

Geokunststoffe zur Sicherung von Verkehrswegedämmen

Dr. agr. Frank Flügge, HUESKER Synthetic GmbH

1 Einleitung

Sollen Verkehrswege auf ungünstigem Baugrund, wie organogenen oder feinkörnigen Böden bzw. zur Hohlraumbildung neigendem Baugrund errichtet werden, ist dies in der Regel mit deutlich erhöhtem Gründungs- und Zeitaufwand verbunden. Der Einsatz von Geokunststoffen kann diesen Aufwand begrenzen und teilweise sogar eine standsichere Herstellung des Dammes überhaupt erst ermöglichen.

Der vorliegende Beitrag soll die dabei üblichen Anwendungen insbesondere in Hinblick auf die textiltechnischen Besonderheiten und spezifischen Regelungen näher beleuchten.

Wann ist eine Gründung auf Geokunststoffen notwendig/sinnvoll?

- Bei Gefahr eines Geländebruchs
 - a) Als direkte alleinige Geländebruchsicherung
 - b) In Kombination mit Leichtbaustoffen
 - c) In Kombination mit Vertikaldräns
- Bei unzureichendem Widerstand gegen Spreizen an der Dammbasis
- Bei Dammverbreiterungen
- Bei Einsatz von vertikalen Traggliedern z.B.. vermörtelten oder geokunststoffummantelten Säulen
- Auf Tagebruch-gefährdetem Gelände
- (Sonderfall: Bei Gefahr des Abgleitens in böschungsparell, geschichteten Böschungen)

Geokunststoffe zur Sicherung von Verkehrswegedämmen haben vorrangig die Aufgabe einer Bewehrung zur Verbesserung der Standsicherheit und/oder der Begrenzung von Verformungen auf ein zulässiges Maß. Die ersten 4 oben aufgezählten Anwendungen sollen nachfolgend in einer kurzen zusammenfassenden Betrachtung der Möglichkeiten zur Gründung auf wenig tragfähigen Böden erläutert werden. Das Kapitel zu Erdfallsicherungen wird anschließend wegen seiner deutlich abweichenden Randbedingungen und Berechnungsansätze gesondert betrachtet. Im Vordergrund stehen hierbei bautechnische Aspekte aber auch das Aufzeigen von Grenzbereichen, in denen besondere Sorgfalt bei der Planung und Ausführung erforderlich wird.

2 Regelwerk/Nachweisführung

Fachspezifisch existieren Regelwerke für den Straßen- und Eisenbahnbau [1,2,3] sowie auch für Dammkörper, die im Zuge von wasserbaulichen Erdbaumaßnahmen [4] errichtet werden. Maßgeblich für die Entscheidung für eine bestimmte Gründungslösung sind die jeweils geltenden Randbedingungen und insbesondere auch Verformungsvorgaben. Für Geokunststoff-Bewehrungen ist seit 1997/2010 die DGGT-Empfehlung für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO) das maßgebliche Regelwerk in Deutschland. Es regelt detailliert die Nachweisführung für alle oben erwähnten Einsatzfälle.

3 Dammgründung auf wenig tragfähigem Untergrund

In [6] werden die folgenden möglichen Versagensmechanismen anschaulich dargestellt.

