

**Kurzfassung**  
**Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von geosynthetisch bewehrten**  
**Stützkonstruktion**

Dipl.-Ing. Hartmut HANGEN  
HUESKER Synthetic GmbH, Gescher

Dr.-Ing. Jan RETZLAFF  
GEOscope GmbH & Co. KG, Steinfurt

Dipl.-Ing. Philipp LENKE  
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin

Ing. P. G. van DUIJNEN  
Mobilis TBI Infra, NL-Apeldoorn

## **1. KURZFASSUNG**

Spätestens seit Einführung der EBGEO 2010, [1], hat der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen (KBE) auch formal an Bedeutung gewonnen. Ein rechnerischer Nachweis dieses Grenzzustandes, im Wesentlichen also die Prognose des Verformungsverhaltens von geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen, ist hingegen nach wie vor schwierig. Aktuelle Publikationen zu Grundlagen des Spannungs-Verformungsverhaltens geogitterbewehrten Bodens zeigen das Bewusstsein und Interesse von Universitäten und Forschungsinstitutionen diese Aufgabenstellung anzunehmen, eine Übertragung auf die tägliche Praxis des Planers steht jedoch noch aus. Hier behilft man sich deshalb häufig mit der Vorgabe prüftechnisch problemlos nachzuweisender Grenzwerte, z.B. die Begrenzung maximal zulässiger Kriechverformungen der Bewehrung oder den Erkenntnissen aus unterschiedlichen Referenzbauwerken. In besonderen Fällen wird eine messtechnische Begleitung im Sinne der Beobachtungsmethode der DIN 1054, [2], durchgeführt.

Der vorliegende Aufsatz soll nun einen Überblick zu üblichen Kriterien einerseits angesichts der Komplexität der dargestellten Aufgabe andererseits, vor allem praktische Hinweise zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit geben. Ferner werden Empfehlungen und Möglichkeiten für eine messtechnische Begleitung von KBE-Bauwerken dargestellt.

## **2. EINLEITUNG**

Gemäß DIN 1054, [2], im Allgemeinen und EBGEO, [1], im Besonderen sind für geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen sowohl der Grenzzustand der Tragfähigkeit GZ1 als auch der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit GZ2 nachzuweisen. Zur Vorgehensweise für den Nachweis des GZ1 finden sich in EBGEO, [1], bzw. DIN 4084, [3], und DIN 1054, [2], klare Vorgaben, als Hinweis für die Bestimmung der horizontalen

Verschiebungen der Böschungsfrent heißt es jedoch z.B. „Das Verformungsverhalten des aus Boden und Bewehrung bestehenden Verbundkörpers ist komplex und kann nur näherungsweise beschrieben werden“. Was nun?

### 3. ANFORDERUNGEN AN DIE GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT VON KBE-KONSTRUKTIONEN

Die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit werden von der Geometrie und konstruktiven Durchbildung an der Frontseite einer KBE und durch die Art der Nutzung bestimmt. Konkrete Hinweise hierzu finden sich in DIN 14475, [4], wobei diese Vorgaben darauf abgestimmt sind, Schäden an der Außenhaut (z.B. Zwängungsspannungen und Abplatzungen an den Ecken von Betonbauteilen oder Versagen von Schweißpunkten und Drähten der Stahlgittermatten) zu vermeiden. Vorgaben für den bewehrten Erdkörper an sich sind u.U. wesentlich strikter und nicht spezifisch für diese Bauweise sondern, wie für jedes reguläre Erdbauwerk, im Einklang mit den Anforderungen des Bauherren (z.B. Verkehrsträger) oder einem davon abhängigen Tragwerksplaner (z.B. Brückenbauer) festzusetzen. Besonderes Augenmerk verlangen hier beispielsweise bewehrte Brückenwiderlager oder setzungsempfindliche Fahrbahnen aus Beton. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung gängiger Grenzwerte in Abhängigkeit von der Nutzung, Tab 1a, und Frontgestaltung, Tab 1b.

