

Ingenieurbilogische Verbaumethoden von Hängen – Praxisbeispiele

Martin Ammann

Zusammenfassung

Unwetterereignisse verursachen entlang von Strassen und Wegen Rutschungen und Erosionsprozesse. Mit Stützkonstruktionen aus Rundholz in Kombination mit ingenieurbilogischen Verbaumethoden können solche Schäden oftmals schnell und mit natürlichen Baustoffen saniert werden. Für eine erfolgreiche Projektierung und Realisierung solcher Arbeiten sind fundiertes Wissen sowie Erfahrung notwendig. Der vorliegende Artikel vermittelt einige Grundsätze dazu. An Hand von Fallbeispielen werden einzelne Punkte hervorgehoben.

Keywords

Holzkastenverbau, Hangrost, Weidensteckhölzer, Rutschungen, Erosion

Méthodes d'aménagement des versants en génie biologique – Exemples pratiques

Résumé

Les phénomènes météorologiques extrêmes provoquent le long des routes et des chemins des glissements de terrain et des processus d'érosion. Avec des structures de soutien en rondins combinées avec des méthodes d'aménagement des versants du génie biologique, de tels dégâts peuvent souvent être assainis rapidement et avec des matériaux naturels. Pour une planification et une mise en œuvre réussie de ces travaux, des connaissances approfondies et de l'expérience sont nécessaires. Cet article fournit quelques principes pour cela et des points individuels sont mis en évidence par des exemples pratiques.

Mots-clés

Aménagement en caissons de bois, armature en bois, boutures de saule, glissements de terrain, érosion

Metodi di costruzione d'ingegneria naturalistica lungo pendii – Esempi pratici

Riassunto

Il maltempo provoca frane ed erosioni lungo strade e sentieri. Spesso questo tipo di danni può essere risanato velocemente e con materiali naturali costruendo opere di sostegno fatte di tronchi combinate a metodi di costruzione d'ingegneria naturalistica. Buone conoscenze di base ed esperienza sono necessarie in modo che il progetto e la realizzazione abbiano successo. Il presente articolo dà principi di base a questo proposito e singoli aspetti vengono approfonditi con esempi concreti.

Parole chiave

Cassoni di legno, griglie di protezione per pendii, talee, scivolamento, erosione

1. Einleitung

Im Hang- und Bachverbau haben ingenieurbilogische Verbaumethoden in Kombination mit Stützbauwerken aus Rundholz (Holzkasten und Hangroste), eine jahrzehntelange Tradition (Schiechtel 1973). Mein Vater, Fritz Ammann, hat vor 20 Jahren in dieser Zeitschrift (Mitteilungsblatt Nr. 4, Dezember 1997) wichtige Grundsätze, welche auch heute noch Gültigkeit haben, zu diesem Thema festgehalten (Ammann 1997). Der vorliegende Bericht baut auf diesem Artikel auf und soll einige neue Techniken, welche mit der technologischen Entwicklung Einzug gehalten haben, vorstellen. Anhand von ausgeführten Objekten wird dies anschaulich dargestellt.

2. Stützkonstruktionen aus Rundholz

2.1 Holzkasten

Holzkasten werden meistens als doppelwandige Bauwerke ausgebildet mit zwei parallelen Längshölzern (Traversen), welche mit Quershölzern (Zangen) miteinander verbunden sind. Einwandige Holzkasten werden eher selten z. B. bei kleinen Bachverbauungen eingebaut (Böll et al. 1999).

