

# 18. Weiterbildungsseminar

## FACHTAGUNG RUTSCHUNGEN

FOLGEN - FORSCHUNG - PRAXIS



- Wiederkehrintervalle von Bergstürzen
- Erosion von großen Bergsturzablagerungen
- Anforderungen an Höhenarbeiten
- Langzeiterfahrungen mit Steinschlagschutznetzen
- Sanierungskonzepte zur Renaturierung von Braunkohletagebauten
- Bauvertragsrecht 2018
- Workshop: Arbeiten mit QGIS, SAGA-GIS, LiDAR-Daten und Geländemodellierung

05. bis 07. Juni 2018

Forschungsstelle Rutschungen an der  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz



JOHANNES GUTENBERG  
UNIVERSITÄT MAINZ



Forschungsstelle Rutschungen e.V.  
an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz



Zentrum für wissenschaftliche Weiterbildung  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Tagungsleitung:

Prof. Dr. Johannes Feuerbach, geo-international Dr. Johannes Feuerbach GmbH, Mainz

Redaktion und Lektorat:

Dr. Manuel Lauterbach, geo-international Dr. Johannes Feuerbach GmbH, Mainz

Mitorganisation:

Gerdi Biehs, Forschungsstelle Rutschungen Mainz

Für den Inhalt der Beiträge sind die jeweiligen Autoren verantwortlich.

Jede Form der Wiedergabe oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, erfordert die schriftliche Zustimmung der Autoren.

Herausgeber:

J. Feuerbach & M. Lauterbach: Fachtagung Rutschungen: Folgen - Forschung - Praxis,  
18. Weiterbildungsseminar der Forschungsstelle Rutschungen; Mainz, Mai 2018

Alle Rechte am Werk liegen bei den Autoren

Forschungsstelle Rutschungen e.V.  
an der Johannes Gutenberg-Universität  
Mombacher Straße 49-53  
D-55122 Mainz  
Tel: +49 6131 384083  
Fax: +49 6131 387076  
fsr@geo-international.info  
www.forschungsstellerutschungen.de

1. Auflage

Herstellung: freeSPIRIT - das kreativhaus, D-53547 Breitscheid

Fotos/Graphiken: von den Autoren, soweit nicht anders angegeben

Titelbild: Mit rückvernagelter Spritzbetonschale und Erosionsschutzgeflecht gesicherte

Abrisszone einer Rutschung im Bergischen Land, Rhein-Sieg-Kreis; Aufnahme: C. Czegley, 2017

**ISSN 2196-2863**

## Die Forschungsstelle Rutschungen in Mainz

Hang- und Böschungsrutschungen nehmen weltweit infolge des Bevölkerungswachstums, des Ausbaus der Infrastrukturen sowie der globalen Klimaveränderung dramatisch zu. Die Entwicklung neuer Methoden im Umgang mit dem Phänomen Rutschungen werden immer dringlicher. Auch in Rheinland-Pfalz, wo die Forschungsstelle Rutschungen ihren Sitz hat, verursachen die Folgen von Massenschwerebewegungen erhebliche wirtschaftliche Schäden an Straßen, Gebäuden und anderen Infrastrukturen. Durch Steinschläge, Felsstürze, Hangrutschungen und Murabgängen sind dabei oftmals auch Menschenleben unmittelbar gefährdet.

### Ziele

Die Forschungsstelle Rutschungen e.V. wurde 1997 mit dem Ziel gegründet, das Wissen über Hang- und Böschungsbewegungen zu bündeln, verfügbar zu machen und effektive Lösungsmöglichkeiten bei der Sanierung und Stabilisierung von Rutschungen zu entwickeln.

Im Vordergrund steht dabei die interdisziplinäre, praxisnahe Forschung auf dem Gebiet der Schadensreduzierung und der Risikominderung, im Hinblick auf Daseinsvorsorge und Umweltschutz.

Ein weiteres Ziel ist, die unmittelbaren Auswirkungen sowie die langfristigen Folgewirkungen menschlicher Eingriffe in Hanglagen qualitativ und quantitativ zu erfassen und zu bewerten. Beispiele solcher Eingriffe sind Veränderungen der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung, Flurbereinigungen, Bau von Verkehrswegen und Siedlungen sowie Änderungen in der Grundwasserführung.

Die Forschungsstelle Rutschungen arbeitet aktiv und koordinierend mit bei der Lösung von Hangstabilitäts- und Erosionsproblemen. Sie bringt Fachkenntnisse, Erfahrungen und Methoden in fachlichen Gremien ein. Sie berät und gibt Empfehlungen für Verwaltung und Gesetzgeber.

### Profil

In der Forschungsstelle Rutschungen haben sich Wissenschaftler aus Forschung und Praxis der Fachdisziplinen Ingenieurgeologie, Hydrogeologie, Geomorphologie, Geophysik und Bauingenieurwesen vereinigt, um die unterschiedlichen Aspekte bei der Beurteilung von Hang- und Böschungsbewegungen zu sammeln und durch interdisziplinäre Zusammenarbeit neue Lösungsmöglichkeiten bei der Gefahrenabwehr und -beseitigung zu finden. Durch die praxisnahe Forschungstätigkeit wird ein Beitrag zu einer umweltgerechten Planung von Baumaßnahmen und Infrastrukturen geleistet. Aufgrund langjähriger Erfahrung der Mitarbeiter im In- und Ausland bildet die Forschungsstelle Rutschungen eine kompetente Anlauf- und Informationsstelle für Behörden, Ingenieurbüros und Privatpersonen.

