

Die patentierte HEITKAMP Schnellbaubrücke®

Eine nachhaltig neue Brückentechnologie.

Brückenwiderlager aus geokunststoffbewehrter Erde (KBE)

Dietmar Placzek, Gero Marzahn, Jörg Kranz, Thomas Oehler

Sonderdruck aus Bautechnik 99 (2022)

Heft 2, S. 123 – 133, Ernst & Sohn GmbH

 **HEITKAMP**
Unternehmensgruppe

Brückenwiderlager aus geokunststoffbewehrter Erde (KBE)

Alternative für den Neubau und Ersatzbau von Brückenbauwerken

Für die Verbesserung der Infrastruktur in der Bundesrepublik Deutschland ist der Neu- und Ausbau von Straßen und Autobahnen mit dem Ersatz von Brücken und Widerlagern erforderlich, der auch mit Nachdruck betrieben wird. In diesem Zusammenhang werden auch alternative Bauweisen untersucht, die zu einer Zeit- und Kostenreduzierung führen sollen. Eine dieser neuen und innovativen Bauweisen stellt die Herstellung der Brückenwiderlager aus geokunststoffbewehrter Erde (KBE) dar. Hierbei handelt es sich im Gegensatz zu den bisher vorhandenen und im Bau befindlichen Brücken in Deutschland um eine bisher nicht geregelte Bauweise, sodass für ein Pilotprojekt eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich wurde. Im Rahmen dieses Beitrags werden die Konstruktion, der Aufbau, die Berechnungs- und Bemessungsansätze, das begleitende Messprogramm und die Messergebnisse für die Brückenwiderlager dieses Pilotprojekts vorgestellt. Ebenso werden die Erkenntnisse dieses Pilotprojekts im Hinblick auf Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Bauzeit bewertet und ein Ausblick auf die Übertragbarkeit auf vergleichbare Bauprojekte gegeben.

Stichworte Brückenwiderlager; geokunststoffbewehrte Erde (KBE); Tragverhalten; Verformungsverhalten; Messprogramm

Bridge abutments made of geosynthetic-reinforced earth (KBE) – a fast and sensible alternative for the construction of new and replacement bridges

The improvement of the infrastructure in the Federal Republic of Germany requires the new construction and expansion of roads and highways with the replacement of bridges and abutments. In this context, alternative construction methods are also being investigated, which should lead to a reduction in building time and costs. One of these new and innovative construction methods is the construction of bridge abutments made of geosynthetic reinforced earth (KBE). In contrast to the bridges currently existing and under construction in Germany, this construction method has not been regulated to date, so that approval in individual cases was required for a pilot project. As part of a pilot project, a geosynthetic-reinforced earth (KBE) was constructed as abutments for a bridge over the highway. The load-bearing behavior was checked by an accompanying measurement program and i. a. evaluated with regard to stability and usability. The results allow an outlook on the transferability to comparable construction projects.

Keywords bridge abutments; geosynthetic-reinforced earth (KBE); load-bearing behavior; deformation behavior; measurement program

1 Einleitung

Der Landesbetrieb Straßenbau NRW (Straßen.NRW) plante den Ersatz der bestehenden Autobahnüberführung der Verlängerung der Stokkumer Straße (Rietbroek) an der BAB A 3, Betriebskilometer 3+311 (Bild 1). Im Rahmen eines Pilotprojekts, mit dessen Realisierung die Fa. Heitkamp Brückenbau GmbH, Herne, beauftragt wurde, sollten zur Reduzierung von Bauzeit und Kosten moderne Technologien in der baulichen Umsetzung eingesetzt werden:

- Fertigung des Brückenüberbaus in Seitenlage und Einfahren/Einheben des gesamten Überbaus inkl. aller Ausstattungselemente (bis auf die Fahrbahnübergänge, die nachträglich eingebaut werden)
- Herstellung der Widerlager aus geokunststoffbewehrter Erde (KBE)

Während die Fertigung des Stahlverbundüberbaus den geltenden technischen Regelwerken [1, 2] unterliegt, handelt es sich bei den geokunststoffbewehrten Widerlagern im Gegensatz zu den bisher vorhandenen und im Bau befindlichen Brücken um eine nicht geregelte Bauweise.

So finden sich in den Regelwerken der Straßenbauverwaltung für Brückenbauwerke keine Festlegungen hinsichtlich derartiger Widerlager, die sich im Hinblick auf ihr Trag- und Verformungsverhalten deutlich von massiven Brückenwiderlagern unterscheiden. Es handelt sich damit gemäß RE-ING, Teil 1, Ziffer 3 (9) [3] um eine außergewöhnliche Konstruktion (neue und bisher nicht angewandte Bauweise).

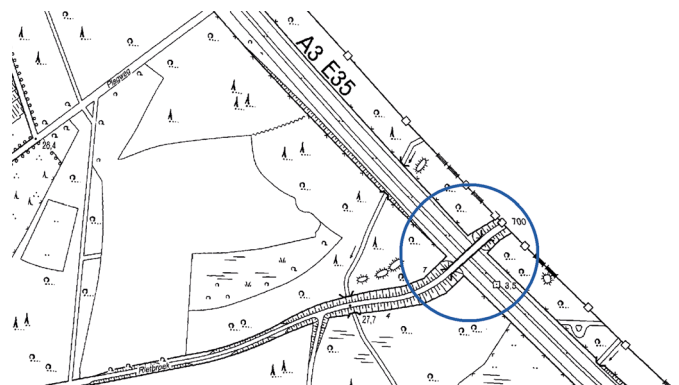


Bild 1 Lageplan mit eingetragener Bestandsbrücke über die Autobahn BAB A 3

Map with existing bridge over the BAB A 3 highway



Bild 2 Abbruch des Bestandsbauwerks
Demolition of the existing building

Vor diesem Hintergrund waren für den Bau der Widerlager entsprechende Anforderungen und Nachweise zum Trag- und Verformungsverhalten dieser Konstruktion vorzulegen und durch ein begleitendes Messprogramm zu bestätigen.

Im Folgenden wird über die Gründung, die Konstruktion, das Trag- und Verformungsverhalten der Widerlager, das begleitende Messprogramm und über die Messergebnisse berichtet. Ebenso werden die Erkenntnisse dieses Pilotprojekts im Hinblick auf Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Bauzeit und Kosten bewertet und ein Ausblick auf die Übertragbarkeit auf vergleichbare Bauprojekte gegeben.

2 Baugrund und Gründung

Die neuen Widerlager wurden auf den vorhandenen Sohlplatten nach Abbruch der alten Widerlager (Bild 2) (Bestandsfundamente) mit Abmessungen von 10,50 m × 6,70 m gegründet. Das Gründungsniveau befindet sich auf etwa +24,00 mNN. Die Dicke des Bestands-

fundamente variiert zwischen 1,0 m und 1,2 m. Grundwasser beeinflusst die Baumaßnahme nicht.

