

# Die Anwendung von Geogittern im Deponiebau und dabei besonders zu berücksichtigende Randbedingungen

Key-Words: Geogitterbewehrung, Anwendungsbereiche, Standsicherheit

O. Syllwasschy

*HUESKER Synthetic GmbH, Anwendungstechnik, Gescher, Deutschland*

**KURZFASSUNG:** Abdichtungssysteme im Deponiebau sind geprägt durch ihre hangparallele und geschichtete Ausbildung. Die meistens anzutreffende Kombination von geosynthetischen und mineralischen Komponenten ergibt verschiedene mögliche Gleitlinien, auf denen ein Abdichtungssystem versagen kann. Bei steilen Böschungen sind entsprechend Gleitsicherheitsnachweise für die unterschiedlichen Scherfugen zwischen den Abdichtungskomponenten zu führen (GDA-Empfehlungen 1997; EBGEO 2010).

Altdeponien weisen aufgrund der tlw. hohen Scherfestigkeit der Abfälle Neigungen im Bereich 1:2 bis 1:1,5 auf. Ebenso werden bei Neubauten in Basisabdichtungen oftmals sehr steile Neigungen geplant, um das Deponievolumen zu maximieren. Diese Neigungen sind jedoch problematisch, weil i.d.R. trotz Auswahl hervorragend abgestimmter Baustoffe und Produkte, die Böschungen nur bis zu einer Neigung von ca. 1:3 rechnerisch standsicher ausgeführt werden können. Hier müssen besondere Maßnahmen ergriffen werden, welche ein besonderes Verfüllmanagement und/oder den Einsatz von zusätzlichen, Zugkraft übernehmenden Geokunststoffen wie Geogittern erforderlich machen.

## 1 EINLEITUNG

Geogitter können als Bewehrungselemente im Deponiebau mehrere Funktionen erfüllen. Sie dienen der Sicherung gegen hangparalleles Gleiten von Abdichtungssystemen. Sie können ungleichmäßige Setzungen insbesondere im Bereich von Zwischenabdichtungen ausgleichen. Stützwände stabilisieren Böschungsfüße nach dem Prinzip der Kunststoff Bewehrten Erde. Somit dienen Geogitter der Sicherung von Abdichtungssystemen gegen Gleiten und Verformungen oder, nach den gleichen technischen Prinzipien, dem wirtschaftlichen Aspekt der Optimierung des Deponievolumens. In der Planungsphase ist hierbei besonderes Augenmerk auf die Bauausführung zu richten und die geometrischen Randbedingungen zu berücksichtigen. Für die Verankerung ist genügend Auflast und somit Platz vorzuhalten. Die Verlegung der Abdichtungskomponenten kann auf sehr steilen und langen Böschungen wegen der eingeschränkten Befahrbarkeit problematisch bis unmöglich sein. Gegebenenfalls sind temporäre Sicherungsmaßnahmen erforderlich.

## 2 SICHERHEIT GEGEN GLEITEN

Die Reibungsverhältnisse zwischen Geokunststoffen oder Geokunststoff gegen Böden in einem mehrschichtigen Abdichtungssystem sind in vielen Fällen ungünstiger als zwischen Bodenmaterialien, so dass bei steileren Böschungen oft der Einsatz einer geosynthetischen Bewehrung erforderlich ist. Die Scherparameter sollten bei Böden mit den tatsächlich verwendeten Komponenten untersucht werden. Scherparameter zwischen Geokunststoffen sind i.d.R. bekannt und abgesichert, so dass sie nicht für jedes Projekt neu untersucht werden müssen. Die Bemessung der erforderlichen Zugfestigkeit erfolgt z.B. nach (EBGEO 2010) oder (GDA-Empfehlung E2-20 2015). Um die Kraft an der Böschungskrone ableiten zu können, ist eine entsprechende Verankerungsgeometrie rechnerisch zu bestimmen. Es kann hierbei einerseits eine flache Verankerung gewählt werden, bei der keine Erdarbeiten unterhalb des Abdichtungsniveaus erforderlich sind,

jedoch eine entsprechend große Verankerungslänge erforderlich wird. Andererseits kann ein Ankergraben, der zwar zusätzlichen Bodenaushub erforderlich macht, viel Verankerungsfläche einsparen und in beengten Bereichen eingesetzt werden.