Holzkasten eignen sich besonders für:

- Stützbauwerke zur Reduktion der Hangneigung im Rüfenverbau
- Stützbauwerke zur Sanierung ganzer Rutschungen (oberflächliche bis mitteltiefe Rutschungen)
- Sperren und Leitwerke im Bachverbau
- Stützbauwerke in Kombination mit Steckhölzern und Pflanzen für Uferschutz bei Flüssen und Seen
- Fussabstützungen für Hangroste

2.2 Hangroste

Hangroste sind quadratische oder viereckige Raster aus Holz, deren Kreuzungsstellen mit dem anstehenden Untergrund verpfählt sind (Böll et al. 1999). Hangroste eignen sich besonders für:

- Verbau im Anrissgebiet von Rutschungen (Anrisskante)
- Begrünung von übersteilen und hohen Einschnittböschungen im Strassenbau
- Verbesserung der Standfestigkeit von Auftragsböschungen

2.3 Vor- und Nachteile beim Einsatz von Rundholz im Hangverbau

Hangverbauungen und insbesondere das Erstellen von Stützkonstruktionen aus Rundholz verlangen sehr viel Erfahrung und Wissen sowie sorgfältiges und umsichtiges Arbeiten nicht nur von den Ausführenden auf der Baustelle selber sondern auch bei der Projektierung und Bauleitung (Schiechtel und Stern 1992). Bei den Arbeiten gilt es für jedes Objekt

folgende Vor- und Nachteile zu beachten.

2.3.1 Vorteile

- Rasche Erstellung mit einfachen Mitteln
- Gute Anpassung an das umliegende Gelände
- Leichter Baustoff, praktisch keine zusätzlichen Belastungen des Baugrundes
- Bauwerke nach Fertigstellung sofort voll belastbar
- Verwendung eines erneuerbaren und einheimischen Baustoffes, der meist lokal verfügbar ist
- Eignet sich sehr gut für Kombinationen mit Blocksteinen

2.3.2 Nachteile

Die Zersetzung des Rundholzes ist ein Nachteil, den es bei der Projektierung von Stützkonstruktionen aus Holz zu berücksichtigen gilt. In folgenden Fällen ist der Einsatz von solchen Konstruktionen nicht zu empfehlen (Ammann 1997 und Böll 1997):

- Bachverbauungen bei Gerinnen, die keine ständige Wasserführung haben
- Bachverbauungen bei Gerinnen, die eine starke Geschiebeführung aufweisen
- Holzkasten, die nicht komplett eingedeckt oder nicht durch Pflanzenbewuchs gesichert werden können
- Hangroste bei Felsböschungen

2.4 Grundsätze bei der Erstellung von Stützkonstruktionen aus Rundholz

In diesem Kapitel sind unsere Erfahrungen in den letzten 55 Jahren bei der Projektierung und Ausführung solcher Objekte festgehalten.

2.4.1 Foundation und Entwässerung

- Aushub bis auf feste Unterlage (sondiert mit Handdrummgerät) unter Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften betreffend Arbeitssicherheit (Bauarbeiterverordnung)
- Ausreichende seitliche Einbindung des Bauwerkes

- Fundamentsohle bergwärts geneigt, in rechtem Winkel zum Anzug des Bauwerkes

- Saubere Entwässerung der Fundamentsohle und Ableitung des gefassten Wassers mit Sickerrohren (Abb. 1)

Vorsicht: mit der Entwässerung keine neuen Rutschungen auslösen!

Das gefasste Sickerwasser muss allenfalls mit V-Känneln oder Rundholz-Rechteckkänneln in das nächste wasserführende Gerinne geleitet werden.

2.4.2 Anforderungen an das Rundholz

Die Holzarten Fichte, Tanne, Lärche, Douglasie, Kastanie, Eiche sind für Verbauungen geeignet. Bei Holzkasten und Hangrosten kommt auf Grund der Verfügbarkeit in unserer Region vor allem Fichten- und Tannenholz zum Einsatz. Im Kanton Graubünden kommt zusätzlich oft Lärchenholz zur Anwendung. Bei der Qualität des Rundholzes darf nicht gespart werden. Holz von schlechter Qualität und zu grosse Durchmesser (> 60 cm) sind nicht zu verwenden. Das



Abbildung 1: Fundamententwässerung Holzkasten: Bergwärts des hinteren Rundholzes (Traverse) ist die Sickerpackung und die PE-Sickerleitung sichtbar.