Auf Höhe der Gründungssohle stehen gemäß den Baugrundaufschlüssen wenigstens mitteldicht gelagerte, aufgefüllte, schwach schluffige bis schluffige Sande an. Unter Berücksichtigung einer ausreichenden Sicherheit gegen Grundbruch bei lotrechter und mittlerer Belastung kann für das Bestandsfundament ein Bemessungswert des Sohlwiderstands von $\sigma_{R,d} = 450 \text{ kN/m}^2$ zugrunde gelegt werden.

Das Bestandsfundament wurde an drei Seiten um ein 0,65 m breites Konsolenband vergrößert, um die Verbreiterung der neuen Widerlagerkonstruktion gegenüber dem noch bestehenden Widerlager aufnehmen zu können. Das Konsolenband wurde auf einer Weichlage gelagert und durch eingeklebte Bewehrungsstäbe kraftschlüssig mit dem Bestandsfundament verbunden (Bilder 3, 4), so dass es wie ein Kragarm wirkt und alle Lasten an das Bestandsfundament weiterleitet.

3 Widerlagerkonstruktion

Die neuen Brückenwiderlager bestehen aus einer durch Vorsatzschalen verkleideten geokunststoffbewehrten Erde (KBE), welche auf den Bestandsfundamenten gegründet ist. Auf der KBE-Konstruktion wurde die Auflagerbank des Brückenüberbaus aufgesetzt und hinterfüllt. Seitlich wird die Hinterfüllung durch Winkelstützwände gestützt. Zur Minimierung der Horizontalbeanspruchung infolge des Erddrucks wurden die Winkelstützwände mit der jeweils gegenüberliegenden Winkelstützwand über Geogitter verbunden und seitliche Böschungskegel angeschüttet.

Die Winkelstützwände wurden aus ästhetischen Gründen durch Vorsatzschalen aus Gabionen verblendet. Die Gründung der Gabionen liegt in den Böschungsbereichen.

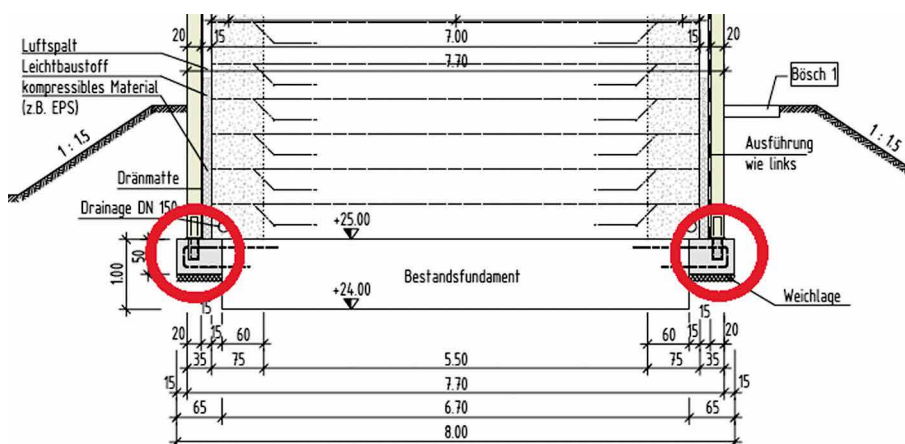


Bild 3 Vergrößerung des Bestandsfundaments durch Anordnung eines Konsolenbands
Widenings of the existing foundation



Bild 4 Freigelegtes Bestandsfundament mit Konsolbändern
Existing foundation with widenings

Auf der autobahnzugewandten Seite sowie außerhalb der Böschungsbereiche wurde um den bewehrten Erdblock eine Vorsatzschale aus Betonfertigteilen aufgestellt. Zwischen der KBE und der Vorsatzschale verblieb ein planmäßiger Spalt, damit die Vorsatzschale keine Lasten aus der Auflagerbank oder der KBE erfährt. Die Vorsatzscha-

le dient einerseits als optisches Element, andererseits dient sie dem UV-Schutz des eingebauten Geokunststoffs sowie dem Schutz vor Fahrzeuganprall. Durch die gewählte U-Form steift sich die Vorsatzschale selbst aus und benötigt keine mechanische Verbindung zum Erdkörper. Anfallendes Niederschlags- oder Sickerwasser kann durch die horizontalen Fugen der einzelnen Fertigteile austreten.

Die Höhe der KBE unterhalb der Auflagerbank beträgt rd. 3,6 m. Die Gesamthöhe der Konstruktion aus KBE und Auflagerbank macht rd. 6,8 m aus.

Bild 5 zeigt einen Längsschnitt durch das westliche Brückenwiderlager. Bild 6 zeigt eine Draufsicht auf das Widerlager.

Entsprechend der U-förmig angeordneten freien Stützhöhe der KBE werden die Geogitter zweiaxial beansprucht. 14 Einzellagen des Geogitters Fortrac R 400/400-30 MT der Fa. Huesker Synthetic GmbH, Gescher, kamen zum Einsatz. Dabei handelt es sich um ein zweiaxial hoch belastbares, vergleichbar dehnsteifes, kriecharmes Geogitter aus Polyvinylalkohol (PVA) mit Polymer-Schutzummantelung. Die Zugfestigkeit beträgt 400 kN/m bei einer Dehnung von $\leq 6\%$. In natürlichen Böden mit einem pH-Wert zwischen 2 und 12,5 und einer Bodentemperatur bis 25° C ist das Produkt nach Herstellerangaben für mind. 120 Jahre Nutzung geeignet.

Als Schüttmaterial wurden Sande aus einer benachbarten Sandgrube eingebaut und mittels Bindemittel in ihren Trag- und Verformungseigenschaften verbessert. Im Rahmen der erdstatischen Nachweise wurden die in Tab. 1

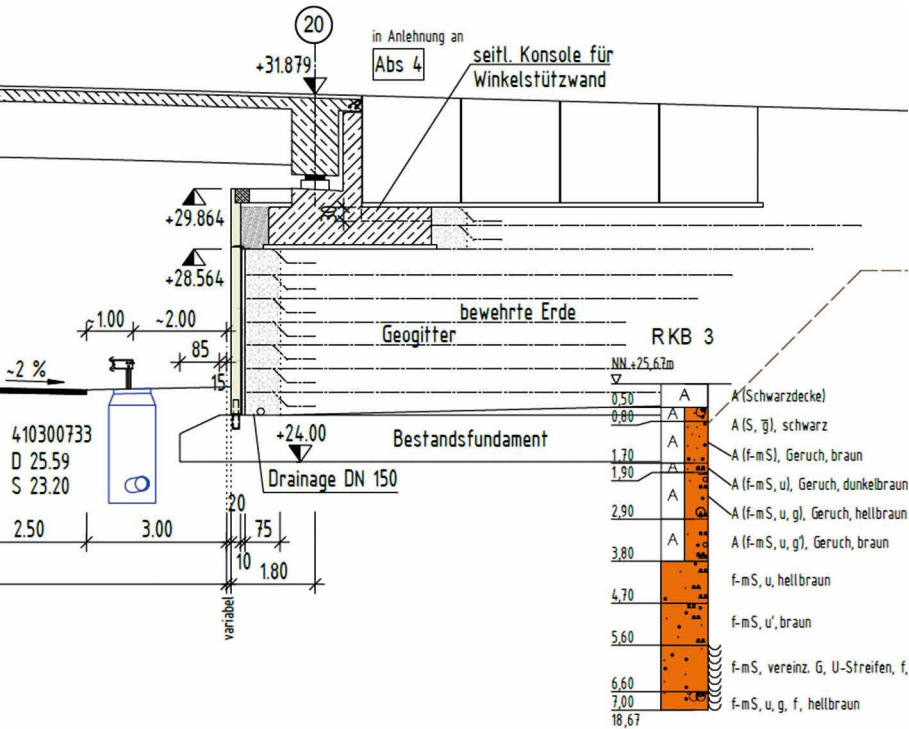


Bild 5 Querschnitt des westlichen Widerlagers
Cross-section of the western abutment

