

Sicherung von kuppelartigen Oberflächenabdichtungen mit Hilfe von Geogittern

Besonderheiten bei der Bemessung

Prof. Dr.-Ing. Salomo, Dipl.-Ing. Fischer

Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Umweltmanagement

Prof. Dr.-Ing. Salomo + Partner mbH

1 Einleitung

Zur Sicherung von Oberflächenabdichtungen werden bei steilen Böschungen häufig Geogitter eingesetzt. Die Bemessung erfolgt durch Gegenüberstellung aller treibenden Kräfte und aller haltenden Kräfte. Die Differenzkraft wird vom gewählten Geogitter aufgenommen. Die Berechnung erfolgt am ebenen System, wobei als Berechnungsmodell ein Böschungstreifen von einem Meter Breite gewählt wird. Alle auf diesen Meter wirkenden Kräfte müssen im Gleichgewicht stehen.

Angeregt durch die Untersuchung einer bereits drei Mal abgerutschten Oberflächenabdichtung, die mit einem Geogitter gesichert wurde, ist durch genauere Betrachtung der Summe aller Kräfte im Grundriß klar geworden, daß in den Kurvenbereichen der kuppelartigen Deponieoberfläche das Verhältnis der oberen Böschungsbreite zur unteren Böschungsbreite nach Art eines Tortenstückes enorm voneinander abweicht. Daraus resultieren wesentlich höhere Einbindekräfte als bei der Untersuchung eines Streifens durchgehend gleicher Breite. Um diesen höheren Einbindekräften Rechnung zu tragen und alle auf dem entsprechenden Oberflächenabschnitt anfallenden Kräfte sicher zu erfassen, wurde vom Büro IGU ein einfacher Berechnungsansatz für diese Situation entwickelt. Beispielrechnungen zeigen dabei teilweise deutlich höhere Einbindekräfte als bei herkömmlicher Berechnung.

2 Grundlagen

Zur Bemessung des notwendigen Geogitters für eine Oberflächenabdichtung werden die Kräfte ermittelt, die nicht allein durch Reibung in der maßgebenden Kontaktfläche aufgenommen werden können. Unter Berücksichtigung des erforderlichen Sicherheitsbeiwertes η ergibt sich unter Zugrundelegung des in der Geotechnik noch üblichen globalen Sicherheitssystems nachfolgende Beziehung zur Ermittlung der notwendigen Zugfestigkeit des Geogitters.

2 Sicherung von kuppelartigen Oberflächenabdichtungen mit Hilfe von Geogittern

$$Z_{erf} = \left[\gamma_B \cdot d \cdot \tan \beta + \gamma_W \cdot h_W \cdot \sin \beta - \frac{\gamma_B \cdot d \cdot \tan \varphi}{\eta_{erf}} \right] \cdot l_B$$

mit:

η_{erf} = Sicherheitsbeiwert nach DIN 4084 (Endzustand (LF1) 1,3 – Bauzustand (LF2) 1,2)

γ_B = Wichte des Bodens, ggf. Mittelwert

γ_W = Wichte des Wassers

β = Böschungsneigung

φ = maßgebender Reibungswinkel

h_W = Höhe des Wassereinstaues

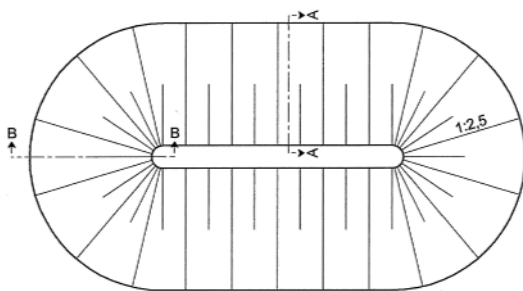
d = Schichtdicke des Bodens (senkrecht auf die Böschungsoberfläche)

l_B = Länge der Böschung

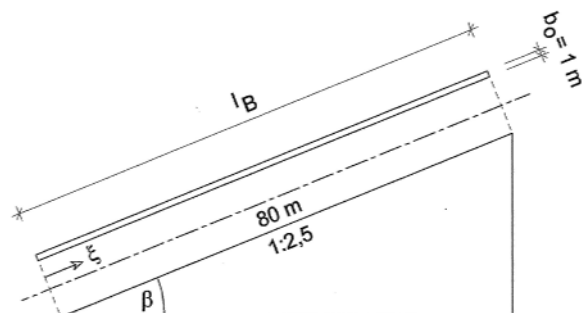
Z_{erf} = aufzunehmende Zugkraft pro Meter Böschungsbreite

Mit dieser relativ einfachen Beziehung läßt sich im ebenen Belastungszustand die erforderliche Zugkraft für das Geogitter berechnen. Nicht berücksichtigt ist in dieser Formel der Bauzustand, für den üblicherweise ein auf der Böschung hangabwärtsbremsendes Baugerät angesetzt wird. Es soll an dieser Stelle nur ein einfacher Vergleich aufgezeigt werden, ohne kompliziertere Zusammenhänge wie Bauzustände und anderes zu berücksichtigen.

