

GEOKUNSTSTOFFBEWEHRTE STEILBÖSCHUNGEN ZUR SICHERUNG RUTSCHGEFÄHRDETER HÄNGE - EINE FLEXIBLE LÖSUNG IN PROBLEMATISCHEN STEILHÄNGEN: PROJEKTSTUDIE TRIEBEN-SUNK, ÖSTERREICH

D. Alexiew
HUESKER Synthetic GmbH, Gescher, D

O. Detert
HUESKER Synthetic GmbH, Gescher, D

H. Hangen
HUESKER Synthetic GmbH, Gescher, D

H. Lassnig
HUESKER Synthetic GmbH, Weitensfeld, A

Der vorliegende Beitrag entspricht in wesentlichen Teilen der Veröffentlichung „Hohe geogitterbewehrte Böschungen als flexible Lösung in problematischen Steilhängen: Projekt Trieben-Sunk, Österreich“, KGEO 2009

KURZFASSUNG: Im Zeitraum zwischen Juni 2006 und September 2008 wurden an der Verbindungsstraße B114 zwischen Trieben und Sunk, Österreich, umfangreiche Bauarbeiten zur Änderung und Erstellung einer neuen Trassenführung in Hanglage durchgeführt. Im Zuge dieser Arbeiten wurden neben tiefgreifenden Entwässerungs- und Verankerungsmaßnahmen geokunststoffbewehrte übersteile Böschungen in großem Umfang zur Trassenführung und Sicherung kritischer Rutschhänge eingesetzt. Vor dem Hintergrund sowohl geotechnisch als auch topografisch äußerst schwieriger Randbedingungen werden im Rahmen dieses Aufsatzes Möglichkeiten für die technisch sinnvolle und baupraktisch umsetzbare Anwendung geokunststoffbewehrter Stützkonstruktionen dargestellt. Hierzu werden neben einer Beschreibung der geotechnischen Verhältnisse und den daraus resultierenden Schwierigkeiten sowohl die Vorgehensweise bei der Dimensionierung der geogitterbewehrten Bauwerke als auch baupraktische Gesichtspunkte dargestellt, erläutert und diskutiert.

1 EINLEITUNG

1.1 Allgemeines

Die in der österreichischen Steiermark gelegene Verbindungsstraße B114 führt über den Hohentauern und verbindet auf einer Länge von ca. 48 km die Städte Trieben im Paltental und Judenburg im Murtal. Mit einem prognostizierten Verkehrsaufkommen von rund 2000 KFZ/24h bei einem Schwerverkehrsanteil von 9% (Lackner 2008) stellt die B114 eine wichtige Nord-Südverbindung dar. Der südliche Streckenabschnitt verläuft größtenteils durch das Pölsbachtal und weist einen überwiegend sanften Anstieg auf. Der nördliche Streckenabschnitt im Tauernbachtal hingegen überwindet auf einer Länge von 8 km einen Höhenunterschied von ca. 570 m, bis in die 70er Jahre waren dabei Steigungen von bis zu 21% zu überwinden. Im Zuge eines ersten Streckenausbaus konnten diese jedoch größtenteils auf maximal 13% reduziert werden.

Im September 2008 wurde ein zweiter Ausbau dieses sowohl topografisch als auch geotechnisch äußerst anspruchsvollen Streckenabschnittes fertiggestellt. Mit besonderem Blick auf die bei diesem Vorhaben ausgeführten geokunststoffbewehrten Steilhängen soll dieser zweite Streckenausbau im Folgenden näher dargestellt werden.

1.2 Geotechnische Problemstellung

Der unmittelbar außerhalb der Ortschaft Trieben in Richtung Sunk steil aufsteigende Streckenabschnitt quert eine tiefgreifende geologische Störzone, siehe Abbildung 1.

Die aus den Kriechbewegungen des Hanges resultierenden Schäden an Stützbauwerken, Hangbrücken und dem regulären Straßenoberbau erforderten bis zuletzt fortlaufend umfangreiche Sanierungsmaßnahmen. Trotzdem verschlechterte sich der Zustand des Streckenabschnitts merklich: Fahrbahndecke und seitliche Stützwände zeigten deutliche Rissbildung, in Teilbereichen führte dies sogar zu Abplatzungen von Vorsatzschalen der Stützwände oder Zerstörung von Felsankern / Ankerköpfen, siehe Abbildung 2. Neben lokalen Problemstellen konnte selbst das Auftreten großräumiger Hangrutschungen nicht völlig ausgeschlossen werden.