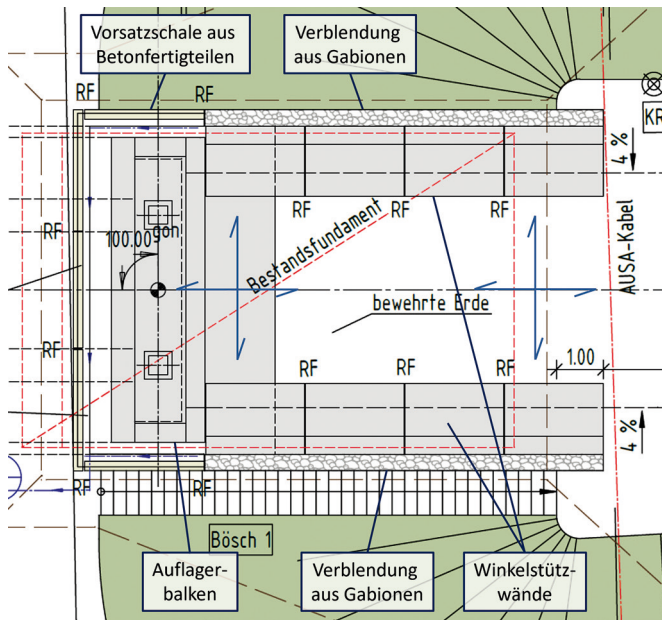


Bild 6 Draufsicht des westlichen Widerlagers
Top view of the western abutment

wiedergegebenen charakteristischen Bodenkennwerte vorausgesetzt.

Die Art und Menge des Bindemittels, um die vorgenannten charakteristischen Kennwerte zu erzielen, wurde über eine Eignungsprüfung gemäß dem FGSV-Merkblatt „Eignungsprüfungen bei Bodenverbesserungen mit Bindemitteln als qualifizierte Baugrundverbesserung“ [4] festgelegt. Im Rahmen der Eignungsprüfung wurden hierzu auch einaxiale Druckversuche an Probekörpern unterschiedlichen Alters untersucht. Je nach Grad der Verfestigung wurden darüber hinaus Kompressions- und Scherversuche durchgeführt.

Der Einbau des Schüttmaterials erfolgte durch Eigen- und Fremdüberwachung qualitätsgesichert. Hierzu musste im Vorfeld ein Qualitätssicherungsplan gemäß ZTV E-StB 17 [5] erstellt werden. Die Schütthöhen des Füllbodens betrugen zwischen 10 cm und 15 cm im unmittelbaren Bereich der Front, um zwischen den Abspannhaken der verlorenen Schalung einen sorgfältigen Einbau sicherzustellen, und etwa 50 cm im hinteren Bereich der KBE jeweils mit einem Verdichtungsgrad $D_{pr} \geq 100\%$.

Tab. 1 In den erdstatischen Nachweisen angesetzte charakteristische Bodenkennwerte
Characteristic soil parameters used in the earth static analysis

Kennwert	Einheit	Wert
ϕ_k'	[°]	$\geq 32,5$
c_k'	[kN/m ²]	$\geq 15,0$
γ_k/γ_k'	[kN/m ³]	$\leq 21,0/11,0$
$E_{s,k}$	[MN/m ²]	$\geq 80,0$

Neben statischen oder dynamischen Plattendruckversuchen waren Probekörper des Boden-Bindemittelgemischs zur Bestimmung der Proctordichte und des optimalen Wassergehalts sowie der einaxialen Festigkeit zu entnehmen. Das angelieferte Bodenmaterial wurde hinsichtlich der Korngrößenverteilungen, des Wassergehalts, der Korndichte und der Proctordichte stichprobenartig untersucht.

4 Trag- und Verformungsverhalten – Verbundverhalten

Die Massenkkräfte des Bodens rufen bei Böschungen abtreibende Bewegungen hervor, sobald in einer Gleitfläche die Scherfestigkeit des Bodens von der gleitflächenparallelen Komponente der Massenkkräfte überschritten wird. Zur Mobilisierung der Scherfestigkeit reichen bereits geringe Bodenverschiebungen aus. Bei Einlage von Geokunststoffbewehrungen verspannen sich diese mit den sich in Bewegung setzenden Bodenmassen, sodass horizontale gerichtete Zugkräfte im Geogitter entstehen, welche den Erdkörper zusammenhalten und stabilisieren. Damit bilden der geschüttete Boden und die eingelegten Geokunststoffe einen Verbund, wobei der überwiegende Teil der Vertikalkräfte in die Schüttung aus Boden und der der Horizontalkräfte über Bodenreibung in die zugfesten Geogitter eingetragen wird. Die Verbundwirkung ist verschiebungs-/verformungsabhängig, sodass Art und Ausführung der KBE-Konstruktion von der Belastungsrichtung und Lage der Geokunststoffe abhängig sind.

5 Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise

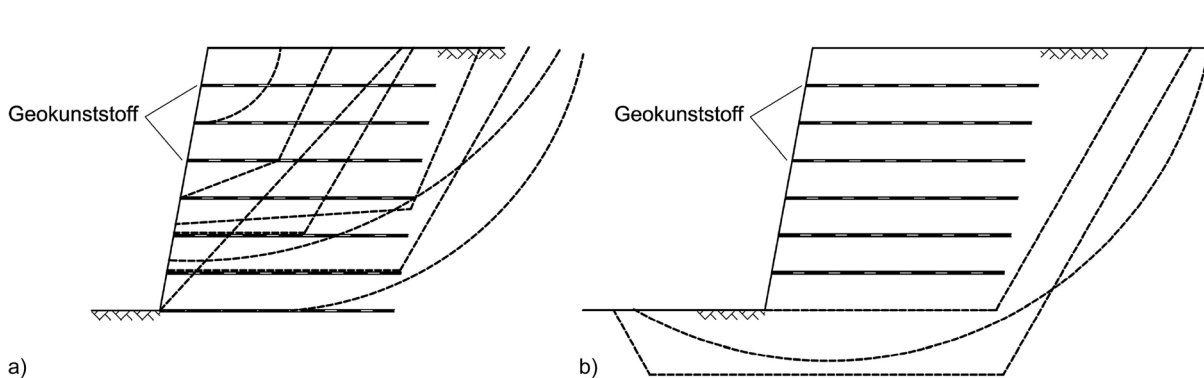
Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise wurden gemäß den Anforderungen der DIN EN 1997-1 [6] und DIN 1054 [7] in Verbindung mit der EBGEO [8] geführt. Im vorliegenden Fall eines Brückenwiderlagers in KBE-Bauweise sind dabei sowohl Nachweise für die KBE als auch die Nachweise der Auflagerbank und der Winkelstützwand zu führen. In Tab. 2 sind die geführten Nachweise zusammengefasst. Im Folgenden wird ausschließlich auf die Nachweise der KBE eingegangen.

