

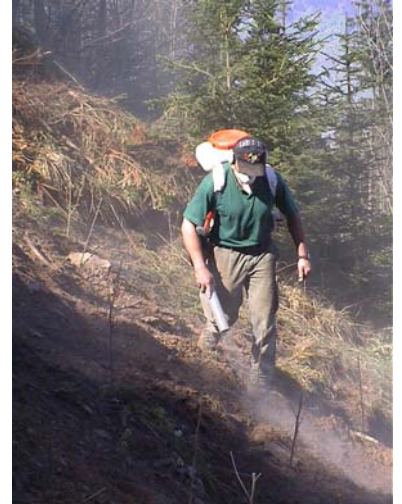


KANTON
OBWALDEN

INGENIEURBIOLOGIE UND HANGVERBAU

HANDBUCH

(2. Auflage, Juni 2006)



29. Juni 2006

Forstingenieurbüro
Berwert-Lopes
dipl. Forsting. ETH
Eistrasse 4
6063 Stalden
Tel.: 041 661 02 70
E-mail: admin@belop.ch

AMT FÜR WALD UND
RAUMENTWICKLUNG
OBWALDEN

Haus des Waldes
Flüelistr.3, 6060 Sarnen
Tel.: 041 666 63 22
Fax: 041 660 95 77

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	3
2	GEOTECHNISCHE GRUNDLAGEN	3
2.1	EROSION	3
2.2	RUTSCHUNGEN	3
2.3	EROSIONS - RUTSCHPROZESSE	6
3	VERBAUSYSTEME	7
3.1	ALLGEMEINES UND GRUNDBEGRIFFE	7
3.2	HANGSTÜTZWERKE, RUTSCHUNGS- UND RÜFENVERBAU	8
3.2.1	<i>Doppelte Holzkasten</i>	8
3.2.2	<i>Einfache Holzkasten</i>	10
3.2.3	<i>Verankerte Hangroste</i>	12
3.2.4	<i>Verankerte Schwellen</i>	14
3.2.5	<i>Blocksteinmauern (Trockenmauern)</i>	16
3.2.6	<i>Steinkörbe</i>	17
3.2.7	<i>Wände aus vorgefertigten Betonelementen (Elementwände)</i>	17
3.3	OBERFLÄCHENSTABILISIERUNG, EROSIONSVORBAU	19
3.3.1	<i>Biologisch abbaubare Erosionsschutznetze</i>	19
3.3.2	<i>Verankerte Erosionsschutznetze aus Kunststoff</i>	20
3.3.3	<i>Erosionsschutzschwellen (Böschungsschutz mit Pfählen und Brettern)</i>	22
3.4	INGENIEURBIOLOGISCHE MASSNAHMEN	24
3.4.1	<i>Stabilbauweisen</i>	24
3.4.1.1	Allgemeines	24
3.4.1.2	Buschlagen, Heckenlagen und Hecken-Buschlagen	24
3.4.1.3	Flechtzäune	27
3.4.1.4	Hangfaschine	28
3.4.2	<i>Deckbauweisen</i>	29
3.4.2.1	Allgemeines	29
3.4.2.2	Spreitlagen	29
3.4.2.3	Saaten	30
3.4.2.4	Rasenverlegung:	32
3.4.3	<i>Ingenieurbiologie in Kombination mit Rutsch- und Erosionsverbau</i>	33
3.4.3.1	Allgemeines	33
3.4.3.2	Begrünter Holzkasten	33

3.4.3.3	Begrünte Blocksteinmauern	34
3.4.3.4	Begrünte Steinkörbe	34
3.4.3.5	Begrünter Hangrost	35
3.4.4	<i>Grenzen der Ingenieurbiologie</i>	35
3.5	ENTWÄSSERUNG	36
3.5.1	<i>Entwässerung von Stützwerken</i>	37
3.5.2	<i>Biotechnische Entwässerung</i>	39
3.6	VERANKERUNGSTECHNIKEN	41
4	PLANUNG UND BAUAUSFÜHRUNG	44
4.1	ALLGEMEINE ABFOLGE VON MASSNAHMEN	44
4.2	AUSWAHL BAUMASCHINEN UND GERÄTE	45
4.3	BEREITSTELLUNG DER BAUMATERIALIEN	45
4.3.1	<i>Holz</i>	45
4.3.2	<i>Stahlnägel</i>	47
4.3.3	<i>Verankerungseisen</i>	47
4.4	BESCHAFFUNG VON GEEIGNETEM PFLANZENMATERIAL	48
4.4.1	<i>Pflanzenwahl und ihre Verwendung</i>	48
4.4.2	<i>Gewinnung, Lagerung und Transport des Pflanzenmaterials</i>	50
4.5	UNTERHALTSMASSNAHMEN	52
5	KOSTEN	53
6	QUELLENVERZEICHNIS BILDER UND ZEICHNUNGEN	54

Anhang

- Anhang 1 Tabelle nach VSS für Bodenkennwerte
- Anhang 2 Ermittlung von Holzkubaturen für Holzkasten und Hangroste
- Anhang 3 Unterlagen zu den Bindetechniken für Verankerung von Stützwerken mit Hilfe von Lockermaterialankern

1 Einleitung

Das vorliegende Handbuch fasst das im Zusammenhang mit Ausbildungskursen zusammengetragene Wissen zu Grünverbau und Hangverbau zusammen. Angaben aus der Literatur sind mit praktischen Erfahrungen aus verschiedenen Verbauprojekten im Kanton Obwalden kombiniert.

Das Handbuch wurde in erster Auflage im Herbst 2003 zusammengestellt. Im Zusammenhang mit einem Erfahrungsaustausch unter Verbauspezialisten wurde es nun überarbeitet und zeigt den Stand der Kenntnisse im Jahr 2006 auf.

Grünverbau und Ingenierbiologie sind aber sehr dynamische Disziplinen. Laufend erscheinen neue Methoden und Ideen, oft entwickelt von den Praktikern vor Ort. Ein derartiges Handbuch ist daher nie abgeschlossen und auch nie vollständig.

2 Geotechnische Grundlagen

Im Rufenverbau und Erosionsschutz sind insbesondere die Begriffe Erosion und Rufen (Rutschung) von Bedeutung. Sie beeinflussen in grossem Masse die Hangstabilität. Die Kenntnis dieser Begriffe ist die Grundlage zur Beurteilung und das frühzeitige Erkennen von entstehenden Schäden, sowie für die "richtige Behandlung".

2.1 Erosion

Der Anfang von Hanginstabilität ist häufig in der Erosion zu suchen. Meistens ist die Erosion aber auch eine Folge von Rutschungen.

Erosion: Festigkeitsverminderung und Materialabtrag im Oberflächenbereich des Bodens.

Böden mit folgenden Eigenschaften sind besonders erosionsgefährdet:

- fehlende Vegetation
- reich an Feinsand
- reich an Ton („lehmiger Boden“)
- wenig Humus

Einige dieser Eigenschaften lassen sich vermeiden, die anderen sind aber vorgegeben.

2.2 Rutschungen

Für die Beurteilung der Gefährdung, vor allem aber auch für die Planung und Projektierung von Massnahmen zur Stabilisierung, sind Kenntnisse über die Rutschmechanismen erforderlich.

Rutschungen: Abwärtsbewegung des Bodens auf einer mehr oder weniger tief liegenden Gleitfläche.

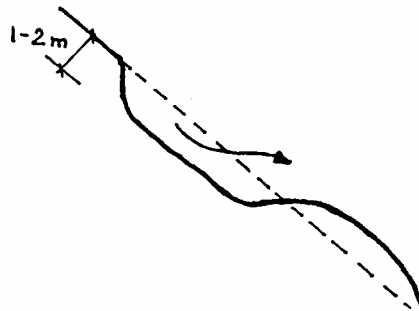
Die Rutschungsaktivität können im Gelände unter anderem auf Grund von folgenden Merkmalen erkannt werden:

- Bodenrisse, kleinere Rutschungen, vernässte Stellen und Wasseraustritte
- Wulste, Eintiefungen und allgemein weiche Geländeformen
- Säbelwuchs von (v.a. Nadel-) Bäumen (nicht immer eindeutig)

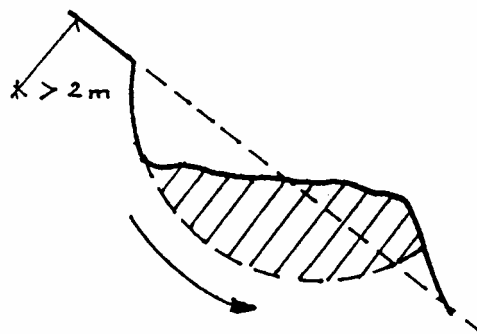
Aufgrund der erwähnten Phänomene und bodenmechanischer Kenntnisse lässt sich angeben, ob man es mit oberflächennahen Bodenbewegungen oder mit Rutschungen entlang von tief verlaufenden Gleitflächen zu tun hat.

Man unterscheidet grob drei verschiedene Rutschungstypen:

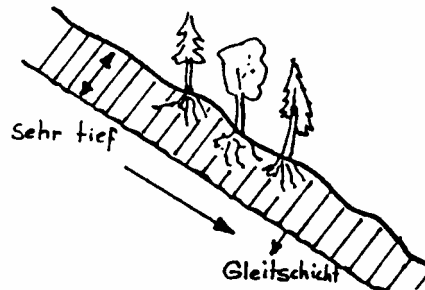
1. **Oberflächennahe, hangparallele Rutschungen:** Treten häufig in nichtbindigem (kiesig-sandig, ohne grossen Tonanteil) Lockermaterial auf und verlaufen dort entlang von hangparallelen, 1-2 m tiefen Gleitflächen.



2. **Rutschungen mit kreisförmiger Gleitfläche:** Treten meistens in bindigem Lockermaterial mit einem grossen Tonanteil auf. Die Gleitflächen reichen häufig bis tief (> 2 m) in den Boden. Das Abgleiten kann plötzlich erfolgen und kann grundsätzlich immer auftreten, wenn eine Bodenschicht von geringer Festigkeit vorhanden ist. Oft gehen den Rutschungen relativ grosse Verformungen (Kriechbewegungen) voraus. Nach dem eigentlichen Rutsch sind noch Nachrutschungen innerhalb der abgerutschten Masse zu beobachten.



- 3. Kriechhänge:** Treten sehr oft in Flyschgebieten auf, wobei die Gleitflächen sehr tief liegen (unterhalb des bewurzelten Bodens). Die Bewegungen sind meistens sehr langsam aber stetig und betragen oft nur wenige cm pro Jahr. Sie lassen sich durch die in diesem Kurs behandelten Verbausysteme nicht direkt beeinflussen.



Das Rutschverhalten ist stark von den Bodeneigenschaften abhängig. Die Steilheit eines Hanges ist durch die Grösse der inneren Reibung (Reibungswinkel) begrenzt. Richtwerte für diesen Reibungswinkel sind z.B. in den Tabellen über Bodenkennwerte (vgl. Anhang 1 Tabelle nach VSS) angegeben. Die Werte sind je nach Bodentyp unterschiedlich. In der Praxis sind aber auch für ein und denselben Bodentyp zum Teil recht grosse Abweichungen von den Mittelwerten zu erwarten. Die Reibungswinkel werden insbesondere klein (die Rutsch-tendenz wird grösser) bei aufgelockerten, körnigen Böden und bei stark vernässten, bindigen Böden.

Bodenbewegungen treten oft entlang bevorzugter Gleitflächen auf:

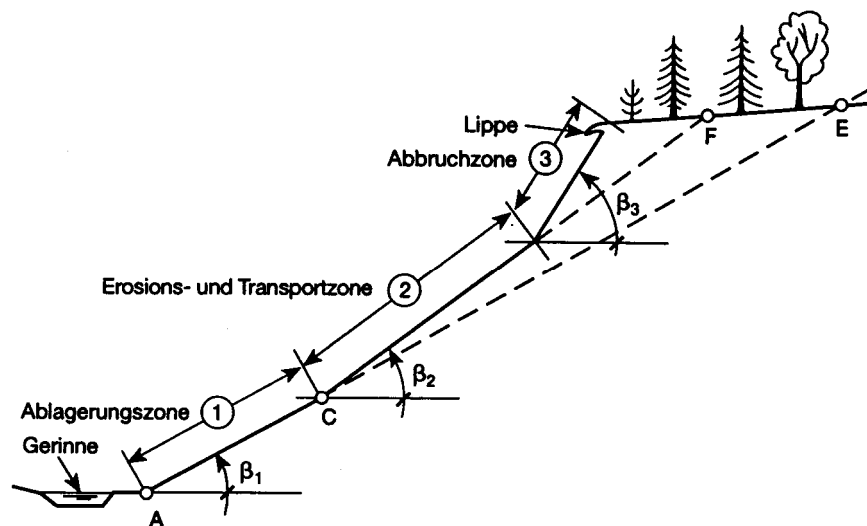
- direkt unterhalb des Wurzelraumes
- an dünnen Ton- oder Verwitterungsschichten
- im Übergangsbereich zwischen Lockermaterial und festem Baugrund
- im Einflussbereich von Sickerströmungen

Rüfen (Hangmuren): Rüfen oder Hangmuren sind spontane, meist flachgründige Spontanrutschungen, die nach Ausbruch ihr Gefüge verlieren und als Schlammlawine niedergehen. Sie ereignen sich meist während Starkniederschlagsperioden (Gewitter) oder nach langen, intensiven Niederschlägen.

2.3 Erosions - Rutschprozesse

Von besonderem Interesse sind für uns auch die Erosions-Rutschprozesse. Die Mechanismen spielen sich häufig in an sich standfesten, nichtbindigen Böden ab und lassen sich auf eine Festigkeitsverminderung im Oberflächenbereich zurückführen. Eine steile Böschung oder ein steiler Hang kann anfänglich 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. Dadurch entstehen steile 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.

Nach einer gewissen Zeit ergibt sich das typische Profil eines Erosionsrutschhanges:



aus Quelle 1

Dieses Profil gliedert sich in drei Zonen:

- 1. Ablagerungszone:** Die Verhältnisse sind mehr oder weniger stabil. Der Neigungswinkel β_1 entspricht ungefähr dem entstehenden Winkel von natürlich abgelagertem kohäsionslosem Material.
- 2. Erosions- und Transportzone:** Die Böschung ist steiler ($\beta_1 < \beta_2$) und nähert sich im Laufe der Zeit an den Winkel β_1 , indem immer wieder neues Material freigelegt wird. β_2 entspricht dem Winkel des "gewachsenen" (konsolidierten) Bodens und kann bei entsprechendem Oberflächenschutz (z.B. gute Vegetationsbedeckung) oder mit guter Deckbauweise (z.B. Hangrost) gehalten werden!
- 3. Abbruchzone:** Die Böschung ist noch steiler. Das Abbrechen von kompakten Partien ist möglich.

Lockeres Geröll am Fuss eines Steilhanges, einer Böschung oder einer Bodenwunde ist häufig ein Zeichen oberflächennaher Erosions-Rutschprozesse.

3 Verbausysteme

3.1 Allgemeines und Grundbegriffe

Für die Wahl der Stabilisierungsmassnahmen sind die Rutschungsmechanismen massgebend. Insbesondere hat die Fundationstiefe von Stützwerken der Lage der Gleitflächen zu entsprechen.

Die **Einsatzmöglichkeit** der nachfolgend beschriebenen Systeme beschränkt sich **technisch** auf die Sanierung von Erosionsprozessen sowie auf (hangparallele und kreisförmige) Rutschungen mit einer Gleitflächentiefe von maximal ca. 2 bis 3m.

Für grössere Hangbewegungen mit tiefer liegenden Gleitflächen sind in der Regel Techniken des Spezialgrundbaus oder sehr massive Stützkonstruktionen nötig.

In vielen Fällen muss jedoch eine **Kombination verschiedener Verbausysteme** angewendet werden, damit eine bestmögliche Wirksamkeit erreicht werden kann!

Zum besseren Verständnis der später detailliert beschriebenen Verbautechniken haben wir nachfolgend eine Auswahl von Grundbegriffen zusammengestellt.

Sie geben gleichzeitig einen Überblick über die möglichen Verbausystemgruppen:

Hangstützwerke, Rutschungs- und Rufenverbau:

Bei Massnahmen zur Sicherung von Hangpartien und Böschungen, die abbruchgefährdet sind (z.B. Ausbruchränder von Rufen) sprechen wir von *Hangstützwerken oder Rufenverbau*. Sind die Hangpartien oder Böschungen bereits abgerutscht, handelt es sich um *Rutschungsverbau*.

Diese Systeme eignen sich für eine Anwendung bei Bodenbewegungen von 2m bis maximal 3m Tiefe (Gleitflächentiefe).

Oberflächenstabilisierung, Deckverbau, Erosionsschutz:

Massnahmen zum Schutz der Bodenoberfläche vor Verwitterung und Erosion.

Sie werden vor allem bei oberflächennahen Bodenbewegungen (bis maximal 0.5 m Gleitflächentiefe) eingesetzt.

