



**Tensar**

THE COMPANY  
YOU CAN BUILD ON™

## Geogitterbewehrtes Steilböschungssystem für eine Kranstellfläche zum Bau einer Windenergieanlage im Saarland



# Geogitterbewehrtes Steilböschungssystem für eine Kranstellfläche zum Bau einer Windenergieanlage im Saarland

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Cammarata, Tensar International GmbH, Deutschland

Die Herstellung von Kranstellflächen für die Errichtung von Windenergieanlagen stellt sowohl Planer als auch Bauunternehmer vor große Herausforderungen. Egal ob Tiefgründung oder Flachgründung – die Stellflächen müssen stets sehr hohen Anforderungen genügen. Denn mit wachsenden Windturmhöhen werden auch die zum Einsatz kommenden Errichterkräne und somit auch die Belastungen der Gründung größer. In den letzten Jahren haben sich Flachgründungskonzepte unter Verwendung von Geogittern erfolgreich etabliert. Aufgrund des duktilen Tragverhaltens bietet diese Art der Gründung neben den schon bekannten wirtschaftlichen Vorteilen zudem auch ein hohes Maß an Tragsicherheit – sogar mit erheblichen Tragreserven. Diese Reserven konnten im Rahmen der Baumaßnahme in Lebach „Gohlocher Wald“ an einer geogitterbewehrten Steilböschung messtechnisch erfasst werden (**Bild 1**).

## Baumaßnahme „Gohlocher Wald“ mit geogitterbewehrter Steilböschung

Für das Projekt „Gohlocher Wald“ waren für die Herstellung der Kranstellfläche aufgrund der ausgeprägten Hanglage Geländeanschlüßungen in Höhe von bis

Die Türme von Windenergieanlagen werden höher. Dadurch steigen die Anforderungen an Kranstellflächen für den Bau der Anlagen und die Belastungen der Gründung. In den letzten Jahren kamen vermehrt Gründungen mit Geokunststoffen zum Einsatz. Dieser Beitrag erläutert auf Basis von Berechnungen und messtechnischen Überprüfungen die hohe Tragfähigkeit eines geogitterbewehrten Steilböschungssystems für die Errichtung einer Windenergieanlage im Saarland.

**Geotechnik • Geokunststoffe • Bewehrte Erde • Kranstellfläche • Berechnung • Monitoring**

zu 3,50 m erforderlich. Der erforderliche enge Arbeitsradius des Errichterkrans hatte zudem zur Folge, dass an der dem Turm zugewandten Seite keine Regelböschungsneigung realisiert werden konnte. Von den Projektbeteiligten wurde eine Versteilung dieser Seite unter Einbeziehung eines geogitterbewehrten Steilböschungssystems festgelegt. Als dauerhafte Geländesprungsicherung wurde das abgestimmte Böschungssystem TensarTech SG der Tensar International GmbH,

**Bild 1:** Steilböschungssystem für eine Kranstellfläche zur Errichtung einer Windenergieanlage in Lebach im Saarland



Bonn, gebaut. Bei dieser Böschungssicherungsvariante handelt es sich um ein Verbundsystem aus einaxialen Geogittern und Stahlgitterelementen mit einer Aluminium-Zink-Legierung als Frontausbildung. Beide Komponenten werden mittels einer Steckstabverbindung miteinander gekoppelt. Die herstellungsbedingte hohe Knoteneffizienz der Geogitter ermöglicht dabei eine dauerhaft formschlüssige Verbindung zu den Stahldrahtgittern an der Front (Bild 2).

### Nachweisführung für das Böschungssicherungssystem

Für die Baumaßnahme „Gohlocher Wald“ wurden die Kranstellfläche und somit auch die Böschungssicherung für eine maximale, charakteristische Flächenpressung von 250 kPa ausgelegt (Bild 3). Als Errichterkrane kam der Mobilkran LTM1775 zum Einsatz. Die Aufstandsstützen wurden auf Lastverteilungsplatten aufgesetzt, um eine Spannungsreduzierung zu ermöglichen. Aus den zur Verfügung gestellten Hebestudien ging hervor, dass die höchsten Spannungsspitzen aus den Hebevorgängen der schweren unteren Turmsegmente erfolgen. Weiterhin war aus der Ausführungsplanung bekannt, dass diese hohe, punktuelle Pressung nahe der Frontausbildung eingeleitet wird. Die Bemessung und die Festlegung des Sicherheitsniveaus des Sicherungssystems erfolgten unter Berücksichtigung des Eurocode 7 [2] bzw. des nationalen Anhangs [3] zuzüglich der DIN 1054:2012 [4] und der mitgeltenden Empfehlungen. Für die Bemessung wurden insbesondere die Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen „EBGEO“ [5] herangezogen.