Die Einwirkungen aus dem Brückenüberbau unter dem Lastmodell LM 1 ergaben für den Lastfall Anfahren/Bremsen einen max. vertikal gerichteten Bemessungswert der Lagerkraft von 6512 kN in Verbindung mit einer Horizontalkraft von 994 kN auf die Auflagerbank, woraus sich die mittlere charakteristische Sohlspannung zu 368 kN/m² und die max. charakteristische Eckpressung zu 510 kN/m² errechnen lassen.

Die Nachweise der äußeren Standsicherheit umfassen die Nachweise der Sicherheit gegen Kippen, Gleiten und Grundbruch der Gesamtkonstruktion sowie den Nachweis gegen Geländebruch/Böschungsbruch. In diesem

Tab. 2 Erdstatische Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise
Earth static analysis for ultimate limit state and serviceability limit state

Nachweis	Bauteil			
	KBE	Auflagerbank	Winkelstützwand	Fundament
Grenzzustand der Tragfähigkeit				
Kippen/Lage der Sohldruckresultierenden	x	x	x	x
Gleiten	x	x	x	x
Grundbruch	(x)			x
Geländebruch/Böschungsbruch	x	x	x	
Versagen auf Gleitlinien, die die Stützkonstruktion durchdringen	x			
Bemessungsfestigkeit der Bewehrung	x			
Herauszieh Widerstand der Bewehrung	x			
Nachweis der Anschlüsse	x			
Nachweis der Überlappung/Bewehrungsstöße	x			
Nachweis der Frontausbildung	x			
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit				
Lage der Sohldruckresultierenden	x	x	x	X
Verformungen der Konstruktion	x			
Setzungen in der Aufstandsfläche	x	x	x	x

**Bild 7** Mögliche Gleitlinien a) durch und b) um eine Stützkonstruktion (Auszug aus EBGE0 [8])
Possible sliding lines a) through and b) around a supporting structure (extract from EBGE0 [8])

Zusammenhang werden auch Gleitlinien untersucht, die die KBE-Konstruktion durchdringen (Bild 7).

Für die Nachweise der Sicherheit gegen Kippen, Gleiten und Grundbruch wurde die KBE als quasimonolithisches Bauwerk modelliert. Die Nachweise wurden somit nach den Regeln der DIN EN 1997-1 [6] geführt. Der Nachweis eines ausreichenden Grundbruchwiderstands erfolgte dabei nach DIN 4017 [9].

Da das Bestandsfundament die Gründung der KBE darstellt, können sich unter der KBE-Konstruktion kinematisch keine vom Bestandsfundament unabhängigen Grundbruchkörper ausbilden. Im vorliegenden Fall wurde der Nachweis der Sicherheit gegen Grundbruch daher für das Bestandsfundament erbracht.

Der Nachweis der Sicherheit gegen Geländebruch bzw. Böschungsbruch wurde mit den möglichen Verfahren nach DIN 4084 [10] geführt. Es wurden dabei sowohl kinematisch mögliche gekrümmte als auch gebrochene Gleitlinien untersucht. Darüber hinaus wurden sowohl Gleitkörper gewählt, welche die KBE vollständig einschreiben, als auch Gleitkörper, welche ganz oder teilweise innerhalb der KBE verlaufen (Bild 7). Sofern Geogitterlagen geschnitten wurden, wurde aus dem Kräftedefizit zur Nachweisführung die Zugbeanspruchung der jeweiligen Geogitterlage abgeleitet.

Zur inneren Standsicherheit zählen die Nachweise der Bemessungsfestigkeit der Geogitterbewehrung, des Herauszieh Widerstands der Geogitterbewehrung sowie nach

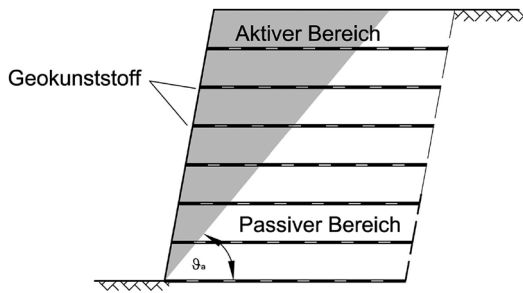


Bild 8 Aktiver und passiver Bereich einer KBE (Auszug aus EBGE0 [8])
Active and passive area of a KBE (extract from EBGE0 [8])

Bedarf Nachweis der Anschlüsse, der Bewehrungsstöße und der Frontausbildung.

Die KBE wurde gemäß dem Verlauf der maßgebenden Scherfuge, wie in Bild 8 dargestellt, in einen aktiven und einen passiven Bereich unterschieden. Der aktive Bereich ist der abgleitende Bereich der KBE, der passive Bereich ist der nicht oder nur sehr wenig verformte widerstehende Bereich der KBE. Aus dem Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch bzw. Geländebruch wurde die Zugkraft des Geogitters berechnet. Zur Aufnahme dieser Zugkraft muss das Geogitter eine ausreichende Zugfestigkeit aufweisen (Nachweis der Bemessungsfestigkeit der Bewehrung) und der Verbund aus Geogitter und Boden muss einen ausreichenden Herauszieh Widerstand gewährleisten.

Der Herauszieh Widerstand ist auflastabhängig. Der Reibungsbeiwert f in der Grenzfläche zwischen Geogitter und Boden wurde dabei für das gewählte Geogitter nach Herstellerangaben zu $f = 0,9 \cdot \tan(\phi_k')$ angesetzt und im Rahmen von Laborversuchen im Großrahmenschergerät der HafenCity Universität in Hamburg nachgewiesen (Bild 9).

Beim Herausziehversuch wird die Geogitterprobe so weit in eine Bodenprobe gebettet, dass mehrere Längs- und Querstäbe vollständig von Boden umgeben sind (Scherrahmeninnenmaße $50 \times 50 \times 15$ cm). Nachdem eine Normalspannung auf die Bodenprobe aufgebracht wurde, wird die Geogitterprobe mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit aus dem Boden herausgezogen. Dabei wird die zum Herausziehen erforderliche Kraft F_p gemessen.

Anschlüsse waren nur für die Geogitterlage im Bereich der Winkelstützwände zur gegenseitigen Abstützung gegenüber dem seitlichen Erddruck erforderlich. Die verdübelte Ankerkonstruktion wurde nach den Anforderungen nach EC 2 [11] nachgewiesen.