### Mitgliedschaften

Mitglied des Vereins kann jede natürliche Person werden, die ein den Zweck des Vereins berührendes Hochschul- oder Fachhochschulstudium abgeschlossen hat. Ebenso können wissenschaftliche Gesellschaften, Institute, Verbände, Fachfirmen und Behörden die juristische (unpersönliche) Mitgliedschaft erwerben.

Um einen Anreiz für den Erwerb der Mitgliedschaft zu schaffen, wurden die Beiträge zwischenzeitlich erheblich gesenkt. Der Beitrag für die Mitgliedschaft natürlicher Personen beträgt nur 90,- € im Jahr. Für juristische Personen bzw. Körperschaften/Firmen wird ein Mitgliedsbeitrag von mind. 250,- € erhoben. Für Doktoranden, Ruheständler und arbeitssuchende Mitglieder gilt der ermäßigte Jahresbeitrag in Höhe von 45,- €. Mitglieder dürfen selbstverständlich kostenfrei an den Weiterbildungsseminaren teilnehmen.

### Aufgabengebiete

- Wissens- und Technologietransfer
- Aus- und Weiterbildung
- Öffentlichkeitsarbeit für Medien
- Vergabe und Mitbetreuung von wissenschaftlichen Arbeiten
- regionale Gefahren- und Risikoabschätzung:
  - Rutschungsursachen
  - Gefahrenkarten
  - Risikokarten
- praxisnahe Forschung:
  - Rutschungsursachen
  - Kinematik/Dynamik
  - Stabilisierungs-/Sanierungsmethoden
  - Messtechnik
- Expertensysteme
- Schnittstelle Forschung – Praxis
- Informationen zu umweltrelevanten Fragen bezüglich Standsicherheiten, Gestaltung und Rekultivierung von Böschungen an Verkehrswegen und Tagebauen im Planungs-, Ausführungs- und Unterhaltungsstadium
- Informationsstelle über Stabilisierungs- und Sanierungsmethoden bei Hang- und Böschungsrutschungen

## Autoren- und Referentenverzeichnis

### **Dr. Anja Dufresne**

RWTH Aachen University  
Engineering Geology and Hydrogeology  
Lochnerstr. 4-20  
D - 52064 Aachen  
Tel. +49 241 80 96779  
Mail: dufresne@lih.rwth-aachen.de

### **Dipl.-Geol. Eberhard Gröner**

Geobrugg AG  
Aachstr. 11  
CH - 8590 Romanshorn  
Tel. +41 71 466 81 79  
Mail: eberhard.groener@geobrugg.com

### **Dr.-Ing. Thomas Meier**

Baugrund Dresden Ingenieurgesellschaft mbH  
Kleiststr. 10a  
D - 01129 Dresden  
Tel. +49 351 82413 50  
Mail: meier@baugrund-dresden.de

### **Dipl.Geol. Jürgen Unger-Temmes**

GeoAlpin GmbH  
Am Oberschloss 21  
D - 99448 Kranichfeld  
Tel.: +49 36450 437470  
Mail: kontakt@geoalpin.eu

### **RA Dr. Franz-Peter Gallois**

GTK-Rechtsanwälte  
Bau- und Wirtschaftsrecht  
Hindemithstr. 29  
D - 55127 Mainz  
Tel. +49 6131 5733070  
Mail: pgallois@gtk.de

### **M.Sc. Sibylle Knapp**

Technical University of Munich  
Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt  
Arcisstr. 21  
D - 80333 München  
Tel. +49 89 289 25895  
Mail: sibylle.knapp@tum.de

## Ausstellerverzeichnis

### **Dr. Bertges Vermessungstechnik**

Flurstr. 7  
D - 66887 Neunkirchen am Potzberg  
Tel. +49 6385 925592  
Mail: info@drbertges.de  
www.drbertges.de

### **GEORADO-Stiftung**

Zentrum Geotechnik Tharandter Wald  
Talstr. 11  
D - 01738 Dorfhain  
Tel. +49 35055 69680  
Mail: post@georado.de  
www.georado.de

### **MACCAFERRI Deutschland GmbH**

Kurfürstendamm 226  
D - 10719 Berlin  
Tel. +49 30 88007979  
Mail: office@maccaferri.de  
www.maccaferri.de

### **Geobrugg AG**

Aachstr. 11  
CH - 8590 Romanshorn  
Tel. +41 466 8155  
Mail: info@geobrugg.com  
www.geobrugg.com

### **Jähinig GmbH**

Felssicherung und Zaunbau  
Talstr. 11  
D - 01738 Dorfhain  
Tel. +49 35055 6950  
Mail: kontakt@jaehniggmbh.de  
www.jaehniggmbh.de

### **Trumer Schutzbauten GesmbH**

Handelsstr. 6  
A - 5431 Kuchl  
Tel. +43 6244 20325  
Mail: office@trumerschutzbauten.com  
www.trumerschutzbauten.com

## 4 Langzeiterfahrungen von Böschungsstabilisierungen mit hochfesten Drahtgeflechten

DIPL.-GEOL. EBERHARD GRÖNER & DIPL.-ING. ARMIN RODUNER  
(GEOBRUGG AG, ROMANSHORN, SCHWEIZ)

### Einleitung

Böschungsstabilisierungen mit Geflechtem aus hochfestem Stahldraht, mit einer Zugfestigkeit von  $>1770 \text{ N/mm}^2$ , finden ihren Einsatz seit dem Jahr 2000. Seither haben sie sich als zuverlässige Systeme im Lockergesteins- und Felsbereich bewährt (Abb. 1). Das Nagelraster, kann aufgrund der hohen Lastaufnahme des Systems, optimiert werden. Dies führt zu einer Reduzierung der Gesamtkosten und stellt dadurch eine wirtschaftliche Lösung, im Vergleich zu herkömmlichen Systemen, wie Spritzbeton und Drahtgeflechtem mit einer geringeren Zugfestigkeit, dar.



