



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN Institut für Massivbau www.dbbs.tu-dresden.de



26. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

**PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG
UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN**

14./15. MÄRZ 2016



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>

Tagungsband

26. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau

Freunde des Bauingenieurwesens e.V.

14. und 15. März 2016

© 2016 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen.

Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer, Angela Heller

Layout: Ulrich van Stipriaan

Anzeigen: Harald Michler

Titelbild: Fußgängerbrücke Schierstein. Foto: Cengiz Dicleli

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-467-7

Inhalt

| | |
|---|------------|
| Herzlich willkommen zum 26. Dresdner Brückenbausymposium | 13 |
| <i>Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen</i> | |
| Außer Konkurrenz | 15 |
| <i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i> | |
| Realisierungswettbewerb zum Ersatzneubau der Eisenbahnüberführungen über die Oder und die Odervorflut bei Küstrin-Kietz | 23 |
| <i>Auszug aus der Broschüre der DB Netz AG 2016, Redaktion: Dipl.-Ing. Hartmut Schreiter</i> | |
| Zur Gestaltung von Brücken der Bundesfernstraßen – Die Suche nach der besten Lösung ... | 37 |
| <i>Dr.-Ing. Gero Marzahn, Dr.-Ing. Heinz-Hubert Benning</i> | |
| Search for the true structural solution | 47 |
| <i>Prof. Jiri Strasky, DSc.</i> | |
| Der Ersatzneubau der Lahntalbrücke Limburg | 67 |
| <i>Dipl.-Ing. Annett Nusch, Dr.-Ing. Stefan Franz</i> | |
| Wirtschaftliche Selbstkletterschalung für Europas aktuell größtes Brückenbauprojekt „Hochmoselbrücke | 85 |
| <i>Dipl.-Ing. Sebastian Riegel</i> | |
| Verstärkung von Brücken mit externer Vorspannung – Einsatzbereiche und Randbedingungen | 103 |
| <i>Dipl.-Ing. Michael Buschlinger, Dipl.-Ing., MBA Annette Jarosch</i> | |
| Ulrich Finsterwalder (1897–1988) – Doyen des Brückenbaus | 119 |
| <i>Prof. Cengiz Dicleli</i> | |
| Gestaltungskonzept für die Brückenbauwerke im Zuge der BAB A 3 zwischen AK Biebelried und AK Fürth/Erlangen | 153 |
| <i>LBD Dipl.-Ing. Bernd Endres, Dipl.-Ing. Rolf Jung</i> | |
| Reparatur der Autobahnbrücke über die Süderelbbrücke nach schwerem Schiffsanprall – Nachrechnung, Planung, Ausführung, Analyse | 165 |
| <i>Dipl.-Ing. Dirk Seipelt, Dipl.-Ing. Stefan Eschweiler, Dipl.-Ing. Thomas Neysters, Brinja Coors M.Sc., Dipl.-Ing. Martin Grassl</i> | |
| Langzeitverhalten von geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen – zukünftig eine Standardbauweise auch für Brückenwiderlager? | 177 |
| <i>Dipl.-Ing. Hartmut Hangen, M.Sc. July Ellen Jaramillo Castro</i> | |
| Die Herausforderungen und Möglichkeiten einer umfassenden Grundlagenanalyse am Beispiel des Hovenringes in Eindhoven (NL) | 193 |
| <i>Dipl.-Ing. Adriaan Kok, Dipl.-Des. Marion Kresken</i> | |
| Die Butterfly-Bridge in Kopenhagen | 211 |
| <i>Dr.-Ing. Karl Morgen, Dipl.-Ing. Jan Lüdders</i> | |
| Militärischer Einfluss auf Konstruktion und Architektur von Eisenbahnbrücken im Deutschen Reich | 221 |
| <i>Volker Mende M.A.</i> | |

| | |
|---|------------|
| Verstärken mit Carbonbeton im Brückenbau | 235 |
| <i>Dr.-Ing. Harald Michler</i> | |
| Zur Anwendung von Szenario-Spektren beim seismischen Nachweis von Brücken | 249 |
| <i>Dr.-Ing. habil. Dirk Proske</i> | |
| Brücken bauen mit Eisenbeton – Gedanken zum denkmalgerechten Umgang | 263 |
| <i>Dipl.-Ing. Oliver Steinbock</i> | |
| Brückenbauexkursion 2015 – Infrastrukturprojekte in Tschechien, Österreich und Deutschland | 273 |
| <i>Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm, Dipl.-Ing. Robert Zobel</i> | |
| Chronik des Brückenbaus | 283 |
| <i>Zusammenstellung: Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i> | |
| Inserentenverzeichnis | 311 |

Im gedruckten Tagungsband stand hier eine Anzeige. Sie wurde für die Online-Fassung entfernt.

Langzeitverhalten von geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen – zukünftig eine Standardbauweise auch für Brückenwiderlager?

Dipl.-Ing. Hartmut Hangen, M.Sc. July Ellen Jaramillo Castro
HUESKER Synthetic GmbH, Gescher

1 Einleitung

Zustandsberichte von Kommunen, Ländern und Bund zeigen, dass große Anstrengungen erforderlich sind, um Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Brückenbauwerken auch zukünftig sicherzustellen. Innovative Baustoffe und Bauweisen werden unverzichtbar sein, um diese Aufgabe zu bewältigen.

Die Ausführung geokunststoffbewehrter Stützkonstruktionen (KBE) für den Bau von Brückenwiderlagern stellt in diesem Zusammenhang eine vielversprechende Möglichkeit dar. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass das Langzeitverhalten solcher Konstruktionen den hohen Anforderungen im Brückenbau genügt. Der vorliegende Beitrag zeigt auf, welche Faktoren die Dauerhaftigkeit von KBE-Konstruktionen beeinflussen und inwieweit diese nach derzeitigem Ermessen eine Anwendung von KBE-Systemen auch für den Bau von Brückenwiderlagern zulassen.

2 Geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen

Die Verwendung geosynthetischer Bewehrungsprodukte zur Lösung geotechnischer Aufgabenstellungen ist aufgrund ökologischer und ökonomischer Vorteile gegenüber klassischen Bauweisen seit langem üblich. Geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen, im Folgenden auch KBE-Konstruktionen genannt, nehmen hierbei eine besondere Stellung ein und stellen einen der ältesten und häufigsten Anwendungsbereiche dar.

KBE-Konstruktionen zeichnen sich im Vergleich zu konventionellen Bauweisen im Wesentlichen durch folgende Vorteile aus:

1. duktileres Tragverhalten ermöglicht reduzierte Anforderungen an Baugrund und Hinterfüllmaterialien,

2. schnelle und daher kostengünstige Herstellung oder Entsorgung (bei temporären Konstruktionen) mit konventionellem Erdbaugerät,
3. geringes globales Erwärmungspotenzial (GWP),
4. vielfältige architektonische Gestaltungsmöglichkeiten.

Ursprung dieser Bauweise ist die in den 1960er-Jahren durch den Franzosen Herni Vidal [1] eingeführte sogenannte bewehrte Erde. Bereits in den 1980er-Jahren wurden die hierbei eingesetzten Stahlbänder jedoch zunehmend durch vollflächige geosynthetische Bewehrungsprodukte ersetzt. Bild 1 zeigt am Beispiel eines Regelquerschnittes eines geokunststoffbewehrten Brückenwiderlagers das Prinzip einer KBE-Konstruktion mit den Hauptbestandteilen Zugbewehrung, Facingelement, Erdstoff (bewehrter Erdkörper und Hinterfüllboden) sowie Belastungseinrichtung (z. B. Widerlagerbalken).

Neben den aktuellen Regelwerken, nach denen KBE-Konstruktionen bemessen werden – in Deutschland sind dies zusätzlich zu den Dach-

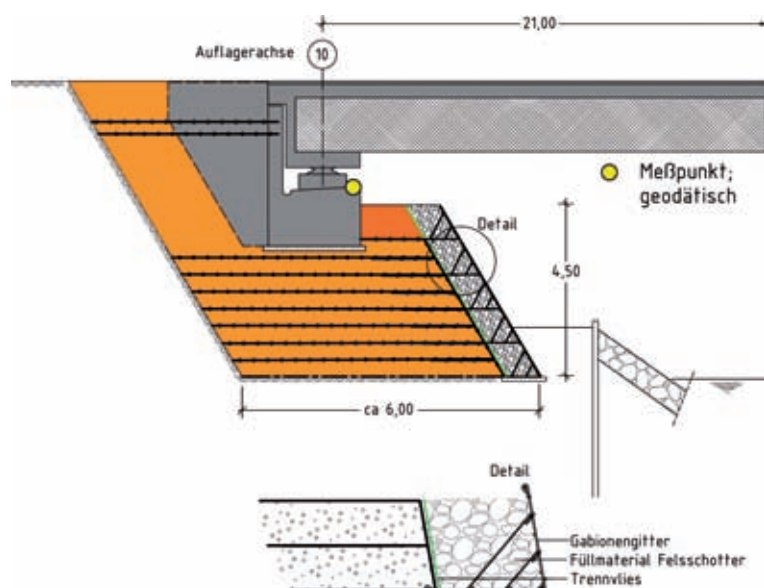


Bild 1: Regelquerschnitt des bewehrten Brückenwiderlagers bei Ilsenburg [2] mit Kennzeichnung der Hauptelemente einer KBE-Konstruktion

normen EC 7 [3], DIN 1054 [4] die DIN 4084 [5] und EBGeo 2010 [6] – gibt es weltweit mittlerweile eine überaus große Anzahl an wissenschaftlichen Arbeiten und Fachaufsätzen zu nahezu allen relevanten Fragestellungen im Zusammenhang mit KBE-Konstruktionen. So findet man einen Überblick über die ersten Anfänge der Verwendung von Geokunststoffen als Bodenbewehrung für Stützkonstruktionen z. B. in Allen et al. [7] oder eine systematische Erhebung und Auswertung des Bauwerksverhaltens repräsentativer KBE-Konstruktionen z. B. bei Crouse und Wu [8]. Bathurst [9] hingegen vermittelt einen Überblick zum derzeitigen Stand der Technik und aktuellen Entwicklungen von Bemessungskonzepten und Modellierungen; ein Review ausgewählter Beiträge der jüngsten Internationalen Geosynthetic-Konferenz (10th ICG) in Berlin zu diesem Thema findet sich auch in Hangen [10].