Ingenieurbiologie:

Massnahmen, die mit Hilfe der festigenden Wirkung von Pflanzen versuchen den Boden vor mechanischen Angriffen, sowohl Erosion als auch Rutschungen, zu schützen.

Meistens handelt es sich dabei um Oberflächenstabilisierungen, sie können aber auch in Kombination mit Stützwerken eingesetzt werden.

Es werden drei Anwendungsgebiete unterschieden:

- **Grünverbau:** Massnahmen zur Sicherung von Hängen und Böschungen.
- **Lebendverbau:** Massnahmen zur Sicherung von Ufern und Sohlen an Gewässern.
- **Landschaftsschutzpflanzungen:** Anpflanzungen zur Gestaltung der Landschaft.

3.2 Hangstützwerke, Rutschungs- und Rufenverbau

3.2.1 Doppelte Holzkasten

➤ **Beschreibung:**

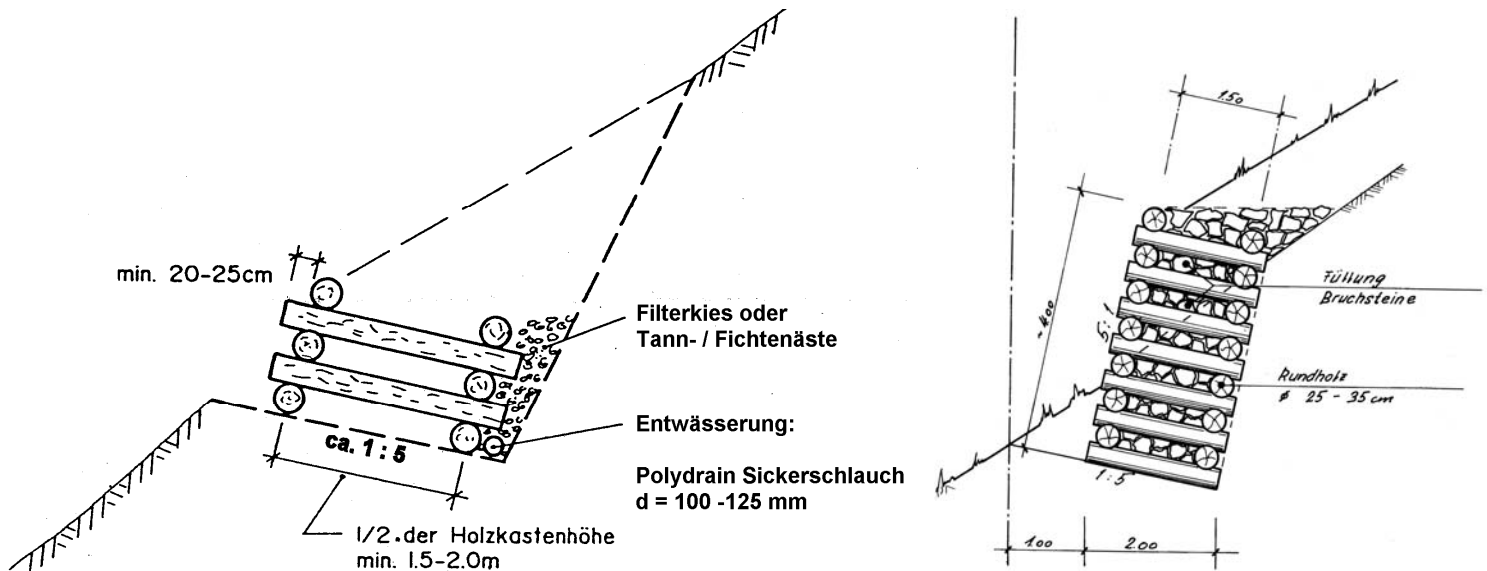
Doppelte Holzkasten werden als zweiwandige Bauwerke ausgebildet, indem zwei parallel zum Hang angeordnete Wände aus Längshölzern durch Querhölzer (Zangen) miteinander verbunden werden. Doppelte Holzkasten werden sehr oft in Kombination mit Massnahmen aus der Ingenieurbiologie, also mit Begrünung, ausgeführt (vgl. Kap. 3.4.3.).



Doppelter Holzkasten entlang der Gr. Melchaa (aus Quelle 5)

- **Baumaterial:** Rund- oder Kantholz, $\varnothing > 25$ cm, Steine oder anderes Füllmaterial vor Ort. Der Holzbedarf beträgt je nach Bauart und Tiefe zwischen 20 - 30% des Gesamtvolumens (z.B.: Für einen Holzkasten mit L=10m, H=2.5m, T=2m werden ca. 11 m³ Rundholz benötigt → vgl. Anhang 2).
- **Zeitwahl:** Ohne Verwendung von ingenieurbiologischen Massnahmen nicht entscheidend.
- **Wirkungsgrad:** Stabilisierung von abbruchgefährdeten Hangabschnitten, Hangfüssen, Grabensohlen und Ufern.
- **Vorteile:** Rasche Sicherung, einfache Montage, auch als Längsverbau einsetzbar, häufig einfachere Transporte als bei Verbau mit Blöcken oder Beton, weil Baumaterial meist in der Nähe vorhanden ist.
- **Nachteile:** Gute Einbindung erforderlich. Falls das Stützwerk nicht vollständig eingedeckt werden kann, ist zu berücksichtigen, dass das Bauwerk eine beschränkte Lebensdauer aufweist.
- **Anwendungsbereich:** Stützbauwerk zur Reduktion der Hangneigung im Rufenverbau, Stützbauwerke zur Sanierung ganzer Rutschungen, Sperren und Leitwerke im Bachverbau, Uferschutz bei Flüssen und Seen, Fussicherung für Hangroste.
- **Besonderes:** Die Bauwerke können bei sorgfältiger Ausführungen ohne weiteres 4 m hoch gebaut werden. Um eine genügende Sicherheit gegen Kippen und Gleiten zu erreichen ist eine Basisbreite von mindestens halber Bauhöhe zu wählen. Wenn dies nicht

möglich ist, muss das Bauwerk nach hinten verankert werden (Felsanker oder Lockermaterialanker). Hohe Holzkästen dürfen nicht steiler als 4 zu 1 gestellt werden. Wenn immer möglich, sind die Holzkästen vollständig einzudecken. Ansonsten ist die Verwendung von dauerhaften Holzarten (z.B. Lärche, Kastanie, Eiche) notwendig. Damit sich kein Hangwasserdruck hinter dem Stützwerk aufbauen kann, muss eine künstliche Entwässerung (Sickerschläuche mit darüberliegenden Astpackungen oder anderem Sickermaterial) eingebaut werden. Ist nur sehr wenig Wasser zu erwarten genügen normalerweise einfache Ast- oder Steinpackungen, um den Abfluss von hinter dem Kasten eindringendem Wasser unter oder zwischen dem Bauwerk durchzuleiten.

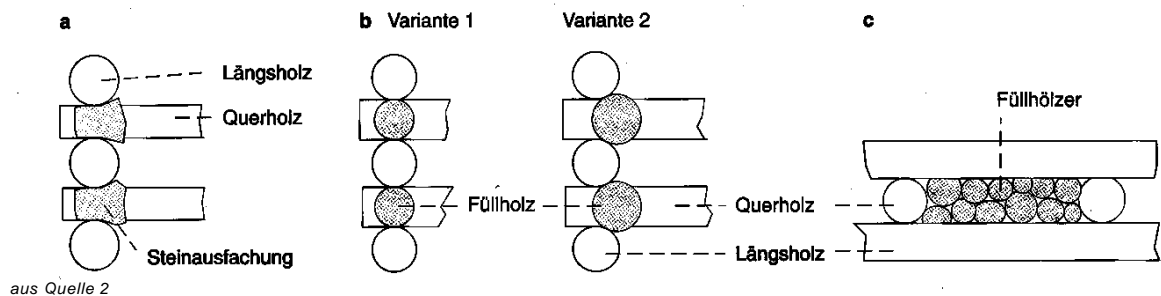


➤ Ausführung:

Beim Einbau des Holzkastens sind folgende Punkte zu beachten:

- Aushub bis auf feste Unterlage. Um den Aushub zu optimieren, kann die unterste Lage nur einfach eingebaut werden (hinteres Längsholz weglassen). Wird dies gemacht, muss die unterste Lage zwingend nach hinten verankert werden (Felsanker, gebohrte Ankereisen, Lockermaterialanker).
- Seitliche Einbindung des Bauwerkes minimal 1.2m bis 1.5m.
- Fundamentsohle und Zangenhölzer bergwärts geneigt einbauen, im rechten Winkel zum Anzug des Bauwerkes (je flacher das Bauwerk → umso steiler die Zangen)
- Saubere Entwässerung der Fundamentsohle und Ableitung des gefassten Wassers (**Vorsicht: mit der Entwässerung keine neuen Rutschungen auslösen!**). Ev. Ableitung des Sickerwassers in offenem Gerinne mit Sohlensicherung (z.B. V-Kännel) in das nächste wasserführende Gerinne.
- Pro Holzlage möglichst gleich starkes Holz verwenden.
- Kompakte Auflager Traverse-Zange-Traverse, Holz falls überhaupt notwendig nur auf Unterseite einschneiden mit Motorsäge oder besser aushobeln mit Eder.
- Vernagelung: Neuste Untersuchungen haben gezeigt, dass die besten Verbindungen und die kleinsten Holzschäden entstehen, wenn vor der Vernagelung vorgebohrt wird. Detaillierte Ausführungen vgl. Kapitel 4.3.2.
- Schichtweises Verfüllen und Verdichten mit Aushubmaterial (Idealerweise mit groben Steinen, die mindestens an den Wänden sauber geschichtet sind), da der leere Holzkasten nur eine geringe Steifigkeit hat. Eine gute Verfüllung erhöht zudem die Lebensdauer; ein leerer Holzkasten trocknet zeitweise aus und vermodert.

- Ev. Einbau einer Filterschicht zwischen Holzkastentrückwand und Aushubrand aus Filterkies oder Fichten- / Tannenästen.
- Holzkasten wenn immer möglich vollständig mit Erdmaterial eindecken. Wenn dies nicht möglich ist, ist die Verwendung von dauerhaften Holzarten (z.B. Lärche, Kastanie, Eiche) notwendig und eine Begrünung mit Gehölzen (z.B. Weidenstecklinge, vgl. Kap. 3.4.3.) von Vorteil.
- Ausfachung: Bei Verwendung von Holzkasten im Wasserbau sind alle Zwischenräume des Kastens, die dem Abfluss und evtl. stehendem Wasser ausgesetzt sind, auszufachen. Ansonsten kann die Füllung des Kastens ausgespült werden. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten:



aus Quelle 2

Abb. 12. Unterschiedliche Ausfachungsarten bei zweiwandigen Holzkastensperren (Ausfachungen schraffiert): a) Ausfachung mit Steinen, b) zwei Varianten der Ausfachung mit Füllholzern parallel zu den Längshölzern, c) Ausfachung mit Füllholzern parallel zu den Querhölzern.

3.2.2 Einfache Holzkasten

➤ Beschreibung:

Einfache (oder einwandige) Holzkasten wurden bisher eher selten z.B. bei kleineren Bachverbauungen eingebaut. Nachdem in den letzten 10 Jahren jedoch neue Anker-Techniken aufgetaucht sind (vor allem Lockermaterialanker, vgl. Kap. 3.6), werden sie vermehrt auch im Rufenverbau eingesetzt.

Im Vergleich zum doppelten Holzkasten werden beim einwandigen Holzkasten die hinteren Längslagen weggelassen. Auch sie werden meistens in Kombination mit Massnahmen aus der Ingenieurbiologie, also mit Begrünung, ausgeführt.

Wir unterscheiden grob unter den folgenden Kategorien von einwandigen Holzkasten:

- Einfache Holzkasten mit oder ohne Verankerung (hier als Längsleitwerk)



Einfacher Holzkasten entlang des Bitzighoferbaches (aus Quelle 5)

➤ Verankerte Krainerwände



Verankerte Krainerwand in einer Rufe im Fürstentum Liechtenstein (Quelle 5)

➤ Einfache Holzkasten mit senkrechten Zangen (Schwellen)



aus Quelle 4

- **Baumaterial:** Rund- oder Kantholz, $\varnothing > 25$ cm, Steine oder anderes Füllmaterial vor Ort. Der Holzbedarf beträgt je nach Bauart und Tiefe zwischen 10 - 20% des Gesamtvolumens (z.B.: Für einen Holzkasten mit $L=10$ m, $H=2.5$ m, $T=2$ m werden ca. 7 m^3 Rundholz benötigt, →vgl. Anhang 2).
- **Zeitwahl:** Ohne Verwendung von ingenieurbioologischen Massnahmen nicht entscheidend.
- **Wirkungsgrad:** Stabilisierung von abbruchgefährdeten Hangabschnitten, Hangfüssen, Grabensohlen und Ufern.
- **Vorteile:** rasche Sicherung, einfache Montage, auch als Längsverbau einsetzbar, häufig einfachere Transporte als bei Verbau mit Blöcken oder Beton, weil Baumaterial meist in der Nähe vorhanden ist, wesentlich kleinere Aushubkubaturen als für den doppelten Holzkasten
- **Nachteile:** gute Einbindung erforderlich, weniger grosse Standfestigkeit als der doppelte Holzkasten, falls das Stützwerk nicht vollständig eingedeckt werden kann, ist zu berücksichtigen, dass das Bauwerk eine beschränkte Lebensdauer aufweist.
- **Anwendungsbereich:** Stützbauwerk zur Reduktion der Hangneigung im Rufenverbau (insbesondere im Anrissbereich, wo nur begrenzt Aushub getätigt werden kann), Stütz-

bauwerke zur Sanierung ganzer Rutschungen, Sperren und Leitwerke im Bachverbau, Uferschutz bei Flüssen und Seen, Fussicherung für Hangroste.

- **Besonderes:** Bei guten Verankerungsmöglichkeiten (Lockermaterialanker) können die Bauwerke sehr hoch gebaut werden (vgl. Foto der verankerten Krainerwand). Bei nicht verankerten, einwandigen Holzkästen sollte für eine ausreichende Sicherheit gegen Kippen und Gleiten die Höhe des Bauwerks nicht grösser sein als die seine Tiefe (ansonsten sollte verankert werden).

Wenn immer möglich, sind die Holzkästen vollständig eingedeckt werden. Ansonsten ist die Verwendung von dauerhaften Holzarten (z.B. Lärche, Kastanie, Eiche) und eine regelmässige Kontrolle und ein konsequenter Unterhalt notwendig.

Damit sich kein Hangwasserdruck hinter dem Stützwerk aufbauen kann, muss eine künstliche Entwässerung (Sickerschläuche mit darüberliegenden Astpackungen oder anderem Sickermaterial) eingebaut werden. Ist nur sehr wenig Wasser zu erwarten genügen normalerweise einfache Ast- oder Steinpackungen, um den Abfluss von hinter dem Kasten eindringendem Wasser unter dem Bauwerk durchzuleiten.

➤ Ausführung:

Zusätzlich zu den Erläuterungen beim doppelten Holzkasten ist folgendes zu beachten:

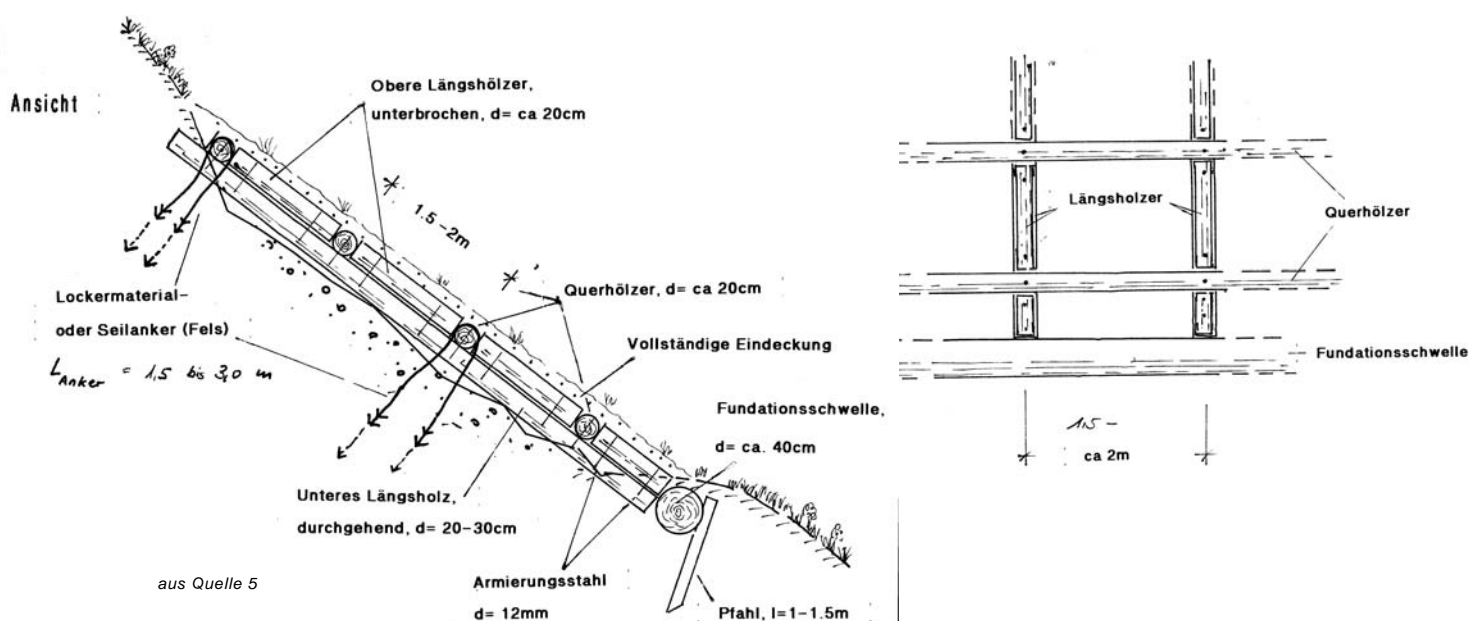
- Die Verankerung der Zangenhölzer im Baugrund ist sehr wichtig. Dies kann erreicht werden, indem die Bauschlitz für den Einbau der Zangen eng gehalten werden, oder indem das dickere Ende der Zange bergseitig eingebaut wird.

