachsendehnungen entsprechen näherungsweise Bereichen gleichgroßer Scherparameter.

Bei der anschließenden Standsicherheitsuntersuchung wird in einem ersten Berechnungsschritt die Plausibilität der angenommenen Dehnungsverteilung mit den verformungsbezogenen Scherparametern überprüft. Dazu werden die Scherparameter ohne Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten in die Berechnung eingeführt. Die ermittelten Globalsicherheiten sollten in der Größenordnung von  $\eta = 1,0$  liegen. Hierdurch werden der zugrunde gelegte Verformungszustand und die Verträglichkeit mit den angesetzten Scherfestigkeiten bestätigt.

**Literatur zu E 2-23:**

- [1] KOCKEL, R.: Scherfestigkeit von Mischabfall im Hinblick auf die Standsicherheit von Deponien. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Grundbau und Bodenmechanik. Ruhr-Universität Bochum, Heft 24, 1995.
  
- [2] KÖLSCHL, F.: Der Einfluss der Faserbestandteile auf die Scherfestigkeit von Siedlungsabfall. Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau. Technische Universität Braunschweig, Heft 132, 1996.
  
- [3] REUTER, E.: Verformungsanalyse und Standsicherheitsbeurteilung für die Zentraldeponie Hannover, 11. Nürnberger Deponieseminar, Heft 74 der Veröffentlichungen des Grundbauinstitutes der Landesgewerbeanstalt Bayern, Eigenverlag, 1995.
  
- [4] NEFF, H.-K.: Dreidimensionale und zeitabhängige Auswertung der Oberflächen-Verformungen während der Nachsorge von Deponien. ETN Erdbaulaboratorium Tropp-Neff und Partner, Hungen, 1997 (in Vorbereitung).