### 2.1 Verankerung flach auf dem Plateau

Diese Art der Verankerung basiert auf dem Prinzip des Gleitens in der schwächsten Gleitfuge. Das bedeutet konkret, dass nur eine Reibungsfläche existiert, die mit dem geringsten Kontaktreibungswinkel rechnerisch angesetzt werden kann. Der Boden würde im Versagensfall mitsamt dem Geogitter auf der Gleitfuge in Bewegung geraten. Somit ist die Verankerungslänge recht lang. Vorteil ist hierbei, dass keine Erdarbeiten und auch keine zusätzlichen Anschlussarbeiten des nachfolgenden Abdichtungssystems bzw. eine zusätzliche Dränage erforderlich werden. Dieses System wird i.W. nur in Plateaubereichen von Deponien angewendet. Eine Verkürzung der Länge ist hier nur durch eine Erhöhung der Auflast durch mehr Bodenmaterial möglich.

### 2.2 Verankerung in einem Einbindegraben

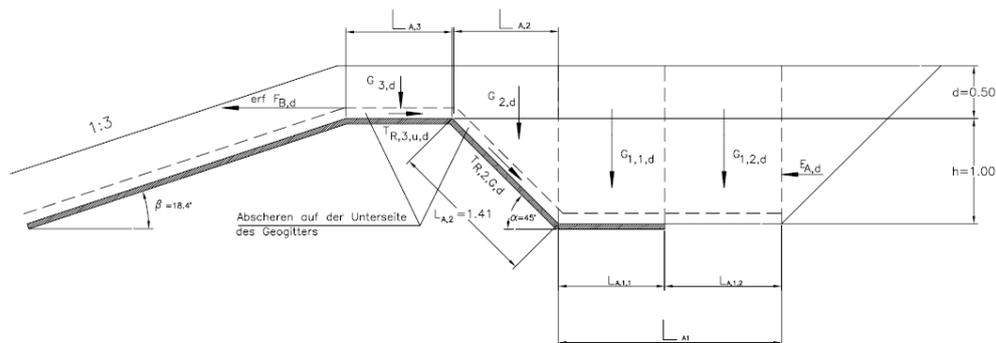


Abb. 1: Prinzip des Einbindegrabens

Diese Ausführung (Abb. 1) ist aus zwei Gründen platzsparend. Sie ermöglicht im Bereich des Einbindegrabens den rechnerischen Ansatz von zwei Gleitfugen, die kritische und die nächst schwächere, weil der Nachweis auf dem Prinzip des Herausziehens basiert. Kinematisch betrachtet verbleibt der aufliegende Boden im Graben an Ort und Stelle. Zusätzlich erzeugt die erhöhte Auflast eine größere Reibungskraft. Somit kann der Gesamtbereich der Verankerung um mehr als 50 % im Vergleich der flachen Lösung reduziert werden.

#### 2.2.1 Optimierungsmöglichkeiten der Verankerung

Bei beengten Platzverhältnissen kann eine Optimierung nur erfolgen, indem zusätzliche Auflast geschaffen wird, denn die Länge ist beschränkt (z.B. Randstraßen oder Grundstücksgrenzen). Dies kann nur erreicht werden, indem in die Tiefe oder Höhe gebaut wird.

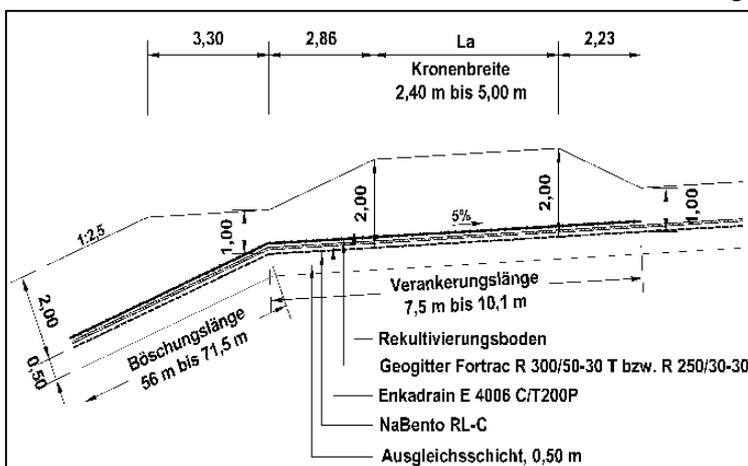


Abb. 2: Verankerung auf dem Plateau

Bei der flachen Verankerung kann nur zusätzliches Bodenmaterial aufgetragen werden, wie in Abb. 2 dargestellt.

