

# 19. Weiterbildungsseminar

## FACHTAGUNG RUTSCHUNGEN

FOLGEN - FORSCHUNG - PRAXIS



- Erkundung mittels Radarinterferometrie
- Massenbewegungsinformationssystem Rheinland-Pfalz
- Auswirkungen des Klimawandels auf Hangprozesse im Alpenraum
- Massenschwerebewegungen in Polen
- Geodätische Verfahren als Beobachtungsmethode
- Böschungstabilisierung mit integriertem Erosionsschutz auf Rügen
- Neue europäische Regelwerke im technischen Steinschlagschutz
- Aktuelles Vergaberecht für Auftraggeber
- Workshop: Arbeiten mit GRASS-GIS

27. bis 29. Mai 2019

Forschungsstelle Rutschungen an der  
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:

Dr. Christine Kumerics, Forschungsstelle Rutschungen Mainz

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,  
19. Weiterbildungsseminar der Forschungsstelle Rutschungen; Mainz, Mai 2019

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 387071

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: Felssicherungseinbauten im Bereich einer historischen Burganlage im Nahetal,  
Rheinland-Pfalz (Aufnahme: M. Lauterbach)

**ISSN 2196-2863**

## 6 Dokumentation des Einbaus eines statisch-konstruktiven Böschungsstabilisierungssystems mit integriertem Erosionsschutz im Bereich der Steilküste auf der Insel Rügen

DIPL.-GEOL. EBERHARD GRÖNER & MSC. GEOL. HELENE HOFMANN  
(GEOBRUGG AG, ROMANSHORN, SCHWEIZ)

### Einleitung

Für eine erfolgreiche und langfristige Stabilisierung von natürlichen Böschungen und Neuanschnitten im Lockergestein ist deren effektive Begrünung von grosser Bedeutung (Abb. 1).



Abb. 1: Sporadische Rutschungen bei einem Böschungsanschnitt im Bereich einer Sportanlage.

In Kombination mit einer Nass- oder Trockenansaat sind sogenannte dreidimensionale Krallmatten aus Polypropylen sehr effektiv. Durch das Wirrgelege wird zum einen die Einschlagenergie von Regentropfen verringert, zum anderen wird die Schleppkraft des abfliessenden Wassers reduziert. Hinzu kommt, dass in der Schlingenstruktur Bodenpartikel sowie organische Stoffe, wie kleine Wurzeln, Äste und Blätter zurückgehalten werden können und sich so das natürliche Nährstoffangebot verbessert. Um den negativen Effekt der Aufheizung durch Sonneneinstrahlung bei Verwendung von schwarzen Varianten zu verringern sind farblich angepasste Systeme mit einer geringeren Aufheizung und somit einem besseren Begrünungserfolg verfügbar.

Geotextilien, welche als Begrünungshilfe verwendet werden, haben in der Regel nur eine geringe Festigkeit und sind deshalb auch nur für flachere Böschungen (Abb. 2), oder in Kombination mit einer Stabilisierungsmassnahme, wie z.B. Drahtgeflechten, effektiv.



Abb. 2: Böschung mit einem Geotextil aus Naturfasern mit einer Neigung von ca. 50° als Erosionsschutz zur Begrünung ohne Vernagelung. Aufgrund der geringen Zugfestigkeit ist das Geotextil abgerissen.

In den letzten 20 Jahren haben sich Geflechte aus hochfestem Stahldraht zur Böschungsstabilisierung in Kombination mit einer Bodenvernagelung etabliert. Sie können grössere Kräfte aufnehmen und diese durch einen sehr hohen Durchstanzwiderstand besser in die Vernagelung einleiten. Deren Bemessung für die Stabilisierung von oberflächennahen Rutschungen kann mit einer Bemessungssoftware, nach dem sogenannten RUVOLUM Konzept, durchgeführt werden.

Um den Anwendungsbereich der beschriebenen Krallmatten zu erhöhen wurden diese bei ihrer Herstellung mit einem leichten Drahtgeflecht, aus hochfestem Stahldraht kombiniert und so deren Lastaufnahme auf 53 kN/m' erhöht. Sie werden als Abrollschutz und / oder Begrünungshilfe weitgehend ohne eine Bodenvernagelung verwendet.

Wir zeigen die Entwicklung und Anwendung der mit Drahtgeflechten verstärkten Erosionsschutzmatte Greenax®. Im Detail wird auf die Begrünung der Rutschungsanierung in Lohme auf Rügen eingegangen. Durch das beschriebene System ist es nun möglich sehr effizient, steilere Lockergesteinsböschungen in Abhängigkeit des Standortes und der Geologie, zu begrünen.