3.2.3 Verankerte Hangroste

➤ Beschreibung:

Neben dem Holzkasten ist der verankerte Hangrost seit einigen Jahren zu einer der am häufigsten eingesetzten Verbautechnik im Hangverbau gewachsen. Sie werden auch sehr oft kombiniert mit Holzkästen eingebaut, in dem der Holzkasten den Fuss des Hangrostes sichert.

Sehr wichtig ist beim Hangrost die korrekte Bauweise mit durchgehenden **LÄNGS**hölzer (wenn möglich in den gewachsenen Untergrund eingelegt), einer sauberen Entwässerung und der Verankerung, damit er später nicht vom Hangdruck aufgestellt werden kann. Hangroste werden fast immer vollständig eingedeckt und in Kombination mit Massnahmen aus der Ingenieurbiologie, also mit Begrünungen oder Pflanzungen, ausgeführt (vgl. Kap. 3.4.3.).





Beim Eindecken eines verankerten Hangrostes im Muisschwändli, Sachseln (aus Quelle 5)

- **Baumaterial:** Rund- oder Kantholz, \varnothing max. 30 cm, Steine oder anderes Füllmaterial vor Ort.
Der Holzbedarf beträgt ca. 12% der Hangrostfläche (z.B.: Für einen Hangrost mit $L=12\text{m}$, $H=10\text{m}$ → 120 m^2 werden ca. 15 m^3 Rundholz benötigt → vgl. Anhang 2). Falls ein Holzkasten als Fuss des Hangrostes erstellt wird, ist dessen Kubatur separat zu berechnen.
- **Zeitwahl:** Ohne Verwendung von ingenieurbioologischen Massnahmen nicht entscheidend.
- **Wirkungsgrad:** Stabilisierung von steilen, abbruchgefährdeten Hangabschnitten und Ufern.
- **Vorteile:** rasche Sicherung, einfache Montage, gegenüber Holzkasten wesentlich kleinere Aushub- und Einfüllkubaturen notwendig, gegenüber Holzkasten weniger m^3 Holz pro m^2 gesicherte Fläche, flächige Sicherung von Rutschungen möglich, häufig einfachere Transporte als bei Verbau mit Blöcken oder Beton, weil Baumaterial meist in der Nähe vorhanden ist.
- **Nachteile:** Hangroste sind schwieriger einzubauen als Holzkasten (Lage muss so gewählt werden, dass hinter dem Rost kein „Sack“ entsteht. Hangroste müssen verankert werden, was einen entsprechenden Aufwand zur Folge hat.
- **Anwendungsbereich:** Sicherung von Rufenanrissen und Rufenflächen. Sanierung ganzer Rutschungen, Uferschutz bei Flüssen und Seen (Füllung der Felder mit Steinen / kleinen Blöcken).
- **Besonderes:** Das Bauwerk muss immer nach hinten verankert werden (Felsanker oder Lockermaterialanker). Wenn immer möglich, müssen Hangroste vollständig eingedeckt werden. Ansonsten ist mit einer kurzen Lebensdauer zu rechnen. Eine regelmässige Kontrolle und ein konsequenter Unterhalt sind notwendig.
Damit sich kein Hangwasserdruck hinter dem Hangrost aufbauen kann, muss bei vorhandenen Quellaufstössen eine künstliche Entwässerung (Sickerschläuche mit darüberliegenden Astpackungen oder anderem Sickermaterial) eingebaut werden. Ansonsten genügen normalerweise einfache Ast- oder Steinpackungen entlang der Längshölzer oder flächige Astmatten hinter dem Hangrost, um den Abfluss von hinter dem Rost eindringendem Wasser unter dem Bauwerk durchzuleiten.

➤ **Ausführung:**

Beim Einbau des verankerten Hangrostes sind folgende Punkte zu beachten:

- Aushub bis auf feste Unterlage. Verankerung der Fusschwelle oder Einbau eines zwei-lagigen Holzkastens als Hangrostfuss.
- Der Fuss des Hangrostes muss so weit oben im Profil angelegt werden, dass die stehenden Hölzern durchgehend auf gewachsenem Boden liegen und idealerweise in diesen eingebaut werden können. In der Praxis bedeutet dies, dass hinter dem Hangrost kein Hohlraum („Luft“, „Sack“) entstehen darf, der später wieder mit Material gefüllt wird. Der Fuss des Hangrostes muss deshalb im Knick des Längsgefälles liegen, auf keinen Fall weiter unten oder weiter vorne!!!
- Abstützung der unteren Längshölzer („Ständer“) **und** der oberen Längshölzer („Distanzhölzer“) auf den Holzkasten.
- Seitliche Einbindung des Bauwerkes ca. 0.5 - max. 1m
- Saubere Entwässerung des Terrains hinter dem Hangrost und Ableitung des gefassten Wassers.
- Nicht zu starkes Holz verwenden, das der Hangrost sonst zu massiv wird und zuviel m^3 Holz (= Fr.) pro m^2 Hangrost verbraucht werden. Am Besten eignen sich Durchmesser von ca. 25 - max. 30 cm.
- Bei sauberer Vernagelung an den Auflagekontaktstellen mit stumpfen Armiernägeln, ist Vorbohren nicht notwendig.
- Ausfachen der Abstände zwischen den Querhölzern mit Distanzhölzern.
- Das Verfüllen und Verdichten des Hangrostes mit Aushubmaterial erfolgt entsprechend der Ausdehnung des Hangrostes fortlaufend oder erst nach dessen Bau. Wegen Setzungen ist ein ausreichendes Zumass der Überdeckung unbedingt notwendig. Den Hangrost unbedingt vollständig mit Erdmaterial überdecken.
- Begrünungen oder Bepflanzungen der Hangrostoberfläche sind von Vorteil.

3.2.4 Verankerte Schwellen

➤ **Beschreibung:**

Einfache Rundhölzer von ca. 3 - 4m Länge, die auf einer abgerutschten, erosionsgefährdeten Fläche oder an Anrissrändern eingebaut werden, um Folgeerosionen und -rutschungen zu verhindern.

Die Verankerung erfolgt mit Lockermaterialankern, mit gebohrten Ankereisen oder Seilankern.



Verankerte Schwellen im Einzugsgebiet der Sachsler Wildbäche (aus Quelle 5)

- **Baumaterial:** Rund- oder Kantholz, \varnothing 20 - 35 cm.
Weil die Schwellen meist nicht vollständig eingedeckt werden können, eignet sich Kastanienholz besonders gut.
- **Zeitwahl:** Ohne Verwendung von ingenieurb biologischen Massnahmen nicht entscheidend.
- **Wirkungsgrad:** Stabilisierung von erosionsgefährdeten Flächen, Einfache Sicherung von Anrissrändern <1m Höhe, Wiederbestockung von Rutschungen mit Gleitflächen auf Fels
- **Vorteile:** im Lockermaterial günstige Leistung, wenig Terrainbewegungen notwendig, auf Schreitbagger kann verzichtet werden, auch in sehr abgelegenen Gebieten anwendbar.
- **Nachteile:** im Fels sehr aufwendig
- **Anwendungsbereich:** Erosions-, und Felsflächen, Anrissränder von Rufen, Rutschungen kleiner als 1m
- **Besonderes:** Schwellen werden bei steilen Gelände sehr oft mit Erosionsschutznetzen aus Kunststoff kombiniert. Bei Schwellen auf Fels muss sehr oft Lockermaterial antransportiert werden, um die Schwellen einzudecken und einen erneuten Bodenaufbau zu ermöglichen.
- **Ausführung:**
Beim Einbau von Schwellen sind folgende Punkte zu beachten:
 - Im Lockermaterial sollten die Schwellen ca. zur Hälfte in den anstehenden Untergrund eingebaut werden (Ausheben einer kleinen Berme, Einlegen der Schwelle und Verankerung).
 - Vorgehen von unten nach oben. Mit dem Aushubmaterial der Berme kann die darunter liegende Schwelle eingedeckt werden.
 - Bei einer ganzen Fläche sollten die Randschwellen ca. 0.5 - max. 1m in das seitliche, nicht abgerutschte Gelände eingebunden werden.
 - Entwässerung, Schwellenflächen müssen normalerweise nicht entwässert werden.

- Die Verankerungen sind unter Kapitel 3.6 genauer beschrieben. Es ist zu beachten, dass die Schwellen nicht durch Schneedruck / -gleiten herausgehoben werden können.
- Mit Schwellen verbaute Flächen sollten umgehend begrünt und bepflanzt werden.

3.2.5 Blocksteinmauern (Trockenmauern)

➤ **Beschreibung:**

Aufschichtung von kantigen, formwilden Blocksteinen zu einer Mauer. Kombiniert dazu können auch ingenieurbioologische Massnahmen angewendet werden (vgl. Kap. 3.4.3.).



Blocksteinmauer entlang der Gr. Melchaa (aus Quelle 5)

- **Baumaterial:** Stapelbare, eckige Blocksteine. Ihre Grösse ist stark abhängig von der Höhe der Mauer, dem Umfang des zu sichernden Erdreichs und den hydraulischen Anforderungen (bei Verwendung im Wasserbau).
- **Zeitwahl:** Ohne Verwendung von ingenieurbioologischen Massnahmen nicht entscheidend.
- **Wirkungsgrad:** Stabilisierung von Hangfüssen, Runsen und Ufern.
- **Vorteile:** Verwendung an Ort vorhandener Bruchsteine, Flexibilität, Wasserdurchlässigkeit, Dauerhaftigkeit, weniger setzungsempfindlich als Betonstützwerke.
- **Nachteile:** aufwendiger Materialtransport bei Bauwerken ohne Strassenerschliessung, beschränkte Werkshöhen (kann durch Verlegen in Beton oder flachere Anzüge erhöht werden).
- **Anwendungsbereiche:** Sicherung von Hangabschnitten, Ufern etc., in der freien Landschaft zweckmässiger als starre Bauwerke.

Besonderes: Mit Hilfe von Baumaschinen rationell zu bauen. Sohlenbreite mindestens 80-100 cm und einen Anzug von max, 5 : 1, im Wasserbau max. 1 : 1. Das Stützwerk muss oft künstlich entwässert werden.

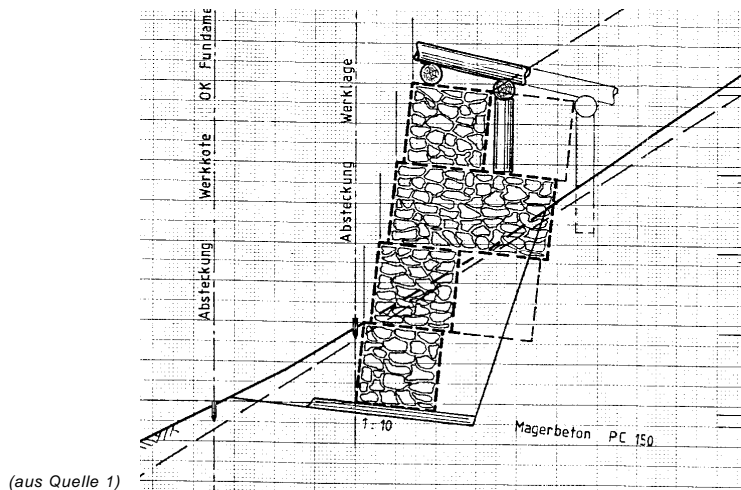
Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Reihen nicht „treppenweise“ (horizontaler Einbau), sondern senkrecht zum Anzug des Bauwerks versetzt werden. Die Blöcke sind so einzubauen, dass die kleinste Fläche an der Oberfläche liegt, respektive die grösste Länge ins Erdreich hineinragt.

Blocksteinmauern im Wasserbau müssen mit einer kiesigen Filterschicht (Korngrösse ca. 80 – 300mm) hinterfüllt werden. Ansonsten besteht die Gefahr der rückseitigen Erosion der Blöcke durch Auswaschung des Feinmaterials durch die Fugen.

3.2.6 Steinkörbe

➤ Beschreibung:

Netz- oder Gitterkörbe werden mit kantigen, sauber geschichteten Steinen ausgefüllt. Die einzelnen Korbmodule lassen sich gut dem Gelände anschmiegen. Meistens kombiniert mit ingenieurb biologischen Massnahmen (vgl. Kap. 3.4.3.).



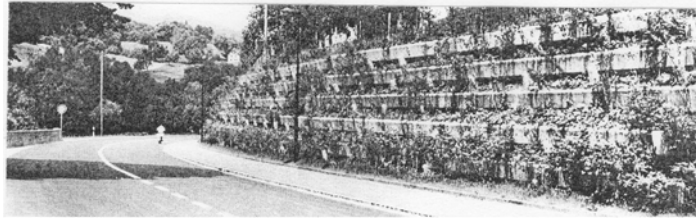
- **Baumaterial:** Drahtgitter von 5-12 cm Maschenweite, Grobschotter, Steine, Bindedraht.
- **Zeitwahl:** Ohne Verwendung von ingenieurb biologischen Massnahmen nicht entscheidend.
- **Wirkungsgrad:** Schutz für labile und feuchte Hangfusspartien, erosionsgefährdete Hänge, Rensen und Ufer.
- **Vorteile:** rasche Bauweise auch als Längswerk, bleibende Elastizität, dank hoher Wasserdurchlässigkeit im Hangverbau normalerweise keine Drainage notwendig.
- **Nachteile:** nur bei am Ort vorhandenem Schotter- oder Steinmaterial billig, Drahtschotterkörbe können nicht nachträglich begrünt werden, anfällig auf Schläge und Abrieb (Geschiebe und Holz in Wildbächen).
- **Anwendungsbereiche:** besonders gut in Vernässungsgebieten, rasche Sanierung von Bach- und Flussausbrüchen und Dammb Brüchen.
- **Besonderes:** Anzug des Fundaments 1 : 10, Versetzung der Körbe nach hinten von 10-20 cm gegenüber der darunter liegenden Korblage, Anzug der Front maximal 5 : 1. Zangen zur Abstützung und Einbindung nach hinten anordnen.

3.2.7 Wände aus vorgefertigten Betonelementen (Elementwände)

➤ Beschreibung:

Aus vorgefertigten Betonelementen wird eine Mauer durch lagenweise Versetzung der einzelnen Elemente aufgebaut. Die Lücken eignen sich sehr gut für das Bepflanzen. Die Bepflanzung hat jedoch keinen Einfluss auf die Stabilität oder Dauerhaftigkeit des Bauwerkes. Die Mauer muss fundiert und beim Bau direkt hinterfüllt werden. Es können Mauerhöhen bis über 2 m erreicht werden.

- **Baumaterial:** Betonelemente verschiedener Grösse und Form (bei verschiedenen Firmen erhältlich).
- **Zeitwahl:** nicht entscheidend, kann auch nachher begrünt werden.
- **Wirkungsgrad:** Stabilisierung von Böschungen, Schutz gegen Erosion.
- **Vorteile:** Flexibilität, gute Anpassung an Gelände möglich, begehbar, optimale Anpflanzung möglich.



(aus Quelle 6)

- **Nachteile:** relativ aufwendig, kostenintensiv.
- **Anwendungsbereiche:** meist im Siedlungsbereich zur Böschungssicherung entlang von Strassen angewendet.
- **Besonderes:** Aus ästhetischen Gründen wenn möglich begrünen.

3.3 Oberflächenstabilisierung, Erosionsverbau

3.3.1 Biologisch abbaubare Erosionsschutznetze

➤ **Beschreibung:**

Auf einer vorbereiteten Böschungsfläche wird vor oder nach der Nasssaat (abh. vom Netztyp) ein Netz aus Naturfasern aufgelegt und möglichst satt auf der Bodenoberfläche gehalten. Sie dienen insbesondere dem Schutz vor Erosion des Oberbodens, dem Wasserrückhalt und der Verbesserung der Keim- und Aufwuchsbedingungen (feuchtes Mikroklima).