Tab. 1a: Grenzwerte für relative Setzungen in Abhängigkeit von der Nutzung

Art der Nutzung		Grenzwert der maximalen rel. Setzung	Referenz
Autobahn		0,020...0,034	EBGEO, [1]
Bundesstraße		0,034...0,050	EBGEO, [1]
Innerstädtische Straßen		0,050...0,140	EBGEO, [1]
Brückenwiderlager		≤ 0,005	TRB, [5]
Schienenverkehrswege	Schottergleis	≤ 0,004	Fendrich, [6]
	Feste Fahrbahn	≤ 0,00075 und $R_a \geq 0,4 \cdot v_e^2$	AKFF, [7]

Bemerkungen:

$R_a$ : Ausrundungsradius in m;  $v_e$ : Entwurfsgeschwindigkeit in km/h

Tab. 1b: Grenzwerte für relative Setzungen in Abhängigkeit von der Frontausbildung, [4]

Art der Frontausbildung		Grenzwert der maximalen		
		Ausbauchung	rel. Setzung (in Längsrichtung)	rel. Zusammendrückbarkeit
Frontpaneele	voller Bauhöhe	± 25 mm	0,005	0,00
	teilw. Bauhöhe	± 25 mm	0,005...0,010*	0,01
Betonblöcke		± 50 mm	0,005	0,00
Gabionenkörbe		± 100 mm	0,02	0,05
Stahldrahtgitter		± 100 mm	0,02	0,05
Polsterwand		± 100 mm	0,05	≥ 0,10
Polsterböschung ( $\alpha \sim 45^\circ$ )		± 200 mm	0,05	≥ 0,10

Bemerkungen:

Ausbauchung: örtliche Abweichung bezogen auf eine 4m Meßlatte, siehe [4], Bild C.13

rel. Setzung in Längsrichtung und rel. Zusammendrückbarkeit: siehe [4], Bild C.14 und C. 15

\*: bei Seitenverhältnis der Paneele ~ 1

#### **4. VORGEHENSWEISE FÜR DEN NACHWEIS DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT**

Angesichts der Komplexität soll die folgende Zusammenstellung einen Überblick über prinzipiell mögliche, pragmatische Vorgehensweisen zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit vermitteln - keinesfalls erfüllt diese den Anspruch einer allumfassenden Recherche oder Empfehlung. KBE-Konstruktionen verhalten sich jedoch naturgemäß ähnlich wie unbewehrte Erdbauwerke, siehe z.B. Alexiew, [8], insbesondere im Hinblick auf vertikale Verformungen. Insofern dienen die nachfolgenden Hinweise zur Abschätzung des horizontalen Verformungsverhaltens.

##### **4.1. Absicherung des GZ2 über die Festlegung ausreichend großer Teilsicherheitsbeiwerte im GZ1.**

Eine Vielzahl von KBE-Konstruktionen sind s.g. übersteile Böschungen. Größtenteils sind diese der Geotechnischen Kategorie GK 1 gem. DIN 1054, [2], zuzuordnen und die Verformungen der Konstruktion insofern oftmals weniger relevant. Bei Verwendung geeigneter Schüttmaterialien und entsprechender Verdichtung kann eine ausreichende Gebrauchstauglichkeit der Konstruktion aufgrund entsprechend gewählter Teilsicherheitsbeiwerte in diesen Fällen bereits durch den ordnungsgemäßen Nachweis des GZ1 vorausgesetzt werden. Ein expliziter Nachweis kann insofern entfallen.

##### **4.2. Begrenzung der Kriechdehnung von Bewehrungen bzw. Begrenzung der absoluten Dehnung**

Eine weitere Möglichkeit zum indirekten Nachweis der Gebrauchstauglichkeit besteht in der Definition von maximal zulässigen Kriechverformungen der Bewehrung. Ungeeignete Bewehrungsprodukte bzw. Rohstoffe zu deren Herstellung werden hierdurch quasi ausgeschlossen. Über die Größe der zulässigen Kriechdehnung hingegen herrscht - zumindest in Europa - keine Einigkeit, so fordert z.B. XP G 38064, [9], eine Begrenzung der Kriechdehnung auf maximal 3% für eine Belastungsdauer zwischen der 10. Stunde und 120 Jahren unabhängig von der Belastungssituation, BS 8006, [10], fordert für (nahezu vertikale) Stützwände und Brückenwiderlager eine Begrenzung auf 0,5% und für geringer belastete Bauwerke (nur veränderliche Lasten) maximal 1%. Auf jeden Fall müssen zur Beurteilung dieser Verformungen s.g. Isochronenkurven herangezogen werden. Abbildung 1 zeigt die prinzipielle Vorgehensweise zur Auswertung dieser Kurven.

