

## **H Anforderungen an steil geneigte Oberflächen- abdichtungen am Beispiel der Deponie Furth im Wald**

Dipl.-Ing. Katja Werth, Espelkamp-Fiestel

Dr.-Ing. Fokke Saathoff, Espelkamp-Fiestel

# Anforderungen an steil geneigte Oberflächenabdichtungen am Beispiel der Deponie Furth im Wald

## 1 Einleitung

Deponieoberflächendichtungssysteme aus unterschiedlichen parallel angeordneten mineralischen und geosynthetischen Komponenten werden im Allgemeinen in Böschungsneigungen  $1:n = 1:3$  ( $\beta = 18,4^\circ$ ) und seltener bis zu  $1:n = 1:2,5$  ( $\beta = 21,8^\circ$ ) ausgebildet. Für Neigungen flacher als  $20^\circ$  können Oberflächendichtungssysteme weitestgehend so ausgestaltet werden, dass die Standsicherheit gegen Gleiten des Dichtungssystems in Böschungsfallrichtung im Endzustand (ohne Befahrung) erreicht wird und ein Bewehrungselement, z. B. Geogitter, zur Aufnahme von Defizitzugkräften, nicht erforderlich wird. Zur Standsicherheit geschichteter (Geokunststoff)-Systeme bei Befahrung im Bauzustand wird auf [2] verwiesen.

Bedingt durch räumliche Begrenzungen und Vermeidung teurer Abfallumlagerungen werden Oberflächendichtungssysteme auch in steileren Neigungen erfolgreich ausgeführt. Mit Geogittern zur Abtragung von Defizitzugkräften, die planmäßig nicht den Dichtungs- und Drän-schichten zugeordnet werden dürfen, wurde z. B. die bis zu  $35^\circ$  ( $1:n = 1:1,4$ ) steile Oberflächendichtung der Salzschlackedeponie Furth im Wald unter schwierigen geometrischen Randbedingungen erfolgreich mit Geokunststoffen saniert (Abb. 1). Zwangspunkte, Entwurfselemente und Ausführungskriterien werden nachfolgend vorgestellt.