Abb. 1: Steilböschung mit einer Sicherung aus hochfestem Stahldrahtgeflecht - System TECCO®.

Mit dem Bemessungskonzept RUVOLUM® können die rechnerischen Nachweise geführt werden. Das Sicherheitsniveau und die Zuverlässigkeit sind deshalb, im Vergleich zu konstruktiven Massnahmen, deutlich höher. Die Nachhaltigkeit und die Wirtschaftlichkeit entsprechender Sicherungssysteme kann unter Berücksichtigung der zu erwartenden Nutzungsdauer ermittelt werden. Je länger die Systeme im Einsatz sind, desto verlässlicher kann eine Aussage zur Nachhaltigkeit gemacht werden.

In unserem Beitrag betrachten wir drei Sicherungsmassnahmen mit dem TECCO® G65/3 Böschungsstabilisierungssystem aus den Jahren 2000 bzw. 2005. Nach einer Beschreibung der Situation vor bzw. während der Installation und nach 11, 13 bzw. 17 Jahren, wird der Gesamtzustand, der Zustand der Vegetation, der Stabilisierungseffekt und die Verformungen betrachtet.

Zusätzlich werden Bauteile stichprobenartig begutachtet und die Zn/Al Beschichtung der Geflechtem im Labor untersucht, um eine Aussage über die zu erwartende Nutzungsdauer machen zu können.

### Böschungsstabilisierungen mit hochfesten Drahtgeflechtem

Im Jahr 1999 wurden durch die Geobrugg AG, Romanshorn Schweiz, Geflechtem aus hochfestem Stahldraht mit rhombusförmigen Maschen entwickelt. Dadurch wurde das einfache Handling von Drahtgeflechtem mit einer hohen Festigkeit verbunden. Bei der Entwicklung des Systems wurde klar, dass die Kräfteinleitung über das Geflecht in die Vernagelung von entscheidender Bedeutung ist. Es wurden deshalb entsprechende Ankerplatten, sogenannte Krallplatten, in ihrer Grösse, Geometrie und ihrem Biegeverhalten auf die neuen Anforderungen angepasst.

Aufgrund der hohen Zugfestigkeit der verwendeten Drähte mit  $>1770 \text{ N/mm}^2$  können z.B. durch das Standardgeflecht TECCO® G65/3, Lasten auf Durchstanzen von 180 kN bzw. 90 kN durch abgleitende Körper in die Vernagelung eingeleitet werden. Entsprechend lässt sich das Böschungsstabilisierungssystem aktiv gegen den Untergrund vorspannen (Abb. 2).

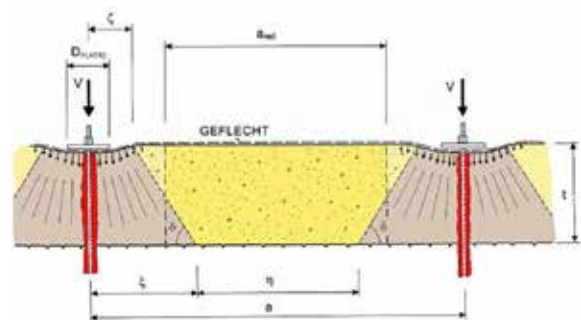


Abb. 2: Geflechtvorspannung im Bereich der Druckkegel der Verankerungsplatten. Zwischen den Druckkegeln ist der Querschnitt der massgebend instabilen Masse.

## Bemessung gegen oberflächennahe Instabilitäten und Rutschungen

Die Bemessung des TECCO® Systems, bestehend aus hochfesten Drahtgeflechten, kombiniert mit den TECCO® Systemkrallplatten und einer Vernagelung, wurde für die unten aufgeführten Anwendungsbeispiele nach dem Bemessungskonzept RUVOLUM® durchgeführt. Dieses ist allgemein gültig und kann für die Bemessung gegen oberflächennahe Instabilitäten im Lockergestein, sowie in stark aufgelockerten Felsböschungen, verwendet werden. Grundlage für die Bemessung bilden die Tragwiderstände der einzelnen Bauteile, welche in realitätsgetreuen, wiederholbaren Versuchen, ermittelt wurden. Das Bemessungskonzept RUVOLUM® ist durch Rügger [1] [2] eingehend beschrieben und kann unter [www.geobrugg.com](http://www.geobrugg.com), [myGeobrugg.com](http://myGeobrugg.com) eingesehen und genutzt werden.

Das Bemessungskonzept beinhaltet die Untersuchung von oberflächennahen, böschungsp parallelen Instabilitäten (Abb. 3) sowie die Untersuchung von lokalen Instabilitäten zwischen den einzelnen Nägeln (Abb. 4).

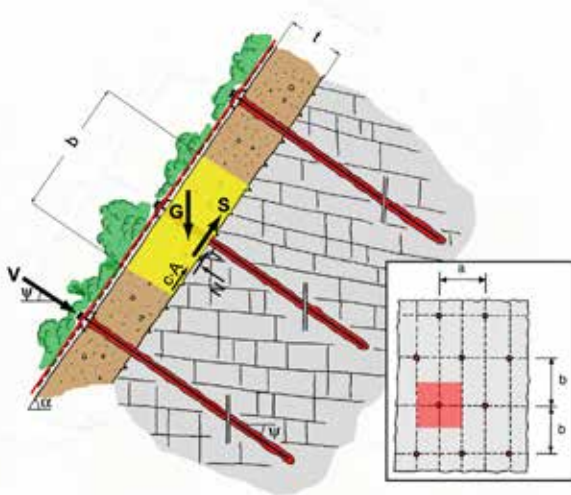


Abb. 3: Oberflächennahe, böschungsp parallele Instabilitäten

Der Einfluss von Strömungsdruck und Erdbebenkräften kann ebenfalls berücksichtigt werden. Das Bemessungskonzept RUVOLUM® wurde in einem Forschungsprojekt in Grossfeldversuchen von 2012 – 2015 mit 31 Versuchen überprüft und dessen Praxistauglichkeit nachgewiesen [3] (Abb. 5).

