

## E 2-21 Nachweis der Spreizsicherheit für die Deponiebasis

Mai 2022

### 1 Allgemeines

Unter der Böschung eines Abfallkörpers wirkt auf der Aufstandsfläche, i. A. die Deponiebasis oder eine Zwischenabdichtung, eine nach außen gerichtete Schubbeanspruchung, die zu einer Verformung oder zu Gleitvorgängen am Fuß der Böschung führen kann. Ursache dieser sog. Spreizspannung ist eine Drehung der Hauptspannungsrichtungen unter einer Böschung (Bild 2-21.1, rechts). Diese Schubbeanspruchung muss vom Abfallkörper selbst und vom Abdichtungssystem auf der Aufstandsfläche aufgenommen und in den Untergrund abgetragen werden, ohne dass schädliche Verformungen in den Schichtgrenzen auftreten, polymere Komponenten des Abdichtungssystems auf Zug beansprucht werden oder die Standsicherheit der Deponieböschung gefährdet wird (Bild 2-21.1, links). Hierzu ist ein Nachweis der Spreizsicherheit ggf. auch der Spreizverformungen erforderlich.

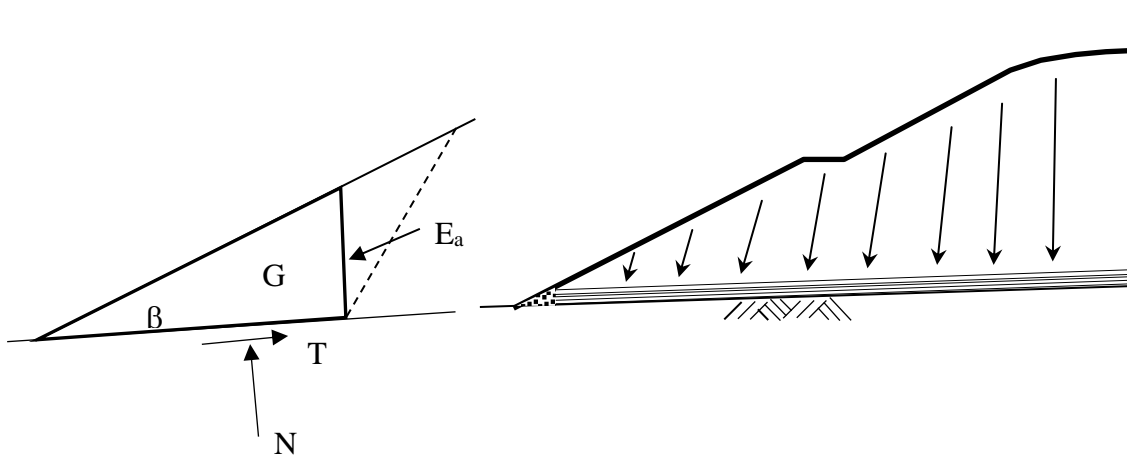


Bild 2-21.1: Kräfte und Schubbeanspruchung der Aufstandsfläche unter einem geböschten Abfallkörper

Der Nachweis kann mit Hilfe konventioneller oder numerischer Berechnungsverfahren (FEM) geführt werden. Ein konventioneller Nachweis beinhaltet eine Gegenüberstellung der durch den Abfallkörper einwirkenden Schubspannungen und der im Abdichtungssystem mobilisierbaren Schubwiderstände. Er prüft, ob die auftretende Schubbeanspruchung lokal an der betrachteten Stelle oder entlang der Aufstandsfläche aufsummiert in den Untergrund abgeleitet werden kann.

Die FE-Methode bietet die Möglichkeit der Darstellung der Scherzonen und des Spannungsverlaufs entlang der Aufstandsfläche bei gleichzeitiger Ermittlung der Verformungen des Abfallkörpers und der Komponenten des Abdichtungssystems. Im Falle konventioneller Berechnungsverfahren können die Verformungen durch eine Kombination zweier Berechnungsverfahren abgeschätzt werden, vgl. KOCKEL (1992), GDA (1997).