Sowohl die autobahnzugewandte Front als auch die Flügelwände der KBE-Konstruktion wurden nach der Umschlagmethode ausgebildet, bei der an der Front ein Umschlag des Geogitters nach oben auf die zuvor geschüttete Lage und unterhalb der nächsten Geogitterlage für die nachfolgende Schüttung erfolgt. Die notwendigen Herauszieh Widerstände wurden über eine entsprechende Einbindung oberhalb des Umschlags gewährleistet.



Bild 9 Großrahmenschergerät zur Bestimmung des Herauszieh Widerstands (Bestimmung des Verbundbeiwerts)
Large-frame shear tester for determining the pull-out resistance (determination of the composite coefficient)

Die Dauerbeständigkeit der Konstruktion richtet sich im Wesentlichen nach der Dauerbeständigkeit der Geogitter. Für die Geogitter liegen entsprechende Materialnachweise vor. In der Bemessung wurden die Geogitter für eine Nutzungsdauer von 120 Jahren ausgelegt und der Bemessungswert der Zugfestigkeit der Geogitter durch entsprechende Sicherheitsfaktoren nach Materialprüfzeugnis abgemindert.

Im Hinblick auf den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit muss unterschieden werden zwischen den Verformungen, die bei der gewählten Bauweise aus den Setzungen des Untergrunds infolge der Einwirkungen aus dem Brückenwiderlager, den Eigensetzungen der KBE und den Setzungen der KBE infolge der Lasten aus dem Brückenüberbau resultieren. Im vorliegenden Fall ist der Untergrund für die Lasten aus dem Alt-Widerlager konsolidiert. Bei Abbruch der alten Widerlager bis auf das Höhenniveau der Oberkante der Sohlplatte tritt eine Entlastung des Baugrunds ein, die bei Aufbau der neuen Widerlager zu einer Wiederbelastung des Untergrunds in etwa gleicher Größenordnung führt. Zudem weist der Untergrund infolge seiner nicht bindigen Zusammensetzung eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit auf, sodass Porenwasserüberdrücke schnell wieder abklingen können.

Gleiches gilt für den Schüttkörper. Aufgrund der nicht bindigen Zusammensetzung der Schüttkörper treten die Setzungen unmittelbar bei Aufbringung und Verdichtung der Schüttlagen sofort ein. Somit wurde vor dem Aufsetzen des Überbaus auf die KBE-Konstruktion ein Großteil der Vertikalverformungen aus den Setzungen des Untergrunds und der Eigensetzungen der KBE bereits vorweggenommen.

Anders verhält es sich mit den Verformungen der KBE-Konstruktion. Die Geogitter entwickeln erst infolge der Verformungen des Erdkörpers eine stabilisierende Horizontalspannung. Die resultierende Gesamtverformung

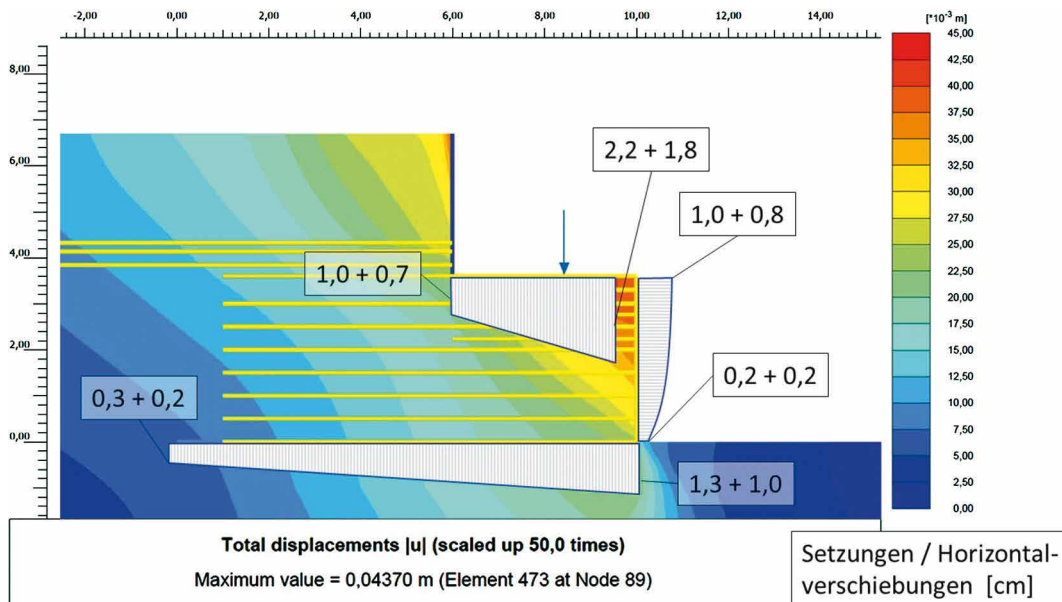


Bild 10 Ergebnisse der FE-Berechnung
Results of the finite elements analysis

der KBE-Konstruktion setzt sich damit sowohl aus der Stauchung der Schüttung infolge der Auflast als auch aus der horizontalen Dehnung von Schüttung und Geogitter zusammen.

Mittels der Finite-Elemente-Methode wurden die Verformungen der Konstruktion prognostiziert (Bild 10). Die max. möglichen Setzungen unter der Auflagerbank wurden zu 3–4 cm nach dem Auflegen und der Inbetriebnahme des Überbaus mit konservativ gewählten Randbedingungen ermittelt.

Die max. möglichen Gesamtsetzungen wurden lokal bis zu 10 cm errechnet, wobei die Differenz zu den vorgenannten 3–4 cm aufgrund der raschen Konsolidierung bereits vor dem Auflegen des Überbaus abgeklungen ist und somit stetig während der Erstellung der KBE-Konstruktion ausgeglichen wird.

Maximal mögliche Horizontalverschiebungen der Auflagerbank waren nach den Berechnungen in einer Größenordnung von rd. 2 cm zu erwarten. Bei den Berechnungen wurde zunächst konservativ angenommen, dass bei max. Verkehrsbelastung der Brücke beide Widerlager die gleiche max. Rotation und somit auch max. horizontale Verschiebung erfahren. Die Bemessung des Überbaus erfolgte mit Ansatz von wahrscheinlichen horizontalen Verformungen von rd. 1 cm. Diese ergaben sich aus einem quasiständigen Anteil der Verkehrslasten sowie einem geringeren elastischen Verformungsanteil der KBE-Konstruktion.

6 Begleitende Messungen – Messergebnisse

Aufgrund der nicht geregelten Bauweise von Brückenwiderlagern als KBE-Konstruktion und der Einstufung in die geotechnische Kategorie 3 nach DIN EN 1997-1 [6]

ist die Maßnahme durch ein geeignetes Messprogramm zu begleiten. Ziel des Messprogramms ist die Verifizierung der Berechnungsansätze bzw. der Verformungsprognosen und die Gewährleistung des Sicherheitsniveaus im Sinne der Beobachtungsmethode nach DIN 1054 [7] durch ein rechtzeitiges Erkennen eines möglichen Versagens.

Die Messungen setzen sich aus Messungen der Verformungen und der Spannungen zusammen. Der Messstellenplan ist Bild 11 zu entnehmen.