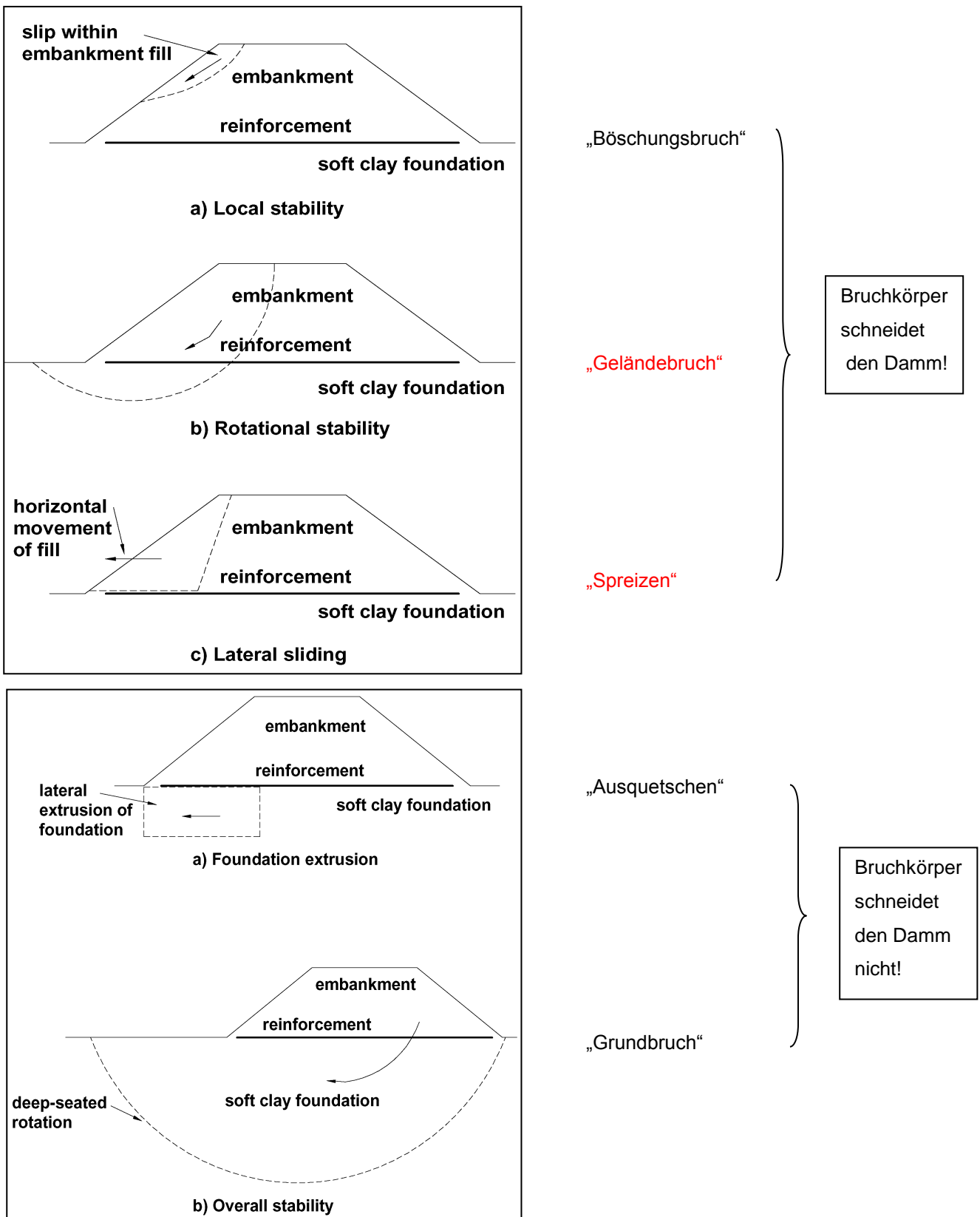


Abb. 1: Mögliche Bruchmechanismen bei „schwimmend“ gegründeten Dämmen in Anlehnung an [6]

Eine nachhaltige Verbesserung der Gründung eines schwimmenden Dammkörpers durch den Einsatz einer Bewehrung ist im Prinzip nur in Bezug auf den Geländebruch und das Spreizen des Dammes im Sohlbereich gegeben. Im Falle des Ausquetschens von Weichschichten unter dem Dammkörper oder in Hinblick auf eine mögliche Grundbruchgefahr sind Bewehrungen an der Dammbasis nur sehr begrenzt wirksam. Wichtig ist auch der Hinweis, dass Bewehrungen den Absolutbetrag der zu erwartenden Setzungen i.d.R. nicht verringern können, sondern nur zu einer Vergleichmäßigung der Setzungen beitragen und etwaige kleinräumige Schwächezonen überbrücken können. Entscheidend ist ihr positiver Einfluss auf die Standsicherheit insbesondere auch im Bauzustand und die Bauzeit infolge der höheren Belastbarkeit der Gründung. Dieser Effekt kann durch den Einsatz von Vertikaldräns zur Konsolidationsbeschleunigung noch deutlich verstärkt werden (Abb. 2).

Für den Fall, dass die Standsicherheit nur mit Geokunststoff-Bewehrung allein an der Basis nicht gewährleistet werden kann oder die zulässigen Setzungen auch durch den Einsatz des Überschüttverfahrens nicht eingehalten werden können, besteht die Möglichkeit durch den zusätzlichen Einsatz von Leichtbaustoffen wie z.B. EPS oder Schaumglas eine zufriedenstellende Lösung zu erreichen (Abb. 3).



Abb. 2: L 261 bei Loitz mit Basisbewehrung und vorab eingebrachten Vertikaldräns

Ein herausragendes Beispiel für den Einsatz aller o.g. Verfahren ist der Bau der BAB 26 von Hamburg nach Stade. Seit 2001 sind hier in mehreren Bauabschnitten bereits weit über 2,5 Mio. m² Bewehrung vorrangig in Form von Geweben unter schwimmend gegründeten Dämmen teilweise in Kombination mit Vertikaldränage oder dem Einsatz von Leichtbaustoffen eingesetzt worden (Abb. 4).



Abb. 3: Ortsumgehung Frankfurt/Oder, Dämme mit Basisbewehrung/ bewehrten 70° Böschungen und EPS im Kern (Quelle: Prospekt Rigips)



Abb. 4: BAB 26 Hamburg – Stade, Knotenpunkt L 111

Die ersten Voruntersuchungen für diese Gründungsvarianten erfolgten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen Bonn bereits beginnend 1981 in Form eines Versuchsdammes bei Rübke mit umfangreicher messtechnischer Auswertung und weiteren später folgenden baubegleitenden Messungen [7]. Dabei konnten viele Fragen in Bezug auf das Langzeitverhalten der Bewehrung, den Einfluss auf den Konsolidationsverlauf und die Verformungen, die Verteilung von Kräften bei mehrlagigen Bewehrungen und auch hinsichtlich der Beeinflussung benachbarter Bauwerke geklärt werden.

Weitreichende Möglichkeiten bestehen zur Sicherung von Versagungskörpern in der Dammschüttung selbst (vgl. Abb. 1,a) in Form lagenweise horizontal bewehrter Bodenschichten im Sinne der Kunststoff-Bewehrten-Erde (KBE) oder auch bei geschichteten Systemen im Zusammenhang mit gedichteten Böschungen gegen das Abgleiten einzelner Bodenschichten auf böschungparallelen Gleitflächen. Auch diese sind in [5] ausführlich beschrieben und sollen hier nicht weiter betrachtet werden.

Die Nachweisführung und Bemessung der erforderlichen Bewehrung erfolgt üblicherweise entsprechend DIN 1054 bzw. 4084 über das Verfahren mit kreisförmigen oder gradlinig begrenzten Bruchkörpern, wobei am Schnittpunkt mit der gedachten Bruchfuge ein zusätzlich rückhaltendes Moment aus der Bewehrung in Ansatz gebracht wird. Dieser sogenannte Bemessungswiderstand der Bewehrung ist durch Abminderung der Kurzzeitfestigkeit eines konkreten Bewehrungsmaterials mit verschiedenen Faktoren, die Einflüsse wie Beschädigung bei Einbau und Verdichtung, Kriechen, Dynamik und die Langzeitbeständigkeit berücksichtigen, zu ermitteln.

Das Hauptproblem bei der Verbreiterung eines bestehenden Dammkörpers auf einem problematischen Untergrund sind die dadurch verursachten neuen Setzungen im Anschüttbereich und ein ggf. seitliches Abdriften der Anschüttung bzw. Mitnahmesetzungen. Einige Lösungsansätze sind im „Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund“ (FGSV, 2010) dargestellt und in der folgenden Abbildung noch einmal aufgezählt. Die Möglichkeiten hier mit Geokunststoffen zu arbeiten, sind begrenzt und beschränken sich hauptsächlich auf die Fälle, in denen noch eine Verankerung mit dem Altdamm möglich ist. In Einzelfällen ist eine Gründung auf Geokunststoff-ummantelten Sandsäulen (GEC) als einer Art Baugrundverbesserung denkbar.