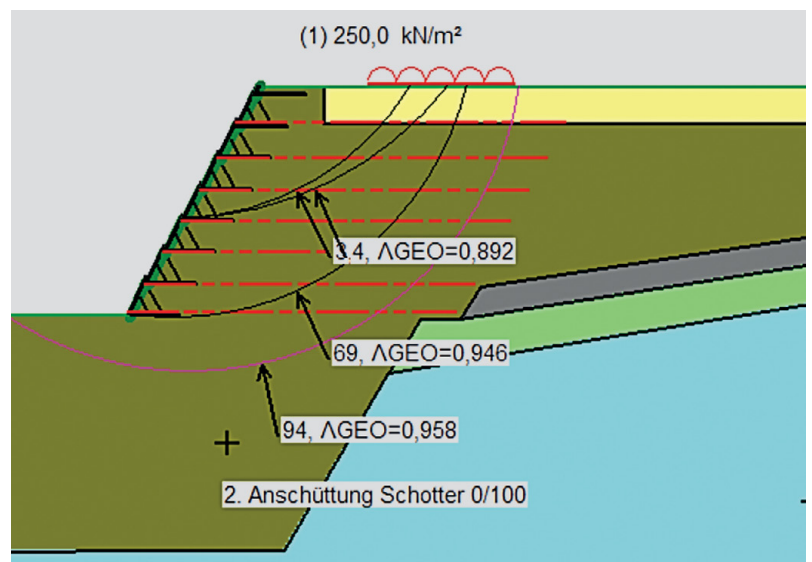
### Monitoringprogramm für die Erfassung von Spannungen

Nicht selten weichen Theorie und Praxis voneinander ab. Bei dieser Baumaßnahme bestand die Möglichkeit,

die rechnerischen Ansätze für die Nachweisführung der Frontausbildung gemäß EBGEO zu überprüfen und die berechneten mit den gemessenen Spannungswerten zu