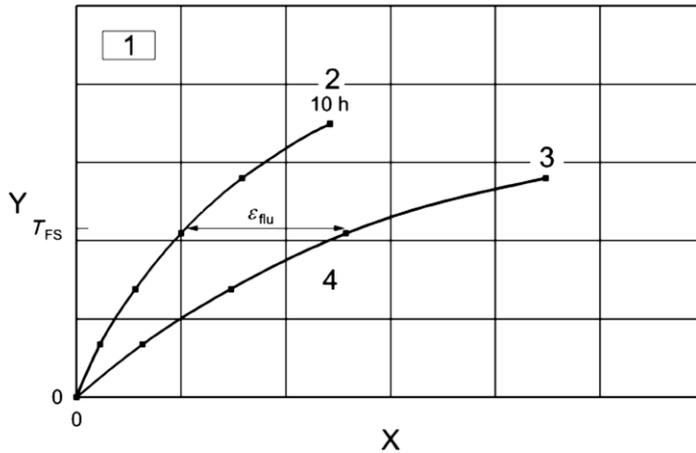


Abb. 1: Isochronenkurve, XP G38-064, [9]

mit:

2 = Verformung nach Abschluss der Verdichtung; 3 = Kriechdehnung während der Nutzungsdauer  
 4 = Gesamtdehnung am Ende der Nutzungsdauer; X = Dehnung [%]; Y Kraft [kN/m]

### 4.3. Prognose mit Hilfe von Nomogrammen oder empirischen Pauschalwerten

Für einfache Aufgabenstellungen, d.h. gute Bodenverhältnisse, Konstruktionshöhen bis ca. 7...10m und ordnungsgemäße Bauausführung, lässt sich die horizontale Verformung anhand von empirisch gewonnenen Pauschalwerten vorsichtig abschätzen. Gemäß EBGEO, [1], betragen die Horizontalbewegungen der Front einer KBE max. ca. 1% bis 2% der Wandhöhe H. Ähnliche Werte werden auch in FHWA, [11], angegeben, wenn übliche Werte für das Verhältnis Bewehrungslänge zu Konstruktionshöhe  $L/H \sim 0,7$  eingehalten werden – Geokunststoffbewehrung ist hierbei nicht weiter spezifiziert und somit unabhängig vom Rohstoff als „extensible“ zu klassifizieren, siehe Abbildung 2.

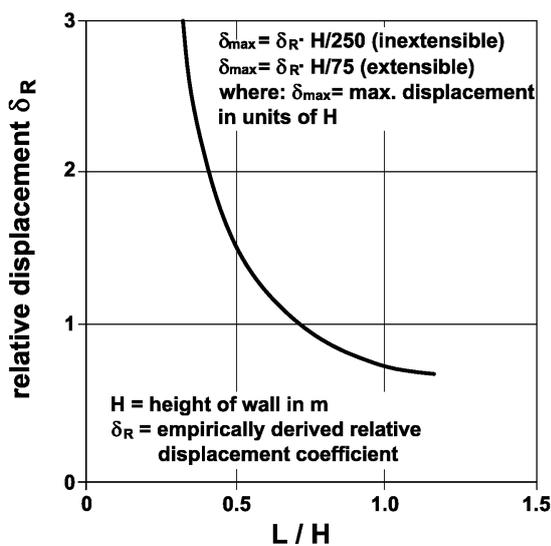


Abb. 2: Horizontale Verformung einer KBE, FHWA, [11]

BS 8006, [10], gibt für Stützwände und Brückenwiderlager folgende Orientierungswerte für die Verformung der Außenhaut an:

