

# **In-Situ-Beanspruchungen eines Geogitters im Verankerungsbereich einer Oberflächenabdichtung am Beispiel der Pochsandhalde Zellerfelder Tal**

Dipl.-Ing. Lars Vollmert

Dipl.-Ing. Katja Werth

Dr.-Ing. Ansgar Emersleben

Dipl.-Ing. Björn Holm

## **1. Zusammenfassung**

Im Sommer 2010 wurde die Sanierungsmaßnahme Pochsandhalde Zellerfelder Tal im Auftrag der Samtgemeinde Clausthal-Zellerfeld erfolgreich abgeschlossen. Nach Umprofilierung der bis zu 1:1,5 geneigten Haldenböschungen auf eine Neigung von 1:2 wurde ein Oberflächenabdichtungssystem, bestehend aus einer geosynthetischen Tondichtungsbahn als mineralischer Dichtungskomponente, einer geosynthetischen Dränschicht und einer Rekultivierungsschicht, angeordnet. Um eine ausreichende Standsicherheit des Dichtungssystems im Böschungsbereich gegen Gleiten sicherzustellen, wurden hochzugfeste Geogitter oberhalb der geosynthetischen Dränschicht eingebaut. Aufgrund der steilen Neigung der Böschung werden die Geogitter dauerhaft auf Zug beansprucht. Die Abtragung der in das Geogitter eingetragenen Zugkräfte erfolgt in einem rechnerisch nachgewiesenen Verankerungsgraben.

Eingangsgrößen der Standsicherheitsberechnungen sind neben den geometrischen Projekttrandbedingungen vor allem aus Laborversuchen abgeleitete Kennwerte zum Verbundverhalten der Abdichtungskomponenten untereinander sowie der Geogitter zum Boden. Wie in der Bodenmechanik üblich und aufgrund der komplexen Zusammenhänge des Dreiphasengemisches Boden notwendig, sind bei der Modellbildung für den rechnerischen Nachweis sowie der Ableitung der Kennwerte aus den Laborversuchen Vereinfachungen und Linearisierungen der Zusammenhänge erforderlich, die auf der sicheren Seite liegen sollten.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussionen zur Zulassung von Geogittern als planmäßige und dauerhafte Bewehrungselemente zur Sicherstellung der Standsicherheit von Oberflächenabdichtungssystemen ist aus Sicht der Autoren eine Verifizierung der Berechnungsergebnisse und Annahmen in situ erforderlich. Auf Initiative der Autoren und im Auftrag der NAUE GmbH & Co. KG wurden die Geogitter im Bereich der Verankerung mit Dehnungsmesstechnik ausgerüstet, um weiterführende Erkenntnisse zur Lastabtragung durch das Geogitter zu gewinnen. Die Umsetzung der Instrumentierung erfolgte durch das Institut für Geotechnik und Markscheidewesen der Technischen Universität Clausthal.

Die vorliegenden Ergebnisse weisen eine hohe Plausibilität auf und zeigen eine ausgesprochen gute Übereinstimmung mit den rechnerisch prognostizierten, charakteristischen Beanspruchungen des Geogitters im Verankerungsbereich. Aus der über die Verankerungslänge gemessenen Dehnungsverteilung ergibt sich, dass auch bei einem verhältnismäßig niedrigen Gesamtniveau der Verankerungskräfte ein unerwartet großer Bereich des Verankerungsgrabens und der Verankerungslänge des Geogitters aktiviert und an der Lastabtragung beteiligt wird. Die lokale Beanspruchung des Geogitters bleibt dadurch unter den Gebrauchslasten klein. Die Ergebnisse ermöglichen eine weitergehende Bewertung von ergänzenden Laborversuchen und Parameterstudien zur Lastabtragung von Geogittern.

## **2. Maßnahme**

### **2.1 Bestand und Sanierungsziele**

Der Entstehungszeitraum der Pochsandhalde steht im Zusammenhang mit dem Betrieb der zentralen Erzaufbereitung am Ottiliae-Schacht von 1887 bis 1930. Pochsand ist der auf Halden abgelagerte Rückstand aus der mechanischen Erzaufbereitung. Das Roherz wurde in Pochwerken auf eine Kies-Sand-Größe zerkleinert. Danach erfolgte die Abtrennung des Erzes von den Gangarten und dem Nebengestein mittels Schwereretrennung im Wasser. Da die Korngrößenklassierung noch grob war, wurden mit dem Rückstand der Erzanreicherung auch Erze ausgeschleust und zusammen mit dem Pochsand deponiert.

Die Halde wurde an einen natürlichen Talhang des westlich von Clausthal-Zellerfeld gelegenen Zellbachtals aufgeschüttet, so dass der Haldenfuß unmittelbar am Ufer des Zellbaches endete (Abb. 1). Die Höhendifferenz zwischen Fuß und Kopf der Halde beträgt

ca. 26 m bis 28 m bei Böschungsneigungen von 1:1,3 bis 1:1,7. Die Böschungsneigungen ( $30^{\circ}$ - $37^{\circ}$ ) liegen im Grenzbereich des natürlichen Schüttwinkels des Pochsand.

Bauphysikalisch ist der Pochsand ein feinkornarmer Brechkornsand, der nach DIN 18196 als enggestufter Sand (SE) zu klassifizieren ist. Die innere Scherfestigkeit des Pochsand variiert zwischen  $30^{\circ}$  bis  $35^{\circ}$ . Die Raumdichten betragen im Mittel  $1,5 \text{ t/m}^3$ , womit der Pochsand eine lockere Lagerungsdichte aufweist.