3 Geokunststoffbewehrte Brückenwiderlager

Ein Vielzahl von Untersuchungen und Referenzprojekten haben gezeigt, dass KBE-Konstruktionen auch extrem hohe Einwirkungen abtragen können, ohne zu versagen oder übermäßig große Verformungen zu zeigen. Sehr eindrucksvoll konnte dies z. B. im Rahmen von realmaßstäblichen Belastungsversuchen an der Landesgewerbeanstalt (LGA) Nürnberg [11], [12] oder auch [13] demonstriert werden. Die Bilder 2 und 3 zeigen die Versuchsanordnung und die horizontalen und vertikalen Verformungen des untersuchten 4,5 m hohen KBE-Körpers für vertikale Belastung mit einem 1,0 m breiten und 3,0 m langen Betonbalken. Die horizontale Verformung des in zwei Stufen gefahrenen Versuches betrug für realistische Spannungen unter einem Brückenwiderlagerbalken von 200 bis 250 kN/m² selbst bei Erstbelastung an der höchsten Stelle nur etwa 4 mm. Die Gesamtsetzung betrug bei der gleichen Belastung ca. 6 mm. Erst ab einer Auflastspannung von 500 kN/m², welche bei der zweiten Belastung aufgebracht wurde, zeigte die Konstruktion Anzeichen eines bevorstehenden Versagens. Dieses konnte aber auch unter der maximal aufbringbaren Belastung von 650 kN/m² nicht erreicht werden.

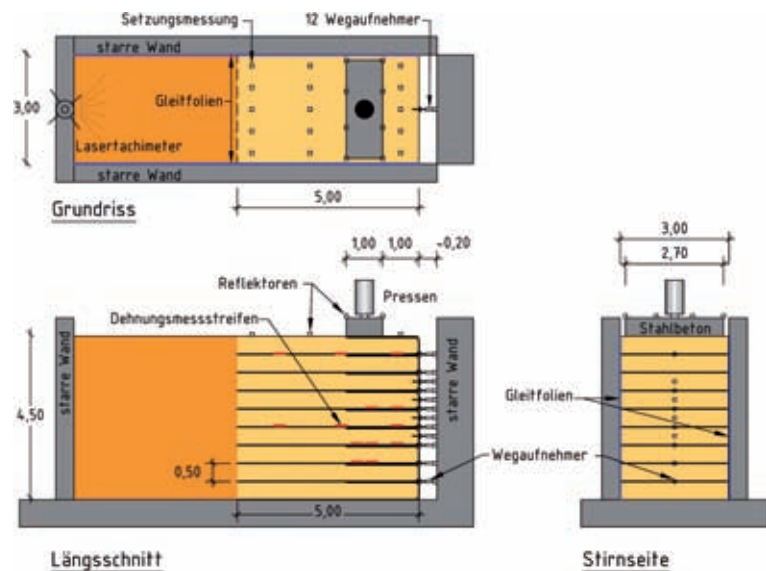


Bild 2: Großversuch zur Untersuchung der Tragfähigkeit einer KBE an der LGA Nürnberg ([11], [12]), Abmessungen und Anordnung der Messeinrichtungen

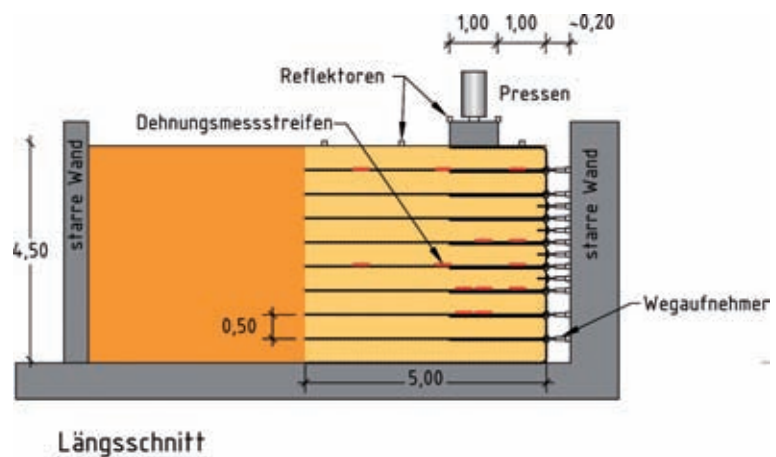


Bild 3: Ergebnisse eines Großversuches an der LGA Nürnberg ([11], [12]), gemittelte Setzung des Auflagerbalkens und horizontale Verschiebungen während der ersten Belastungsstufe $0 < \sigma < 400 \text{ kN/m}^2$

In anderen Quellen wird die maximale Tragfähigkeit sogar mit bis zu 1.200 kN/m² angegeben [13].

Auch angesichts des derzeit allorts diskutierten großen Sanierungs- und Neubaubedarfs im Brückenbau liegt es daher nahe, KBE-Konstruktionen auch für die Errichtung von hoch belasteten Brückenwiderlagern vorzusehen. Eine Reihe von Referenzbauwerken zeigt, dass dies grundsätzlich in der Praxis umsetzbar ist und welche unterschiedlichen Optionen dabei bestehen. In Deutschland wurde diese Bauweise aber bisher nur selten eingesetzt.

In Bild 4 sind verschiedene Möglichkeiten für die Anwendung von KBE schematisch dargestellt, wobei die Umsetzung eines dauerhaften Lastab-

trags, Bild 4 c), die größten ökonomischen Vorteile gegenüber einer klassischen Bauweise bietet. Einen ausführlichen Überblick zu Einsatzmöglichkeiten der KBE für den Bau von Brückenwiderlagern vermitteln auch [14] und [15].

4 Langzeitverhalten von KBE-Konstruktionen

4.1 Derzeitiger Sachstand

Um die Eignung der KBE-Bauweise auch für Brückenbauwerke mit möglichst großen Nutzungsdauern beurteilen zu können, ist das Langzeitverhalten dieser Konstruktionen unter realen Beanspruchungsbedingungen zu analysieren. Im Sinne einer systematischen Beurteilung des Langzeitverhaltens, wie sie die Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076, RI-EBW-PRÜF [16], vorsieht, gibt es für KBE-Konstruktionen im Einsatzbereich von Brückenwiderlagern in Deutschland derzeit nur wenige allgemein zugängliche Informationen.

Neben einer Vielzahl von Einzelfallstudien und mit Erhebungen zum Verhalten von KBE-Konstruktionen generell, insbesondere die GRI-Studie von Schadensfällen an KBE-Konstruktionen und Vorschlägen für deren Vermeidung, Koerner und Koerner [17], liegen dennoch umfangreiche und aussagekräftige Daten vor, um typische Mängel auszumachen und zu beschreiben. Weiterhin stellt z. B. Herold [18] speziell für die Anwendung im Brückenbau Ergebnisse von Verformungsmessungen vor und zeigt auf, welche Ursachen zu erhöhten Verformungen führen können.

International gibt es darüber hinaus in den USA bereits seit 2006 eine Richtlinie zur Bemessung und Ausführung von geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen für Brückenwiderlager [19] und seit 2011 die Dokumentation zu geokunststoffbewehrten integralen Brückenkonstruktionen [20] mit einschlägigen Informationen zur Dauerhaftigkeit von Referenzbauwerken.

In den Abschn. 5–7 werden Erkenntnisse aus diesen und weiteren ausgewählten Quellen zusammengeführt und dargestellt.