Für eine hier vereinfacht dargestellte Oberflächenabdichtung wird nachfolgend die erforderliche aufnehmbare Zugkraft für das Geogitter in den Schnitten A (ebener Belastungszustand) und B (räumlicher Belastungszustand) berechnet.



Grundriß



Schnitt A-A

3 Berechnung im Abschnitt mit parallelen Falllinien (Schnitt A)

Rechenbeispiel:

$$\eta_{\text{erf}} = 1,3, \text{ LF1, Endzustand}$$

$$\gamma_B = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_W = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\beta = 21,8^\circ, \text{ Steigung 1:2,5}$$

$$\varphi = 25^\circ$$

$$h_W = 0,02 \text{ m, Volleinstau der Dränmatte}$$

$$d = 1,0 \text{ m}$$

$$l_B = 80 \text{ m}$$

$$Z_{\text{erf}} = \left[18 \text{ kN/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot \tan 21,8^\circ + 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,02 \text{ m} \cdot \sin 21,8^\circ - \frac{18 \text{ kN/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot \tan 25^\circ}{1,3} \right] \cdot 80 \text{ m}$$

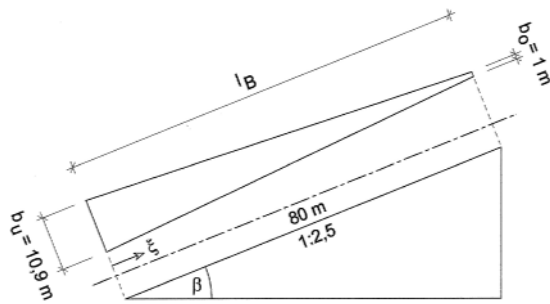
$$= 65,4 \text{ kN}$$

Damit muß je laufenden Meter Böschungskrone die errechnete Kraft $Z_{\text{erf}}=65,4 \text{ kN}$ von dem Geogitter aufgenommen werden.

4 Berechnung in Kurvenabschnitten (Schnitt B)

Bei allen uns bekannten Berechnungen wurden die Bereiche mit parallelen Falllinien genauso berechnet wie Bereiche mit nach unten auseinanderlaufenden Falllinien berechnet. Durch das Auseinanderlaufen der Falllinien erhöht sich jedoch die am oberen Ende durch das Geogitter aufzunehmende Kraft beträchtlich. Alle sich unterhalb eines Höhenlinienabschnittes auftretenden Spannungen die nicht durch Reibung gehalten werden, müssen durch ein Geogitter aufgenommen werden. In dem hier dargestellten Beispiel bedeutet dies, daß auf einem Meter Böschungsbreite am oberen Ende der Böschung das Trapez mit der vollen Böschungslänge und einer unteren Böschungsbreite von $b_u=10,90 \text{ m}$ verankert werden muß. Zur Ermittlung der auftretenden Kräfte wurde ein einfaches Ersatzmodell angesetzt, welches zur Berücksichtigung dieser erhöhten Kräfte ausreichend ist. Betrachtet wird ein Trapez als Ersatzfläche für die Abwicklung der Oberfläche im Kurvenbereich der Böschung. Somit können die auftretenden Kräfte ohne komplizierte Integration von Spannungen ausreichend genau berechnet werden.

4 Sicherung von kuppelartigen Oberflächenabdichtungen mit Hilfe von Geogittern



Schnitt B-B

In einem ersten Schritt werden die treibenden und die haltenden Spannungen an der unteren Böschungskante und an der oberen Böschungskante ermittelt.