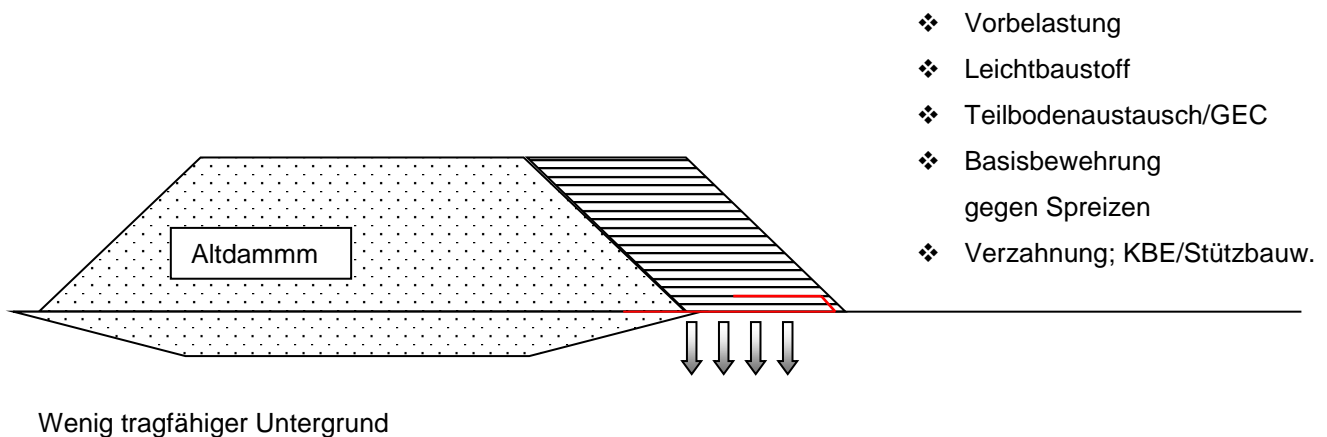


Abb. 5: Möglichkeiten bei einer Dammverbreiterung

Die in Abbildung 6 dargestellte Lösung wurde zur Sicherung eines Autobahndammes, an dessen Fußpunkt sich ein weit über 10 m tiefer Moorbereich befand, realisiert. Hier war zwingend eine Lagesicherung des Dammfußbereiches erforderlich, welche durch rückverankerte Pfahlreihen erreicht werden konnte.

Die doppelten Pfahlreihen bestanden aus Stahlrohren mit dazwischen angeordneten geotextilummantelten Sandsäulen, die insgesamt über Geogitter in den Damm zurück verankert wurden, um eine horizontale Verformung/ Verdrückung des Dammes in Richtung freie Moorfläche zu verhindern.



Abb. 6: Fußsicherung eines 15 m hohen Autobahndammes an der A 20 bei Tessin durch mit Geogitterbewehrung rückverankerte Pfahlreihen

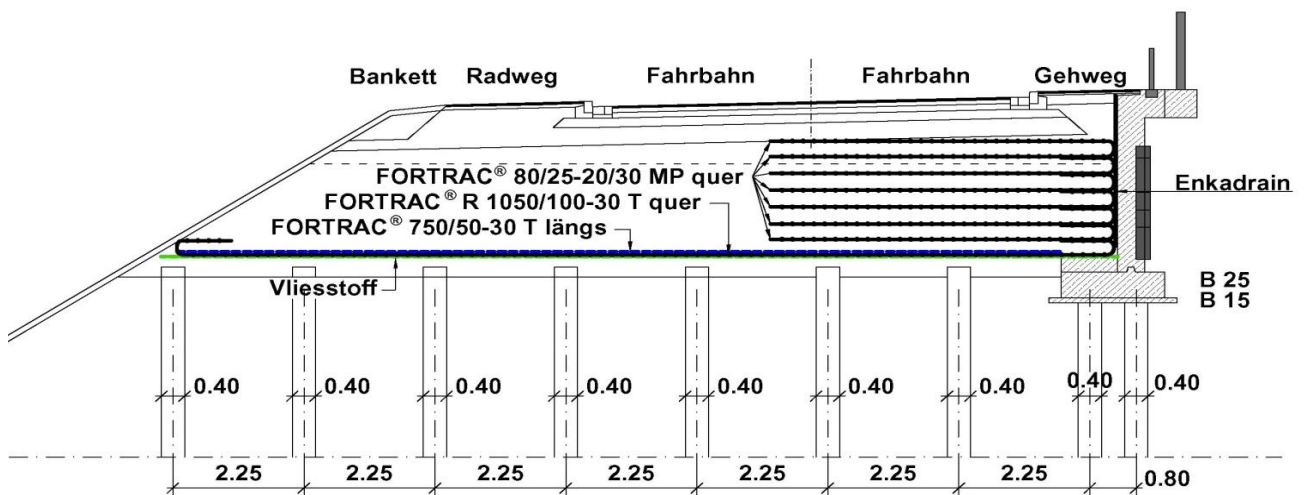


Abb. 7: Erneuerung einer Brückenanrampung auf organogenem Untergrund bei angrenzender Bebauung (B 105 Dassow, Vorentwurf)

Sinnvoll im Zuge von Dammverbreiterungen sind auch Stützbauwerke oder bewehrte Steilböschungen, die eine Errichtung des Dammes auf dem alten Grundriss oder zumindest einer reduzierter Gründungsfläche möglich machen (Abb. 6/7) und [9].