Die Standsicherheit des Haldenkörpers wurde seit 1988 in mehreren Untersuchungen überprüft. Das erforderliche Standsicherheitsniveau im Endzustand war im überwiegenden Flächenanteil nicht gegeben.

Die Oberfläche der Pochsandhalde verfügte bisher weder über eine schützende technische noch eine natürliche Deckschicht. Haldenmaterial wurde daher durch Erosion immer wieder in den am Böschungsfuß liegenden Zellbach gespült.



**Abb. 1:** Ausgangssituation der Pochsandhalde, rechts: Zellbach / Böschungsfuß

Folgende Sanierungsziele wurden angestrebt:

- (1) Herstellen der Standsicherheit der Böschung  
Bei der Ausgestaltung der Maßnahmen mit dem Ziel „Herstellung der Stand- und Erosionssicherheit“ ist zu beachten, dass zusätzlich Maßnahmen zur Beeinflussung der Wirkpfade Boden-Mensch sowie Boden-Grund-Oberflächenwasser möglich sein mussten. Die Neigung der Pochsandoberfläche war so herzustellen, dass die Gesamtstandsicherheit auch unter Beachtung eines Dichtungssystems und eines Abdeckboden gewährleistet werden kann.
- (2) Verminderung der Sickerwasserneubildung  
Die Sickerwasserneubildung war zu reduzieren, so dass die Schadstofffracht auf eine dem Umfeld angemessene Größe reduziert wird. Als angemessen wird eine Restfracht angesehen, die bei einer gegen 95 % der Niederschläge wirksamen Versiegelung der Haldenoberfläche verbleibt. Die Restfracht für Cadmium liegt dann im Bereich der spezifischen Umfeldbelastung.
- (3) Unterbinden der Erosion  
Der potentielle Direktpfad Boden-Mensch durch Erosion war zu unterbrechen.

## 2.2 Umsetzung des Sanierungsplanes

Durch Umlagerung von Massen innerhalb der Teilflächen wurde eine standsichere Böschungsneigung hergestellt. Folgender Aufbau der Oberflächenabdichtung im Böschungsbereich wurde ausgeführt (von oben nach unten):

- Abdeckboden mit Grasvegetation (d = 0,70 m) und oberflächennaher Erosionsschutz
- Einaxiales Bewehrungselement Secugrid® 400/40 R6 aus hochverstreckten und verschweißten Polyesterflachstäben
- Geosynthetisches Dränsystem mit BAM-Zulassung (Secudrän® R201Z WD601Z R201Z)
- Wasserspeichernde Sandschutzschicht, d = 10 cm
- Bentonitmatte mit LAGA-Eignungsnachweis für Deponieoberflächenabdichtungen (Bentofix® NSP 4900)
- Nichtbindige Bettungs-, Trag- und Ausgleichsschicht (Pochsand)
- Abraum (Pochsand)

## 2.3 Nachweis der Standsicherheit und Wahl der Bewehrung

Für geschichtete oberflächenparallele Dichtungssysteme ist der Nachweis gegen böschungparalleles Gleiten von Einzelkomponenten oder mehreren Schichten gleichzeitig maßgebend. Die überarbeitete GDA-Empfehlung 2-7 (2008) empfiehlt für Deponiebauwerke, die Nachweise nach gültigem Normenwerk und im Teilsicherheitskonzept zu führen. Der Nachweis wurde dementsprechend in Anlehnung an die Nachweise zur Gesamtstandsicherheit nach DIN 1054:2005 im Grenzzustand GZ 1C geführt und der Lastfall 1 (Endzustand) und 2 (Bauzustand) mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten untersucht. Wird im Nachweis der Standsicherheit für ein geplantes Abdichtungssystem der zulässige Auslastungsgrad  $\mu > 1,0$  überschritten, so ist ein Bewehrungselement erforderlich, das die in Fallrichtung wirkenden defizitären Schubspannungen entgegengesetzt an der Böschungskrone abträgt. Die Vorgehensweise zur Bemessung von Geogittern und die Dimensionierung der Lastabtragung in Verankerungsgräben sind in EBGEO (2010) beschrieben.

Das Geogitter kann dabei rechnerisch das Sicherheitsniveau anheben, soweit das Kräftegleichgewicht zwischen Hangabtriebskräften und über Reibung abtragbaren Schubkräften gegeben ist, als auch langfristig planmäßig auf Zug belastet werden. Eine formelle Unterscheidung erfolgt nicht. Im vorliegenden Projekt war durch die steile Böschungsneigung von 1:2 (entsprechend  $26,5^\circ$ ) und den im Nachweis maßgebenden Kontaktreibungswinkel von  $\delta_k = 24,6^\circ$  zu erwarten, dass das Kräftegleichgewicht gerade nicht erreicht wird und damit planmäßig und dauerhaft Zugkräfte auftreten.

Die Größe der durch das Geogitter abzutragenden Last ist neben dem Verhältnis zwischen Hangabtriebskraft und Schubkraft unmittelbar von der Länge der Böschung abhängig, da die eingetragenen Defizitkräfte, ermittelt aus der Differenz zwischen Hangabtriebskraft und über Reibung abtragbaren Schubkräften, über die Böschungslänge aufsummiert werden und im Verankerungsbereich abgetragen werden müssen. Die lokale Zugbeanspruchung eines Geogitters ist damit unmittelbar an der Böschungskrone am größten und nimmt mit zunehmender Verankerungslänge wieder ab. Die Schubbeanspruchung eines Geogitters im Kontakt zum umgebenden Boden ist demgegenüber nicht in der Böschung, sondern im Verankerungsgraben am größten, da die über eine große Böschungslänge aufsummierten Kräfte auf einer kurzen Verankerungsstrecke wieder abgebaut werden müssen.

