**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 134 (1983)

**Heft:** 3

**Artikel:** Lebendverbau bei der Sanierung von steilen Hängen

**Autor:** Böll, Albert

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-767216

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 02.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse

134. Jahrgang | März 1983 | Nummer 3

# Lebendverbau bei der Sanierung von steilen Hängen

Von *Albert Böll*
(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf)

Oxf.: 384:421.1

## 1. Allgemeine Hinweise und Problemstellung

In letzter Zeit haben die Methoden des Lebendverbaues an Bedeutung gewonnen. Zu den Forstleuten, die viele dieser Methoden schon immer angewendet haben, gesellt sich ein laufend grösser werdender Kreis von Interessenten aus anderen Fachrichtungen.

Unter Lebendverbau (Synonym: Ingenieurbiologie) versteht man die Verwendung von lebenden Pflanzen für bautechnische Zwecke. Nach der Funktion unterscheidet man zwischen einer eigentlichen Baufunktion (Hangstabilisierung, Uferschutz usw.), einer Tarnfunktion (Verdecken unschöner Bauelemente) und unter Umständen einer landschaftsgestalterischen Funktion.

Über das Fachgebiet, insbesondere über Methoden und Technik der Anwendung, liegt Literatur vor. Für unsere Verhältnisse sind die Publikation von *Schiechtl* (1973) und das Vorlesungsmanuskript von *Kuonen* (1981) wertvolle Hilfen.

Der vorliegende Aufsatz gibt Hinweise zum Lebendverbau bei der Sanierung von Hängen und Runsen. Es werden einige der Probleme erörtert, die bei der Stabilisierung steiler Hänge auftreten können, und es werden Lösungen dargestellt.

Da man es in der Praxis von Fall zu Fall mit verschiedensten Randbedingungen bei an sich ähnlicher Fragestellung zu tun hat, enthalten die folgenden Ausführungen nur qualitative Angaben. Sie basieren unter anderem auf Untersuchungen, welche die EAFV für eine steile Erosionsfläche in verfestigtem Moränenmaterial ausführte.

## 2. Hangrutschungen

In bezug auf die Hangstabilisierung bezeichnen wir eine Böschung dann als steil, wenn ihr Neigungswinkel im Verlaufe der Zeit aus bodenmechani-

schen Gründen abnimmt, falls keine Gegenmassnahmen ergriffen werden. Im Hinblick auf die nachfolgenden Ausführungen zum Lebendverbau unterscheiden wir das Abgleiten eines Erdkörpers entlang einer Gleitfläche sowie die Festigkeitsverminderung im Oberflächenbereich.

### *2.1 Abgleiten eines Erdkörpers entlang einer Gleitfläche*

Ein Gleitkörper bewegt sich entlang einer Gleitfläche: er rutscht ab. Nach Abschluss des Vorganges stellt sich eine neue Gleichgewichtslage ein. Lage und Form der Gleitfläche sind unter anderem von den Bodeneigenschaften abhängig. Das Abgleiten kann plötzlich erfolgen. Oft gehen den Rutschungen relativ grosse Verformungen (Kriechbewegungen) voraus. Nach der Rutschung sind noch Nachrutschungen, d.h. lokale Bodenbewegungen auch innerhalb der abgerutschten Masse, zu beobachten *(Abbildung 1)*.

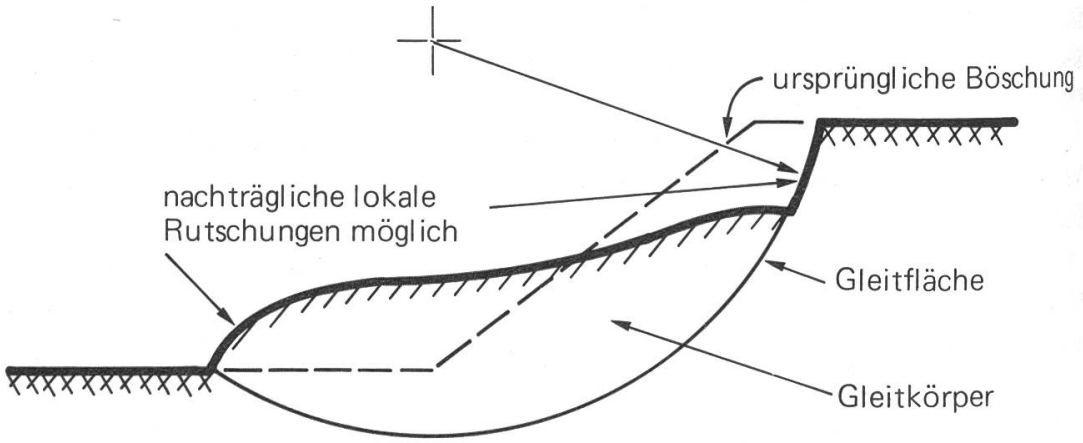


*Abbildung 1.* Beispiel einer relativ tiefliegenden, kreisförmigen Gleitfläche.