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass z.B. ein Entwässerungsgraben für Niederschlagswasser auf der Rückseite der Aufschüttung erforderlich werden kann. Beim Einsatz von Verankerungsgräben sind mehrere Varianten möglich. Die Ankergrabenengeometrie kann flach oder tief ausfallen, die Ankergrabenbreite kann schmal oder breit angesetzt werden, der Ankergrabenort kann nah an der Böschung oder von dieser zurückversetzt liegen. Zusätzliche Auflast (s. Abb. 2) erhöht auch hier die abtragbaren Zugkräfte zusätzlich.

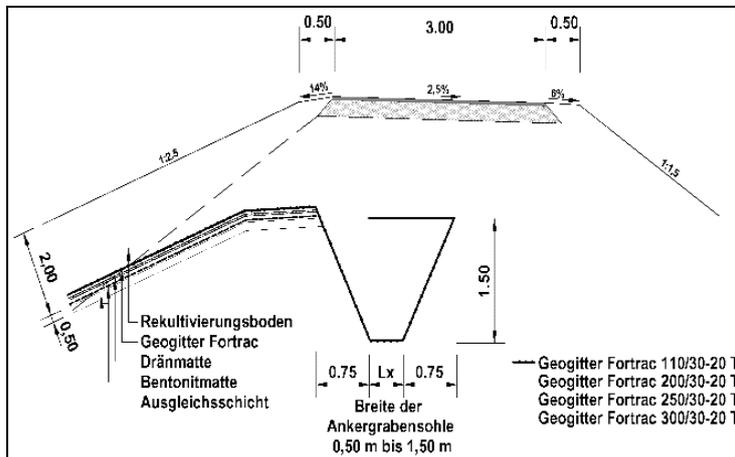


Abb. 3: Tiefer Ankergraben in einer schmalen Berme

Abb. 3 zeigt einen schmalen, aber tief ausgeführten Verankerungsgraben auf einer Schlackendeponie im Saarland. Aufgrund der inzwischen hinter der Berme anstehenden neuen Anschüttungen, war ein breiterer und flacherer Aushub nicht möglich. Durch die beschränkte Böschungslänge zur nächstunteren Berme ergaben sich relativ niedrige Zugkräfte, die in einem kleinen Grabenquerschnitt verankert werden konnten. Werden bedingt durch lange und/oder steilere Böschungen größere Ankergrabenquerschnitte erforderlich, kann in solchen Situation evtl. eine erhöhte Auflast helfen. Reicht die mögliche Querschnittsfläche dann immer noch nicht, muss eventuell jedoch darüber nachgedacht werden, wie die Böschungslänge ggf. durch zusätzliche Bermen reduziert wird, um mit dem wenigen Platz auszukommen.

Eine weitere Variante ist es den Verankerungsgraben erst hangseitig der Berme anzuordnen, wie beispielhaft in Abb. 4 dargestellt. Ein wesentlicher Vorteil bei dieser Variante ist, dass der Anschluß der späteren, oberhalb liegenden Abdichtung in Form einer einfachen, sogar räumlich getrennten Überlappung ausgeführt werden kann, ohne dass erneut bis zu dem bereits ausgeführten Ankergraben hinunter gegraben werden muss. Dies spart in der Bemessung Querschnittsfläche, weil für den Bauzustand mehr Volumen zur Verfügung steht und nicht durch temporären Aushub verloren geht.