Im Vorfeld der Ausführung der Oberflächenabdichtung wurde eine Analyse des Reibungsverhaltens in allen Schichtgrenzen vorgenommen, um eine sichere Bemessung der Standsicherheit gegen Gleiten durchführen zu können.

Die maßgebenden Beanspruchungen des Geogitters wurden ermittelt für:

- Endzustand ohne Verkehrsbelastung auf der Böschung,
- Bauzustand mit
  - a) Einbau der 10 cm dicken Sandschutzschicht,
  - b) Befahrung des Dränsystems zum Einbau des Rekultivierungsbodens.

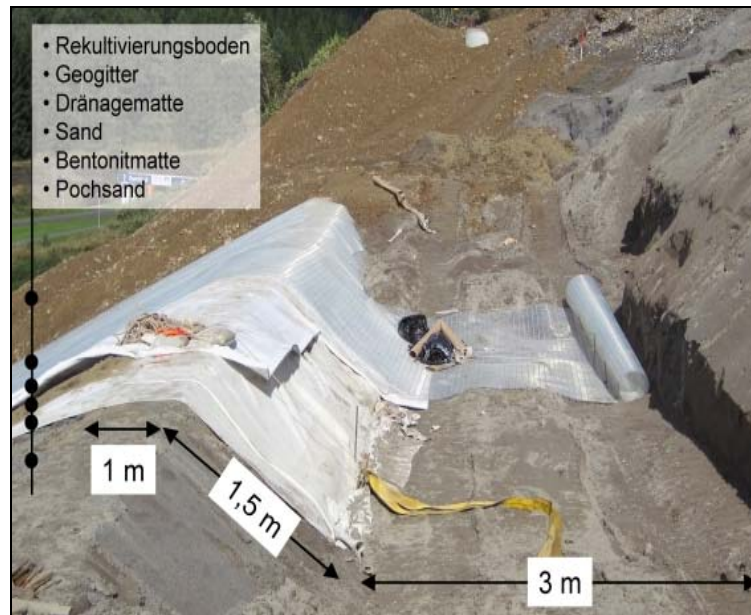
Auf Grundlage des geringsten charakteristischen Kontaktreibungswinkels  $\delta_k = 24,6^\circ$  (oberhalb der Sandschutzschicht) wurde im maßgebenden Böschungsbereich zum Erreichen des zulässigen Auslastungsgrades eine Einwirkung (hier die Defizitzugkraft)  $E_d = 123 \text{ kN/m}$  ermittelt. Der vom Geogitter sicherzustellende Widerstand (bzw. die langfristig abzutragende Zugkraft) beträgt demnach *erf.*  $R_{B,d} = 123 \text{ kN/m}$ .

Als Geogitter wurden für diese Teilbereiche einaxiale, kriecharme Geogitter Secugrid® 400/40 R6 aus kreuzweise gelegten, extrudierten Polyesterflachstäben mit einer Bemessungsfestigkeit *vorh.*  $R_{B,d} = 200 \text{ kN/m}$  ( $> \text{erf. } R_{B,d}$ ) eingesetzt. Das gewählte Produkt weist mit  $J_{2,0\%} = 5600 \text{ kN/m}$  im Gebrauchslastbereich bis 2 % Dehnung eine sehr hohe Dehnsteifigkeit ( $J_{2,0\%}$ ) auf, so dass die Längung des Produktes über die Böschungslänge infolge der Lasteintragung klein bleibt.

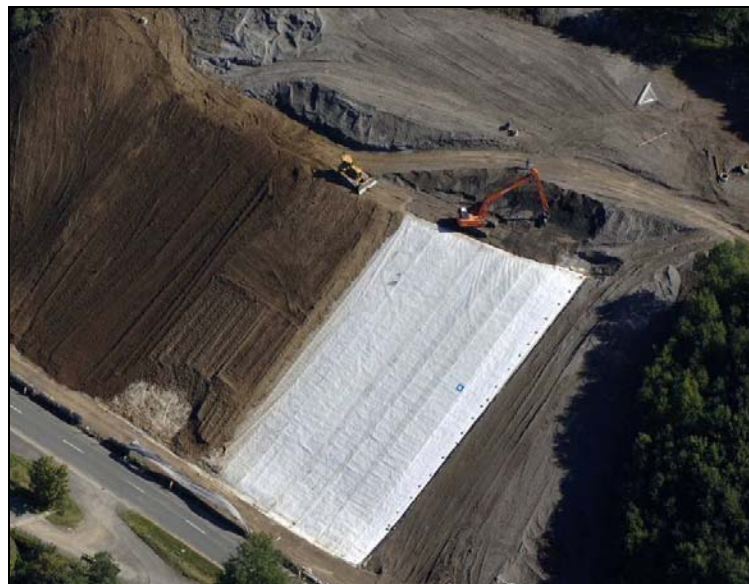
Für den Verankerungsgraben bzw. die Lastabtragung wurden die Teilnachweise

- Nachweis gegen Bruch des Verankerungsgrabens (Herausziehen der Bewehrung) und
- Nachweis gegen Bruch der Böschungskrone (Abscheren der Grabenbrüstung)

nach EBGEO geführt. Das Geogitter wurde nach Einbau der darunterliegenden Schichten verlegt, im Graben verankert (Abb. 2) und anschließend nachlaufend mit dem Abdeckboden von oben nach unten beschüttet (Abb. 3).