Wenn eine schwimmende Dammgründung aus geotechnischer Sicht oder wegen der zu großen Restverformungen inakzeptabel erscheint, kann die Gründung des gesamten Dammkörpers auf vertikalen Traggliedern und einem mit Geogittern bewehrtem Bodenpolster (Abb.7) als Alternative zur althergebrachten sogenannte Moorbrücke in Form einer auf Pfählen aufgelagerten Stahlbetonplatte ausgeführt werden. Soweit ein ausreichender zeitlicher Vorlauf gegeben ist, ist aus Sicht der Baukosten jedoch eine schwimmende Gründung ggf. kombiniert mit anderen Verfahren immer die Vorzugsvariante.

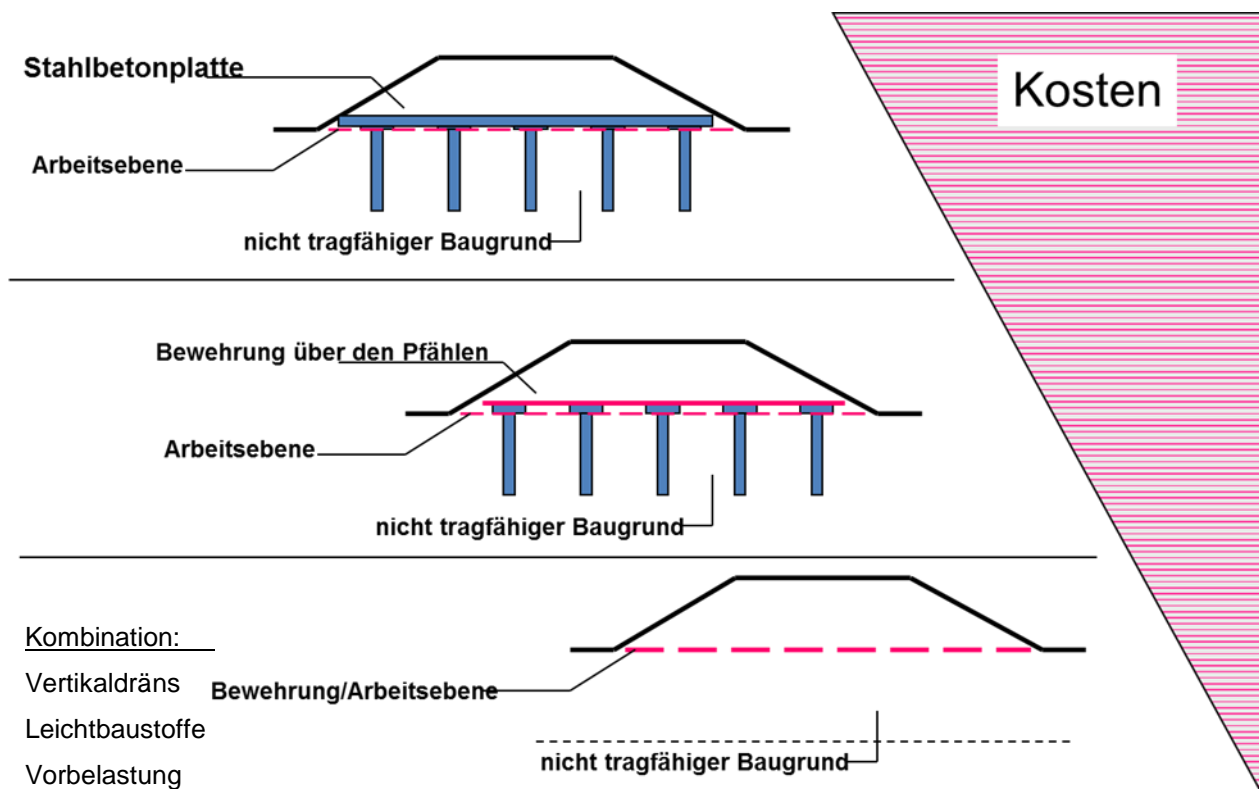


Abb. 8: Gründungsvarianten auf nicht ausreichend tragfähigem Baugrund und Baukosten

Ein durchgehendes Konzept zum Aufbau und der Nachweisführung geogitterbewehrter Tragschichten über vertikalen Traggliedern ist in der EBGEO im Kapitel 9 hinterlegt und kann im Zusammenspiel mit der ZTV-E im Straßenbau bzw. der RiL 836 im Bahnbau umgesetzt werden. Diese Bauweise zeichnet sich durch eine schnelle Bauausführung (keine Wartezeiten zur Konsolidierung) bei nahezu vernachlässigbaren Verformungen im Gebrauchszustand aus. Als vertikale Tragglieder sind bereits viele der gängigen Systeme wie vermörtelte Rüttelstopfsäulen, Säulen im Mixed-in-Place-Verfahren, Bohrpfähle, Ramppfähle und auch GEC in diesem Gründungskonzept verwendet worden.

Besondere Beachtung muss dem Aufbau des bewehrten Polsters speziell bei geringen Dammhöhen gewidmet werden, da diese infolge mangelnder Gewölbeausbildung zwischen den Tragglied-Auflagerbereichen anfällig für eine Überschreitungen der üblicherweise zulässigen Verformungen sind.

4 Erdfallsicherung

Gerade in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt sind Gefährdungen durch Erdfälle infolge von unterirdischen Hohlräumen ein ständiges Thema. Entsprechende Bilder aus der Presse sind sicher noch in guter Erinnerung. Allein im Jahr 2016 wurden hier 3 Straßenbaumaßnahmen mit Erdfallsicherung ausgeführt, so auf der BAB 72 bei Rötha, der B 7 bei Rodigast und der L 63 bei Calbe. Die Ursachen für die Entstehung dieser Hohlräume sind meist in früherer bergmännischer Aktivität oder in Form von erosivem Gestein wie Kalkstein/Karst zu finden. Durch allmähliches Einbrechen der überlagernden Bodenschichten können sich dann je nach geologischer Schichtung Erdfälle bis an die Geländeoberkante ausbilden. Diese so entstandenen „Löcher“ können Durchmesser bis über 10 m aufweisen und haben häufig eine eher runde Form. Denkbar sind aber auch längliche Erdfallrinnen. Bis zu einem Durchmesser von etwa 5 - 6 m besteht die Möglichkeit eine kostengünstige Sicherung mit Geokunststoff bewehrten Gründungspolstern zu prüfen und ggf. umzusetzen.