## Unterstützung der Begrünung mit Erosionsschutzmatten

Für eine langfristige Stabilisierung von Böschungen ist eine effektive und funktionale Vegetationsschicht zu fördern bzw. herzustellen. Neu angeschnittene Lockergesteinsböschungen sind, durch den Abtrag des Oberbodens, meist arm an Nährstoffen und durch den Abtrag der Vegetationsschicht fehlen entsprechend wuchsfähige Wurzeln und natürliche Saatvorkommen.

Grundsätzlich gilt es mit entsprechenden Massnahmen, die externe Erosion zu verringern bzw. zu kontrollieren. Hierbei wird in die primäre Erosion mit dem sogenannten Tropfen-Effekt, und der sekundären Erosion mit dem sogenannten Fliess-Effekt, unterschieden (Abb. 3).



Abb. 3: Erosionsrinnen durch den Fliess-Effekt des abströmenden Wassers, wodurch Boden abgetragen und der Pflanzenwuchs verringert bzw. verhindert wird.

Eine geeignete Erosionsschutzmatte muss in der Lage sein die Einschlagenergie der Tropfen zu minimieren und Bodenpartikel im abströmenden Wasser entsprechend zurückhalten können.

Um die Begrünung von Lockergesteinsböschungen zu unterstützen gibt es eine Vielzahl von Erosionsschutzmatten und Geotextilien. Diese können grundsätzlich vom Ausgangsmaterial in synthetische Geotextilien, z.B. aus Polypropylen, und natürliche Geotextilien aus organischen Stoffen, wie z.B. Jute- oder Kokosfasern, unterschieden werden. Für flachere Böschungen können organische Naturprodukte verwendet werden. Der Vorteil ist, dass sie einen Teil des Wassers speichern und durch ihre Zersetzung, Nährstoffe frei werden, die das Pflanzenwachstum begünstigen. Bei steileren Böschungen bieten synthetische Produkte Vorteile durch ihr geringes Eigengewicht, das sich bei Wasserzutritt nur geringfügig ändert und dass der Abbau der Festigkeit später einsetzt als bei organischen Produkten.

## Evaluation einer Erosionsschutzmatte

Im Jahr 2000 wurden erste Versuche zur Evaluation einer geeigneten Erosionsschutzmatte für steilere Böschungen in Kombination mit hochfesten Drahtgeflechten durchgeführt. Diese wurden im Jahr 2003 erweitert um eine Erosionsschutzmatte mit einem sehr breiten Anwendungsspektrum zu finden.

In Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Rüeegger Flum wurden folgende Anforderungen definiert:

- Gute Durchspritzbarkeit für Nass- und Trockenansaat um möglichst viel Saatgut auf das Substrat zu bekommen.
- Gute Anpassbarkeit an den Untergrund.
- Geringes Flächengewicht, auch bei Wasserzutritt.
- Gute Anhaftung der Matte an den Untergrund / geringes Abrutschpotential.
- Gute Rückhalteeigenschaften für Bodenpartikel, organische Stoffe und Saatgut.
- Farbliche Anpassung für ein natürliches Erscheinungsbild / geringere Aufheizung.

Bei den Versuchen im Jahr 2000 wurden verschiedene Erosionsschutzmatten auf einer Versuchsfläche im Wallis, Schweiz aufgebracht.

Folgende Varianten wurden angewendet (Abb. 4)

Fläche I: Dreidimensionale, sehr dichte, dreilagige Erosionsschutzmatte aus Polypropylen schwarz.

Fläche II: Dreidimensional gewellte Erosionsschutzmatte aus Polypropylen schwarz.

Fläche III: Zweidimensionales, flaches Geogrid aus Polypropylen schwarz.



Abb. 4: Versuchsflächen zur Evaluation einer Erosionsschutzmatte.

Die Versuchsfläche war in Richtung Süd-West exponiert, auf einem Magerstandort mit stark ausgeprägten trocken-feucht Wechseln. Die Begrünung erfolgte mit einer Trockenansaat. Der beste Begrünungserfolg konnte mit der dreidimensional gewellten Matte auf Fläche II erzielt werden. Bei Fläche III wird davon ausgegangen, dass die Rückhalteeigenschaften einer zweidimensionalen (flachen) Erosionsschutzmatte für Bodenpartikel und Saatgut zu gering ist. Für die Fläche I wird davon ausgegangen, dass aufgrund der geringen Albedo („Rückstrahlung“) schwarzer Oberflächen, eine stärkere Aufheizung des Hanges erfolgt ist, was zu einem schnellen Vertrocknen, bzw. Nichtkeimen, der Saat geführt hat.