**Abb. 1:** Sanierung der Oberflächenabdichtung Deponie Furth im Wald

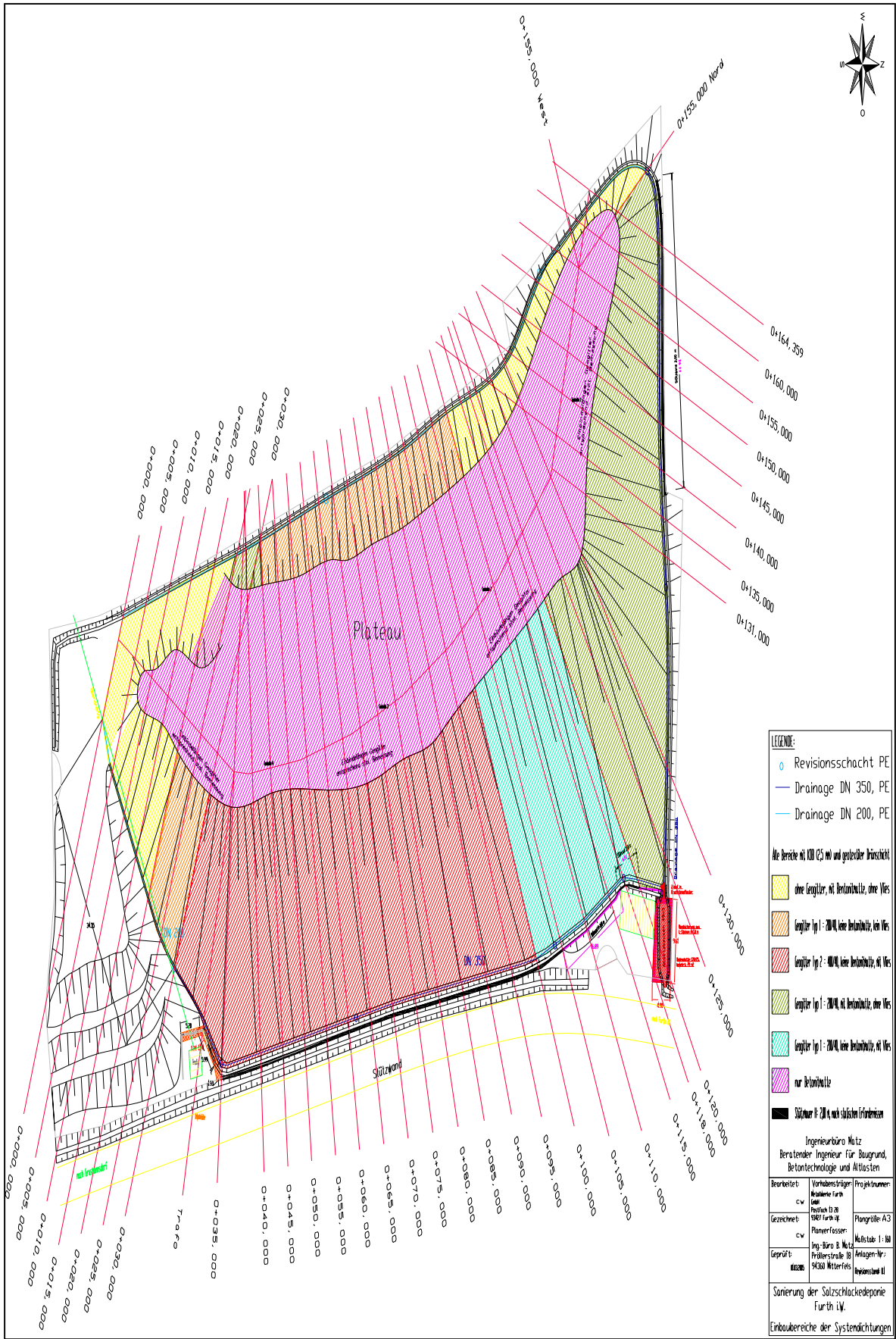


Abb. 2: Lageplan zur Ausführung des Oberflächendichtungssystems

## 2 Deponie Furth im Wald

Nach Genehmigung der Ausführungsplanung durch die Regierung der Oberpfalz wurde das Oberflächendichtungssystem der Salzschlackedeponie Furth im Wald (Bauherr: Austria Metall AG) im Sommer 2005 erfolgreich saniert (Fläche: 12.000 m<sup>2</sup>). Die Deponie wurde vor dem Jahr 2002 stillgelegt.

Ziel der Sanierungsmaßnahme war die deutliche Verringerung des Sickerwasseranfalls durch Minimierung des Niederschlageintrages sowie Verringerung der unkontrollierten Ausgasung.

Die Salzschlackedeponie liegt am Westhang der Cham-Further-Senke in einem Höhenbereich zwischen 402 und 420 mNN. Die östliche Böschung wies eine Neigung von rd. 35°, die nördliche Böschung von max. 25° auf. Die Deponie war mit mittelgroßen Gehölzen bewachsen, größere Teilbereiche wiesen keinen Bewuchs auf. Die Rekultivierungsschicht mit im Mittel 35 cm Mächtigkeit entsprach nicht mehr den Anforderungen ausreichender Wasserhaushaltkapazität. Die vorhandene mineralische Dichtung wies in den Böschungsbereichen nur eine Mächtigkeit von 30 cm bis 60 cm und im Plateaubereich im Mittel von 75 cm auf und war teilweise mit Wurzeln, Bauschuttresten und größeren Steinen durchsetzt.

Abdichtungsvarianten, wie Kapillarschichten und Asphalt dichtungen wären aufgrund der außergewöhnlich steilen Böschungen im Ostbereich der Deponie technisch nicht ausführbar gewesen. Eine vollständige Umprofilierung der Deponie hätte zu erheblichen Eingriffen in das Deponat geführt und stellte zudem aus funktionaler und wirtschaftlicher Sicht abschließend keine Alternative dar.

Die Anordnung von Bermen war nicht vorgesehen, eine Stützwand (L-Steinmauer) als Begrenzung im östlichen Böschungsbereich wurde den neuen Gegebenheiten statisch angepasst.

Nach Einteilung in Einbaubereiche wurden die jeweiligen Systemdichtungen und deren Komponenten festgelegt. Die vorhandene mineralische Dichtung wurde teilweise aufbereitet und bereichsweise durch eine schubkraftübertragende geosynthetische Tondichtungsbahn ersetzt, deren innere Scherfestigkeit im Zeitstandtest bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) für eine Funktionsdauer > 400 Jahre nachgewiesen wurde.