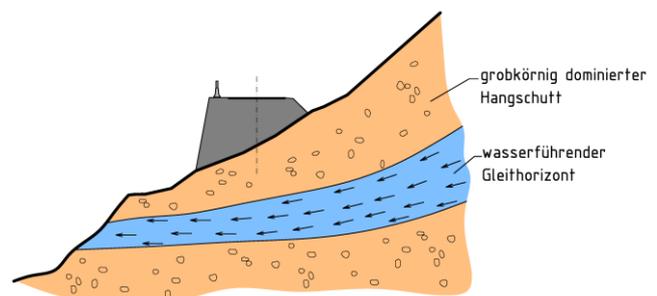


Abbildung 1 Schematische Darstellung der geologischen Störzone

Aufgrund der aktuellen und insbesondere im Hinblick auf zukünftig zu erwartende Schäden des Streckenabschnitts wurde eine Sanierung der bestehenden Trasse sowohl aus technischer als auch ökonomischer Sicht als unverzichtbar

erachtet und ein Neubau des betroffenen Abschnittes beschlossen.

Um einen sicheren Betrieb der Straße bis zur Fertigstellung des Straßenneubaus sicher zu stellen, wurde zunächst eine satellitengestützte Überwachung der Hangbewegung eingerichtet. Auf Basis kontinuierlicher Messungen der absoluten Hangbewegung bzw. deren Verformungsgeschwindigkeit kann die Gefahr einer möglichen Hangrutschung eingeschätzt und gegebenenfalls mit einer Vollsperrung des existierenden „alten“ Streckenabschnittes reagiert werden.



Abbildung 2 Schäden an Stützwänden der existierenden „alten“ Trasse

2 TRASSENFÜHRUNG

Bereits seit 1990 wurden verschiedene Varianten für eine Sanierung des betroffenen Streckenabschnittes analysiert. Die äußerst schwierigen geologischen und topografischen Randbedingungen erschwerten jedoch die Entscheidungsfindung. Letztlich entschied sich der Bauherr, die Baubezirksleitung des Landes Steiermark, zusammen mit den planenden Ingenieurbüros Birner und Dr. Lackner aus Graz, für die Verlegung der Trasse auf die gegenüberliegenden Talseite, mehr oder weniger parallel zur alten Straßenführung. Auf diese Weise konnte der Verkehr während der Bauzeit zwischen Trieben und Sunk auf der alten B114 unvermindert aufrecht erhalten werden. Die Gesamtlänge des neuen Streckenabschnittes beträgt ungefähr 2,9 km mit einem Höhenunterschied von 221 m. Die Trasse verläuft ab Trieben entlang der orografisch rechten Talflanke des Wolfgrabens, siehe Abbildung 3. Nach ca. 1 km quert sie den Triebenbach über eine 70 m lange Brücke und wechselt somit auf die linke Talseite. Um die Steigung

der Trasse auf maximal 10% zu reduzieren wurden zwei 180° Kehren in die Streckenführung integriert. Circa 3 km außerhalb der Ortschaft Trieben schwenkt die Trasse über eine 40 m langen Brücke zurück auf die andere Talseite, um nach weiteren 500 m in der Nähe der Ortschaft Sunk wieder in die bestehende Straße anzubinden.

