

Erdfallüberbrückung mit Geokunststoffen im Netz der Deutschen Bahn

Auch für die Sicherung von Bahnanlagen in Erdfallgebieten sind Geokunststoffbewehrungen eine wirtschaftliche Alternative.

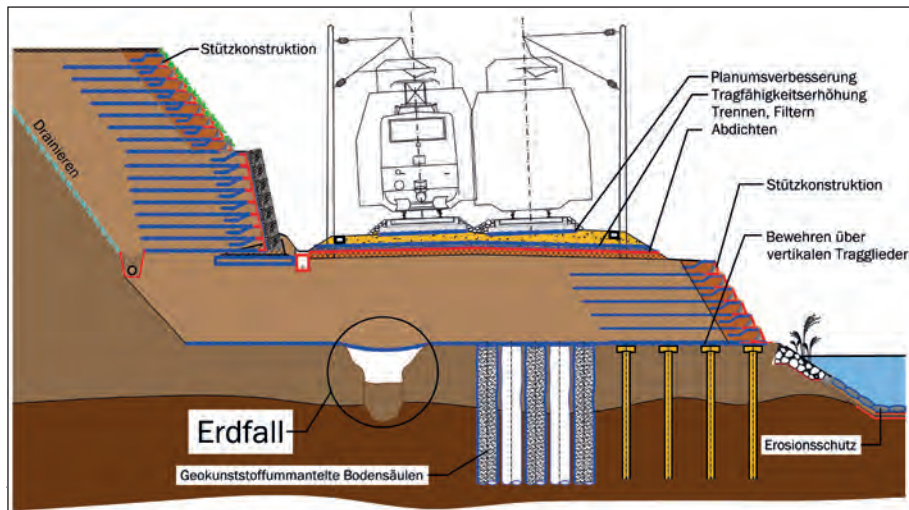


Abb. 1: Anwendungsmöglichkeiten für Geokunststoffe im Eisenbahnbau

Hartmut Hangen
Jürgen Baumbusch

Geokunststoffe im Eisenbahnbau

Der technisch und ökonomisch erfolgreiche Einsatz von Geokunststoffen zur Lösung verschiedenster Aufgabenstellungen in der Geotechnik, der Umwelttechnik sowie dem Wasserbau ist schon vielfach publiziert worden. Den Eisenbahnbau betreffend zeigt Abb. 1 schematisierte Anwendungsfälle.

Im vorliegenden Beitrag wird die Verwendung geosynthetischer Bewehrungen zur

Teil- oder Vollsicherung von Verkehrswegen gegenüber Erdrutschen behandelt. Ausreichend hohe Zugfestigkeiten, Dehnsteifigkeiten sowie die hohe Duktilität von Geokunststoffbewehrungen sind diesbezüglich die maßgeblichen technischen Parameter.

Erdfallsicherungen

Die Existenz von Erdfällen und deren Bedeutung für bautechnische Fragestellungen finden in der Öffentlichkeit in aller Regel nur untergeordnete Beachtung. Dies verkehrt sich jedoch ins Gegenteil, wenn Verkehrswege betroffen, die öffent-

liche Sicherheit gefährdet und der Verkehr beeinträchtigt sind oder sogar zum Stillstand kommen. So war ein Hohlraum, der sich aufgrund von Hinterlassenschaften des Ruhrkohlebergbaus direkt unter dem Essener Hauptbahnhof gegen Ende 2013 gebildet hatte, Grund für eine mehr als einwöchige Unterbrechung des gesamten Schienenverkehrs einer der meist befahrenen Strecken Deutschlands.

In anderen Regionen entstehen Erdfälle durch Karstprozesse, insbesondere sind hier Sachsen, Thüringen und Baden-Württemberg zu nennen.

