

## **EBGEO 2010 – Erste Erfahrungen mit der Anwendung der neuen Bemessungsempfehlung und deren Umsetzung in der Praxis**

Dipl.-Ing. Lars Vollmert

BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH, Espelkamp

Dr.-Ing. Sven Schwerdt

vgs Ingenieure Dr. Köhler & Kirschstein GmbH, Erfurt-Leipzig-Magdeburg-Köthen

### **1 Einleitung**

Im Februar 2009 wurde nach mehrjähriger Bearbeitungszeit der Entwurf der Empfehlungen zur Bewehrung mit Geokunststoffen (EBGEO 2009 /1/) der Öffentlichkeit vorgestellt. Nach Einarbeitung der Einsprüche kann davon ausgegangen werden, dass die EBGEO im Jahr 2010 erscheinen wird.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit ersten Erfahrungen bei der Umsetzung der Bemessungsregeln der EBGEO.

### **2 Grundlagen der Bemessung nach EBGEO**

Die EBGEO regelt die Bemessung von Geokunststoffkonstruktionen. Im Vergleich zur Fassung von 1997 wurden zahlreichen Änderungen und Erweiterungen vorgenommen. Die Bemessung nach EBGEO orientiert sich am Teilsicherheitskonzept der DIN 1054 und baut auf dieser auf. Gegenübergestellt werden die Einwirkungen und die Widerstände des Systems. Je nach Anwendungsfall werden die geforderten Nachweise in den Grenzzuständen 1A, 1B, 1C oder 2 geführt.

Folgende Anwendungsfälle wurden neu in die EBGEO aufgenommen:

- Bewehrte Erdkörper auf punkt- und linienförmigen Traggliedern
- Gründungssysteme mit geokunststoffummantelten Säulen
- Überbrückung von Erdenbrüchen
- Dynamische Einwirkungen auf geokunststoffbewehrte Systeme

Analog zur EBGEO Fassung 1997 bleiben die eingeführten Anwendungen erhalten, wurden inhaltlich jedoch ergänzt oder modifiziert:

- Dämme auf wenig tragfähigem Untergrund
- Bewehrte Gründungspolster
- Stützkonstruktionen
- Verkehrswege
- Deponiebau – Bewehrung oberflächenparalleler geschichteter Systeme

Nachfolgend wird anhand von ausgewählten Beispielen die prinzipielle Herangehensweise erläutert und wesentliche Neuerungen in der praktischen Anwendung aufgezeigt.

### 3 Bewehrte Steilböschung (A38, Friedetalbrücke)

Im Zuge des Neubaus der A 38 wurde am östlichen Widerlager der Friedetalbrücke eine Sicherungskonstruktion am Böschungskegel erforderlich, da die Anwendung einer starren Stützwandkonstruktion (Stahlbetonwand) unter den geologischen Verhältnissen (Subrosionsgebirge) technisch-wirtschaftlich nicht vertretbar war.

Gemäß Ausschreibung und Entwurfsplanung wurde eine Steilböschung als Kunststoffbewehrte Erde (KBE) mit folgenden Entwurfparametern erforderlich:

- Höhe der Stützkonstruktion: 2,8 bis 10,8 m
- Darüber Anstieg des Geländes bis zur Fahrbahnoberkante um weitere 13 m
- Gesamthöhe der Konstruktion bis zu 23,8 m
- Generalneigung der bewehrten Böschung: 54,6°
- Ausführung als begrünbares System

Zur Ausführung kam eine Konstruktion bestehend aus Geogitterlagen im Abstand von 50 cm, die an der Vorderseite umgeschlagen und 50 cm zurückgeführt wurden (Polsterbauweise). Die Sicherung der Außenhaut erfolgte durch verlorene Schalungselemente (Baustahlmatten).