Ermittlung der treibenden Spannungen:

$$(p + s_w)_{II,u} = b_u \cdot \gamma_B \cdot d \cdot \tan \beta + b_u \cdot \gamma_w \cdot h_w \cdot \sin \beta$$

$$(p + s_w)_{II,o} = b_o \cdot \gamma_B \cdot d \cdot \tan \beta + b_o \cdot \gamma_w \cdot h_w \cdot \sin \beta$$

mit:

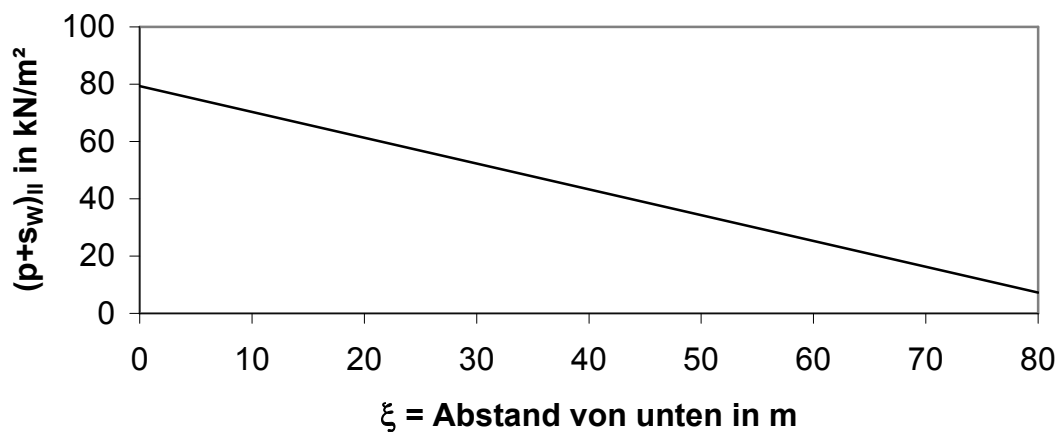
b_o = Böschungsabschnittsbreite oben = 1,0 m

b_u = Böschungsabschnittsbreite unten = 10,90 m

$$(p + s_w)_{II,u} = 10,9 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot \tan 21,8^\circ + 10,9 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,02 \text{ m} \cdot \sin 21,8^\circ = 79,28 \text{ kN/m}^2$$

$$(p + s_w)_{II,o} = 1 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot \tan 21,8^\circ + 1 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \cdot \sin 21,8^\circ = 7,27 \text{ kN/m}^2$$

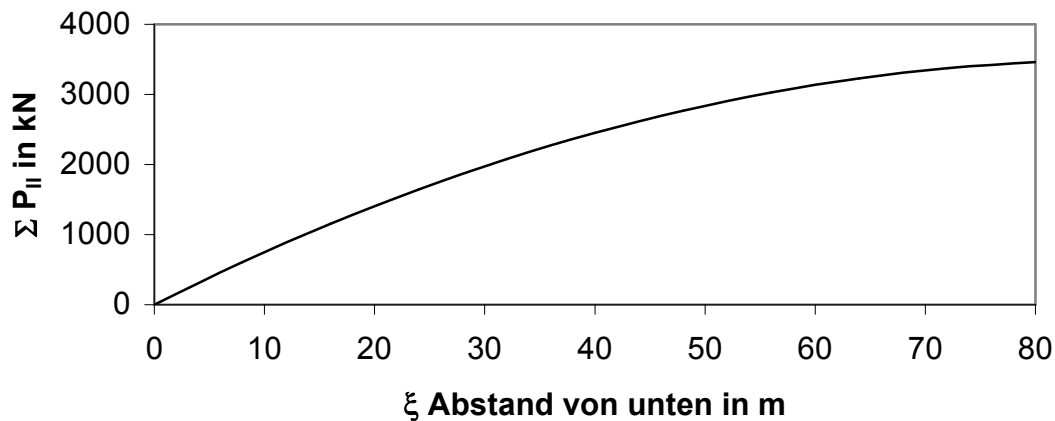
treibende Schubspannungen



Mit den errechneten hangabwärtsgerichteten Schubspannungen an der oberen und an der unteren Böschungsabschnittsfläche kann nun durch Integration über die Böschungslänge die gesamte treibende Kraft ermittelt werden.

$$\Sigma(P + S_w)_{II} = \int (p + s_w)_{II} \cdot d_\xi$$

hangabwärtsgerichtete Kräfte



Dem entgegen wirken die haltenden Kräfte aus Reibung in der maßgebenden Scherfuge. Zur Berücksichtigung des erforderlichen Sicherheitsbeiwertes werden die haltenden Kräfte durch den Sicherheitsbeiwert η_{erf} dividiert.

