

## E 2-21 Spreizsicherheitsnachweis und Verformungsabschätzung für die Deponiebasis

Stand: GDA 1997

### 1 Allgemeines

Im Falle eines abgeöschten Deponiekörpers wirken entlang der Deponiebasis Schubspannungen, die zu einer Spreizverformung der Deponiebasis führen. Diese Schubbeanspruchung muss vom Deponieabdichtungssystem aufgenommen und in den Untergrund abgeleitet werden, ohne dass die Standsicherheit der Deponie oder die Funktionsfähigkeit der Abdichtungssysteme gefährdet wird. Hierzu ist sowohl ein Nachweis der Spreizsicherheit (E 2-6) als auch der Spreizverformungen erforderlich.

Die Nachweise können mit Hilfe konventioneller oder numerischer Berechnungsverfahren (FEM) geführt werden. FE-Methoden bieten die Möglichkeit der gleichzeitigen Erfassung von Spannungen und Verformungen an der Deponiebasis. Im Falle konventioneller Berechnungsverfahren können diese Nachweise durch eine Kombination zweier Berechnungsverfahren erbracht werden [1]. In einem ersten Schritt ist der Verlauf der Schubspannungen an der Deponiebasis zu ermitteln und der Spreizsicherheitsnachweis zu führen. Der Spreizsicherheitsnachweis kann im Falle kohäsionslosen Deponiegutes mit den Verfahren nach *Brauns* oder *Rendulic* geführt werden. Zur Schubspannungsermittlung bei kohäsiven Eigenschaften des Deponiegutes ist auf andere konventionelle Verfahren, z. B. das *Engesser*-Verfahren, zurückzugreifen. In einem zweiten Schritt ist für die zuvor ermittelte Schubspannungsverteilung die Horizontalverformung (Spreizverformung) der Deponiebasis zu ermitteln. Eine Abschätzung kann nach *Tölke* vorgenommen werden. Ein Berechnungsbeispiel findet sich in [1]. Die Grundsätze in E 2-19 sind zu beachten.

### 2 Nachweis der Spreizsicherheit

Die Spreizsicherheit ist i. allg. als örtliche (lokale) Sicherheit nachzuweisen, um das Auftreten lokaler Spannungsüberschreitungen und Plastifizierungen in der Sohlfuge auszuschließen. Sind solche Plastifizierungen unschädlich für die Funktionsfähigkeit der Abdichtungssysteme, kann alternativ der Nachweis der Gesamtsicherheit (globale Sicherheit) geführt werden. Dieser Nachweis entspricht dem Gleitsicherheitsnachweis eines als monolithisch gedachten Gleitkörpers auf der Deponiebasis und setzt die Möglichkeit lokaler Plastifizierungen in der Sohlfuge sowie von Spannungsumlagerungen im Deponiekörper voraus.

Im Rahmen des lokalen Spreizspannungsnachweises ist für jeden Punkt entlang der Deponiebasis sicherzustellen, dass die aktivierten Schubspannungen kleiner als die in den Trennflächen des Basisabdichtungssystems maximal übertragbaren Schubspannungen sind. Die vorhandene Sicherheit kann als Quotient der an der

Basis vorhandenen, maximal übertragbaren Scherfestigkeit  $\tan \varphi_{vorh}$  und der für die Übertragung der an der Deponiebasis wirkenden Spannungen erforderlichen Scherfestigkeit  $\tan \varphi_{erf}$  definiert werden:

$$\eta = \frac{\tan \varphi_{vorh}}{\tan \varphi_{erf}} = \frac{\tan \varphi_{vorh}}{\left( \frac{\sigma_v}{\tau} \right)_{\max}} \quad (1)$$

Der Nachweis ist für alle Trennflächen des Basisabdichtungssystems zu erbringen, wobei die Trennfläche mit der geringsten Sicherheit maßgebend ist. Die Spreizsicherheit kann durch konstruktive Maßnahmen, wie z. B. die Verwendung profilierter Kunststoffdichtungsbahnen, gesteigert werden.