➤ **Material:** Je nach den natürlichen Rahmenbedingungen gibt es unterschiedliche Netztypen. Sie lassen sich grob zusammenfassen:

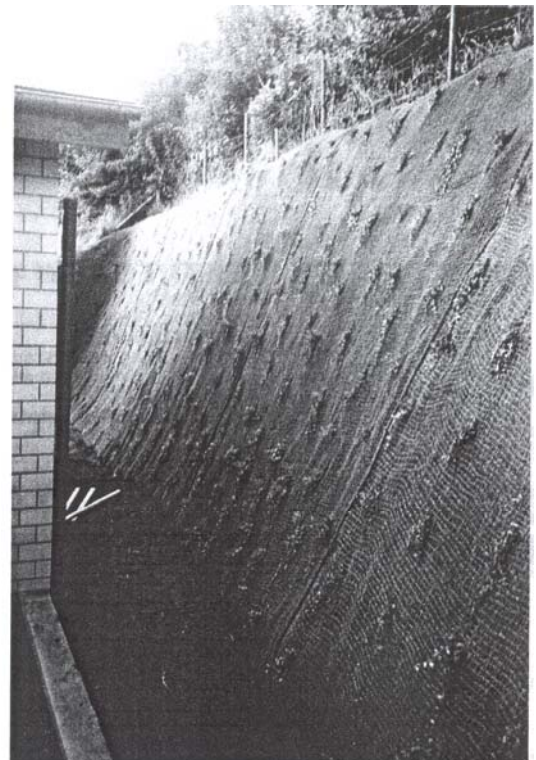
- **Jutenetze:** sind ideal für Standardfälle. Sie weisen eine Schutzdauer von bis zu einem Jahr auf und sind für Böschungen bis 1 : 1 einsetzbar. Die Nasssaat ist nach der Netzverlegung möglich.
- **Kokosnetze:** erfüllen höhere Ansprüche. Sie haben normalerweise eine mehrjährige Schutzdauer und eignen sich je nach Gewicht und Dichte für Böschungen über 1 : 1. Die Saat ist bei den leichteren Netzen nach dem Verlegen möglich, bei den schwereren muss sie vorher gemacht werden.
- **Longlife-Kokosnetze:** Eigenschaften wie normale Kokosnetze, sind jedoch aus biologisch gereinigten Fasern hergestellt und haben deshalb eine wesentlich höhere Resistenz. Sie eignen sich insbesondere für Ingenieurbioogie und Uferböschungen.
- **Fasermatten mit Samen:** Die Samen sind direkt in der Matte eingewoben. Gemäss Herstellerangaben verlangen sie eine sehr gute Bodenvorbereitung (Saubere Humusplanie an Böschung !!), unsere Baustellen erfüllen diese Voraussetzungen meistens nicht. Jutenetze mit nachfolgender Nasssaat sind deshalb vorzuziehen.



JUTENETZE,
sind ideal für alle Standardfälle

(aus Quelle 5)

KOKOSNETZE,
erfüllen höhere Ansprüche



- **Zeitwahl:** Aufgrund der Saaten je nach Höhenlage bis ca. Ende August.
- **Wirkungsgrad:** Schutz gegen Oberflächenerosion und Austrocknung

- **Vorteile:** Leichtes Material, schnell verlegt, auch bei grossen Flächen noch wirtschaftlich, günstige Materialpreise
- **Nachteile:** aufwendige Bodenvorbereitung (Planie) notwendig, damit das Netz gleichmässig und satt aufliegt. Je ungleichmässiger die Oberfläche, desto mehr Agraffen und Nägel sind notwendig, um das Netz auf den Boden zu drücken.
- **Anwendungsbereiche:** Erosionsschutz an steilen Böschungen. Je nach Steilheit und Bodenaktivität muss abgeklärt werden, ob nicht eher verankerte Erosionsschutznetze aus Kunststoff notwendig
- **Besonderes:** Begrünungen und Pflanzungen zwingend.
- **Ausführung:**
 - Die Netze werden bahnenweise verlegt und mit Eisenagraffen L = 20 - 40m auf dem Boden fixiert

3.3.2 Verankerte Erosionsschutznetze aus Kunststoff

➤ **Beschreibung:**

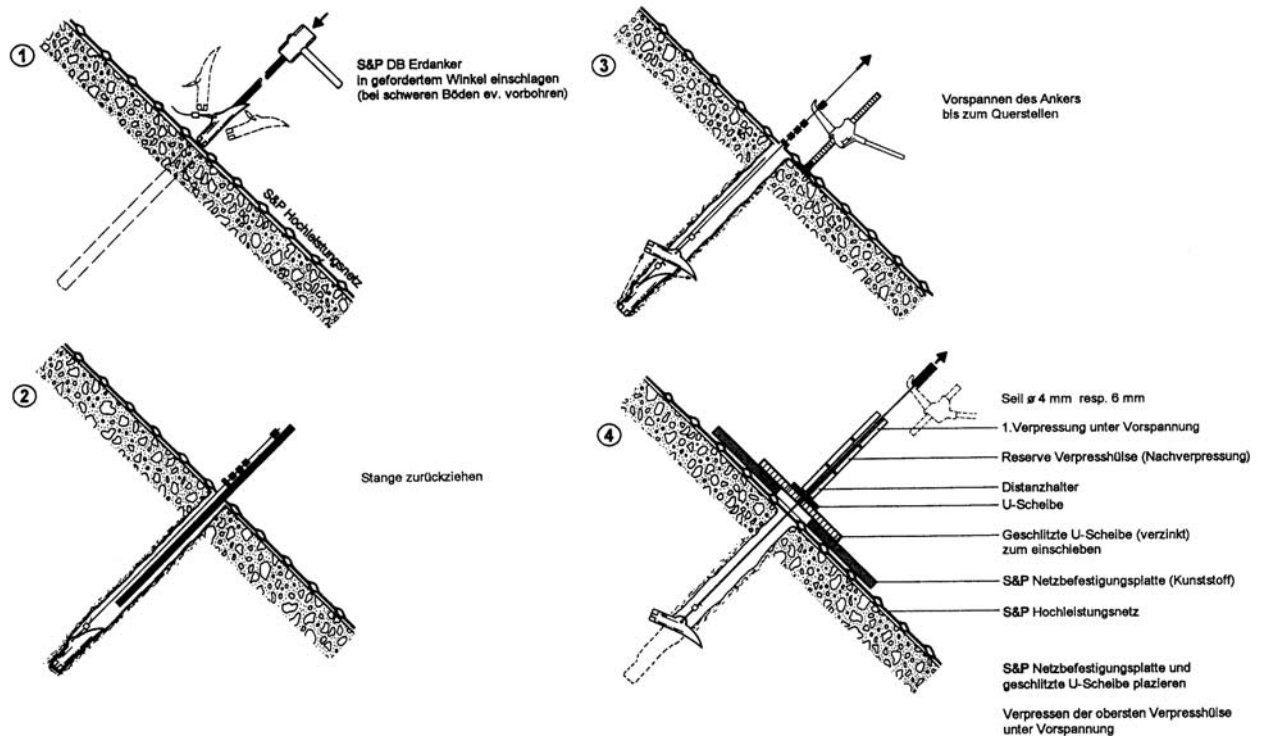
Die erosionsgefährdete Steilböschung wird mit einem synthetischen Netz (Geogitter, Hochleistungsnetz) abgedeckt. Das Netz wird mit Hilfe von kleinen Lockermaterialankern auf den Boden gedrückt. Neben der Erosion können auch leichte, oberflächennahe Rutschbewegungen aufgehalten werden.



Einbau von verankerten Netzen im Muisschwändli, Sachseln (aus Quelle 5)

- **Material:** Geogitter sind synthetische Flach-Netze aus einem PET-Garn, die mit einer PVC-Schutzschicht überzogen sind. Sie sind in unterschiedlichen Qualitäten und Maschenweiten erhältlich und weisen Reisskräfte zwischen 20 bis 110 kN/m (=t/m) auf (in Längsrichtung).
Für die Verankerung werden kleine Lockermaterialanker verwendet, die mit einem Drahtseil, einer Stahlplatte und 3 Presshülsen versehen sind. Auf Felsflächen werden entsprechend Felsanker eingesetzt.
- **Zeitwahl:** keine Einschränkungen. Saaten und Pflanzungen können später ausgeführt werden.
- **Wirkungsgrad:** Schutz gegen Oberflächenerosion und leichte, oberflächennahe Rutschbewegungen.
- **Vorteile:** Leichtes Material, schnell verlegt, auch auf sehr steilen Böschungen und Anschnitten verwendbar, Langlebigkeit, keine grossen Maschinen notwendig.

- **Nachteile:** Bei unregelmässigen Oberflächen liegt das Netz nicht gleichmässig und satt auf → es sind sehr viele Anker (Fr.) notwendig, um das Netz auf den Boden zu drücken.
- **Anwendungsbereiche:** Erosionsschutz an steilen bis sehr steilen Böschungen.
- **Besonderes:** Begrünungen und Pflanzungen sind als begleitende Massnahmen unbedingt notwendig.
- **Ausführung:**
 - Die Netze werden bahnenweise verlegt und mit den Ankern auf dem Boden fixiert
 - Das korrekte Vorgehen beim Schlagen, Spannen und Verpressen der Lockermaterialanker ist sehr wichtig (vgl. auch Anhang 3):



(aus Quelle 5)

- Nach der Netzmontage ist eine umgehende Begrünung mit einer Spezial-Samenmischung von Vorteil. Für die Pflanzung kann das Kunststoffnetz lokal aufgeschnitten werden.

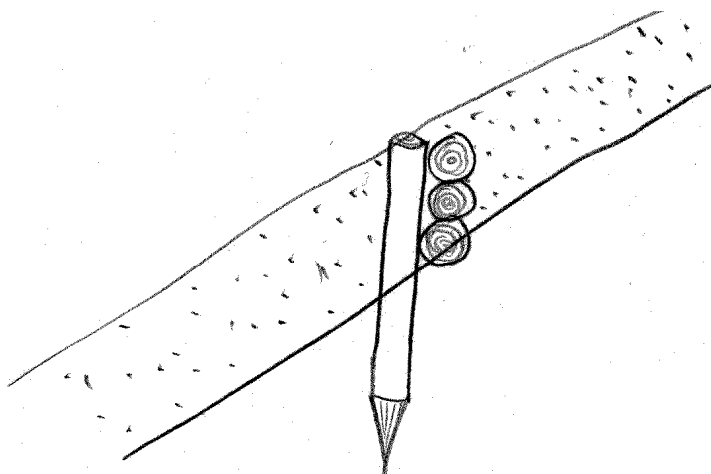
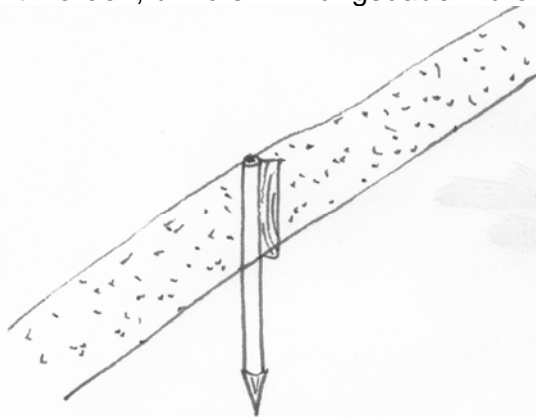


(aus Quelle 5)

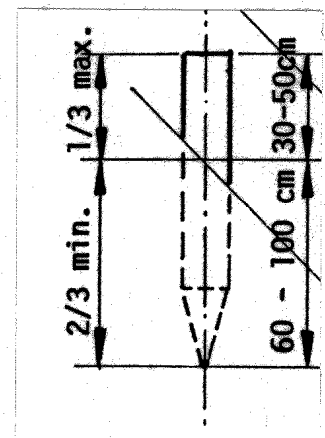
3.3.3 Erosionsschutzschwellen (Böschungsschutz mit Pfählen und Brettern)

➤ **Beschreibung:**

Waagrecht an der Oberfläche verlegte Hölzer werden durch Anker und Pfähle gestützt und mit Erdmaterial hinterfüllt. Die Querhölzer dienen als Barrieren, die als Erosionsschutz wirken. Diese Massnahme sollte nur zusammen mit ingenieurbioologischen Massnahmen ausgeführt werden, um die Wirkungsdauer zu erhöhen (vgl. auch Kap. 3.4.3).



(aus Quelle 6)



- **Baumaterial:** Rundhölzer Ø 10-25 cm oder Bretter, Material für verschiedene Anker.
- **Zeitwahl:** nicht entscheidend, kann auch später noch bepflanzt werden.
- **Wirkungsgrad:** Schutz gegen Erosion, Oberflächenstabilisierung von Hängen.
- **Vorteile:** einfach auszuführen, kostengünstig.
- **Nachteile:** kurze Lebensdauer, bei steilem Gelände praktisch fast nicht mehr durchführbar.
- **Anwendungsbereiche:** häufig als Erosionsschutz zwischen Stützwerken, als erste Böschungssicherung beim Strassenbau.
- **Besonderes:** Wenn eine lange Wirkung erzielt werden soll, unbedingt mit ingenieurbiologischen Massnahmen begrünen. **Wichtig:** Die Schwellen immer durchgehend bis zur nächsten Schwelle hinterfüllen. Pfähle vollständig eindecken.

3.4 Ingenieurbioologische Massnahmen

3.4.1 Stabilbauweisen

3.4.1.1 Allgemeines

Die Stabilbauweisen bezwecken eine tiefer greifende Festigung der Hangoberfläche durch Anwendung von lebendem Gehölzmaterial (oft kombiniert mit bewurzelten Pflanzen). Sie kommen vor allem zur Anwendung bei:

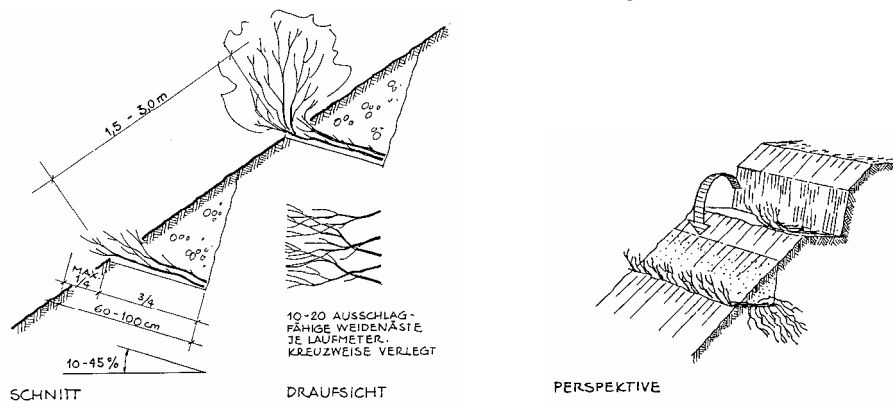
- oberflächennahen Rutschungen bis max. 0.5m Mächtigkeit
- labilen Hängen und Böschungen

Neben der nachfolgenden Beschreibung der wichtigsten und häufigsten Stabilbauweisen kommt auch das *Versetzen von Stecklingen als einfachste Methode* vielfach zur Anwendung.

3.4.1.2 Buschlagen, Heckenlagen und Hecken-Buschlagen

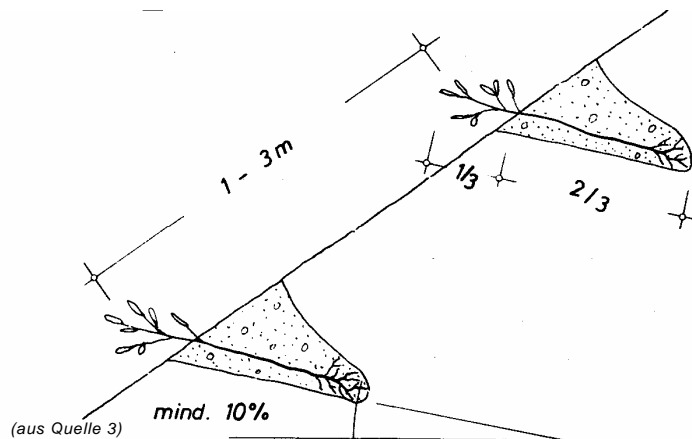
➤ Beschreibung:

- **Buschlagen:** Äste von ausschlagfähigen Holzarten, besonders Weiden, werden in horizontalen Lagen und Abständen von 1.5-3.0 m von unten nach oben eingebracht (Aushub wird in der unteren Lage als Schüttung gebraucht). Die Pflanzen werden in einem Winkel von 10 - 45° zur Horizontalen eingebracht.