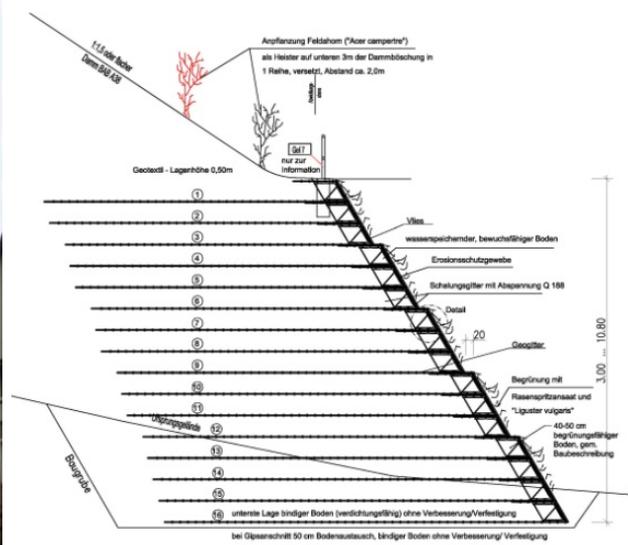


Abbildung 1: Ansicht und Querschnitt der Geokunststoff-Bewehrte-Erde-Konstruktion

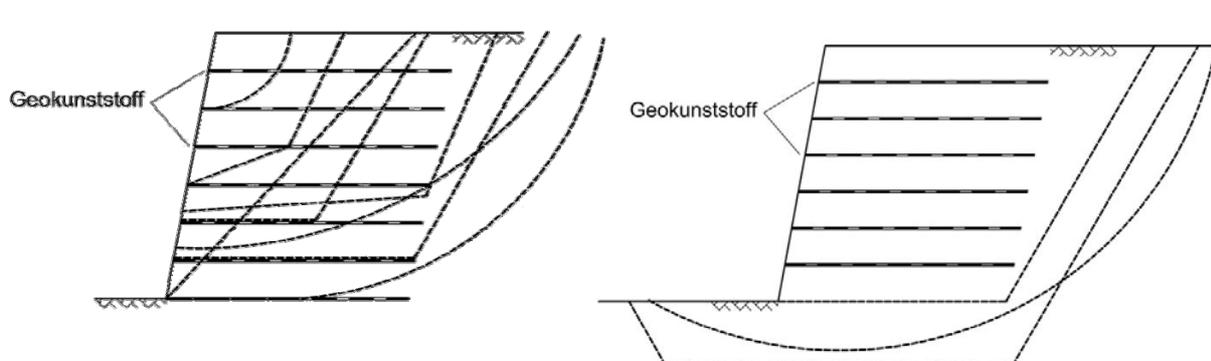
Gemäß EBGEO müssen für eine KBE-Konstruktion folgende Nachweise geführt werden:

Nachweis	GZ
<i>Grenzzustand der Tragfähigkeit</i>	
Geländebruch / Böschungsbruch	GZ 1C
Grundbruch	GZ 1B
Gleiten	GZ 1B
Lage der Sohldruckresultierenden	GZ 1A
Versagen auf Gleitlinien, die die Stützkonstruktion durchdringen	GZ 1C
Bemessungsfestigkeit der Bewehrung	GZ 1B
Herausziehwiderstand der Bewehrung	GZ 1B/ GZ 1C
Nachweis der Anschlüsse	GZ 1B
Nachweis Überlappung / Fugen der Bewehrung	GZ 1B
<i>Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit</i>	
Lage der Sohldruckresultierenden	GZ 2
Verformungen der Konstruktion	GZ 2
Setzungen der Aufstandsfläche	GZ 2

- 1) Der Nachweis "Kippen" für Stützkonstruktionen wird, da es sich um keine starre Konstruktion handelt, als erfüllt betrachtet, wenn die Lastresultierende die 2. Kernweite nicht verlässt und die Sohldruckresultierende im GZ2 innerhalb der 1. Kernweite liegt.
- 2) Der Nachweis des Herausziehwiderstandes wird im GZ berechnet, in dem die Bemessungsbeanspruchungen (Defizitkräfte) ermittelt wurden.

**Tabelle 1: Nachweise gemäß EBGEO /1/ für bewehrte Stützkonstruktionen**

Beim Tragfähigkeitsnachweis werden alle Gleitlinien untersucht, die innerhalb oder außerhalb des bewehrten Erdkörpers auftreten.