Man unterscheidet hierbei zwischen Teil- und Vollsicherung, wobei eine Teilsicherung nur für eine begrenzte Standzeit nach tatsächlichem Eintritt des Erdfalls unter einer Straße oder Bahnanlage steht. Die Standzeit, innerhalb der die Bewehrung die Lasten voll tragen muss, richtet sich nach der geplanten Reaktionszeit bis zur Sperrung und Sanierung der Strecke beispielsweise durch eine Injektion von der Seite oder Abtrag des Dammes und Verfüllung des Hohlraumes. Bei einer Vollsicherung muss das System nach Eintritt des Erdfalles eine verformungsarme Gradienten über die geplante Lebensdauer von beispielsweise 60 oder 120 Jahren sicherstellen. Abbildung 9 zeigt schematisch einen Schnitt durch eine derartige Konstruktion.

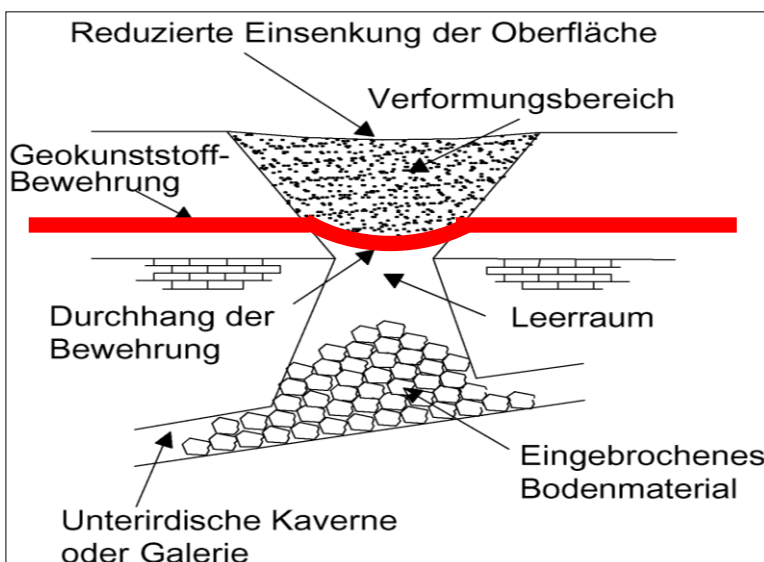


Abb. 9: Schematischer Schnitt durch eine Erdfallsicherung

Der entscheidende Ausgangsparameter ist natürlich der zu erwartende Durchmesser D des Erdfalltrichters an der Geländeoberkante. Dieser Wert kann nur von erfahrenen Ingenieuren mit vertieften Kenntnissen im Bergbau, den sogenannten Markscheidern, abgeschätzt werden. Erst dann kann anhand der Dammgeometrie und Geländesituation entschieden werden, welche Anordnung der Bewehrung (i.d.R. einaxial, einlagig oder biaxial, zweilagig) und welches Bruchmodell in Ansatz gebracht werden kann. Zusätzlich ist die notwendige

Verankerung der Bewehrung über den erdfallgefährdeten Bereich hinaus in Längs- oder Querrichtung der Trasse zu klären.

Die am häufigsten zur Anwendung kommende einaxiale Überbrückung in Trassenlängsrichtung ist exemplarisch in Abbildung 10 dargestellt. In dieser Form wurden die Sicherungen auf der B 7 bei Rodigast und auch im Zuge der B 97 OU Spremberg in den Jahren 2007-2009 in drei Bauabschnitten, die Sicherung auf der BAB 143 Westumfahrung Halle in den Jahren 2003/4 und die Maßnahme der DB AG auf der Strecke Nachterstedt-Hoym 2012 ausgeführt. Der Vorteil dieser Sicherungsvariante besteht in der Anordnung aller Bauteile im Wesentlichen innerhalb der Trasse ohne zusätzlichen seitlichen Flächenbedarf. Jedoch muss die Bewehrung in Längsrichtung mit einer zusätzlichen Ankerlänge über den gefährdeten Bereich hinaus geführt werden. Da damit häufig die möglichen Fertigungslängen überschritten werden oder Kurvenbereiche eine Stückelung erfordern, sind dann auch zusätzliche Überlappungen in Beanspruchungsrichtung erforderlich, die ebenso wie die seitlichen Ankerlängen objektspezifisch nachzuweisen sind.