**Abb. 2:** Ausführung des Verankerungsgrabens für das Geogitter



**Abb. 3:** Herstellung des Oberflächenabdichtungssystems

### 3. In-situ-Messungen am Geogitter

#### 3.1 Messkonzept

Wie in der Bodenmechanik üblich und aufgrund der komplexen Zusammenhänge des Dreiphasengemisches Boden notwendig, sind bei der Modellbildung für den rechnerischen Nachweis sowie der Ableitung der Kennwerte aus den Laborversuchen Vereinfachungen und Linearisierungen der Zusammenhänge erforderlich, die auf der sicheren Seite liegen sollten.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussionen zur Zulassung von Geogittern als planmäßige und dauerhafte Bewehrungselemente zur Sicherstellung der Standsicherheit von Oberflächenabdichtungssystemen ist aus Sicht der Autoren eine Verifizierung der Berechnungsergebnisse und Annahmen in situ erforderlich.

Für die Beanspruchung von Geogittern auf Zug im Bereich der Böschung lagen zum Zeitpunkt der Ausführung bereits erste Ergebnisse vor, die durch Feldmessungen am Projekt Duisburg-Sudamin (vgl. Malakou, 2009 [5]) gewonnen wurden. Da die Projekttrandbedingungen große Ähnlichkeiten in den geometrischen Bedingungen aufweisen (Tab. 1), bot sich das Projekt Pochsandhalde Zellerfelder Tal an, zusätzliche Erkenntnisse über die Lastabtragung im Verankerungsbereich, insbesondere

- die auftretenden In-situ-Beanspruchungen des Geogitters,
- die Verteilung der Beanspruchungen über die Verankerungslänge sowie
- die aktivierte Länge des Verankerungsbereiches

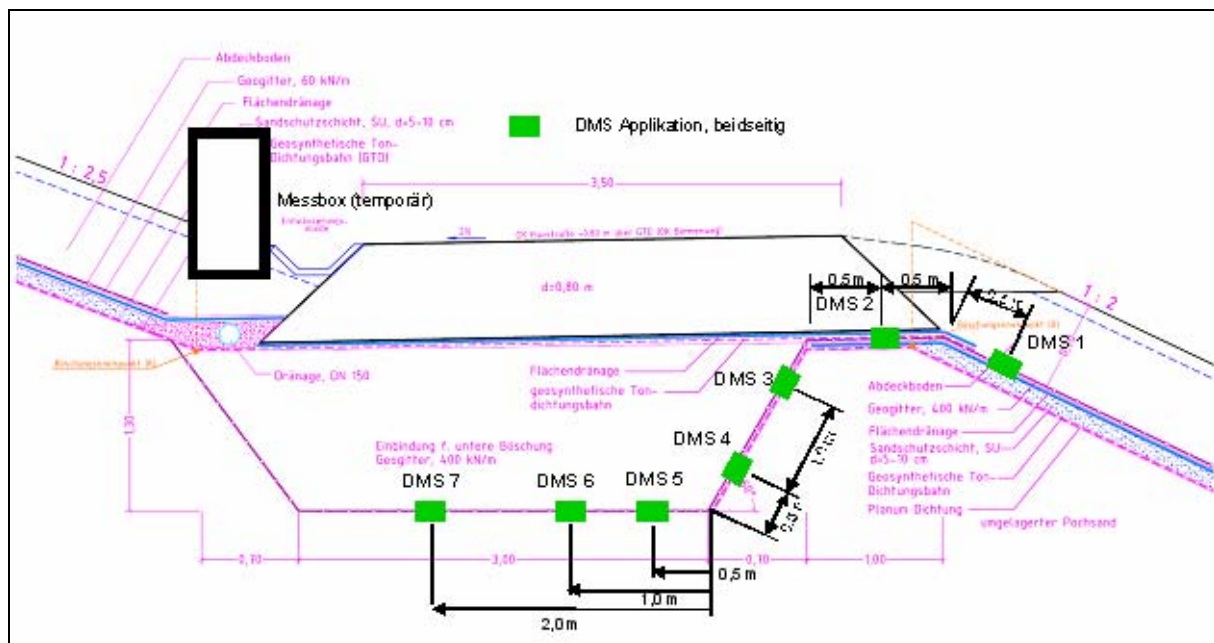
zu generieren [6].

Hierzu wurden die Geogitter durch das Institut für Geotechnik und Markscheidewesen der TU Clausthal im September/Okttober 2009 vor Ort analog zum Vorgehen beim Projekt Duisburg-Sudamin im Bereich der Verankerung mit Dehnungsmesstechnik ausgerüstet (Abb. 4).



Randbedingungen	Deponie Duisburg-Sudamin	Pochsandhalde Zellerfelder Tal
Böschungslänge	40 m	48 m
Böschungsneigung	1:2 (26,57°)	1:2 (26,57°)
Mächtigkeit Abdeckboden	1,6 m	0,7 m
maßgebender Kontaktreibungswinkel $\delta_k$	25,6°	24,7°
Einwirkung auf das Geogitter $E_d$	182,8 kN/m	121,2
Charakteristische Einwirkungen $E_k$ (ohne Sicherheiten)	23,64 kN/m	33,5 kN/m
Geogitter	Secugrid® 400/40 R6	Secugrid® 400/40 R6