Im Wesentlichen wurden neben geodätischen Messungen (Bestandsfundament, Auflagerbank und Vorsatzschale) Inklinometermessungen (drei Horizontalinklinometer zur Feststellung von Relativverschiebungen bzw. Neigungen), Spannungsmessungen und Dehnungsmessungen an den Geokunststoffen durchgeführt.

Innerhalb der KBE und insbesondere unterhalb der Auflagerbank wurden Erddruckgeber angeordnet, um die vertikalen Bodenspannungen zu messen. Ziel der Messungen war die Verifizierung der Lastausbreitung von der Auflagerbank in die KBE.

An ausgewählten Knotenpunkten der KBE wurden Geogitterdehnungsaufnehmer (Wegaufnehmer) angebracht. Über die gemessenen Dehnungen der Geogitter kann auf die Zugkräfte in den Geogittern geschlossen werden. Die Messungen dienen somit zur Verifizierung der Größenordnung der Zugbeanspruchung einerseits und der aktiven/passiven Bereiche andererseits.

In folgenden Bauphasen wurde bislang gemessen:

- 0 Abbruch der Bestandsbrücke bis OK Sohlplatte
- 1 Aufbau der KBE bis UK Auflagerbalken
- 2 Betonage Auflagerbank

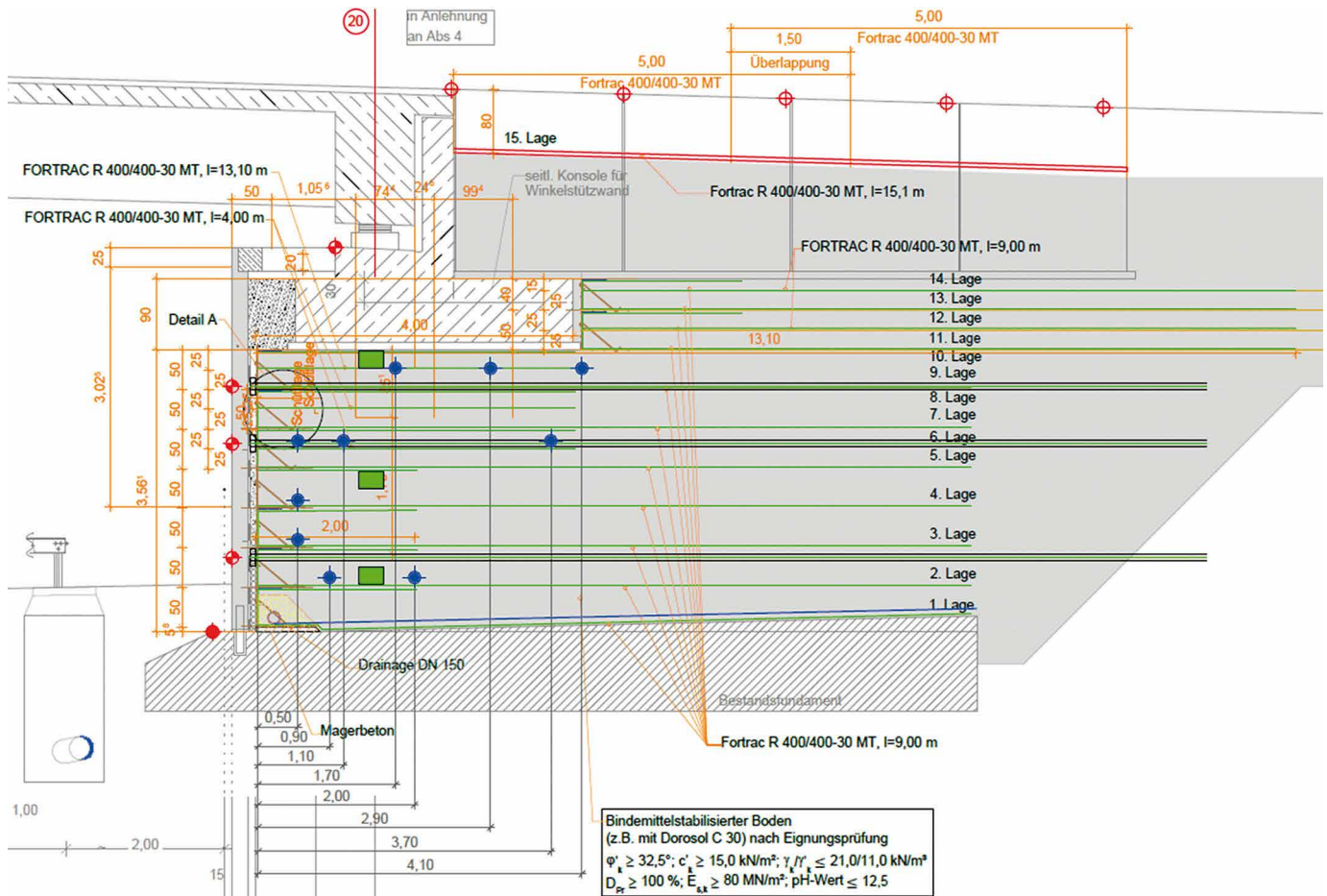


Bild 11 Messstellenplan
Measuring point plan

- 3 Hinterfüllung Auflagerbank
- 4 Aufsetzen des Brückenüberbaus
- 5 Messung mit Ausbaulasten ohne Verkehrslasten
- 6 Probelastung des Brückenüberbaus (ca. ½ Jahr nach Verkehrsfreigabe)

Weitere Messungen sollen zu folgenden Ereignissen durchgeführt werden:

- 7 1 Jahr nach Verkehrsfreigabe
- 8 3 Jahre nach Verkehrsfreigabe

Die bisherigen geodätischen Messungen sind in Bild 12 dargestellt. Die drei Messpunkte befinden sich auf dem Bestandsfundament und zeigten bislang Setzungen von lediglich 2–3 mm, die damit deutlich unterhalb der Prognose liegen.

Aus den geodätischen Messungen des Auflagerbalkens lassen sich Verformungen von wenigen Millimetern erkennen. Unter der Annahme, dass der Auflagerbalken ein in sich starres Bauteil ist, wurden nach der sechsten Messphase geringe Schiefstellungen des Auflagerbalkens in seiner Längsachse von ca. 5 mm aufgenommen.

Die Ergebnisse der geodätischen Messungen werden durch die Messungen der Horizontalinklinometer bestätigt. Ferner zeigt sich, dass der Auflagerbalken – resultie-

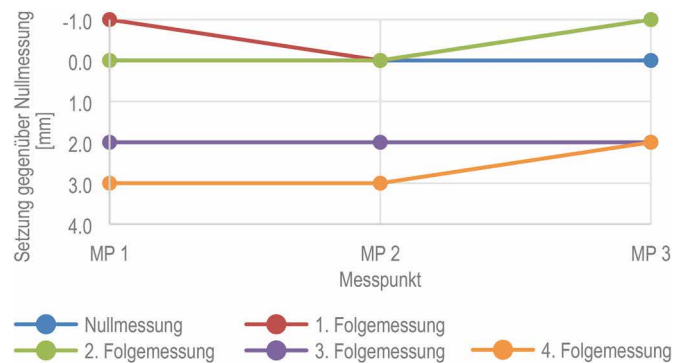


Bild 12 Ergebnisse der geodätischen Messungen auf dem Bestandsfundament
Results of the geodetic measurements on the existing foundation

rend auf der ausmittigen Belastung – vorne größere Setzungen erfährt als seine Hinterkante. Die aufgenommene Schiefstellung des Horizontalinklinometers, welches 50 cm unter dem Auflagerbalken angeordnet wurde, beträgt im maßgeblichen Bereich unter dem Bauteil ca. 2 mm. Auch dieser Wert liegt deutlich unterhalb der Prognose.