Tab. 2: Orientierungswerte für erreichbare max. Verformungen der Außenhaut, BS 8006, [10]

Abweichung von der geplanten	Neigung	5 mm / 1000 mm
	Lage im Grundriss	± 50 mm
Ausbauchung (vertikal und horizontal)		25 mm / 4000 mm

#### **4.4. Bemessungsverfahren auf Grundlage der Geogitterdehnsteifigkeit, z.B. Ehrlich- bzw. analytischer Ansatz zur Bestimmung der tatsächlichen Dehnungen**

Analytische Bemessungsverfahren auf Basis der Bewehrungsdehnsteifigkeit wurden z.B. von Ehrlich, [12], vorgestellt. Diese haben sich aber in der Praxis bis jetzt nicht durchgesetzt. Generell ist bei dieser Betrachtung die Kenntnis der Spannungs- und Dehnungsverteilung innerhalb des Erdkörpers erforderlich, um eine zutreffende Aussage über die Gesamtdeformationen zu treffen. Da aber eben dies nicht ohne weiteres möglich ist, schlägt EBGEO, [1], vor, im Zweifelsfall die (eine) maximale Dehnungsgröße konstant über die gesamte Bewehrungslänge anzusetzen. Dies ergibt aber schon für kleine Dehnungen und kurze Bewehrungen verhältnismäßig große (unrealistische) Verschiebungen an der Außenhaut, insbesondere bei größeren Bewehrungslängen und Wandhöhen ist dieser Ansatz deshalb wenig zielführend.

#### **4.5. Verwendung von FEM-Programmen**

Prinzipiell sollte die FEM die beste Lösung für oben genannte Aufgabenstellung sein. FEM-Berechnungen sind aber immer nur so gut wie das dabei zu Grunde gelegte Stoffgesetz, welches aber wiederum das Verständnis des Interaktionsmechanismen voraussetzt. Verschiedene Vergleichsberechnungen mit gängiger Software, z.B. Plaxis, haben gezeigt, dass auch an dieser Stelle noch Entwicklungsbedarf besteht, siehe z.B. Alexiew und Detert, [13].

#### **4.6. Auswertung von Referenzprojekten und messtechnische Begleitung**

Wenngleich die Auswertung und Beurteilung von geotechnischen Messungen gelegentlich mehr Fragen aufwirft als beantwortet, kann das Systemverhalten einer KBE-Konstruktion auf diese Weise auch ohne Kenntnis aller Details des komplexen Interaktionsverhaltens von Bewehrung und Boden beurteilt werden. Ergebnisse von langjährigen Messungen sind hier von besonderem Wert. Ob es prinzipiell Sinn macht und die Qualität solcher Messungen sogar ausreicht, um daraus quasi empirisch begründete Bemessungsverfahren abzuleiten und vermeintlichem „Konservatismus“ somit zu begegnen, sei jedoch kritisch hinterfragt, siehe hierzu auch Leshinsky, [14]. Generell gilt daher, dass sicher weniger die absoluten als die relativen Verformungsgrößen zur Beurteilung herangezogen werden sollten. Eine

detaillierte Auflistung relevanter Referenzen wäre im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht möglich, deshalb sei für eine genauere Studie hierbei lediglich auf die im Quellenverzeichnis genannten Veröffentlichungen zu einschlägigen Bauprojekten verwiesen.

