

HANGSICHERUNG

Alexiew et al.: Geokunststoffbewehrte Steilböschung des rutschgefährdeten Hangs Trieben-Sunk, Österreich



Geokunststoffbewehrte Steilböschung zur Sicherung rutschgefährdeter Hänge – Projektstudie Trieben-Sunk, Österreich

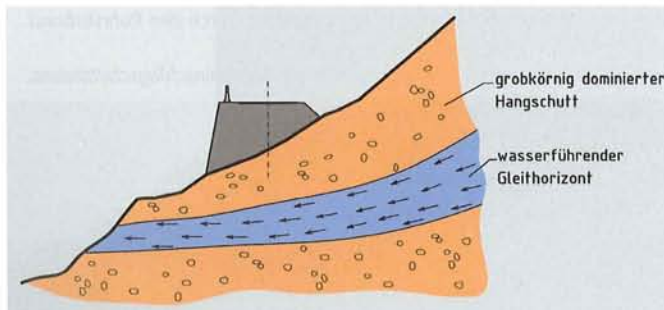
Im Zeitraum zwischen Juni 2006 und September 2008 wurden an der Verbindungsstraße B 114 zwischen Trieben und Sunk, Österreich, umfangreiche Bauarbeiten zur Änderung und Erstellung einer neuen Trassenführung in Hanglage durchgeführt. Im Zuge dieser Arbeiten wurden neben tiefgreifenden Entwässerungs- und 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.

Die in der österreichischen Steiermark gelegene Verbindungsstraße B114 führt über den Hohentauern und verbindet auf einer Länge von rund 48 km die Städte Trieben im Palental und Judenburg im Murtal. Mit einem prognostizierten Verkehrsaufkommen von rund 2000 Kfz/24h bei einem Schwerverkehrsanteil von 9 % [1] 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 rund 570 m, bis in die 1970er-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 Streckenabschnitts fertiggestellt. Mit besonderem Blick auf die bei diesem Vorhaben ausgeführten geokunststoffbewehrten Steilböschungen soll dieser zweite Streckenausbau im Folgenden näher dargestellt werden.

Bild 1. Schematische Darstellung der geologischen Störzone.



Geotechnische Problemstellung

Der unmittelbar außerhalb der Ortschaft Trieben in Richtung Sunk steil aufsteigende Streckenabschnitt quert eine tiefgreifende geologische Störzone (Bild 1). Die aus den Kriechbewegungen des Hangs 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 (Bild 2). Neben lokalen Problemstellen konnte selbst das Auftreten großräumiger Hangrutschungen nicht völlig ausgeschlossen werden. Aufgrund der aktuellen und insbesondere im Hinblick auf zukünftig zu erwartende Schäden des Streckenabschnitts wurde eine Sanierung der bestehenden Trasse sowohl aus technischer als

Autoren

Dr.-Ing. Dimiter Alexiew, Technischer Direktor,
Dipl.-Ing. Oliver Detert, Anwendungstechnik,
Dipl.-Ing. Hartmut Hangen, Leiter Anwendungstechnik,
alle drei: HUESKER Synthetic GmbH, Gescher, Huesker Synthetic GmbH,
Gescher, Deutschland.
Herbert Lassnig, Vertriebsleiter Österreich, Huesker Synthetic GmbH, Weitensfeld, Österreich.

HANGSICHERUNG

Alexiew et al.: Geokunststoffbewehrte Steilböschung des rutschgefährdeten Hangs Trieben-Sunk, Österreich

auch ökonomischer Sicht als unvertretbar erachtet und ein Neubau des betroffenen Abschnitts beschlossen.

