Bemessung von Drahtgeflechten zur Stabilisierung von Böschungen

Entlang von Bahnstrecken werden oftmals Drahtgeflechtsysteme eingesetzt, deren Bemessung unterschiedliche Ansätze zugrunde liegen.

Abb. 1: Geflechttypen a) System Steelgrid HR 30 b) System Tecco

Foto a): Maccaferri; Foto b): Geobrugg AG

Oliver Krist
Marc Raithel
Klaus Weingart

Zur sicheren Betriebsführung werden entlang von bestehenden oder neu zu erstellenden Fels- oder Lockergesteinsböschungen in Abhängigkeit der geometrischen und geotechnischen Randbedingungen gegebenenfalls zusätzliche Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Dazu stehen grundsätzlich verschiedene Maßnahmen zur Verfügung. Sofern „offene Systeme" mit einem Drahtgeflecht eingesetzt werden sollen, liegen für den Bereich der Eisenbahnen des Bundes vom Eisenbahn-Bundesamt zugelassene Systeme der Firma Geobrugg AG [1] und der Firma Maccaferri Deutschland GmbH [2] vor. Deren Bemessungen bzw. die zugrunde gelegten Theorien unterscheiden sich grundsätzlich in Abhängigkeit der Systemelemente und des Untergrundes. Die Auswahl des geeigneten Systems muss sich daher neben wirtschaftlichen und baupraktischen Überlegungen auch nach dem der Realität am nächsten kommenden Versagensmechanismus bzw. dem Untergrund und dem darauf abgestimmten Bemessungsverfahren richten.

Allgemeines

Zur Sicherung von oberflächennahen Instabilitäten im Locker- und Festgestein existieren zahlreiche Sicherungs- bzw. Stabilisierungssysteme, welche auf der Grundlage unterschiedlicher Ansätze bemessen werden. Sofern Drahtgeflechte eingesetzt werden sollen, ist zu beachten, dass sich die Bemessungen der Systeme der Geobrugg AG (System Tecco für Lockergesteins- und Felsböschungen) und der Maccaferri Deutschland GmbH (System Steelgrid HR 30 für Felsböschungen) grundlegend unterscheiden.

Bei einer Bemessung des Systems Tecco mit der Bemessungssoftware Ruvolum [3] wird davon ausgegangen, dass an der Böschungsoberfläche eine Verwitterungsschicht mit den bodenmechanischen Eigenschaften eines Lockergesteins zu stabilisieren ist. Bei einer Bemessung des Systems Steelgrid HR 30 mit der Bemessungssoftware Macro1 [4] wird ein felsmechanischer Ansatz berücksichtigt. Demzufolge wird neben der Angabe einer Böschungsgeometrie auch für eine vorgegebene Kluftneigung die Beanspruchung des Systems berechnet.

Des Weiteren wird das System Steelgrid HR 30 dadurch gekennzeichnet, dass einzelne Stahlseile (in Böschungsrichtung) die anisotrope Festigkeit und Steifigkeit der Übernetzung bestimmen (Abb. 1a), wohingegen das einheitliche Geflecht des Systems Tecco (Abb. 1b) eine isotrope/biaxiale Festigkeit und Steifigkeit aufweist.

Genehmigungsrechtliche Aspekte

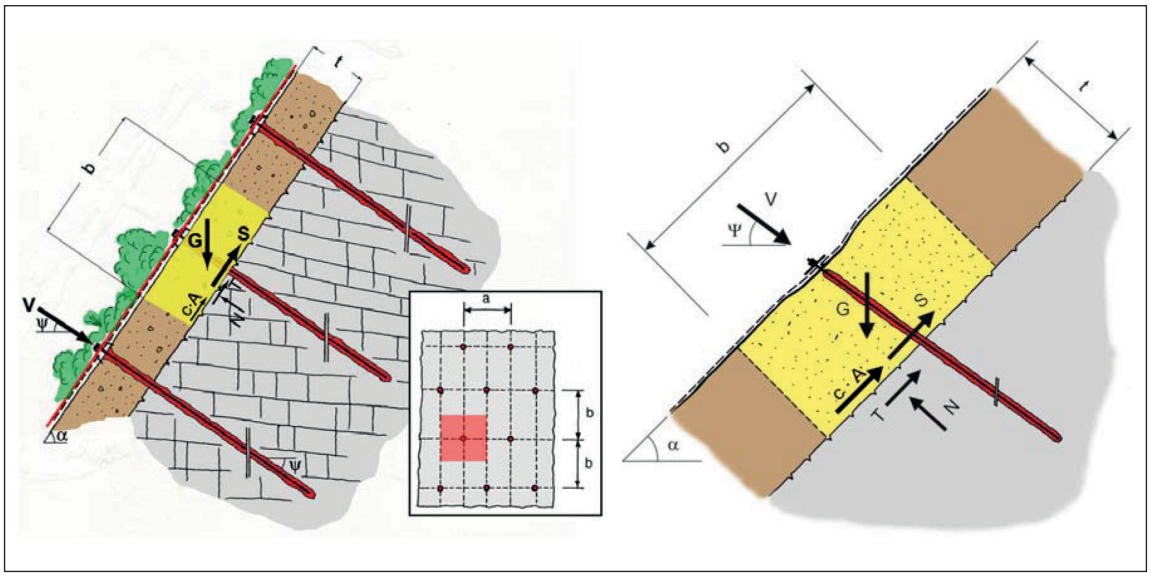
Bei den vom EBA zugelassenen Böschungsstabilisierungssystemen wurde die Verwendbarkeit bzw. die Anwendbarkeit für den Einsatz bei den Eisenbahnen des Bundes im Rahmen des Zulassungsverfahrens grundsätzlich nachgewiesen. Es ist jedoch zu beachten, dass die Nebenbestimmungen der Zulassung einzuhalten sind. Für die Bemessung sind insbesondere die Einhaltung der Bestimmungen für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung zu beachten. Die gemäß der Verwaltungsvorschrift über die Bauaufsicht im Ingenieurbau, Oberbau und Hochbau (VV Bau) in ihrer aktuell gültigen Fassung erforderlichen Schritte im bauaufsichtlichen Verfahren sind dabei entsprechend zu vollziehen. Insbesondere ist darauf zu achten, dass vor Baubeginn gemäß § 20 VV Bau die bautechnische Prüfung ergänzend zu der Zulassung projektbezogen durchgeführt werden muss.

