

# Strukturelle Verstärkung von Geotextilien durch Drahtgeflechte aus hochfestem Stahldraht

Dipl. Geol. Eberhard Gröner und Dipl. Ing. Armin Roduner  
Geobrugg AG, Romanshorn Schweiz

*Für eine erfolgreiche und langfristige Stabilisierung von natürlichen Böschungen und Neuan-schnitten im Lockergestein ist deren effektive Begrünung von grosser Bedeutung. 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, 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, oder in Kombination mit einer Stabilisierungsmassnahme wie z.B. Drahtgeflechtem, effektiv.*

*In den letzten 15 Jahren haben sich Geflechtem 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. Die Erfahrungen wurden nun herangenommen, um ein Produkt herzustellen, das die Vorteile der Geflechtem aus hochfestem Stahldraht und der Krallmatte kombiniert. Es können hierbei Lasten von 150 kN/m und Durchstanzwiderstände von 180 kN, bei Verwendung einer Systemkrallplatte in die Vernagelung eingeleitet werden.*

*Wir zeigen die Entwicklung und Anwendung beider Systeme. Durch die beschriebenen Systeme ist es nun möglich, sehr effizient steile Lockergesteinsböschungen in Kombination mit einer Bodenvernagelung zu sichern und in Abhängigkeit des Standortes zu begrünen.*

## 1 Einleitung

Bei der Erstellung und Verbreiterung von Infrastrukturen wie Strassen, Bahnlinien und Gebäuden sind vielfach Neuan-schnitte und die Versteilung von Bestandsböschungen im Lockergestein und Fels erforderlich (Abb.1). Idealerweise sollten die Böschungen mit einer geringen Hangneigung erstellt werden, um die Stabilität nicht zu gefährden. Wenn dies möglich ist, reichen meist einfache Begrünungshilfen wie Erosionsschutzmatten zum Schutz vor Auswaschungen, aus. Sie besitzen jedoch nur eine geringe Festigkeit und stossen schnell an ihre Anwendungsgrenzen, wenn die Böschungen steiler werden und es sich um oberflächennahe oder gar Globalstabilitätsprobleme handelt (Abb. 2).



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



Abbildung 2: Rutschung in einer Böschung mit ca. 25° Neigung, gesichert mit einem Geotextil / Erosionsschutzmatte zur Begrünung ohne Vernagelung.

## 1.1 Unterstützung der Begrünung mit Erosionsschutzmatten

Für eine langfristige Stabilisierung von Böschungen ist eine effektive und funktionale Vegetationsschicht zu fördern bzw. herzustellen (Rüegger, 2004 & 2006). Neu angeschnittene Lockergesteinsböschungen sind, durch den Abtrag des Oberbodens, meist arm an Nährstoffen (Bosshard, 2013) 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 zwischen der primären Erosion mit dem sogenannten Tropfen-Effekt und der sekundären Erosion mit dem sogenannten Fliess-Effekt unterschieden (Abb. 3). Eine geeignete Erosionsschutzmatte muss in der Lage sein, die Einschlagenergie der Tropfen zu minimieren und Bodenpartikel im abströmenden Wasser entsprechend zurückhalten zu können (Rüegger, 2006).



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

Um die Begrünung von Lockergesteinsböschungen zu unterstützen, gibt es eine Vielzahl von Erosionsschutzmatten und Geotextilien (SN-Norm 640 550,

Geotextilhandbuch, 2003). Diese können grundsätzlich vom Ausgangsmaterial in synthetische Geotextilien, z.B. aus Polypropylen, und in natürliche Geotextilien aus organischen Stoffen, 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 dadurch, dass der Abbau der Festigkeit später einsetzt als bei organischen Produkten.

## 1.2 Flexible Böschungsstabilisierungssysteme mit Drahtgeflechten

Flexible Böschungsstabilisierungssysteme aus Drahtgeflechten, in Kombination mit einer Vernagelung, sind zur Sicherung von Lockergesteins- und Felsböschungen mittlerweile weit verbreitet und haben sich bei richtiger Anwendung bewährt (Abb. 4). Aufgrund fehlender Grundlagen, wie Normen oder Richtlinien, werden jedoch oftmals keine oder nur ungenügende Anforderungen an die Sicherungssysteme gestellt und auf Standsicherheitsnachweise wird verzichtet.



Abbildung 4: Böschungsstabilisierung mit hochfestem Drahtgeflecht und Erosionsschutzmatte (System TECCO® G65/3).

Als Folge davon werden Systeme angeboten, bzw. eingebaut, welche nicht an die lokalen, statischen Verhältnisse angepasst oder deren Komponenten nicht aufeinander abgestimmt sind. Dies kann zum Versagen mit unter Umständen fatalen Folgen infolge Materialniederbrüchen sowie auch zu tiefgreifenden Instabilitäten führen. Die Tragwiderstände eines Systems als Ganzes sowie einzelner Elemente davon (Netze, Geflechte, Befestigungen) müssen bekannt sein, damit sich mit adäquaten Bemessungsmodellen die erforderlichen Standsicherheitsnachweise führen lassen (Rüegger, 2002 und Flum, 2014).