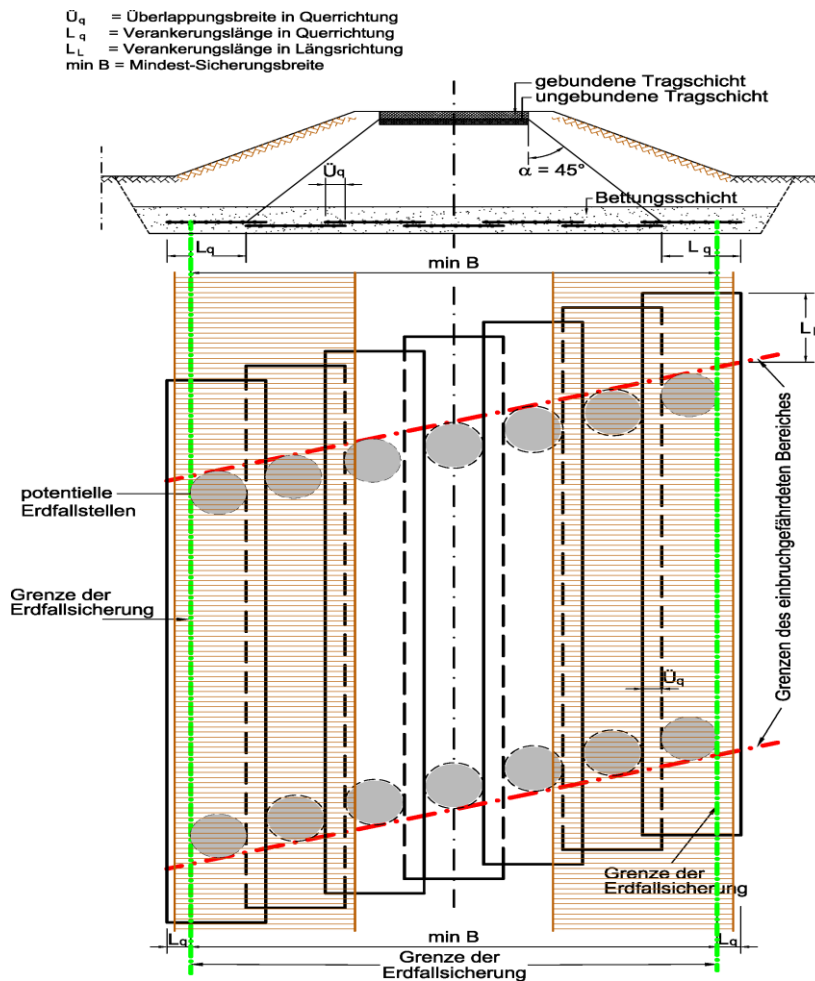


Abb. 10: Schematische Darstellung einer einaxialen Sicherung in Trassenlängsachse

Prinzipskizze zur Teilsicherung Tiefbaugebiet "Margaretha"
Variante 1
Erdfallberechnungsdurchmesser D = 5,0 m
2 Lagen Geogitter FORTRAC R 1000/100-20 MPT (PVA)

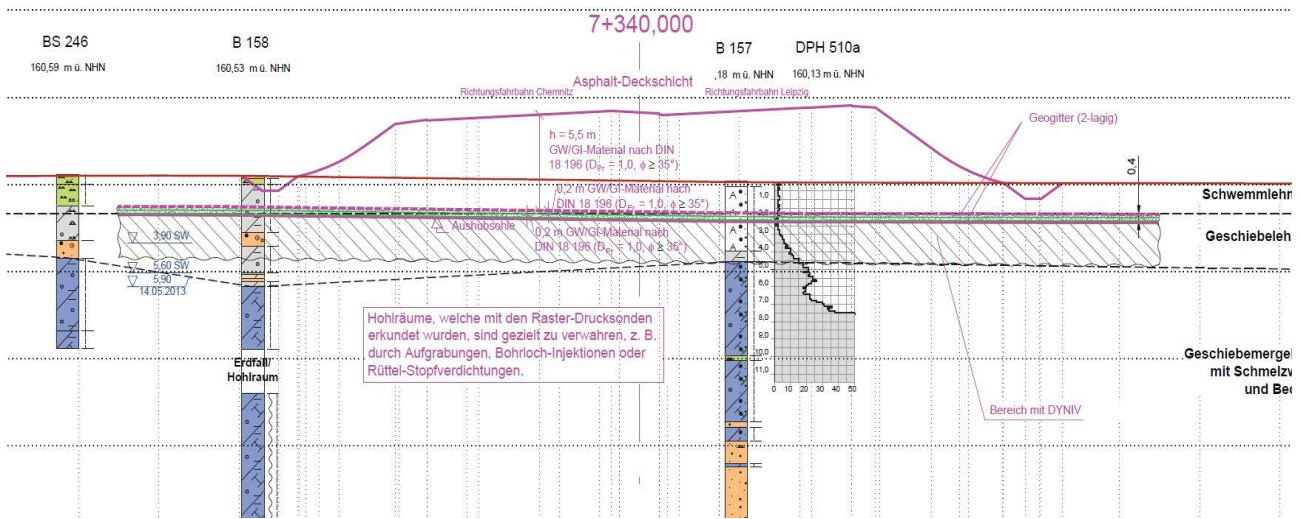


Abb. 11: Prinzipskizze zur Ausschreibung Erdfallsicherung BAB 72, Grube Margaretha [10]

Dies ist bei einer Sicherung quer zur Trasse, wie auf der BAB 72 ausgeführt (Abb. 11), grundsätzlich anders. Es handelt sich ebenfalls um eine einaxiale Erdfallsicherung mit einer extrem anisotropen Bewehrung, jetzt aber quer zur Trasse. Hier erfolgt die Verankerung seitlich der Trasse bis über die Entwässerungsmulden hinaus. Der Vorteil hier ist eine deutlich einfachere Anordnung der Bewehrung mit klar definierten und i.d.R. kürzeren Bahnlängen. Stöße in Belastungsrichtung werden hier nur in seltenen Ausnahmefällen ausgeführt. Zweckmäßigerweise werden die Bahnlängen vom Hersteller so gefertigt, dass keine Verluste durch den Zuschnitt auf die erforderliche Länge entstehen.

Von entscheidender Bedeutung für die letztendlich erforderliche Zugfestigkeit und Dehnsteifigkeit einer Bewehrung sind die über der Bewehrung wirksamen statischen und dynamischen Lasten, die Überdeckungshöhe H der Bewehrung in Zusammenhang mit dem möglichen Bruchmodell sowie die bereits in der EB GEO empfohlenen üblichen Begrenzungen der zulässigen Verformungen an Oberkante Fahrbahn. Diese betragen als Verhältniswert aus Durchmesser der Einsenkung auf OK Straße D_s und dem Stichmaß der Einsenkung d_s :

Autobahnen und Bundesstraßen	$0,01 < (d_s/D_s) < 0,017$
Bundesstraßen innerorts	$0,017 < (d_s/D_s) < 0,025$ und bei
Straßen innerorts und Parkplätzen	$0,025 < (d_s/D_s) < 0,07$.

Soweit eine entlastende Gewölbebildung über dem Hohlraum nicht unterstellt werden kann, wird üblicherweise mit sogenannten Einbruchmodellen mit (Abb.12) oder ohne Seitenreaktion gearbeitet. Dies ist in der Regel dann der Fall, wenn das Verhältnis zwischen Überdeckungshöhe H und Erdfalldurchmesser D < 3 beträgt.