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

Trassenführung

Bereits seit dem Jahr 1990 wurden verschiedene Varianten für eine Sanierung des betroffenen Streckenabschnitts analysiert. Die äußerst schwierigen geologischen und topografischen Randbedingungen erschwerten jedoch die Entscheidungsfindung. Letztlich entschied sich der Bauherr, die Baubetriebsleitung des Landes Steiermark, zusammen mit den planenden Ingenieurbüros Birner und Dr. Lackner aus Graz, für die Verlegung der Trasse auf die gegenüberliegende Talseite, mehr oder weniger parallel zur alten Straßenführung. Auf diese Weise konnte der Verkehr während der Bauzeit zwischen Trieben und Sunk auf der alten B 114 unvermindert aufrechterhalten werden. Die Gesamtlänge des neuen Streckenabschnitts beträgt ungefähr 2,9 km mit einem Höhenunterschied von 221 m. Die Trasse verläuft ab Trieben entlang der orografisch rechten Talflanke des Wolfgrabens (Bild 3). Nach etwa 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. Rund 3 km außerhalb der Ortschaft Trieben schwenkt die Trasse über eine 40 m lange Brücke zurück auf die andere Talseite, um nach weiteren 500 m in der Nähe der Ortschaft Sunk wieder in die bestehende Straße anzubinden.

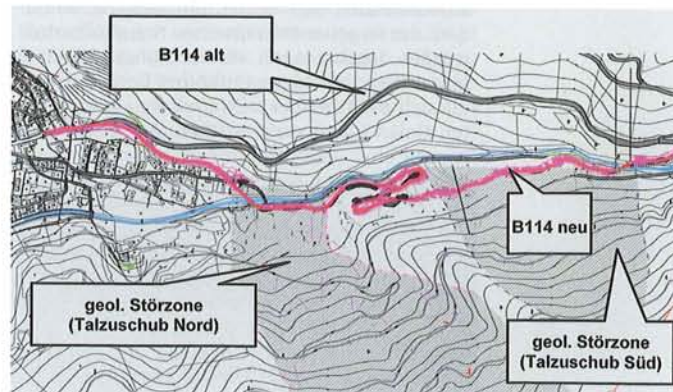
Hangsicherung und Stützbauwerke

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 zugunsten einer kombinierten Lösung aus geogitterbewehrten Erdkörpern und Felsankern (Bild 4). Der große Vorteil dieses vom Ingenieurbüro Dr. Lackner, Graz, erarbeiteten Lösungskonzepts 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.



Bild 2. Schäden an Stützwänden der existierenden „alten“ Trasse.

Bild 3. Trassenführung B 114 zwischen den Ortschaften Trieben und Sunk.



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

Standsicherheitsberechnungen

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

HANGSICHERUNG

Alexiew et al.: Geokunststoffbewehrte Steilböschung des rutschgefährdeten Hangs Trieben-Sunk, Österreich

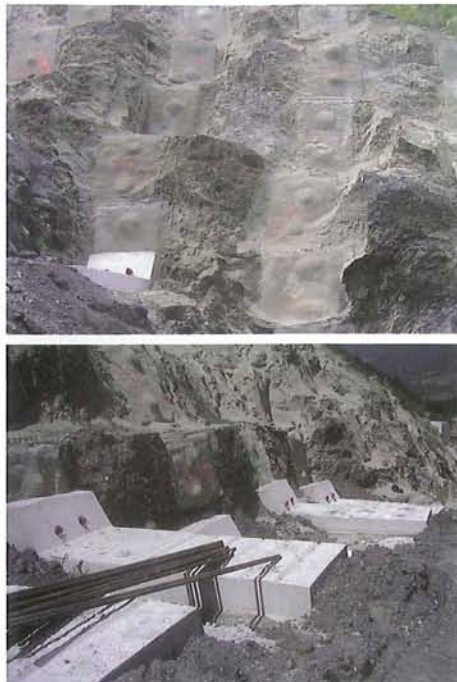


Bild 4. Maßnahmen zur Stabilisierung und Entwässerung des Ausschnitts der Gründungsebene.

Nachweisen. Neben solchen Gleitkörpern, die ausschließlich den bewehrten Bereich schneiden, der so genannten internen Standsicherheit, wurden hierbei auch die Auffüllungsbereiche hinter dem bewehrten Erdkörper berücksichtigt, die sich aufgrund der teilweise sehr stark geneigten Geländegeometrie ergaben. Auf diese Weise konnte eine regelkonforme Standsicherheit der gesamten Anschnittung nachgewiesen werden, die in der Regel auch zu einer Verbesserung der Gesamtstandsicherheit des Hangs im Bereich um das Bauwerk führte. Sofern erforderlich, wurden tiefliegende Entwässerungen oder zusätzliche Maßnahmen für eine Stabilisierung der Gründungsebene beziehungsweise 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.