Bei der konventionellen Methode wird in einem ersten Schritt der Verlauf der Schubspannungen an der Deponiebasis ermittelt und der Nachweis der Spreizsicherheit geführt. Für kohäsionslosen Abfall oder bei Vernachlässigung der Kohäsion im Abfall und der Adhäsion im Schichtsystem kann dieser lokale Nachweis geschlossen mit den Verfahren nach RENDULIC (1938) oder nach BRAUNS (1980) geführt werden (Gleichung (3)). Zur Ermittlung der Schubspannung bei kohäsiven Eigenschaften des Abfalls ist auf andere konventionelle Verfahren, z. B. das ENGESSER-Verfahren, zurückzugreifen. Der lokale Sicherheitsnachweis ist jedoch immer eine Gegenüberstellung der in der Aufstandsfläche wirkenden Schubspannung und dem im Abdichtungssystem aktivierbaren Schubwiderstand.

Der globale Nachweis der Spreizsicherheit entspricht dem Nachweis der Gesamtstandicherheit des Abfallkörpers. Eine lokale Überschreitung der aufnehmbaren Schubbeanspruchung kann dabei durch benachbarte Zonen mit geringerer Beanspruchung kompensiert werden.

## 2 Konventioneller Nachweis der Spreizsicherheit

Basierend auf der Erddrucktheorie wird die Spreizsicherheit i. A. als örtliche (lokale) Sicherheit nachgewiesen, um das Auftreten einer lokalen Spannungsüberschreitung und Plastifizierung in der Aufstandsfläche auszuschließen. Ist eine lokale Plastifizierung unschädlich für die Funktionsfähigkeit des Abdichtungssystems, kann alternativ ein Nachweis der Gesamtsicherheit (globale Sicherheit) geführt werden. Dieser Nachweis entspricht dem Gleitsicherheitsnachweis eines als monolithisch betrachteten Abfallkörpers auf den Schichtgrenzen der Aufstandsfläche, wobei die ungünstige Einwirkung aus der Neigung der einwirkenden Sohldruckresultierenden infolge Gewichtskraft und Erddruck kommt und sich der Widerstand aus der kleinsten mobilisierbaren Scherfestigkeit in den Schichtgrenzen ergibt (Bild 2-21.1, links).

Mit dem lokalen Nachweis der Spreizsicherheit wird für einzelne Punkte entlang der Deponiebasis beginnend vom Fuß der Böschung geprüft, ob die einwirkende Schubspannung kleiner ist als die Scherfestigkeit in den Trennflächen des Abdichtungssystems der Aufstandsfläche. Die lokale Sicherheit gegen Spreizen des Böschungsfußes wird als Quotient aus der in der maßgebenden Gleitfläche des Schichtsystems am betrachteten Punkt maximal übertragbaren Scherfestigkeit  $\tau_{vorh}$  und der im betrachteten Punkt mobilisierten Schubspannung  $\tau_{erf}$  definiert (Gleichung (1)).

$$\eta = \frac{\tau_{vorh}}{\tau_{erf}} = \frac{\tan \delta_{vorh}}{\tan \delta_{erf}} = \frac{\tan \delta_{vorh}}{\left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_{max}} > 1,3 \quad (1)$$

Für den nach EC 7 und DIN 1054 geforderten Nachweis mit Teilsicherheiten wird der Ausnutzungsgrad  $\mu$  nach GEO-3 ermittelt, wobei als Bemessungswert der aktivierbaren Scherfestigkeit die nach E 2-7 aus Versuchswerten abgeminderte charakteristische Scherfestigkeit der Schichtfuge mit einem Teilsicherheitsfaktor von 1,25 abgemindert wird.

$$\mu = \frac{\tan \delta_{erf}}{\tan \delta_k} \cdot 1,25 = \frac{\left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_{max}}{\tan \delta_k} \cdot 1,25 < 1 \quad (2)$$