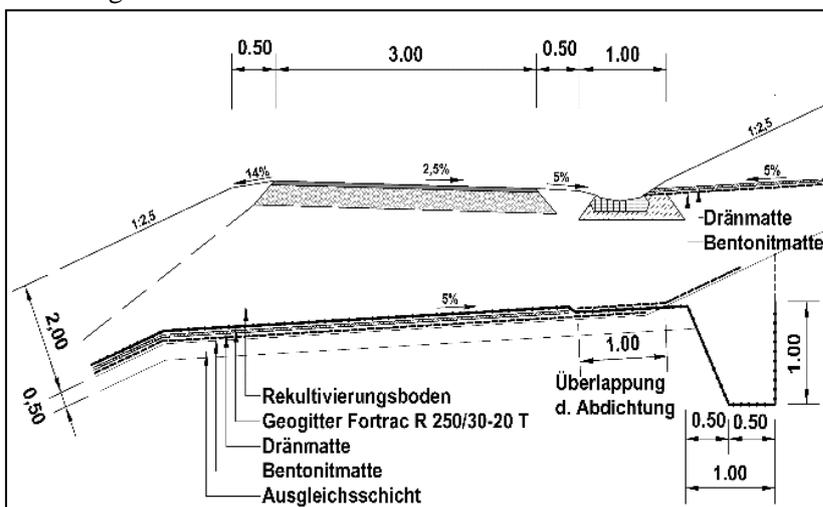


Abb. 4: Rückseitiger Ankergraben

### 2.3 Verankerung in Eckbereichen von Deponien

Bei Deponieböschungen, die in ihrem Verlauf relativ sanft ausgerundete Kurven aufweisen, kann die Antigleitbewehrung problemlos auf dem Plateau verankert werden (Abb. 5). Diese Form ist sogar so gut, dass trotz des engen Winkels, in dem die Böschungen tlw. unter  $45^\circ$  aufeinander treffen, durch eine ausrundende Profilierung und einer damit verbundenen Abflachung der Böschung auf die Antigleitbewehrung in den Eckbereichen verzichtet werden konnte.

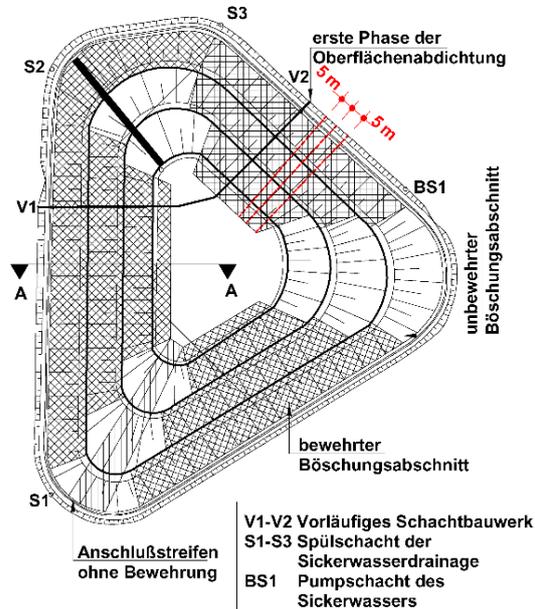


Abb. 5: Eckbereiche mit Ausrundung

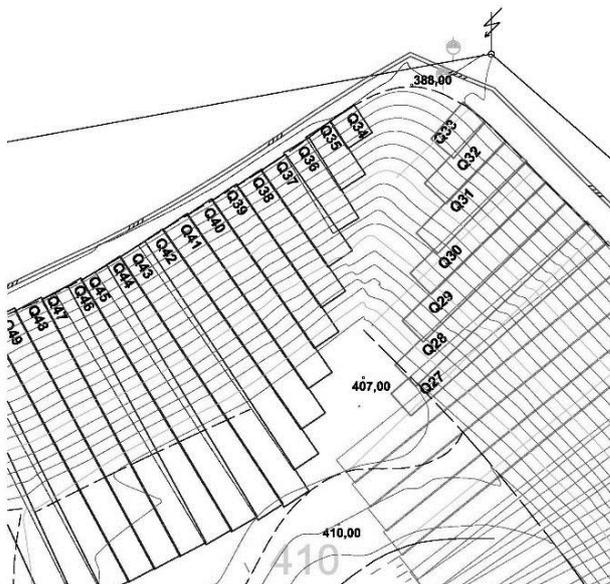


Abb. 6: Eckbereiche ohne Ausrundung

Sind die Kurvenradien jedoch klein oder treffen gar zwei Böschungen unter  $90^\circ$  oder steiler aufeinander, so dass ein Grat entsteht (Abb. 6), ist besonderes Augenmerk auf die Verlegung der Antigleitbewehrung zu richten. Bedingt durch den engen Radius des Böschungsverlaufes oder gar einer ausgebildeten Schnittkante ohne Kurvenverlauf würden sich die Bewehrungslagen im Eckbereich stark überschneiden und im Ankerbereich mehrfach überlappt in einem Punkt auf der Böschungskrone konzentrieren. Somit entsteht in einem Punkt eine konzentrierte Krafteinleitung aus einer großen Fläche, welche nur durch entsprechende Auflasten oder Verankerungslängen aufzunehmen wäre.

In solchen Fällen bietet sich eine Verankerung entlang des Böschungsgrates an. Hierzu werden entlang der Schnittkante der Böschungen zwei Gräben angelegt und die Bewehrung dort direkt

verankert. Es entstehen keine Überlappungen, keine Lastkonzentrationen und die Verankerungsgeometrie bleibt klein. Entlang der gradlinig verlaufenden Böschungen erfolgte die Verankerung flach auf dem Plateau (Abb. 7).