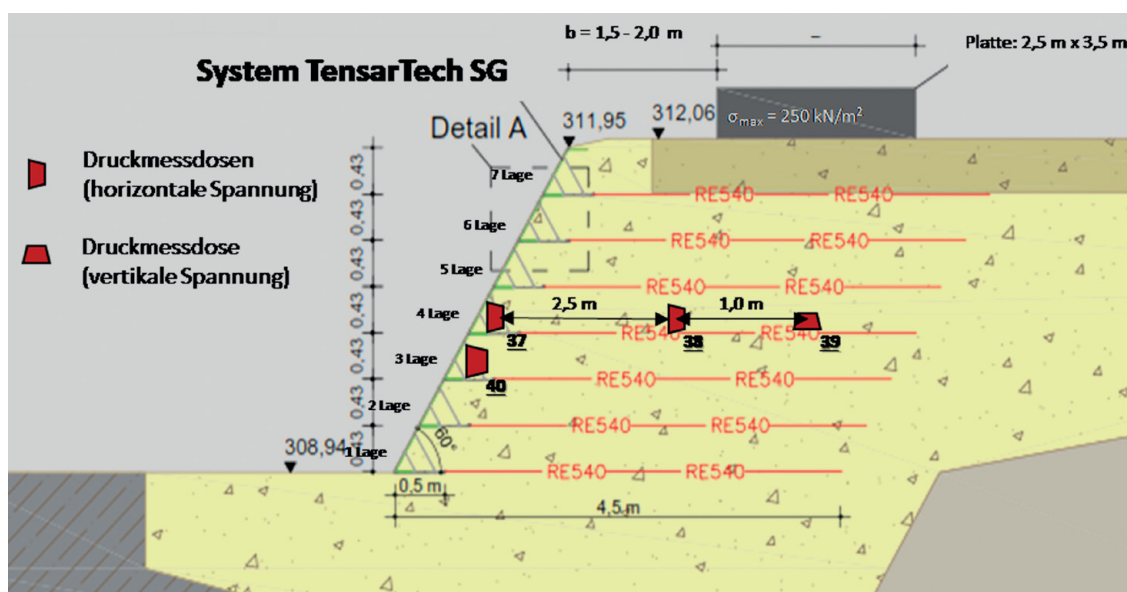


**Bild 2:** Formschlüssige Verbindung zwischen Geogitter und Stahldrahtgittermatte



**Bild 3:** Auszug aus der Statik [1] – Berechnungsmethode nach Bishop

**Bild 4:** Anordnung der Erddruckmessdosen innerhalb des Sicherungssystems







**Bild 5:** Einbau der Erddruckmessdose Nr. 37 im Frontbereich des Sicherungssystems

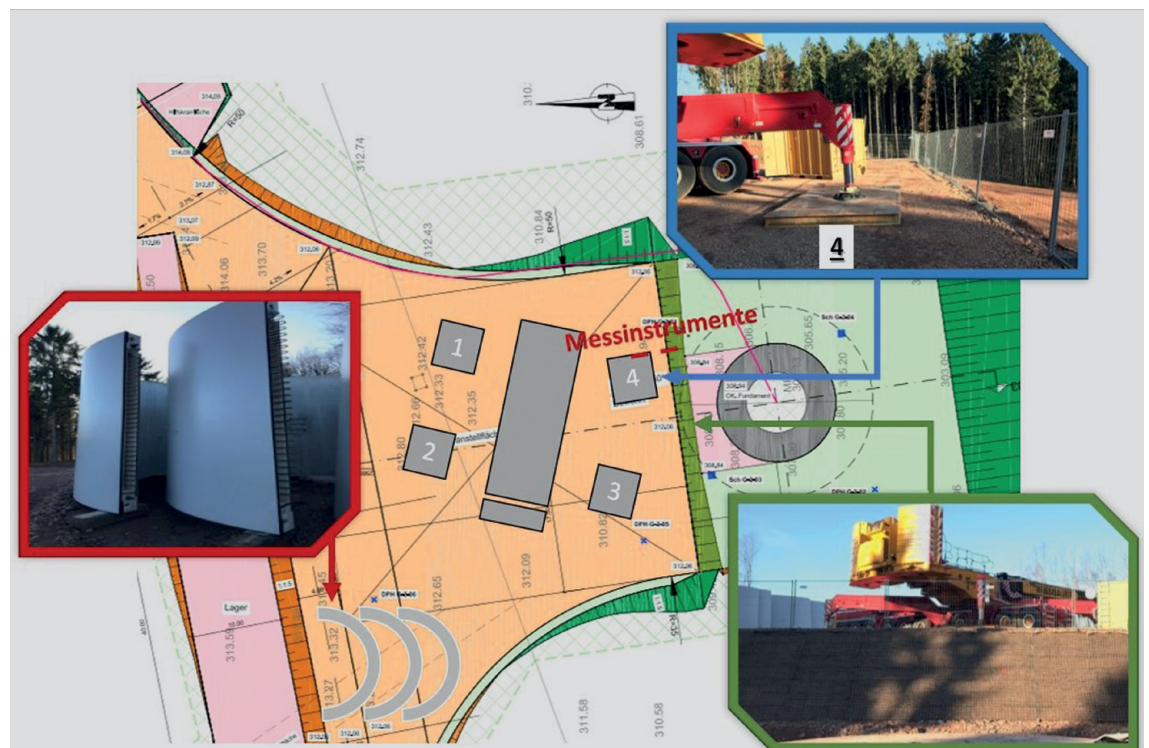
vergleichen. Zur Überprüfung der in den statischen Berechnungen ermittelten, rechnerischen Beanspruchungen auf die Frontausbildung erfolgten Vertikal- und Horizontalerddruckmessungen.

Im Rahmen des Monitoringprogramms wurden innerhalb der geogitterbewehrten Steilböschung im unmittelbaren Beanspruchungsbereich des Errichterkrans Druckmessdosen installiert. Diese waren so platziert, dass die Vertikalspannungs- aber auch die Horizontalspannungsbeträge in unterschiedlichen Höhenlagen erfasst werden konnten (**Bilder 4 und 5**). Hierbei wurde eine Erddruckmessdose zur Bestimmung des wirkenden Vertikalspannungszustands bei 1,85 m unter Geländeoberkante, unter der Lastverteilungsplatte, positioniert (Dose Nr. 39 entsprechend **Bild 4**). Drei weitere Erddruckmessdosen wurden zur Ermittlung des

Horizontalspannungszustands in unterschiedlichen Wirkungsbereichen des Sicherungssystems platziert (Dosen Nr. 37, 38 und 40 entsprechend **Bild 4**).

Der Auswertungsbericht [6] der Underyoufeet Ingenieuresellschaft für Geotechnik GmbH, Clausthal-Zellerfeld, beschreibt sehr detailliert die Einwirkungskombinationen und die daraus resultierenden unterschiedlichen Beanspruchungen der Steilböschung. Im Lageplan (**Bild 6**) ist gut zu erkennen, dass die Kranstütze Nr. 4 sich unmittelbar vor der Frontausbildung der Steilböschung befindet. Die Lastverteilungsplatte aus Stahl (2,50 m x 3,50 m), die mittig unterhalb der Kranstütze verlegt wurde, wurde so aufgestellt, dass die lange Seite (hier: 3,50 m) parallel zur Böschungskante verläuft. Zweck dieser Anordnung war es, einer Lastkonzentration entlang der Frontausbildung entgegenzuwirken.