### *2.2 Festigkeitsverminderung durch äussere Einwirkungen im Oberflächenbereich*

Eine steile Böschung kann anfänglich als standfest erscheinen, weil das Bodenmaterial eine genügende Festigkeit aufweist. Im Laufe der Zeit (Jahre, Jahrzehnte) geht aber ein Teil dieser Festigkeit durch Verwitterung im Oberflächenbereich verloren; als Folge tritt lokales oberflächennahes Abgleiten auf (*Abbildung 2*). Dadurch entstehen übersteile Partien, die dann ebenfalls abbrechen. Der Prozess schreitet fort und ist erst dann abgeschlossen, wenn sich über den ganzen Hang eine Neigung eingestellt hat, die der endgültigen Bodenfestigkeit entspricht.

Ein Beispiel zu diesem Vorgang:

Auf einem steilen Hang aus Moränenmaterial stockt eine geschlossene Vegetation. Durch Hangfusserosion eines Baches gleiten die Vegetationsdecke oder Teile derselben ab. Das standfeste Moränenmaterial wird dadurch freigelegt. Anfänglich hat es noch eine sehr hohe Festigkeit, die unter Um-

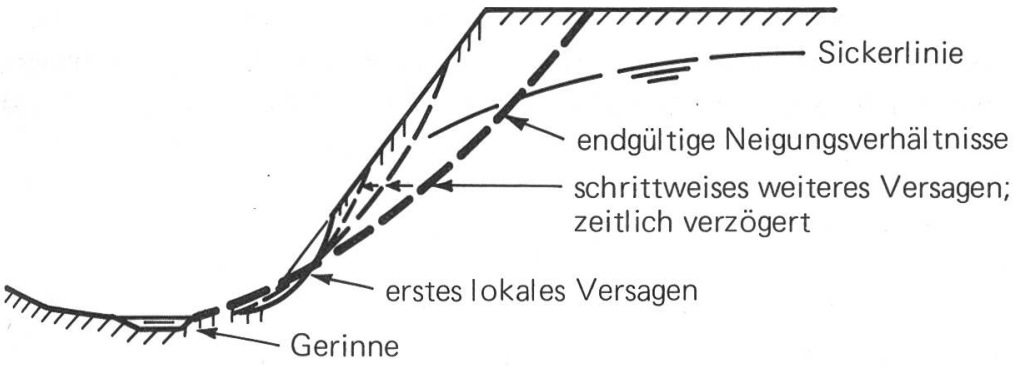


*Abbildung 2.* Schrittweise Reduktion der Böschungsneigung durch oberflächennahes Abgleiten.

ständen Neigungen von weit über 100% zulässt; sie ist durch die hohe Lagerungsdichte des Materials und eventuell eine gewisse Versinterung gegeben und kann über einige Jahre oder länger erhalten bleiben.

Durch Verwitterung und innere Erosion wird nun aber das Material von der Oberfläche her aufgelockert; die Dichte und damit die Festigkeit nehmen ab. Es treten Bodenbewegungen auf, so dass neue Partien hoher Festigkeit freigelegt und den Einflüssen der Verwitterung ausgesetzt werden. Der Vorgang wiederholt sich, verlangsamt sich, bis sich schliesslich nach Jahren eine Hangneigung einstellt, die der Festigkeit des aufgelockerten Materials entspricht.

Der Prozess wird vielfach durch bautechnische Eingriffe eingeleitet, wie Einschnitte im Bahn- und Strassenbau, Kiesentnahmen. Typische Erscheinungsbilder dieses Phänomens finden sich in Kiesgruben.