Der Nachweis ist für die Schicht oder die Trennfläche mit dem kleinsten mobilisierbaren charakteristischen Reibungsbeiwert  $\tan \delta_k$  zu führen, der für den vorherrschenden Spannungszustand repräsentativ ist (vgl. E 2-7). Eine Adhäsion in der Schichtgrenze darf nur angesetzt werden, wenn die Mobilisierbarkeit versuchstechnisch nachgewiesen ist. Alternativ kann aus dem i. A. nicht linearen Verlauf des Scherdiagramms von Schichtfugen mit polymeren Reibungspartnern ein dem vorherrschenden Spannungszustand zugeordneter Winkel der Gesamtscherfestigkeit  $\varphi_R$  bei der Ermittlung der Einwirkung angesetzt werden (Neigungswinkel der Schergeraden zwischen Spannungspunkt und Ursprung des  $\sigma/\tau$ -Diagramms), mit dem der lokale Nachweis geführt wird.

Die an der Deponiebasis lokal angreifenden Schubspannungen können graphisch mit Hilfe des Verfahrens nach ENGESSER bestimmt werden, TÜRKE (1999), GDA (1997). Bei diesem Verfahren werden die Erddrücke in unterschiedlichen vertikalen Schnitten der Deponieböschung unter der Annahme ebener Gleitflächen bestimmt. Die Schubkraft bzw. die Schubspannung in der Aufstandsfläche ergibt sich jeweils aus dem Kräftegleichgewicht. Der Verlauf der Sohlnormalspannung und Schubspannung entlang der Deponiesohle wird angenähert, indem diese Berechnung von einer Zone nahe dem Böschungsfuß beginnend für unterschiedliche Schnitte bzw. Punkte entlang der Aufstandsfläche durchgeführt wird, bis ein Minimum der Sicherheit (Abnahme der einwirkenden Schubspannung) erreicht wird. Da die aufwändige graphische Methode heute nicht mehr üblich ist, wird auf die in Kapitel 3 aufgeführte numerische Methode verwiesen.

Bei nicht kohäsivem Abfall, bei Vernachlässigung der Kohäsion oder bei einer Berücksichtigung eines kohäsiven Anteils durch den Ansatz einer Gesamtscherfestigkeit kann der erforderliche Reibungsbeiwert in der Aufstandsfläche des Abfallkörpers mit dem Ansatz nach RENDULIC/BRENDLIN geschlossen ermittelt werden, wobei nach BRAUNS auch die Neigung der Aufstandsfläche  $\varepsilon$  berücksichtigt werden kann. Der Winkel ist positiv, wenn die Aufstandsfläche zum Böschungsfuß hin fällt.

$$\tan \delta_{erf} = \frac{\tau}{\sigma} = \frac{\sin \varphi_k \cdot \sin[\arcsin(\frac{\sin \beta}{\sin \varphi_k}) - \beta + 2\varepsilon]}{1 + \sin \varphi_k \cdot \cos[\arcsin(\frac{\sin \beta}{\sin \varphi_k}) - \beta + 2\varepsilon]} \quad (3)$$

$\varphi_k$  Charakteristischer Reibungswinkel des Abfallkörpers  
(ggf. Gesamtscherfestigkeit  $\varphi_R$ )

$\beta$  Böschungswinkel des Abfallkörpers

$\varepsilon$  Neigungswinkel der Aufstandsfläche, positiv bei Gefälle nach außen

$\delta_{erf}$  Reibungswinkel der Schicht oder Reibungswert der Schichtfuge im Grenzzustand

Der Nachweis der lokalen Spreizsicherheit ist konservativ. Werden die Sicherheitsanforderungen nach Gleichung (1) oder (2) mit der nach Gleichung (3) ermittelten Beanspruchung erfüllt, wird der Grenzwert der Schubbeanspruchung in keinem Punkt unter der Böschung überschritten. Ist der Nachweis dagegen nicht erfüllt, kann eine detaillierte Analyse über die globale Betrachtung oder nach Kapitel 3 durchgeführt werden, TÜRKE (1999), FILLIBECK (1999).