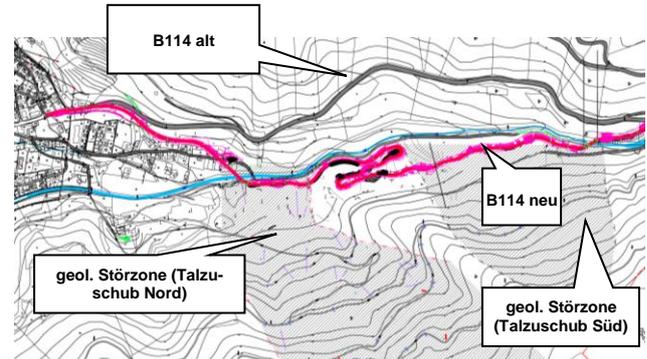


Abbildung 3 Trassenführung B 114 zwischen den Ortschaften Trieben und Sunk

3 HANGSICHERUNG UND STÜTZBAUWERKE

Aufgrund des äußerst unwegsamen Terrains mit teilweise extrem steiler Hanglage sowie der auch auf dieser Talseite vorhandenen Störzonen, mussten konventionelle Sicherungsmaßnahmen aus Stahlbeton, Spundwänden oder Schwergewichtskonstruktionen verworfen werden. Nach umfangreichen Varianten- und Parameterstudien und sorgfältiger Abwägung möglicher Restrisiken fiel die Entscheidung deshalb zu Gunsten einer kombinierten Lösung aus geogitterbewehrten Erdkörpern und Felsankern. Der große Vorteil dieses vom Ingenieurbüro Dr. Lackner, Graz, erarbeiteten Lösungskonzeptes besteht in der hohen Duktilität und geometrischen Flexibilität des Systems. Absolute und differenzielle Verschiebungen können weitestgehend schadensfrei und unter Aufrechterhaltung der Standsicherheit sowie Gebrauchstauglichkeit aufgenommen werden.

Die überwiegend mit einer Frontneigung von 70° ausgeführten kunststoffbewehrten Stützwände erreichen Höhen von bis zu 28m.

4 STANDSICHERHEITSBERECHNUNGEN

4.1 Dimensionierung der bewehrten Erdkörper mit iterativen analytischen Verfahren

Die Dimensionierung der kunststoffbewehrten Stützwände erfolgte separat von der Betrachtung der Gesamtstandsicherheit des umgebenden Geländes mit iterativ geführten analytischen Nachweisen. Neben solchen Gleitkörpern, die ausschließlich den bewehrten Bereich schneiden, der s.g. internen Standsicherheit, wurden hierbei auch die Auffüllungsbereiche hinter dem bewehrten Erdkörper, welche sich aufgrund der teilweise sehr stark geneigten Geländegeometrie ergaben berücksichtigt. Auf diese Weise konnte eine regelkonforme Standsicherheit der gesamten Anschüttung nachgewiesen werden, die i.d.R. auch zu einer Verbesserung der Gesamtstandsicherheit des Hanges im Bereich um das Bauwerk führte. Sofern erforderlich, wurden tiefliegende Entwässerungen oder zusätzliche Maßnahmen für eine Stabilisierung der Gründungsebene bzw.

für eine Abfangung von tiefergreifenden Gleitflächen im Anschluß hieran separat geplant. Diese Vorgehensweise bei der Dimensionierung und Nachweisführung war zuvor bereits mehrfach bei der Sanierung von Rutschungen mit geokunststoffbewehrten Erdkörpern in schwer einschätzbarem alpinen Gelände mit gutem Erfolg angewendet worden.



Abbildung 4 Maßnahmen zur Stabilisierung und Entwässerung des Ausschnittanges der Gründungsebene

Die den Berechnungen zugrundeliegende äußere Geometrie des Erdkörpers wurde unter Berücksichtigung des geplanten Straßenverlaufs und der Forderung nach einem möglichst homogenen Erdkörper im Bereich der Gründungsebene für den Straßenaufbau gewählt.

Nach Festlegung der äußeren Geometrie des Anschüttkörpers wurde dann die Ausbildung der erforderlichen Einschnittsgeometrie angepaßt. Hierzu wurden zunächst Nachweise für die externe Standsicherheit geführt. Dabei wurden analog zu einem Geländebruchnachweis für eine konventionelle Stützwand ausschließlich außerhalb des bewehrten Erdkörpers verlaufende Gleitflächen betrachtet. Diese Nachweise wurden gemäß DIN 4084 (DIN 4084 : 1981) für kreisförmige Gleitflächen mit der Methode nach Bishop und für verschiedenartige polygonale Gleitflächen mit der Blockgleitmethode untersucht. Somit konnte die erforderliche bzw. die aus geometrischen Zwangspunkten vorgegebene Einschnittsgeometrie festgelegt oder verifiziert werden. Bei den Berechnungen musste in diesem speziellen Fall berücksichtigt werden, dass bei der iterativen Bestimmung der erforderlichen Abmessungen des bewehrten Erdkörpers mit jeder Änderung auch eine Anpassung der Einschnittsgeometrie und damit ein besonders großer Berechnungsaufwand verbunden war. Anschließend wurde die endgültige Anordnung der Bewehrungslagen festgelegt und die Anforderungen an die eingesetzten Geokunststoffbewehrungen ermittelt. Hierzu wurden itera-

tiv weitere analytische Untersuchungen, ebenfalls auf Grundlage von kreisförmigen und polygonalen Gleitflächen die sowohl ausschließlich innerhalb, als auch innerhalb und außerhalb des bewehrten Erdkörpers verlaufen, durchgeführt. Abstand und Länge der Bewehrungslagen, aber auch die Bemessungsfestigkeit der eingesetzten Geokunststoffe wurden dabei solange variiert, bis eine optimale Lösung gefunden wurde.