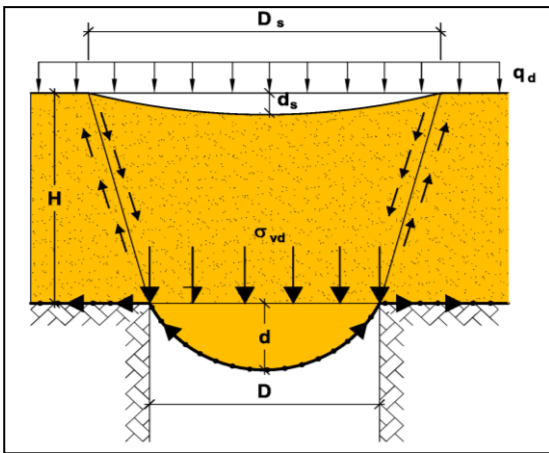


Abb.12: Einbruchmodell mit Seitenreaktion

Die mögliche Ausbildung eines entlastenden Gewölbes kann beispielsweise durch eine zusätzliche Bodenstabilisierung oberhalb der Bewehrung unterstützt werden, wie das bei der Erdfallsicherung des Eisenbahnknotens Gröbers 2003 in einem Großversuch getestet und später realisiert wurde.

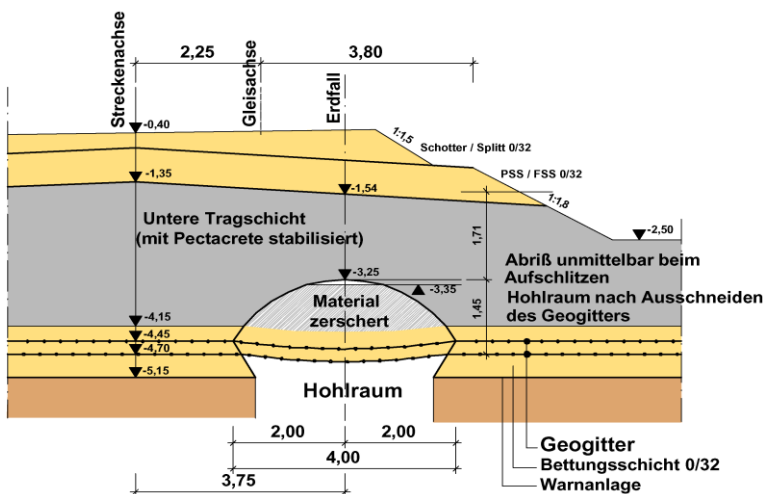
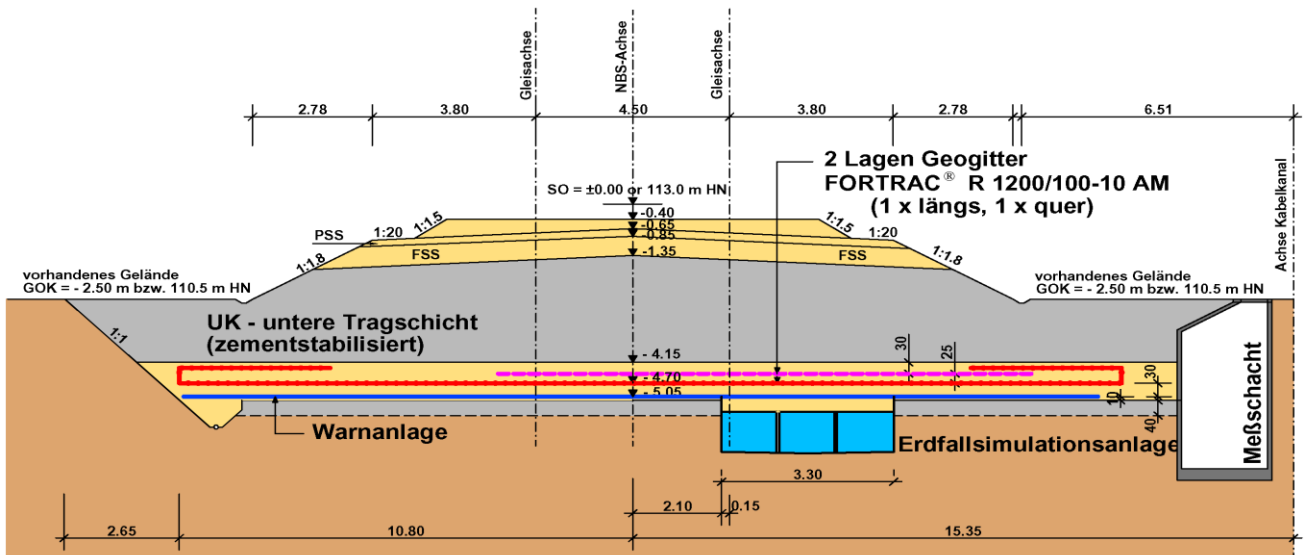


Abb.13: Großversuch Gröbers mit Rückbau und eingetretener Gewölbebildung

Mit den o.g. Daten und dem dann zu wählendem Berechnungsmodell ist i.d.R. ein äußerst kleiner Spielraum für die Auswahl einer geeigneten Bewehrung gegeben. So hätte man zum Beispiel bei der Erdfallsicherung auf der BAB 72 anstelle der zwei übereinander angeordneten Geogitterlagen aus PVA mit einer Kurzzeitzugfestigkeit von 1000 kN/m allein wegen der etwas geringeren Dehnsteifigkeit des Rohstoffes PET (bei vergleichbarer Fertigungsart) bereits Geogitter mit der 1,6-fachen Festigkeit benötigt, um den gleichen Gebrauchswert und die Verformungsbeschränkungen einzuhalten. Diese Geogitterfestigkeit ist aus PET aber derzeit nicht herstellbar, weil die tragenden Stege aufgrund des höheren Masseinsatzes zu voluminös werden.