Bemessung mit bodenmechanischen Ansätzen

Bei der Bemessung des Systems Tecco mit der Bemessungssoftware Ruvolum wird angenommen, dass Instabilitäten der Böschungsoberfläche entlang einer angenommenen Verwitterungsschicht bzw. einer stark aufgelockerten Felsschicht auftreten können. Für die angenommene Dicke dieser Verwitterungsschicht und der geometrischen und

Abb. 2: Untersuchung von lokalen Instabilitäten zwischen einzelnen Nägeln

Grafik: aus [6] u. [7]



geotechnischen Randbedingungen (z. B. Böschungsneigung, Scherparameter entsprechend einem Lockergestein) werden für Starrkörperbruchmechanismen die Einwirkungen auf das System ermittelt und den Systemwiderständen gegenübergestellt.

Im Einzelnen werden mit der Bemessungssoftware Ruvolum folgende Bruchmechanismen untersucht:

- Untersuchung von lokalen Instabilitäten zwischen einzelnen Nägeln (Abb. 2) und
- Untersuchung von böschungsparallelen, oberflächennahen Instabilitäten (Abb. 3).

Betreffend die Untersuchung von böschungsparallelen, oberflächennahen Instabilitäten sind die folgenden drei Tragsicherheitsnachweise zu führen:

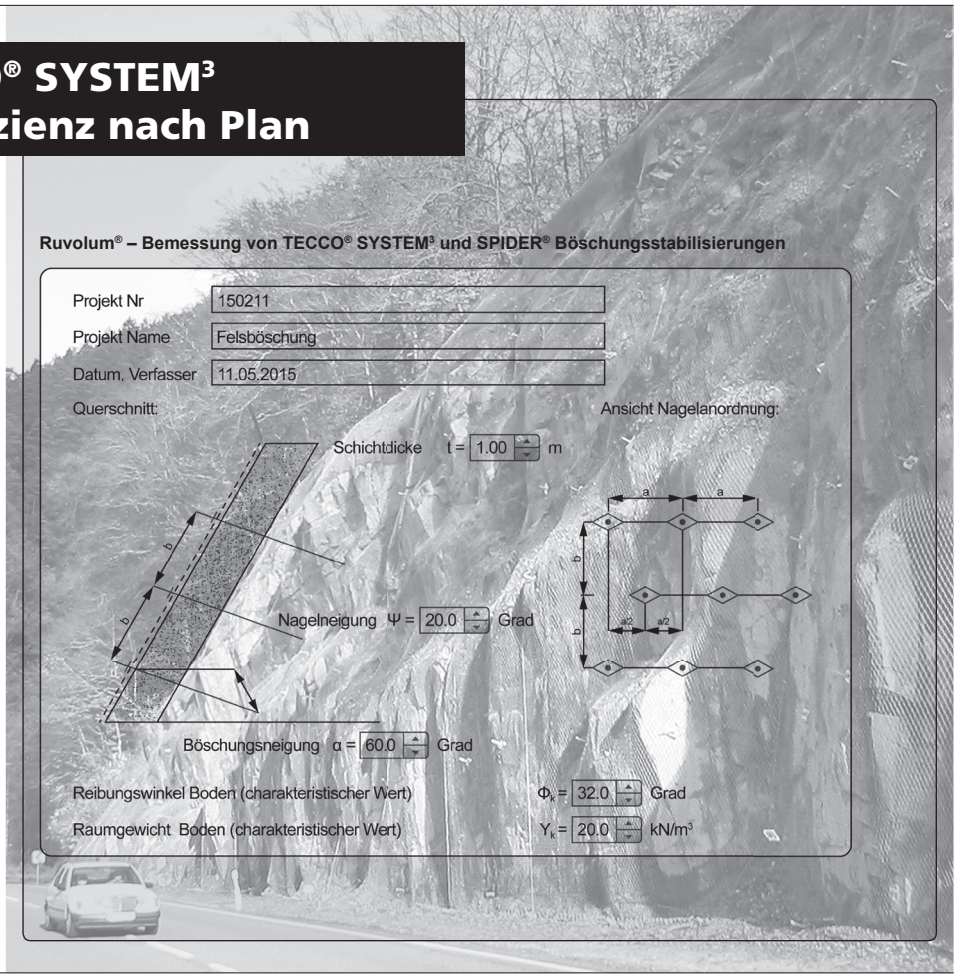
1. Nachweis Nagel gegen böschungsparalleles Abgleiten einer Oberflächenschicht,
2. Nachweis Geflecht gegen Durchstanzen und
3. Nachweis Nagel auf kombinierte Beanspruchung.