Figure 1: Drainage de base en caissons en bois: En amont et en arrière des rondins (traverses), on distingue l'unité et le tuyau d'infiltration PE.

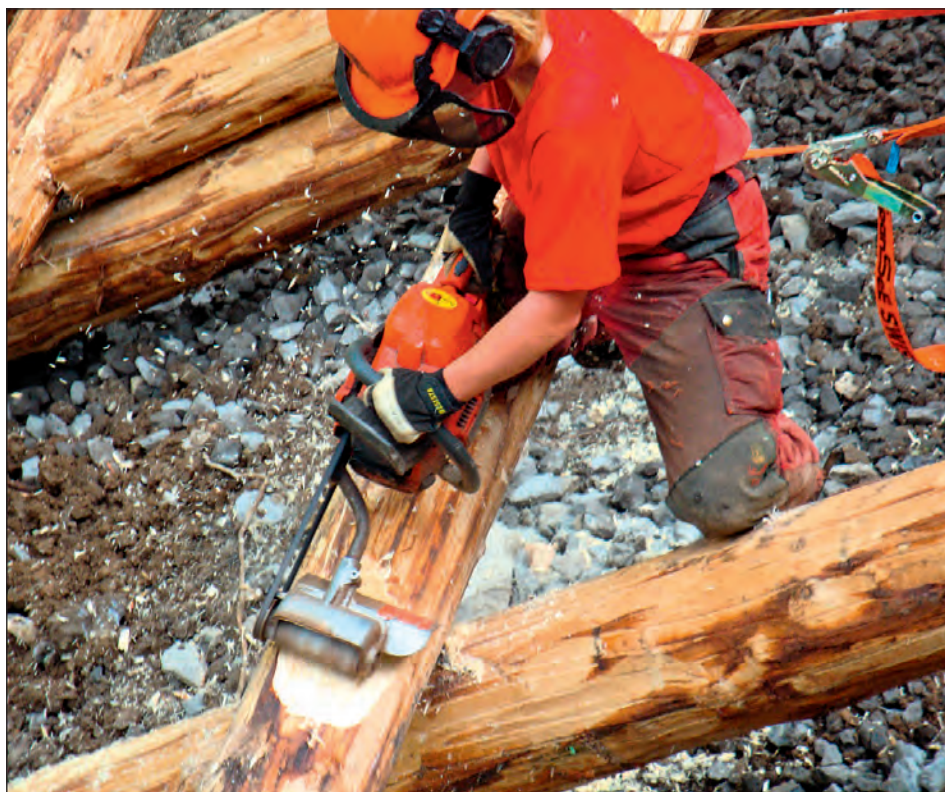


Abbildung 2: Passgenaue Ausbildung der Verbindungsstelle mit dem Eder. Auf der Unterseite des Rundholzes wird mit dem Eder eine Kehle ausgehobelt. Mit dem Eder kann genauer und sauberer gearbeitet werden als mit der Motorsäge.

Figure 2: Formation sur mesure de la liaison avec l'Eder. Sur la face inférieure du rondin, une rainure est effilée par l'Eder. On peut travailler de manière plus précise et plus propre avec l'Eder qu'une tronçonneuse.



Abbildung 3: Mullernstrasse: Objekt vor Massnahmen. Rückschreitende Erosion und oberflächennahe Rutschungen haben die Fundamente der Stützkonstruktionen der Strasse freigelegt.
Figure 3: Mullernstrasse: objet avant les mesures. Une érosion régressive et des glissements de terrain superficiels ont mis à découvert les fondations des structures de soutien de la route.