An dieser Stelle noch eine Erläuterung zum Begriff und der Relevanz einer „extrem anisotropen Bewehrung“, deren Bedeutung offensichtlich in den zurückliegenden Jahren seit der Durchführung erster Grundsatzversuche [11] in Vergessenheit geraten zu sein scheint. Einaxiale Erdfallüberbrückungen sind in aller Regel technisch schlüssig nur mit extrem anisotropen Bewehrungen möglich. Als extrem anisotrop gilt eine Bewehrung dann, wenn die Dehnsteifigkeit in Längsrichtung mindestens 10-fach höher und die Bruchdehnung doppelt so hoch wie die der Querrichtung ist. Nur so ist sichergestellt, dass die Querrichtung nicht vor der eigentlich tragenden Längsrichtung der Bewehrung versagt und die Straße ggf. trotz eingebauter Bewehrung einbricht.



<p><u>Kettrichtung</u>: PET/100 kN/m/ 10 % Dehnung/ gerissen</p> <p><u>Schussrichtung</u>: PA/50 kN/m/ 20 % Dehnung/ intakt!</p>
--

Abb. 14: Berstdruck-Versuch zur Simulation der Verformungen, HUESKER Synthetic (2000) [11]

Neben der gezielten Steuerung des Krafteintrages bei extrem anisotropen Bewehrungen wäre bei einer gewünschten anisotropen Bewehrung auch eine sehr hohe Zugfestigkeit in Querrichtung erforderlich. Diese ist in der Regel aber im Überlappungsbereich selbst bei Überlappungsbreiten von 2-3 m nicht übertragbar. Defacto käme dies bereits einer zweilagigen Bewehrung nahe. Damit ist eine wirtschaftliche und technische Grenze erreicht und man geht dann besser zu einer zweilagigen, biaxialen Überbrückung des Erdfalls (Beispiel Eisenbahnknoten Gröbers) über.

In Abb. 16 sind die denkbaren Bewehrungsanordnungen noch einmal zusammen gefasst. Es wurde bereits deutlich gemacht, dass eine einaxiale Überbrückung (unterste Zeile) nur mit extrem anisotropen Bewehrungsprodukten tatsächlich realisierbar ist. Genauso wurde gezeigt, dass eine biaxiale Überbrückung (oberste Zeile) praktisch fast immer zweilagig, kreuzweise verlegt erfolgen wird. Auch die Mischvariante einer anisotropen Bewehrung läuft zwangsläufig zumindest bei größeren Erdfalldurchmessern meist auf eine zweilagige Bewehrung hinaus.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Grundlagen für Sicherungsmaßnahmen an Verkehrswegedämmen mit Hilfe von Geokunststoffen sind sowohl im Straßenbau als auch für Baumaßnahmen im Bahnbau (vgl. auch 11. Erdbaufachtagung, 2015) in ausreichendem Maße vorhanden. Diese erstrecken sich von der Planung/Bemessung über entsprechende Grundkonstruktionen bis zur Abwicklung auf der Baustelle. Einige Besonderheiten sind im vorliegenden Beitrag noch einmal hervorgehoben worden, um Anregungen aber auch Hinweise zur Vermeidung von Fehlentscheidungen zu geben.

Potenzial besteht zukünftig noch in der breiteren Nutzung von KBE-Konstruktionen für Übergänge von Dämmen zu Bauwerke wie Brücken und Durchlässe (vgl. auch 4. Erdbaufachtagung, 2008). Dies gilt sowohl im Sinne von Widerlagerkonstruktionen als auch zur Vermeidung von übermäßigen Differenz-Verformungen zu den angrenzenden Erdbauwerken. Auch die Kombination von Bodenstabilisierungsverfahren mit Bewehrungen verspricht eine zusätzliche Erweiterung der derzeitigen Möglichkeiten, insbesondere im Sinne einer Verstärkung von Gewölbeeffekten. Genauso gilt dies für erfolgversprechende Weiterentwicklungen des Verfahrens der geokunststoffummantelten Sandsäulen als Gründungselement oder zur Baugrundverbesserung [13].

Literatur

- [1] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, ZTV E-StB, FGSV 2009
- [2] Technische Lieferbedingungen für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaus, TL Geok E-StB 05, FGSV 2005
- [3] Richtlinie 836 - Erdbauwerke und sonstige Bauwerke planen, bauen und instandhalten, DB Netz AG
- [4] Empfehlungen des Arbeitsausschuss „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen (EAU), HTG/DGGT
- [5] Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen - EBGEO, DGGT 2010
- [6] BS 8006 - Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills, British Standard Institution; London 1995

- [7] Alexiew D., Blume K.H., Hillmann R. (2010): Über 25 Jahre Erfahrungen in Deutschland mit geotextilbewehrten Verkehrswegedämmen auf weichem Untergrund, 31. Baugrundtagung, 2010, Seite 139-145
- [8] Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund, FGSV 2010
- [9] Flügge F., Wick K (2000): Kombination von geokunststoffbewehrten Gründungssystemen und Böschungen für Dämme auf wenig tragfähigem Untergrund, Geotechnik Heft 23, 2000, Seite 104-111
- [10] Auszug Ausschreibung BAB 72, BA 5.2, Sicherung Grube Margaretha, Landesamt für Straßenbau und Verkehr Dresden, 2015
- [11] Berstdruck-Versuchsreihe an Geweben und Geogittern mit unterschiedlichen Rohstoffen sowie Überlappungsbereichen, HUESKER Synthetic GmbH , 2000, unveröffentlicht
- [12] Alexiew D., Ast W., Elsing A., Hangen H., Sobolewski J., (2003: Erdfallüberbrückungssystem Eisenbahnknoten Gröbers – zur Bemessung, Ausführungsplanung und Bauausführung, KGEO München, 2003, Seite 235-248
- [13] Keller Grundbau GmbH: Geokunststoffummantelte Säulen als Möglichkeit zur Gründung in wenig tragfähigen Böden, Bautechnik Heft 9, 2014