Für die Nachweise der Vernagelung wird die durch den Nagel aufzunehmende Kraft *S* in Ruvolum in Abhängigkeit der

Bemessen des TECCO® SYSTEM³ – Sicherheit und Effizienz nach Plan

- **Fels- und Lockergesteinsböschungen**
  stabilisieren innerhalb des TECCO® SYSTEM³
- **RUVOLUM® Online-Tool**
  zur sicheren und individuellen Bemessung gemäss EC7 unter Berücksichtigung geologischer Verhältnisse
- **Verlässliche Optimierung**
  von Geflecht und Nagelabständen – einfach und effizient mit dem RUVOLUM® Online-Tool
- **Getestet und zertifiert**
  auf Basis von 1:1 Grossfeldversuchen

RUVOLUM® Online-Tool verfügbar unter:
http://applications.geobrugg.com



GEOBRUGG®
BRUGG

Geobrugg AG
Geohazard Solutions
Aachstrasse 11 • CH-8590 Romanshorn • Schweiz
Tel: +41 71 466 81 55 • Fax: +41 71 466 81 50
www.geobrugg.com • info@geobrugg.com

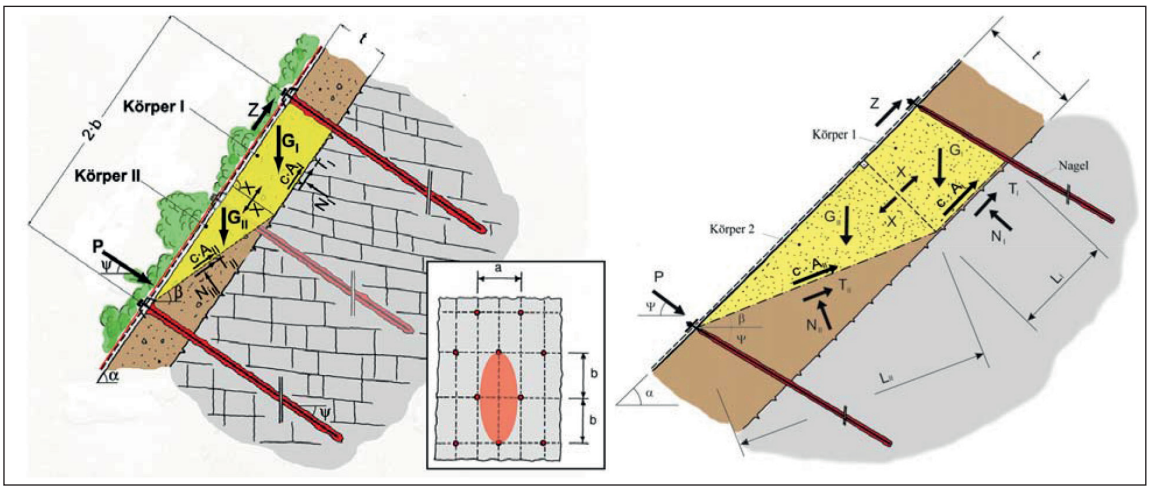


Abb. 3: Untersuchung von böschungsparallelen, oberflächennahen Instabilitäten

Grafik: aus [6] u. [7]

sogenannten „Systemvorspannkraft“ V, dem Eigengewicht des Bruchkörpers G (Abb. 2), des sogenannten „Modell-Unsicherheitsbeiwertes“ γ_{mod} und der Kohäsionskraft $c{\cdot}A$ nach Formel (1) ermittelt:

Die „Systemvorspannkraft“ V ist dabei diejenige Kraft, mit der das Geflecht gegen den Nagelkopf vorgespannt wird, indem durch das Festziehen der Mutter die Krallplatten satt auf bzw. leicht in den Boden gedrückt werden. Insbesondere bei einer unebenen Böschungsoberfläche sollte der Ansatz dieser „Systemvorspannung“ und der daraus resultierenden Druckkraft auf die Böschungsoberfläche vom Anwender allerdings kritisch hinterfragt werden. Sofern das System auf einer ebenen Böschungsoberfläche (z. B. bei einem Einschnitt im Lockergestein) verlegt werden soll, ist sicherzustellen, dass diese „Systemvorspannung“ über die gesamte Lebensdauer des Systems bestehen bleibt (Abb. 4). Ebenso hat der Ansatz einer Kohäsion in der angenommenen Gleitfläche einen wesentlichen Anteil an der vom Nagel aufzunehmenden Kraft; daher sollte in der Praxis in der Regel auf der sicheren Seite liegend angenommen werden, dass dieser Einfluss zu vernachlässigen ist.

$$S[kN] = G\cdot \sin\alpha - V\cdot \cos(\Psi+\alpha) - \frac{c\cdot A + \left[G\cdot \cos\alpha + V\cdot \sin(\Psi+\alpha)\right]\cdot \tan\varphi}{\gamma mod} \qquad (1)$$

Abb. 4: Böschungsinstabilitäten unter dem Geflecht infolge Erosion, dadurch Verlust der „Systemvorspannung“

Foto: Kempfert + Partner

Die berechnete Kraft S wird dann für die Tragsicherheitsnachweise der Vernagelung dem eingesetzten Nageltyp (z. B. Gewi 28 mm mit der entsprechenden Stahlgüte) gegenübergestellt.

Die vom Anwender eingegebene „Systemvorspannung“ wird auch für den Nachweis des Geflechtes gegen Durchstanzen berücksichtigt. In Ruvolum können dazu Werte im Bereich von 0 kN bis 50 kN eingegeben werden.