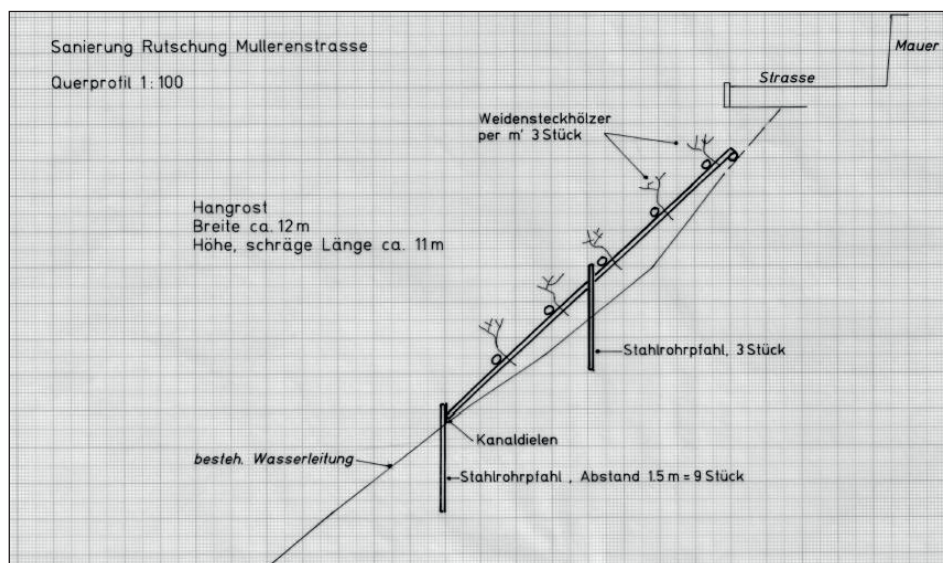


Abbildung 4: Mullernstrasse: Querprofil des Hangrostes.
Figure 4: Mullernstrasse: section transversale de l'armature en bois.

Verbauungsholz muss folgende Qualitätsmerkmale aufweisen:

- gesund (keine Rot- und Faulstellen)
- frisch (frisches Käferholz kann unbedenklich verwendet werden)
- keine grösseren Krümmungen
- geringe Abholzigkeit
- entrindet

Entrindetes Holz weist gegenüber nicht entrindetem Holz eine höhere Lebensdauer auf und die Verbindungsstellen

können kompakter hergestellt werden (Ammann 1997). Für Bachverbauungen ist möglichst handentrindetes Holz zu verwenden.

2.4.3 Ausbildung der Verbindungsstellen

- Pro Holzlage möglichst gleich starkes Holz verwenden
- Kompakte Auflager Traverse-Zange-Traverse erstellen; das Rundholz nur auf der Unterseite mit dem Eder aus-

hobeln; dies ergibt saubere Verbindungsstellen (Ammann 1997, Abb. 2).

- Saubere Vernagelung mit Stahlnägeln, Löcher vorgebohrt mit Bohrergerät

3. Praxisbeispiele

3.1 Rutschung Mullernstrasse (Glarus Nord, Ortsteil Mollis)

3.1.1 Ausgangslage

Etwa 15 Meter unterhalb einer alten Brückenkonstruktion (Lehnenviadukt, teilweise fundiert auf alten Blocksteinmauern) ging im Jahr 2009 eine oberflächennahe Rutschung (Mächtigkeit ca. 1 Meter) im anstehenden Moränenmaterial inklusive der Vegetationsdecke ab (Abb. 3). Auslöser der Rutschung dürften diverse Hangwasseraustritte und eine nicht mehr funktionierende Strassenentwässerung gewesen sein. Die Rutschung legte teilweise die Fundamente der Kunstbauten frei und das anstehende Moränenmaterial war ohne Vegetationsdecke einer rasch fortschreitenden, rückwärtigen Erosion ausgesetzt. Eine Sicherung der Fundamente musste dringend vorgenommen werden.

3.1.2 Verbauungskonzept und Ausführung

Die Rutschfläche unterhalb der Stützkonstruktion wies eine Hangneigung von ca. 40–55° auf sowie eine Breite von ca. 12 Metern.