## 3. Die Wirkungen der Pflanzen

Von Interesse sind hier:

- *Erosionsschutz*
  Die Vegetationsdecke schützt die Bodenoberfläche bei Niederschlag, indem sie einen Teil der Fallenergie der Regentropfen absorbiert. Ausserdem halten die Wurzeln die Bodenpartikel zusammen, wodurch die Gefahr des Abschwemmens vermindert wird. Nebenbei bemerkt reduziert die Vegetation auch die Temperaturschwankungen und deren Kräfte auf den Boden. Ferner wird die Frosteindringungstiefe vermindert.

- *Festigende Wirkung der Wurzeln*
  Die Wurzeln haben im Boden eine gewissermassen armierende Wirkung: Innerhalb des Wurzelhorizontes weist der Boden eine erhöhte Festigkeit auf, weil Kräfte von den Wurzeln übernommen werden können.

– *Wasserentzug durch die Pflanze*
In vielen Fällen wirkt das im Boden vorhandene Wasser rutschungsfördernd (Reduktion der Scherfestigkeit infolge Porenwasserdruck). Man versucht daher, das Gebiet zu entwässern. Neben technischen Entwässerungen bedient man sich sehr gerne auch der Pflanzen, die durch Transpiration dem Boden zum Teil recht beachtliche Wassermengen entziehen können.

Im Lebendverbau versucht man, die günstigen Wirkungen der Pflanzen zu nutzen, indem man sie entsprechend einbringt. Bevor man sich für eine bestimmte Lebendverbau-Methode entschliesst, ist abzuklären, welche Aufgaben den Pflanzen zugewiesen werden können und unter welchen Bedingungen sie wachsen werden. Erst dann kann man abschätzen, ob eine Lebendverbau-Methode genügt oder ob eine Kombination zwischen technischem Verbau und Lebendverbau vorzusehen ist.

Dabei sind folgende unerwünschte Wirkungen zu berücksichtigen:

Der Wasserentzug durch die Pflanze ist grundsätzlich gegeben. Das Niederschlagswasser kann aber durch die eingebrachten Pflanzen auch am Abfliessen gehindert und zum Einsickern in den Boden veranlasst werden. Daher sollten beispielsweise Buschlagen in vernässten Hängen ausser der stets erforderlichen Querneigung auch eine Längsneigung aufweisen.

Massnahmen:
– Abfluss des Wassers gewährleisten durch geeignete Anordnung und zweckmässige Einbringung des Lebendverbaus.
– Fassen und Ableiten des Wassers mit Hilfe von Entwässerungen.

Die Wurzeln festigen den Boden in einem oberflächennahen Bereich. Andererseits können aber durch Pflanzen, Tiere, Klima und Wasser bewirkte Bodenumwandlungsprozesse die Festigkeit verkleinern. Insbesondere im Übergangsbereich von durchwurzelter zu nichtdurchwurzelter Schicht treten bevorzugt Gleitungen auf, wodurch steile Hänge von der Vegetation entblösst werden. Angaben über die Wurzelkonkurrenz finden sich bei *Leibundgut* (1958).

Massnahme:
– Stufigen Wurzelhorizont anstreben durch Verwendung verschiedener Pflanzenarten, die den Boden unterschiedlich tief durchwurzeln.

Der Boden kann durch die Pflanzen aufgelockert werden; beispielsweise übertragen die Bäume Windkräfte auf den Boden und verursachen Deformationen. Abgestorbene und abgebaute Wurzeln hinterlassen Hohlräume im Boden (Wurzelkanäle).

Massnahmen:
– Im Verhältnis zur Masse der oberirdischen Pflanzenteile grosse lebende Wurzelmasse anstreben;
– Bestände pflegen, Vitalität erhalten;
– Bestände nicht überaltern lassen. Rechtzeitig für Verjüngung sorgen.

Bei vielen im Lebendverbau verwendeten Pflanzen handelt es sich um Pioniere. Die wegen ihrer Vorteile sehr geschätzten Weiden sind lichtbedürftig, relativ konkurrenzschwach und ziemlich kurzlebig. Die Ablösung durch Folgebaumarten ist deshalb rechtzeitig zu planen.

## 4. Bodenmechanische Überlegungen

Es ist abzuklären, ob Bodenbewegungen zu erwarten sind, die entlang tiefgelegener Gleitflächen verlaufen (*Abbildung 1*) oder ob man es eher mit oberflächennahen Problemen (*Abbildung 2*) zu tun hat. Die Frage lässt sich häufig durch Beobachtungen im Gelände beantworten.