Für die Bemessung des Geflechtes werden dann hinsichtlich der Untersuchung von lokalen Instabilitäten zwischen den einzelnen Nägeln folgende Nachweise geführt:

1. Nachweis gegen Abscheren des Geflechtes am bergseitigen Krallplattenrand und
2. Nachweis Geflecht auf punktuelles Einleiten der böschungsparallelen Kraft Z vom Geflecht auf den Nagel.

Dabei werden Bruchkörper zwischen den einzelnen Nägeln betrachtet, deren Abmessungen durch das gewählte Nagelraster und dem so genannten „Radius des Druckkegels oben ζ“ (Abb. 5) begrenzt werden. Des Weiteren wird angenommen, dass am oberen Nagel eine böschungsparallele Kraft Z wirkt. Entsprechend den Anmerkungen zur Berücksichtigung der „Systemvorspannung“

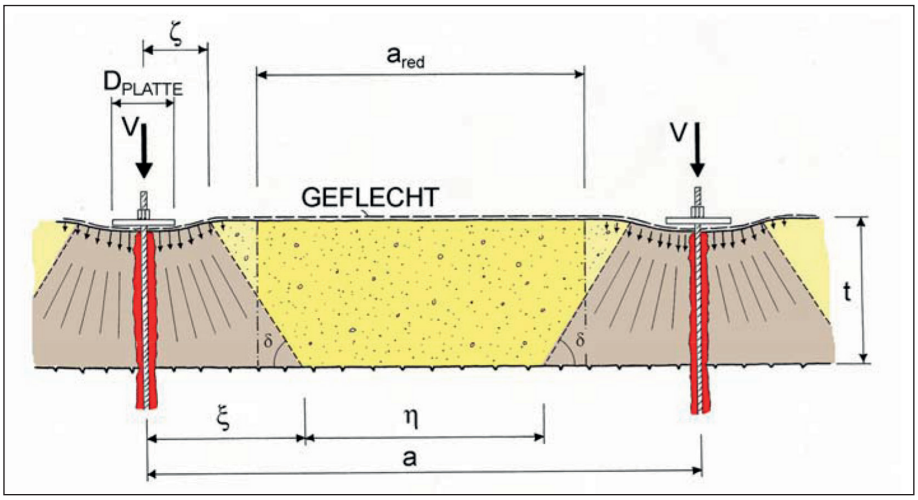


Abb. 5: Untersuchung von böschungsparallelen, oberflächennahen Instabilitäten

Grafik: aus [6] u. [7]

sollte auch hier objektspezifisch hinterfragt werden, ob das Geflecht, z. B. aufgrund der Böschungsgeometrie und der Untergrundeigenschaften, so verlegt werden kann, dass insbesondere die Druckkraft über die gesamte Lebensdauer des Systems wirksam bleibt.
Für die so definierten Abmessungen der Bruchkörper (Abb. 3 und 5) wird durch Variation der Neigung der Gleitfläche β die maximale Kraft P aus den Eigengewichten G_I und G_{II} nach Formeln (2) und (3) ermittelt.

Hinsichtlich der Systemelemente und damit der Tragwiderstände des Systems wurde die seit 2009 bestehende Zulassung (Tecco-Geflecht mit einer Drahtstärke von 3 mm) im Jahre 2014 ergänzt um die Drahtstärken 2 mm und 4 mm. Des Weiteren wurde die Anwendungsmöglichkeit durch den Einsatz einer größeren Krallplatte („P66“) erweitert. Für die oben aufgeführten Nachweise müssen dabei folgende Tragwiderstände des Systems bekannt sein:

- Tragwiderstand des Geflechtes auf punktuelle, böschungsparallele Zugbeanspruchung,
- Tragwiderstand des Geflechtes gegen Durchstanzen in Nagelrichtung und
- Tragwiderstand des Geflechtes gegen Abscheren am Krallplattenrand infolge des Herausgleitens eines Bruchkörpers aus der Böschung.

Im vorliegenden Fall wurden die in der Bemessungssoftware berücksichtigten Tragwiderstände in Abhängigkeit der jeweiligen Kombination der Systemelemente versuchstechnisch bestimmt.

Bemessung mit felsmechanischen Ansätzen

Die Bemessung des Systems Steelgrid HR30 erfolgt mit der Bemessungssoftware Macro1 mit felsmechanischen Ansätzen für maßgebende abgleitende Felskörper. Neben der Eingabe der Böschungsgeometrie (z. B. Böschungsneigung β, Schichtdicke der Oberflächeninstabilität) und der Systemelemente (Maschentyp, Ankertyp und -abstände) wird für die Untersuchung die Angabe einer Kluftneigung α erforderlich (Abb. 6). Dabei werden grundsätzlich unterschiedliche Gleitkörper untersucht:

- Böschungsparalleles Abgleiten: Gleitkörper, welche böschungsparallel abgleiten können und vorwiegend durch Nägel gesichert werden.
- Kluftparalleles Abgleiten: Gleitkörper, welche entlang der Kluft / Haupttrennfläche abgleiten können.