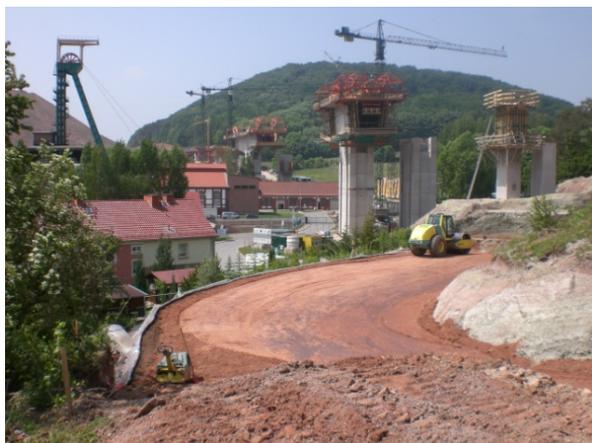
**Abbildung 2: Mögliche Gleitlinien innerhalb und außerhalb des bewehrten Erdkörpers (nach /1/)**

Die Ausführungsplanung wurde produktneutral ausgeführt. Alle verwendeten Geogitter müssen dauerhaft im basischen Milieu einsetzbar sein, da die Füllböden mit Bindemitteln verbessert wurden. Im Wettbewerb setzten sich Geogitter vom Typ Secugrid® R6 der Firma NAUE durch. Die nach /1/ und /2/ geforderten Nachweise zur chemischen Beständigkeit für den Einsatz von Polyesterprodukten bei den hier zu erwartenden hohen pH-Werten wurden entsprechend vorgelegt und durch einen Sachverständigen gutachterlich bestätigt.

Es wurden bis zu 23 Geogitterlagen übereinander angeordnet. Die Bemessungsfestigkeit betrug  $F_{B,d} = 20 \text{ kN/m}$  für die oberen 15 Geogitterlagen und  $F_{B,d} = 30 \text{ kN/m}$  für die darunter folgenden Lagen. Die Verankerungslängen betragen 7,0 bis 10,5 m.

Für den Nachweis der Außenhaut wird gemäß /1/ analog zu /3/ zwischen nicht verformbaren, bedingt verformbaren und verformbaren Außenhautsystemen unterschieden. Im vorliegenden Beispiel handelt es sich um ein verformbares System, da die Stahlgitterelemente als verlorene Schalung irgendwann nicht mehr vorhanden sein werden. Hieraus ergibt sich als Neuerung in /1/, dass der Erddruck auf die Außenhaut signifikant verringert werden kann und damit auf abgesicherter Basis eine wirtschaftlichere Konstruktion als nach der Fassung 1997 möglich wird.

Die Konstruktion wurde im Jahre 2008 abgeschlossen. Die gesamte Strecke wurde Ende 2009 für den Verkehr freigegeben.



**Abbildung 3: Herstellung der Bewehrten Erde-Konstruktion, links lagenweise Verdichtung, rechts: Herstellung des Umschlages**

#### **4 Bewehrte Erdkörper auf punktförmigen Traggliedern (Überbauung Schlammteich B3n)**

Im Zuge des vierspurigen Ausbaus der B3 zwischen Fronhausen/Bellnhausen und Weimar/Niederweimar musste auf einer Länge von etwa 400 m ein Schlammteich mit Ablagerungen aus der Kiesgewinnung gequert werden. Die anstehenden mineralischen Auffüllungen waren überwiegend bindig bis gemischtkörnig und von weicher bis breiiger Konsistenz.

Die Auffüllung war nur unter einer Richtungsfahrbahn vorhanden und nahm in Richtung Fahrbahnrand auf bis zu 8 m zu. Der Fahrbahndamm wies eine Höhe von bis zu 2 m auf. Zur Verringerung der Konsolidationszeit und des Absolutmaßes der Setzungen wurden Vertikaldräns im Raster von 1,25\*1,25 m sowie Rüttelstopfsäulen im Raster von 2,5\*2,5 m eingebaut. Die Säulen bzw. Dräns erreichten den unterlagernden gut tragfähigen Kiessand. Zur Lastübertragung aus dem Straßenaufbau in die Säulen und zur Vergleichmäßigung der Setzungen wurde ein zweilagiges Geogitterpaket über den Säulen eingebaut. Die Bemessung erfolgte in Anlehnung an die EBGEO /1/. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Geogitterbewehrung mehrere Aufgaben zu erfüllen hat:

- Lastübertragung auf die Säulen im Sinne einer Horizontalbewehrung nach Abschnitt 9 EBGEO /2/
- Gewährleistung der Standsicherheit des Straßendamms (Abschnitt 4)
- Setzungsvergleichmäßigung

Da sich die Effekte aus Lastübertragung auf die Säulen und Standsicherheitsproblematik überlagern, wurde das Bemessungsverfahren nach Abschnitt 9 gewählt. Dieses ist für reine Aufgabenstellungen der Lastübertragung in Säulen oder Pfähle nur anwendbar wenn das Steifigkeitsverhältnis zwischen Säulen und Boden größer als 75 ist. In allen anderen Fällen ergibt sich eine Überdimensionierung des Geokunststoffs. Die Überdimensionierung wurde in Kauf genommen, um gleichzeitig die Sicherheit gegen Böschungsbruch zu erreichen.

Die Bahnen aus Secugrid® 200/40 der Längs- und Querrichtung wurden kreuzweise zueinander verlegt. Zwischen beiden Bahnen wurde eine Reibungsschicht eingebaut. Der Regelquerschnitt kann der Abbildung 4 entnommen werden.

Zum Abklingen der Setzungen wurde die geogitterbewehrte Schicht planmäßig überschüttet und mehrere Monate liegen gelassen. Die auftretenden Setzungen wurden gemessen. Zum Zeitpunkt der schriftlichen Fassung lagen die Messergebnisse noch nicht vor.

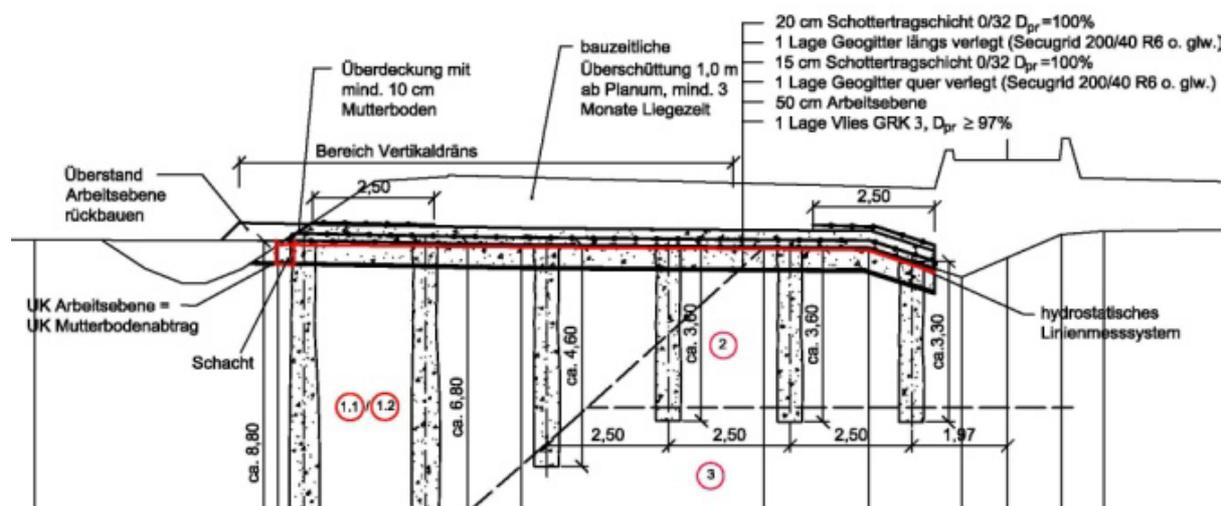


Abbildung 4: Regelquerschnitt und Einbau der Geogitter

## 5 Damm auf wenig tragfähigem Untergrund (A2 Hoogelegen, NL)

Im Zuge des fünfspurigen Ausbaus je Richtungsfahrbahn der A2 Amsterdam – Eindhoven in den Niederlanden schneidet die Trasse das Stadtgebiet Utrecht. Um die Lärmemissionen und den Flächenverbrauch gering zu halten, wurden die Dammböschungen als geokunststoff-bewehrte Erde mit verschiedenen Außenhautkonstruktionen ausgeführt. Die Dammschüttungen sind dabei auf gering tragfähige organische Schichten aufgesetzt.