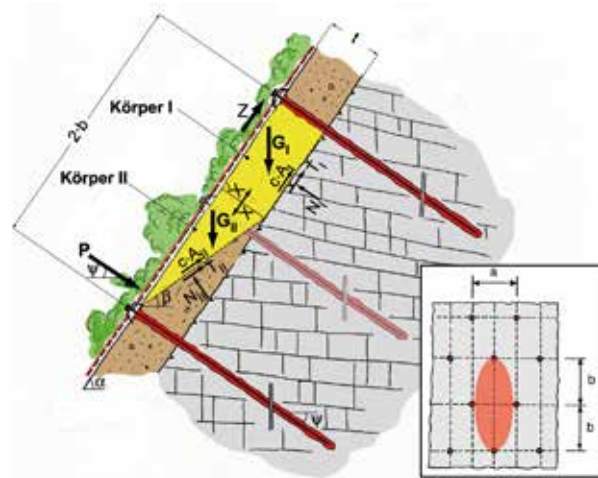


Abb. 4: Lokale Instabilitäten zwischen den einzelnen Nägeln.



Abb. 5: Grossfeldversuch zur Verifizierung des RUVOLUM® Konzeptes.

## Beurteilung und Begutachtung

Für eine Langzeitbetrachtung wurden drei Böschungen ausgewählt, die vor 13 und 18 Jahren gesichert wurden und bei denen aufgrund von Begehungen entsprechende Erfahrungen vorliegen. Es wurden wegen der besseren Zugänglichkeit Böschungen an Strassen bevorzugt. Die Begutachtungen wurden mit Stichproben am oberen und unteren Rand der Sicherungsmassnahme, sowie mit Durchsteigungen, durchgeführt.

Für die Beurteilung wurden im Wesentlichen folgende Punkte betrachtet:

- Gesamtzustand der Sicherung
- Zustand der Vegetation
- Erosion und sichtbare Bewegungen
- Veränderungen hinter dem Geflecht
- Visuelle Beurteilung der Bauteile
- Betrachtung des Korrosionsschutzes

Der Befund der Begehungen wird im Folgenden beschreibend an Beispielen aufgeführt und in den Schlussfolgerungen diskutiert. Die Probenentnahme der Geflechte zur Prüfung der Zn/Al Beschichtung wurde subjektiv in Bereichen mit zu erwartend hohen Abtragsraten im Spritzwasser- bzw. im wechselfeuchten Bereich entnommen und in Bereichen mit eher geringeren Abtragsraten.

### Mülheim an der Ruhr: Installation im Jahr 2000

Die gesicherte Böschung erstreckt sich auf einer Länge von ca. 350 m mit Höhen von ca. 8 bis 15 m entlang des Flusses Ruhr. Die Ausrichtung ist nach Süden. Im unteren Bereich ist der Fels anstehend, mit einer Neigung im Bereich von 50 bis 80 Grad. Im oberen Bereich ist Lockergestein anstehend, mit Hangneigungen von ca. 30 bis 50 Grad.

Neben vereinzelt Steinschlag war aufgrund von Verwitterungsprozessen die oberflächennahe Schicht bis ca. 1 m in mehreren Bereichen auf die Strasse abgerutscht. In Abbildung 6 wird die Böschung im Jahr 2000 von losem Material beräumt und von der Vegetation befreit.



Abb. 6: Beräumung der Böschung und Abtrag instabiler Bereiche im Jahr 2000.

Vereinzelt wurden Bäume stehen gelassen um sie in die Sicherungsmassnahme zu integrieren.

Nach der Installation der Nägel und dem Verlegen des Geflechtes (TECCO® G65/3) wurde Humus im Lockergesteinsbereich auf die Böschung aufgebracht. Es wurde mit einer Nassansaat begrünt. Der Begrünerfolg ist in Abbildung 7 zu sehen. Die Beurteilung nach 17 Jahren, im September 2017, zeigt eine üppige Vegetation (Abb. 8). Im Strassenbereich ist ein regelmässiger Rückschnitt erkennbar. Hangaufwärts folgen kleinere Sträucher und Gestrüpp, gefolgt von grösseren Bäumen und Sträuchern. Die Entwicklung der Vegetation ist im direkten Vergleich von Abbildung 6 und 8 zu sehen.



Abb. 7: Gesicherte Böschung im Jahr 2000 nach aktiver Begrünung mit einer Nassansaat.



Abb. 8: Böschung nach 17 Jahren, im September 2017, mit einer üppigen Vegetation

Bei der genauen Betrachtung wurden vollständig in das Geflecht eingewachsene Bäume gefunden. Der Durchmesser der Bäume liegt im Bereich bis 70 cm. Das Geflecht liegt weiterhin dicht an der Böschung an und wurde nicht abgehoben (Abb. 9).



Abb. 9: In das TECCO® Geflecht eingewachsener Baum. Ohne Verformungen und ohne das Abheben des Geflechtes (September 2017).