Bei der Bemessung des erforderlichen Nagelquerschnitts unter Ansatz eines böschungsparallelen Abgleitens erfolgt zunächst ein Vergleich der stabilisierenden zu den treibenden Kräften des betrachteten Gleitkörpers unter dem Winkel β. Dabei wird durch

$$P[kN] = \frac{G_{II} \cdot [\gamma_{mod} \cdot \sin\beta - \cos\alpha \cdot \tan\varphi] + (X - Z) \cdot [\gamma_{mod} \cdot \cos(\alpha - \beta) - \sin(\alpha - \beta) \cdot \tan\varphi] - c \cdot A_{II}}{\gamma_{mod} \cdot \cos(\beta + \Psi) + \sin(\beta + \Psi) \cdot \tan\varphi} \quad (2)$$

mit $$X[kN] = \frac{G_I \cdot (\gamma_{mod} \cdot \sin\alpha - \cos\alpha \cdot \tan\varphi) - c \cdot A_I}{\gamma_{mod}} \quad (3)$$

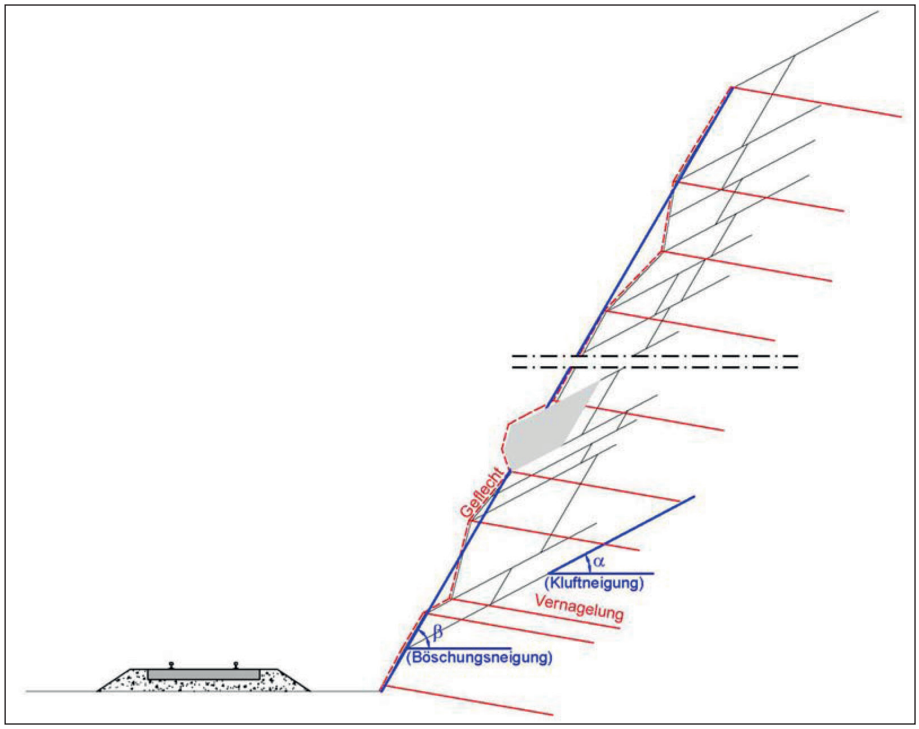


Abb. 6: Definition der Winkel α und β sowie Darstellung des abgleitenden Felskörpers

Grafik: Kempfert + Partner

den Ansatz des böschungsparallelen Anteiles der Gewichtskraft des Gleitkörpers davon ausgegangen, dass sich der Gleitkörper zunächst (d. h. vor der Sicherung) im Grenzgleichgewicht befindet. Damit ergibt sich durch den Einsatz des Nagels eine Erhöhung der Standsicherheit über das Grenzgleichgewicht hinaus.
Im Berechnungsmodell wird dann ein Nagelquerschnitt festgelegt und unter Einbeziehung der Teilsicherheit auf den Nagelwiderstand R der Nachweis einer ausreichenden Sicherheit über folgende Gleichung geführt.

$$\frac{W \cdot \sin(\beta) \cdot (1 - c)}{\gamma_{RW}} + R \geq W \cdot \gamma_{DW} \cdot (\sin(\beta) + c \cdot \cos(\beta)) \quad (4)$$

DQS-zertifiziert nach ISO 9001 : 2008

Technologie
Gesellschaft für Bauingenieurleistungen und Arbeitsvorbereitung mbH

Verkehrsplanung
Eisenbahnbau
Straßenbau
Brückenbau

Bauüberwachung
Bauoberleitung
Bauüberwachung mit Zulassung DB AG
SiGeKo

Projektmanagement
Projektleitung
Projektsteuerung

Umwelt
Erkundungen
Analytik
Gutachten

Hausanschrift:
Im Finigen 6 · 28832 Achim
Tel.: 04202/9777-0
Fax: 04202/9777-20

E-Mail:
planung@technologiegmbh.de
umwelt@technologiegmbh.de

www.technologiegmbh.de

mit:
W = Gewichtskraft des von einem Nagel zu haltenden Gleitkörpers,
c = seismischer Beiwert zur Reduzierung der Gewichtskraft bei Erdbeben,
R = stabilisierende Kraft auf die Gleitebene durch den Nagel und
γ_{RW}, γ_{DW} = Teilsicherheitsbeiwerte.

Grundsätzlich wäre ergänzend ebenfalls zu untersuchen, dass ein Gleitkörper entlang der angenommenen Kluftneigung α abgleitet. Da in der Regel die Böschungsneigung β größer als die Kluftneigung α angenommen wird, liegt der Nachweis unter Berücksichtigung der Böschungsneigung β auf der sicheren Seite. Eine weitere Untersuchung mit einem Abgleiten unter der Kluftneigung α kann dann entfallen.
Hinsichtlich der Geflechtbemessung wird das in Abb. 7 dargestellte Bemessungsmodell zugrunde gelegt.
Für die Maschenbemessung werden zunächst infolge der Kraft F die „Durchstanzkräfte an den Maschen M" gemäß nachfolgender Formel (5) bestimmt:

$$M = F \cdot sin(\beta - \alpha) \cdot i_x = (M_{bdrv} - M_{bstb}) \cdot sin(\beta - \alpha) \cdot i_x \qquad (5)$$

mit:
F = Kraft infolge dem Abgleiten eines Gesteinsblockes entlang einer Kluftneigung α,

$$M_{bdrv} = M_b \cdot (sin(\alpha) + c \cdot cos(\alpha)) \cdot \gamma_{DW}$$
(treibende Kräfte),

$$M_{bstb} = \frac{M_b \cdot sin(\alpha) \cdot (1 - c)}{\gamma_{RW}}$$
(rückhaltende Kräfte),