**Tab. 1:** Gegenüberstellung von Projekttrandbedingungen  
 Deponie Duisburg-Sudamin und Pochsandhalde Zellerfelder Tal



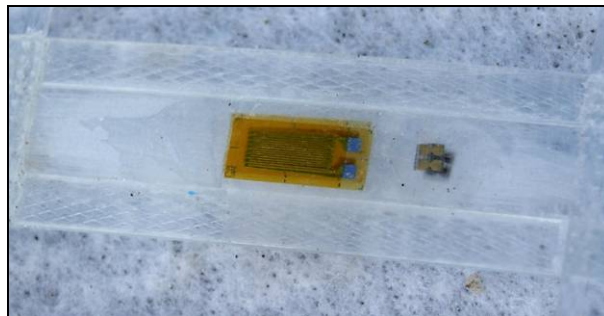
**Abb. 4:** Ausgeführte Instrumentierung am Geogitter Secugrid® 400/40 R6

### 3.2 Installation der Dehnungsmessstellen

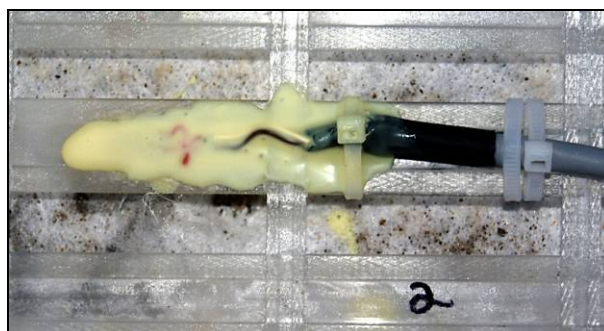
Das Geogitter wurde auf der Baustelle durch eine Fachfirma verlegt und konnte auf Grund des vorgegebenen Bauablaufes erst nach Verlegung und provisorischer Sicherung im Verankerungsgraben instrumentiert werden.

Die zur Dehnungsmessung applizierten DMS mit einer Abmessung von 18 mm x 8 mm wurden jeweils mittig auf dem Längsstab des Produktes aufgeklebt (Abb. 5). Je Messstelle wurden zwei DMS deckungsgleich auf der Ober- und Unterseite des Stabes appliziert, so dass aus Biegung resultierende Dehnungen rechnerisch kompensiert werden können. Die DMS wurden jeweils einzeln vom Messsystem erfasst und erst im Zuge der Auswertung kombiniert, um die Messstellen beim Ausfall einzelner DMS weiter nutzen zu können.

Zum Schutz vor Beschädigungen und Feuchtigkeit wurden die DMS und die daran anschließenden Messkabel mit einer speziellen Abdeckmasse vergossen (Abb. 6). Nach dem Trocknen der Abdeckmasse wurde als mechanischer Schutz zusätzlich eine 3 mm starke Knetmasse mit einseitiger Aluminiumfolie aufgebracht.



**Abb. 5:** DMS auf dem Längsstab des Geogitters Secugrid 400/40 R6



**Abb. 6:** DMS mit Abdeckmasse

### 3.3 Aufbringen des Rekultivierungsbodens

Die Aufzeichnung der Messdaten erfolgte mit Beginn des Aufbringens des Rekultivierungsbodens auf dem instrumentierten Gitterabschnitt. Während des Verfüllens des Grabens konnten aufgrund des Bauablaufes keine Messwerte erfasst werden. Das Aufbringen des Rekultivierungsbodens erfolgte im ca. 20 m langen oberen Abschnitt der Böschung von oben nach unten mit einem Langarmbagger (Abb. 7). Auf dem unteren Abschnitt der Böschung wurde der Rekultivierungsboden mit einer Planierraupe von der Böschungskrone aus die Böschung heruntergeschoben und aufgebaut (Abb. 8). Die aus den einzelnen Bauphasen resultierende kontinuierliche Zunahme der Belastung wurde messtechnisch überwacht.



**Abb. 7:** Aufbringen des Rekultivierungsbodens mit Langarmbagger



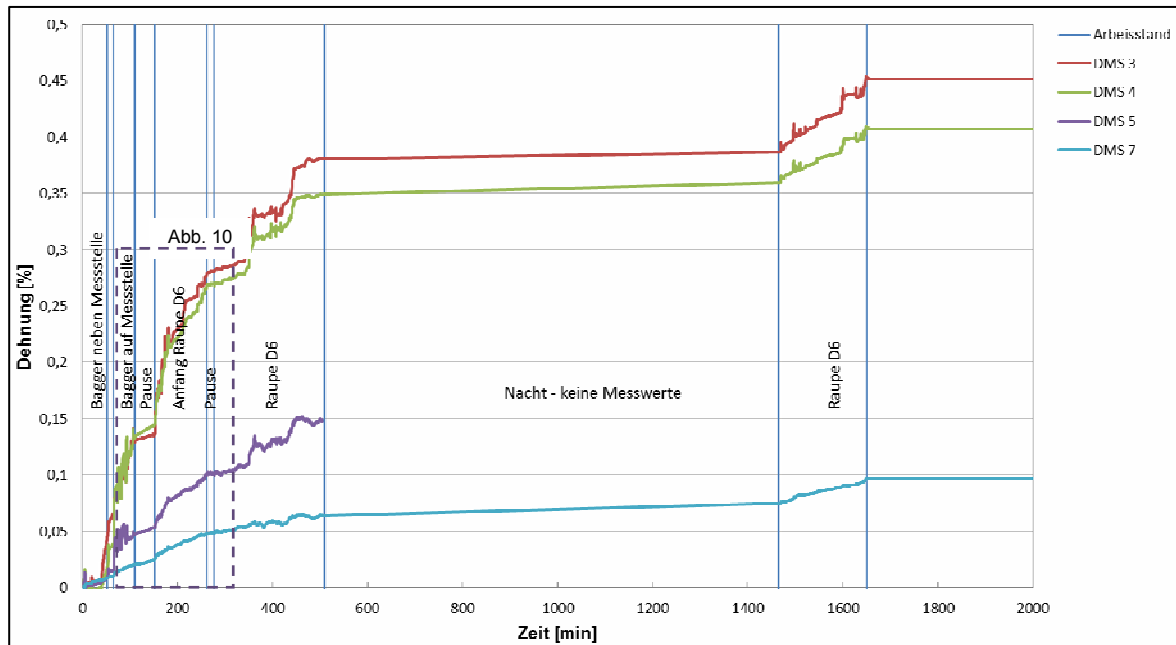
**Abb. 8:** Verteilen des Rekultivierungsbodens mit einer Planierraupe