Die gute Wirkung der Lebendverbaumethoden hängt nämlich stark von der Lage (Tiefe) der Gleitfläche ab. Bei steilen Böschungen wird man vielfach nur dann Erfolg haben, wenn man eine Kombination zwischen technischem Verbau und Lebendverbau vorsieht. Soll eine Rutschung verhindert werden, so ist – abgesehen von jenen Grenzfällen, in denen eine Entwässerung genügt – eine «kraftschlüssige Verbindung» zwischen dem Gleitkörper und dem festen Untergrund herzustellen. Der Lebendverbau vermag dies nur zu tun

- bei oberflächennahem Gleiten und relativ geringen aufzunehmenden Kräften. Beispielsweise wird sich die Rutschung in *Abbildung 1* durch reine Lebendverbaumethoden nicht verhindern lassen;
- wenn während der Ausbildung des Wurzelwerkes keine Bewegungen zwischen Untergrund und Gleitkörper stattfinden.

Beim steilen Erosionshang (*Abbildung 2*) bewirkt die abnehmende Festigkeit oberflächliche Bodenbewegungen. Die Verhältnisse können nur dann als stabil betrachtet werden, wenn es gelingt, eine bestimmte Festigkeit dauernd zu erhalten. Neben natürlichen Einflüssen bewirken auch bauliche Sanierungsmassnahmen eine Auflockerung des Gefüges und damit eine Verminderung der Festigkeit. Dies trifft auch zu für die Anlagen des Lebendverbaues. Zwischen der Erstellung der Lebendverbauung und deren vollen Wirksamkeit kann sich die ursprüngliche Böschungsneigung verändern. Folgerung:

- Die Verbauung verspricht nur dann Erfolg, wenn die Neigungsverhältnisse der natürlichen Entwicklung der Festigkeit beziehungsweise der voraussichtlichen Endfestigkeit angepasst werden.

## 5. Beispiel: Sanierung eines Erosionshanges in verfestigter Moräne

### *5.1 Profil eines Erosions-Rutschhanges*

Wir unterscheiden im Profil in *Abbildung 3* drei Zonen:

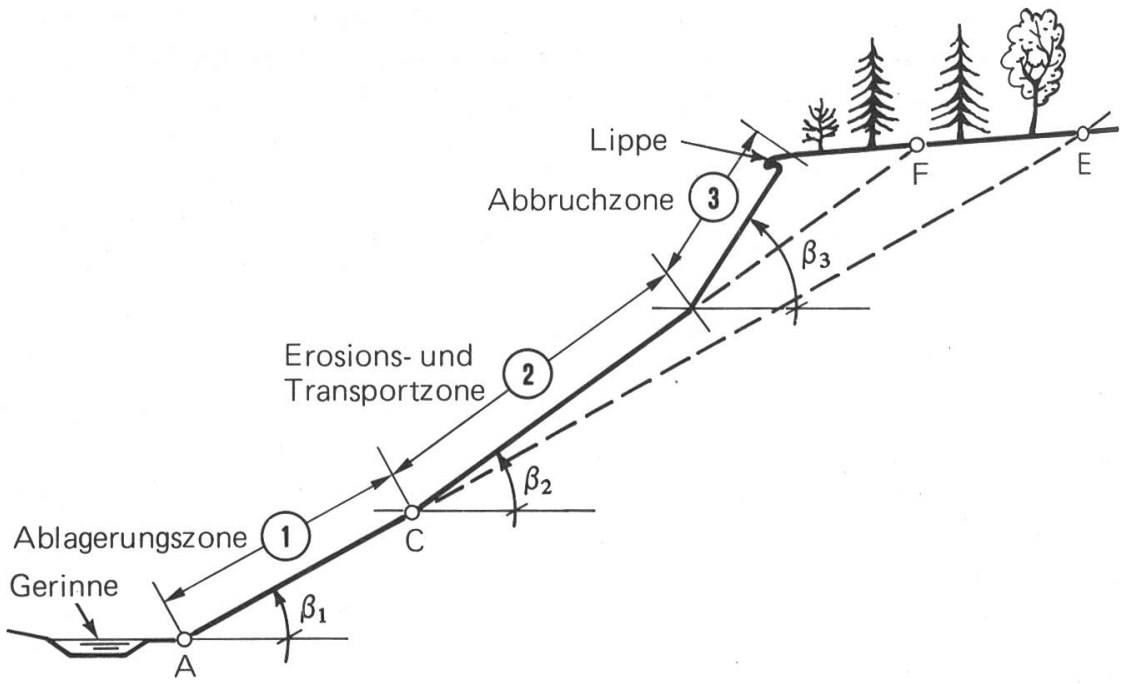


*Abbildung 3.* Typisches Profil eines Erosions-Rutschhanges.