Eine BAM-zugelassene strukturierte PEHD-Kunststoffdichtungsbahn und eine Dränmatte bestehend aus einem Polypropylen-Wirragelege-Dränkern und beidseitig fixierten Vliesstoffen als Schutz- und Filterschicht wurden vollflächig im gesamten Baubereich eingesetzt (siehe Abb. 2). Die vorhandene mineralische Dichtung bot in Teilbereichen nicht die geeigneten Auflagerbedingungen für die KDB, so dass zusätzlich ein Vliesstoff unterhalb der KDB angeordnet wurde.

Abweichend von der TA Abfall war vorgesehen, die Rekultivierungsschicht im östlichen, steilsten Böschungsbereich in 70 cm Mächtigkeit anstatt 1,0 m wie im übrigen Böschungsbereich aufzubringen. Im Plateaubereich beträgt die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht  $\geq 1,50$  m.

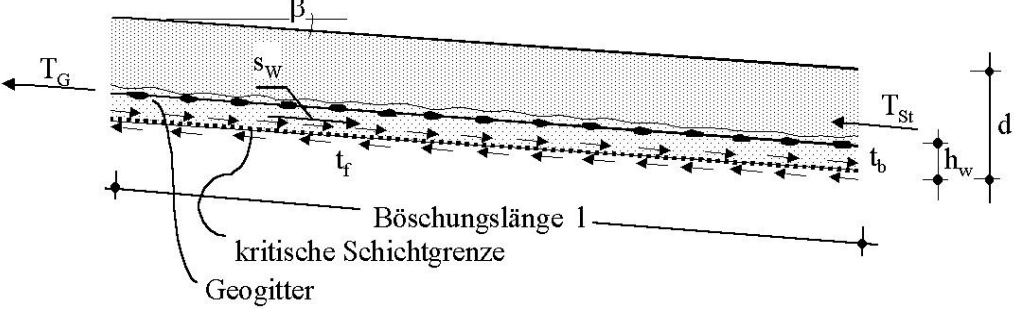
Neben Erstellung der prüffähigen statischen Nachweise, Verlegepläne für die Komponenten des Dichtungssystems und Beurteilung von Prüf- und Eignungskriterien für die Reibungseigenschaften lag die Herausforderung auch darin, eine gezielte Abtragung der Defizitzugkräfte im Plateaubereich unter Ausnutzung der Rekultivierungsschicht über ein Geogitter-Boden-Verbundsystem zu dimensionieren sowie für die kurvenförmig verlaufenden kritischen Böschungsbereiche ein Bewehrungsschema zu entwerfen, das die maximale Kraftabtragung über Reibung bei minimalen Verlusten in Überlappungsbereichen berücksichtigt.

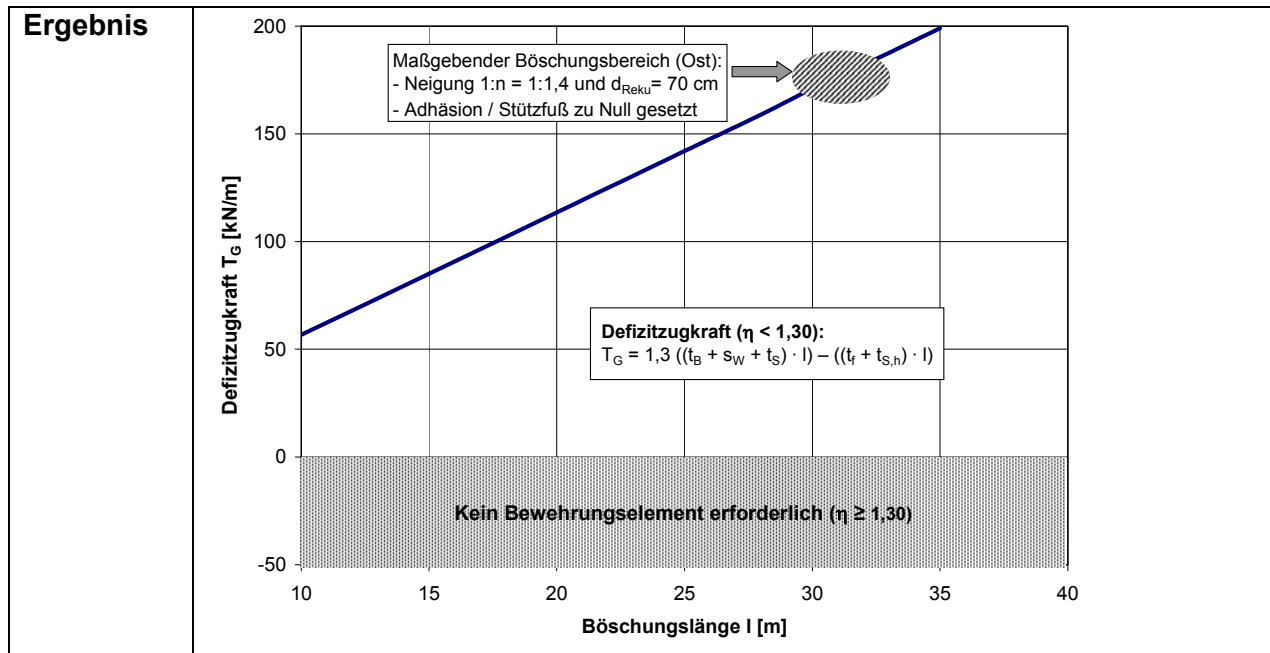
Nach erfolgreicher Durchführung des Probefeldes im steilsten Böschungsbereich zur Verifikation der in den Standsicherheitsuntersuchungen angenommenen Randbedingungen im technischen Maßstab wurde das Dichtungssystem binnen einer Bauzeit von Juni bis August 2005 hergestellt (Abb. 3).