### 3.4 Ergebnisse der Dehnungsmessungen

Die Aufzeichnung der Dehnung infolge des Bodeneinbaus im Böschungsbereich wurde mit Beginn des Bodeneinbaus am 23.09.2010 um 8:05 Uhr gestartet. Abb. 9 zeigt den Dehnungsverlauf für alle aktiven Messstellen als Dauermessung bis zum Abschluss der Arbeiten im Messquerschnitt am 24.09.2010. Die Messstellen 1 und 2 sind unmittelbar bei der Beschüttung durch Überfahrt mit der Kettenraupe zerstört worden. Für die Messstelle 6 liegt nur der Wert des unteren DMS vor, so dass auf die Darstellung der qualitativ plausiblen Werte nachfolgend verzichtet wird. Fehlende Einzelwerte wurden nach Plausibilitätsprüfung ergänzt bzw. nach Differenzbildung extrapoliert. Zur besseren Orientierung sind grobe Angaben zu den ausgeführten Tätigkeiten im Diagramm angegeben.

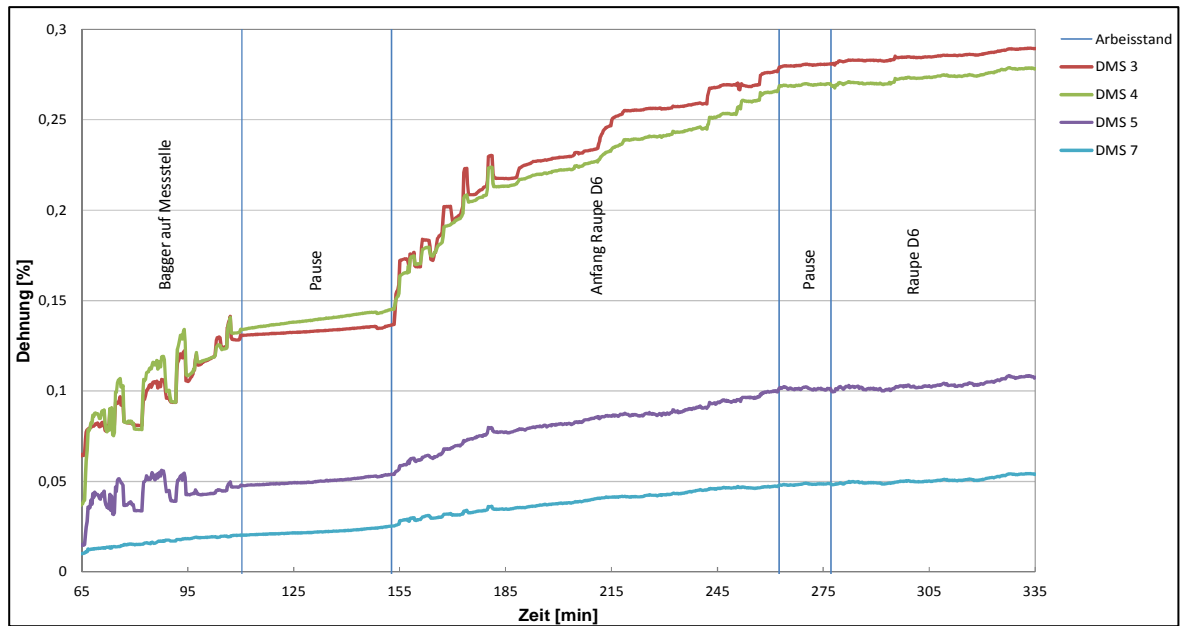
Die maximale Dehnung einer Messstelle wurde mit 0,45 % nach Abschluss der Erdarbeiten gemessen. In Abb. 10 sind ergänzend die ersten fünf Stunden des Bodeneinbaus in höherer Auflösung dargestellt. Deutlich erkennbar sind die hohen kurzzeitigen Einwirkungen bei geringer Überschüttung, die insbesondere in der Anfangsphase, bei der der Bagger direkt auf dem Messquerschnitt steht und den Boden im oberen Böschungsbereich einbaut, auftreten. Im weiteren Verlauf nehmen die Dehnungen dann infolge einer weiteren Beschüttung im unteren Böschungsbereich (Abb. 11) eher stetig zu.

Die Messergebnisse aller Dehnungsmessstreifen zeigen eine Zunahme der Dehnungen mit zunehmendem Baufortschritt bzw. zunehmender Belastung auf dem Geogitter. Dabei ist tendenziell eine Dehnungsabnahme im Verankerungsbereich von der Böschung (DMS 3) bis in den hinteren Teil des Verankerungsgrabens (DMS 7) festzustellen. Auch während längerer Arbeitspausen kann eine geringfügige Dehnungszunahme beobachtet werden. Eine zusätzlich durchgeführte Dehnungsmessung 7 Tage der Beendigung des Bodeneinbaus zeigte hingegen keine Zunahme der Dehnungen über den Arbeitszeitraum hinaus.