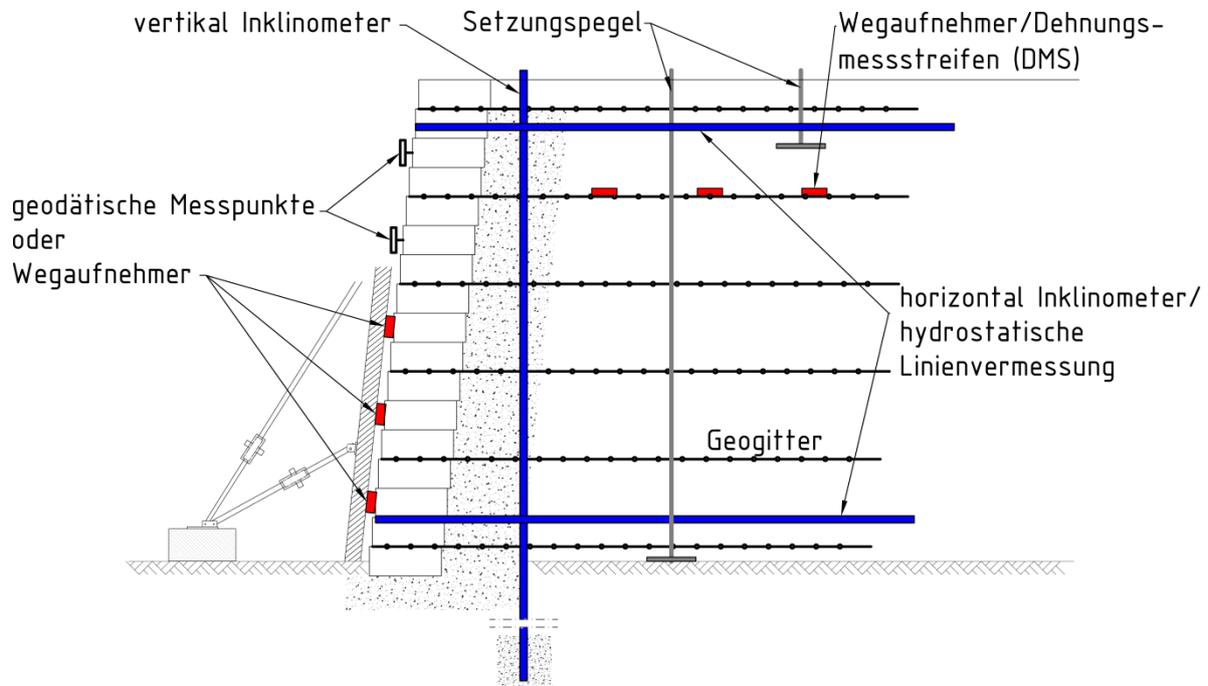


Abb. 3: Mögliche Anordnung von Messgebern für die geotechnische Vermessung einer KBE-Konstruktion

Geeignete Verfahren zur Erfassung der Bauwerksverformungen als solche sind im Wesentlichen bekannt, siehe z.B. Abbildung 3. Problematisch bzw. nicht umfänglich zufriedenstellend ist jedoch immer noch die Erfassung der Verformungen innerhalb einer KBE-Konstruktion. Bisher erfolgt die Erfassung im Erdkörper über Wegaufnehmer oder Dehnungsmessstreifen (DMS), welche im Allgemeinen mechanisch befestigt (Wegaufnehmer) oder mit Hilfe von Spezialklebstoffen (DMS) auf dem Geogitter appliziert werden. Abgesehen von grundsätzlichen Genauigkeitsbetrachtungen und etwaigen Systemeinflüssen aus der Befestigung und Geometrie der Sensoren erhält man hiermit Informationen nur an diskreten Messpunkten. Um eine lückenlose Überwachung zu ermöglichen wurde in einem, durch das BMWi geförderten Forschungsprojekt mit dem Aktenzeichen 38/08 im Rahmen vom MNPQ unter Mitarbeit der BAM, ein neuartiges Sensorsystem weiterentwickelt. Dabei wurde eine optische Polymerfaser in ein Geogitter integriert, die mithilfe eines optischen Reflektometers (OTDR) ausgelesen werden kann und Verformungen kontinuierlich aufgelöst und lückenlos entlang einer Messlinie sichtbar machen kann. Mit diesem System können Verschiebungen nunmehr kontinuierlich aufgelöst entlang einer Messlinie erfasst werden.

Erste Funktionsnachweise, sowohl im Labor als auch im Rahmen von Feldversuchen, haben gezeigt, dass das neue Sensorsystem Einblicke in das Verbundverhalten von geokunststoffbewehrten Erdkörpern ermöglichen kann, die in dieser Form bisher noch nicht zur Verfügung stehen. Das Sensorsystem eignet sich dabei weniger als quantitativ präzises Messverfahren, vielmehr ist es aber geeignet, den örtlichen Verlauf der Belastung anzuzeigen und die Größenordnung der Deformation abzuschätzen. Abbildung 4 zeigt den schematischen Versuchsaufbau und die Auswertung eines Herausziehversuches mit dem neuen Sensorsystem. Weitere Informationen zu diesem neuen System werden im Rahmen mehrerer Veröffentlichungen in naher Zukunft vorgestellt.