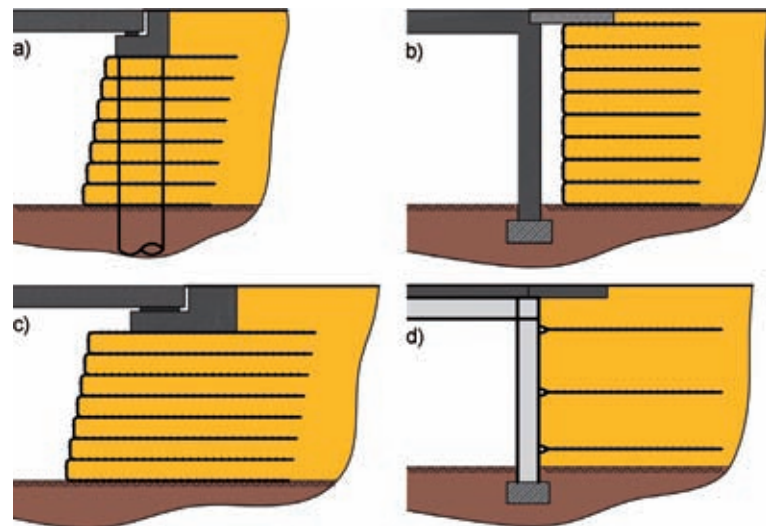


Bild 4: Möglichkeiten für den Einsatz von KBE beim Bau von Brückenwiderlagern; a) KBE für Flügelwände und Front, b) KBE als Erddruckfänger, z. B. für integrale Brücken, c) KBE auch für Abtrag der Brückenlasten, d) KBE als Verankerung von Spund- oder Verbauwänden

(Grafik: Marita Döring, HUESKER)

4.2 Kriterien zur Beurteilung des Langzeitverhaltens und Beispiele typischer Mängel

Neben den in [16] festgeschriebenen Kriterien zur Beurteilung der Beeinträchtigungen eines Ingenieurbauwerks hinsichtlich seiner Standsicherheit (S), der Verkehrssicherheit (V) und der Dauerhaftigkeit (D) wurden die folgenden Beispiele teilweise auch nach der zuvor genannten GRI-Studie [17] analysiert. Die GRI-Studie umfasste 171 mangelhafte Bauwerke, welche nach folgenden Merkmalen sortiert wurden:

- Bauherr (privat oder öffentlich),
- Art der Frontausbildung (starr oder flexibel),
- Höhe der Konstruktion,
- Art des Geokunststoffes,
- Dauer der Nutzung bis zum Schaden,
- Qualität des Füllbodens (bindig oder rollig),
- Erzielte Verdichtung,
- Qualität der Planung (schadensrelevant oder ordnungsgemäß),
- Schadensbild (Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit (SLS) oder der Tragfähigkeit (ULS)),
- Entwässerung.

5. Beeinträchtigung der Standsicherheit

Die RI-EBW-PRÜF [16] definiert mangelnde Standsicherheit als einen Zustand, bei dem Baustoffqualität oder Bauteilabmessungen oder die Beanspruchungen aus der planmäßigen Nutzung nicht (mehr) den Annahmen der Bemessung entsprechen.

Im Falle einer KBE-Konstruktion würde somit ein Mangel bestehen, wenn der verfügbare Bemessungswiderstand einer Geokunststoffbewehrung den Anforderungen nicht mehr genügt. Getrieben von akademischem, aber auch wirtschaftlichem Interesse, die Leistungsfähigkeit der angebotenen Materialien zu dokumentieren und einem häufig zu beobachtenden Unbehagen gegenüber dem Einsatz von tragenden Kunststoffbauteilen auf Seiten der Anwender zu begegnen, befasste sich ein Großteil der wissenschaftlichen Arbeiten mit der Erforschung und Abbildung des Langzeitverhaltens von Geokunststoffbewehrungen. Ergebnis dieser Bemühungen ist ein umfangreiches europäisches Normen- und Regelwerk, nach dem die Ermittlung des Bemessungswiderstandes einer Bewehrung als Produkt aller individuell ermittelten möglichen Abminderungen erfolgt.

Im Regelfall beträgt der zulässige Bemessungswiderstand nach Berücksichtigung aller Abminderungsfaktoren und Teilsicherheitsbeiwerte für eine Belastungsdauer von ca. 120 Jahren selten mehr als 50 % der charakteristischen Kurzzeitfestigkeit. Ergebnisse von Ausgrabungen und Messungen des Auslastungsgrades im Feld zeigen aber deutlich, dass diese differenzierte Betrachtung einen konservativen Ansatz darstellt, siehe z. B. Alexiew/Risseeuw [21] und Schröer et al. [22]. Die Ergebnisse der GRI-Studie [17] belegen ferner eindrucksvoll, dass der größte Teil der erfassten Schadensfälle (ca. 75 %) zwar den Grenz-zustand der Tragfähigkeit betrifft, aber keines der Bauwerke versagte, weil die Qualität bzw. die Zugfestigkeit der verwendeten Bewehrungsprodukte nicht ausreichend gewesen wäre. Vielmehr war das Versagen der Konstruktion in nahezu allen Fällen auf mangelnde bzw. unterlassene ingenieurtechnische Planung und Bauüberwachung (98 %) zurückzuführen. Diese erschreckende Zahl lässt sich besser verstehen, wenn man weiß, dass diese Schadensfälle fast ausnahmslos Objekte privater Bauherren waren (96 %), die offensichtlich schmerzhaft lernen mussten, dass der Aufwand für Baugrunderkundung, Fachplanung und Bauüberwachung am Ende einen Bruchteil der Sanierungskosten ausgemacht hätte. In Bauprojekten der öffentlichen Hand sind derartige Szenarien, zumindest in Deutschland, aber kaum vorstellbar.

Als Versagensursachen konnten im Wesentlichen folgende Gründe ausgemacht werden:

- ❑ Entwässerung: in 60 % der Schadensfälle wurde mangelhafte oder völlig fehlende Entwässerung festgestellt.
- ❑ Qualität der Erdstoffe: bei 61 % der Schadensfälle wurde mit feinkörnigen, bindigen Böden gebaut.
- ❑ Qualität der Verdichtung: in 72 % wurde beobachtet, dass die Verdichtung des bewehrten Erdkörpers nicht zufriedenstellend war.

Gerade im Hinblick auf den Bau von Brückenwiderlagern erscheinen diese Zahlen zunächst überwältigend, dennoch stehen sie im krassen Widerspruch zu den guten Erfahrungen bei sachgemäßer Planung und Umsetzung, welche man unter regulären Verhältnissen im Erd- und Brückenbau in Deutschland immer erwarten darf. Sowohl die Erfahrungsberichte aus den USA, welche sich konkret auf Brückenwiderlager konzentrieren, [19] und [20], als auch die Erfahrungen in Deutschland [2] berichten in keinem Fall von einer Beeinflussung der Standsicherheit.

Der Vollständigkeit halber seien auch die Ergebnisse der Erhebungen für die restlichen Kriterien genannt:

- ❑ Frontausbildung: in 71 % der Schadensfälle waren die Konstruktionen mit einem starren Facingsystem ausgeführt (diese haben in den USA den größten Marktanteil).
- ❑ Höhe der Konstruktion: in 65 % der Schadensfälle betrug die Höhe der Konstruktionen zwischen 4 m und 12 m (was auch für Brückenwiderlager repräsentativ ist).
- ❑ Dauer der Nutzung bis zum Schaden: im Regelfall (86 %) traten Bauwerksschäden innerhalb eines Zeitraumes von weniger als vier Jahren (also innerhalb der üblichen Gewährleistungsfristen) ein.

Bedauerlicherweise wird in der GSI-Studie keine Abschätzung vorgenommen, anhand derer das Verhältnis aus mangelhaften und mangel-freien Konstruktionen gebildet werden könnte. Nach Zahlen der Federal Highway Administration (FHWA) [23] der USA von 2001 wurde das gesamte Marktvolumen für geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen in den USA auf deutlich über 1 Mio. m² Ansichtsfläche jährlich geschätzt. Der größte Anteil entfiel dabei auf Konstruktionen mit Betonfacing (700.000 m² Betonplatten,

Im gedruckten Tagungsband stand hier eine Anzeige. Sie wurde für die Online-Fassung entfernt.

Im gedruckten Tagungsband stand hier eine Anzeige. Sie wurde für die Online-Fassung entfernt.

200.000 m² Blockwände), der Anteil übersteiler Böschungen (mit begrünter Außenhaut) betrug rund 130.000 m² pro Jahr. Die Anzahl der Projekte im Bereich des Verkehrswegebbaus betrug somit jährlich sicher weitaus mehr als 200.

Die 117 dokumentierten Schadensfälle betreffen ausschließlich private Bauherren mit sehr wahrscheinlich deutlich kleineren Projektgrößen und erstrecken sich über einen Zeitraum von ca. 25 Jahren. Sie stellen insofern einen unerfreulichen und Anlass zur Handlung gebenden, aber – selbst bei Annahme einer erheblichen Dunkelziffer unbekannter Projekte – verhältnismäßig kleinen Anteil an der Gesamtheit aller KBE-Konstruktionen dar.

6 Gebrauchstauglichkeit

In Abhängigkeit von der gewählten Funktion einer KBE-Konstruktion (siehe auch Bild 4) und unter der Voraussetzung einer ordnungsgemäßen Planung spielt die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit offensichtlich eine größere Rolle als der Bemessungswiderstand der Geokunststoffbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit. In diesem Abschnitt wird daher insbesondere auf das Verformungsverhalten eingegangen.

6.1 Vertikale Verformungen

Bild 5 zeigt, welche Verformungen bei einer KBE-Konstruktion grundsätzlich auftreten können. Die Besonderheit des Einsatzes von KBE als Brückenwiderlager ist dabei, dass Verformungen der KBE nicht nur für die Konstruktion selber, sondern vielmehr für das gesamte Brückentragwerk von Bedeutung sind. Verformungen der KBE können somit indirekt auch eine Beeinträchtigung der Standsicherheit darstellen.