– *Bereich des Hangfusses: «Ablagerungszone»* 1
  Die Böschung weist den relativ flachen Winkel $\beta_1$ auf. Beim Bodenmaterial handelt es sich um teils anstehendes, teils liegengebliebenes, von oben abgewittertes Material. Der Neigungswinkel $\beta_1$ entspricht bei kohäsionslosem Material ungefähr dem Winkel $\Phi$ der inneren Reibung des gestörten Lockermaterials, wie er etwa in Tabellen über Bodenkennziffern angegeben ist. Die Verhältnisse sind mehr oder weniger stabil. Ein Abtransport erfolgt durch fliessendes Wasser in Gerinnen.
– *Mittlerer Bereich: Erosions- und Transportzone* 2
  Die Böschung ist, entsprechend der höheren Festigkeit des noch wenig verwitterten Materials, steiler: $\beta_2 > \beta_1$. Durch den Verwitterungsprozess aufgelockertes Material rutscht ständig ab oder wird abgeschwemmt und

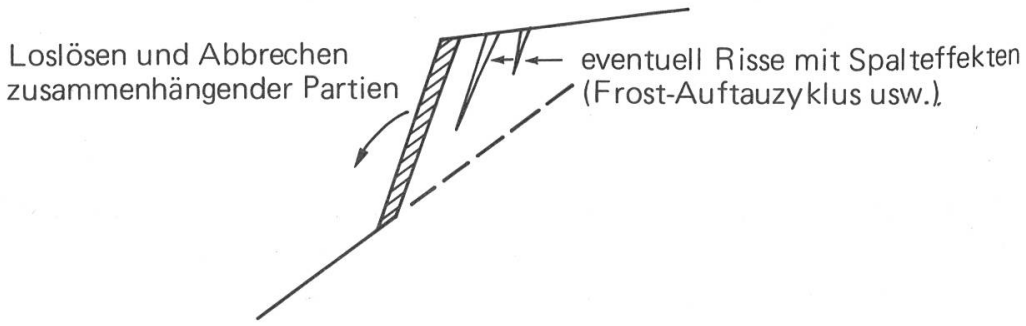


*Abbildung 4.* Detail Abbruchzone (Bereich 3 von *Abbildung 3*) schematisch.

lagert sich im Hangfussbereich 1 unter dem Winkel $\beta_1$ an. Neues Material wird freigelegt, so dass der Prozess weitergeht. Der Winkel $\beta_2$ wird sich im Laufe der Zeit dem Wert von $\beta_1$ annähern.

- *Oberer Bereich: Abbruchzone* 3
  Die Böschung ist noch steiler. Der Abtragsmechanismus ist ähnlich wie im mittleren Bereich. Durch die grosse Steilheit sind die Bedingungen verschärft, so dass auch ein Abbrechen kompakter Partien möglich ist (*Abbildung 4*).

### *5.2 Sanierungsmöglichkeiten*

Die «sichere» Lösung würde darin bestehen, die Hangneigung $\beta$ global auf $\beta \leqslant \beta_1$ zu reduzieren (Gerade CE in *Abbildung 3*). In den meisten Fällen ist diese Lösung aus praktischen Gründen nicht möglich, da sie zuviel Platz benötigt und zuviel überschüssiges Lockermaterial verursacht.

Eine praktikable Lösung besteht in der teilweisen Reduktion der Hangneigung und gleichzeitigen Schutzmassnahmen gegen Erosion. Falls es gelingt, Erosion und Tiefenwirkung der Verwitterung zu stoppen, so kann der Hang bei einem Winkel $\beta > \beta_1$ standfest sein. Je nach dem Winkel $\beta$ sind die Sicherungsmassnahmen unterschiedlich. Je steiler $\beta$ ist, desto aufwendiger werden die Verfahren. Der Winkel $\beta_3$ ist in den meisten Fällen zu reduzieren, da sich sonst die Verhältnisse kaum beruhigen lassen.