Für die Erstellung der Nachweise zur Standsicherheit des geschichteten Dichtungssystems gegen Gleiten in Böschungsfallrichtung wurden für jede Scherfuge im vorgesehenen Schichtenaufbau Scherversuche nach den Empfehlungen E 3-8 der GDA (1997) durchgeführt. In der überarbeiteten Version E 3-8 (2005) wird die Adhäsion für definierte Geokunststoff-Schichtgrenzen über den Ersatzreibungswinkel aus Sicht der Autoren hilfreich in Ansatz gebracht.

Die Gegenüberstellung der haltenden (Reibungskräfte in den Schichtgrenzen) und treibenden (hangabwärtsgerichtete) Kräfte gemäß DIN 4084 ergab für den steilsten Böschungsbereich hohe Defizitzugkräfte. Die Adhäsion blieb rechnerisch unberücksichtigt. In Tabelle 1 sind der Berechnungsansatz sowie das Ergebnis für den ungünstigsten Böschungsbereich aufgeführt. Demnach beträgt die vom Bewehrungselement abzutragende Defizitzugkraft etwa  $T_G = 170 \text{ kN/m}$  entsprechend der geforderten Langzeitzugfestigkeit. Die Bemessungsfestigkeit des Geogitters wurde mit einem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma = 1,40$  im LF1 entsprechend EBGEO (1997) in Ansatz gebracht. Es wurden extrem kriecharme und hoch zugfeste einaxiale Geogitter, Typ Secugrid® 400/40 R6 und 200/40 R6, als Bewehrungselemente zwischen Dränsystem Secudrän® und Rekultivierungsschicht angeordnet. Anstatt eines Verankerungsgrabens an der Böschungskrone wurde eine horizontale Lastabtragung am Plateau gewählt. Für den steilsten Böschungsbereich wurde demnach für das Geogitter eine Verankerungslänge von 18 m unter Berücksichtigung der vorgesehenen Auflastspannung aus der Schichtmächtigkeit der Rekultivierungsschicht ausgeführt.