Für Konstruktionen, bei denen die Lasten des Brückendecks unmittelbar über die KBE eingeleitet werden, liegt der Fokus einer Verformungsbetrachtung daher auf der Summe der vertikalen Verformungen v_o , welche die Verformungsanteile aus Eigensetzung und Scherverformung der Stützkonstruktion sowie die Setzungen des Untergrundes umfasst. Einer der wesentlichen Vorteile von KBE-Konstruktionen ist in dieser Hinsicht, dass sich Widerlager und Anrampung nahezu gleichmäßig verformen. Höhenversätze zwischen Anrampung und Brückenkonstruktion, welche den

Zustand von Lagern, Entwässerung und auch die Verkehrssicherheit maßgeblich beeinträchtigen können, werden somit vermieden, selbst wenn sich die gesamte Konstruktion unter Umständen stärker verformt, als dies bei einer klassischen Tiefgründung z. B. mit Bohrpfählen zu erwarten wäre.

Bild 6 zeigt exemplarisch Ergebnisse von Verformungsmessungen an ausgewählten Punkten der Widerlagerbalken einer Brücke der K 1355 bei Ilsenburg, dem ersten in Deutschland als Permanentkonstruktion errichteten geokunststoffbewehrten Brückenwiderlager. Deutlich wird hierbei einerseits, dass die absoluten Gesamtsetzungen 15 Jahre nach Errichtung einen Wert von ca. 25 mm nicht überschreiten, andererseits zeigt sich, dass sich beide Widerlagerseiten unterschiedlich setzen. So ergibt sich in der Widerlagerachse 10 eine gemittelte Gesamtsetzung von 15 mm, wohingegen die Setzung in der gegenüberliegenden Achse 20 nur ca. 8 mm beträgt. Nicht genauer aufgelöst ist die Verformung, welche in der Bauphase eintrat – in Achse 10 beträgt diese im Mittel etwa 5 mm, in Achse 20 etwa 2,5 mm. Ferner zeigt sich, dass sich das Widerlager in Achse 10 bereits in der Bauphase verdreht, das gegenüberliegende Lager verformt sich hingegen gleichmäßig. In Relation zur Stützweite der Brücke mit einer lichten Weite von etwa 21 m und einer Breite der Widerlagerbalken von 9,5 m ergeben sich somit Verdrehungen, für die die Brückenkonstruktion, hier ein Fertigteilträger aus Spannbeton, und die Lager auszulegen waren. Insgesamt liegen die gemessenen Verformungen unterhalb der Erwartungswerte und stellen somit keinen Mangel dar. Deutlich ist auch zu erkennen, dass die Zeit-Setzungskurve abflacht und somit auch zukünftig nicht mit Problemen zu rechnen ist.

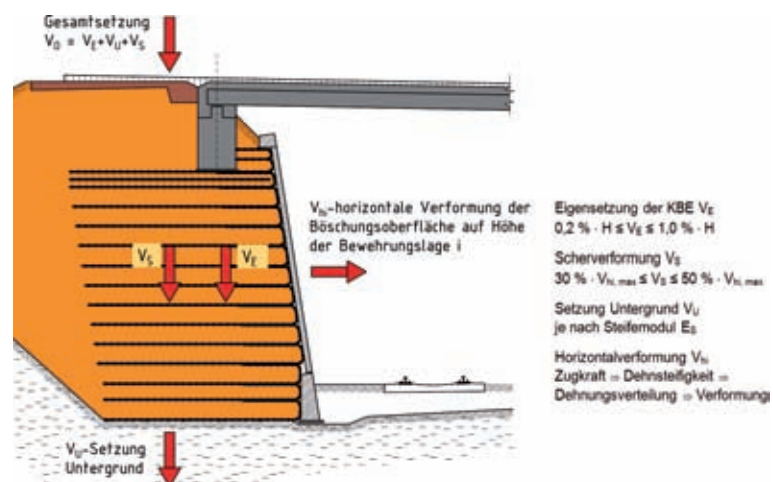


Bild 5: Verformungsgrößen einer geokunststoffbewehrten Stützkonstruktion in Anlehnung an [6]

(Grafik: Marita Döring, HUESKER)

Für Bauwerke, bei denen größere Verformungen (sowohl absolut als auch relativ) erwartet werden, kann es sinnvoll sein, Setzungen vor Montage des Brückendecks vorwegzunehmen. Im Dammbau bzw. für die Widerlagerhinterfüllung ist dieses als Konsolidationsschüttung bekannte Verfahren längst Standard. Vereinzelt wird als Alternative zu einer zusätzlichen Auflast auch von einer Vorspannung mit Hilfe von Ankerstäben und Belastungsplatten berichtet [24]. Um für Widerlager typische Pressungen – zumindest Anteile davon – auf eine KBE-Konstruktion aufbringen zu können, sind jedoch große Auflasten erforderlich. Bild 7 zeigt, wie mit der Aufschichtung von massiven Betonblöcken die Vorbelastung eines Widerlagers einer Brücke der Autobahn A 74 in den Niederlanden umgesetzt wurde. Die Vorbelastung betrug 100 kN/m^2 und entsprach damit dem Eigengewicht des später aufgetragenen Brückenbaus.

Die Bilder 8 und 9 zeigen Ergebnisse von Verformungsmessungen des in Bild 7 dargestellten Widerlagers an der A 74 in den Niederlanden. Dargestellt sind die Verformungen für den Zeitraum der Vorbelastung bis ca. zwei Monate nach Errichtung des Brückenüberbaus für jeweils zwei Messpunkte zweier nebeneinanderliegender Messquerschnitte A und B. Die Messpunkte A1 und B1 liegen nahe der Oberkante, etwa bei $0,9 \times H$, wobei H die sichtbare Wandhöhe



Bild 7: Vorbelastung eines KBE-Brückenwiderlagers an der Autobahn A 74, NL (Foto: Ralf Beuker, bearbeitet von Julia Klaverkamp, HUESKER)

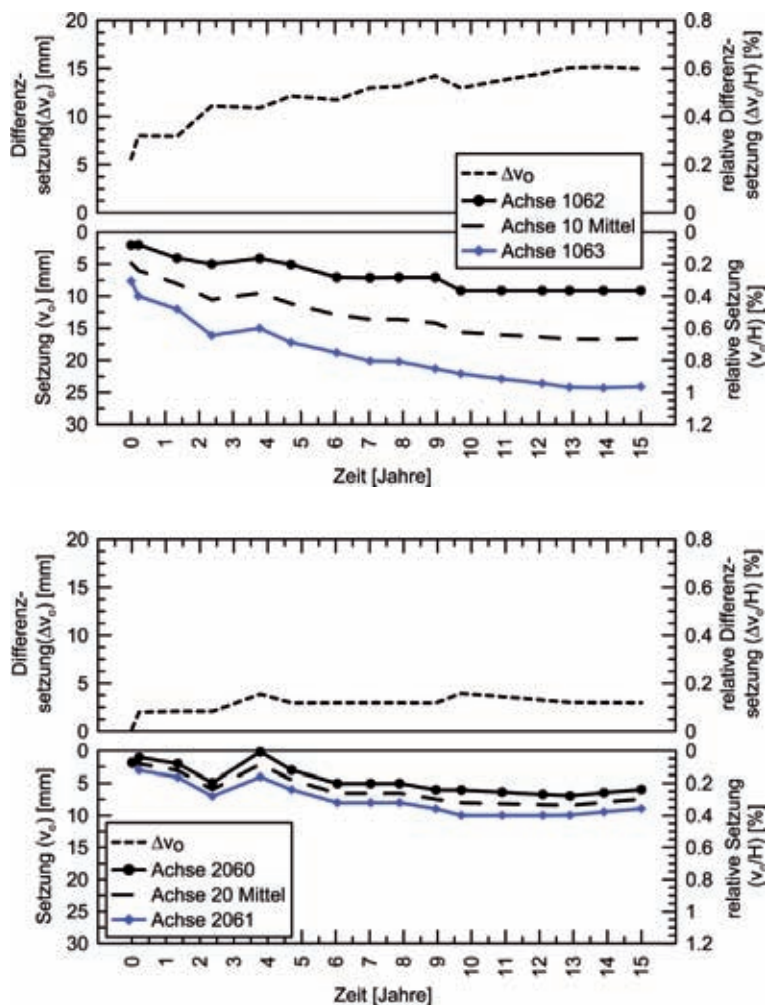


Bild 6: Setzungsmessungen an den Widerlagerbalken der Brücke über die Ilse [18]; oben Widerlagerachse 10, unten: Widerlagerachse 20

bezeichnet. Die Messpunkte A8 und B8 liegen am Wandfuß, etwa bei $0,1 \times H$. Deutlich erkennbar ist, dass sich die Messquerschnitte A und B sehr ähnlich verhalten und dass die Setzung am Wandfuß über den gesamten Messzeitraum nur unwesentlich kleiner ist als die Setzung an der Oberkante der KBE. Der geringe Unterschied zwischen der Setzung an der Oberkante und am Wandfuß lässt den Rückschluss zu, dass das Setzungsverhalten der Konstruktion wesentlich durch die Setzungen im Baugrund hervorgerufen wird (v_u in Bild 5). Die Summe der Eigen- und Schersetzung (v_E und v_S) ergeben in Folge der Vorbelastung einen Wert von ca. 5 mm, siehe auch Bild 9.