**Abb. 9:** Dehnungen der DMS während des Einbaus des Rekultivierungsbodens am 23.09.2010 und während der Restarbeiten am Böschungsfuß am 24.09.2010





**Abb. 10:** Detailauflösung der Dehnungen während des Einbaus des Rekultivierungsbodens mit Bagger und Raupe am 23.09.2010, 8:15 Uhr bis 13:15 Uhr



**Abb. 11:** Stand des Einbaus am 23.09.2010, 13:34 Uhr (Zeitstempel: 329 min)

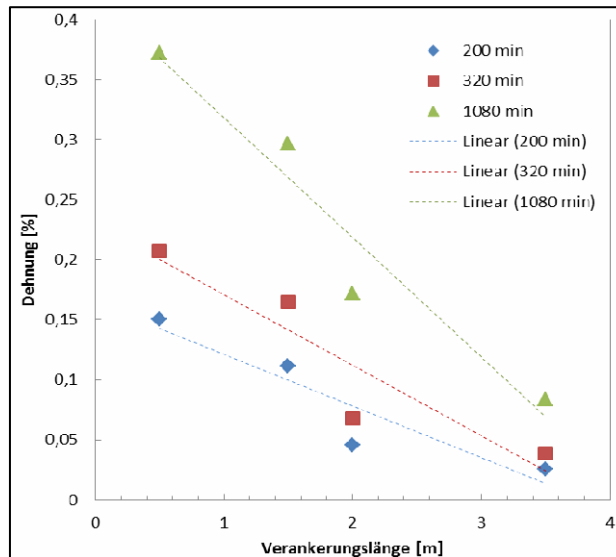
### 3.5 Bewertung

Mit einem Maximalwert der Dehnung von 0,45 % zum Abschluss des Erdbaus ergibt sich unter Ansatz der Kurzzeitdehnsteifigkeit  $J_{2\%}$  eine Zugbeanspruchung im Geogitter von 25,2 kN/m. Die Größenordnung liegt damit sehr dicht an den Prognosen des Standsicherheitsnachweises, vgl. Tab. 1. Interessant ist der in Abb. 9 und Abb. 10 erkennbare geringe Unterschied in den Dehnungen an den Messstellen 3 und 4 (vgl. Abb. 4). Erklärbar wird dieser geringe Abstand der Absolutwerte durch den in Abb. 10 bei ca. 65 min erkennbaren, deutlich stärkeren Anstieg der Dehnungen an der Messstelle 4 in dem Moment, in dem der Boden im Graben durch die Befahrung mit dem Baugerät nachverdichtet wird. Da die Messstelle 4 sehr dicht am unteren Grabenknick liegt, fehlt dort zunächst die Bettung und das Produkt wird in den Knick „hineingearbeitet“. Im weiteren Verlauf nimmt die Dehnung dann an beiden Messstellen ähnlich stark zu, wobei die Messstelle 4 etwas überproportional belastet wird.

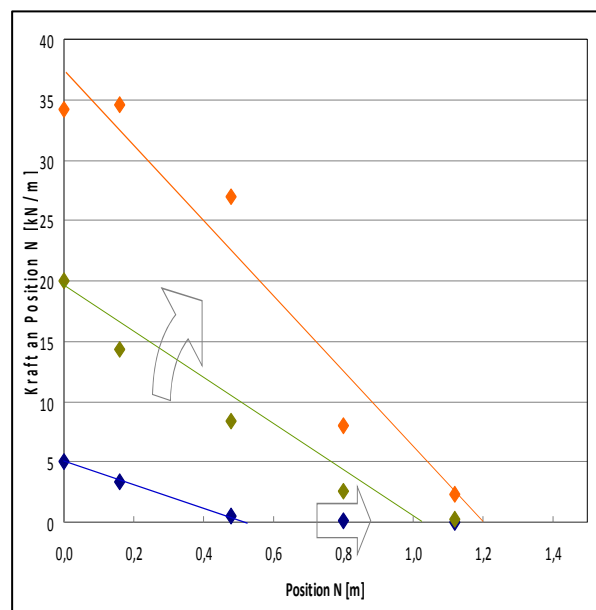
In Abbildung 12 sind die infolge der Beschüttung der Böschung auftretenden Dehnungen über die Einbindelänge des Produktes im Grabenbereich für die Messstellen DMS 3, 4, 5 und 7 mit zunehmender Belastung (dargestellt als Zeiten) aufgetragen. Ergänzt sind die Absolutwerte durch eine lineare Approximation, aus der ebenfalls die etwas höhere Belastung der Messstelle 4 erkennbar wird.

Die Verankerungslänge, die messbar beansprucht wird, liegt bereits bei sehr geringen Anfangslasten bei mindestens 4 m. Mit zunehmender Beanspruchung der Verankerung werden die Lasten tendenziell weiter nach hinten durchgestellt, die Beanspruchung des Produktes nimmt im vorderen Bereich der Verankerung jedoch überproportional zu, wie am steileren Verlauf der Ausgleichsgeraden erkennbar ist.

Dieser qualitative Zusammenhang wird auch durch Ergebnisse von Laborversuchen mit großen Verankerungslängen bestätigt: Ergänzend zu den In-situ-Messungen wurden Herausziehversuche im Labor der TU Clausthal durchgeführt. Die Geogitter wurden dabei analog zu der Instrumentierung im Feld mit DMS bestückt. Abb. 13 zeigt exemplarisch für eine Auflast von 20 kN/m<sup>2</sup> die Dehnungsverteilung über die Gitterlänge bei unterschiedlichen Auszugskräften. Auch hier ist die gute Aktivierung der Verankerungslänge erkennbar, wobei mit zunehmender Beanspruchung der Verankerung größere Lasten auf der gleichen Verankerungslänge abgetragen werden.