An den Geflechten, Randseilen, Krallplatten und Verbindungselementen konnten keine wesentlichen Veränderungen festgestellt werden. Im Bereich der Nagelköpfe konnten teilweise rötliche Verfärbungen durch einen Abtrag des Schutzanstriches festgestellt werden, was jedoch unproblematisch ist (Abb. 10).



Abb. 10: TECCO® Geflecht, unteres Randseil, Krallplatte und Vernagelung (September 2017).

An den Geflechtern konnten nur geringe Ausbauchungen erkannt werden. Jahreszeitlich bedingt war das Gras bereichsweise vertrocknet. Kleine Äste, Laub und Steine wurden durch Vegetationsreste zurückgehalten (Abb. 10).

Die Proben zur Prüfung der Zn/Al-Beschichtung wurden an drei geschützten Stellen im Oberhang und an drei Stellen, im Spritzwasserbereich entlang der Strasse, entnommen.

### Fürstentum Liechtenstein: Installation im Jahr 2005

Die Installation befindet sich an einer Waldstrasse in Vaduz, im Fürstentum Liechtenstein. Die Länge der Böschung ist ca. 150 m mit einer Höhe von ca. 6 bis 10 m. An der Oberfläche ist weitgehend Hangschutt mit einem hohen Feinanteil anstehend. Die Neigung liegt bei ca. 50 Grad. Ein kleinerer Teil liegt im Felsbereich mit einer Neigung bis 80 Grad (Abb. 11). Die Böschung wurde mit dem TECCO® G65/3 in Kombination mit einer Vernagelung gesichert. An der Böschungskrone wurden Randseile als Abschluss verwendet. Am unteren Rand wurde das Geflecht in den Weg eingelegt und mit Baumstämmen als Anfahrtschutz gesichert (Abb. 11).



Abb. 11: Fertiggestellte Sicherungsmassnahme mit dem System TECCO® im August 2005.

Eine aktive Begrünung wurde nicht durchgeführt. Auch wurde keine Erosionsschutzmatte verwendet.

Bei der Beurteilung nach 13 Jahren, im März 2018, konnte eine jahreszeitlich üppige Vegetation festgestellt werden (Abb. 12).



Abb. 12: Böschung nach 13 Jahren mit üppiger Vegetation (März 2018).

Bereiche, in denen ein hoher Kiesanteil, durch Auswaschung von Feinanteilen, vorgefunden wurde, zeigen weniger Bewuchs. Im unteren Bereich ist das Geflecht durch das Nachrutschen straff verspannt. Dadurch sind die abrutschenden Massen ideal stabilisiert. Im oberen Bereich der Böschung sind mehrere Fehlstellen / Hohlräume hinter dem Geflecht zu erkennen. Das Geflecht hat dadurch einen Abstand von bis zu 30 cm zum Untergrund. Die Fehlstellen sind kleinräumig begrenzt und setzen sich nicht bis nach oben fort (Abb. 13).

Das als Anfahrtschutz eingelassene Holz zeigt durch die wechselfeuchten Bedingungen deutliche Auflösungserscheinungen.





Abb. 13: Straff gespanntes TECCO® Geflecht. Im unteren Bereich und lokale Fehlstellen im oberen Drittel der Böschung (März 2018).

Die einzelnen Bauteile zeigen nur geringfügige Veränderungen. Nur die Schnittstellen der Nägel zeigen Spuren von Korrosion, was jedoch als unproblematisch angesehen wird. Die Proben zur Überprüfung der Zn/Al-Beschichtung konnten aufgrund der Installation nur oben entnommen werden. Es wurde ein freiliegender Bereich, mit einem Abstand von 1 – 3 cm zum Boden und ein Bereich, in dem das Geflecht Kontakt zum Untergrund hat, mit anzunehmenden wechselfeuchten Bedingungen gewählt.

#### Grabenstetter Steige: Installation im Jahr 2005

Die Installation befindet sich an einer Steige der Schwäbischen Alb, auf einer Länge von ca. 40 m und Höhen von ca. 8 bis 10 m. Die Neigung liegt im Bereich von 30 bis 45 Grad. Es handelt sich um eine Böschung mit bindigen Böden und einem hohen Feinanteil.

Die Sicherung erfolgte mit dem TECCO® G65/3 im Jahr 2005. Im Rutsch- bzw. Abtragbereich (unten) wurde eine Erosionsschutzmatte aus Kokos- oder Jutefasern verwendet. Aufgrund von Starkniederschlägen nach der Installation hatte sich die Erosionsschutzmatte leicht verschoben, was zu einem teilweisen Ausschwemmen des Bodens führte (Abb. 14). Bei der Begehung nach 11 Jahren im Juli 2016 war ein Grossteil der gesicherten Böschung mit Gehölzen zugewachsen. Etwa ein Viertel war als Wiese frei geblieben (Abb. 15).



Abb. 14: Böschung ein Jahr nach der Installation im April 2006. Der Stabilisierungseffekt jedoch auch Verschiebungen der Erosionsschutzmatte, ist durch Ausbauchungen erkennbar.

Die Vegetation ist üppig und im Bereich der Wiese flächendeckend. Ein regelmässiger Freischnitt im Bereich der Fahrbahn ist zu erkennen. Eine nähere Betrachtung im verbuschten Bereich zeigte das Aufkommen von kleineren Bäumen mit Stammdurchmessern von ca. 5 – 15 cm (Abb. 16). Aufgrund anfänglicher Bodenverschiebungen ist das Geflecht im Bereich der Wiese satt anliegend. Wo die Bäume aufkommen, hat das Geflecht einen Abstand von bis zu 5 cm.