Ursachen und Erscheinungsformen

Die Entstehung von Hohlräumen im Untergrund kann verschiedene Ursachen haben. Einerseits können diese durch Aktivitäten wie Bergbau, Gas- und Ölförderung oder Grundwasserentnahme und -rückführung verursacht werden. Andererseits können auch natürliche Prozesse durch lösliches kreide-, gips- oder salzhaltiges Gebirge der Grund sein. Absenkungen an der Oberfläche treten dann auf, wenn z. B. Verbaue von Abbaustrecken altersbedingt versagen oder erodierte Hohlräume eine kritische Größe erreichen und überlagernde Bodenschichten keine ausreichende Mächtigkeit oder Festigkeit mehr haben, diese zu überbrücken. Abb. 2 zeigt beispielhaft einen im Gipskarst entstandenen und bis in den Fahrweg hochgebrochenen Hohlraum, Abb. 3 zeigt schematisch die Entstehung eines Erdfalls und das Prinzip einer Sicherung mit geosynthetischer Bewehrung.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Erscheinungsbild eines Erdfalles an der Geländeoberfläche hängt maßgeblich von den vorherrschenden Umgebungsbedingungen ab. Typisch und bekannt sind kreisrunde bzw. ovale Öffnungen oder Spalten, wie sie z. B. in Abb. 9 dargestellt sind. Durchmesser und Ausbildung eines Trichters werden dabei durch die Beschaffenheit der oberflächennahen Bodenschichten geprägt (Abb. 4).

Konzepte zur Sicherung und Überbrückung von Erdfällen

Die Konzepte zur Sicherung und Überbrückung von Erdfällen können vielfältig sein



Abb. 2: Erdfall an der S-Bahn-Strecke Stuttgart - Kornthal

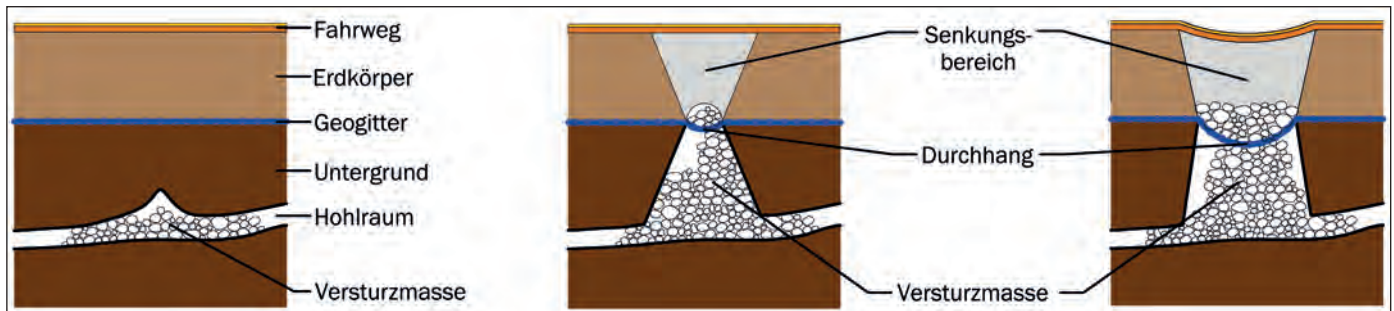


Abb. 3. Entstehung einer Absenkung und geosynthetisches Überbrückungssystem

Quelle: [1]

und reichen von der Sanierung der Hohlräume durch Injektionen mit verschiedenen Füllstoffen bis hin zur Errichtung von umfangreichen Stahlbetonkonstruktionen. Zudem können Sicherungen so konzipiert werden, dass sie den regulären Verkehr entweder permanent sicherstellen oder alternativ nur für einen kürzeren Zeitraum wirksam sind, sodass weitergehende Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen eingeleitet werden können.

Tab. 1 zeigt beispielhaft einen qualitativen Vergleich verschiedener Varianten zur Sicherung und Sanierung. Es zeigt sich, dass Überbrückungsvarianten mit Geokunststoffen gegenüber anderen Verfahren Vorteile bieten. Grundsätzlich gilt, dass Erdfallüberbrückungen mit geosynthetischer Bewehrung besonders im Hinblick auf außergewöhnliche Bemessungssituationen, z.B. bei einer Überschreitung des prognostizierten Bemessungsdurchmessers eines Erdfalles, einen hohen Grad an Sicherheit bieten. Dies ist auf die deutlich höhere Duktilität von Geokunststoffen gegenüber z.B. Stahl oder Stahlbeton zurückzuführen.