Die den Berechnungen zu Grundliegende 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 Einschnittgeometrie 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 [2] für kreisförmige Gleitflächen mit der Methode nach Bishop und für verschiedenartige polygonale Gleitflächen mit der Blockgleitmethode untersucht. Somit konnte die erforderliche beziehungsweise die aus geometrischen Zwangspunkten vorgegebene Einschnittgeometrie 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 Einschnittgeometrie und damit ein besonders großer Berechnungsaufwand verbunden waren. Anschließend wurde die endgültige Anordnung der Bewehrungslagen festgelegt und die Anforderungen an die eingesetzten Geokunststoffbewehrungen ermittelt. Hierzu wurden iterativ weitere analytische Untersuchungen durchgeführt, ebenfalls auf Grundlage von kreisförmigen und polygonalen Gleitflächen, die sowohl ausschließlich innerhalb, als auch innerhalb und außerhalb des bewehrten Erdkörpers verlaufen. 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 unter anderem EBGEO in der ersten Fassung aus dem Jahr 1997 [3]. Entsprechend der zu diesem Zeitpunkt noch gültigen DIN 1054 [4] erfolgte die Nachweisführung jedoch auf Grundlage des globalen Sicherheitskonzepts. Seit bauaufsichtlicher Einführung ist die Anwendung des Teilsicherheitskonzepts jedoch bindend, ferner wurde mittlerweile im Jahr 2010 die zweite Auflage der EBGEO [5] veröffentlicht, welche die Vorgaben der aktuellen DIN 1054 [6] 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 beschriebene numerische Analyse, welche nach den aktuellen Regelwerken jedoch mit den Kriterien des Grenzzustands GZ2 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 [7].

Numerische Analyse der Standsicherheitsverbesserung aufgrund des Stützwandbaus

Als Ergänzung zu der beschriebenen analytischen Vorgehensweise zur Festlegung und Dimensionierung der bewehrten Erdkörper wurden im Rahmen

HANGSICHERUNG

Alexiew et al.: Geokunststoffbewehrte Steilböschung des rutschgefährdeten Hangs Trieben-Sunk, Österreich

einer Diplomarbeit an der TU Graz umfangreiche Untersuchungen mit der Methode der FEM durchgeführt. Verwendet wurden hierbei die kommerziell erhältlichen Berechnungsprogramme Plaxis 2DV8 und Plaxis 3D Tunnel. Besonderer Schwerpunkt war hierbei die Untersuchung von Einflüssen räumlicher Bruchmechanismen und unterschiedlicher Bauzustände. Mithilfe der numerischen Simulationen konnten die analytischen Berechnungsergebnisse bestätigt und die Hangstabilisierung aufgrund der durchgeführten Maßnahme dargestellt werden (Bild 5). 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 [1] angegeben.

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 (Bild 6). 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.

Bevor mit dem Aufbau der geokunststoffbewehrten Erdstützwände begonnen werden konn-

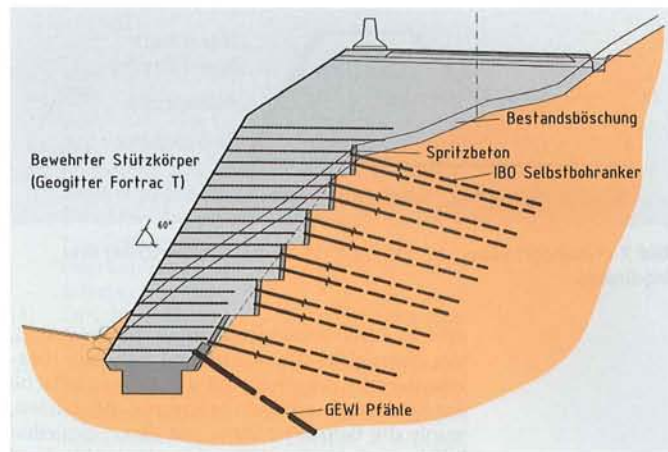


Bild 5. Prinzipdarstellung des Regelquerschnitts.

te, 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 bereits erwähnt, mussten die Abgrabungen für die Aufstandsfläche der kunststoffbewehrten Stützwände aufgrund des äußerst steilen Geländes und der bereichsweise minimalen Standfestigkeit des Hangs möglichst klein ausfallen (Bild 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

Bild 6. Baustraßen.