In Bild 13 sind die bisherigen Ergebnisse der Spannungsmessungen in den ersten fünf Messphasen aufgetragen. Dargestellt sind die in den unterschiedlichen Höhen der KBE gemessenen vertikalen Bodenspannungen, wobei

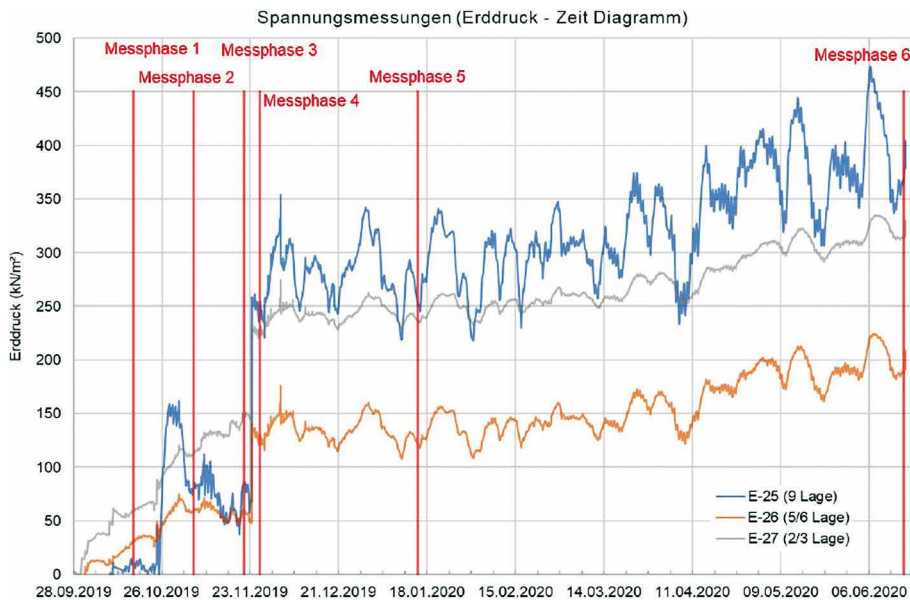


Bild 13 Ergebnisse der vertikalen Spannungsmessungen
Results of the vertical stress measurements



Bild 14 Einheben des Überbaus
Lifting the bridge superstructure

der obere Erddruckgeber (neunte Bewehrungslage) dicht unterhalb des Auflagerbalkens angeordnet ist (Bild 11).

Deutlich erkennbar ist der Anstieg der vertikalen Bodenspannung durch das Einheben des Überbaus (Bild 14) in Messphase 4 (Bild 13). Hier wurden vertikale Bodenspannungen von 350 kN/m^2 gemessen, was in etwa dem rechnerischen mittleren charakteristischen Sohldruck von 368 kN/m^2 entspricht.

Die Ergebnisse der Messungen der Geogitterdehnungsaufnehmer sind in Bild 15 dargestellt. Bei der Auswertung wurden die Messwerte berücksichtigt, welche nach einer Überschüttung und Verdichtung des Füllbodens von 50 cm aufgezeichnet wurden. Während des weiteren Aufbaus der KBE bis zur Betonage des Auflagerbalkens wurden Dehnungen zwischen 0,02 und 0,09 mm gemessen, wobei die geringsten Dehnungen an den Geogittern in der unteren Bewehrungslage und die größten Dehnungen an den Geogittern der oberen Bewehrungslage gemessen

wurden. Nach dem Einhub des Überbaus wurden wieder erwarten keine Dehnungsspitzen, sondern ein kurzfristiges Stauchen der Messgeber aufgenommen.

Ab Messphase 5 stellt sich in allen Bewehrungslagen zunächst ein konstanter Wert der Dehnungen ein. Ab April ist ein leichtes Zurückgehen der Dehnungen zu verzeichnen, welches sich an den oberen Bewehrungslagen ausgeprägter darstellt als an den unteren.

Die vergleichsweise größten Dehnungen wurden mit einem Maximum von 0,15 mm an den Geogittern unmittelbar unter dem Auflagerbalken gemessen. Hinsichtlich der Verteilung der Dehnungen in einer Bewehrungslage zeigt sich, dass die vorderen Messgeber größere Werte zeigten als diejenigen weiter hinten in der KBE-Konstruktion. Die größte Differenz in einer Lage beträgt ca. 0,10 mm. Die gemessenen Dehnungen des vorne installierten Messgebers sind dort um das Dreifache höher als die des hinteren Messgebers.

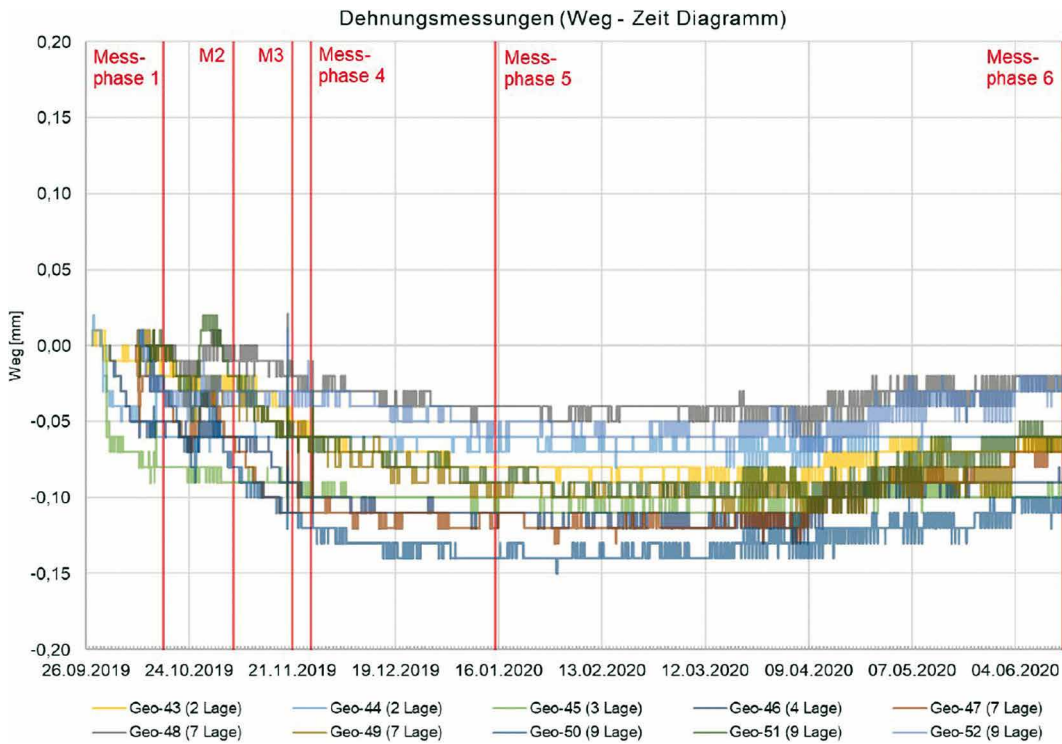


Bild 15 Ergebnisse der Geogitterdehnungsmessungen
Results of the geogrid strain measurements