Der geotechnische Entwurf ist auf die EBGEO 2009 abgestimmt. Während der Entwurfsphase wurden Böschungs- und Geländebruchuntersuchungen durchgeführt, die eine ausreichende Standsicherheit auswiesen. Ergänzende FE-Untersuchungen zum Verformungsverhalten der Konstruktion auf den Weichschichten wiesen auf signifikante Ausquetschvorgänge hin (Abb. 5).

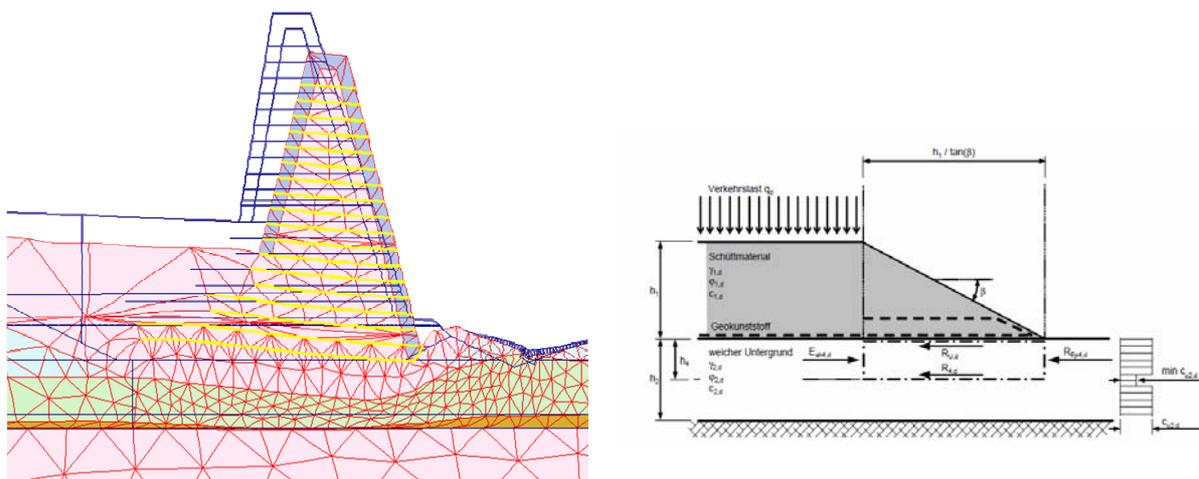


Abbildung 5: FE-Berechnung (ohne Baugrundverbesserung) und Nachweis gegen Ausquetschen nach /1/