**Bild 6:** Lageplan mit Zuordnung von Turmsegmenten, Kran, Messinstrumenten und Steilböschung

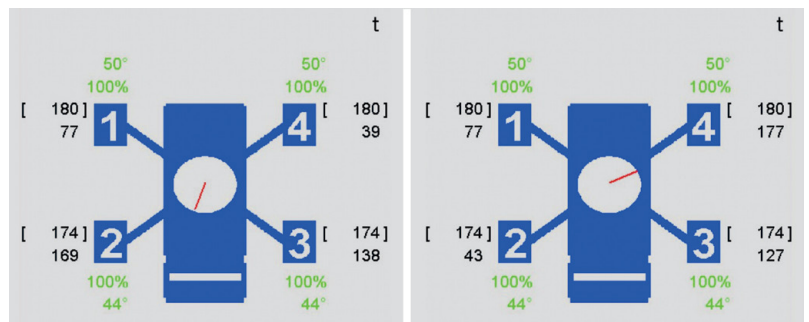


Für die Errichtung des Windturms, eines Hybridturms mit einer Narbenhöhe von 140 m, musste der Kran die im nordwestlichen Montagebereich gelagerten Turmsegmente anheben, danach eine Drehung entgegen dem Uhrzeigersinn durchführen, um dann im südlichen Bereich unmittelbar vor der Steilböschung diese Komponente auf das fertiggestellte Turmfundament abzusetzen. Die Stütze Nr. 4 wurde beim Anheben der schweren unteren Turmsegmente mit 39 t belastet (Bild 7). Diese verhältnismäßig geringe Last ist darauf zurückzuführen, dass beim Anheben der Komponenten auf der gegenüberliegenden Seite, also der Montagefläche, eine Entlastung dieser Stütze erfolgte. Dafür trat jedoch beim Absetzen der Segmente auf dem Turmfundament eine sehr hohe Lastkonzentration über der Stütze Nr. 4 auf. Hierbei ergaben sich Lastspitzen von bis zu 177 t.

Der Abhebe-, Dreh- und Absetzvorgang der Turmsegmente und die daraus resultierenden Vertikalspannungszustände innerhalb der Steilböschung wurden sehr genau von der Erddruckmessdose Nr. 39 aufgezeichnet (Bild 8). Dem Bild können die zuvor beschriebenen Abläufe für den schwersten Turmhalbring entnommen werden. Der Vorgang startete am 28. November 2017 um 12:14 Uhr und endete 22 Minuten später um 12:36 Uhr.

### Plausibilitätsbetrachtung der Vertikalspannungsmessergebnisse

Mit diesen Informationsdaten wurden, unter Berücksichtigung der Stützdrücke für das Anheben und Absetzen, Plausibilitätsberechnungen durchgeführt. Auf OK-Gelände entstand aufgrund der biegesteifen Lastverteilungskonstruktion von 2,50 m x 3,50 m beim Anheben eine Flächenpressung von ca. 45 kPa und beim Absetzen eine Pressung von ca. 202 kPa. Aus den Auf-



**Bild 7:** Stützdrücke beim Anheben (links) und Ablegen (rechts) der unteren Turmsegmente

zeichnungen der Erddruckmessdose Nr. 39, die sich ca. 1,85 m unterhalb OK-Gelände befand, gehen folgende Vertikaldrucke hervor:

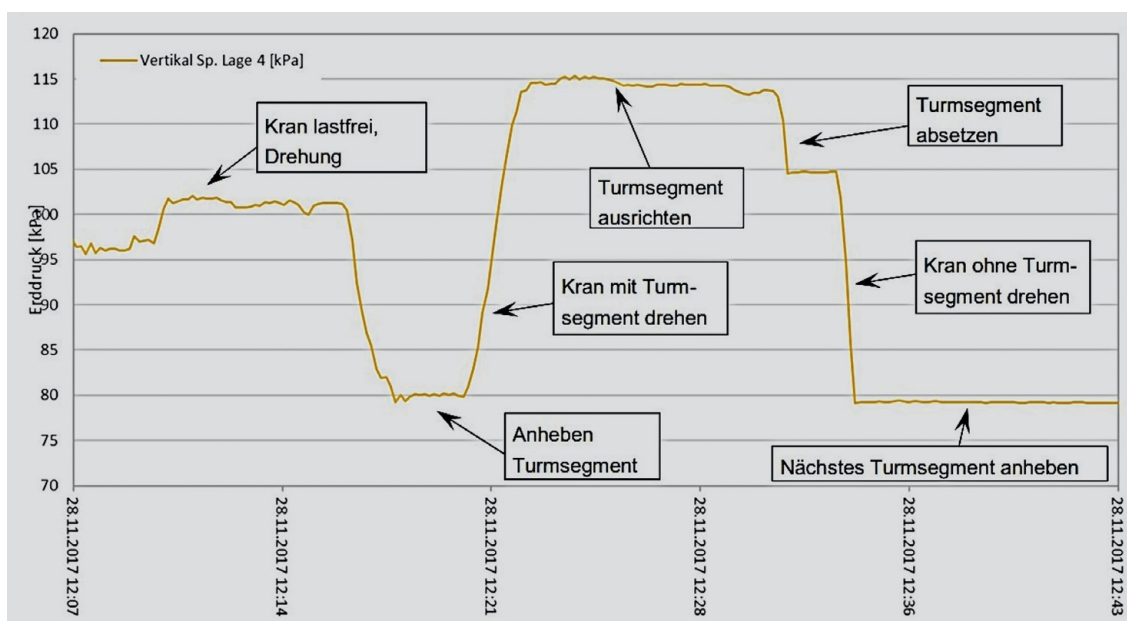
- ▶ Anheben: ca. 78 bis 79 kPa
- ▶ Absetzen: ca. 113 bis 115 kPa