Tab. 1: Kräfteschema zum Gleitsicherheitsnachweis für den Endzustand

<b>Schema</b>	 <p>Diagram illustrating the force scheme for a slope stability proof. The slope angle is <math>\beta</math>. The failure surface is at depth <math>d</math>. A geogitter is shown at depth <math>h_w</math>. The slope length is <math>l</math>. The critical failure surface is labeled "kritische Schichtgrenze". The forces acting on the failure surface are: <math>T_G</math> (tension force in the geogitter), <math>T_{St}</math> (support force at the toe), <math>t_f</math> (friction force), <math>t_b</math> (shear force), <math>s_w</math> (seepage force), and <math>t_{s,h}</math> (shear force).</p>	
<b>Kräfte</b>	<p style="text-align: center;"><b>Haltend</b></p> $t_f = (\gamma \cdot d) \cdot \cos \beta \cdot \tan \delta' + a'$ $t_{s,h} = s_0 \cdot \cos \beta \cdot \tan \delta'$ $T_{St} = 0,5 \cdot \gamma \cdot h_S^2 \cdot K_{ph} \cdot \cos \beta$	<p style="text-align: center;"><b>Treibend</b></p> $t_B = (\gamma \cdot d) \cdot \sin \beta$ $t_S = s_0 \cdot \sin \beta$ $s_W = \gamma_w \cdot h_w \cdot \sin \beta$
<b>Nachweis</b>	$\eta = \frac{T_{\max}}{T_{\text{vorh}}} = \frac{t_f \cdot l + t_{s,h} \cdot l + T_G + T_{St}}{t_B \cdot l + s_W \cdot l + t_S \cdot l} \geq 1,30 \text{ (LF1)}$	
<b>Symbole</b>	<p><math>a'</math> Adhäsion der maßgebenden Kontaktfläche (<math>\text{kN/m}^2</math>)</p> <p><math>d</math> Dicke des Oberbodens (m)</p> <p><math>h_w</math> mittlere Aufstauhöhe (m)</p> <p><math>h_S</math> Höhe des Stützfußes (m)</p> <p><math>K_{ph}</math> Erddruckbeiwert (-)</p> <p><math>l</math> Böschungslänge (m)</p> <p><math>s_w</math> Strömungskraft (<math>\text{kN/m}^2</math>)</p> <p><math>t_B</math> Schubkraft in Böschungsfallrichtung (<math>\text{kN/m}^2</math>)</p> <p><math>t_f</math> Reibungskraft in der kritischen Scherfuge (<math>\text{kN/m}^2</math>)</p> <p><math>T_G</math> Zugkraft im Bewehrungselement (<math>\text{kN/m}</math>)</p> <p><math>T_{St}</math> Stützkraft am Böschungsfuß (<math>\text{kN/m}</math>)</p> <p><math>T_{\max}</math> Summe der haltenden Kräfte (<math>\text{kN/m}</math>)</p> <p><math>T_{\text{vorh}}</math> Summe der treibenden Kräfte (<math>\text{kN/m}</math>)</p> <p><math>\beta</math> Böschungsneigung (<math>^\circ</math>)</p> <p><math>\gamma</math> Wichte des Bodens (<math>\text{kN/m}^3</math>)</p> <p><math>\delta'</math> Reibungswinkel der maßgebenden Kontaktfläche (<math>^\circ</math>)</p> <p><math>\eta</math> Sicherheitsbeiwert (-)</p>	



### 3 Anmerkungen zur Standsicherheit steiler Deponieböschungen

Vorausgesetzt, dass der Deponiekörper bei Neigungen  $> 30^\circ$  eine ausreichende Böschungs- und Geländebruchsicherheit aufweist, wird zur Betrachtung der Gleitsicherheit für das Oberflächendichtungssystem auf folgende Randbedingungen hingewiesen:

#### 3.1 Bermen mit Zwischenverankerung oder durchgehende Böschung mit Einfachverankerung am Plateau/Krone?

- Bermen zur Zwischenverankerung der Geogitter trennen die Gesamtböschungslänge in Abschnitte. Der Vorteil: Es ergeben sich geringere Defizitzugkräfte pro Abschnitt, die von einem geringer zugfesten Geogitter langfristig abgetragen werden können. Dadurch reduziert sich die zur Lastabtragung erforderliche Dimension des Verankerungsgrabens.
- Der Nachteil ergibt sich durch den höheren Einbauaufwand. Neben der mehrfach auszuführenden Verankerung über den gesamten Geländesprung ist in den zumeist nur 3 bis 5 m breiten Bermen nur die Ausbildung eines Einbindegrabens möglich. Die weniger aufwendige horizontale Lastabtragung erfordert in der Regel Einbindelängen, die über die Bermenbreite hinausgehen.