Bemessung einer Erdfallsicherung mit geosynthetischer Bewehrung

Da weder in Deutschland noch auf europäischer Ebene einschlägige Normen vorliegen, wird für die Planung und Bemessung von geosynthetisch bewehrten Erdkör-

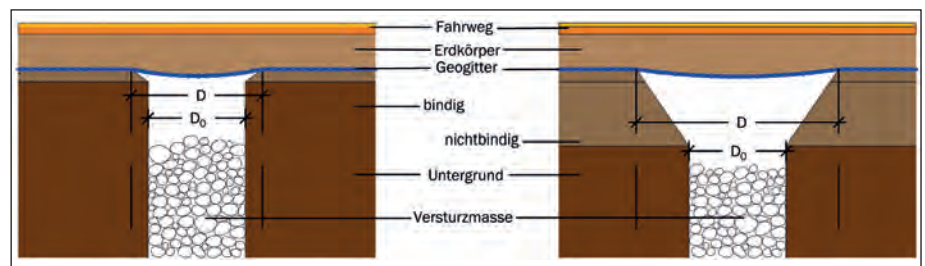


Abb. 4: Trichterbildung in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Oberbodens, links bindiger Boden, rechts nicht bindiger Boden

Quelle: [2]

pern in Deutschland auf die Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO) der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT) [2] zurückgegriffen. Gemäß Kapitel 11 der EBGEO werden in Abhängigkeit von den geometrischen und geotechnischen Randbedingungen unterschiedliche Tragwerksmodelle empfohlen. Grundsätzlich unterscheidet man reine Membrantragwirkung, bei der alle Einwirkungen über die Geokunststoffbewehrung abgetragen werden müssen, und sogenannte Gewölbemodelle (siehe z. B. Abb. 5 und 6 sowie [3, 4]).

Eine detaillierte Beschreibung zur Differenzierung und Auswahl unterschiedlicher Berechnungsmodelle findet sich in den EBGEO, sodass an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen wird.

Ausgewählte Referenzprojekte

Im Folgenden werden zwei von drei bisher im Netz der DB AG realisierte Sicherungsmaßnahmen vorgestellt: die „Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit der S-Bahn Strecke Stuttgart – Korntal (Str. 4810)“ und die Sanierung „Frose – Nachterstedt (Str. 6344)“. Bezüglich des Projektes „NBS Erfurt – Leipzig/Halle, Knoten Gröbers“ wird auf [3 und 4] verwiesen. Eckdaten aller drei Projekte sind der Vollständigkeit halber in Tab. 2 zusammengestellt.

Referenzprojekt Stuttgart-Zuffenhausen – Calw, Bf. Korntal

Nach heftigen Regenfällen im Juli 2009 wurden im Bahnhofsbereich der S-Bahn-Strecke 4810 Stuttgart-Zuffenhausen – Calw auf einer Länge von etwa 600 m 14 Erdfälle angetroffen. Die Durchmesser der Erdfälle

Sicherungskonzept	Klassifizierung*						
	Machbarkeit (technisch)		Duktilität	Konstruktion		Umwelteinfluss	Zuverlässigkeit/Referenzen
	Hohlraumdurchmesser < 4 m	Hohlraumdurchmesser >= 4 m		Kosten	Zeit		
Engmaschige Erkundung und Verwahrung (Injektion)	++	o	-	o	o	+	-
Tiefenverdichtung	+	o	-	o	-	o	-
Überbrückung mit geosynthetisch bewehrten Gründungspolstern auf vertikalen Traggliedern	+	+	-	--	-	o	++
Überbrückung mit Stahlbetontragkonstruktion	++	++	-	--	-	o	++
Überbrückung mit geosynthetischer Bewehrung	++	-	+	+	+	+	++
Überbrückung mit Edeldstahlgeflecht	+	-	-	-	o	+	-

Tab. 1: Konzepte zur Überbrückung/ Instandsetzung von Erdfällen

* Klassifizierung: ++ sehr gut, + gut, o durchschnittlich, - schlecht, -- sehr schlecht