Das Verbauungskonzept sah vor, die Fläche mit einem Hangrost aus Rundholz zu verbauen (Abb. 4). Somit sollten die Stützkonstruktionen der Strasse vor weiteren Erosions- und Rutschprozessen geschützt werden. Die Abstützung des Hangrostes im Hang stellte aber eine Herausforderung dar. Im anstehenden Moränenmaterial konnte bei Sondagen bis auf eine Tiefe von ca. 2 Metern kein Fels angetroffen werden. Eine Abstützung auf einen Holzkasten kam deshalb nicht in Frage, da die Fundation nicht auf festem Untergrund (Fels) erfolgen konnte. Ebenfalls durften im Hang unterhalb der Strasse nur minimale Aushubarbeiten ausgeführt werden, da die Gefahr von nachrutschenden Böschungen bestand. Der Hangrost wurde hinter einer Kanaldielenwand, welche mit Mikropfählen ca. 2.5 Meter in den Untergrund ge-



Abbildung 5: Mullernstrasse: Hangrost im Bau. Der fertig gestellte Hangrost abgestützt auf die Kanaldielenwand vor dem Einfüllen. Die vertikalen Rundhölzer sind hinter den Kanaldielen abgestützt.

Figure 5: Mullernstrasse: construction de l'armature en bois. L'armature terminée est soutenue par le mur de palplanches avant le remplissage. Les rondins verticaux sont supportés derrière les palplanches.



Abbildung 6: Mullernstrasse: Begrünter Hangrost ein Jahr nach Bauvollendung. Die Trockensaat ist gut angewachsen und die Weidensteckhölzer haben Triebe von ca. 0.5 – 1.0 Metern gebildet.

Figure 6: Mullernstrasse: armature végétalisée un an après la fin des travaux. Les semences sèches ont bien grandi et les boutures de saule ont des pousses d'environ 0,5 – 1,0 mètre.

bohrt und ausinjiziert wurde, abgestützt. Der seitliche Abstand der Pfähle betrug 1.5 Meter (Abb. 4, Abb. 5).

Abgestützt auf die Kanaldielenwand wurde der Hangrost aus Rundholz erstellt (Abb. 5). Alle Hangwasseraustritte innerhalb des Hangrostes wurden mit Sickerleitungen und Sickerpackungen (Geröll) gefasst. Anschliessend wurde der Hangrost mit durchlässigem Aushubmaterial hinterfüllt. Zum Abschluss wurden die Flächen mit einer Trockensaat angesät und mit Weidensteckhölzern bepflanzt. Bereits ein Jahr nach der Vollendung war die Fläche gut begrünt und verwachsen (Abb. 6).

3.1.3 Besonderheiten bei der Ausführung

Im sehr steilen Hang unterhalb der Strasse konnten keine Maschinen für die Aushubarbeiten eingesetzt werden. Alle Grabarbeiten (Entwässerung, Hangrost) mussten von Hand ausgeführt werden. Die Mikropfähle für die verankerte Kanaldielenwand wurden mit einem Lawinenbohrgerät erstellt. Das Sickergeröll und das Aushubmaterial für die Hinterfüllung des Hangrostes wurden mit einem LKW mit Kran und Schalengreifer direkt eingebracht. Das Wasser aus der bestehenden Strassen- und Fundamententwässerung wurde über den fertig gestellten

Hangrost mit V-Känneln aus Holz bis in den Bach schadlos abgeleitet (Abb. 6).

3.2 Rutschung Fliessenstrasse

3.2.1 Ausgangslage

Während der Schneeschmelze im Frühjahr 2016 ging an der Fliessenstrasse (Gemeinde Glarus Nord, Ortsteil Mühlehorn) in einer Geländemulde eine ca. 12 m breite Rutschung ab. Die Rutschung reichte bis an den talseitigen Strassenrand. Hangdruckwasser und über die Strasse in den Hang abfliessendes Oberflächenwasser der Strasse waren Auslöser der Rutschung (Abb. 7).