Bemerkenswert ist, dass die Setzungen nach Abbau der Vorbelastung nahezu konstant bleiben. Im Vergleich zu dem Verlauf der Last-

Setzungskurve für die Erst- und Wiederbelastung im 1:1-Versuch bei der LGA, siehe Bild 2, hätte man zunächst einen Rückgang der Setzungen und einen geringeren Anstieg der Kurven bei Aufbringen des Überbaus erwartet. Auf die möglichen Ursachen hierfür wird in [25] nicht näher eingegangen. Die Beobachtung, dass sich die Messquerschnitte A und B nahezu gleich setzen, ist ein Indiz dafür, dass eine Verdrehung der Widerlagerbank wie in Ilsenburg, Bild 6, sich hier nicht vollzogen hat.

In Situationen, in denen ein Vorbelastungskonzept dem Vorteil geringer Bauzeit widerspricht oder deutlich schlechtere Baugrundverhältnisse die Errichtung einer KBE erst gar nicht ohne weiteres zulassen, ist es erforderlich, Bodenaustausch oder eine Baugrundverbesserung z. B. mit Rüttelstopfsäulen, geokunststoffummantelten Bodensäulen oder starren Pfahlsystemen auszuführen.

Wichtig ist dabei, das gewählte Gründungsverfahren auf den Bereich der Anrampung auszudehnen und somit ein homogenes Setzungsverhalten von Widerlager und Anrampung zu ermöglichen. Andernfalls kann es gerade bei starren Facingsystemen z. B. aus Beton zu Mängeln kommen. Bild 10 zeigt den Übergangsbereich eines Brückenwiderlagers, welches konventionell tiefgegründet wurde. Differentielle Setzungen zwischen Rampenbereich und Widerlager führten offensichtlich zur Rissbildung in einigen Betonblöcken, so dass das Facing der geokunststoffbewehrten Blockwand zumindest teilweise nachträglich aufgetrennt werden musste.

In der dargestellten Situation ist eine Gefährdung der Standsicherheit und Verkehrssicherheit derzeit nicht zu befürchten, unter betrieblicher, ästhetischer und fahrdynamischer Betrachtung ist dies aber ein klarer Mangel. Um eine Beeinträchtigung der Standsicherheit infolge weiterer Setzungen beurteilen zu können, wird die Verformung der Konstruktion messtechnisch erfasst.

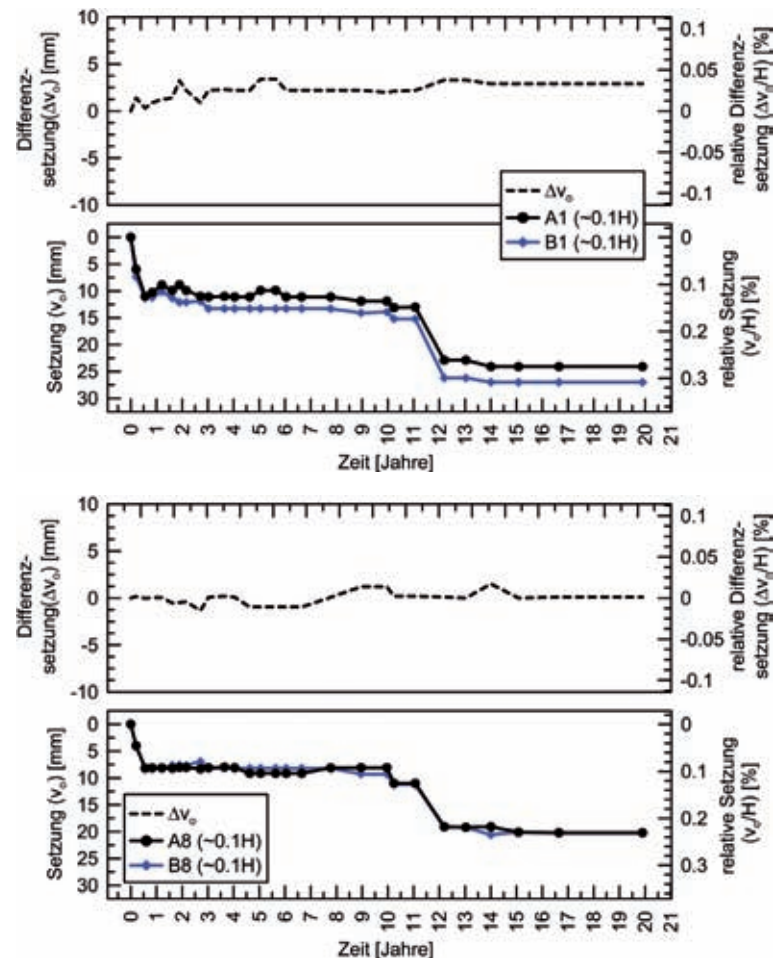


Bild 8: Ergebnisse der Setzungsmessungen an je zwei Messpunkten der Messquerschnitte A und B, A1 und B1 liegen oben (~0,9 × H), A8 und B8 sind Messpunkte am Wandfuß (~0,1 × H), A 74, NL [25]

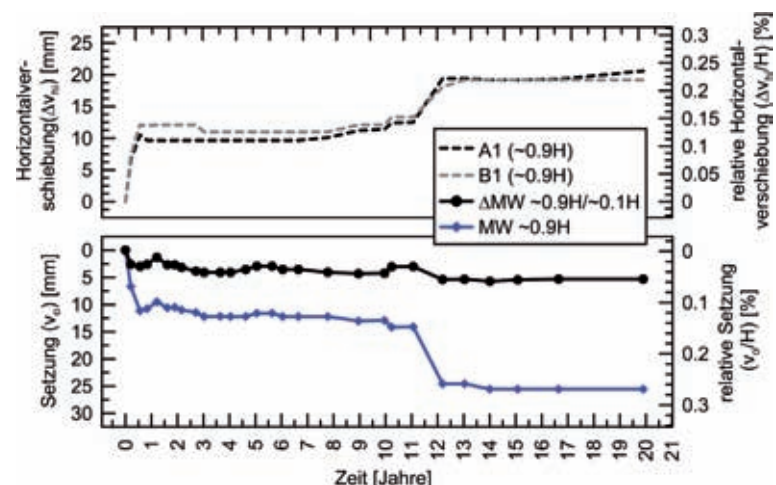


Bild 9: Gemittelte Setzung und Horizontalverschiebung an den Messpunkten A1 und B1 (~0,9 × H), A 74, NL [25]

6.2 Horizontale Verformungen

Für Konstruktionen, bei denen KBE als Erddruckfänger fungiert (Bild 4b), liegt der Schwerpunkt auf der Erfassung und Beurteilung des horizontalen

Verformungsverhaltens. Geschlossene analytische Berechnungsmodelle zur Prognose der horizontalen Verformungen gibt es nach wie vor noch nicht, so dass man sich in der Regel an Erfahrungswerten orientiert oder zunehmend häufiger Simulationen mit der Methode der finiten Elemente durchführt [12], [25]. Einen Überblick zu verschiedenen Vorgehensweisen zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von KBE-Konstruktionen vermittelt unter anderem auch [26].

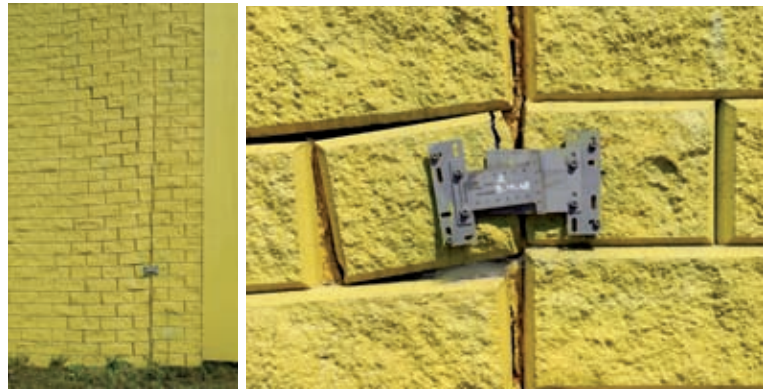


Bild 10: Übergangsbereich zwischen einem konventionell gegründeten Brückenwiderlager und einer geokunststoffbewehrten Blocksteinwand (Fotos: Hartmut Hangen, HUESKER)

Um einen Eindruck für die Größenordnungen der horizontalen Verformungen eines geokunststoffbewehrten Brückenwiderlagers zu bekommen, wurden die maximalen horizontalen Verformungen des in Abschnitt 6.1 dargestellten Widerlagers an der A 74 in den Niederlanden, Bild 9 und [25], mit einem von der FHWA in den USA veröffentlichten Nomogramm verglichen, Bild 11 und [23]. Der Vergleich in Tabelle 1 zeigt, dass eine Prognose der horizontalen Verformungen auf dieser Basis möglich ist und nicht in jedem Fall aufwändigere Berechnungsverfahren wie z. B. FEM eingesetzt werden müssen. Zumindest für die bei der A 74 verwendeten Geogitter aus PVA (Polyvinylalkohol) liegt diese stark vereinfachte Abschätzung für dehnweiche Bewehrungen jedoch deutlich auf der sicheren Seite. Eine bessere Übereinstimmung ergibt sich für die Anwendung der Abschätzung für dehnsteife Bewehrungen, welche gemäß [23] für Bewehrungen aus Stahlbändern vorgeschlagen wird. Ferner wäre es ggfs. sinnvoll, eine weitere Differenzierung des Nomogramms einzuführen, welche die Berücksichtigung der Außenhautkonstruktion und des Schüttmaterials erlaubt.

schirmung durch KBE insbesondere für den Bau von integralen Brücken bieten kann, wurde z. B. von Pötzl/Naumann [27] berichtet. Eines der größten Referenzbauwerke in dieser Bauweise in Deutschland sind die sogenannten Rollbrücken am Frankfurter Flughafen [28].