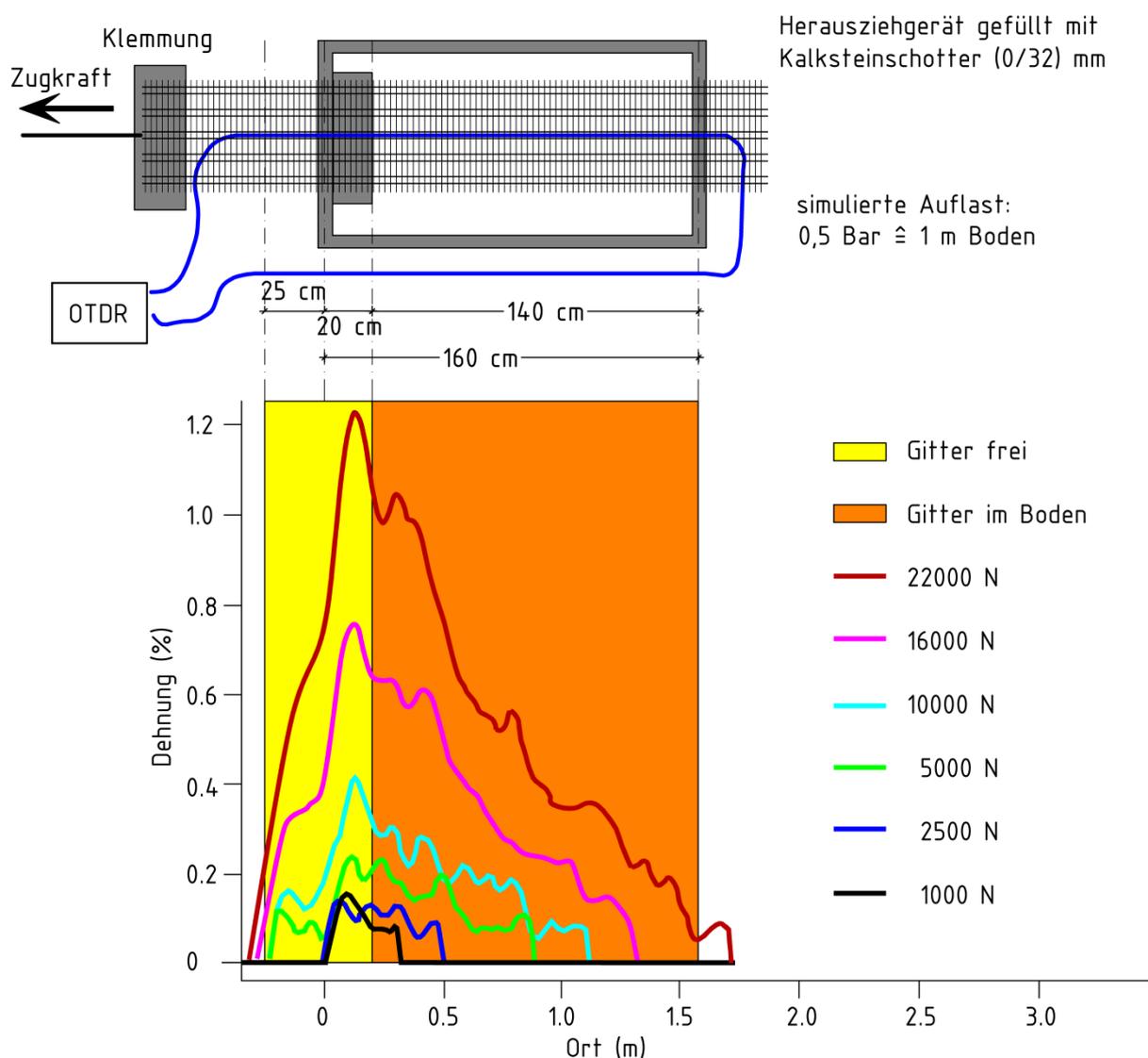


Abb. 4: Versuchsanordnung und Auswertung eines Herausziehversuches mit dem neuartigen Sensorsystem