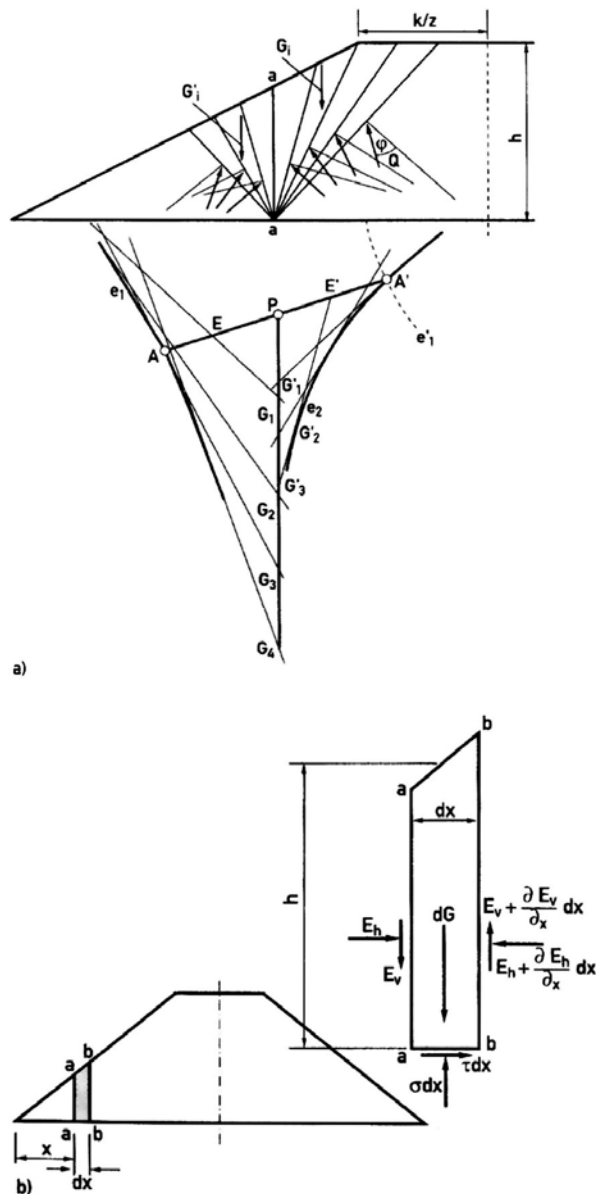


Bild 2-21.1: Verfahren nach Engesser

Die an der Deponiebasis angreifenden Schubspannungen können mit Hilfe des Verfahrens nach *Engesser* bestimmt werden. Bei diesem Verfahren werden die Erddrücke in unterschiedlichen vertikalen Schnitten der Deponie unter der Annahme ebener Gleitflächen gemäß Bild 2-21.1 bestimmt. Das Kräftegleichgewicht für ein Element zwischen zwei Schnitten a-a und b-b, auf das von beiden Seiten unterschiedliche Erddrücke wirken, ist nur bei Vorhandensein einer Schubkraft  $T$  an der Deponiesohle erfüllt. Für kleine Elemente kann aus der Schubkraft  $T$  mit ausreichender Genauigkeit die Schubspannungsordinate  $T$  an dieser Stelle abgeleitet werden. Der Verlauf der Sohlnormalspannungen und Schubspannungen entlang der Deponiesohle wird ermittelt, indem diese Berechnung für unterschiedliche Schnitte entlang der Deponiesohle durchgeführt wird.

Bei der Erddruckermittlung für einen Vertikalschnitt sind die entlang der betrachteten Gleitfläche wirkenden Scherparameter anzusetzen. Näherungsweise kann die Berechnung mit den Scherparametern  $\varphi$  und  $c$  des Abfalls durchgeführt werden, die sich als gewichtete Mittelwerte über die Höhe des betrachteten Vertikalschnittes ergeben. Beim Ansatz der Scherparameter ist E 2-19 zu beachten.

Das Verfahren von *Engesser* ist auch bei kohäsiven Materialien anwendbar. In diesem Fall ist zusätzlich zu der unter dem Winkel  $\varphi$  angreifenden Gleitflächenreaktionskraft  $Q$  (vgl. auch Bild 2-21.1b) die in der jeweiligen Gleitfläche wirkende Kohäsionskraft bei der Bildung des Kräftegleichgewichts zu berücksichtigen. Es bietet sich an, die Berechnung rechnergestützt durchzuführen.

### 3 Abschätzung der Spreizverformungen der Deponiebasis

Die Ermittlung von Spreizverformungen an der Deponiebasis erfordert den Einsatz von Berechnungsverfahren wie z. B. FE -Methoden, mit denen die Untergrundverhältnisse und die unterschiedlichen Spannungs-Verformungseigenschaften der einzelnen Schichten des Basisabdichtungssystems und des Untergrundes geeignet erfasst werden können. Sind Untergrund und Basisabdichtungssystem vereinfachend als homogen anzusehen, kann eine Abschätzung der Spreizverformungen z. B. mit Hilfe des in [1] vorgeschlagenen Berechnungsverfahrens nach *Tölke* vorgenommen werden. Dieses Verfahren, dessen Anwendung auf den ebenen Fall bei näherungsweise horizontaler Deponiebasis beschränkt ist, ermöglicht die Ermittlung der Horizontalverformung an der Oberfläche des Deponieuntergrundes (= Deponiebasis) infolge der aus dem Deponiekörper auf den Deponieuntergrund wirkenden Schubspannungen. Spreizverformungen innerhalb des Deponiekörpers selbst werden hierbei nicht berücksichtigt. Aus den ermittelten Verformungen kann auf die Größenordnung der für die im Basisabdichtungssystem eingesetzten Materialien (z. B. Kunststoffdichtungsbahn) zu erwartenden Dehnungen infolge Spreizen geschlossen werden.