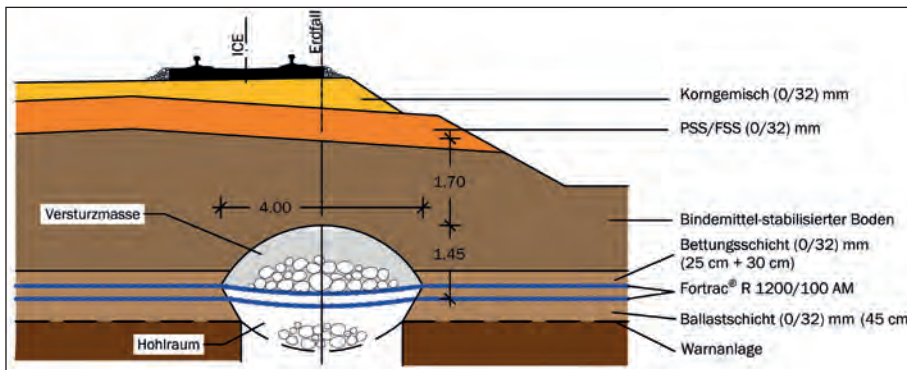


Abb. 5: Großversuch zur Verifizierung einer Erdfallsicherung auf Grundlage eines Gewölbemodells, NBS Knoten Gröbers



Abb. 6: Großversuch zur Verifizierung einer Erdfallsicherung auf Grundlage eines Gewölbemodells, NBS Knoten Gröbers

betragen zwischen von 0,3 m bis 1,0 m und waren Folge von Auslaugungsvorgängen im anstehenden Gipskeupers. Die Abb. 2 und 9 zeigen den Zustand vor der Instandsetzung und nach dem Ausbau des vorhandenen Streckenabschnitts.

Aufgrund der beengten Platzverhältnisse, welche eine Ausdehnung des bewehrten Erdkörpers für eine seitliche Verankerung nicht ermöglichen, war es erforderlich, innerhalb eines Berechnungsquerschnittes zwei Tragwerksmodelle zu untersuchen. Im zentralen Bereich des Bemessungsquerschnittes wurde ein biaxialer Lastabtrag vorausgesetzt und gemäß EBGEO mit dem sogenannten B.G.E.-Verfahren nachgewiesen. Für potenzielle Erdfälle im Randbereich wurde hingegen die R.A.F.A.E.L.-Methode verwendet, welche einen Lastabtrag ausschließlich in einer Richtung, üblicherweise in Längsrichtung der Trasse, zugrunde legt.

Referenzprojekt Frose – Nachterstedt

Auf der Strecke 6344 Halle (Saale) – Vienenburg war es erforderlich, die Bestandsstrecke des Regionalbereichs Südost im Bereich Frose – Nachterstedt infolge starker Auffälligkeiten in der Gleislage von Grund auf zu sichern. Nach Einstellung des nahegelegenen Bergbaubetriebs im Jahr 1990 und dem Wiederanstieg des Grundwasserspiegels ab dem Jahr 1999 lag es nahe, dass nicht oder nicht ordnungsgemäß verfüllte oberflächennahe Abbaustrecken Ursache hierfür waren. Beim dramatischen Einsturz einer Uferböschung des benachbarten Concordia-Sees wurden nicht nur die Fachleute, sondern auch die breite Öffentlichkeit auf die vorherrschende geotechnische Situation aufmerksam. Zum Schutz des Gleiskörpers in dem betroffenen Gebiet wurde daher eine grundlegende Instandsetzungsmaßnahme mit Tiefenverdichtung und nachfolgender Installation einer geogitterbewehrten Erdfallsicherung durchgeführt.

Abb. 10 zeigt die schematische Darstellung der durchgeführten Arbeitsschritte und das Prinzip des ausgeführten Sicherungskonzeptes.