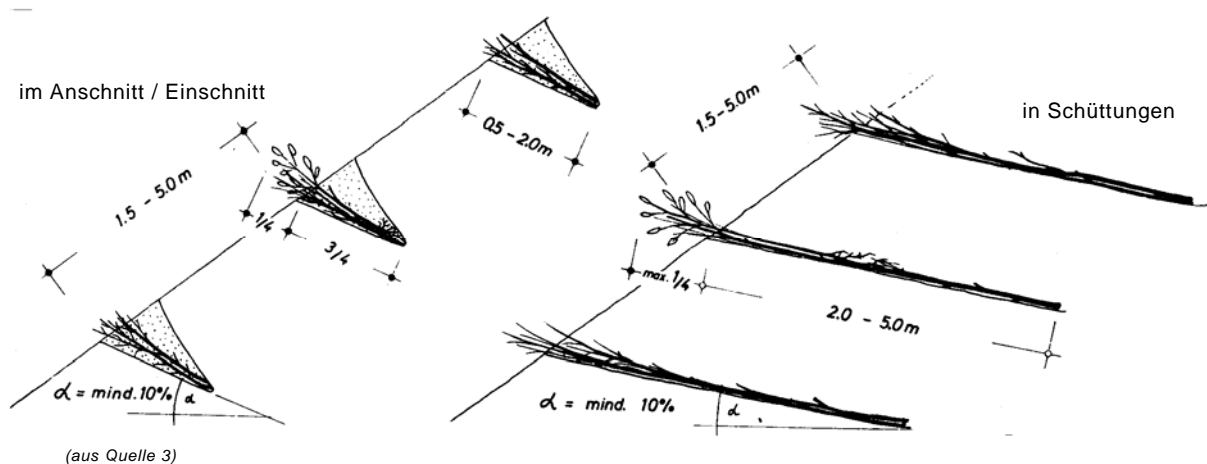


(aus Quelle 4)

- **Heckenlagen:** In horizontalen Lagen bilden bewurzelte Pflanzen mit einer Neigung von mindestens 10 % zur Horizontalen und einem Abstand von 1-3 m eine Heckenlage.



- **Hecken-Buschlagen:** Neben etwas weniger Buschwerk wie bei der Buschlage legt man pro m' noch einen bewurzelten Heister ein, Anschliessend werden sie bis zu $\frac{3}{4}$ zugeschüttet. Damit wird neben dem Initialstadium gleich die nächste Pflanzengesellschaft mit eingelegt.



➤ Baumaterial:

- **Buschlagen:** Äste ausschlagfähiger Holzarten, vorwiegend Weiden, 10 bis 20 Stück pro m' mit allen Nebenästen. Die Länge der Äste richtet sich nach dem Boden und der Art des Einbringens (60-400 cm; 400 cm nur beim Einlegen in Schüttungen möglich).
 - **Heckenlagen:** Je nach Art 5-20 Pflanzen pro m' verschüttungsresistente Laubgehölze, welche adventive Wurzeln bilden können; am besten Sämlinge oder junge Heister mit kräftigen Wurzeln. Arten aufeinander und auf Standort abstimmen.
 - **Hecken-Buschlagen:** Mindestens 10 ausschlagfähige Äste pro m'; 1-2 bewurzelte kräftige Jungpflanzen, die sich adventiv bewurzeln können, ausgewählt aus der pflanzensoziologischen Pflanzengesellschaft.
- Zeitwahl:** Nur während der Vegetationsruhezeit; muss während der Vegetationszeit ein Damm geschüttet werden, so können die Weiden im Winterzustand in Kühlhäusern gelagert werden.

➤ **Wirkungsgrad:**

- *Buschlagen*: Tiefenwirkung bereits beim Einbau, erhöht sich aber mit Bewurzelung. Buschlagen verringern die Abflussgeschwindigkeit des Wassers und weitgehend auch die Rillenerosion. Sie bringen Bodenbewegungen, Erosion und Verschüttungen allmählich zum Abklingen. Auch abgerutschte Buschlagen wachsen weiter.
- *Heckenlagen*: Sofort nach Einbau bodenfestigend, Bodenbindung durch Bewurzelung. Pflanzen schliessen den Boden auf, verbessern, beschatten und aktivieren ihn. Erlen mit Wurzelknöllchen und leicht verrottendem Laub haben besonders hohen ökologischen Wirkungsgrad.
- *Hecken-Buschlagen*: Schnellere Befestigung des Bodens als bei Buschlagen wegen den miteingelegten, bewurzelten Pflanzen. Standortverbesserung an der Hangoberfläche sehr gut durch Verwendung von Pflanzen mit Wurzelknöllchen.

➤ **Vorteile:**

- *Buschlagen*: einfach, grösste Tiefenwirkung aller Stabilbauweisen, auch sperrige Äste verwendbar.
- *Heckenlagen*: Möglichkeit, ohne Vorkultur eine Laubwaldgesellschaft zu begründen; bessere Tiefenwirkung als bei Pflanzung.
- *Hecken-Buschlagen*: Noch besser als Buschlagen, weil in einem Arbeitsgang die Folgevegetation miteingebracht wird.

➤ **Nachteile:**

- *Buschlagen*: Ungeeignet für Mutterbodenrückhalt, Lebensdauer der Weiden beschränkt, müssen nach einigen Jahren auf den Stock gesetzt werden.
- *Heckenlagen*: Hoher Pflanzenbedarf, teuer, nur auf günstigen Standorten, langsamer wachsend als Buschlagen.
- *Hecken-Buschlagen*: Ungeeignet für Mutterbodenrückhalt, Schnitt der Weiden nach 5-6 Jahren zur Freistellung der Heister. Die Heister können statt eingelegt in die Zwischenflächen eingepflanzt werden.

➤ **Anwendungsbereiche:**

- *Buschlagen*: Zur raschen Sicherung von Anbrüchen in extremen Lagen, besonders auf labilen Erosions-, Steinschlag- und rutschgefährdeten Hängen, einzige Stabilbauweise für Dämme während der Schüttung.
- *Heckenlagen*: Auf guten Böden wie Löss, nährstoffreichen Schotter, Sanden, Lehmen in günstigen Klimatalagen, auf kalkarmen Substraten und dort wo pflanzensoziologisch Weiden nicht mehr in Frage kommen.
- *Hecken-Buschlagen*: In allen Klimazonen, in denen noch Sträucher oder Bäume gedeihen.

➤ **Besonderes:** Wichtigste Stabilbauweise. Vielfach durch billigere Bauweise ersetzbar. Heckenbuschlagen können als Muttergärten weiterverwendet werden.

➤ **Ausführung:**

- *Buschlagen*: In Anschnitthängen werden von unten nach oben auf kleinen Bermen dicht nebeneinander kreuzweise Weiden gelegt und mit Aushub der nächst höheren Berme zugedeckt. Bei Schüttungen legt man 2 bis 7 m lange Weidenäste auf den leicht nach hinten geneigten Damm. Wichtig ist, dass das etwa $\frac{4}{5}$ des Astes zugedeckt ist. Dann fährt man mit der Schüttung und Verdichtung bis zur nächsten Reihe fort. Der Reihenabstand richtet sich nach dem Schüttmaterial, der Hangneigung, der Standfestigkeit und der Höhe des Damms, jedoch nie weniger als 150 cm. Die Reihen können horizontal oder schräg verlegt werden. Bei Lockermassen und Trocken-

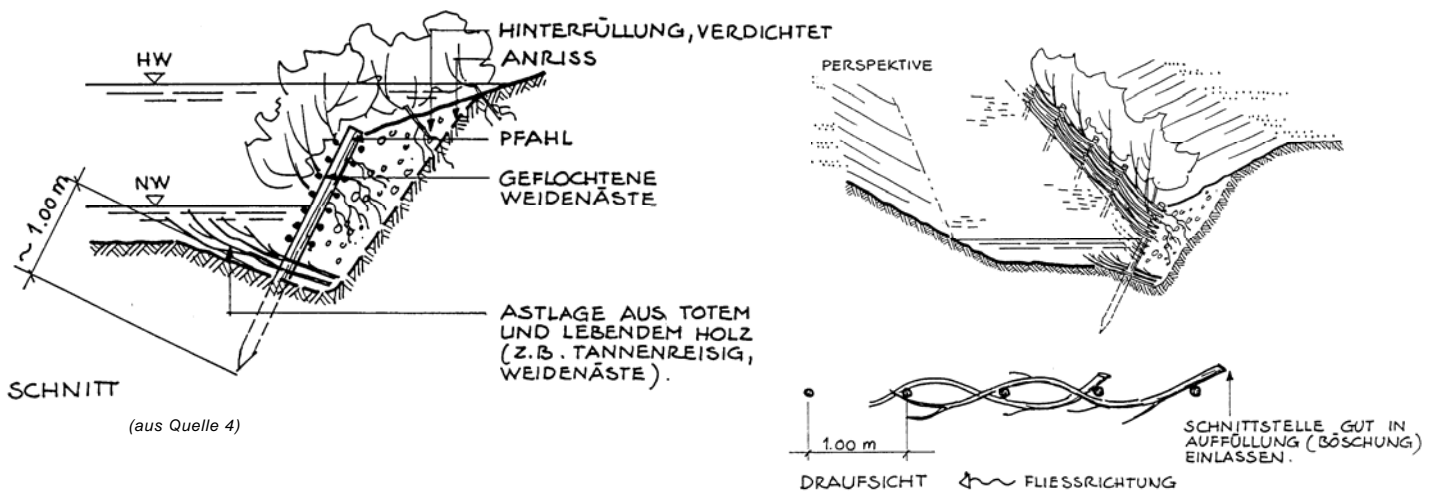
hängen kann eine Längseinlage aus verschiedenen Materialien unter die Büsche gelegt werden, um die Rillenerosion zu verhindern.

- **Heckenlagen:** Die bewurzelten Pflanzen werden dicht nebeneinander auf einer schräg nach hinten fallenden Berme ca. 60 cm breit verlegt und mit dem Aushub der nächst höheren Berme zugeschüttet. Nur $\frac{1}{3}$ der Pflanzen muss herauschauen, am überschütteten Damm bilden sich Wurzeln. Bei nährstoffarmen oder trockenen Böden gibt man Stroh oder Humus über die Heckenpflanzen. Die Heckenlagen werden waagrecht oder schräg in 1-3 m Abstand über die ganze Hangfläche eingebaut.
- **Hecken-Buschlagen:** vgl. Buschlagen und Heckenlagen.
- Bei Kombination mit verankerten Schwellen oder Hangrost: Busch- und Heckenlagen nicht direkt auf eine Schwelle oder Querholz legen – Gefahr des Abknickens durch Bodensetzungen. Schwelle / Querholz zuerst mit einer Schicht Erdmaterial überdecken, anschliessend Berme für Busch- oder Heckenlage ausbilden.

3.4.1.3 Flechtzäune

➤ **Beschreibung:**

Ein um Pflöcke und Steckhölzer geflochtener Zaun aus langen, biegsamen Ruten ausschlagfähiger Weiden. Die Flechtzäune können in horizontalen Reihen, als Diagonalflechtzaun und Kammerflechtwerk ausgeführt werden.



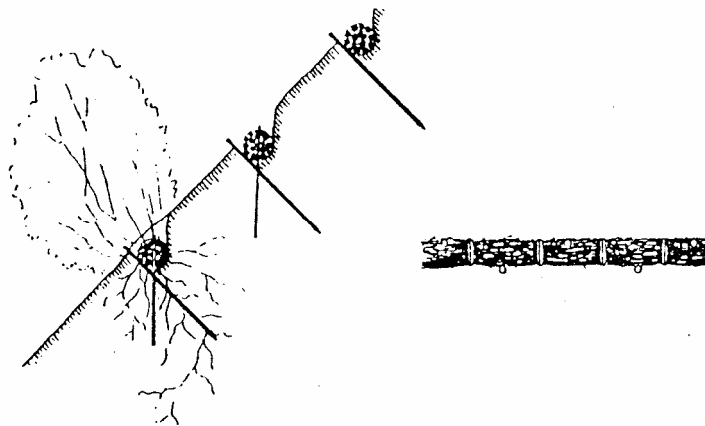
- **Baumaterial:** Elastische lebendige Ruten ausschlagfähiger Holzarten, vor allem Weiden, von mindestens 120 cm Länge, lebende Holzpflocke oder Stahlstäbe 30-80 cm, Holzpflocke oder Stahlstäbe länger als 100 cm.
- **Zeitwahl:** Nur während der Vegetationsruhezeit.
- **Wirkungsgrad:** Konsolidierend für lose Oberbodenschichten, nur geringe Tiefenwirkung, nach Bewurzelung bodenbindend, mit Buschschwelle kolksichere Uferbefestigung
- **Vorteile:** Sofortiger Materialrückhalt durch Stufung.
- **Nachteile:** Geringe Bewurzelung bei hohem Materialverbrauch, sehr arbeitsaufwendig, unbrauchbar in felsigem Terrain, pflegebedürftig.
- **Anwendungsbereiche:** Sowohl im Hang- als auch im Bachverbau. Sofortmassnahmen bei kleineren Rutschungen oder Mutterbodenrückhalt von 10 cm Stärke; In Kombination mit anderen Bauweisen an Ufern.
- **Besonderes:** Vielfach durch bessere Stabilbauweisen verdrängt. Nur versenkte Flechtzäune bauen.

- **Ausführung:** Lange Holzpflocke oder Stahlstäbe werden in 100-200 cm Abständen schräg gegen das Ufer an die Böschung in den Boden geschlagen, dazwischen in ca. 30 cm Abständen kurze lebende Steckhölzer. Danach werden lange biegsame Ruten ausschlagfähiger Weiden mit dem Ende in den Boden gesteckt und um die Stäbe geflochten. Der Flechtzaun sollte eingefüllt werden, damit die lebenden Äste anwurzeln können und ein dichtes Buschwerk treiben.

3.4.1.4 Hangfaschine

- **Beschreibung:**

Aus lebenden und/oder toten Weiden zusammengebundene Bündel, die nach Abdecken mit Boden sich wieder bewurzeln und Büsche treiben.



(aus Quelle 3)

- **Baumaterial:** Möglichst lange, ausschlagfähige Ruten von 1-5 cm Durchmesser mit endlosem Draht zusammenbinden, pro m' mindestens ein 60 cm langer Pflock aus Holz oder Stahl.
- **Zeitwahl:** Nur während der Vegetationsruhezeit.
- **Wirkungsgrad:** Bei horizontaler Anordnung wasserspeichernd; bei geneigter oder vertikaler Anordnung wasserabführend; erster mechanischer Schutz für Saaten und Pflanzungen.
- **Vorteile:** Rasche und einfache Ausführung bei geringer Bodenbewegung.
- **Nachteile:** Geringe Tiefenwirkung, empfindlich gegen Steinschlag und Lawinen.
- **Anwendungsbereiche:** Anschnittböschungen in tiefgründigem, weichem Erdreich und in tieferen wüchsigen Lagen; Ufersicherungen, (Entwässerungen).
- **Besonderes:** Wo langes Rutenmaterial vorhanden ist, sollten sie mehr verwendet werden.
- **Ausführung:** Faschinen werden aus 5-7 lebend oder/und toten Weiden zusammengebunden. Man befestigt sie mit lebenden Pflocken oder Stahlstäben, die vor oder durch die Faschine in den Boden geschlagen werden. Am Schluss mit Boden abdecken, damit die Weiden Wurzeln bilden und Büsche machen.

3.4.2 Deckbauweisen

3.4.2.1 Allgemeines

Die Deckbauweisen dienen vor allem dem Schutz der Oberfläche vor erodierenden Einwirkungen; die Tiefenwirkung ist von untergeordneter Bedeutung.

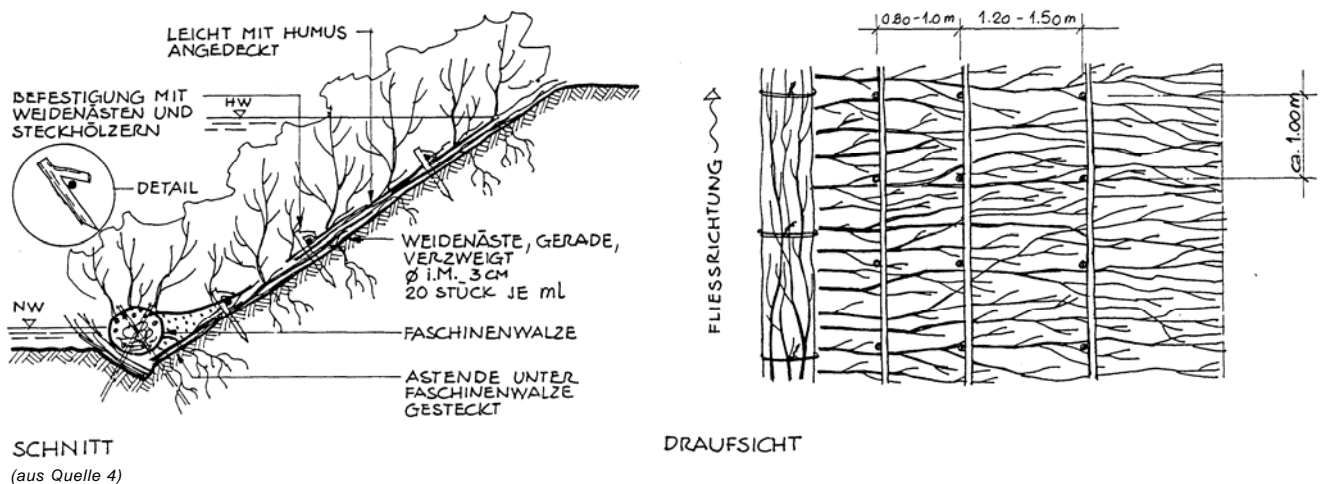
Sie kommen vor allem zur Anwendung bei Erosionsschäden in eigentlich stabilen Hängen und Böschungen.