M_b = Gewicht der instabilen Gesteinsmasse und
i_x = horizontaler Abstand zwischen den Nägeln

In Abhängigkeit der so berechneten Durchstanzkräfte und der daraus resultierenden Netzauslenkung werden die bemessungsrelevanten Zugkräfte im Geflecht T berechnet. Dabei werden nach [4] verschiedene Fälle unterschieden, wobei in der Regel zur Ermittlung der Zugkraft die Verformbarkeit (Wölbung) des Netzes und der damit mögliche größere Winkel des Netzes zur Böschungsoberfläche auf der sicheren Seite vernachlässigt werden sollte. Die Kraft T errechnet sich dann aus Formel (6):

$$T = \frac{M}{i_x \cdot sin(\beta - \alpha - \rho_P)} \qquad (6)$$

mit:
ρ_P = Winkel der Verformung des Netzes infolge der Kraft F bzw. der Durchstanzkraft M

Dieser Wert wird der Zugfestigkeit der Maschen T_{ADM} unter Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes γ_{MU} = 2,50 gegenübergestellt. Die Höhe des Teilsicherheitsbeiwertes berücksichtigt dabei auch eine ggf. ungleichmäßige Beanspruchung des Netzes.
Allgemein ist bei dem in Macro1 zugrunde gelegten Nachweiskonzept und der verwendeten Teilsicherheitsbeiwerte in [5] festzustellen, dass dabei von den Regelungen der DIN EN 1997-1 in [5] in Verbindung mit DIN 1054:1010-12 abgewichen wird, was seitens des Herstellers mit der besseren Anpassung des Sicherheitskonzeptes an die vorliegende Einzelanwendung begründet wird.
Im Rahmen der bauaufsichtlichen Prüfung für standsicherheitsrelevante Bauteile / Bauverfahren ist dennoch grundsätzlich zu prüfen, ob bei der Bemessung das Sicherheitsniveau bei Anwendung der Teilsicherheitsbeiwerte und des Nachweisverfahrens (GEO-2 bzw. STR) der DIN EN 1997-1 in Verbindung mit dem Nationalen Anwendungsdokument und der DIN 1054:2010-12 eingehalten ist. Dies kann im vorliegenden Fall so erfolgen, dass zunächst eine Bemessung in Macro1 mit den darin verwendeten Sicherheitsbeiwerten erfolgt. Zur Überprüfung des erforderlichen Sicherheitsniveaus ist dann anschließend eine Vergleichsberechnung durchzuführen, wobei in die Gleichungen (4) bis (6) die Teilsicherheitsbeiwerte für Beanspruchungen aus allgemeinen ständigen Einwirkungen γ_G nach DIN 1054:2010-12 (statt γ_{DW}) und für Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen $\gamma_{G,inf}$ nach DIN 1054:2010-12 (statt γ_{RW}) einzusetzen sind.

Schlussbemerkung

Zur Stabilisierung von Fels- oder Lockergesteinsböschungen werden oftmals „offene Systeme" mit Drahtgeflechten verwendet. Für deren Einsatz im Bereich der Eisenbahnen des Bundes existieren zwei zugelassene Systeme, deren Bemessungskonzepte unterschiedlich sind. Bei der Planung einer Böschungsstabilisierungsmaßnahme sind daher neben wirtschaftlichen und baupraktischen Überlegungen auch Überlegungen hinsichtlich des der Realität am nächsten kommenden Versagensmechanismus anzustellen.
Während die Bemessung des Systems Tecco der Geobrugg AG grundsätzlich einen Einsatz sowohl für Lockergesteins- und Felsböschungen ermöglicht, ist bei der Anwendung des Systems Steelgrid HR 30 der Maccaferri Deutschland GmbH darauf zu achten, dass auch die Böschungsoberfläche einen Felscharakter aufweist und dass Beanspruchungen bei einem Abgleiten entlang von vorgegebenen Trennflächen aufgenommen werden können.