3.2.2 Verbauungskonzept

Es wurde vorgesehen, zwei doppelwandige Holzkasten, welche vollständig eingedeckt werden, zur Abstützung der talseitigen Böschung einzubauen (Abb. 8 und 9). Die Holzkasten wurden auf den gewachsenen Boden, respektive auf dem anstehenden Fels fundiert. Das Fundament des Holzkastens sowie die diversen Austritte von Hangdruckwasser wurden mit Sickerpackungen und -leitungen gefasst (Abb. 1 und 8). Der Durchlass in der Strasse wurde erneuert und das Wasser in einem V-Kännel über die neu erstellte Böschung ins Gerinne geführt (Abb. 9 und 10). Mit zugeführtem Aushubmaterial erfolgte der Wiederauf-

bau der talseitigen Böschung. Mit einem Anbau-Plattenvibrator konnte das Aushubmaterial sehr gut verdichtet werden (Abb. 10). Die Böschung wurde mit einer Trockensaat und mit Weidensteckhölzern begrünt.

3.2.3 Besonderheiten bei der Ausführung

Bei der Ausführung kam ein Schreitbagger der modernsten Generation mit einem vollhydraulischen Schnellwechsler und Tiltrotator zum Einsatz. Dadurch konnten die diversen Anbaugeräte selbstständig durch den Maschinisten ohne die Kabine verlassen zu müssen und in sehr kurzer Zeit (< 30 Sekunden) gewechselt werden. So erfolgte der Wechsel im Minutentakt: vom hydraulischen Abbauhammer um die Fundamentsohle im Fels zu erstellen, über den Tieflöffel um den Aushub fertig zu stellen bis zum Greifer um das Rundholz im Fundament richtig zu platzieren (Abb. 9). Die geschickt genutzten Einsatzmöglichkeiten der Anbaugeräte in Kombination mit einem versierten Maschinisten ergaben gegenüber herkömmlichen Maschinen (ohne Schnellwechsler und diversen Anbaugeräten) eine deutliche Produktivitätssteigerung beim Einbau des Holzkastens.



Abbildung 7: Fliessenstrasse: Rutschung im Frühjahr 2016. Die Rutschung reicht bis an den talseitigen Strassenrand und gefährdet die Strasse sowie deren Kunstbauten.

Figure 7: Fliessenstrasse: glissement de terrain au printemps 2016. Le glissement se prolonge du côté aval de la route et met en danger la route et les aménagements.



Abbildung 9: Fliessenstrasse: Verdichten mit Anbau-Plattenvibrator.

Figure 9: Fliessenstrasse: compactage avec montage à plaque vibrante.



Abbildung 8: Fliessenstrasse: Einbau des oberen Holzkastens. Gut sichtbar an der hinteren Wand sind die Entwässerungsleitungen.

Figure 8: Fliessenstrasse: installation du caisson supérieur. Les tuyaux de drainage sont clairement visibles sur la paroi arrière.



Abbildung 10: Fliessenstrasse: Drei Wochen nach Fertigstellung (Ende Juni 2016). Die beiden Holzkasten sind vollständig eingedeckt und in der Böschung nicht mehr sichtbar. Das Wasser aus dem Durchlass wird mit einem VKännel über die Böschung geleitet. Die Ansaat hat bereits gekeimt und die Böschung begrünt sich.

Figure 10: Fliessenstrasse: trois semaines après l'achèvement des travaux (fin juin 2016). Les deux caissons en bois sont complètement recouverts et ne sont plus visibles dans le remblai. L'eau de passage est transmise par un canal en V à travers le remblai. Le semis a déjà germé et la pente se végétalise.



Abbildung 11: Auftragsböschungen mit Jutegewebe gesichert (Ende März 2017). Im Herbst 2016 wurde die Böschung erstellt. Über den Winter verursachte unkontrolliert abfliessendes Oberflächenwasser an exponierten Stellen Beschädigungen in der Böschung (Gemeinde Glarus Süd, Linthal: Baustelle im Projekt Linthal 2015 der Kraftwerke Linth-Limmern AG, 8783 Linthal).

Figure 11: Remblais de prélèvement sécurisés avec de la toile de jute (fin mars 2017). Le remblai a été aménagé en automne 2016. Au cours de l'hiver, des eaux non contrôlées s'écoulant en surface sur les zones exposées ont provoqué des dommages sur le versant (commune Glarus Süd, Linthal: site de construction du projet Linthal 2015 de la centrale Linth-Limmern AG, 8783 Linthal).