Mit dem Programm DC-Setzung [7] konnte unter Ansatz charakteristischer Werte rechnerisch nachgewiesen werden, dass die Vertikalspannungszustände bei 1,85 m unter OK-Gelände ausreichend genau den gemessenen Spannungen entsprechen (Bilder 9 und 10):

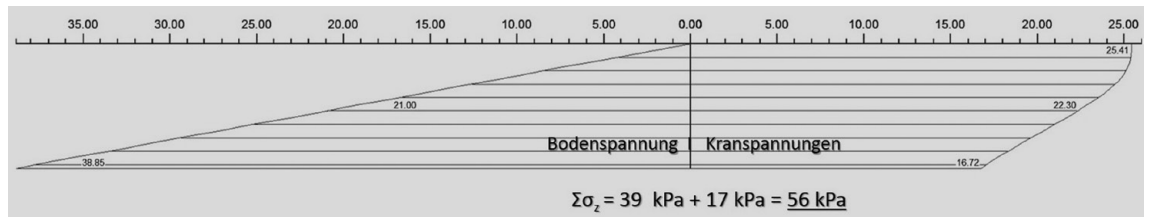
- ▶ Anheben: ca. 56 kPa
- ▶ Absetzen: ca. 108 kPa

Eine ausreichende Plausibilität im Hinblick auf den gemessenen Vertikalspannungszustand konnte hiermit bestätigt werden. Tendenziell werden rechnerisch geringere Spannungen ermittelt als tatsächlich gemessen. Diese Spannungskonzentration unterhalb der Lastverteilungsplatte kann auf einen Verzahnungseffekt zwischen Geogitter und Korngerüst zurückgeführt werden.

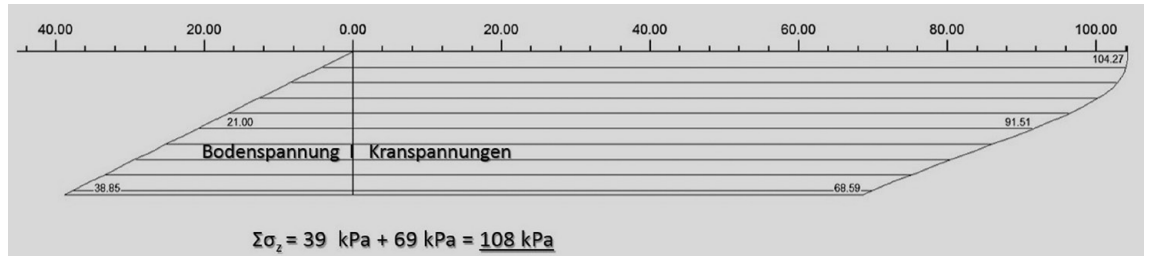
**Bild 8:** Aufzeichnung des vertikalen Erddrucks der Messdose Nr. 39 während der Turmmontage