## 5. LITERATUR

- [1] EBGEO. (2010): Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hrsg.), 2010, Verlag Ernst & Sohn
- [2] DIN 1054:2010-12: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Beuth Verlag
- [3] DIN 4084: 2009-01: Baugrund – Geländebruchberechnungen, Beuth Verlag
- [4] DIN 14475:2006-04: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Bewehrte Schüttkörper; Deut. Fassg. EN 14475:2006, Beuth Verlag
- [5] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (2006): Design and Construction Guidelines for Geosynthetic-Reinforced Soil Bridge Abutments with a Flexible Facing. NCHRP REPORT 556, Washington D.C., 2006
- [6] Fendrich, L. (2006): Handbuch Eisenbahninfrastruktur. Band 10, Springer Verlag, 2006
- [7] Deutsche Bahn AG (1995): Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn AKFF, 3. überarbeitete Auflage 1995.
- [8] Alexiew, D. (2007): Belastungsversuche eines geogitterbewehrten Brückenwiderlagers; geotechnik, Jg.: 29, Nr.2, 2007, Seite 87-94
- [9] XP G38-064:2010-08-01: Anwendung von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten - Schräge Mauern und versteifte Böschungen aus mittels Geokunststoffbahnen verstärkten Böden - Nachweis der Dimensionierung und Auslegungselemente, afnor
- [10] BS 8006-1:2010-10-31: Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills, BSI
- [11] FHWA-NHI-00-043: 2000: Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration
- [12] Ehrlich, M. and Mitchell, J.K. (1994): Working Stress Design Method For Reinforced Soil Walls, Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, Vol. 120, No. 4, pp. 625-647, 1994
- [13] Alexiew, D., Detert, O.: Analytical and numerical analyses of a real scaled geogrid reinforced bridge abutment loading test, EuroGeo 4, 7-10 Sept. 2008, Edingburgh
- [14] Leshchinsky D. (2009): On Global Equilibrium in Design of Geosynthetic Reinforced Walls, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 135, No. 3, pp. 309-315, 2009, ASCE

### 5.1. Literatur mit Berichten zu Projekten mit messtechnischer Begleitung:

- [15] Herold, A. (2001): Das erste Straßenbrückenwiderlager in Deutschland als Permanentkonstruktion in der Bauweise kunststoffbewehrte Erde, 7. Informations und Vortragstagung über Kunststoffe in der Geotechnik, 2001, München, Sonderheft der Zeitschrift Geotechnik der DGGT
- [16] Rahier, A. et al. (2009): Geogitter bewehrte Steilböschungen im Einflussbereich von Eisenbahnlasten, 11. Informations- und Vortragstagung über Kunststoffe in der Geotechnik, 2009, München, Sonderheft der Zeitschrift Geotechnik der DGGT
- [17] Herold, A. und Hangen, H. (2009): Kunststoffbewehrte Erde (KBE) an der Südbrücke in Riga, Lettland, Geotechnik, Zeitschrift Geotechnik Jg.: 32, Nr.3, 2009, Seiten 140-147, ISSN: 0172-6145
- [18] Herold, A. (2008): Brückenwiderlager aus KBE - Hinweise für Entwurf und Ausführung, Tagungsband des 6. Kolloquiums Bauen in Boden und Fels, 2008, Technische Akademie Esslingen -TAE-, Ostfildern
- [19] Linthof T., Brok, C., v. Duijnen, P., (2012): 12 m tall reinforced soil ecoduct abutment, to be published on 5th European Geosynthetics Congress, 2012 Valencia
- [20] Leshchinsky, D., Imamoglu, B., Meehan, C. (2010): Exhumed Geogrid-Reinforced Retaining Wall, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 136, No. 10, pp. 1311-1323, 2010, ASCE