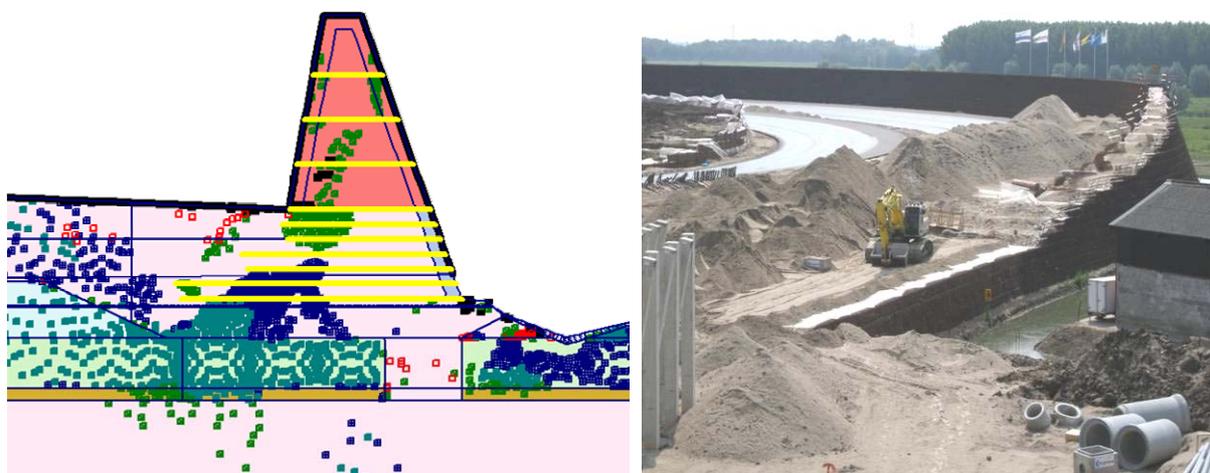


Abbildung 6: FE-Berechnung mit lokalem Bodenaustausch und Bauausführung

Diese Ergebnisse deckten sich qualitativ mit den nach EBGEO /1/ erhaltenen Berechnungsergebnissen entsprechend dem Nachweis gegen "Ausquetschen" der organischen Schichten unter Ansatz der undrÄnirten Scherfestigkeit. Durch einen lokalen Bodenaustausch konnte das Ausquetschen infolge der hohen Dammlasten bzw. das lokale Versagen am FuÙ der SteilbÖschung verhindert werden (Abb. 6).

## 6 Verkehrswegebau (BV Forst)

Die neue EBGEO geht in der Bemessung der Bewehrung ungebundener Schüttungen über die Fassung von 1997 hinaus, indem sie zwei Anwendungsbereiche unterscheidet.

Für bewehrte Schüttungen, bei denen große Verformungen zugelassen werden können, werden in /1/ Bemessungsdiagramme geliefert, die stark auf der sicheren Seite liegen, damit jedoch allgemeingültig eingesetzt werden können.

Für Tragschichten von Straßen und für Verkehrsflächen mit geringen zulässigen Verformungen wie Arbeitsebenen, Lager- und Montageflächen sowie Bodenaustauschschichten unter dem Planum nach ZTV E-StB verweist die EBGEO auf Bemessungsempfehlungen der Hersteller, da allgemeingültige Regeln zur freien Bemessung weder für bewehrte, noch für unbewehrte Systeme vorliegen. Der Einsatz der Herstellerempfehlungen ist im Einzelfall zu prüfen.

Der Verifizierung der Bemessungsempfehlungen der Hersteller kommt damit eine große Bedeutung zu. In Abb. 7 ist exemplarisch der Aufbau eines bewehrten Unterbaus und das Ergebnis der Feldversuche dargestellt. Abb. 8 zeigt das zugehörige Bemessungsdiagramm und eine Zusammenstellung weiterer Ergebnisse. Streuungen der Tragfähigkeiten einzelner Testfelder und Aufbauten sind analog zu herkömmlichen Bauweisen in Abhängigkeit der Untergrundverhältnisse, Einbaubedingungen und Witterungsverhältnisse nicht immer zu vermeiden. Typisch für geogitter-bewehrte Tragschichten ist jedoch die starke Zunahme der Tragfähigkeit mit der Zeit, da die Beanspruchungen des Untergrundes durch den Einsatz des Geokunststoffes signifikant vermindert werden.