Die Bauteile und Komponenten haben keine auffälligen Veränderungen und erscheinen in einem guten Zustand.

Im Bereich der Wiese wurde eine grössere Schadstelle im Geflecht gefunden. Diese scheint auf den Kontakt oder das Einhaken des Mähgerätes zurückzuführen zu sein (Abb. 17).

Proben des Geflechtes wurden an dieser Böschung nicht entnommen.



Abb. 15: Begehung im Juli 2016. Die Böschung ist üppig begrünt. Die freie Fläche hat sich durch das Einwachsen von Bäumen wesentlich verkleinert.



Abb. 16: Aufkommen der Bäume mit Stammdurchmessern von 5 – 15 cm (Juli 2016).



Abb. 17: Kleinräumiger Mähschaden im Bereich der Wiese.

### Prüfung des Korrosionsschutzes

Von den Sicherungsmassnahmen in Mülheim an der Ruhr und Vaduz wurden Proben der TECCO® G65/3 Geflechte zur Prüfung der Zn/Al-Beschichtung, wie oben beschrieben entnommen. Es wurden Stellen mit zu erwartenden höheren Abtragsraten im Spritzwasserbereich bzw. wechselfeucht (w) gewählt sowie geschütztere Bereiche, bei denen geringere Abtragsraten (g) zu erwarten sind. Insgesamt wurden an 8 Stellen Proben entnommen und aus diesen 45 Einzeldrähte untersucht (Tabelle 1). Die Bestimmung erfolgte nach dem gasvolumetrischen Verfahren, nach DIN EN 10244-2 [4]. Hierbei wird die Beschichtung mit Salzsäure gelöst und das Gasvolumen ermittelt, was dann über die Oberfläche des Drahtes auf eine Beschichtungsmasse in  $g/m^2$  umgerechnet wird.

Die Geflechte sind mit einer metallischen Zn/Al-Beschichtung nach DIN EN 10244-2 [4] vor Korrosion geschützt. Üblicherweise hat das TECCO® Geflecht G65/3 eine Schichtstärke von  $>150 g/m^2$  (bzw. äquivalent). Aufgrund der Qualitätskontrolle kann von Beschichtungen  $+20\%$  ausgegangen werden, was  $180 g/m^2$  entspricht.

	(g) Mittelwert [ $g/m^2$ ]	(w) Mittelwert [ $g/m^2$ ]
Vaduz	149 $g/m^2$ – 82%	108 $g/m^2$ – 60%
Mülheim	103 $g/m^2$ - 57%	83 $g/m^2$ – 46%
	130 $g/m^2$ – 72%	79 $g/m^2$ – 44%
	130 $g/m^2$ – 72%	115 $g/m^2$ – 64%

Tabelle 1: Zusammenstellung der ermittelten Zn/Al-Beschichtungen nach 13 Jahren (Vaduz) und 17 Jahren (Mülheim). Ausserdem wurde subjektiv in geschützte Bereiche (g) und wechselfeuchte Bereiche (w) unterschieden. Rest Zn/Al Beschichtungen in  $g/m^2$  und % bezogen auf  $180 g/m^2$ . Die verwendeten Farben nehmen Bezug auf die Abschätzung der zu erwartenden Nutzungsdauer in Abbildung 18.

### Zu erwartende Nutzungsdauer

Die zu erwartende Nutzungsdauer in Bezug auf Korrosion hängt neben dem verwendeten Korrosionsschutz von den Umweltbedingungen und dem entsprechenden chemischen Verschleiss ab. Die DIN EN ISO 12944-2 [5] teilt die Umweltbedingungen in 6 Korrosivitätskategorien für die Atmosphäre ein und weist diesen Abtragsraten zu. Entsprechende Erfahrungen wurden 2013 am FSR Weiterbildungsseminar, anhand der gültigen Normen und Fachliteratur, vorgestellt [6]. Dabei wird von Nünninghoff auf Langzeiterfahrungen mit Zn/Al Beschichtungen (Galfan) eingegangen [7]. Entsprechende Erfahrungswerte nach 10, 20 und 22 Jahren werden in Abbildung 18 dargestellt (Kreise) und extrapoliert. Laut Nünninghoff kann über die Zeit von einem verlangsamten Abtrag ausgegangen werden [8] [9]. Die ermittelten Werte der Beprobungen aus Vaduz und Mülheim sind als Rauten in Abbildung 18 dargestellt und auf Grundlage der Fachliteratur [7] [9] extrapoliert. Die ermittelten Werte zeigen eine starke Streuung. Das heisst, auch innerhalb einzelner Massnahmen ist von unterschiedlichen Abtragsraten, je nach Situation, auszugehen. Im Extremfall können unterschiedliche Korrosivitätskategorien an einer Installation vorkommen.

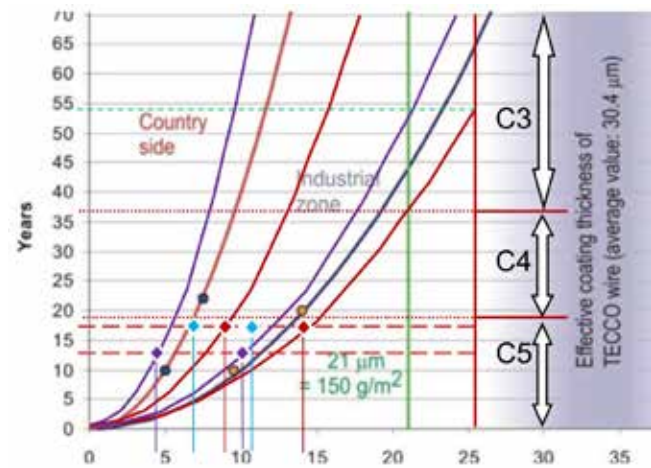


Abb. 18: Grafische Darstellung der zu erwartenden Nutzungsdauer für TECCO® Geflechte in Jahren (y-Achse), auf Grundlage der Literatur (Kreise) [7] und den Beprobungen in Mülheim und Vaduz (Rauten). Die Abschätzungen nehmen Bezug auf Nünninghoff, 2003 [7]. Auf dieser Grundlage wurde der Abtragverlauf extrapoliert. Die zugehörigen Korrosivitätskategorien sind rechts dargestellt