Allgemeine Grundlage für die analytische Bemessung der geokunststoffbewehrten Erdkörper war u.a. EBGEO in der ersten Fassung von 1997. Entsprechend der zu diesem Zeitpunkt noch gültigen DIN 1054 erfolgte die Nachweisführung jedoch auf Grundlage des globalen Sicherheitskonzeptes. Seit bauaufsichtlicher Einführung ist die Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes (2008) jedoch bindend, ferner wurde mittlerweile die zweite Auflage der EBGEO (2010) veröffentlicht, welche die Vorgaben der aktuellen DIN 1054 vollständig umsetzt. Mit Blick auf die prinzipielle Vorgehensweise bei der Nachweisführung hätten sich für dieses Projekt jedoch keine Änderungen ergeben. Dies betrifft insbesondere die Anwendung der Beobachtungsmethode sowie die im Abschnitt 4.2 beschriebene numerische Analyse, welche nach den aktuellen Regelwerken jedoch mit den Kriterien des Grenzzustandes GZ 2 beurteilt worden wäre.

Weitergehende Hinweise und Empfehlungen, insbesondere für den in diesem Fall wichtigen Einfluss der Geländeneigung im Hinterfüllbereich und der Berücksichtigung von Gleitflächen, die sowohl durch den Hinterfüllbereich als auch den bewehrten Erdkörper verlaufen, finden sich auch in (Alexiew 2005).

4.2 Numerische Analyse der Standsicherheitsverbesserung aufgrund des Stützwandbaus

Als Ergänzung zu der unter Abschnitt 7.5.1 beschriebenen analytischen Vorgehensweise zur Festlegung und Dimensionierung der bewehrten Erdkörper wurden im Rahmen einer Diplomarbeit an der TU-Graz umfangreiche Untersuchungen mit der Methode der FEM durchgeführt. Verwendet wurden hierbei die kommerziell erhältlichen Berechnungsprogramme Plaxis 2D V8 und Plaxis 3D Tunnel. Besonderer Schwerpunkt war hierbei die Untersuchung von Einflüssen räumlicher Bruchmechanismen und unterschiedlicher Bauzustände. Mit Hilfe der numerischen Simulationen konnten die analytischen Berechnungsergebnisse bestätigt und die Hangstabilisierung aufgrund der durchgeführten Maßnahme dargestellt werden. Parameterstudien dienten ferner zur Eingrenzung der zu erwartenden Geogitter- und Ankerkräfte sowie der Gesamtsetzung. Genauere Angaben zu den verwendeten Randbedingungen, Stoffgesetzen und Berechnungsparametern dieser Simulationsrechnungen sind in (Lackner 2008) angegeben.

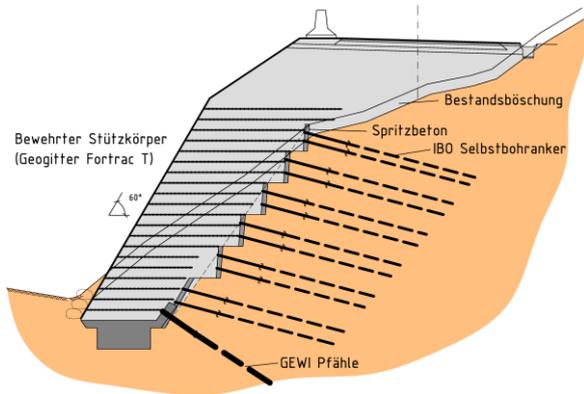


Abbildung 5 Prinzipdarstellung Regelquerschnitt

5 BAUAUSFÜHRUNG

Die topografische und geologische Situation vor Ort stellte die bauausführende Firma, Alpine Bau GmbH, Salzburg, vor eine große Herausforderung.