Im Jahr 2003 wurden, basierend auf den vorangegangenen Versuchen, Feldversuche mit einer dreidimensionalen Krallmatte durchgeführt. Ziel war es die Rückhalteeigenschaften, die Anpassungsfähigkeit an den Untergrund und die Durchspritzbarkeit zu untersuchen. In der engeren Auswahl stand eine Erosionsschutzmatte aus extrudierten Monofilamenten mit einer Dicke von 18 mm und einem Flächengewicht von 600 g/m<sup>2</sup>. Der Hohlraumanteil beträgt >95 %. Abbildung 5 zeigt die Versuchsflächen (Bischofszell, Schweiz).



Abb. 5: Versuchsflächen und Versuchsrahmen zum Zeitpunkt der Aussaat.

Ganz rechts wurde die oben beschriebene Erosionsschutzmatte (Krallmatte) angewendet. Die anderen Flächen sind Referenzflächen ohne Erosionsschutzmatte bzw. mit ähnlichen Produkten aus Polypropylen. Um Aussagen über die Durchspritzbarkeit treffen zu können wurden Holzrahmen mit einer Fläche von 1 m<sup>2</sup> aufgestellt die am unteren Bildrand zu sehen sind.

Die Versuchsfläche wurde mit einer Nass- oder Hydrosaat durch die Firma Verdyol (Schweiz, Kt. Basel-Land) begrünt. Für die Hydrosaat werden Wasser mit dem Saatgut, einem Mulch und einem Kleber auf Algenbasis vermischt. Beim Mulch handelt es sich um einen sogenannten Exportmulch aus Strohfasern mit einer Faserlänge < 4 mm. Ca. 4 Wochen nach der Ansaat ist ein Starkniederschlag über der Versuchsfläche abgegangen, wodurch die Böschung oberflächennahe Rutschungen erfahren hat. Bei einer Betrachtung nach weiteren 6 Wochen hat sich gezeigt, dass das Saatgut in der Referenzfläche bis auf ca. 5 - 10% ausgetragen wurde. Entsprechend geringer Pflanzenwuchs war zu erkennen. Im Bereich mit der Krallmatte, die eine Steilheit von 30 – 45° hatte, war die Fläche zu mehr als 90% mit einer Vegetationsschicht bedeckt (Abbildung 6).



Abb. 6: Versuchsfläche ca. 10 Wochen nach der Nassansaat und nach einem Starkniederschlag. Links die Referenzfläche ohne Erosionsschutzmatte mit weniger als 10% Begrünungserfolg. Rechts mit einer Krallmatte mit einem Begrünungserfolg von mehr als 90%.

Auf dieser Grundlage wurde 2004 eine Erosionsschutzmatte mit dem Handelsnamen TECMAT® mit folgenden Merkmalen auf den Markt gebracht:

- Extrudierte Monofilamente aus Polypropylen mit einer irregulären Schlingenstruktur.
- Dicke 18 mm
- Flächengewicht 600 g/m<sup>2</sup>
- Hohlraumanteil > 95%
- Farbe currygrün

Für die Montage sind zwei Verlegeschritte erforderlich.

### Strukturelle Verstärkung von Geotextilien durch Drahtgeflechte aus hochfestem Stahldraht

Eine Optimierung durch entsprechende Kombinationen von Erosionsschutzmatte und hochfestem Drahtgeflecht war naheliegend. Zum einen wird die Erosionsschutzmatte strukturell verstärkt. Dies bietet die Möglichkeit die Sicherungsmassnahme widerstandsfähiger gegen Abrutschungen zu machen. Als weiterer Vorteil stellt sich die einfachere Montage dar. Erosionsschutzmatte und hochfestes Geflecht können in einem Arbeitsschritt auf die Böschung aufgebracht werden.

Erste Versuche für ein Standardprodukt wurden mit dem hochfesten Drahtgeflecht DELTAX® G80/2 (ETA-17/0116) im Jahr 2012 gemacht. Das Geflecht hat einen Innenkreisdurchmesser von 80 mm mit einer Drahtstärke von 2 mm. Die Lastaufnahme beträgt 53 kN/m'. Es findet vielfach Anwendung ohne eine Vernagelung, selbst im Bereich von Steilböschungen wo nur kleinere Steine erwartet werden. Entsprechend kann die Vegetation auf der Böschung Fuss fassen. Die Verstärkung der Erosionsschutzmatte, gibt für kleine Steine genügend halt. Es wurden auch Anwendungen mit einer Bodenvernagelung umgesetzt.