Bei der Reduktion der Neigung und bei der Ausführung von baulichen Massnahmen fällt Abtragungsmaterial an. Wird es im Gelände deponiert, so darf die Neigung der Aufschüttung $\beta_1$ auf keinen Fall übersteigen, da es sich um gestörtes, wenig dichtes Material handelt. Böschungen mit der Neigung $\beta_1 \simeq \Phi$ sind, falls der Boden ungesättigt ist, gerade im Gleichgewicht. Dieser Zustand wäre bezüglich der Sicherheit unzulässig; der Lebendverbau erhöht aber die Sicherheit.

Bei der Verwendung von Lebendverbau-Methoden wird das Material ebenfalls etwas aufgelockert. Eine oberste Bodenschicht bleibt Verwitterungseinflüssen unterworfen. Die Mächtigkeit dieser Schicht dürfte etwa der Frosteindringungstiefe [1] entsprechen. Falls es gelingt, die oberste Schicht am Abgleiten zu hindern, so schützt sie mit der schliesslich darauf stockenden Vegetation den darunterliegenden Boden. Dieser bleibt dann den Verwitterungseinflüssen weitgehend entzogen und behält derart seine ursprünglich gute Festigkeit (*Abbildungen 5* und *6*).

Mit den Schutzmassnahmen erreichen wir die Ausbildung einer zusammenhängenden «Schutzschicht». Diese Schicht hat, infolge ihres Gewichtes, die Tendenz, auf dem Untergrund abzugleiten. In steilem Gelände

[1] Die Angaben zur Frosteindringungstiefe in der VSS-Norm SNV 670 140 gelten für Verhältnisse in und unter schwarzgeräumten Strassen. *Turner* (1975) hat Messungen an Rippen und in Runsen durchgeführt.

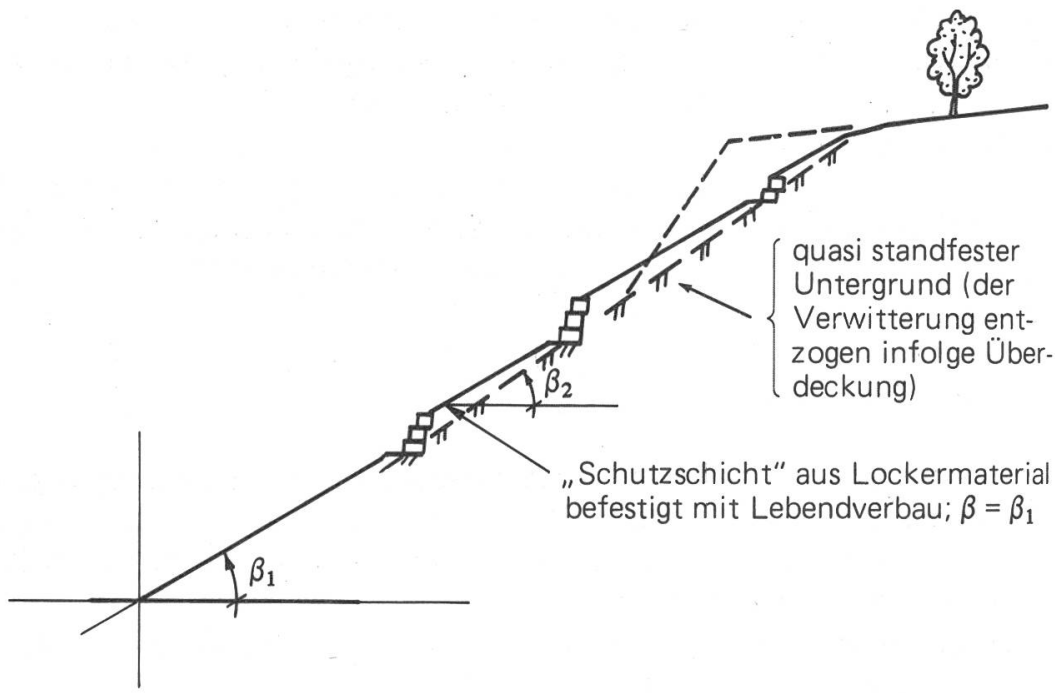


*Abbildung 5.* Anordnung der Stützwerke (schematisch) im Bereich der Zonen 2 und 3 von *Abbildung 3.*

können dabei erhebliche Kräfte auftreten, die bei der Planung der Verbauung zu berücksichtigen sind; sie werden durch Stützwerke aufgenommen.