Aus den gemessenen Dehnungen kann unter Berücksichtigung des Kraft-Dehnungsverhaltens der Geogitter auf die wirksamen Zugkräfte geschlossen werden. Neben den Herstellerangaben wurden hierfür die Ergebnisse zusätzlich durchgeführter Zugversuche herangezogen, um das verhältnismäßig geringe Dehnungsniveau berücksichtigen zu können. Demnach ergeben sich rechnerische Zugkräfte in Höhe von 6 kN/m, welche etwa 3 % der Bemessungszugfestigkeit der Geogitter entsprechen.

7 Zusammenfassende Beurteilung

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse zeigt sich, dass KBE-Brückenwiderlager als dauerhaftes Bauwerk eine mögliche Alternative zu gängigen Bauweisen darstellen, da sie mit herkömmlichen Erdbaugeräten schnell und kostengünstig hergestellt werden können. Zwischen dem Abbruch des Bestandsbauwerks und dem Einhub des Brückenüberbaus betrug die Bauzeit rd. neun Wochen. In dieser Zeit war der Verkehr der BAB A 3 nur an zwei Sperrwochenenden für den Abbruch des Bestandsbauwerks und den Einhub des Überbaus beeinträchtigt. Während der restlichen Bauzeit erfolgte durch die sehr dicht neben der Autobahn liegende Baumaßnahme kein Eingriff in den Verkehr (Bild 16), d. h., der Verkehr konnte ohne jegliche Verkehrsbeschränkungen durch die Baustelle geführt werden.

Obwohl es sich bei KBE-Konstruktionen um duktile Bauteile handelt, zeigen die laufenden Messungen, dass die bewehrten Erdkörper in Hinblick auf übliche Verformungsbegrenzungen des Brückenbaus als Widerlager ge-



Bild 16 Aufbau des KBE-Brückenwiderlagers ohne Eingriff in den fließenden Verkehr auf der Autobahn
Construction of the KBE bridge abutment without interfering with the flow of traffic on the highway

eignet sind. Überdies ist die Bauweise ressourcenschonend und weist im Vergleich zu herkömmlichen Bauweisen einen geringen CO₂-Output auf. Nicht zuletzt sind KBE-Konstruktionen voll rückbaubar, was einen entscheidenden Vorteil bei Ersatzneubauten oder Erweiterungen darstellt.

8 Ausblick

Wie in den Abschn. 5, 6 aufgezeigt wird, wurden die bisher tatsächlich eingetretenen Verformungen durch die Verformungsprognosen mittels FEM deutlich überschätzt. Weiterer Forschungsbedarf besteht daher v. a. in der Abbildung von Verformungsprognosen unter Berücksichtigung der Interaktion zwischen Boden und Geogitter.

Um weitere Erkenntnisse im Hinblick auf die Praxistauglichkeit der Bauweise KBE-Widerlager und über das Verformungsverhalten zu gewinnen, sollten möglichst weitere Pilotprojekte umgesetzt werden. Im Zuge dieser könnten die neu gewonnenen Erkenntnisse aus dem Pilotprojekt Stokkumer Straße angewandt und offene Fragestellungen, etwa das Verformungsverhalten bei stärkerer Verkehrsbelastung, besser beantwortet werden.

Im Zuge weiterer Pilotprojekte sollte auch eine Optimierung der Lage, Anordnung und Ausbildung der Auflagerbalken, insbesondere der Abstand von Auflagerbalken

zu Vorderkante der KBE, erfolgen. Ebenso könnten andere Gestaltungsmöglichkeiten der seitlichen Böschungskegel sowie Alternativen zur Frontverkleidung der KBE (Facing), etwa mit Gabionen, umgesetzt und deren Praxistauglichkeit untersucht werden.

Grundsätzlich ist auch der Einsatz von Widerlagern aus KBE auf gering tragfähigen Böden möglich, wobei die Verträglichkeit der Verformungen vom Übergang der KBE-Konstruktion zum Hinterfüll- und dem Dammbereich mit ausreichender Sicherheit nachzuweisen sind.

Literatur

- [1] DIN EN 1992-1-1:2011-01 (2011) *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Berlin: Beuth. Ausgabe Jan. 2011.
- [2] DIN EN 1994-2:2010-12 (2010) *Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Teil 2: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für Brücken*. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010.
- [3] RE-ING (2016) *Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten*. Bonn: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- [4] TP BF-StB (2010) *Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, Teil B 11.3 – Eignungsprüfung bei Bodenverbesserung mit Bindemitteln*. Köln: FGSV.
- [5] ZTV E-StB 17 (2017) *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau*. Köln: FGSV.
- [6] DIN EN 1997-1:2014-03 (2014) *Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln*. Berlin: Beuth. Ausgabe März 2014.
- [7] DIN 1054:2010-12 (2010) *Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1*. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010.
- [8] EBGeo (2010) *Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen*. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. [Hrsg.], 2. Aufl. Berlin: Ernst & Sohn.
- [9] DIN 4017:2006-03 (2006) *Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstands von Flachgründungen*. Berlin: Beuth. Ausgabe März 2006.
- [10] DIN 4084:2009-01 (2009) *Baugrund – Geländebruchberechnungen*. Berlin: Beuth. Ausgabe Jan. 2009.
- [11] DIN EN 1992-4:2019-04 (2019) *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 4: Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton*. Berlin: Beuth. Ausgabe Apr. 2019.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Placzek (Korrespondenzautor)
dietmar.placzek@ele-e.de
c/o ELE Beratende Ingenieure GmbH
Susannastraße 31
45136 Essen

Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn
gero.marzahn@bmvi.bund.de
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI
Robert-Schumann-Platz 1
53175 Bonn

Dipl.-Ing. Jörg Kranz
joerg.kranz@heilkamp-eus.de
Heilkamp Erd- und Straßenbau GmbH
Wilhelmstr. 98
44649 Herne

Dipl.-Ing. Thomas Oehler
thomas.oehler@strassen.nrw.de
Landesbetrieb Straßenbau NRW
Wildenbruchplatz 1
45888 Gelsenkirchen

Zitieren Sie diesen Beitrag

Placzek, D.; Marzahn, G.; Kranz, J.; Oehler, T. (2022) *Brückenwiderlager aus geokunststoffbewehrter Erde (KBE) – Alternative für den Neubau und Ersatzbau von Brückenbauwerken*. Bautechnik 99, H. 2, S. 123–133. <https://doi.org/10.1002/bate.202100002>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 12. Januar 2021; angenommen: 24. September 2021.