Diese Lösung wurde u.a. bei der Deponie Redlham ausgeführt. In der Bemessung musste berücksichtigt werden, dass die Zugkräfte der Bewehrung aus den Böschungen im Ankergraben aufgenommen werden können. Zusätzlich mussten noch die längs des Grabens hangabwärts auftretenden Zugkräfte durch zusätzliche Bewehrungen aufgefangen werden, um keine abwärts treibenden Querkräfte in den Bewehrungen der Böschungen zu aktivieren. Diese Bewehrungslagen wurden zum einen an der Grabenbasis eingelegt und zum anderen auf Höhe der Unterkante der Rekultivierungsschicht. Somit wurde gewährleistet, dass der gesamte Grabenkörper verankert wurde und auch lokal Scherkräfte aus Gleiten abgetragen werden, ohne das Dichtungselement auf Dehnung zu beanspruchen.

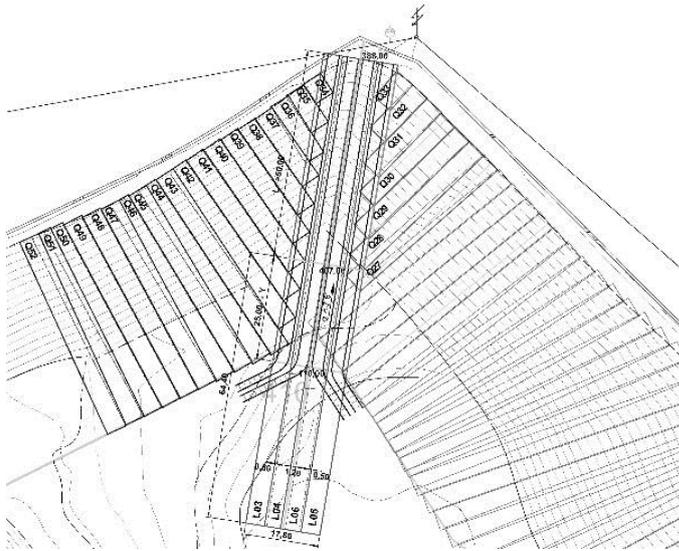


Abb. 7: Ankergräben auf Böschungsgrat

#### 2.4 Stützfußkonstruktionen

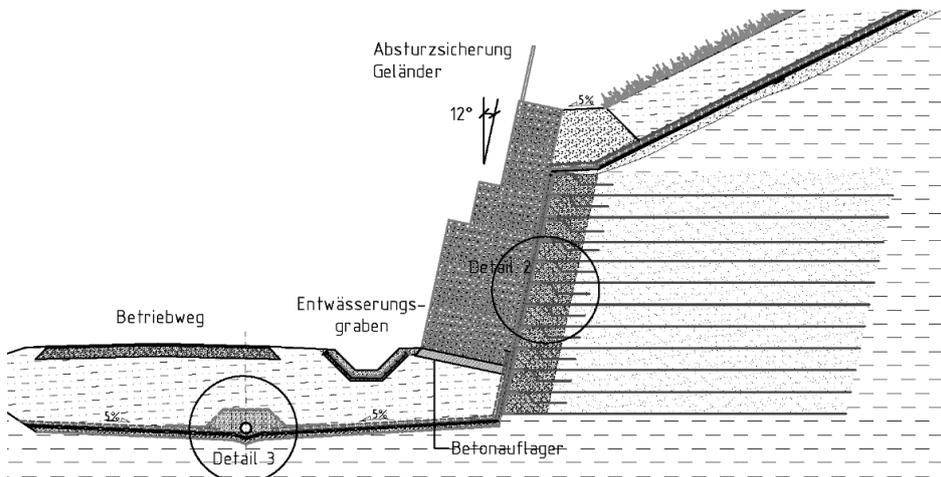


Abb. 8: KBE am Böschungsfuß, abgedichtet mit Kunststoffdichtungsbahn

Kunststoff Bewehrte Erde Konstruktionen (Abb. 8) ermöglichen es, dass vorhandene übersteile Böschungen bei gleichzeitigem Volumengewinn ohne Abtrag des Deponiekörpers abgeflacht werden können. Voraussetzung hierfür ist, dass genügend Platz für die Verankerungslänge der Geogitter vorhanden ist oder geschaffen werden kann. Der Volumengewinn kann entsprechend als Mehreinnahme mit den Baukosten verrechnet werden. Die Frontseite der KBE-Wand wird mit einer Kunststoffdichtungsbahn gegen Niederschlagswasser abgedichtet. Vor die KDB können Gabionenkörbe als Schutz- und Gestaltungselemente gestellt werden. Die KDB wird durch schwere Schutzvliese und Dränmatten gegen Beschädigungen geschützt.