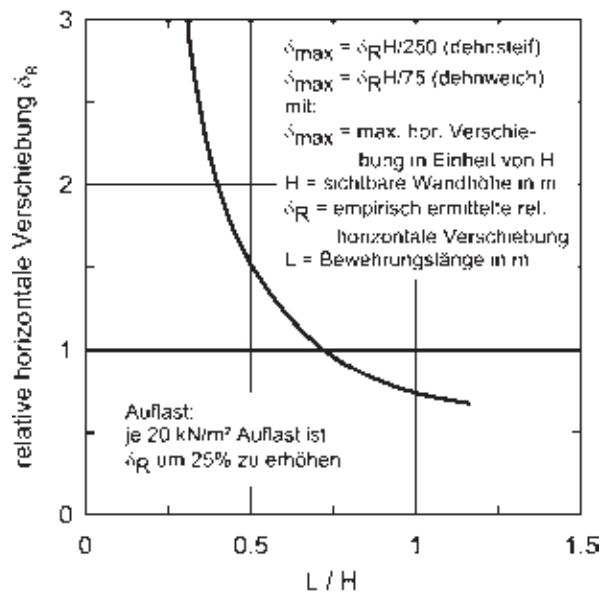


Bild 11: Nomogramm zur Abschätzung der maximalen horizontalen Verschiebungen einer KBE-Konstruktion, nach [23]

Eine Konstruktion, bei der die Prognose der horizontalen Verschiebungen für das Systemverhalten große Bedeutung hat, sind Erddruckfänger. Zu den Vorteilen, welche der Einsatz von Erddruckab-

Tabelle 1: Vergleich gemessener und abgeschätzter Horizontalverschiebung einer KBE für unterschiedliche Auflasten

| Auflast [kN/m ²] | Messwert δ_R [-] | Verschiebung nach [23] | | Differenzverschiebung infolge Auflast nach [23] und Messung [25] | | |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|---|---------------------------------------|
| | | $\delta_{max,dehnweich}$ [-] | $\delta_{max,dehnsteif}$ [mm] | $\Delta \delta_{max,dehnweich}$ [mm] | $\Delta \delta_{max,dehnweich}$ [mm] | $\Delta \delta_{max,Messung}$ [mm] |
| 0 | 0,80 | 93 | 28 | - | - | - |
| 100 | 1,80 | 210 | 63 | 117 | 35 | 10 |
| 170 | 2,50 | 292 | 88 | 199 | 59 | 20 |

Sichtbare Wandhöhe H = 8,75 m
 Mittlere Bewehrungslänge L = 8 m
 Relative Bewehrungslänge L/H = 0,91

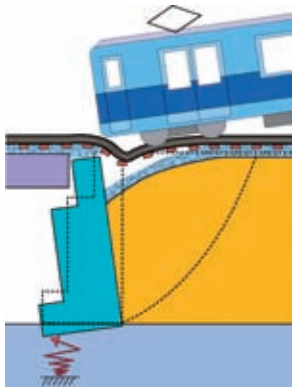


Bild 12: Schematische Darstellung einer Brückenwiderlagerhinterfüllung im Erdbebenfall in Anlehnung an [29]

(Grafik: Marita Döring, HUESKER)

Brückenwiderlager auch im Erdbebenfall sicher zu stellen. Die Bilder 12 und 13 zeigen anschaulich die Problematik im Erdbebenfall und die japanische Bauweise mit einem sogenannten Full-Height-Rigid Facing, bei der nach Herstellung des bewehrten Erdkörpers eine kraftschlüssige, verhältnismäßig massige Ortbetonschale aufgebaut wird.

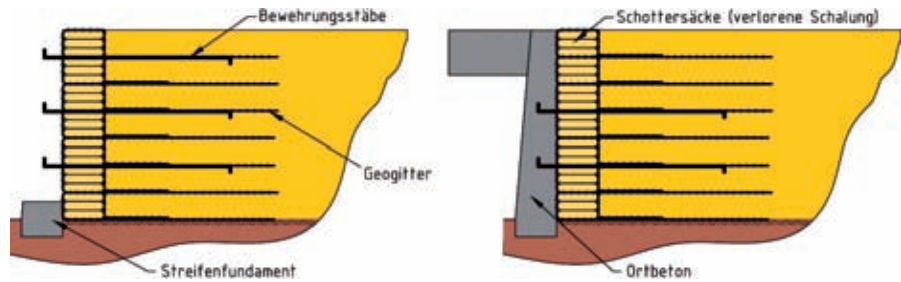


Bild 13: Schematische Darstellung der Bauweise eines integralen Brückenwiderlagers mit Full-Height-Rigid Facing in Anlehnung an [29]

(Grafik: Marita Döring, HUESKER)

Eine besondere Bauweise von geokunststoffbewehrten integralen Brücken hat sich in Japan etabliert, um die Integrität der Brückenwiderlager auch im

Erdbebenfall sicher zu stellen. Die Bilder 12 und 13 zeigen anschaulich die Problematik im Erdbebenfall und die japanische Bauweise mit einem sogenannten Full-Height-Rigid Facing, bei der nach Herstellung des bewehrten Erdkörpers eine kraftschlüssige, verhältnismäßig massige Ortbetonschale aufgebaut wird. 14475 [30] unterscheidet man Facingsysteme im Wesentlichen in Abhängigkeit von ihrer Verformbarkeit in nicht verformbare, bedingt verformbare und verformbare (flexible) Konstruktionen. Im Hinblick auf die Architektur klassischer Brückenwiderlager bieten sich grundsätzlich Bauelemente aus Beton an, wobei Betonpaneele mit voller oder teilweiser Bauhöhe und Blöcke, die kraftschlüssig miteinander verbunden sind, zu den nicht verformbaren Frontelementen gezählt werden. Bei Blöcken, die sich gegeneinander verschieben und verdrehen können, handelt es sich nach dieser Norm hingegen um bedingt verformbare Frontelemente. Ferner gilt der Baustoff Beton gemeinhin als robust und widerstandsfähig. Alternativ werden in der Regel verzinkte Stahlgitterelemente eingesetzt, entweder als Korbelement (Gabione) oder als abgewinkelte Matte, welche mit Abspannhaken ausgesteift wird. Abgewinkelte Stahlgittermatten werden in der Regel nur temporär oder bei Steilböschungen eingesetzt, die begrünt werden sollen. Die Neigung von begrünbaren KBE ist jedoch bis etwa 60° begrenzt und daher für die Herstellung von Flügelwänden geeignet. Unter einer Brücke fällt diese Lösung mangels natürlicher Bewässerung gänzlich aus.

7 Dauerhaftigkeit der Außenhaut

7.1 Grundsätzliche Überlegungen

In den Abschnitten 5 und 6 konnte gezeigt werden, dass Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit eines geokunststoffbewehrten Erdkörpers bei sachgemäßer Planung und Ausführung grundsätzlich keine wesentlichen Bedenken für den langfristigen Einsatz im Brückenbau aufwerfen. Bisher noch nicht diskutiert wurde jedoch eine mögliche Beeinträchtigung des Bauwerks infolge von Mängeln, welche im Laufe der Nutzungsdauer an der Außenhaut (Facing) einer KBE auftreten können.

Die Außenhaut von KBE-Konstruktionen kann sehr unterschiedlich gestaltet werden. Gemäß DIN EN

Neben der Steifigkeit eines Facingelementes ist es, gerade im Hinblick auf die Frage, ob Mängel an Facingelementen eine Beeinträchtigung der Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit zur Folge haben, wichtig zu unterscheiden, ob die Außenhaut Teil des Tragsystems ist oder ob sie neben der ästhetischen Komponente ausschließ-

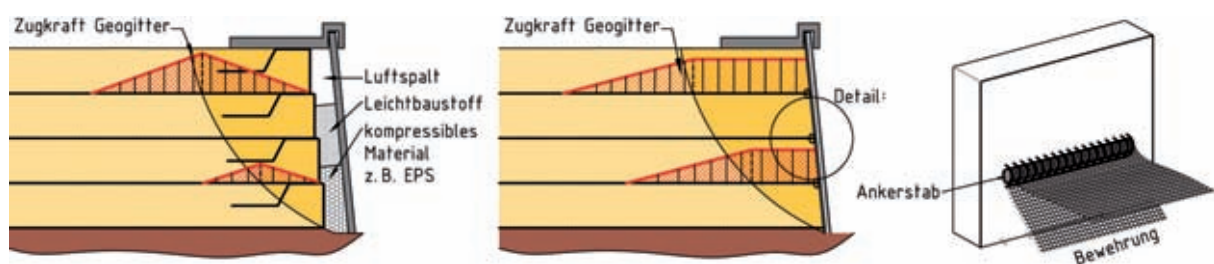


Bild 14: Geokunststoffbewehrte Stützkonstruktion mit aktivem und passivem Facing

(Grafik: Marita Döring, HUESKER)

lich eine Schutzfunktion erfüllen muss. Die letztgenannten werden gelegentlich als passive, die erstgenannten als aktive Facingelemente bezeichnet. Bild 14 zeigt den Unterschied beider Systeme schematisch, das in Abschnitt 6.2 bzw. Bild 13 dargestellte Full-Height-Rigid Facing stellt diesbezüglich eine Mischform dar.

Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit gegenüber Umwelteinflüssen verhalten sich aktive und passive Facingelemente jedoch gleichartig – sie hängt im Wesentlichen von der Beständigkeit der verwendeten Baustoffe ab.

Im Gegensatz zum bewehrten Erdkörper ist das Facing allen äußeren Einflüssen ausgesetzt. Je nach Standort und Exposition wirken Sonneneinstrahlung, Temperaturschwankungen (Frost-Tau-Wechsel), Eis, Wasserströmung (Erosion und Abrasion), Wind oder Chemikalien wie Tausalze, Herbizide, Pestizide oder aggressive Wässer ein und können erhebliche Schäden bewirken. Ferner können bei Fahrzeuganprall auch außergewöhnliche mechanische Belastungen auftreten, für die das Facingssystem ausgelegt sein muss oder für die es eine Möglichkeit für Reparaturen geben sollte.

7.2 Facingelemente aus Beton

Wie oben beschrieben, unterscheiden sich die Umwelteinwirkungen aber auch die Widerstände von Facingelementen aus Beton grundsätzlich nicht von denen konventioneller Brückenwiderlager. Insofern gibt es hier grundsätzlich dieselben Fragestellungen und Anforderungen an Betonqualitäten und Herstellung wie bei konventionellen Widerlagern. Abweichend sind jedoch die Produktgruppe der besonders in den USA weit verbreiteten unbewehrten Betonblocksteine (Seg-

mental Concrete Blocks) zu betrachten. Diese Bauteile werden in der Regel aus unbewehrtem haufwerksporigem Beton mit geringerer Druckfestigkeit und höherem Hohlraumgehalt hergestellt und sind somit weniger widerstandsfähig bei Frost-Tau-Wechselbelastung als Bauteile aus bewehrtem Normalbeton. Die maßgeblichen Einflussfaktoren auf die Beständigkeit von unbewehrten Betonblocksteinen für den Einsatz als Facingelement von geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen wurden daher im Rahmen einer umfangreichen Studie der Federal Highway Administration (FHWA) in den USA [31] untersucht. Ergebnis der Studie war, dass die Anforderungen an Rezeptur und Qualitätsüberwachung entsprechend hoch sein müssen. Für Standorte, an denen besonders kritische klimatische Bedingungen herrschen, wird empfohlen, alternative Bauweisen zu favorisieren.

7.3 Facingelemente aus Stahl

Vergleichbar zur Frostbeständigkeit von Beton ist bei Stahlelementen sicherzustellen, dass diese gegen Korrosion geschützt sind. Auch hier gibt es die Dauerhaftigkeit betreffend grundsätzlich keine Unterschiede zu anderweitig eingesetzten, frei exponierten Stahlelementen. Werden die Elemente nicht nur als Begrünungsträger von Steilböschungen sondern als Steinkorb (Gabione) verwendet, hängt die Dauerhaftigkeit des Systems nicht nur vom Stahl, sondern wesentlich auch von der Füllung der Körbe ab. Hierbei ist nicht nur von Bedeutung, dass das verwendete Steinmaterial frostbeständig ist sondern auch, dass Sieblinie und Befüllung (Verdichtung) aufeinander abgestimmt werden. Andernfalls kann es zu Verformungen kommen, die eine Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit bedeuten können. Dies gilt insbesondere für aktive Systeme, bei denen der Steinkorb am Lastabtrag beteiligt ist.

Die Bilder 15 und 16 zeigen typische Schäden von Gabionen oder gabionenartigen Facings, unzureichende Frostbeständigkeit des Füllmaterials (Bild 15) und Verformungen von Stahlgittermatten infolge schlechter Verdichtung der Steinfüllung und Hinterfüllung (Bild 16).

In der Regel lassen sich Schäden, wie sie in den Bildern 15 und 16 dargestellt sind, vermeiden, wenn Planung, Ausführung und Bauüberwachung ordnungsgemäß durchgeführt werden. Eine Studie des



Bild 15: Frostschaden an ungeeignetem Füllmaterial eines Steinkorbes [32]



Bild 16: Verformungen an der Front einer KBE mit gabionenartigem Facing

(Foto: Matthias Schreck, Freco Geosystem; bearbeitet von Julia Klaverkamp, HUESKER)

California Department of Transportation (Caltrans) zum Korrosionsverhalten von Gabionen unter Realbedingungen [33] zeigt jedoch auch, dass die unter Laborbedingungen bestimmten Lebensdauern von den tatsächlichen Bedingungen im Feld abweichen können. Die tatsächliche Lebensdauer hängt dabei im Einzelfall von der Art und Auslegung eines Steinkorbes ab. Insbesondere bei einer Kombination aus hohem chemischem und mechanischem Angriff kann die Lebensdauer von Steinkörben u. U. deutlich geringer sein, als die für den Brückenbau üblicherweise geforderten 100 Jahre. Für den Einsatz von Gabionen als Facingelement von Brückenwiderlagern ist es daher empfehlenswert, eine passive Konstruktion zu wählen und die Körbe als Vorsatzschale für den bewehrten Erdkörper auszulegen. Im Zweifelsfall können Mängel im Zuge der Bauwerksprüfung erfasst und schadhafte Bauteile ausgetauscht werden, ohne die Standsicherheit der Konstruktion zu beeinträchtigen. Dasselbe gilt auch für Schäden, die durch Havarien z. B. nach einem Fahrzeuganprall entstanden sind. Die Durchführung eines Großversuches zum Tragverhalten einer KBE-Konstruktion mit Steinfacing nach Fahrzeuganprall und Brandbelastung wurde anschaulich z. B. von Herold vorgestellt [34]. Sowohl beim Referenzprojekt Ilsenburg, Bild 2, als auch bei der Autobahn A 74 in den Niederlanden (Abschnitt 6.1) wurden passive Facingvarianten umgesetzt.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Geokunststoffbewehrte Stützbauwerke mit direkter Lasteinwirkung stellen unter den Anwendungsmöglichkeiten von KBE im Brückenbau eine technisch, ökonomisch und ökologisch interessante Variante dar. Eine Vielzahl von wissenschaftlichen Untersuchungen und praktischen Erfahrungen – mittlerweile mehrerer Jahrzehnte – zeigen, dass KBE-Konstruktionen durchaus geeignet sind, als Bauteil permanenter Konstruktionen im Brückenbau zu dienen. Voraussetzung ist jedoch, dass das Verformungsverhalten des bewehrten Erdkörpers und des Brückentragwerks aufeinander abgestimmt sind. Durch Vorbelastung können Verformungen vergleichmäßig und je nach Dauer und Höhe größtenteils vorweggenommen werden.

Neben dem Verformungsverhalten des bewehrten Erdkörpers wird das Langzeitverhalten einer KBE entscheidend von der Dauerhaftigkeit des Facings geprägt. In der Regel kommen hierbei Bauteile aus Beton oder Stahl zur Anwendung, deren Dauerhaftigkeit auch im Einsatzbereich einer KBE wesentlich von den Beständigkeiten der jeweiligen Baustoffe abhängen. Grundsätzlich sind beide Möglichkeiten für einen dauerhaften Einsatz geeignet. Die Erfassung und Analyse unter realen Bedingungen im Bauwerk zeigt jedoch, dass Lebensdauern von 100 Jahren nicht für alle Rahmenbedingungen realis-

tisch erscheinen. Durch das Konzept eines sogenannten passiven Facings kann dieser Problematik jedoch konstruktiv entgegnet werden. Bei dieser Bauweise übernimmt das Facing in erster Linie eine Schutzfunktion für den statisch wirksamen bewehrten Erdkörper. Im Schadenfall kann das Facing ausgetauscht werden, ohne die Standsicherheit der Konstruktion zu gefährden.

Konzepte, bei denen KBE im Hinterfüllbereich von integralen Brücken vorgesehen wird, erscheinen darüber hinaus technisch und ökonomisch äußerst vielversprechend. Die Frage der Frontgestaltung ist hierbei untergeordnet, da das Brückenbauwerk auch als Facing wirkt. Erfahrungsberichte aus Ja-

pan, wo die Konstruktion integraler Brückenbauwerke mit geokunststoffbewehrter Hinterfüllung in Form eines sogenannten Full-Height-Rigid Facings weiterentwickelt wurde, belegen dies sehr eindrucksvoll. Insbesondere im Erdbebenfall und unter hoher dynamischer Belastung hat sich diese Bauweise bestens bewährt.

Fachkundige Planung und Ausführung sind neben der Verwendung hochwertiger und qualitätsgesicherter Baustoffe entscheidende Voraussetzungen, um KBE-Systeme generell, aber besonders im Brückenbau, nicht nur für temporäre sondern auch für dauerhafte Anwendungsfälle einsetzen zu können.