### 1.3 Die Bemessung gegen oberflächennahe Instabilitäten

Die Bemessung von oberflächennahen Instabilitäten kann nach dem Bemessungskonzept RUVOLUM® durchgeführt werden. Es 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, welche in realitätsgetreuen, wiederholbaren Versuchen, ermittelt wurden. Das Bemessungskonzept RUVOLUM® wurde von Rügger, 2002 und 2004 eingehend beschrieben.

Das Bemessungskonzept beinhaltet die Untersuchung von oberflächennahen, böschungsp parallelen Instabilitäten (Abb. 5), sowie die Untersuchung von lokalen Instabilitäten zwischen den einzelnen Nägeln (Abb. 6).

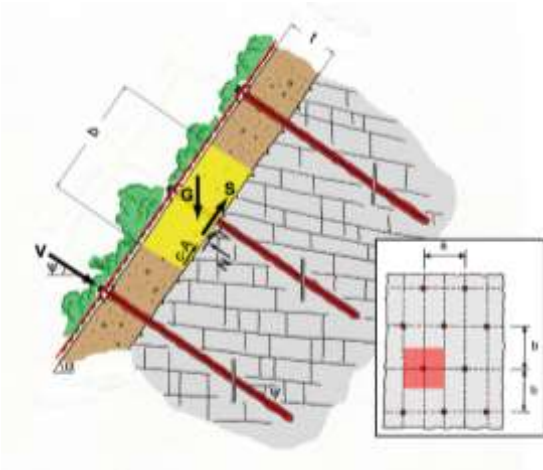


Abbildung 5: Oberflächennahe, böschungsp parallele Instabilitäten.

Der Einfluss von Porenwasserüberdruck, Strömungsdruck und Erdbebenkräften kann ebenfalls berücksichtigt werden. Die Software kann in einem Online-Tool unter [www.geobrugg.com](http://www.geobrugg.com) → myGeobrugg genutzt werden.

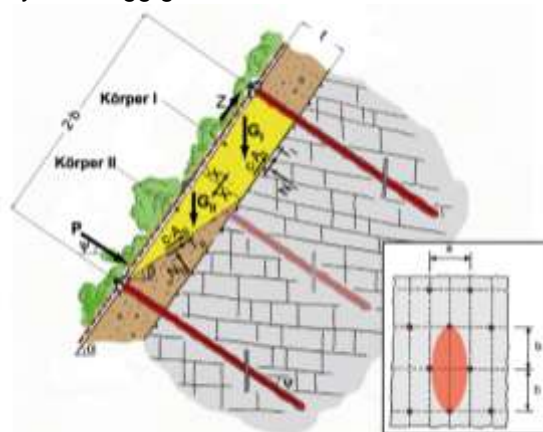


Abbildung 6: Lokale Instabilitäten zwischen den einzelnen Nägeln.

### 2 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 Rügger 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. 7):  
 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.



Abbildung 7: Versuchsflächen zur Evaluation einer Erosionsschutzmatte.

Die Versuchsfläche war in Richtung Süd-West exponiert, auf einem Magerstandort mit stark ausgeprägten trocken-feucht Wechsellagen. 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 (Rückstrahlvermögen) 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 8 zeigt die Versuchsflächen (Bischofszell, Schweiz).



Abbildung 8: 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 Hydrosaat durch die Firma Verdyol (Schweiz) begrünt. Für die Hydrosaat wird 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. 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 9).



Abbildung 9: 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 (Abb. 10):

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



Abbildung 10: Erosionsschutzmatte TECMAT in Kombination mit dem hochfesten Stahldrahtgeflecht TECCO® G65/3 im Bereich der Bodenvernagelung.

### 3 Anwendungsbeispiele

#### 3.1 Miraflores, Panama

Böschungsstabilisierung mit System TECCO® G65/3 in einer stark unregelmässigen Felsböschung. Die Erosionsschutzmatte TECMAT konnte gut angepasst werden. Der Faltenwurf zeigt, dass Teilbereiche nicht enganliegend sind (Abb. 11). Aufgrund der guten Wuchsbedingungen sind die Nachbarbereiche üppig begrünt. Auch im Sicherungsbereich erscheint schon erste Vegetation.



Abbildung 11: Gesicherte Felsböschung in Miraflores, Panama. Erosionsschutzmatte und Geflecht konnten gut an die unregelmässige Böschung angepasst werden.

#### 3.2 Remscheid, Deutschland

Sicherungsmassnahme im verwitterten Fels mit dem System TECCO® G65/3 System nach einer Rutschung. Die Wuchsbedingungen sind gut, wie am Gegenhang gesehen werden kann. Die Böschung ist relativ gleichmässig. Eine Fixierung der Matte am «festen» Untergrund ist schwierig, weshalb es zu leichten Verschiebungen der TECMAT kommt.