### 3.2 "Innere" Standsicherheit der Rekultivierungsschicht (Deckschicht)

- Die üblicherweise für Rekultivierungsschichten verwendeten Böden werden in erster Linie aus Wasserhaushaltsgesichtspunkten ausgewählt. Für die sandig-schluffigen, teilweise bindigen, mit humosen Anteilen versetzten Böden werden üblicherweise innere Reibungswinkel von ca. 23-30° maßgebend. Häufig wird irrtümlich angenommen, dass das Geogitter, das zur Abtragung von Defizitzugkräften angeordnet wird, auch die innere Standsicherheit der Rekultivierungsschicht erhöht. Diese Schicht selbst muss eine ausreichende Standsicherheit aufweisen (häufig wird dies durch den Kohäsionsanteil erreicht).
- Zur Vermeidung von Erosionsrinnen sollten zusätzliche Oberflächenerosionsschutzmaßnahmen (z. B. Erosionsschutzmatten) zur Beschleunigung des Bewuchses und Verringerung der Fließgeschwindigkeiten bei Starkregenereignissen vorgesehen werden.
- Es sollte langfristig gewährleistet sein, dass sich abfließendes Oberflächenwasser nicht in der Rekultivierungsschicht aufstaut, sondern druckverlustarm in die Dränschicht gelangt. Dies kann nur durch einen objektbezogenen Drän- und Filternachweis nachgewiesen werden. Die Filterwirksamkeit ist von großer Bedeutung, unabhängig davon, ob mineralisch oder geosynthetisch gebaut wird. Zitat aus [1]: *"So wird in jüngster Zeit ein-drucksvoll darüber berichtet, dass im Vliesstoff-Filter eines ausgegrabenen Kunststoff-Dränelements Inkrustationen und Feinsandeinlagerungen gefunden wurden. Daraus werden mit erhobenem Zeigefinger größte Bedenken gegen Kunststoff-Dränelemente abgeleitet. Dass bei jeder herkömmlichen Kiesdränageschicht ein weder vernünftig ausgesuchter noch bemessener Vliesstoff einfach als Filter zur Rekultivierungsschicht draufgelegt und eben kein Kornfilter verwendet wird und dass es selbst mit aufwendigen Kornfiltern erhebliche Probleme geben kann, wird dabei aber verschwiegen. Man verbucht also auf der Sollseite der Geokunststoffe geotechnische Schwierigkeiten, die zuerst einmal auf das Konto des traditionellen Bauens gehörten. Es ist hilfreich, sich diesen Punkt klar zu machen."*

### 3.3 Einfluss der Geokunststoffbewehrung

- Ein Kräftegleichgewicht  $\eta \geq 1,0$  zwischen haltenden und treibenden Kräften wurde bei einer Böschungsneigung  $> 30^\circ$  nicht erreicht, d. h. das Geogitter muss das Gesamtsystem nicht nur auf ein Sicherheitsniveau von 30% über dem Kräftegleichgewicht anheben ( $\eta \geq 1,30$ ), sondern auch das Kräfteungleichgewicht  $\eta < 1,0$  langfristig ausgleichen.
- Bei Einsatz hochzugfester Geogitter ist ein Scherversuch für die "neue" Schichtgrenze, z. B. Dränmatte mit Geogitter vs. Rekultivierungsschicht zu empfehlen, damit ausgeschlossen werden kann, dass durch die Anordnung des Geogitters eine neue maßgebende Scherfuge im Systemaufbau entsteht.
- Stöße der Geogitter in Hauptzugrichtung, z. B. an der Böschung, sollten ausgeschlossen werden. Ein vor Baubeginn an die vorhandene Geometrie angepasster Verlegeplan für die Geokunststoffbewehrung offenbart frühzeitig Zwangspunkte in der Ausführung (Kurven, Mehrfachüberlappungen etc.).
- Mehrfachüberlappungen sind in Kurvenbereichen kaum zu vermeiden. Unter Berücksichtigung des Reibungsverhaltens ist das Ausbilden einer mineralischen "Verzahnungsschicht" zwischen den Überlappungen zu empfehlen.

### 3.4 Lastabtragung durch das Geogitter

- Bei einer horizontalen Lastabtragung ist der Nachweis gegen Herausziehen der Bewehrung maßgebend, der Nachweis gegen Abscheren der Böschungskrone kann entfallen. Bei der Dimensionierung von Verankerungsgräben sind beide Nachweise erforderlich.
- Funktionsgemäß werden Rekultivierungsschichten häufig locker und ohne spezielle Verdichtungsanforderungen eingebaut. Im Nachweis gegen Herausziehen der Bewehrung sollte der vorgesehene Lagerungszustand (Einbauwichte) der Deckschichten berücksichtigt werden.
- Bei Einbindegräben ist statisch zu unterscheiden, ob das Dichtungssystem mit dem Geogitter im Einbindegraben durchgelegt wird oder eine Trennung der Dichtungssysteme mit separatem Anschluss oberhalb des Grabens ausgeführt wird. Wenn das Dichtungssystem durchgelegt wird, sollte eine Ableitung von Stauwasser im Graben vorgesehen werden. Bei beiden Varianten zur Lastabtragung sollte zur Berechnung der mobilisierbaren Reibungskraft im Geogitter das Reibungsverhalten des Gesamtaufbaus herangezogen werden.