**Abb. 12:** Verteilung der Dehnung an den Messstellen DMS 3, 4, 5 und 7 infolge Beschüttung der Böschung zu unterschiedlichen Zeitpunkten



**Abb. 13:** Verteilung der Dehnung an unterschiedlichen Messstellen in einem Herausziehversuch bei unterschiedlichen Beanspruchungen

Die gemessenen Dehnungen und damit auch die Spannung im Geogitter nehmen sowohl in situ als auch im Herausziehversuch mit zunehmender Einbindetiefe näherungsweise kontinuierlich ab. Die gute Aktivierung der Verankerungslänge bei geringen Beanspruchungen kann als direkte Folge der hohen Dehnsteifigkeit des untersuchten Produktes bewertet werden.



Da das Produkt mit zunehmender Beanspruchung stärker gedehnt wird, werden auch die lokalen Verschiebungen an den vorderen Querelementen größer. Die Querelemente werden also stärker gegen den Boden verschoben und aktivieren einen größeren Erdwiderstand, so dass die Lasten nicht proportional zur Beanspruchung stärker nach hinten durchgestellt werden müssen.

Die verbleibende Verankerungslänge stellt somit wie im Nachweiskonzept vorgesehen eine zusätzliche Sicherheit dar, soweit die Querelemente nicht übermäßig stark beansprucht werden bzw. ausreichend dimensioniert sind. In den Laborversuchen konnten die Produkte zu definierten Beanspruchungszuständen ausgebaut und untersucht werden, so dass eine Bewertung der tatsächlichen Beanspruchungen infolge Gebrauchslasten möglich wird (Abb. 14). Im Gebrauchslastbereich konnten an den Geogittern keine Beschädigungen im Hinblick auf die Integrität der Gitterstruktur festgestellt werden.



**Abb. 14:** Visuelle Bewertung von Geogitterproben unter Gebrauchslasten nach Ausbau aus einem Herausziehversuch (Auflast 20 kPa, TU Clausthal, 10/2010), exempl. für Secugrid® 200/40 R6

#### 4. Schlussfolgerung

In 2010 wurde die Sanierungsmaßnahme Pochsandhalde Zellerfelder Tal (Bergstadt Clausthal-Zellerfeld) erfolgreich abgeschlossen. Für eine ausreichende Standsicherheit des Dichtungssystems im Böschungsbereich gegen Gleiten wurden hochzugfeste Geogitter zwischen Rekultivierungsboden und Dichtungssystem aus Dränagematte und

geosynthetischer Tondichtungsbahn eingebaut und zur Lastabtragung an der Berme in einem rechnerisch dimensionierten Verankerungsgraben eingebunden. Das Geogitter Secugrid® 400/40 R6 wurde vom Institut für Geotechnik und Markscheidewesen mit sieben Dehnungsmessstellen im Verankerungsbereich (Verankerung in einem Graben) ausgestattet. Die Messstellen 1 und 2 wurden bereits beim Verfüllen des Grabens durch den Bagger zerstört. An den Messstellen 3 bis 7 konnten während des Aufbringens des Rekultivierungsbodens mit einer Mächtigkeit von 70 cm Dehnungen gemessen werden. Die Dehnungsverläufe zeigen, dass die Dehnungen und damit auch die Kräfte im Gitter mit zunehmender Einbindelänge abnehmen. Die maximalen Dehnungen von ca. 0,45 % werden an den Messstellen 3 und 4 gemessen. An der Messstelle 7 sind mit ca. 0,1 % noch Dehnungen und Dehnungszunahmen feststellbar, da die Lasten infolge der Dehnsteifigkeit weit in den Verankerungsgraben zurückgeführt werden. Mit zunehmender Belastung werden die Kräfte verstärkt im vorderen Bereich der Verankerung abgetragen, wobei die tatsächliche Verankerungsstrecke deutlich länger als die rechnerische Verankerungslänge bleibt. Eine Messung nach 7 Tagen zeigte, dass es in diesem Zeitraum nicht zu einer Dehnungsänderung durch Spannungsumlagerungen gekommen ist.

## **Danksagung**

Die Autoren danken dem Bauherrn Bergstadt Clausthal-Zellerfeld, der ausführenden Baufirma Bilfinger & Berger Umweltsanierung GmbH, dem Verleger NAUE Sealing GmbH & Co. KG sowie der b.i.g. GmbH für die kurzfristige Freigabe der Messungen und Unterstützung bei der baubegleitenden Installation der messtechnischen Ausrüstung sowie der NAUE GmbH & Co. KG für die Finanzierung der Messungen und die fachliche Unterstützung.

## Literatur

- [1] EBGEO (2010): Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst & Sohn, Berlin.
- [2] DIN 1054:2005-1: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 01/2005.
- [3] Witt, K. J., Ramke, H.-G. (2005): Empfehlungen E3-8 "Reibungsverhalten von Geokunststoffen". Arbeitskreis 6.1 "Geotechnik der Deponiebauwerke" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V., Bautechnik 82, Heft 9.
- [4] Witt, K. J., Ramke, H.-G. (2008): Empfehlungen E2-7 "Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen". Arbeitskreis 6.1 "Geotechnik der Deponiebauwerke" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V., Bautechnik 85, Heft 9.
- [5] Malakou, E. (2009): Endgültiger Abschluss der MHD-Deponie Duisburg-Sudamin. Tagungsband zum Geokunststoff-Kolloquium der NAUE GmbH & Co. KG.
- [6] Messkonzept Pochsandhalde. BBG Bauberatung Geokunststoffe, 17.09.2010.