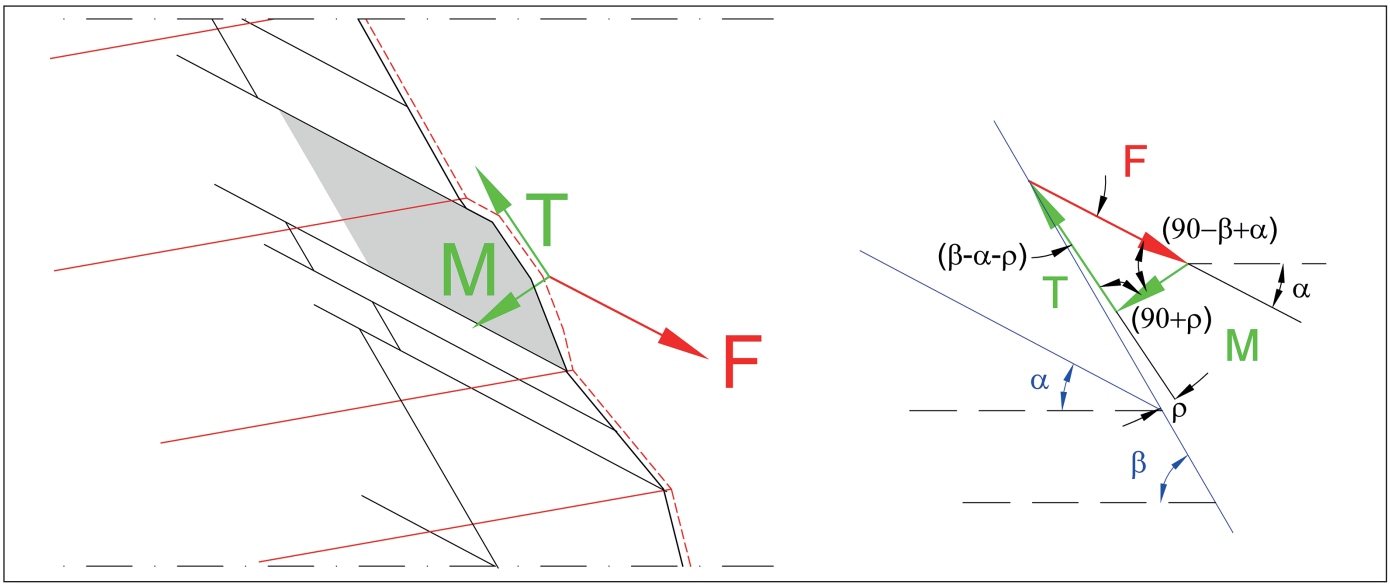


Abb. 7: Kräfte auf die Masche zwischen zwei Ankern

Grafik: Kempfert & Partner

Unabhängig von dem gewählten Bemessungsverfahren sind durch den Anwender zahlreiche Annahmen zu treffen, welche sich im Vorfeld nicht eindeutig festlegen lassen, wie z. B. bei einer stark unregelmäßigen Böschungsoberfläche, welche zur Bemessung in eine mittlere Böschungsneigung „vereinheitlicht“ wird. Dabei ist zu beachten, dass es insbesondere bei klüftiger Böschungsoberfläche infolge von lokal senkrechten oder sogar überhängenden Felspartien zu einer Überschreitung der Tragfähigkeit des Maschensystems kommen kann, sofern keine ergänzenden Maßnahmen (z. B. Einzelblocksicherung oder Zwischennägel) getroffen werden. Ebenso sind für die Bemessung die Verwitterungsanfälligkeit des Festgesteins, die mögliche Auflockerung durch Frost-Tau-Zyklen, oberflächennah ablaufendes Hangwasser usw. zu berücksichtigen. Die gewählten Parameter sind dabei so zu wählen, dass diese für die vorgesehene Lebensdauer des Systems nicht zu einer Unterdimensionierung führen können.

Da nicht alle Eingangsparameter für die Lebensdauer des Systems eindeutig festgelegt werden können, ist eine ausreichende Kenntnis der zugrundeliegenden boden- bzw. felsmechanischen Ansätze Grundvoraussetzung, um zu erkennen, wie die Eingangsparameter sich bei der Bemessung auswirken und eine Unterdimensionierung des Systems ausgeschlossen werden kann.

LITERATUR

[1] Zulassung für das Böschungsstabilisierungssystem Tecco, Geobrugg AG, Schweiz, Gz. 21.43-21izbie/008-2101#016-(046/13-Zul), 08.08.2014, Eisenbahn-Bundesamt

[2] Zulassung zur Betriebserprobung für das Böschungsstabilisierungssystem Steelgrid HR 30, Maccaferri Deutschland GmbH, Gz. 21.43-21izbie/004-2101#015-(012/11-Zul), 26.05.2014, Eisenbahn-Bundesamt

[3] Ruvolum: Bemessungssoftware, Version 2014, Geobrugg AG, Schweiz

[4] MAC.RO.1: Theorie und Grundlagen des Berechnungsverfahrens (Version 1.07), Maccaferri Deutschland GmbH

[5] DIN EN 1997-1:2009-09 (Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln)

[6] *Rüegger, R.; Weingart, K.; Bickel, M.:* Anforderungen an flexible Böschungsstabilisierungssysteme bei der Anwendung in Boden und Fels, 4. Kolloquium „Bauen in Boden + Fels“, Technische Akademie Esslingen (2004)

[7] *Rüegger, R.; Flum, D.:* Anforderungen an flexible Böschungsstabilisierungssysteme bei der Anwendung in Boden und Fels, 5. Kolloquium „Bauen in Boden + Fels“, Technische Akademie Esslingen (2006)

Dipl.-Ing. Oliver Krist

Geotechnischer Ingenieurbau, Bau- und Eisenbahnaufsicht sowie Zulassungen, Zentrale des EBA, Ref. 21, Bonn – Büro München
kristo@eba.bund.de

Dr.-Ing. Marc Raithel

Geschäftsf. Gesellschafter, Kempfert + Partner Geotechnik, Würzburg,
durch das EBA anerkannter Gutachter für Geotechnik im Eisenbahnbau
m.raithel@kup-geotechnik.de

Dipl.-Ing. Klaus Weingart

Kempfert + Partner Geotechnik, Würzburg
k.weingart@kup-geotechnik.de

Zusammenfassung

Bemessung von Drahtgeflechten zur Stabilisierung von Böschungen

Zur sicheren Betriebsführung werden entlang von Fels- oder Lockergesteinsböschungen gegebenenfalls zusätzliche Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Sofern „offene Systeme“ mit einem Drahtgeflecht eingesetzt werden sollen, liegen vom Eisenbahn-Bundesamt zugelassene Systeme der Fa. Geobrugg und der Fa. Maccaferri Deutschland GmbH vor. Deren Bemessungen unterscheiden sich in Abhängigkeit der Systemelemente und des Untergrundes. Die Auswahl des geeigneten Systems muss sich daher neben wirtschaftlichen und baupraktischen Überlegungen auch nach dem der Realität am nächsten kommenden Versagensmechanismus und dem Untergrund richten. Die Annahmen sind dabei so zu wählen, dass diese für die vorgesehene Lebensdauer des Systems nicht zu einer Unterdimensionierung führen können.