Die wichtigsten und am meisten angewendeten Deckbauweisen sind nachfolgend beschrieben.

3.4.2.2 Spreitlagen

➤ **Beschreibung:**

Die zu schützende Fläche wird völlig mit lebenden Ästen bedeckt, wobei das untere Ende in den Boden gesteckt ist, damit sich die Ruten und Äste im Boden anwurzeln können.



- **Baumaterial:** Ausschlagfähige, möglichst lange gerade Äste und Ruten in der Länge der Böschungshöhe, aber nicht unter 150 cm; je nach Stärke 20-50 Äste pro m' der Böschung.
- **Zeitwahl:** Nur während der Vegetationsruhezeit.
- **Wirkungsgrad:** Spreitlagen decken die Bodenoberfläche sofort ab und schützen gegen Erosion. Je trockener und tiefer der Boden ist, desto tiefer erfolgt die Durchwurzelung und damit die Bodenstabilisierung, jedoch nie so tief wie bei der Buschlage.
- **Vorteile:** Spreitlagen wirken sofort, treiben dicht aus und bewurzeln dicht. An Fließgewässern bilden sie einen dauernd elastischen Buschgürtel.
- **Nachteile:** Material- und arbeitsintensiv; müssen lange gepflegt werden, weil der Rutenaufwuchs sehr dicht ist und die Nachfolgesgesellschaft sonst nicht aufkommen kann.
- **Anwendungsbereiche:** Uferböschungen, die durch fließendes Wasser bedroht werden oder erodierende Böschungen, die an der Oberfläche stabilisiert werden müssen.
- **Besonderes:** Vorwiegend im Wasserbau.
- **Ausführung:** In Reihen von 80 bis 100 cm Abstand befestigt man die Spreitlage aus lebenden Ästen mit Steinen, Draht, quergelegten Ruten, Faschinen oder Flechtzäunen fest am Boden. Dazu schlägt man in 60-80 cm Abständen Holzpfähle oder Stahlstifte bis auf 20 cm in den Boden vor dem Auslegen der Ruten. Damit die Spreitlage unten nicht

ausgespült wird, kann man sie mit Steinen beschweren oder mit einer Faschinenwalze befestigen.

3.4.2.3 Saaten

Nasssaaten

➤ **Beschreibung:**

In einem Mischaggregat werden Saatgut, Dünger, Bodenverbesserungsstoffe, Kleber und Wasser zu einem Brei vermengt und mit einer Dickstoffpumpe auf die zu begründenden Flächen gesprüht.



(aus Quelle 3)

- **Baumaterial:** 0.5-2.0 kg/m² Heublumen oder 10-50 g Handelssaatgut sowie 40-70 g/m² Dünger für Trockensaat und 1-30 Liter/m² Saatmischung für Nasssaat.
- **Zeitwahl:** Während der Vegetationszeit.
- **Wirkungsgrad:** Saaten wirken oberflächlich im durchwurzelbaren Bereich ca. 10 bis max. 30 cm bodenstabilisierend.
- **Vorteile:** Rasche flächige Begrünungen.
- **Nachteile:** Nur geringe Tiefenwirkungen, ohne Mulchdecke leicht erodierend bzw. schwer anwachsend.
- **Anwendungsbereiche:** In den richtigen Artenzusammensetzungen können Böschungen und Flächen dauerhaft begrünt werden.
- **Besonderes:** Wird auch als Grundbegrünung für spätere Anpflanzung angewendet. Wahl des geeigneten Saatgutes entscheidend; auch Hochlagenmischungen erhältlich. Wird sehr oft auch in Kombination mit Jute-, Kokos- oder Kunststoffnetzen eingebracht.
- **Ausführung:** Vgl. Beschreibung.
Nasssaaten müssen immer VOR allfälligen Pflanzungen ausgeführt werden, weil der Stickstoff die jungen Bäumchen verbrennt!!

Trockensaaten

➤ **Beschreibung:**

Das Saatgut wird mit einem speziellen „Kleber / Dünger“-Produkt trocken vermischt und mit einem Rückengerät auf den feuchten Boden aufgeblasen.



(aus Quelle 5)



- **Baumaterial:** 10 g Handelssaatgut (Spezialmischungen für die Böschungsbegrünung) und je nach Verhältnissen 60 - 100 g/m² „Kleber / Dünger“ (vgl. Beschreibung unten)
- **Zeitwahl:** Während der Vegetationszeit.
- **Wirkungsgrad:** Saaten wirken oberflächlich im durchwurzelbaren Bereich ca. 10 bis max. 30 cm bodenstabilisierend.
- **Vorteile:** Rasche flächige Begrünungen.
- **Nachteile:** Nur geringe Tiefenwirkungen, ohne Mulchdecke leicht erodierend bzw. schwer anwachsend.
- **Anwendungsbereiche:** In den richtigen Artenzusammensetzungen können Böschungen und Flächen dauerhaft begrünt werden.
- **Besonderes:** Die Samenmischung sollte möglichst gut auf das Objekt und die Bodenverhältnisse abgestimmt sein. Normalerweise enthalten sie unter anderem verschiedene, sehr schnell keimende Gräser und verschiedene Kleearten, die erst später keimen, aber tiefer wurzeln. Bei sehr grossen Objekten lohnt es sich unter Umständen eine eigene Samenmischung herzustellen.
Der „Kleber / Dünger“ ist ein Produkt, das aus getrockneten und gemahlenden Algen hergestellt und mit verschiedenen Nährstoffen angereichert wird. Bei Kontakt mit Wasser oder sehr hoher Luftfeuchtigkeit quellen die Algen und halten das Saatgut auf dem Boden fest. Es gibt verschiedene Produkte (verdyol tas, verdyol tas forte, ufa stab, ufa stab forte), sie enthalten aber alle in etwa dasselbe.
Kleber und Saatgut haben in etwa denselben Kilopreis. Hingegen wird ca. 6x bis 10x mehr Kleber pro m² aufgeblasen als Saatgut. → Es lohnt sich, die Kleber-Menge auf die jeweiligen Verhältnisse anzupassen, um Kosten zu sparen (eher weniger Kleber beimischen, die steilsten Bereiche dafür 2x aufblasen, etc.)
- **Ausführung:** Saatgut und „Kleber / Dünger“ werden in einer „Zaine“ trocken miteinander vermischt und in das Rücken-Blasgerät eingefüllt. Anschliessend begeht man die zu begrünende Fläche in horizontalen Reihen von unten nach oben und bläst das Mischgut auf

den feuchten Boden.

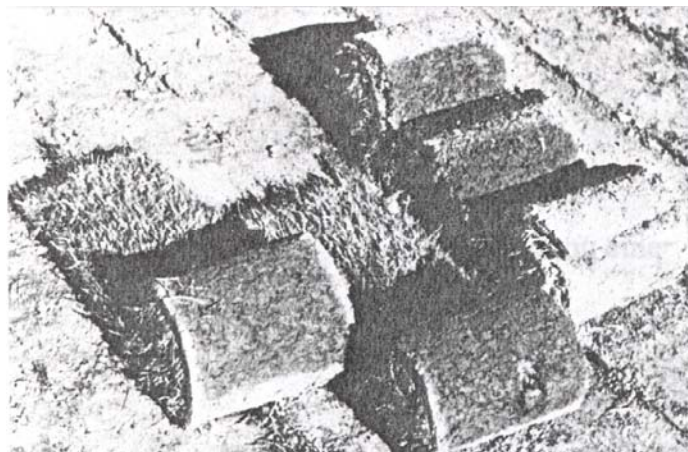
Die Saat ist besonders erfolgreich, wenn sie vor einem leichten Niederschlag oder während einer Periode mit starker Taubildung erfolgt.

Erfahrungen aus dem Rüfenprojekt Sachseln haben gezeigt, dass auch die Trockensaat immer VOR allfälligen Pflanzungen zu erfolgen hat. Am Besten erfolgen die Pflanzungen im ersten Frühling nach der Saat.

3.4.2.4 Rasenverlegung:

➤ **Beschreibung:**

Flächenhafte Begrünung von vegetationslosen und/oder verbauten Hängen durch Verlegung von Rasenziegeln.



(aus Quelle 3)

- **Baumaterial:** Quadratische Rasenstücke von ca. 40 cm Seitenlänge und ca. 6 cm Dicke aus möglichst ähnlich ökologischen Standorten wie der Verwendungsort oder von der vor dem Verbau bestehenden Rasendecke.
- **Zeitwahl:** Während der Vegetationszeit.
- **Wirkungsgrad:** Sofort nach dem Verlegen ist die Bodenoberfläche geschützt und nach einigen Tagen mit dem Untergrund verwachsen.
- **Vorteile:** Geschlossene Vegetationsdecke nach dem Verlegen, vor allem in der subalpinen und alpinen Stufe. Wiederverwendung von abgetragenen, standortgerechten Pflanzengesellschaften. Sehr wirksam.
- **Nachteile:** Empfindlich gegen Betreten und Bodenbewegungen im geneigten Gelände; für grosse Flächen zu aufwendig; zu teuer gegenüber Saaten; Mutterbodenbedarf.
- **Anwendungsbereiche:** Bei künstlichen Geländeanschnitten, wo Rasen vorhanden sind, können diese später wieder verwendet werden, vor allem in der subalpinen und alpinen Stufe. Bevor man die Vegetationsdecke zerstört, sollte man prüfen, ob sie sorgfältig abgehoben und wieder verwendbar ist.
- **Besonderes:** Effiziente Begrünung mit den vor dem Bau von diesem Standort entfernten und gelagerten Rasenziegeln möglich.
- **Ausführung:** Aus geschlossenen Rasenflächen gewonnene Rasenziegel, Schälrasen oder Rasenmatten werden auf leicht mit Mutterboden bedeckte Böschungen bündig verlegt, angeklopft oder gewalzt und an steilen Hängen mit Betoneisen vernagelt. An Uferböschungen empfiehlt sich eine Befestigung mit Maschendrahtnetzen oder Kunststoffgittern.

3.4.3 Ingenierbiologie in Kombination mit Rutsch- und Erosionsverbau

3.4.3.1 Allgemeines

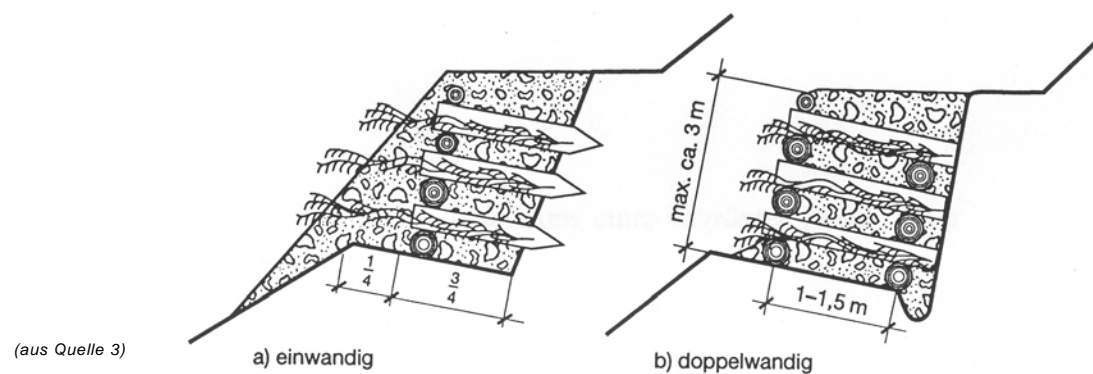
Die kombinierten Bauweisen sind eine Kombination von lebenden und toten Baustoffen (Stein, Holz, Metall), das heisst eine Kombination der Ingenierbiologie mit Hartbauweisen. Sie kommen vor allem zur Anwendung in:

- Rutschungen und instabilen Hängen
- Böschungen und Hangabschnitten, die abgestützt werden müssen
- Runsen, Bachläufe und Gräben, deren Sohle gesichert werden muss

Die wichtigsten und am meisten angewendeten kombinierten Bauweisen sind:

3.4.3.2 Begrünter Holzkasten

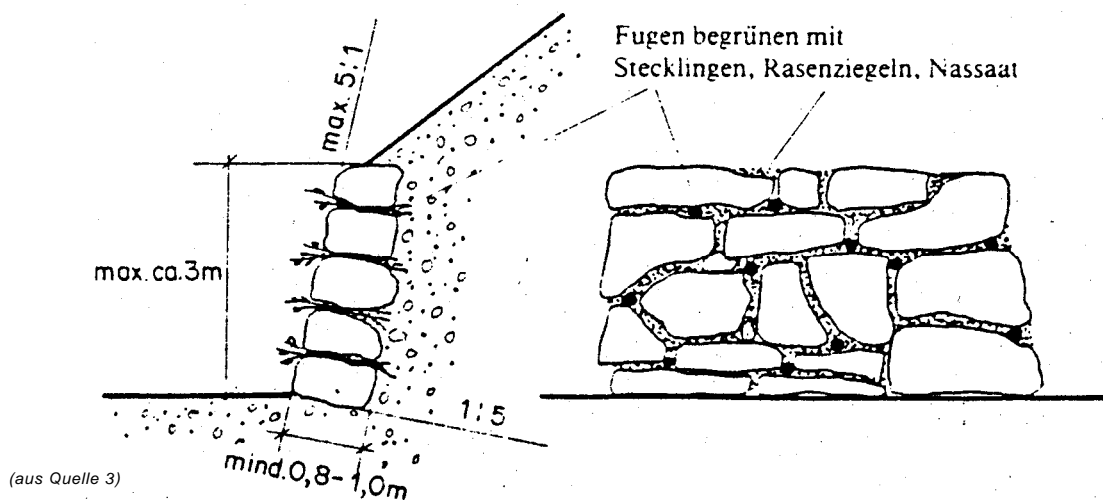
vgl. Beschreibung in Kap. 3.2.1 Doppelte Holzkasten.



Nicht eingedeckte Holzkasten sind immer mit zusätzlichen Ingenierbiologischen Massnahmen zu ergänzen: Zwischen das Stützgerüst aus Holz werden Äste ausschlagfähiger Holzarten so eingelegt, dass das Ende bis zum anstehenden Material reicht und die Spitzen vorne noch etwa 30-50 cm herausragen. Nur in der Vegetationsruhezeit ausführen!

3.4.3.3 Begrünte Blocksteinmauern

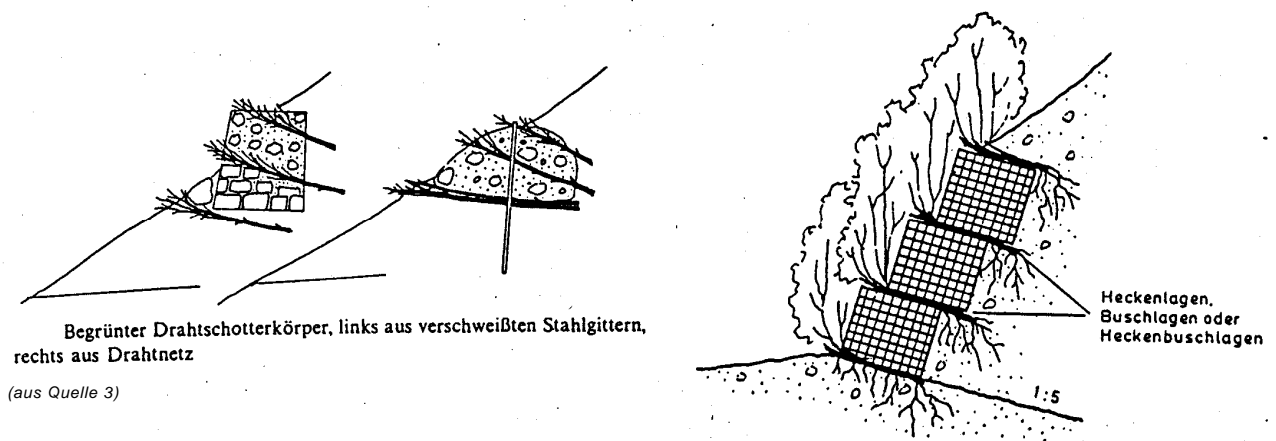
vgl. Beschreibung in Kap. 3.2.5 Blocksteinmauern (Trockenmauer).