Ein Sanierungsvorschlag für den Erosionshang in verfestigter Moräne oder allgemein in schwach bis stark verfestigten, wenig lehmigen Hangmaterialien kann deshalb folgende Punkte umfassen:

- Reduktion der Hangneigung im oberen Bereich von $\beta_3$ auf $\beta_2$ inklusive Abrunden der oberen und der seitlichen Kanten;
- globale Hangneigung im mittleren und oberen Bereich von $\beta \simeq \beta_2$;
- Stützwerke (zum Beispiel aus Drahtsteinkörben) im mittleren und oberen Bereich zur Stützung der «Schutzschicht». Lokale Böschungsneigung zwischen den Stützwerken von $\beta_1$;
- Böschungssicherung mit Lebendverbau im ganzen Hang, also auch zwischen den Stützwerken und im unteren Bereich.

### *5.3 Notwendige Voraussetzungen*

Die Verbauung erfüllt ihre Funktion nur, wenn der Untergrund mit Hilfe einer Schutzschicht gegen Verwitterung geschützt ist. Deshalb sind die Stützwerke genügend tief einzubinden. Sodann darf von aussen her möglichst kein Wasser in den Untergrund gelangen. Werden Drahtsteinkörbe verwendet, so ist die Fundamentsohle durch Plastikfolie oder Magerbeton zu schützen. Das durch die Körbe einsickernde Wasser ist auf der Fundamentsohle zu fassen und abzuleiten, da sich sonst Vernässung und mit der

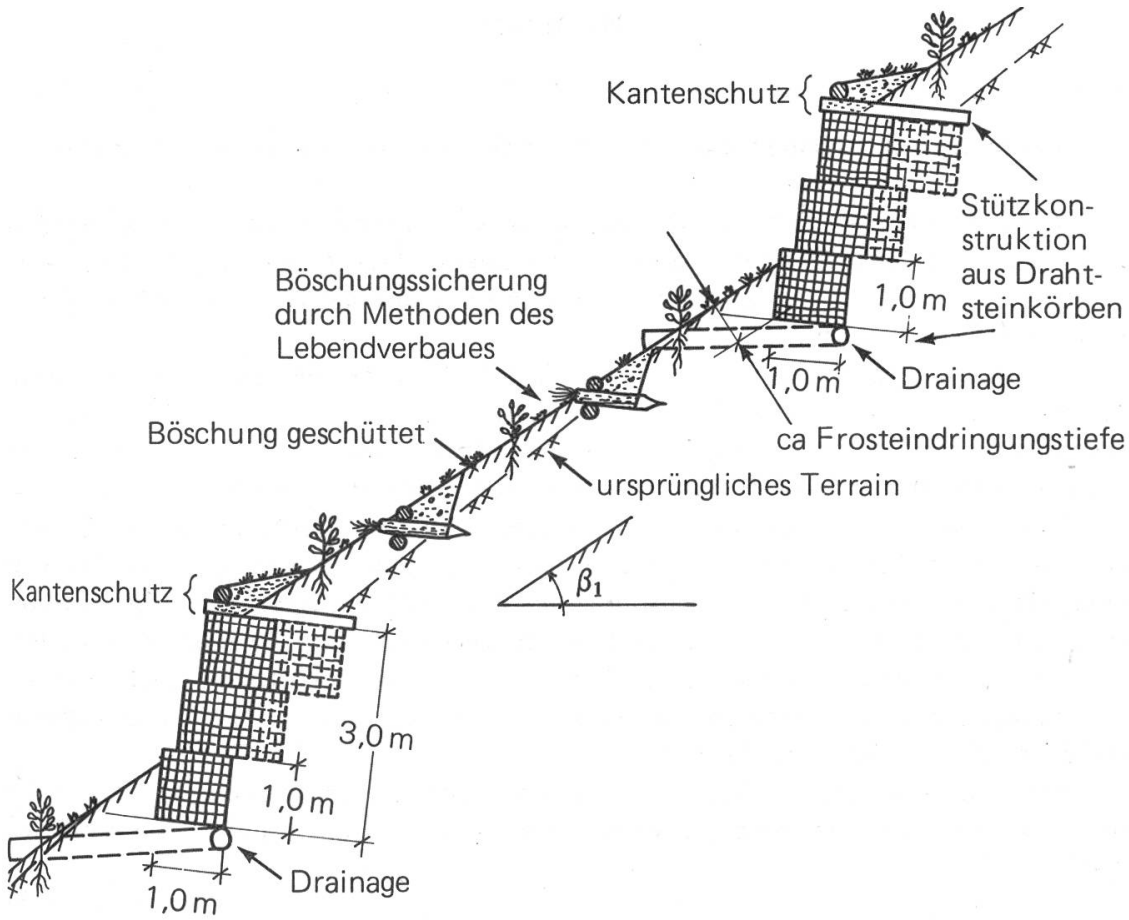


*Abbildung 6.* Detail der Hangsanierung mit kombiniertem technischen Verbau und Lebendverbau.