HANGSICHERUNG

Alexiew et al.: Geokunststoffbewehrte Steilböschung des rutschgefährdeten Hangs Trieben-Sunk, Österreich

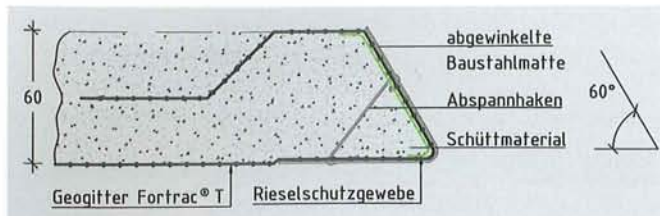


Bild 7. Prinzipdarstellung zur Frontausbildung mit Rückumschlag und Begrünung.

mittels GEWI-Ankern dauerhaft rückverhängt. Um einen gleicheren Verbund zwischen rückverankertem Betonfuß und der Aufstandsfläche der kunststoffbewehrten Stützwand zu erzielen, wurde die Betonoberfläche mit einer speziellen Riffelung strukturiert. Hierauf wurde anschließend eine Schotterschicht 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 70 mm x 70 mm.

Frontausbildung

Als verlorene Schalung und Begrünungsträger wurden in der Wandfront abgewinkelte Baustahlgitter-

Bild 8. Teilansicht KBE-Böschungen im Bereich der Kehren: oben zur Verkehrs freigabe im Sommer 2008 und unten im Sommer 2011.



matten 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 langfristige, baupraktisch vorteilhafte und kostengünstige erwiesen (Bild 7).

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 Böschungsneigung entsprach, sodass 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 Rückumschlag vorzuhaltende Zusatzlänge vorläufig über die Stahlgittermatte gehängt wurde.

Messtechnische Begleitung

Um das Verformungsverhalten einzelner Bauwerke, besonders aber des Gesamthangs 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 Inklinometer 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.

Zusammenfassung

Das vorgestellte Projekt ist ein Beweis für die hohe technische, ökonomische und auch ökologische Effizienz geokunststoffbewehrter KBE-Bauweisen (siehe beispielsweise auch [7]). Das duktile Mate-

Alexiew et al.: Geokunststoffbewehrte Steilböschung des rutschgefährdeten Hangs Trieben-Sunk, Österreich

rialverhalten 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 Bauwerks in die Landschaft möglich (Bild 8). Die hohe Flexibilität der verwendeten Geogitter ermöglichte einen praxisgerechten, platzsparenden Transport auf der Baustelle, was vor allem bei beengten Platzverhältnissen von großem Vorteil ist.

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 technischen Anspruch erfolgreich realisieren zu können, bedarf es viel Erfahrung und den 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.

Der vorliegende Beitrag entspricht in wesentlichen Teilen dem Tagungsbeitrag [8].

Literatur

- [1] Lackner, C.: Numerische Simulation von kunststoffbewehrten Dämmen. Diplomarbeit, Institut für Bodenmechanik und Grundbau Technische Universität Graz, (2008).
- [2] DIN 4084: Gelände- und Böschungsbruchberechnungen. (1981).
- [3] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen EB GEO. 1. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn, (1997).
- [4] DIN 1054: Baugrund – Zulässige Belastung des Baugrunds. (1976).
- [5] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen – EB GEO. 2. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn, (2010).
- [6] DIN 1054: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1. (2010).
- [7] Alexiew, D. 2005: „Zur Berechnung und Ausführung geokunststoffbewehrter „Böschungen“ und „Wände“: aktuelle Kommentare und Projektbeispiele“. Tagungsbeiträge der 5. Österreichischen Geotechniktagung, (2005).
- [8] Alexiew, D., et al.: „Hohe geogitterbewehrte Böschungen als flexible Lösung in problematischen Steilhängen: Projekt Trieben-Sunk, Österreich, 11. Informations- und Vortrags-tagung über „Kunststoffe in der Geotechnik“, KGEO Sonderheft geotechnik, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., (2009).