Während des Baus der Blocksteinmauern werden in die Fugen lebendes Astwerk, bewurzelte Gehölzpflanzen oder dicke Rasensoden gelegt. Die Pflanzen müssen bis zum gewachsenen Boden reichen. In den Fugen sollte Feinmaterial das Anwachsen erleichtern. Der Bewuchs festigt das Mauergefüge und verursacht eine aktive Entwässerung durch Pflanzen und Wasserdurchlässigkeit. Einbau nur während Vegetationsruhezeit.

3.4.3.4 Begrünte Steinkörbe

vgl. Beschreibung in Kap. 3.2.6 Steinkörbe.



Gleichzeitig mit den Steinen werden lebende Äste ausschlagfähiger Holzarten und bewurzelte Heister in die Gitterkörbe eingelegt. Nachträgliche Begrünung nicht möglich. Einbau nur während Vegetationsruhezeit.

3.4.3.5 Begrünter Hangrost

vgl. Beschreibung in Kap.3.2.3.

Nicht eingedeckte Hangroste sind immer mit zusätzlichen ingenieurbiologischen Massnahmen wie Saat und Gehölzpflanzungen zu ergänzen. Dieselben Massnahmen empfehlen sich selbstverständlich auch für eingedeckte Hangroste. Die Pflanzen werden später die Stützfunktion des vermorschenden Holzes übernehmen. In Kombination mit Hangrosten eignen sich am besten die Pflanzung von Bäumen und Sträuchern, sowie das Setzen von Stecklingen ausschlagfähiger Gehölzarten.

Auch **Betonelementwände** (vgl. Kap. 3.2.7) und **Schwellen** (vgl. Kap. 3.2.4) werden meistens in Kombination mit ingenieurbiologischen Massnahmen angewendet.



Heckensortiment-Pflanzung über teilweise eingedeckten, verankerten Lärchenschwellen, Engiberg, St. Niklausen (aus Quelle 5)

3.4.4 Grenzen der Ingenieurbiologie

Ingenieurbiologische Methoden können nicht immer und überall eingesetzt werden. Ihrer Anwendung sind folgende Grenzen gesetzt:

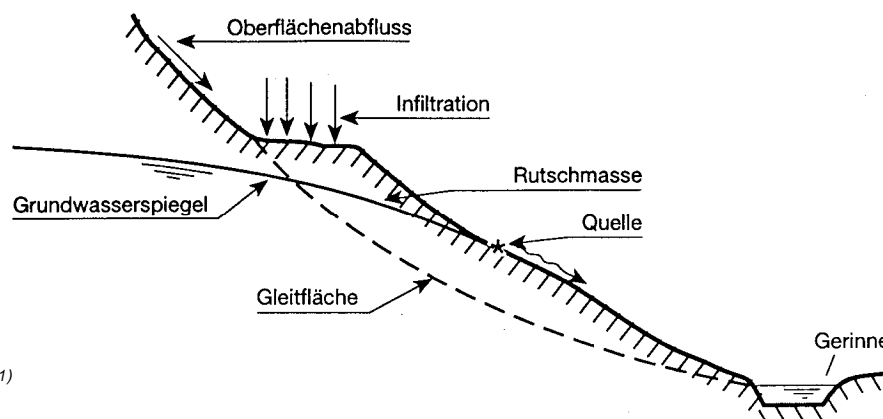
- Sie ist an das natürliche Verbreitungsgebiet der verwendeten Pflanzen gebunden.
- Die Tiefenwirkung der Wurzeln ist nicht gross. Baumwurzeln können nur die obersten 2 bis max. 3 m stabilisieren.
- Es dürfen keine Bodenbewegungen mehr stattfinden, damit die Wurzeln festigende Funktionen übernehmen können.
- Der Einbau der Steckhölzer und Äste von ausschlagfähigen Holzarten beschränkt sich auf die Zeit der Vegetationsruhe.
- Die Stabilisierungswirkung tritt verspätet ein und erreicht ihr Maximum erst nach 1 bis 2 Jahren.

3.5 Entwässerung

Weil das Wasser im Boden häufig ein massgebender Faktor in Rutschgebieten ist, gehören Entwässerungen zu den klassischen Sanierungsmassnahmen.

Im Zusammenhang mit Entwässerungen ist zu unterscheiden zwischen:

- oberflächlich abfliessendem Wasser.
- Infiltrationswasser.
- Sickerwasser im Boden.



Rutschungen spielen sich meistens in Böden ab, die aufgrund ihrer Durchlässigkeitsbeiwerte als schlecht bis kaum entwässerbar zu bezeichnen sind. Mit den klassischen Massnahmen wie Drainagegräben oder Drainageleitungen lassen sich daher die Sickerwasserverhältnisse und damit der Grundwasserspiegel nur wenig beeinflussen.

Das Ziel forstlicher Entwässerungen kann somit in den meisten Fällen nur in einer Verkleinerung der Infiltrationsrate bestehen. Dabei soll verhindert werden, dass oberflächlich abfliessendes Wasser, Wasser aus Quellen, sowie Infiltrationswasser aus Regen und Schneeschmelze in potentielle Rutschmassen eindringen. Zu diesem Zweck wird das Wasser auf den entsprechenden Flächen bzw. an den entsprechenden Stellen in Entwässerungsgräben gefasst und abgeleitet. Im Boden verlegte Rohrleitungen werden nicht empfohlen (Schäden nicht oder erst zu spät sichtbar).

Das Fassen des Wassers stellt in der Regel keine grossen Probleme dar. Schwieriger wird es dann mit der Ableitung in den Vorfluter. Diese Gräben sind meistens extreme Steilgerinne in der Falllinie des Hanges mit extrem stark schiessendem Abfluss. Sind die Bauten zerstört, besteht ausgeprägte Erosionstendenz und die Gräben entwickeln sich leicht zu gefährlichen Runsen.

Damit Entwässerungssysteme unter solchen Bedingungen auch nur einigermaßen funktionieren, ist ihr dauernder Unterhalt während Jahrzehnten sicherzustellen. Die Nachteile einer schlecht wirkenden Entwässerung in Bezug auf die Hangstabilität sind nämlich weit grösser, als ihre Vorteile.

Wir unterscheiden verschiedene Arten von Entwässerungen.

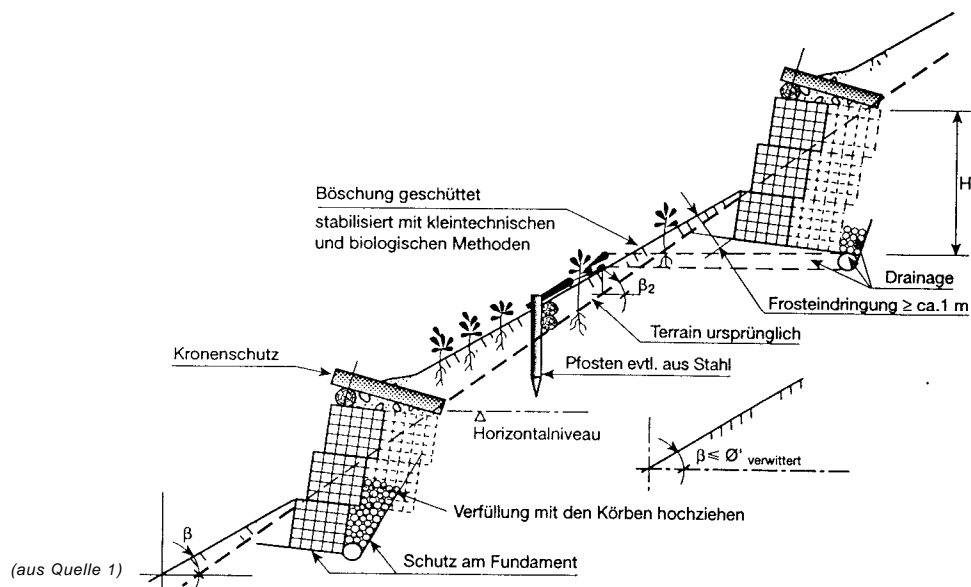
3.5.1 Entwässerung von Stützwerken

Die richtige Entwässerung zählt zu den wichtigsten Arbeiten beim Rutsch- und Hangverbau!!! Jede Verbauung an sich ist wertlos, wenn wir das Wasser nicht im Griff haben.



(aus Quelle 5)

Mit der Erstellung eines Stützwerkes ohne Entwässerung würden Wasseraustritte blockiert und hohe Staudrucke verursacht, die zu einer neuen Rutschung mit samt dem Stützwerk führen würde. Die fachgerechte Entwässerung dient dem Ableiten des Wassers an die Oberfläche und verunmöglicht den Aufbau hoher Staudrucke. Zusätzlich ist es bei Stützwerken häufig notwendig, dass das Fundament entwässert wird, weil das Wasser sonst hinter dem Stützwerk in das Fundament abfließt und so die Tragsicherheit beeinträchtigt (Gefahr von Grundbruch). Das Wasser muss am hangseitigen Fuss des doppelten Holzkastens gesammelt und an die Oberfläche geleitet werden.



(aus Quelle 1)

- **Baumaterial:** flexible Sickerschläuche vorzugsweise mit runden Löchern, da sie weniger schnell verstopfen als geschlitzte Schläuche.
Sickerpackungen aus Fichten- und Weisstannenästen.
- **Ausführung:**
Bei der Erstellung von Entwässerungen sind folgende Punkte zu beachten:
 - Saubere Einbettung auf lehmigem Material.
 - Lehmriegel alle 2 – 3 m verhindern einen Abfluss neben dem Schlauch.
 - Feinere Äste zuerst, die gröberen darüber einbauen. Je mehr Astmaterial, umso besser.
 - Genügend Gefälle ist für den Wasserabfluss notwendig.
 - Mehrere Schläuche können mit Abzweigern verbunden werden.
 - Schlauchanfang wo möglich über Terrain ziehen und verschliessen für späteres Auffinden und Spülen.
 - Ende der Entwässerung immer an die Oberfläche an einen sicheren Ort führen. Vorsicht: mit der Entwässerung keine neuen Rutschungen auslösen.
 - Handelsübliche Muffen sind unbefriedigend. Es besteht die Gefahr des Auseinanderziehens der Verbindung zweier Schläuche.
 - Alternative Schlauchverbindungen:
Schlauchverbindung ohne Muffe Variante 1
An einen Schlauchende einen Dreieck-Spickel herausschneiden und zusammendrücken. Das zusammengedrückte Ende in das andere Schlauchende einführen, eine Manschette (Schlauchabschnitt) darüber und zur Verfestigung verdrahten.



Eingeschnittenes, zusammengedrücktes Schlauchende in anderen Schlauch einschieben (Quelle 5)

Schlauchverbindung ohne Muffe Variante 2

Ein Schlauchende **einschneiden** und **aufweiten**, das andere Schlauchende hineinschieben und mit Draht zur Verfestigung 2x binden. Manschette aus Schlauchabschnitt darüber und wieder mit Draht binden (eventuell zwei Manschetten darüber).



Aufgeweitertes Schlauchende über anderen Schlauch schieben (Quelle 5)



Manschette darüber stülpen (Quelle 5)

3.5.2 Biotechnische Entwässerung

Entwässerung durch **pflanzlichen Wasserverbrauch**: Durch Bepflanzung können oft technisch kaum entwässerbare Hangabschnitte auf natürliche Weise entwässert werden. Zu diesem Zweck eignen sich Pflanzen mit grosser Blattoberfläche. Bei den Gehölzen werden Spitz- und Bergahorn, Schwarz- und Weisslerle, Esche, Pappeln, Bergulme und Weiden bevorzugt.

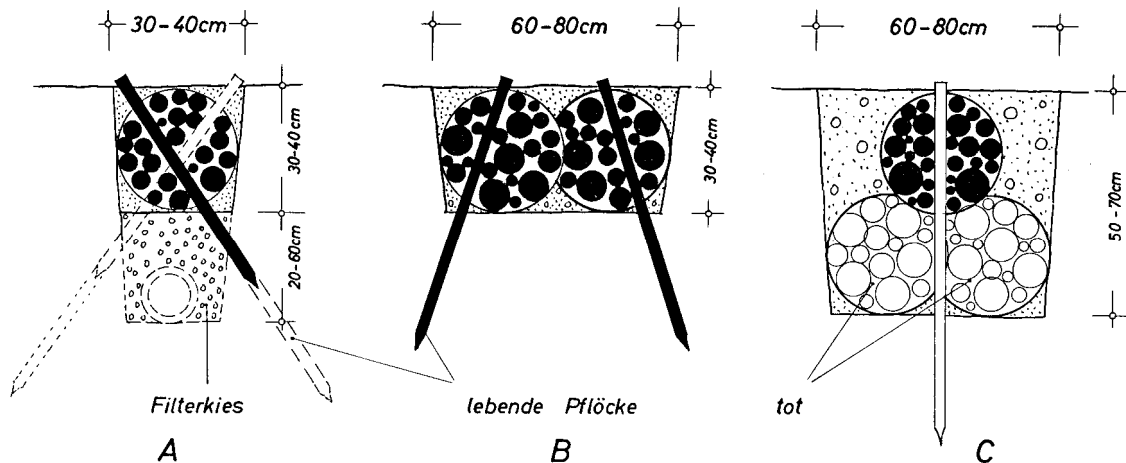
- typisches Beispiel für biotechnische Entwässerung ist der **lebende Faschinendrain**: Zur Ableitung von Oberflächenwasser wird meist in der Falllinie ein Graben mit undurchlässiger Sohle (Lehmschicht) ausgehoben. Darin werden Faschinen aus Weidenästen eingelegt und mit Erdmaterial zugedeckt. Die Faschinen weisen einen Durchmesser von etwa 30 cm auf. Sie werden mit Pflöcken oder mit oberhalb des Hanges befestigten Drahtseilen fixiert.
Der Einbau der Faschinen kann auf zwei Arten erfolgen:
- **Lose - in unstablen Untergrund**
Die ausschlagfähigen Äste werden fortlaufend, lose eingelegt. Die Äste kommen dabei leicht schräg auf die zuvor eingebauten zu liegen. Das dickkörtige Ende wird dabei hangabwärts in den Boden gesteckt. Die fertige Faschine bildet ein „Rohr“ ohne Unterbruch aus leicht schräg stehenden, zueinander versetzt liegenden Ruten.

Vorteil: Keine stumpfen Stöße zwischen Faschinenbündeln, Widerstandsfähig gegen Auseinanderreißen der Faschine durch Bodenbewegungen.

➤ **Gebündelt – in stabilen Boden**

Die Weidenäste werden gebündelt und alle 30 cm mit Draht zusammengebunden. Die ganzen Bündel werden stumpf gestossen in den Graben eingelegt.

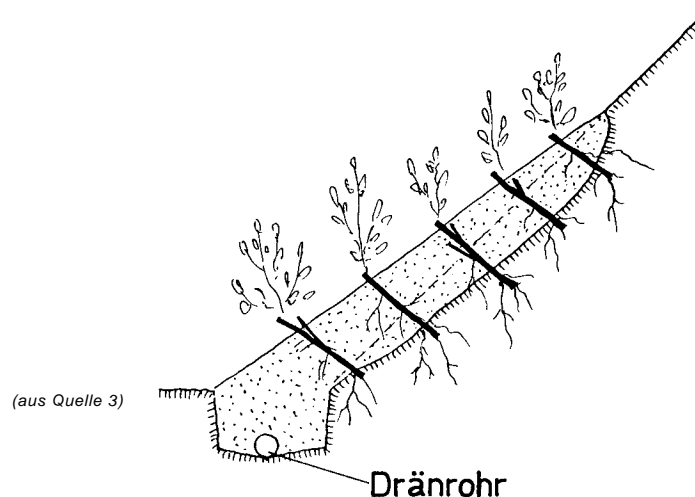
Vorteil: Transport und Hantieren von ganzen Faschinenbündeln statt einzelnen Ästen.



(aus Quelle 3)

➤ **Filterkeil** zur Entwässerung von wasserführenden Schichten in Anschnittböschungen:

Durchlässiges Material wird an den Böschungen geschüttet. Darin werden Buschlagen eingebracht, die unbedingt bis in den gewachsenen Boden reichen müssen. Anschliessende Begrünung mit Rasensaat empfehlenswert.

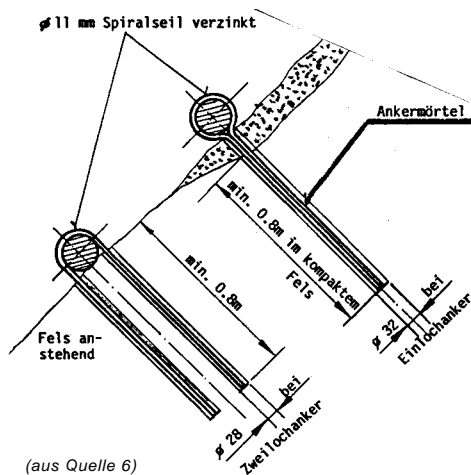


3.6 Verankerungstechniken

Bei den Verbausystemen (einwandige) Holzkasten, Hangroste und (Erosionsschutz-) Schwellen kommen häufig verschiedene Verankerungstechniken zur Anwendung.