Bauausführung Ausrollen und Spannen der Geogitterbewehrung

Bei der Bemessung von Erdfallsicherungen mit geosynthetischer Bewehrung spielt die Dehnsteifigkeit der Bewehrungsmaterialien eine elementare Rolle, um die Gebrauchstauglichkeit des Systems zu beeinflussen. Um sicherzustellen, dass die bei der Standsicherheitsberechnung vorausgesetzten Festigkeitseigenschaften auch in die Praxis umgesetzt werden können, die Bewehrung also unmittelbar nach Auftreten eines Erdfalls aktiviert werden kann,

Baumaßnahme	NBS EF – L/H Knoten – Gröbers	Str. 4810 Stuttgart – Korntal	Str. 6344 Frose – Nachterstedt
Streckenlänge	800 m	600 m	1200 m
Entwurfsgeschwindigkeit v_E	250 km/h	120 km/h	160 km/h
Ursache für Erdfall	Bergbau	Sulfat-Karst	Bergbau
Bemessungsdurchmesser	4,0 m	1,2 m	3,0 m
geplante Beanspruchungsdauer	3 Monate	120 Jahre	12 Monate
Geogitterbewehrung	1200/100 AR (quer) 1200/100 AR (längs)	R 400/80 T (quer) R 600/120 T (längs)	1200/100 AR (2 x längs)
Polymer	Aramid (AR)	Polyester (PET)	Aramid (AR)
Kurzzeitfestigkeit in MD	1200 kN/m	400 kN/m 600 kN/m	1200 kN/m
Bruchdehnung in MD	~ 3%	~ 9,5%	~ 3%
Schütthöhe über GG*	3,50 m	1,55 m	2,75 m
Dammbaumaterial	Kies (0/16) mm Zementstabilisierung	Brech Korn (0/63) mm	Brech Korn (0/45) mm
Bemessungskonzept	Membran / Gewölbe (FEM)	Membran (R.A.F.A.E.L. and B.G.E.)	Membran (R.A.F.A.E.L.)
Baujahr	2000...2002	2010	2012

*) Abstand zwischen unterstem Geogitter und Schienenoberkante

Tab. 2: Eckdaten ausgeführter Erdfallsicherungen mit geosynthetischer Bewehrung

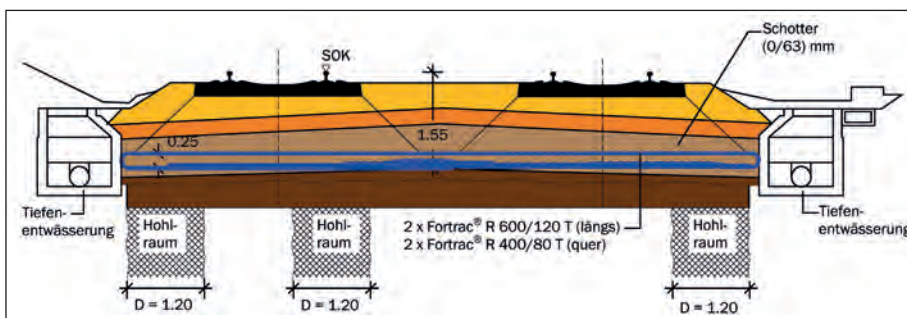


Abb. 7: Regelquerschnitt Referenzprojekt S-Bahn Stuttgart – Korntal

ist bei der Bauausführung mit besonderer Sorgfalt vorzugehen. In Stuttgart – Kornal verwendete der beauftragte Unternehmer eine eigens für die Verlegung hergestellte Schalung, um den erforderlichen Rückumschlag hochwertig ausführen zu können. Abb. 11 zeigt die Vorgehensweise zum Anspannen und Fixieren des Geogitterrückumschlags.

Im Projekt Nachterstedt gestaltete sich der Einbau der Geogitterbewehrung einfach, weil die Bewehrungsbahnen nur in Längsrichtung zu verlegen waren. Ferner erwies sich ein vom Geogitterhersteller zur Verfügung gestellter Verlege- und Spannbalken als effizientes Hilfsmittel.

Überprüfung der Einbaubeschädigung

Als Teil der Nebenbedingungen für Zustimmungen im Einzelfall, ZiE, aber auch der allgemeinen Zulassung von Geokunststoffbewehrungen, sind üblicherweise vorab Feldversuche zur Untersuchung der Einbaubeschädigung durchzuführen. Sowohl in Kornal als auch in Nachterstedt ergaben die Einbaubeschädigungsversuche Festigkeitsverluste im Kontakt mit scharfkantigem Schottermaterial von maximal 15 %.