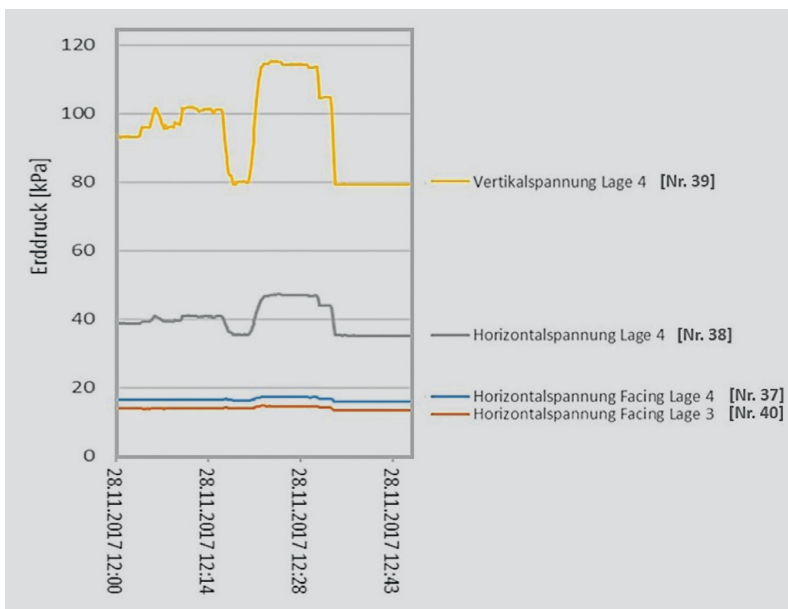




**Bild 9:** Rechnerischer Vertikalspannungszustand für das Anheben [7]



**Bild10:** Rechnerischer Vertikalspannungszustand für das Absetzen [7]



**Bild 11:** Aufzeichnung des vertikalen und horizontalen Erddrucks während der Turmmontage

### Plausibilitätsbetrachtung der Horizontalspannungsmessergebnisse

Interessant ist umso mehr die Betrachtung der gemessenen Horizontalspannungszustände innerhalb der geogitterbewehrten Steilböschung. Die drei unteren Kurven im **Bild 11** stellen die Horizontalspannungen während der Hebevorgänge des unteren Turmsegments dar. Deutlich zu erkennen ist der Anstieg der Horizontalspannung der Druckdose Nr. 38 auf ca. 45 kPa beim Absetzvorgang. Diese befindet sich oberhalb der vierten Geogitterlage und sehr nahe der Lasteinwirkungsachse und erklärt somit den verhältnismäßig hohen Wert. Dieser Spannungsbetrag lässt den Schluss zu, dass im Inneren der bewehrten Steilböschung ein erhöhter aktiver Erddruckzustand

herrscht, nicht zuletzt hervorgerufen durch das Interaktionsverhalten zwischen den gestreckten Geogittern und dem Verfüllmaterial. Demgegenüber stehen die relativ geringen Horizontalspannungen im Frontbereich der Konstruktion. Die gemessenen Horizontaldrucke an der Frontausbildung liegen entsprechend der Höhenlage der Erddruckmessdosen bei ca. 16 kPa (Nr. 37) bzw. 13 kPa (Nr. 40) und betragen somit weniger als ein Drittel der Horizontalspannung der Druckmessdose Nr. 38. Es findet somit innerhalb eines kurzen horizontalen Abstands (ca. 2,50 m) eine erhebliche Erddruckreduzierung innerhalb der Konstruktion statt.

Um zu beurteilen, ob diese Erddruckreduzierung plausibel erscheint, können die Empfehlungen EB-GEO [5] herangezogen werden. In diesen Empfehlungen werden im Kapitel 7 „Stützbauwerke“ Berechnungsgleichungen für die Ermittlung des Erddrucks auf die Frontausbildung solcher Konstruktionen gegeben. In Abhängigkeit der Verformbarkeit der Frontausbildung müssen bei der Erddruckgleichung Anpassungsfaktoren berücksichtigt werden. Bei der vorliegenden Böschungssicherung handelt es sich um ein System mit einem bedingt verformbaren Frontelement. Der charakteristische Erddruck  $e_{\text{Frontausbildung}}$  wird nach EB-GEO wie folgt ermittelt:

$$e_{\text{Frontausbildung}} = \eta_g \cdot K_{\text{agh,k}} \cdot \gamma_k \cdot H_i \cdot \gamma_G + \eta_q \cdot K_{\text{aqh,k}} \cdot q \cdot \gamma_Q \dots \quad (1)$$

Darin sind:

|                    |   |
|--------------------|---|
| $\eta_g$           | Anpassungsfaktor für ständige Lasten            |
| $\eta_q$           | Anpassungsfaktor für veränderliche Lasten       |
| $K_{\text{agh,k}}$ | Aktiver Erddruck für ständige Lasten            |
| $K_{\text{aqh,k}}$ | Aktiver Erddruck für veränderliche Lasten       |
| $\gamma_k$         | Charakteristische Bodenwichte                   |
| $H_i$              | Bezugstiefe                                     |
| $\gamma_G$         | Teilsicherheitsbeiwert für ständige Lasten      |
| $\gamma_Q$         | Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Lasten |
| $q$                | Veränderliche Last                              |