Summary

Dimensioning of wire meshes to stabilise embankments

In order to ensure safe operation, additional securing measures may become necessary alongside rock or loose rock embankments. Should “open systems” with a wire mesh be required, the systems supplied by the companies Geobrugg and Maccaferri Deutschland GmbH are approved by the German Federal Railway Authority. Their dimensioning depends on the system elements and the subsoil. Besides economic and practical construction considerations, the choice of the appropriate system will depend on the mechanism of failure that comes closest to reality as well as on the subsoil. The assumptions have to be chosen in a way as to ensure that the system is sufficiently dimensioned for its foreseen lifetime.

MACCAFERRI

Engineering a better solution

Geotechnische Lösungen und Leistungen

Neues Hangvernetzungssystem
STEELGRID HR 30
Jetzt mit EBA-Zulassung

Unsere Lösungen:

- *Gabionen, Stützwände*
- *Böschungssicherung*
- *Bewehrte Erde*
- *Rückverankerte Vertikalwände*
- *Erosionsschutz*
- *Steinschlagschutz*
- *Asphaltarmierung*
- *Stahlfaser Wirand*
- *Tunnel und Bodenplatten*

Unsere Leistungen:

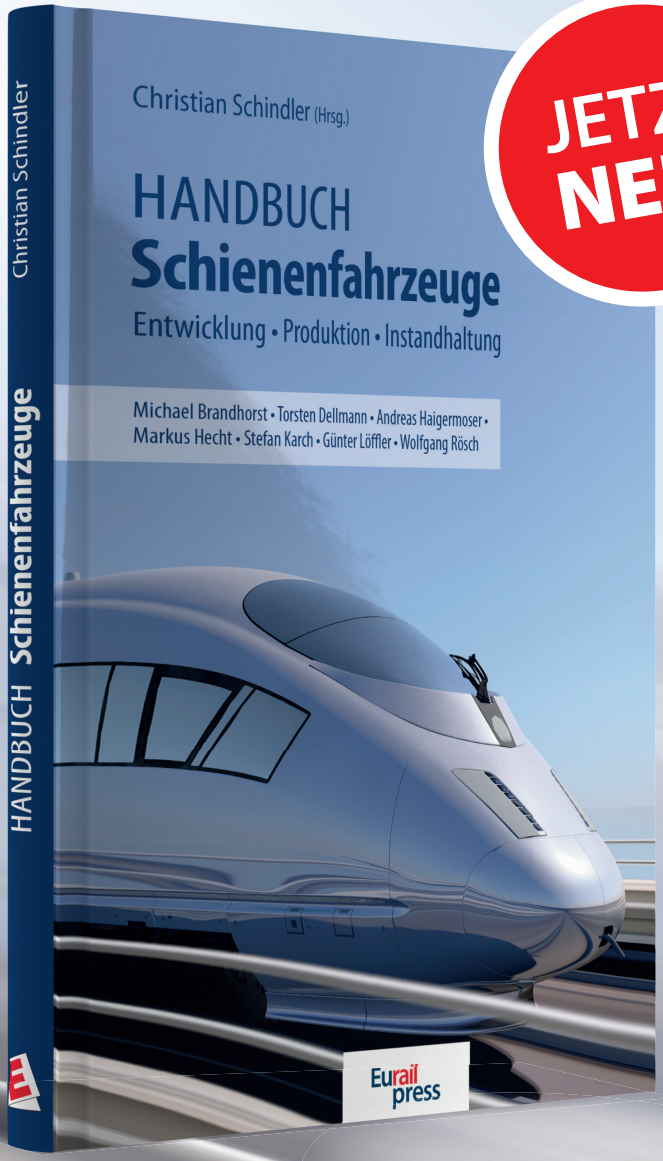
- Design • Produktion
- Lieferung • Realisierung

MACCAFERRI DEUTSCHLAND GmbH
Kurfürstendamm 226
D-10719 Berlin
Tel. : +49 30 88007979
Fax : +49 30 88007980
www.maccaferri.de

HANDBUCH

Schienenfahrzeuge

Das Bindeglied zwischen theoretischem Wissen und der Praxis.



JETZT NEU!

Speziell für Fachleute aus der Industrie und Studierende

Theorie- und Praxiswissen für Ihren Erfolg

- Grundlagen der Schienenfahrzeugtechnik
- Überblick über gängige Fahrzeugkonzepte
- zukünftige Herausforderungen und Entwicklungstendenzen

Jetzt bestellen für nur EUR 99,–* (inkl. MwSt, zzgl. Versand)

Telefon: 040-23714-440, E-Mail: buch@dvvmedia.com
oder in unserem Buchshop unter **www.eurailpress.de/schienenfahrzeuge**

Technische Daten: ISBN 978-3-7771-0427-0 • **Format** 165 x 240 mm
***Preis:** EUR 99,– (inkl. MwSt, zzgl. Versand)

DVV Media Group

Eurail press