Das Baugebiet liegt zum Großteil in einem extrem schwierigen und steilen Gelände. Baustraßen konnten nur mit minimalen Breiten, großer Steigung und kleinen Kurvenradien hergestellt werden, Material- und Erdmassentransporte waren dadurch besonders schwierig und bestmöglich zu optimieren. Die Flexibilität der verwendeten Geogitter, Typ Fortrac®, erleichterte die Transporte signifikant. An einem zentralen Platz wurden die Geogitter entsprechend detaillierter Verlegepläne zugeschnitten, zusammengefaltet und palettiert. Die Geogitter konnten so ohne Schwierigkeiten auf den engen Baustraßen zu ihrem Einsatzort transportiert werden.



Abbildung 6 Baustraßen

Bevor mit dem Aufbau der geokunststoffbewehrten Erdstützwände begonnen werden konnte, musste der Hangschutt teilweise abgetragen werden. Dies geschah in einzelnen Aushubstufen von jeweils 2,0 m, die mittels einer 15 cm starken bewehrten Spritzbetonsicherung und IBO Anker gesichert wurden.

Wie in Abschnitt 4.1 bereits erwähnt, mussten die Abgrabungen für die Aufstandsfläche der kunststoffbewehrten Stützwände aufgrund des äußerst steilen Geländes und der bereichsweise minimalen Standfestigkeit des Hanges möglichst klein ausfallen, siehe auch Abbildung 5.

In kritischen Teilbereichen wurde eine ausreichend tragfähige und lagestabile Gründungsebene für die bewehrten Stützwände nur durch die Herstellung von vertikalen Betonrippen mit 1,0 m Tiefe und 2,50 m Breite im Abstand von 4,0 m gewährleistet. Weiterhin wurden Kopfplatten aus

Stahlbeton auf den Betonrippen befestigt und mittels GEWI-Ankern dauerhaft rückverhängt. Um einen gleitsicheren Verbund zwischen rückverankertem Betonfuß und der Aufstandsfläche der kunststoffbewehrten Stützwand zu erzielen, wurde die Betonoberfläche mit einer speziellen Riffelung strukturiert. Hierauf wurde anschließend eine Schotterdecke aufgebracht, bevor die erste Lage Geogitter verlegt wurde. Aufgrund der kurzen Geogitterlängen im Fußbereich der Konstruktion, wurde neben diesen Maßnahmen auch besonderes Augenmerk auf eine optimale Abstimmung des Verbundverhaltens zwischen Geokunststoff und Füllboden gelegt. Die Maschenweite der verwendeten Geogitter wurde deshalb projektspezifisch auf das grobe Schüttmaterial abgestimmt, in diesem Fall 70mm x 70mm.

6 FRONTAUSBILDUNG

Als verlorene Schalung und Begrünungsträger wurden in der Wandfront abgewinkelte Baustahlgittermatten verwendet. Da diese nicht speziell beschichtet und somit nicht vor Korrosion geschützt sind, dürfen sie langfristig nicht als statisch wirksames Bauteil berücksichtigt werden. Um die Aufnahme des Erddrucks an der Außenhaut der Böschung dennoch dauerhaft zu gewährleisten, wurden die Geogitter deshalb mit einem Rückumschlag eingebaut. Als Schutz gegen Erosion von Feinpartikeln und Haftgrund für eine Anspritzbegrünung wurde ferner ein innenliegendes Rieselschutzgewebe verwendet. Unmittelbar nach Fertigstellung der Böschungen erfolgte eine Begrünung im Hydro-saatverfahren.

Diese Bauweise hat sich bereits seit Jahren als langfristig sicher, baupraktisch vorteilhaft und kostengünstig erwiesen.

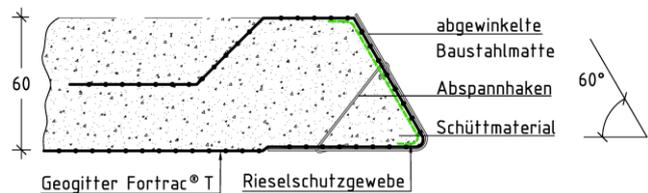


Abbildung 7 Prinzipdarstellung zur Frontausbildung mit Rückumschlag und Begrünung