Wie oben beschrieben kann nicht bei allen Anwendungen die Erosionsschutzmatte die Lasten schadensfrei aufnehmen. Es sind Verschiebungen der einzelnen Bahnen unter dem Geflecht in Falllinie zu erwarten, vor allem wenn eine Fixierung schwierig wird.

Um steilere Böschungen konstruktiv sichern und begrünen zu können, wurde eine Verstärkung der Erosionsschutzmatte mit einem hochfesten Drahtgeflecht angestrebt. Abbildung 7 zeigt, dass die Wahl der Mulchfasern wichtig ist. Lange Fasern können nicht ausreichend die Erosionsschutzmatte durchdringen.



Abb. 7: Sicherungsmassnahme nach dem aufbringen einer Hydrosaat. Die teilweise langen Strohfasern konnten die Krallmatte nicht durchdringen.

## Hangrutschung am Ostsee-Steilufer in Lohme auf Rügen

Am 19.03.2005 kam es zu einer Rutschung an einem 30,0 bis 40,0 m hohen Steilküstenabschnitt in der Ortslage Lohme auf der Insel Rügen (Abb. 8). Die Rutschmassen haben ein Volumen von ca. 100.000 m<sup>3</sup> und überschütteten zum Teil die vorgelagerte Steinpackung der Ufersicherung und randlich das Hafenbecken (Krauter, E. 2010 und Wichter, L. 2018).



Abb. 8: Ausschnitt (Googlemaps) vom Hafen und Ortsteilen, Lohme auf Rügen. Die teilweise sanierten Rutschmassen sind südlich des Hafens, meist unbegrünt zu sehen.

Unmittelbar hinter der Abbruchkante befanden sich Gebäude, die nach der Rutschung evakuiert und später abgerissen wurden. Die Geländeverhältnisse weiter östlich der Rutschung sind vergleichbar mit denen des Rutschareals, so dass auch dort von einer Gefährdung durch Rutschungen ausgegangen wurde. Aus Sicherheitsgründen wurden die Bewohner der im Bereich der oberen Hangkante bzw. im Hang stehenden Wohn- und Ferienhäuser östlich des Rutschareals evakuiert und die Häuser versiegelt. Von der Gemeinde Lohme und dem Amt Nord-Rügen wurde eine Ingenieurgemeinschaft beauftragt, die Ursachen der Rutschung und die weitere Entwicklung des Steilhanges in deren Umfeld zu untersuchen.

Im Auftrag des Landkreises Rügen – Die Landrätin – vom 26. November 2009 sollte Prof. Dr. Krauter (geo - international, Mainz) gemeinsam mit den beiden hinzugezogenen Gutachtern Herrn Prof. Dr. Borchert (GEO-TECHNIK und GEODYNAMIK GmbH, Berlin) und Herrn Prof. Emeritus Dr. Wichter (Technische Universität Cottbus) im Rahmen eines Fachgremiums eine geotechnische Neubewertung der Böschungsbruchsicherheit in dem betreffenden Steilküstenabschnitt, anhand der bisherigen Untersuchungsergebnisse und Massnahmen vornehmen. Anhand ergänzender Standsicherheitsbetrachtungen wurde in Abstimmung mit Prof. Dr. Borchert und Prof. Dr. Wichter von geo - international eine darauf basierende Risikoabschätzung durchgeführt.

## Stabilisierung der Grossrutschung

Die Grossrutschung wurde mit verschiedenen Massnahmen saniert. Neben Entwässerungsmassnahmen wurde im westlichen Bereich ein Hydrozementationsverfahren (HZV) durch die Firma Sidla & Schönberger ausgeführt (Abb. 9 + 10). Im folgenden Kapitel wird die Anwendung eines Geotextils, verstärkt mit einem hochfesten Drahtgeflecht (Greenax®), zur Unterstützung der Begrünung der sanierten Böschung beschrieben



Abb. 9: Ausführung der Aushubarbeiten für das Hydrozementationsverfahren.



Abb. 10: Fertig gestellte Böschung mit dem Hydrozementationsverfahren.