Dabei gelten abhängig von der Art der Frontelemente die in **Tabelle 1** angegebenen Anpassungsfaktoren  $\eta_g$  und  $\eta_q$  und Wandreibungswinkel  $\delta$ . Bei Berücksichtigung der baumaßnahmenbezogenen Randbedingungen gelten für den Lastfall „Absetzen“ im Bereich der Erddruckmessdose Nr. 37 folgende Kennwerte:

- ▶  $\eta_g = 0,7$  bzw.  $\eta_q = 1,0$
- ▶  $K_{agh,k} = K_{aqh,k} (\alpha = 30^\circ; \beta = 0^\circ; \varphi = 35^\circ; \delta = \varphi/3) = 0,082$
- ▶  $\gamma_k = 21 \text{ kN/m}^3$
- ▶  $H_i = 1,85 \text{ m}$
- ▶  $\gamma_G = \gamma_Q = 1,0$  (charakteristische Betrachtung)
- ▶  $q = 1.770 \text{ kN}/(2,50 \text{ m} \times 3,50 \text{ m}) = 202,5 \text{ kN/m}^2$

Somit ergibt sich für den betrachteten Frontbereich der vierten Geogitterlage ein rechnerischer horizontaler Erddruck von ca. 19 kPa. Dieser Wert spiegelt auf der sicheren Seite liegend den gemessenen Horizontaldruck der Erddruckmessdose Nr. 37 wider. Diese zeigte beim Absetzvorgang einen Spannungsbetrag von 16 kPa an. Eine quantitative, rechnerische Validierung konnte somit auch für den Horizontalspannungszustand im Frontbereich bestätigt werden. Der rechnerisch ermittelte Wert ist auch ohne die Berücksichtigung von normativen Teilsicherheitsbeiwerten [2, 3, 4] höher als der tatsächlich gemessene Wert und bestätigt in diesem Anwendungsfall erneut, dass geogitterbewehrte Konstruktionen über hohe Tragsicherheiten verfügen.

**Fazit**

Eine detaillierte Auswertung der Messergebnisse konnte zeigen, dass die gemessenen horizontalen Beanspruchungen aus dem Kranbetrieb gegenüber den theoretisch berechneten Beanspruchungen der Frontausbildung entsprechend den Empfehlungen EBGEO [5] geringer ausfallen. Die geogitterbewehrte Böschungssicherung wirkt als duktile Erdverbundkonstruktion und weist neben einer hohen Tragfähigkeit auch ein hohes Maß an „verborgenen“ Tragreserven auf.

**Quellen**

- [1] Tensar International GmbH: Standsicherheitsnachweise der Steilböschung „Gohlocher Wald“
- [2] DIN EN 1997-1:2009-09: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
- [3] DIN EN 1997-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter

**Tabelle 1:** Anpassungsfaktoren und Wandreibungswinkel

| Frontelemente      | Anpassungsfaktor   |                    | $\eta_q$ | Wandreibungswinkel $\delta$      |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------|----------------------------------|
|                    | $0,6 H < h \leq H$ | $0 < h \leq 0,6 H$ |          |                                  |
| Nicht verformbar   | 1,0                | 1,0                | 1,0      | analog DIN 4085                  |
| Bedingt verformbar | 1,0                | 0,7                | 1,0      | $1/3 \varphi'$ bis $1,0 \varphi$ |
| Verformbar         | 1,0                | 0,5                | 1,0      | 0                                |

- [4] DIN 1054:2012: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1
- [5] DGGT: Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen – EBGEO. 2. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, (2010)
- [6] Underyourfeet Ingenieurgesellschaft für Geotechnik GmbH: Auswertungsbericht vom 14.03.2018
- [7] DC Software GmbH: Software für Setzungsermittlung: DC-Setzung. Version 4.01