Abbildung 12: Bepflanzung mit Weidensteckhölzern und Ansaat (Ende April 2017). Die abgerutschten Stellen der Böschung wurden vorgängig wiederhergestellt. Die Bepflanzung mit Weidensteckhölzern erfolgte am Seil gesichert. Die Löcher für die Steckhölzer wurden vorgebohrt.

Figure 12: Plantation de boutures de saule et semis (fin avril 2017). Les emplacements en glissement du remblai ont été assainis auparavant. La plantation de boutures de saule a été encordée. Les trous pour les boutures ont été forés à l'avance.



Abbildung 13: Anwuchs nach einem Monat (Ende Mai 2017). Die Weidensteckhölzer haben neue Triebe gebildet und die frische Ansaat ist zwischen den Maschen des Jutegewebes ebenfalls sichtbar.
 Figure 13: Jeunes pousses après un mois (fin mai 2017). Les boutures de saule ont formé de nouvelles pousses et les semis sont également visibles entre les mailles de la toile de jute.

4. Die Rolle der Vegetation

Stützbauwerke im Hang- und Bachverbau sind unmittelbar nach der Erstellung zu begrünen und mit Pflanzen zu sichern (Böll 1997, Rickli 2001). Meistens am Schluss ausgeführt, bilden diese Arbeiten das i-Punktchen am ganzen Bauwerk (Abb. 4). Oftmals ist es die Ansaat der neu erstellten Böschung in Kombination mit Weidensteckhölzern, die zu einer sehr schnellen Begrünung und Sicherung der Böschung führen (Abb. 11, 12 und 13). Diese Massnahmen sind meistens kostengünstig, müssen aber ebenfalls sorgfältig projektiert (Abb. 4) und mit der nötigen Erfahrung umgesetzt werden (Schiechtl 1973, Schiechtl 1992). Sie ergänzen die oftmals eher harten, technischen Massnahmen in der Landschaft und sichern frisch erstellte Böschungen (Abb. 11, 12 und 13).

Kontaktadresse:

Dr. sc. techn. Martin Ammann
 dipl. Forst-Ing. ETH / SIA
 dipl. NDS in Betriebs-
 wissenschaften ETH

Ammann Ingenieurbüro AG
 Nüesch & Ammann
 Forstunternehmung AG
 Gublenstrasse 2
 8733 Eschenbach

Tel: 055 212 33 39
 E-Mail:
 martin.ammann@ammann-ing.ch

Literaturverzeichnis

- Ammann, F. 1997. Ingenieurbiologische Verbaumethoden. Holzkastenverbau und Hangroste. Mitteilungsbl. Ingenieurbiologie 4: 4–8.
- Böll, A. 1997. Wildbach- und Hangverbau. Ber. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch. 343. 123 S.
- Böll, A.; Gerber, W.; Graf, F., Rickli, C., 1999: Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Rensenverbau. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 60 S.
- Lautenschlager, E. 1989. Die Weiden der Schweiz und angrenzender Gebiete: Bestimmungsschlüssel und Artbeschreibung für die Gattung *Salix* L. Birkhäuser, Berlin.
- Rickli, C. 2001. Vegetationswirkung und Rutschungen – Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Birmensdorf, Bern, Eidg. Forschungsanstalt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 97 S.
- Schiechtl, H. M. 1973. Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. Grundlagen, lebende Baustoffe, Methoden. Georg D.W. Callwey, München.
- Schiechtl, H. M. 1992. Weiden in der Praxis. Die Weiden Mitteleuropas, ihre Verwendung und ihre Bestimmung. Patzer, Berlin-Hannover.
- Schiechtl, H. M.; Stern, R. 1992. Handbuch für naturnahen Erdbau. Eine Anleitung für ingenieurbiologische Bauweisen. Österreichischer Agrarverlag, Wien.