Fazit

Durch Erdfälle verursachte Schäden an Verkehrswegen können gravierende Behinderungen im privaten und öffentlichen Verkehr verursachen. In ehemaligen Bergbauregionen, wie dem Ruhrgebiet oder Regionen Thüringens und Sachsens, sind Erdfälle bekannt, welche sich nach der Stilllegung des Bergbaubetriebes eingestellt haben. Hier ist zukünftig noch mit einer Zunahme solcher Phänomene zu rechnen. In anderen Regionen treten Erdfälle, Bodenabsenkungen und Hohlräume aufgrund von Karstprozessen auf.

Die Überbrückung von Hohlräumen mithilfe von Geokunststoffbewehrungen hat sich

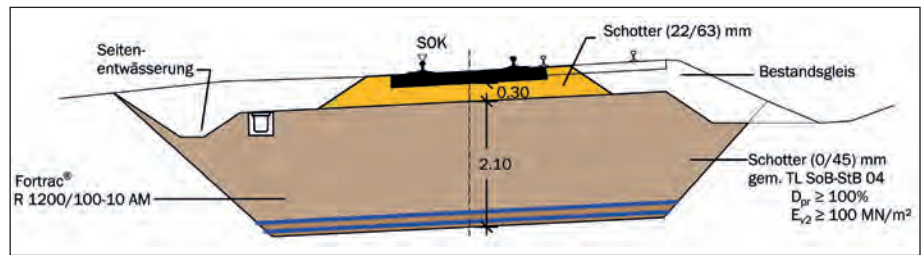


Abb. 8: Regelquerschnitt Referenzprojekt Frose – Nachterstedt



Abb. 9: Gipskarstoberfläche nach dem Freilegen und Beräumen, Stuttgart – Kornal

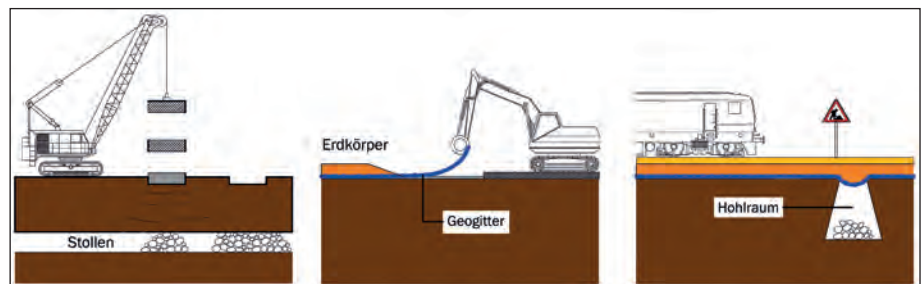


Abb. 10: Sicherungskonzept für Frose – Nachterstedt: 1.: Tiefenverdichtung, 2.: Verlegung hochzugfestes Geogitter, 3.: Bemessungssituation: Erdfallüberbrückung

auch für Schienenverkehrswege nicht nur als technisch machbar, sondern auch als wirtschaftlich vorteilhafte Sicherungsvariante erwiesen. Das Referenzprojekt Stuttgart –

Kornal zeigt, dass Erdfallsicherungen mit Geokunststoffen bei „moderaten“ Bemessungsdurchmessern gleisnah mit einem Abstand von nur 1,60 m zwischen der Be-

BUG
VERKEHRSBAU AG

BUG VERKEHRSBAU AG
Landsberger Str. 265/Haus M, 12623 Berlin
Tel.: 030 818 70 00, Fax: 030 818 70 01 90

Niederlassung Ulm
Danziger Straße 1, 89250 Senden
Tel.: 07307 927 39-0, Fax: 07307 927 39 29

Niederlassung Dresden
Sachsenallee 5, 01723 Kesselsdorf
Tel.: 035204 79 11 11, Fax: 035204 79 11 29

www.bug-ag.de, info@bug-ag.de

Wege in die Zukunft

Komplettlösungen im Gleis-, Tief-, Ingenieur- und Kabelbau nach dem Prinzip „Alles aus einer Hand“.