Zeit ein Nachgeben der Fundation einstellt.

Hohe Bodenpressungen sind durch genügend breite Fundamente oder durch Anordnen von Zangen (quergestellte Kästen) zu vermeiden. Bei wenig festem anstehendem Untergrund sind Holzkästen den relativ schweren Drahtsteinkörben vorzuziehen.

Alles am Hang austretende Wasser ist zu fassen und sorgfältig abzuleiten (Drainage des Hanges) (*Abbildung 6*).

Das Gelingen der Bepflanzung ist durch folgende Massnahmen sicherzustellen:

- Bodenbewegungen vor dem Einbringen der Pflanzen stoppen;
- standortsgerechte Arten verwenden;
- Weidenstecklinge genügender Stärke (daumen- bis armdick) verwenden;
- Stecklinge während der Vegetationsruhe einbringen, am besten im Herbst;
- Falls notwendig, sind die Pflanzen vor Steinschlag zu schützen, oder es sind wenig steinschlagempfindliche Arten zu verwenden (Weiden, Erlen, Bergahorn, Vogelbeere usw.) Angaben über geeignete Arten macht Schiechtl (1973).

## Summary

### Plant and Engineering Structure — A Useful Combination in Slope Protection

It is a well-known fact that vegetation plays an important part in erosion control and that it can limit or even prevent slope-sliding. Plants covering the surface and sending out roots into the ground are able to bind soil particles, to deplete soil moisture and to reinforce the soil.

Combined vegetative-structural stabilization may be the answer in cases where ordinary vegetative stabilization proves inadequate. In order to achieve good and long-lasting results, the specific requirements of the plants have to be taken into consideration and the structural measures have to conform with the whole set-up.

When planning slope treatment, the engineer ought to know quite a lot about the type of slope failure and/or the kind of erosion he is likely to encounter. The slope angle depends on the shear strength of the soil which is influenced by the pore pressure in the ground and may deteriorate in the course of time. Vegetative and combined vegetative-structural measures are most useful methods for combating erosion and slope failures, provided the surface of sliding runs reasonably close and approximately parallel to the ground surface.

The plants, of course, have to be given proper treatment and all the care they need to thrive, to help the engineer in his endeavours and to please the wanderer's eye.

Translation: *A. Böll*



## Résumé

### La reconstitution de la couverture végétale comme moyen d'assainissement des pentes à forte déclivité

La végétation, par le réseau de ses racines, consolide et draine le sol, tout en le protégeant de l'érosion. Elle est fort appréciée de l'ingénieur chargé de la protection des sols contre l'érosion hydraulique.

Les mesures techniques utilisées doivent être adaptées aux particularités et aux exigences de la végétation.

Le tapis végétal reconstitué suffit parfois à fixer les pentes, mais l'appui de travaux de génie civil est souvent nécessaire. Tout projet d'assainissement doit être basé sur de bonnes connaissances de la mécanique des sols. Il faut aussi savoir que la résistance du sol varie dans le temps.

La végétation, en protégeant les sols, exerce aussi bien une fonction technique qu'esthétique, à condition qu'elle soit reconstituée efficacement et qu'elle soit entretenue par la suite.

Traduction: *R. Amiet*

*Kuonen, V.*, 1981. Ingenieurbiologie – Grünverbau. Vorlesung an der ETH Zürich. Unveröffentlicht, 90 Seiten.

*Leibundgut, H.* und *Kreutzer, K.*, 1958. Untersuchungen über die Wurzelkonkurrenz. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. *34*, 5: 361–398.

*Schiechtl, H.*, 1973. Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. 244 Seiten, München, Callwey.

*Turner, H., Rochat, P.* und *Streule, A.*, 1975: Thermische Charakteristik von Hauptstandortstypen im Bereich der oberen Waldgrenze (Stillberg, Dischmatal bei Davos). Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. *51*, 1: 95–119.