Auf dieser Grundlage wird für die ermittelten Werte eine zu erwartende Nutzungsdauer von grösser 50 Jahre für eine Einzelprobe, und grösser 70 Jahre für alle weiteren abgeschätzt (Abb. 18). Auf eine Darstellung über 70 Jahre wurde verzichtet.

## Zusammenfassung und Ausblick

**Zustand der Vegetation:** Die gewählten Vergleichsobjekte zeigen, wie wichtig die Vegetation zur Stabilisierung der Böschungen im Lockergestein und zum Kontrollieren der Erosion ist. Alle Böschungen zeigen nach 11, 13 bzw. 17 Jahren eine sehr gute, weitgehend vollflächige Vegetation, trotz unterschiedlicher Begrünungsmassnahmen. Die Verwendung von Erosionsschutzmatten begünstigt die Begrünung und kann mögliche Deformationen und Bodenverlagerungen reduzieren.

**Pflege und Rückschnitt der Vegetation:** Hier waren bei den Massnahmen verschiedene Konzepte festzustellen. Die Wahl des Konzeptes scheint eher von Überlegungen zur Verkehrssicherungspflicht abzuhängen. Schäden an den Geflechten durch die Vegetation konnten nicht festgestellt werden, selbst wenn grosse Büsche und Bäume eingewachsen waren. Der einzige Schaden wurde an einer Stelle vermutlich durch das Mähgerät verursacht. Zur Verhinderung wurden bei vergleichbaren Massnahmen optische Hinweise für die Geräteführer angebracht. Der Schaden stellt zurzeit kein Standsicherheitsproblem dar. Der Austausch kann einfach durch Herausschneiden und das Einfügen eines Stückes TECCO® Geflecht durchgeführt werden. Inwieweit der Naturschutz bei den Massnahmen beteiligt war, ist nicht bekannt.

**Erosion und sichtbare Bewegungen:** Erosion kann durch das offene System nicht vollständig ausgeschlossen bzw. verhindert werden. Bei den begutachteten Massnahmen waren Humus und kleine Steine am unteren Rand der Sicherungsmassnahme zu finden. Durch die mittlerweile dichte Vegetation erscheinen diese Bewegungen jedoch minimal. Beim Humus könnte es sich auch um Zersetzungsprodukte der Vegetation handeln.

**Veränderungen hinter dem Geflecht:** Bevor die Vegetation Fuss gefasst hatte, konnten Veränderungen hinter dem Geflecht bei den Massnahmen Grabenstetten und Vaduz beobachtet werden. Teilweise ist Feinmaterial ausgewaschen worden. Im Fall Grabenstetten hat die Erosionsschutzmatte eine Stützfunktion übernommen. Die Geflechte sind mittlerweile sehr gut gespannt und die Massnahmen sind statisch wirksam. Im Fall Vaduz hat dieser Prozess länger gedauert. Aufgrund der Topografie ist es zu etwas grösseren Verformungen gekommen. Das System ist mittlerweile sehr gut vorgespannt und statisch wirksam. Im oberen Bereich befinden sich beim Projekt Vaduz lokal Fehlstellen von kleinerem Ausmass. Sie erscheinen zurzeit nicht kritisch, und es ist mit einem weiteren Einwachsen dieser Bereiche zu rechnen. Sollten sich Fehlstellen weiter vergrössern, kann das Geflecht enger angelegt werden und dessen Vorspannung durch Nachziehen der Muttern vergrössert werden.

**Visuelle Beurteilung der Bauteile:** Die Bauteile des System TECCO® zeigten nur geringe Veränderungen bzw. Auffälligkeiten. Ausser bei den Schnittstellen der Nägel waren keine Spuren von Korrosion zu finden.

**Betrachtung des Korrosionsschutzes:** Eine Abschätzung der zu erwartenden Nutzungsdauer ist schwierig und hängt von vielen Faktoren ab. Meist können diese eine sehr grosse Streuung haben und die Abschätzungen werden entsprechend ungenau. Neben den ermittelten Zn/Al Beschichtung aus Stichproben, muss zur Abschätzung des Abtragverlaufes auf Normen und Fachliteratur zurückgegriffen werden. Für die Umgebungsbedingungen der begutachteten Installationen kann, auf Grundlage der ermittelten Werte, von einer Nutzungsdauer von grösser 50 Jahre und grösser 70 Jahre ausgegangen werden. Je nach Standort, gewähltem Korrosionsschutz und Korrosivitätskategorie kann auch eine kürzere Nutzungsdauer massgebend sein. Ist dies bekannt so sind z.B. Systeme aus Edelstahl, mit einer deutlich längeren Nutzungsdauer, vorzusehen.

Im Vergleich dazu haben reine Zinkbeschichtungen auf Quadratmaschengeflechtem nach Krauter, 1996, eine Nutzungsdauer von 20 – 25 Jahren [10].

**Ausblick:** Naturgemäss werden über die Zeit entsprechende Schutzbauwerke näher an das Ende ihrer Nutzungsdauer kommen. Deshalb sind regelmässige Kontrollen durchzuführen [12]. Erste Hinweise können bei Bauteilen mit einer geringeren Beschichtungsstärke sichtbar werden.