**Abb. 3:** Deponie Furth im Wald: Einbau des Dichtungssystems aus Geokunststoffen

## **4 Zusammenfassung**

Die Sanierung des über 30° steilen Oberflächendichtungssystems der Deponie Furth im Wald wurde erfolgreich unter Einsatz von Geogittern, Kunststoffdichtungsbahnen, Vliesstoffen, Dränmatten und geosynthetischen Tondichtungsbahnen (Bentonitmatten) realisiert.

Ein vergleichbarer Aufbau mit mineralischen anstatt geosynthetischen Komponenten und Kunststoffdichtungsbahn wäre aus Sicht der Autoren technisch und wirtschaftlich kaum ausführbar gewesen.

Bei der hier betrachteten Neigung wird das Oberflächendichtungssystem bei Gegenüberstellung der haltenden und treibenden Kräfte rechnerisch am Geogitter "aufgehängt". Das Geogitter trägt die in Böschungfallrichtung treibenden Kräfte gezielt in die entgegengesetzte Richtung an der Krone ab, ohne dass Relativbewegungen und damit Zugbeanspruchungen in die Dichtungs- und Dränschichten eingetragen werden. Für diese Beanspruchungen und eine langfristige Funktionsdauer ist die sorgfältige Auswahl der mineralischen und geosynthetischen Komponenten von höchster Bedeutung. Für Kombinationsprodukte wie Dränsysteme und Bentonitmatten bedeutet dies vor allem eine gemäß BAM-Deponieanforderungen nachgewiesene Innere Langzeitscherfestigkeit und für Geokunststoff-Bewehrungen die Anforderung nach einer kriecharmen, robusten Struktur mit einem optimalem Kraft-Dehnungs-Verhalten.

Implizierte Sicherheitsreserven, die im Nachweis unberücksichtigt bleiben, z. B. Adhäsion in den Schichtgrenzen, Kohäsion der eingesetzten mineralischen Baustoffe und geringere hydraulische Beanspruchungen durch potentiellen Aufstau bei hohen Gradienten geben zusätzlich ein "gutes Bauchgefühl". Letztendlich tragen aber vor allem die Qualität der Ausführung und der fachgerechter Umgang mit den Geokunststoffen unter Berücksichtigung dimensionierter Vorgaben für Vorbereitung, Einbau, Überlappung, Stöße, Überschüttung etc. maßgeblich für eine ausreichende Standsicherheit des Oberflächendichtungssystems unter schwierigen geometrischen Randbedingungen bei.

## **5 Danksagung**

Die Autoren danken dem Bauherren Austria Metall AG, dem Ingenieurbüro Weber + Partner und Ingenieurbüro Matz sowie der NAUE Sealing GmbH & Co. KG und der Baufirma Alpine Bau Trostberg GmbH für die Bereitstellung von Informationsmaterial.

## 6 Literatur

- [1] Müller, W. (2006): "Bentonitmatten und Kunststoff-Dränelemente in der Deponietechnik: Wohin geht die Reise?" Download unter [www.deponie-stief.de](http://www.deponie-stief.de)
- [2] Saathoff, F. & Werth, K. (2005): Standsicherheitsnachweise für Oberflächen-dichtungssysteme – Anmerkungen zum Lastfall Einbau geschichteter Systeme mit Geokunststoffen, Fachtagung "Die sichere Deponie" Februar 2005, Würzburg
- [3] DIN 4084: Gelände- und Böschungsbruchberechnungen, Abschnitt 11.4, 7/1981
- [4] Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.: E 3-8 „Reibungsverhalten von Geokunststoffen“, Bautechnik 74 (1997), und Bautechnik 82 (2005), jeweils Heft 9, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [5] EBGEO (1997): Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, Berlin