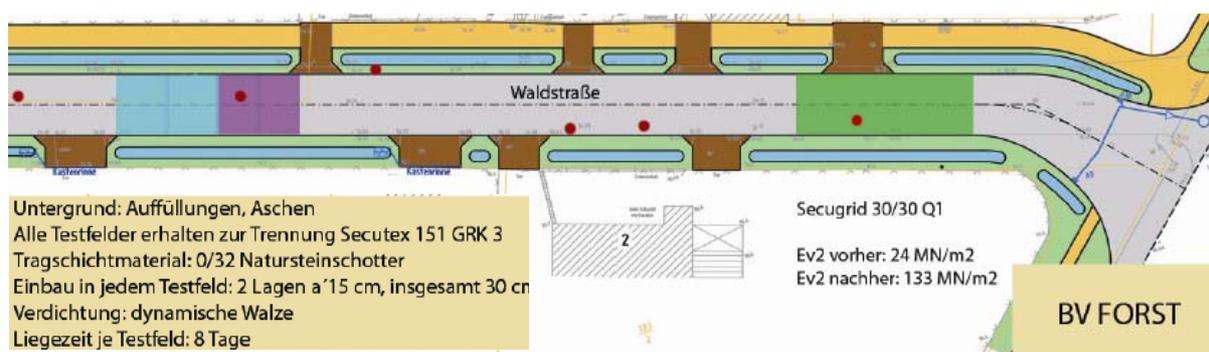
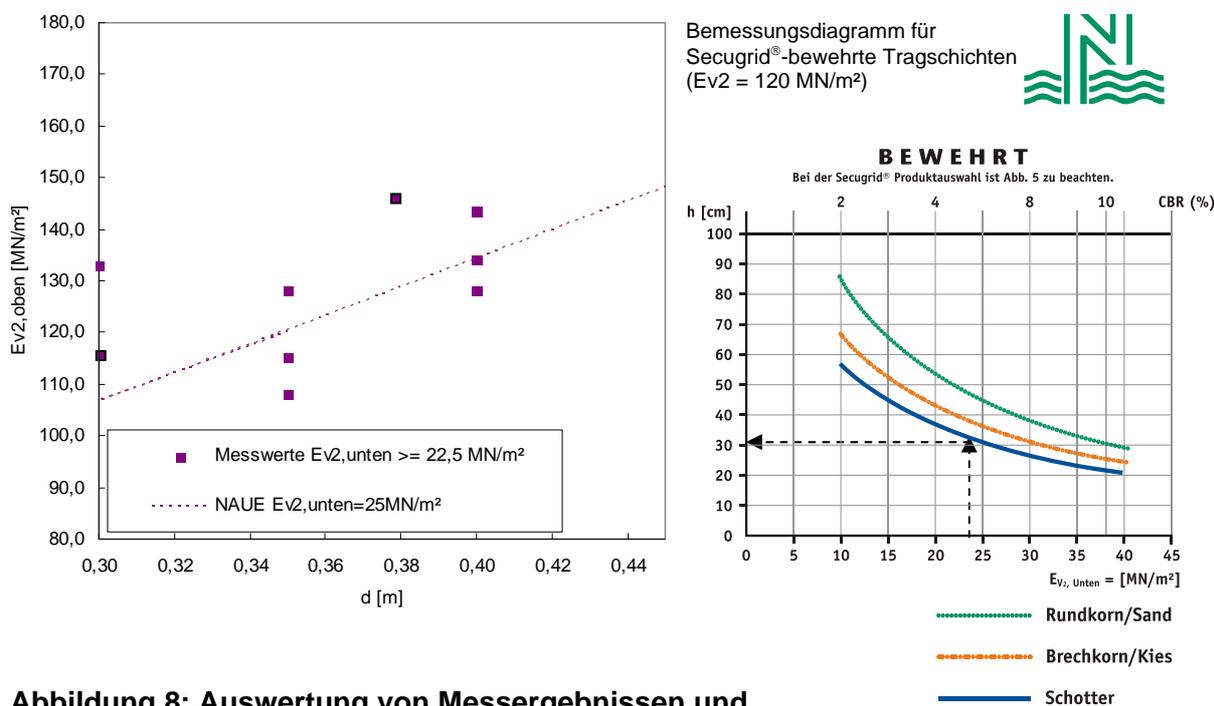


Abbildung 7: Überprüfung der Bemessungswerte am Beispiel der Ortsdurchfahrt Forst



**Abbildung 8: Auswertung von Messergebnissen und exemplarisches Bemessungsdiagramm Secugrid®-bewehrter Tragschichten (NAUE GmbH & Co. KG)**

### Zusammenfassung

Mit der vollständig neu überarbeiteten Fassung der EBGEO liegt eine praxisgerechte Bemessungsempfehlung vor, die in der Bandbreite der dargestellten Anwendungen, Hinweisen zu den maßgebenden charakteristischen Produktkennwerten und Rostoffen sowie den jeweils vollständig mit Beispielen aufbereiteten Bemessungsfällen ein sicheres und nachhaltiges Bauen mit Bewehrungsprodukten aus Geokunststoffen erlaubt. Die hier vorgestellten Beispiele wurden unter Einbeziehung wesentlicher Merkmale der Empfehlung umgesetzt und stehen exemplarisch für die zunehmende Bedeutung der Geokunststoffe beim wirtschaftlichen und ökologischen Bauen.

### Literaturverzeichnis

- /1/ DGGT: Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen –Entwurf (02/2009)
- /2/ TL Geok E-StB 05 - Technische Lieferbedingungen für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaus (FGSV, 2005)
- /3/ DIN EN 14475, Ausgabe: 2006-04. Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bewehrte Schüttkörper; Berichtigung 2006-12 zu DIN EN 14475, Ausgabe: 2006-04