## 2.5 Temporäre Sicherung von Abdichtungen

Werden Böschungen mit Neigungen steiler 1:3 abgedeckt, empfiehlt es sich während der Verlegung die Geokunststoffkomponenten temporär gegen Gleiten zu sichern. Bei diesen Neigungswinkeln kann sich ein Grenzgleichgewicht einstellen, bei dem es genügt, dass ein etwas zu schnelles Abrollen oder unachtsames Betreten der Geokunststofflage zum Rutschen führen kann. Hier sind, je nach Festigkeit des Untergrundes, einfache Befestigungsmittel wie Eisenbügel, Erdkrampen oder lange Nägel zu empfehlen. Sie sind schnell und unmittelbar nach Abrollen einzuschlagen. Es ist zu beachten, dass diese Störung außerhalb des Überlappungsbereiches liegen muss.

## 3 ANWENDUNGSGRENZEN

Geogitter sind rechnerisch in der Lage sehr hohe Kräfte aufzunehmen. Je nach Produkt sind hier Kurzzeitzugfestigkeiten im Bereich bis ca. 2000 kN/m möglich. In der Theorie kann auch jede beliebige Böschungsneigung und Böschungslänge gerechnet werden. Für die Praxis und die geotechnische Sinnhaftigkeit solcher Berechnungen sind jedoch folgende Punkte zu beachten:

- Es kann nur so viel Kraft im Geogitter aktiviert werden, wie auch sicher verankert werden kann
- Der Verankerungsbereich kann geometrisch eingeschränkt sein
- Der Rekultivierungsboden muss eine innere Scherspannung aufweisen, die größer ist, als die erzeugte Schubspannung der geneigten Böschung. Eine Daumenregel hierbei ist  $\tan \varphi_{\text{Boden}} > 1,3 \cdot \tan \beta_{\text{Böschung}}$ . Sonst kann es passieren, dass das System bis zur Geogitterlage stabil bleibt, der Oberboden jedoch wenige Millimeter oberhalb der Bewehrung absichert.
- Insbesondere lange Böschungen, d.h. länger als eine Geosynthetische Tondichtungsbahn von ca. 20 bis 40 m, bedürfen einer besonderen Einbaulogistik. Dies kann z.B. der Einsatz von Arbeitsbermen, Zwischensicherungen oder Einsatz von sehr leichtem (Pistenbully) oder weitreichendem Gerät (Langarmbagger) sein.
- Böschungsneigungen im Bereich  $> 1:2$  sind ausführbar, hier ist jedoch besonderes Bodenmanagement erforderlich. Die Böschungslängen oder -abschnitte sollten dann begrenzt werden und qualitativ höherwertige Oberböden oder Dränschichten sind nur in Kombination mit flacher geneigten Anschüttungen standsicher einbaubar.

## 4 ZUSAMMENFASSUNG

Geogitter bieten eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten im Deponiebau. Sie ermöglichen standsichere und verformungsstabile Abdichtungssysteme, die mit herkömmlichen Bauweisen versagen würden oder nur mit erhöhtem Aufwand zu erstellen sind. Die Anwendungen sind jedoch immer kritisch zu hinterfragen und die Randbedingungen, insbesondere Geometrie und nutzbare Scherparameter, genau zu erkunden. Der Bauablauf ist in der Planung zu berücksichtigen, weil tlw. die Zugänglichkeit der steilen Deponieböschungen stark eingeschränkt ist. Der durch Geogitterkonstruktionen erzielbare Volumengewinn ermöglicht in vielen Fällen Mehreinnahmen, durch die die Baukosten gedeckt oder sogar Gewinne gemacht werden können.

## LITERATUR

- EBGEO (2010) Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen – EBGEO. Berlin, Germany: Ernst & Sohn
- GDA (1997) Empfehlungen des Arbeitskreises zur „Geotechnik der Deponien und Altlasten“, hier: E2-07: „Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen“ GDA (2015). Berlin, Germany: Ernst & Sohn. Im Internet unter: [www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de)