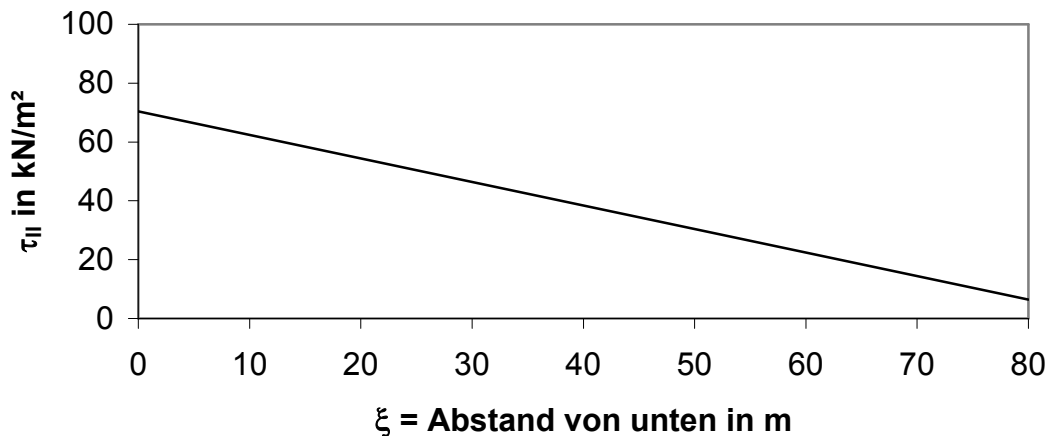
$$\tau_{II,u} = \frac{b_u \cdot \gamma_B \cdot d \cdot \tan \varphi}{\eta_{erf}}$$

$$\tau_{II,u} = \frac{10,9m \cdot 18kN/m^3 \cdot 1m \cdot \tan 25^\circ}{1,3} = 70,38kN/m^2$$

$$\tau_{II,o} = \frac{b_o \cdot \gamma_B \cdot d \cdot \tan \varphi}{\eta_{erf}}$$

$$\tau_{II,o} = \frac{1m \cdot 18kN/m^3 \cdot 1m \cdot \tan 25^\circ}{1,3} = 6,46kN/m^2$$