Literaturverzeichnis

- [1] Vidal, H.: Die bewehrte Erde. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, Supplément au no. 299 (1972) Nov.
- [2] Herold, A.: Das erste Straßenbrückenwiderlager in Deutschland als Permanentkonstruktion in der Bauweise KBE-Kunststoffbewehrter Erde. In: Floss, R. (Hrsg.): Tagungsband der 7. Informations- und Vortragstagung über Kunststoffe in der Geotechnik (KGEO), 3/2001 in München, Sonderheft Zeitschrift Geotechnik der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT), S. 113–119
- [3] DIN EN 1997-1:2014-03: EC7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allg. Regeln. Berlin: Beuth
- [4] DIN 1054/A2:2015-11: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzt. Regelungen zu DIN EN 1997-1; Änd. 2. Berlin: Beuth
- [5] DIN 4084:2009-01: Baugrund – Geländebruchberechnungen. Berlin: Beuth
- [6] EBEGO (2010): Empfehlungen für den Bau und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen. DGGT, 2. Aufl., Berlin: Ernst & Sohn, 2010
- [7] Allen, T. M.; Bathurst, R. J.; Berg, R. R.: Global level of safety and performance of geosynthetic walls: An historical perspective. Geosynthetics Int. 9 (2002) 5–6, S. 395–450
- [8] Crouse, P. E.; Wu, J. T. H.: Long-Term Field Performance of Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls. Center for Mechanically Stabilized Backfill Res. University of Colorado (Denver), Report no. CDOT-DTD-97-12, 5/1996
- [9] Bathurst, R. J.: Challenges an recent progress in the analysis, design and modelling of geosynthetic reinforced soil walls. In: Ziegler, M.; Bräu, G.; Heerten, G.; Laackmann, K. (Hrsg.): Tagungsband der 10th ICG, Giroud Lecture auf der Int. Conf. on Geosynthetics, 21.–25.9.2014 in Berlin, DGGT, 2014, Paper 235
- [10] Hangen, H.: Review ausgewählter Beiträge der 10th ICG – Geokunststoffbewehrte Gründungspolster auf vertikalen Traggliedern, Bewehrte Stützkonstruktionen, Interaktion Geogitter – Boden. In: Ziegler, M. (Hrsg.): Tagungsband der 15. FS-KGeo, 26.3.2015 in München, DGGT, 2015, S. 11–16
- [11] Alexiew, D.: Belastungsversuche an einem 1:1-Modell eines geogitterbewehrten Brückenwiderlagers. In: Katzenbach, R. (Hrsg.): Tagungsband des 14. Darmstädter Geotechnik-Kolloquiums. 3/2007, Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der TU Darmstadt, H. 76, 2007, S. 205–218
- [12] Alexiew, D., Detert, O.: Analytical and Numerical Analyses of a Real Scaled Geogrid Reinforced Bridge Abutment Loading Test. In: Dixon, N. (Hrsg.): Proc. of the 4th European Geosynthetics Conf., Edinburgh (UK), 9/2008
- [13] Bräu, G., Bauer, A.: Versuche im Boden mit gering dehnbaren Geogittern. In: Floss, R. (Hrsg.): Tagungsband der 7. Informations- und Vortragstagung Kunststoffe in der Geotechnik (KGEO), 3/2001, München, Sonderheft Zeitschrift Geotechnik der DGGT, 2001, S. 139–146
- [14] Hangen, H.: Einsatzmöglichkeiten von Kunststoff-Bewehrter-Erde im Bereich von

- Brückenwiderlagern. In: Lifa, I. (Hrsg.): Tagungsunterlagen Tief.Bau.Tex Bauen mit Geokunststoffen, HTW Chur, 1/2012
- [15] van Keßel, M.-T.; Hangen, H.: Anwendungsmöglichkeiten von Geokunststoffen für den Neubau und die Sanierung von Brückenwiderlagern. *GeoResources* (2015) 3, S. 7–16
- [16] BMVBS (Hrsg.): Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF). 3/2013
- [17] Koerner, R. M.; Koerner, G. R.: On the Prevention of Failures of Geosynthetic Reinforced Mechanically Stabilized Earth (MSE) Walls and Recommendations Going Forward. *Geosynthetic Inst., GRI Report no. 40*, 6/2010
- [18] Herold, A.: Ergebnisse aus 20 Jahren Verformungsbeobachtung an KBE-Stützbauwerken und KBE-Brückenwiderlagern. Präsentation zum 11. Sächs. Bautextilien-Symposium BAUTEX 2014, STFI e.V., Chemnitz, 1/2014
- [19] Wu, J. T. H.; Lee, K. Z. Z.; Helwany, S. B.; Ketchart, K.: Design and Construction Guidelines for Geosynthetic-Reinforced Soil Bridge Abutments with a Flexible Facing. *Transportation Research Board, NCHRP Report no. 556, project 12-59*, 2006
- [20] Adams, M.; Nicks, J.; Stabile, T.; Wu, J.; Schlatter, W.; Hartmann, J.: Geosynthetic Reinforced Soil Integrated Bridge System Synthesis Report. *Dep. of Transportation | Federal Highway Administration FHWA, Report no. FHWA-HRT-11-027*, 1/2011
- [21] Alexiew, D.; Risseeuw, P.: Erfahrungen mit einer der ältesten geotextilbewehrten Stützwände in Europa: Bauweise, Statik, Verhalten, Langzeitbeständigkeit. In: Floss, R. (Hrsg.): Tagungsband der 7. Informations- und Vortragstagung über Kunststoffe in der Geotechnik (KGEO), 3/2001, München, Sonderheft Zeitschrift Geotechnik der DGGT, 2001, S. 177–180
- [22] Schröer, S.; Thornton, J. S.; Müller-Rochholz, J.; Recker, C.: Stepped iso-thermal method to determine a combined reduction factor for creep and installation damage. In: Cancelli, A.; Cazzuffi, D.; Soccodato, C. (Hrsg.): *Proc. of the 2nd European Geosynthetics Conf., Vol. 1, Bologna (Italy)*, 10/2000, S. 351–355
- [23] Elias, V.; Christopher, B. R.; Berg, R. R.: Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines. *FHWA, Report no. FHWA-NHI-00-043*, 3/2001
- [24] Uchimura, T.; Tatsuoka, F.; Tateyama, M.; Koga, T.: Preloaded-Prestressed Geogrid-reinforced Soil Bridge Pier. In: Rowe, R. K. (Hrsg.): *Proc. of the 6th Int. Conf. on Geosynthetics, 1998 in Atlanta (USA), Vol. 2, 1998*, S. 565–572
- [25] Duijnen van, P. G.; Linthof, T.; Brok, C. A. J. M.; Eekelen van, S. J. M.: Measuring deformations of a 10 m high geosynthetic reinforced earth retaining wall. In: Bianco, M.; Leiro, A.; Mateo, B. (Hrsg.): *Proc. of the 5th European Geosynthetics Conf., Valencia (Spain), 9/2012, Vol. 5, S. 157–161*
- [26] Hangen, H.; Retzlaff J.; Lenke, P.; Duijnen van, P. G.: Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von geosynthetisch bewehrten Stützkonstruktionen. In: Mägel, M. (Hrsg.): *Tagungsband des 10. Sächs. Bautextilien-Symposiums BAUTEX 2012, STFI e. V., Chemnitz, 1/2012*
- [27] Pötzl, M.; Naumann, F.: Fugenlose Betonbrücken mit flexiblen Widerlagern. *Beton- und Stahlbetonbau* 100 (2005) 8, S. 675–685
- [28] Steiger, H.; Zeißler, T.; Bernhard, M.; Meyer, H.: Integrale Großbrücken mit flexiblen Widerlagern. *Beton- und Stahlbetonbau* 107 (2012) 3, S. 175–182.
- [29] Tatsuoka, F.; Hirakawa, D.; Nojiri, M.; Aizawa, H.; Nishikiori, H.; Soma, R.; Tateyama, M.; Watanabe, K.: A new type of integral bridge comprising geosynthetic-reinforced soil walls (2009). *Geosynthetics Int., IS Kyushu 2007 Special Issue*, 16, No. 4, S. 301–326
- [30] DIN EN 14475:2006-04: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bewehrte Schüttkörper; Dt. Fassg. EN 14475:2006. Berlin: Beuth
- [31] Chan, C.; Hover, K. C.; Folliard, K. J.; Hance, R. M.; Trejo, D.: Durability of Segmental Retaining Wall Blocks. *FHWA, Report no. FHWA HRT-07-021*, 4/2007
- [32] Homepage Bernd Burgetsmeier: <http://www.burgetsmeier.de/index.php/sachverstaendiger-gabionen/gabionenschaeden/>. [geprüft am 30.1.2016]
- [33] Racin, J. A.; Hoover, T. P.: Gabion Mesh Corrosion – Field Study of Test Panels and Full-scale Facilities. *California Dep. of Transportation (Caltrans), Report no. FHWA-CATL-99-23, study no. F93TL02 S, 11/2001*, 2nd ed.
- [34] Herold, A.: Mehr Sicherheit bei KBE-Systemen – Anprall- und Brandverhalten im Großversuch. In: Ziegler, M. (Hrsg.): *Tagungsband der 13. Informations- und Vortragstagung über Kunststoffe in der Geotechnik (KGEO)*, 3/2013, München, Sonderheft Zeitschrift Geotechnik der DGGT, S. 45–53

Im gedruckten Tagungsband stand hier eine Anzeige. Sie wurde für die Online-Fassung entfernt.