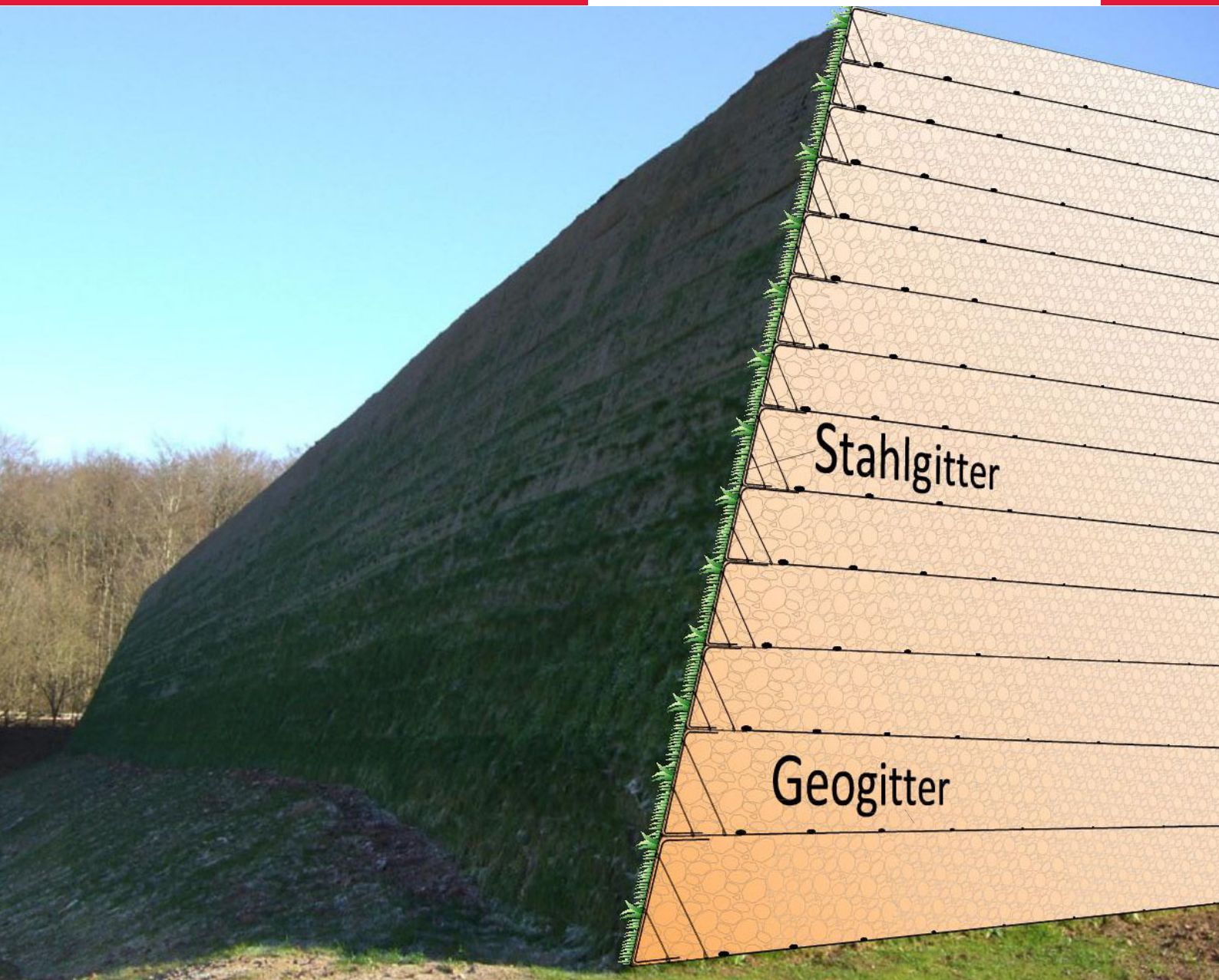
**Dipl.-Ing. (FH) Daniel Cammarata**



ist Leiter der Anwendungstechnik bei der Tensar International GmbH und seit 2009 für die technische Beratung von Baumaßnahmen zuständig. Bei jedem Projekt suchen Herr Cammarata und sein Team nach einer individuellen technischen Lösung für den Kunden. Baustellenanweisungen übernimmt die Anwendungstechnik in enger Abstimmung mit den Vertriebsingenieuren selbstverständlich persönlich. Zudem gehören komplexe Plausibilitätsbetrachtungen sowie Standsicherheitsberechnungen von Geogitterlösungen zum Tätigkeitsfeld unserer erfahrenen Bauingenieure. Unser Team berät Sie gerne unverbindlich. Kontaktieren Sie uns unter [info@tensar.de](mailto:info@tensar.de) oder rufen Sie uns an unter +49 228 913 920.

**Quelle des Artikels**

Cammarata, D. (2018): Geogitterbewehrtes Steilböschungssystem für eine Kranstellfläche zum Bau einer Windenergieanlage im Saarland. GeoResources Zeitschrift (2-2018), S. 14–19. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-2-2018.pdf>



- ◆ TensarTech Wall
- ◆ TensarTech Paneelen
- ◆ TensarTech Gabionen
- ◆ TensarTech SG

Einfache und schnelle Bauweise  
Flexibilität bei der Gestaltung  
Aufnahme hoher Belastungen

Dauerhafte Standsicherheit  
Ökonomische Bauweise  
Systemlösung aus einer Hand

### Tensar International GmbH

Brühler Str. 7, 53119 Bonn  
Tel: +49 (0)228 91392-0  
Fax: +49 (0)228 91392-11  
info@tensar.de | [www.tensar.de](http://www.tensar.de)