Da regelmässige Prüfungen der Restzinkbeschichtung im Labor sehr aufwendig und teuer sind, wird in den meisten Fällen eine optische Beurteilung vorgenommen. Hinweise auf einen verbrauchten Korrosionsschutz können rötliche Verfärbungen sein. Diese sind entsprechend zu dokumentieren, um das Ausmass und den Verlauf der Verfärbungen nachzuverfolgen.

In der DIN EN 10244-2 wird ein Modell des Abnutzungsvorrates vorgestellt [4] [11]. Der sogenannte Abnutzungsvorrat reduziert sich im Verlauf der Nutzungsphase (Abb. 19). Das aufgezeigte Modell stellt den Abnutzungsverlauf vereinfacht durch eine Kurve dar.

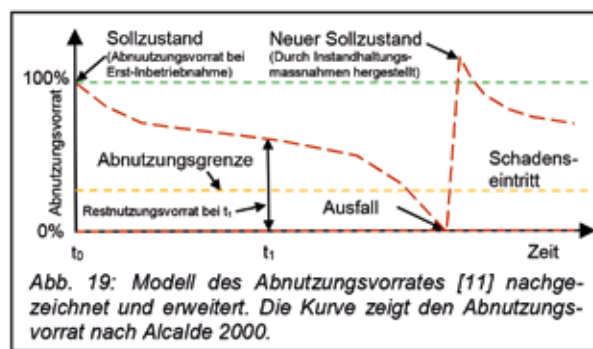


Abb. 19: Modell des Abnutzungsvorrates [11] nachgezeichnet und erweitert. Die Kurve zeigt den Abnutzungsverlauf vereinfacht durch eine Kurve dar.

Der Abnutzungsvorrat ( $y$  – Achse) beträgt bei der Inbetriebnahme des Bauteils 100 %. Dieser Vorrat wird im Laufe der Zeit, durch die Nutzung und äussere Einflüsse, immer weiter abgebaut. Bei Unterschreitung der Schadensgrenze, ist der Abnutzungsvorrat so gering, dass ein Schaden am Bauteil eintritt. Zum endgültigen Ausfall kommt es bei einem Abnutzungsvorrat von 0 %, wobei spätestens zu diesem Zeitpunkt der Abnutzungsvorrat durch Massnahmen der Instandhaltung wiederhergestellt werden muss. Auf Grund von technischen Verbesserungen ist es möglich, den Abnutzungsvorrat über die Grenze von 100% zu erweitern.

## Literatur

- [1] Rügger, R.; Flum, D.; Haller, B.: Hochfeste Geflechte aus Stahldraht für die Oberflächensicherung in Kombination mit Vernagelungen und Verankerungen (Ausführliche Bemessungshinweise). Technische Akademie Esslingen, Beitrag für 2. Kolloquium „Bauen in Boden und Fels“, Januar 2002
- [2] Rügger, R.; Weingart, K.; Bickel, M.: Flexible Oberflächensicherungssysteme aus hochfesten Drahtgeflechten in Kombination mit Boden- und Felsnägeln, 3 Fallbeispiele. Technische Akademie Esslingen, Beitrag für 3. Kolloquium „Bauen in Boden und Fels“, Januar 2004
- [3] Flum, D.; Stolz, M.; Roduner, A.: Grossfeldversuche mit flexiblen Böschungsstabilisierungssystemen. Technische Akademie Esslingen, Beitrag für 7. Kolloquium „Bauen in Boden und Fels“, Januar 2014
- [4] DIN EN 10244-2: Stahldraht und Drahterzeugnisse – Überzüge aus Nichteisenmetall auf Stahldraht – Teil 2: Überzüge aus Zink oder Zinklegierungen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V, 2009
- [5] DIN Taschenbuch 286: Korrosionsschutz von Stahl durch Beschichtungen und Überzüge 4; DIN EN ISO 12944-1 bis DIN EN ISO 12944-8; Beuth 1998
- [6] Gröner E.; Roduner, A.: Zu erwartende Nutzungsdauer von „Steinschlagschutznetzen“: Korrosionsschutz, Langzeitverhalten, Perspektiven. Weiterbildungsseminar der Forschungsstelle Rutschungen, Mainz 2013
- [7] Nünninghoff, R.: long-term experience with Galfan; Wire 3/2003
- [8] Nünninghoff, R.; Sczepanski, K.: Galfan – ein neuartiger, verbesserter Korrosionsschutz für Stahldraht. Draht 38, No. 1&2 1987
- [9] Nünninghoff R.: Vergleichende Korrosionskurzzeit-Tests an feuerverzinkten und galfan-verzinkten Stahldrähten; Bergische Universität Wuppertal 1998
- [10] Krauter, E.; Scholz, W.: Langzeitverhalten von Schutznetzverhängungen gegen Steinschlag; Geotechnik 19, Nr. 2 1996
- [11] Alcalde Rasch, A.: Erfolgspotential Instandhaltung: Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 2000
- [12] Geobrugg AG: TECCO System3 Handbuch; www.geobrugg.com myGeobrugg, 2017



Erfahren Sie mehr:

[www.geobrugg.com/boeschungen](http://www.geobrugg.com/boeschungen)



Safety is our nature



TECCO® SYSTEM<sup>3</sup> aus hochfestem Stahldraht

FÜR NACHHALTIGE  
BÖSCHUNGSSICHERUNG

Geobrugg AG | Aachstrasse 11 | CH-8590 Romanshorn | www.geobrugg.com