Abbildung 12: Sicherung einer Einschnittsböschung nach einer Rutschung im verwitterten Fels.

#### 3.3 Dorndorf, Deutschland

Gleichmässig profilierte Böschung im Lockergestein mit der Ausbildung von Tiefstellen im Bereich der Nagelköpfe zur Vorspannung des hochfesten Drahtgeflechtes TECCO® G65/3. Die Erosionsschutzmatte

konnte gut und enganliegend an die Böschung angepasst werden mit einem geringen Anteil von Hohlräumen unter der Erosionsschutzmatte (Abb. 13).



Abbildung 13: Gleichmässig profilierte Böschung im Lockergestein mit enganliegender Erosionsschutzmatte.

Die drei Beispiele zeigen, dass die Anwendung einer Kombination aus Erosionsschutzmatte und hochfestem Drahtgeflecht sehr gut umsetzbar ist. Im Bereich der unregelmässigen Böschungen (Bsp. 3.1 und 3.2) hat sich gezeigt, dass die Erosionsschutzmatte nicht immer gleichmässig anliegt. Entsprechend wichtig ist es, wenn eine Nassansaat angewendet wird, dass die Matte mit einem Export-Mulch (Faserlänge < 4 mm) durchspritzt werden kann. Aufgrund der geringeren Wasseraufnahmefähigkeit von synthetischen Matten sind sie weniger anfällig für das Abrutschen unter Last. Je nach Untergrundverhältnissen ist eine Fixierung der Matte nicht einfach umzusetzen. Das Anwendungsbeispiel 3.3 lässt sich gut an den Untergrund anpassen. Eine Verschiebung der Matte auch unter Last ist eher nicht zu erwarten. Trotzdem muss die Matte für das Durchspritzen mit einer Ansaatmethode geeignet sein.

### 4 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. Ein weiterer Vorteil ist die einfachere Montage. 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 im Jahr 2012 gemacht. Das Geflecht hat einen Innendurchmesser von 80 mm mit einer Drahtstärke von 2 mm. Die Lastaufnahme beträgt 53 kN/m'. Es findet vielfach Anwendung ohne Vernagelung als Vorhang, auch im Bereich von Steilböschungen, wo

nur kleinere Steine erwartet werden. Die Verstärkung der Erosionsschutzmatte, gibt für kleine Steine genügend Halt. Teilweise wurden auch Anwendungen mit einer Bodenvernagelung umgesetzt.

Wie im Kapitel 3 beschrieben, kann nicht bei allen Anwendungen die Erosionsschutzmatte die Lasten schadenfrei aufnehmen. Es sind Verschiebungen der einzelnen Bahnen unter dem Geflecht in Falllinie zu erwarten, vor allem wenn eine Fixierung schwierig wird. Um für Böschungen mit oberflächennahen Rutschungen, oder gar Globalstabilitätsproblemen ausreichend sichern und begrünen zu können, wurde eine Verstärkung der Erosionsschutzmatte mit dem hochfesten Drahtgeflecht TECCO® G65/3 angestrebt (Abb. 14). Das Geflecht hat einen Innenkreisdurchmesser von 65 mm mit einer Drahtstärke von 3 mm. Die Lastaufnahme beträgt 150 kN/m<sup>2</sup> mit einem Durchstanzwiderstand von 180 kN gegen die Systemkrallplatte mit Kantenlängen von 33 cm x 20 cm. Abbildung 14 zeigt, dass die Wahl der Mulchfasern wichtig ist. Lange Fasern können nicht ausreichend die Erosionsschutzmatte durchdringen.



Abbildung 14: TECCO GREEN nach dem Aufbringen einer Hydrosaart.

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Grundsätzlich sind natürlich abbaubare, organische Erosionsschutzmatten zu bevorzugen. Sie stossen jedoch an ihre Grenzen 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 weniger auf und bieten, neben der geringeren Auffälligkeit, einen besseren Begrünungserfolg.

Die strukturelle Verstärkung von Geotextilien mit hochfesten Drahtgeflechten, die als Erosionsschutzmatten verwendet werden, vergrössern ihren Anwendungsbereich durch die höhere Lastaufnahme. Durch die Verstärkung mit hochfesten Drahtgeflechten mit einem Durchstanzwiderstand von min. 180 kN können oberflächennahe Instabilitäten bis in

eine Tiefe von 2 m gesichert werden. Sie können zuverlässig nach dem RUVOLUM-Konzept bemessen werden. Globale Instabilitäten können bei entsprechender Bemessung ebenfalls gesichert werden.

Um die Eigenschaften von synthetischen Krallmatten mit denen von organischen zu verbinden, werden weiter Abklärungen gemacht. Eine Variante ist das direkte Aufbringen und Verstärken von Kokos-, Jute oder Holzwolleplatten. Weiterentwicklungen von natürlichen Krallmatten auf Papierbasis stellen eine andere Möglichkeit dar. 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“

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 Felznägeln, 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 Prüfverfahren nach VSS/SVG*. Geotextilhandbuch