## Statisch-konstruktiver Erosionsschutz mit Greenax®

Nach Vorgabe des Planers sind die sanierten Rutschungsflächen aus ästhetischen Gründen und aus Gründen der Oberflächenstabilität langfristig zu begrünen. Bezüglich der Anforderungen muss, auf den teilweise steileren Böschungen, mit direktem Schlagregen von der offenen Ostsee gerechnet werden. Durch die Grösse der Fläche, ist deshalb mit dem Abströmen von grossen Wassermengen und möglichen Erosionsschäden, zu rechnen. Auf dieser Grundlage wurde vom Planungsbüro geo-international entschieden ein farblich angepasstes, verstärktes Geotextil zu verwenden. Zum Zuge ist das Produkt Greenax® gekommen. Das Verlegen der Rollen wurde von einer Berme am oberen Rand der Sicherungsmassnahme durchgeführt. Die Befestigung erfolgte mit einfachen Bügeln aus Armierungseisen die in den Boden gerammt wurden (Abb. 11).



Abb. 11: Verlegen und Befestigung des Greenax® Geflechts.

Da die Böschung neu modelliert wurde, sind keine natürlichen Vorkommen von Saatgut in der Böschung vorhanden. Deshalb wurde nach dem ausbringen einer kleinen Menge Humus, die Begrünung in Kombination mit einem Strohmulch durchgeführt (Abb. 12)



Abb. 12: Sanierte Böschung nach dem Aufbringen des Greenax® und dem Ausbringen von Saatgut.

Die Begrünung hat nach sehr kurzer Zeit Fuss gefasst und hat die Verbindung zwischen Substrat und Geotextil hergestellt. Die Böschung ist dadurch ideal vor Auswaschungen von Boden geschützt und fügt sich optisch neutral in die Landschaft ein (Abb. 13).



Abb. 13: Böschungsansicht von unten nach der Begrünung.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Grundsätzlich sind natürlich abbaubare, organische Erosionsschutzmatten zu bevorzugen. Sie stossen jedoch an ihre Stabilitätsgrenzen im Bereich von steileren Böschungen. Dreidimensionale Krallmatten aus z.B. Polypropylen bieten hier Vorteile durch ihr geringeres Gewicht und die guten Rückhalteeigenschaften. Farblich angepasste, hellere Erosionsschutzmatten heizen sich weniger auf und bieten, neben der geringeren Auffälligkeit, einen besseren Begrünungserfolg.

Die strukturelle Verstärkung von Geotextilien mit hochfesten Drahtgeflechten, die als Erosionsschutzmatte verwendet werden, vergrössern ihren Anwendungsbereich durch die höhere Lastaufnahme.

Mit diesen Eigenschaften konnte die Rutschungssanierung in Lohme auf Rügen erfolgreich begrünt werden.

Sicher ist, dass die Begrünung von Böschungen ein sehr komplexes Thema ist und von vielen Faktoren abhängt.

## Literaturverzeichnis

Bosshard, A.; Mayer, P.; Mosimann, A. (2013). *Leitfaden für Naturgemässe Begrünungen in der Schweiz*. Ö+L Ökologie und Landschaft GmbH.

Flum, D.; Strolz M.; Roduner A. (2014). *Grossfeldversuche mit flexiblen Böschungsstabilisierungssystemen*. Technische Akademie Esslingen, Beitrag für 9. Kolloquium „Bauen in Boden und Fels“.

Krauter, E.; Feuerbach, J.; (2010). *Ingenieurgeologisches Gutachten; Standsicherheit im Bereich des Steilküstenabschnitts Lohme*. Nicht publiziert; geo – international, Mainz.

Rüegger, R. (1986). *Die Hauptaufgaben der Geotextilien: theoretische Ansätze und Dimensionierungskriterien*. Schweizer Ingenieur und Architekt, Band 104, Heft 40.

Rüegger, R.; Flum, D.; Haller, B. (2002). *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“.

Rüegger, R.; Weingart, K.; Bickel, M. (2004). *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“.

Rüegger, R.; Eberle, T. (2006). *Stützkonstruktionen aus bewehrter Erde: Richtlinie für Planung, Bemessung, Ausschreibung, Ausführung, Überwachung und Unterhalt.- Aarau: Departement Bau, Verkehr Umwelt, Abt. Tiefbau.*

Rüegger, R.; Flum, D. (2006). *Anforderungen an flexible Böschungsstabilisierungssysteme bei der Anwendung in Boden und Fels*. Österreichische Geologische Gesellschaft, Salzburg.

SN-Norm 640 550. (2003). *Geotextilien und die Prüfvorschriften nach VSS/SVG*. Geotextilhandbuch.

Wichter, L.; (2018). *Grossrutsche als Naturereignisse. Rutschungen im Zusammenhang mit Baumassnahmen*. Nicht publiziert; Univ.-Prof. Dr.-Ing. L. Wichter.