Für dieses Bauvorhaben wurde jedoch Stahlgitter mit größerem Stabdurchmesser eingesetzt, als dies normalerweise üblich ist. Dadurch konnte auch im Frontbereich mit vergleichsweise großem Verdichtungsgerät gearbeitet werden. Dies war erforderlich, um die im Rahmen der geringen Bauzeit erforderliche Bauleistung erreichen zu können. Zu Beginn der Arbeiten wurden zunächst Stahlgitter verwendet, deren Öffnungswinkel genau der Böschungseigung entsprach, so dass eine durchgängig geneigte Wand entstand. Im Laufe der Bauarbeiten fand jedoch ein Wechsel auf rechtwinklig gebogene Stahlgittermatten statt, die mit einem der Gesamtneigung entsprechenden horizontalen Versatz installiert wurden. Hierdurch wurden Bodeneinbau und -verdichtung nochmals vereinfacht. Regenwasser kann so über die entstehenden Stufen außerdem besser in die Wand eindringen und den Begrünungserfolg der Böschung zusätzlich begünstigen. Nach dem Aufstellen der Stahlgittermatten wurden die fertig zugeschnittenen Geogitter verlegt, wobei die für den Rück-

umschlag vorzuhaltende Zusatzlänge vorläufig über die Stahlgittermatte gehängt wurde.

Abbildung 9 Teilansicht KBE-Böschungen im Bereich der Kehren, Sommer 2011

7 MEßTECHNISCHE BEGLEITUNG

Um das Verformungsverhalten einzelner Bauwerke besonders aber des Gesamthanges beobachten und die Wirksamkeit der jeweiligen Sicherungsmaßnahmen verifizieren zu können, wurden bereits während der Bauausführung eine Vielzahl geotechnischer Meßgeber installiert. Neben einer feinmaschigen Anordnung von geodätischen Meßpunkten wurden hierbei insbesondere Inklimometer und Sensoren zur Überwachung der Ankerkräfte verwendet. Die Auswertung erster Meßdaten zeigte, dass die Hangverformungen erwartungsgemäß zwar immer noch anhalten, aber doch erheblich reduziert wurden. Zum jetzigen Zeitpunkt, nach nunmehr drei Jahren, ist in dieser Hinsicht keine Veränderung festzustellen.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Das vorgestellte Projekt ist ein Beweis für die hohe technische, ökonomisch und auch ökologische Effizienz geokunststoffbewehrter Bauweisen.

Das duktile Materialverhalten der speziell auf die lokalen Gegebenheiten abgestimmten Geokunststoffbewehrungen in Verbindung mit einer flexiblen Außenhautgestaltung macht solche Konstruktionen auch in Bereichen von Kriechhängen zu einer optimalen Lösung. Neben den positiven mechanischen Eigenschaften von KBE ist auch eine optimale Einbindung des Bauwerkes in die Landschaft möglich. Die hohe Flexibilität der verwendeten Geogitter ermöglichte einen praxisperechten, platzsparenden Transport auf der Baustelle, was vor allem bei beengten Platzverhältnissen von großem Vorteil ist.



Abbildung 8 Teilansicht KBE-Böschungen im Bereich der Kehren, zur Verkehrsfreigabe, Sommer 2008



Danksagung

Das vorgestellte Projekt ist ein gutes Beispiel für die gelungene Kombination verschiedener Sicherungsmaßnahmen wie kunststoffbewehrter Erde, Verankerungen, Vernagelung und Entwässerungen in schwierigem Terrain. Um Bauprojekte mit derart hohem technischem Anspruch erfolgreich realisieren zu können, bedarf es viel Erfahrung und dem Willen für innovative Lösungen aller am Projekt beteiligten Parteien. Aus Platzgründen ist eine namentliche Nennung aller Beteiligten nicht möglich, die Verfasser möchten sich aber hiermit bei Allen für die erfolgreiche Zusammenarbeit bedanken.

9 LITERATUR

- Christian Lackner 2008: „Numerische Simulation von kunststoffbewehrten Dämmen“, Diplomarbeit, Institut für Bodenmechanik und Grundbau Technische Universität Graz, Januar 2008
- DIN 4084 1981: Gelände- und Böschungsbruchberechnungen, Normenausschuß Bauwesen im DIN
- EBGEO 1997: „Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
- Alexiew 2005: „Zur Berechnung und Ausführung geokunststoffbewehrter „Böschungen“ und „Wände“: aktuelle Kommentare und Projektbeispiele“, Tagungsbeiträge der 5. Österreichischen Geotechniktagung 2005
- Alexiew et al. 2009: „Hohe geogitterbewehrte Böschungen als flexible Lösung in problematischen Steilhängen: Projekt Triebensunk, Österreich, 11. Informations- und Vortragstagung über „Kunststoffe in der Geotechnik“, KGEO Sonderheft Geotechnik, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.