Der globale Nachweis der Spreizsicherheit lässt sich mit vielen Programmsystemen als ein Böschungsbruch mit vorgegebenen ebenen oder mit polygonalen Gleitflächen nach JANBU, durch Starrkörperbruchmechanismen oder mit der Blockgleitmethode modellieren. Auch hierbei sind verschiedene Schnitte zu betrachten. Für die anzusetzenden Scherparameter in der Gleitfläche gelten die obigen Ausführungen bzw. die Festlegungen nach E 2-7.

Ist der Nachweis der lokalen Spreizsicherheit erfüllt, kann davon ausgegangen werden, dass die auf der Aufstandsfläche im Abdichtungssystem angreifende Schubkraft ohne Dehnung der Komponenten in den Untergrund übertragen wird. Beim Nachweis der globalen Sicherheit kann dagegen nicht ausgeschlossen werden, dass lokale Dehnungen stattfinden und das Abdichtungssystem lokal auf Zug beansprucht wird. Eine mögliche Zugbeanspruchung der Komponente Kunststoffdichtungsbahn (KDB) kann ausgeschlossen werden, wenn die Schichtgrenze mit dem geringsten Scherwiderstand oberhalb der KDB liegt. Dieser Nachweis wird wie in E 2-7, Kapitel 4, geführt.

### 3 Numerischer Nachweis der Spreizsicherheit

Ein Nachweis der Spreizsicherheit mit numerischen Methoden (FEM) bietet neben der statischen Analyse auch die Möglichkeit, die Verformungen des Abfallkörpers und des Abdichtungssystems quantitativ zu ermitteln. Von besonderem Interesse sind hierbei an der Abdichtung auftretende Querdeformationen.

Hierzu werden für den Abfallkörper und für alle Komponenten des Abdichtungssystems angemessene Stoffmodelle benötigt, deren Auswahl und Parameter eine Absicherung durch experimentelle Untersuchungen und darüber hinaus Fachkenntnis und Erfahrung bei der Modellierung erfordern.

Die in der schwächsten Schichtfuge des Abdichtungssystems erforderlichen Scherparameter im Grenzzustand, Sohlreibungswinkel  $\delta_{erf}$  und ggf. Adhäsion  $a_{erf}$ , werden über eine Reduktion der Scherwiderstände (sog.  $\phi$ -c-Reduktion) aus der Bruchbedingung ermittelt. Die Sicherheit bzw. der Ausnutzungsgrad kann dann nach Gleichung (1) bzw. (2) errechnet werden.

### 4 Literatur und Regelwerke

BRAUNS, J. (1980): Spreizsicherheit von Böschungen auf geneigtem Gelände. Bauingenieur 55 (1980), S. 433-436

FILLIBECK, J. (1999): Beitrag zum Verhalten mehrschichtiger Dichtungssysteme mit Kunststoffdichtungsbahnen unter Scherbeanspruchung. Schriftenreihe Lehrstuhl und Prüfamts für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik der Technischen Universität München. Heft 28

KOCKEL, R. (1992): Schubbeanspruchungen im Basisabdichtungssystem von Haldendeponien. Schriftenreihe des Institutes für Grundbau, Heft 20, Ruhr-Universität Bochum. Festschrift Prof.-Dr.-Ing. H. L. Jessberger, Rotterdam, Balkema-Verlag.

REDULIC, L. (1938): "Der Erddruck im Straßenbau und Brückenbau"

TÜRKE, H. (1999): Statik im Erdbau, 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 1999

---

GDA 1997 (1997): DGGT (Hrsg.); Empfehlungen der Arbeitskreise zur „Geotechnik der Deponien und Altlasten“; GDA. 3. Auflage 1997. E 2-21, S. 194-199

**Vorgängerversion** GDA 1997

**Ansprechpartner** Univ. Prof. Dr.-Ing. Karl Josef Witt  
Kantstraße 10, 99425 Weimar  
[kj.witt@mail.de](mailto:kj.witt@mail.de)

**Bearbeiter** K. J. Witt, Weimar, R.-B. Wudtke, Weimar