- Eisenbahnbau, Tram, Metro
- Gleisbau, Weichenbau, Schienenumbau
- Erdbau, Kabeltiefbau, Entwässerung
- Durchlässe, Bahnsteige, Bahnübergänge
- Ingenieur- und Brückenbau
- Kommunikations- und Elektrotechnik
- Videoüberwachungsanlagen
- LWL-Verkabelungen



Abb. 11: Vorgehensweise zum Anspannen und Fixieren eines Geogitterrückumschlags



Abb. 12: Feldversuch zur Bestimmung der Einbaubeschädigung nach Überfahung mit schweren Erdbaugeräten, Projekt Frose – Nachterstedt

wehrungsebene und der Schienenoberkante ausgeführt werden können. Hinsichtlich der Bauzeit und den Kosten haben dabei schlanke Konstruktionen mit besonders hochzugfester Bewehrung gegenüber solchen, die eine Bodengewölbbildung voraussetzen. Um hierbei den hohen Anforderungen des Eisenbahnverkehrs an die Gebrauchstauglichkeit einer Erdfallsicherung gerecht zu werden, kann es erforderlich sein, für die Herstellung der Geokunststoffbewehrung Werkstoffe wie Aramid und Polyvinylalkohol zu verwenden. Bewehrungen aus Polyester dagegen sind zur Überbrückung von Hohlräumen mit geringen Durchmessern geeignet. Im Vergleich zu konventionellen Bauweisen können diese Lösungen als technisch gleichwertige Alternative angesehen werden, häufig stellen sie die kostengünstigste Variante dar.

LITERATUR

[1] Möller, B.; Graf, W.; Hoffmann, A.: Berechnungsmodelle für Geotextilien bei Erdfall, Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik, TU Darmstadt, Heft 58, 2002
 [2] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT), Arbeitskreis 5.2: Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO), Ernst und Sohn, 2010
 [3] Alexiew, D.; Elsing, A.; Ast, W.: FEM-Analysis and Dimensioning of a Sinkhole Overbridging System for High-Speed Trains at Gröbers in Germany, Proc. 7th Int. Conf. on Geosynthetics, pp. 1167-1172, 2002
 [4] Alexiew, D.; Ast, W.; Elsing, A.; Hangen, H.; Sobolewski, J.: Erdfallüberbrückungssystem Eisenbahnknoten Gröbers – zur Bemessung, Ausführungsplanung und Bauausführung, Sonderheft aus: 8. Informations- und Vortragsstagung über Kunststoffe in der Geotechnik, München, Februar 2003, Selbstverlag, S. 235-248



Dipl.-Ing. Hartmut Hangen

Leiter Technische Schulungen – International
 Huesker Synthetic GmbH, Gescher
 Hangen@huesker.de



Dr.-Ing. Jürgen Baumbusch

Geschäftsführender Gesellschafter
 Aquasoil Ingenieure & Geologen GmbH, Westheim
 j.baumbusch@aquasoil.de

Zusammenfassung

Erdfallüberbrückung mit Geokunststoffen im Netz der Deutschen Bahn

Die Verwendung geosynthetischer Bewehrungen zur Teil- oder Vollsicherung von Verkehrswegen gegen Erdenbrüche wird in Deutschland bereits seit mehr als 15 Jahren erfolgreich praktiziert. Ausreichend hohe Zugfestigkeiten, Dehnsteifigkeiten sowie die hohe Duktilität von Geokunststoffbewehrungen sind hierfür maßgebliche technische Parameter. Anhand von Referenzprojekten werden Erkenntnisse und Erfahrungen zur Anwendung von geosynthetischen Erdfallsicherungen im Netz der DB Netz AG dargestellt. Es kann bestätigt werden, dass geosynthetische Erdfallsicherungen im Vergleich zu konventionellen Bauweisen als technisch gleichwertige und ökonomisch vorteilhafte Alternative angesehen werden können.

Summary

Sinkhole bridging with geosynthetics in the network of Deutsche Bahn

The use of geosynthetic armourings for partially or fully securing transport routes against sinkholes has already been a successful practice in Germany for more than 15 years. Sufficiently high tensile strengths, axial stiffnesses as well as the high ductility of geosynthetic armourings are the relevant technical parameters in this area. On the basis of reference projects, the findings and experiences in the application of geosynthetic sinkhole bridgings in the network of DB Netz AG are outlined. It can be confirmed that geosynthetic sinkhole armourings can be considered as technically equivalent and economically advantageous alternatives in comparison to conventional construction methods.