Voraussetzung des Verfahrens nach *Tölke* ist die Annahme eines elastisch-isotropen Halbraumes mit horizontaler Oberfläche unterhalb des Abfallkörpers; d. h. einzelne Schichten des Basisabdichtungssystems sowie der Deponieuntergrund werden vereinfachend als homogen mit den Elastizitätsparametern E-Modul und Querdehnzahl  $\nu$  beschrieben. Für die unterschiedlichen Schichten des Basisabdichtungssystems wird ein vollkommener Verbund angenommen.

Die mit dem Verfahren nach *Engesser* ermittelten Schubspannungen werden als äußere Belastung des elastisch-isotropen Halbraumes angesetzt. Zunächst wird der jeweils betrachtete Schubspannungsverlauf über die gesamte Länge der Deponiebasis in einzelne Segmente unterteilt. Anschließend wird für jedes Segment die mittlere Schubspannungsordinate  $\tau_0$  bestimmt. Somit stellt jedes einzelne Segment eine gleichförmige, waagerechte Flächenlast mit einer bestimmten Schubspannungsordinate  $\tau_0$  gemäß Bild 2-21.2 dar.

Mit Gl. (2) aus [1] kann die absolute Horizontalverschiebung  $V_x(\tau_0)$  eines jeden Punktes  $x$  auf der Oberfläche des elastisch-isotropen Halbraums infolge einer waagerechten Flächenlast (Bild 2-21.2b) berechnet werden. Aus dem Verlauf der Horizontalverschiebung kann abschließend der Verlauf der Horizontaldehnung  $\varepsilon_h = dV_x / dx$  abgeleitet werden. Es empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

- 1) Berechnung der Horizontalverschiebung jeden Segmentes (im Segmentmittelpunkt  $a/2$ ) infolge der Belastung durch das Segment  $k = 1$
- 2) Wiederholung dieses Berechnungsvorgangs für die Segmente  $k = 2$  bis  $n$

- 3) Für jedes Segment: Superposition der berechneten Verschiebungen infolge aller Belastungselemente  $k=1$  bis  $n$ . Hieraus ergibt sich der Horizontalverschiebungsverlauf entlang der Deponiebasis.
- 4) Bestimmung des Verlaufs der Horizontaldehnungen  $\varepsilon_h$  an der Oberfläche des Untergrundes.

$$V_x(\tau_0) = \frac{-\tau_0}{4\pi G}$$

$$\sum_{i=1}^4 (-1)^i \left[ (x + x_i) \arctan h \frac{y_i}{R_i} + 2y_i \arctan h \frac{x + x_i}{R_i} + (1 - 2\nu)(x + x_i) \arctan h \frac{y_i}{R_i} \right] \quad (2)$$

mit  $E$                       Elastizitätsmodul  
 $G=E/2(1+\nu)$         Schubmodul  
 $\nu$                         Querdehnzahl  
 $R_i^2=(x+x_i)^2+y_i^2$

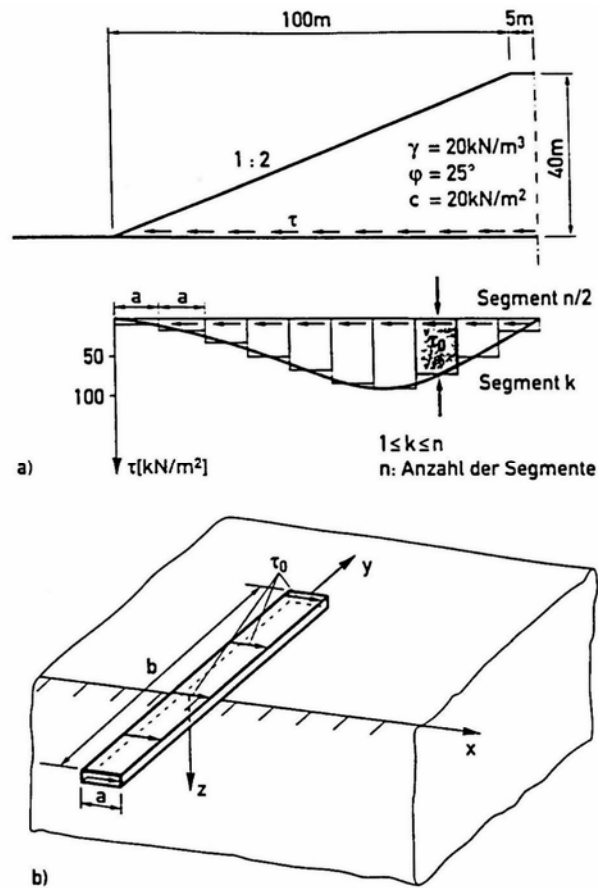


Bild 2-21.2: Ermittlung von Spreizverformungen des Deponieuntergrundes nach [1]

- a) Beispiel eines Schubspannungsverlaufes mit Segmentunterteilung
- b) Bezeichnung für ein Einzelsegment  $k$  mit waagrechter Belastung in  $x$ -Richtung

---

**Literatur zu E 2-21:**

- [1] 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.