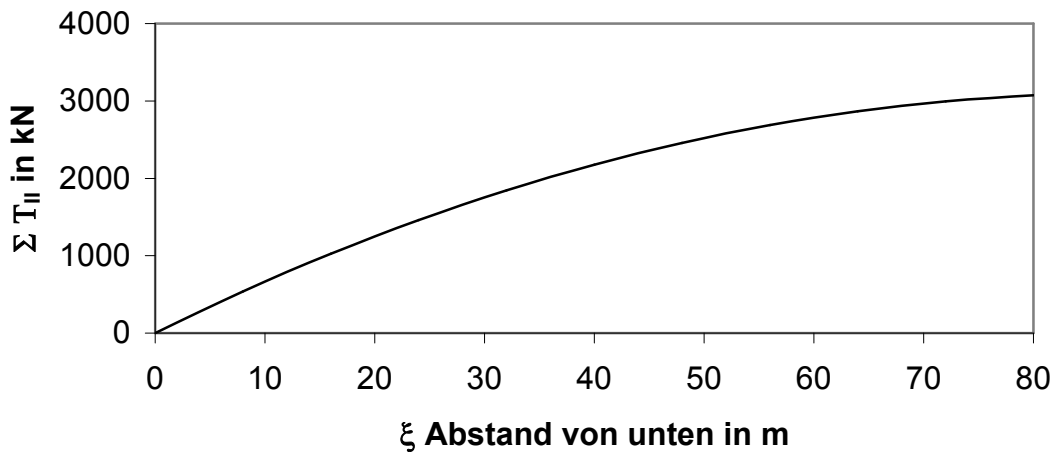
haltende Reibungsspannungen



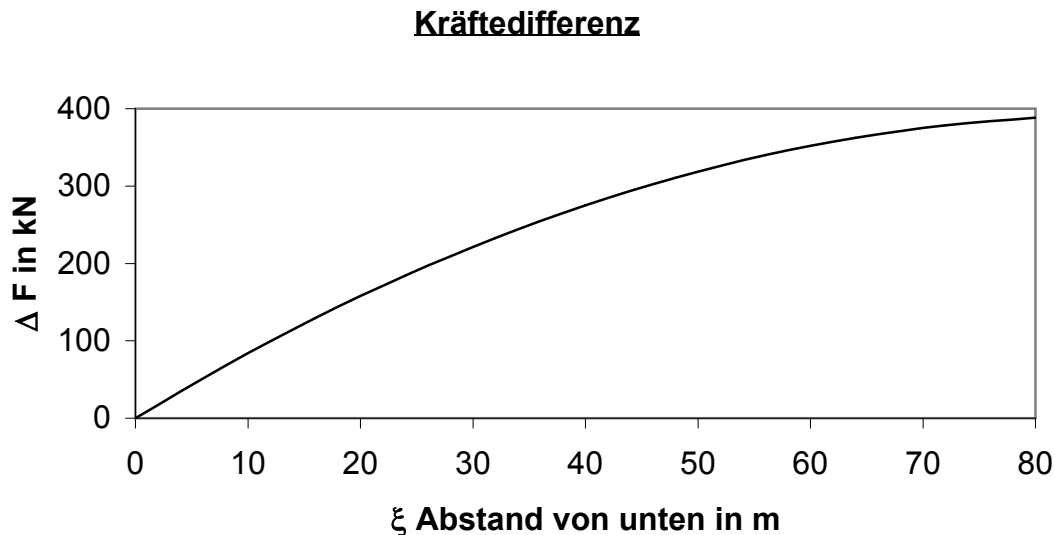
Durch Integration über die Böschungslänge l_B ergibt sich nun die gesamte haltende Kraft, ohne Geogitter.

$$\Sigma(T)_{II} = \int \tau_{II} \cdot d\xi$$

haltende Reibungskräfte



Aus der Differenz zwischen haltenden und treibenden Kräften ergibt sich die durch das Geogitter aufzunehmende Kraft. Ähnlich wie bei der Berechnung der erforderlichen Stahlbewehrung im Stahlbetonbau ergeben sich über die Böschungslänge Deckungslinien, die durch das Geogitter als „Bewehrung“ abgedeckt werden muß.



Von unten nach oben nehmen die vom Geogitter aufzunehmenden Kräfte zu. Alle bis zum betrachteten Punkt in der Böschung bereits eingeleiteten Kräfte müssen bis zur Einbindung weitergeleitet werden.

Wird das eingesetzte Geogitter innerhalb der Böschung abgestuft, so muß eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den Geogittern eingesetzt werden.

Werden die Geogitter in den Kurvenabschnitten vom unteren Böschungsabschnitt bis zur Einbindung geführt, so liegen die Geogitter im oberen Bereich in mehreren Lagen übereinander. Eine klassische Einbindung in einem Einbindegraben funktioniert bei mehreren Lagen des Geogitters nicht mehr. In dem hier untersuchten Beispiel liegen bei durchgehender Bewehrung mit einem Produkt ohne Abstufung der Bewehrung ca. 11 Geogitter übereinander. Somit addieren sich die in der Einbindung einzuleitenden Kräfte schnell zu immens hohen Kräften die in herkömmlichen Einbindegräben nicht aufgenommen werden können. Zwischen jeder Geogitterlage wäre außerdem eine Bodenschicht als „Krallschicht“ erforderlich, um die Kräfte aus den Geogittern einzuleiten.

5 Bewertung bereits bestehender Systeme

Bei der Herstellung vieler Oberflächenabdichtungen wurden bereits Geogitter eingesetzt, ohne daß es zu Schadensfällen kam. Wie bei allen statischen Berechnungen fließen auch hierbei verschiedene Sicherheitsbeiwerte mit in die Berechnungen ein. Die haltenden Kräfte in der maßgebenden Scherfuge werden durch den Sicherheitsbeiwert h abgemindert. Für die Geogitter multiplizieren sich die Abminderungsfaktoren für Beschädigung, Fugen oder Überlappungen, Umgebungseinflüsse und Teilsicherheitsbeiwert zu Abminderungsfaktoren die schnell in der Größenordnung von 5,0 liegen. Eine Berücksichtigung der räumlichen Wirkung erfolgt üblicherweise nicht.

Werden jedoch nach dem oben vorgestellten Berechnungsansatz die Gleitsicherheiten solcher bestehenden Systeme nachgerechnet, so ergeben sich unter Umständen nur noch vorhandene Sicherheiten die knapp über 1,0 liegen. Das bedeutet, die Gleitsicherheit dieser Böschungen beruht auf einem labilen Kräftegleichgewicht ohne die erforderlichen Sicherheitsreserven. Weitere Rutschungen in bestehenden Oberflächenabdichtungen sind daher nicht auszuschließen.

Anschrift der Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Salomo, Dipl.-Ing. Fischer
Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Umweltmanagement
Prof. Dr.-Ing. Salomo + Partner mbH
St.-Viti-Str. 1
D-29525 Uelzen
Telefon +49 581 97 60 50
Email info@igu-uelzen.de
Website: www.igu-uelzen.de