➤ **Eingemörtelter Seilanker:**

- **Anwendung:** im felsigen Untergrund.
- **Material:** Bohrhammer, Kompressor, verzinktes Spiralseil, \varnothing 11 mm, Ankermörtel, Mat. für Mörtelzubereitung und Eingiessen.
- **Besonderes:** Verankerungstiefe mindestens 80 cm.



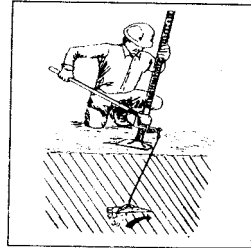
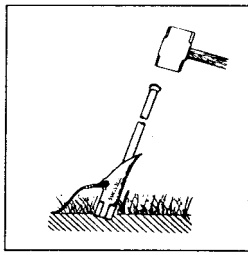
➤ **Seilanker mit Zweikomponenten-Leim:**

- Prinzip wie eingemörtelter Anker
- **Vorteil:** viel kürzere Aushärtungszeit als Mörtel

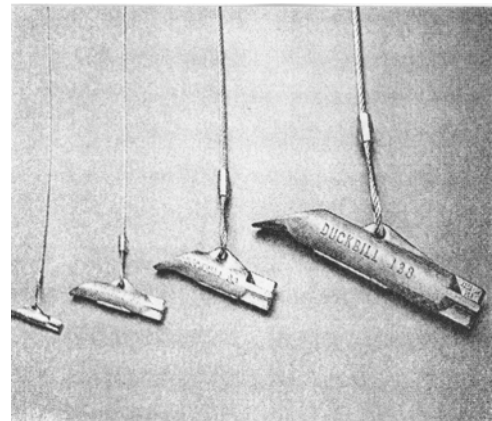
➤ **Einrammanker (vgl. auch Anhang 3):**

- **Anwendung:** im Lockermaterial.
- **Material:** Anker (Typ Duckbill oder Manta Ray) mit Seil und Spannschraube, Stahlseile $d=10-12\text{mm}$ Mat. zum Einrammen. Material zum Vorspannen und zum fixieren
- **Besonderes:** Es existieren je nach Anwendung verschiedene Ankertypen und -größen. Die leichten Anker werden von Hand eingeschlagen, mit einer Stockwinde vorgespannt, für die schweren ist hingegen der Einsatz von speziellen Schlaggestänge, Kompressor und Abbauhammer notwendig. Die schweren Anker werden normalerweise ohne Seil / Stange geliefert. Für das Vorspannen und Fixieren sind spezielle Bindetechniken notwendig

➤ **Setzen und Vorspannen von leichten Lockermaterialankern:**



(aus Quelle 5)



➤ **Setzen und Vorspannen von schweren Lockermaterialankern (vgl. Anhang 3):**



Ansetzen, Schlagen, Vorspannen und Verbriden eines Lockermaterialankers im Rufenprojekt Sachseln (Quelle 5)



➤ **Gebohrte Verankerungseisen:**

- **Anwendung:** im Fels.
- **Material:** Ankereisen d=40mm, Stahlseile d=10-12mm
- **Besonderes:** Normalerweise wird die unterste Holzlage eines Holzkastens oder eines Hangrostes nach hinten an die Ankereisen gehängt. Eine saubere Vorspannung ist wichtig, damit spätere Auflasten (z.B. Schreitbagger) verkräftet werden.



(Verankerung des Holzkastenfusses mittels gebohrten Ankereisen (Quelle 5))

➤ **Gebahrter Spreizanker:**

- **Anwendung:** in schlechtem, brüchigem Fels und sehr stark verdichtetem Lockermaterial (z.B. Moräne).
- **Material:** Ankereisen mit Spreizdübel (Funktionsprinzip einer Poppniete).
- **Arbeitsschritte:** Bohren, Anker einschlagen (80 bis 120 cm), Einschlagrohr herausziehen, Ankerplatte aufsetzen, Dübel mit Presse aufspreizen.



aufgespreizter Anker (Quelle 5)

4 Planung und Bauausführung

4.1 Allgemeine Abfolge von Massnahmen

Weil spezifische Bedingungen von Fall zu Fall ganz verschieden sind, gibt es keine allgemeingültigen Rezepte für die Projektierung von Massnahmen. Für jedes Projekt sind die Prozesse und Mechanismen erneut zu beurteilen.

Aufgrund allgemein gültiger Zusammenhänge umfasst eine Stabilisierung aber immer folgende grundsätzlichen Massnahmen:

- a) Hangfussicherung**
- b) zulässige Hangneigung bestimmen und sicherstellen**
- c) Oberflächenschutz**
- d) Zusätzliche Massnahmen**

a) Hangfussicherung

Wenn ein Gerinne entlang dem Hang verläuft, wird die Stabilität im Hangfussbereich meistens durch Gerinnerosionsprozesse beeinflusst. Es hat demnach keinen Sinn, mit Hangstabilisierungsarbeiten zu beginnen, solange sich das Gerinne weiter eintiefen kann oder Seitenerosion die Uferböschungen unterschneidet und dadurch die Hangneigung immer grösser wird. Der erste Schritt besteht in solchen Fällen in der Fixierung der Bachsohle entlang dem Rutschhang bzw. im Einmündungsbereich einer seitlichen Runse.

b) Zulässige Hangneigung

In Erosionsrutschhängen entspricht der Winkel der zulässigen Hangneigung dem Winkel in der Ablagerungszone gemäss Abbildung in Kap. 2.3. Für die Sicherstellung der zulässigen Neigung kommen zwei Lösungen in Frage: Die "sichere" Lösung würde darin bestehen, die Hangneigung global auf den Winkel der zulässigen Hangneigung zu reduzieren. In den meisten Fällen ist diese Lösung aber aus praktischen Gründen nicht möglich, da sie zu viel Platz benötigt und zu viel überschüssiges Lockermaterial verursacht. Eine praktikable Lösung besteht in der teilweisen Reduktion der Hangneigung und einem Hangverbau mit Stützwerken. Die Neigung zwischen den Stützwerken entspricht dabei dem Winkel der zulässigen Hangneigung. Bei oberflächennahen Bruchmechanismen ist eine Lösung mit flach fundierten Werken relativ einfach zu bewerkstelligen.

c) Oberflächenschutz

Häufig spielen Erosions- und Verwitterungsprozesse im Oberflächenbereich eine wichtige Rolle bei der Entstehung und Entwicklung von Rutschhängen und Runsen. Der Oberflächenschutz ist deshalb ein äusserst wichtiger Bestandteil der Stabilisierungsarbeiten.

Das Ziel besteht dabei in der stabilen und dauerhaften Wiederbestockung der kahlen Erosionsflächen. Alle Massnahmen sind von Anfang an auf dieses Ziel auszurichten und haben der Verbesserung der Standortbedingungen zu dienen. Der Oberflächenschutz durch die Pflanzen ist nämlich nicht möglich, wenn bei Rutschungen die Gleitfläche ausserhalb des Wurzelhorizontes verläuft, wenn Bodenbewegungen im Wurzelraum stattfinden und wenn die Beanspruchung durch Wasser, Geschiebe, Steinschlag oder Schnee zu gross wird.

Die technischen Massnahmen bilden an Rutschhängen und in Runsen oft die Voraussetzung zur erfolgreichen Wiederbegründung und -bestockung mit Pflanzen. Die technischen Massnahmen wirken aber immer nur punktwise oder linear, und sind zeitlich beschränkt. Der ausserordentlich wichtige dauerhafte Oberflächenschutz kann nur durch Pflanzen übernom-

men werden. Nach erfolgter Wiederbegrünung und Erstbestockung sind die Flächen nach forstlichen Gesichtspunkten im Sinne der Schutzwaldbewirtschaftung zu pflegen.

c) Zusätzliche Massnahmen

Abtrag von Abbruchkanten und übersteilen Partien, Entwässerungsmassnahmen, Verbau von Kleingerinnen und Einbau von zusätzlichen Stützwerken erfolgen vor, während und nach den eigentlichen Stabilisierungsarbeiten. Sie dienen der Vorbereitung von Rutschflächen und Runsen für den Verbau, der Verbesserung von Standortbedingungen für die Pflanzen, dem Schutz vor lokalen Schäden an Fundamenten sowie dem Unterhalt der Systeme.

4.2 Auswahl Baumaschinen und Geräte

Die Zugänglichkeit der Baustelle ist entscheidend für die Auswahl der erforderlichen Baumaschinen und Geräte. Folgende Maschinen und Geräte sind (besonders für Holzkasten und Hangroste) einsetzbar:

- Raupenbagger mit schwenkbarem Aushub- und Planiekübel.
- Schreitbagger mit Teleskoparm, Radantrieb, Seilwinde, etc.
- Kompressor oder Benzinbohrhammer für Anker- und Sprengarbeiten.
- Grabenwalze oder Plattenvibrator für Verdichtung.
- Für Holztransport: Rückefahrzeug mit Seilwinde, Seilkran, Helikopter.
- Kleingeräte: Motorsäge, Eder-Zusatzgerät an Motorsäge, Bohrgerät, Wasserpumpe, Kleinseilwinde, Schürfkübel.

4.3 Bereitstellung der Baumaterialien

4.3.1 Holz

- Die bei uns vorkommenden Holzarten haben unterschiedliche Resistenz gegen Fäule. Nachstehende Holzarten sind geeignet:

Tab. 8. Dauerhaftigkeit einiger einheimischer Holzarten, eingeteilt in Klassen aufgrund der Lebensdauer von Holzstäben (5 x 5 cm) in Berührung mit dem gewachsenen Boden (nach FINDLAY 1962, zit. in BOSSHARD 1984).

Dauerhaftigkeit (Klassen)	sehr dauerhaft	dauerhaft	mässig dauerhaft	nicht dauerhaft	hinfällig
Lebensdauer bei Feldversuchen	>25 Jahre	15–25 Jahre	10–15 Jahre	5–10 Jahre	<5 Jahre
Holzart	Eibe	Edelkastanie Eiche Robinie	Lärche Douglasie Föhre	Fichte Tanne Esche Ulme Pappel	Splintholz allgem. Erle Buche Hagebuche Birke Ahorn Weide

(aus Quelle 2)

Aufgrund dieser Erkenntnisse ist es sehr wichtig, dass Fichten- und Tannenholz immer zugedeckt wird (dauernde Feuchtigkeit → langsamere Fäulnis)

- **Qualitätsmerkmale:**
 - gesund (keine Rot- und Faulstellen).
 - frisch (auch frisches Käferholz kann unbedenklich verwendet werden).
 - keine grösseren Krümmungen.
 - geringe Abholzigkeit
 - für grössere Bauwerke ist die Erstellung einer Liste vorteilhaft.

- **ENTRINDUNG:**

Zur Frage, welchen Einfluss die Entrindung auf die Lebensdauer der Schutzbauten ausübt, existieren verschiedene Ansichten.
Bekanntlich ist heute der Kostendruck sehr gross, weshalb vielfach auf die Entrindung verzichtet wird. Im Weiteren sind die entrindeten Stämme nur sehr schwer begehbar (Arbeitssicherheit).
Für eine Entrindung sprechen insbesondere die bessere Präzision der Verbindungen und der etwas geringere Befall durch Insekten.
Wir empfehlen das folgende Vorgehen:

 - Entrindung der Verbindungsstellen, damit möglichst gute Verbindungen entstehen.
 - Eventuell Entrindung aller weiteren luftseitigen Holzteile.
 - Entrindung von Hand auf der Baustelle (Maschinelle Entrindung verletzt den Holzkörper zu stark → schnellere Fäule).

Die **Vorteile** der Verbauungen mit **Holz** sind sehr vielfältig:

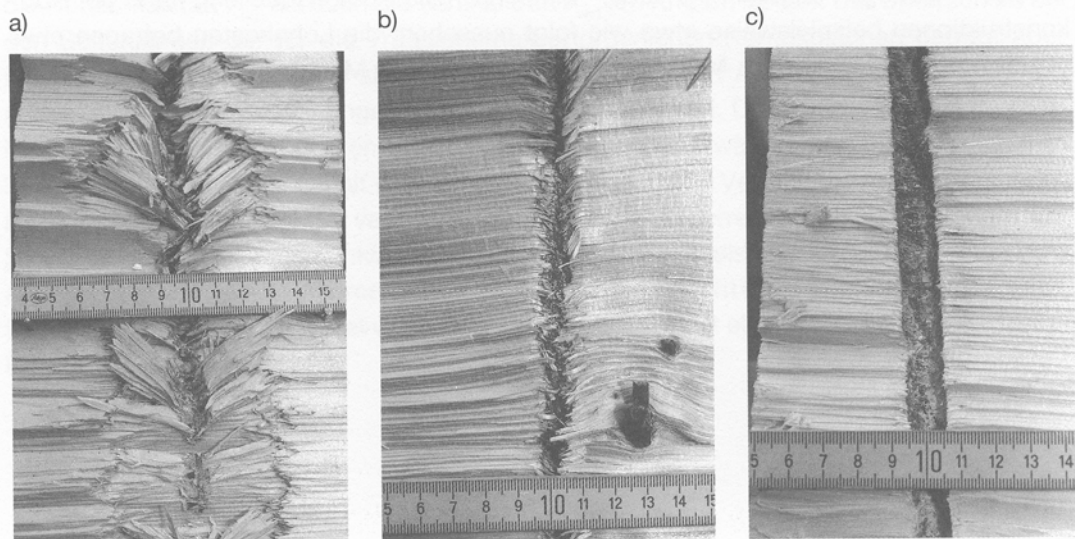
- Rasche Erstellung mit einfachen Mitteln.
- Gute Anpassung an das umliegende Gelände.
- Leichter Baustoff, praktisch keine zusätzlichen Belastungen des Baugrundes.
- Bauwerke sofort voll belastbar nach Fertigstellung.
- Verwendung eines erneuerbaren und einheimischen Baustoffes, der meist in nicht zu weiter Entfernung verfügbar ist.
- Eignet sich sehr gut für Kombination mit Steinen und Verankerungen mit Seilen.

Nachteile der Verbauungen mit **Holz** (nicht geeignet):

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

4.3.2 Stahlnägel

- Zur Vernagelung der Holzteile werden Armierungseisen \varnothing 12-16 mm (normalerweise \varnothing 14 mm), in verschiedenen Längen von 40, 50 und 60 cm Längen verwendet.
- Bisher war in der Praxis vor allem verbreitet, die Eisen ungespitzt einzuschlagen, weil sie einfacher zu platzieren waren, nicht verzogen und das Holz nicht spalteten.
- Neueste Untersuchungen haben gezeigt, dass ungespitzte Eisen das Holz stark schädigen und für die Fäulnisprozesse zugänglicher machen. Mit gespitzten Nägeln sind die Schäden kleiner, am Besten sind Vernagelungen, die vorgebohrt wurden (2mm kleinerer Bohrer als der Durchmesser des Eisens)



(aus Quelle 2)

Abb. 29. Einfluss der Art der Vernagelung mit Armierungseisen \varnothing 12 mm auf Holzverletzungen:

(Bilder: F. Ammann, Bollingen).

a) nicht gespitzt und nicht vorgebohrt,

b) gespitzt und nicht vorgebohrt,

c) vorgebohrt

- In zukünftigen Verbauungen sollte geprüft werden, die Vernagelungsstellen mindestens vorzubohren.

4.3.3 Verankerungseisen

- Für die Verankerung im Fels empfehlen wir die Verwendung von Ankereisen $d = 40$ mm.
- Im Lockermaterial können im Notfall auch V-Profile verwendet werden, wir empfehlen aber eher den Einsatz von Einrammankern.

4.4 Beschaffung von geeignetem Pflanzenmaterial

4.4.1 Pflanzenwahl und ihre Verwendung

Die richtige Wahl des Pflanzenmaterials ist Grundvoraussetzung für das gute Gelingen von ingenieurb biologischen Massnahmen. Dabei ist insbesondere auf die Standortsansprüche der einzelnen Pflanzen zu achten.

Generell gilt für die Anwendung: Der Anwendungsbereich richtet sich nach dem Verbreitungsgebiet der eingesetzten Gehölze. Oberhalb 1400 m wird es schwierig und oberhalb 1600 m gar unmöglich.

Gerade in der Ingenieurbiologie ist eine grösstmögliche Vielfalt an Pflanzenarten sehr wichtig, weil:

- dadurch ein stufiger Wurzelhorizont aufgrund der unterschiedlichen Bewurzelungstiefe entsteht.
- der Ausfall einer Art den Fortbestand einer Verbauung nur wenig gefährdet.

Als Ast- und Stecklingsmaterial versprechen vor allem diverse Weidenarten einen guten Anwuchserfolg, insbesondere Purpur-, Reif- und Korbweiden (Anwuchserfolg 90-100 %). Weiter sind auch Schwarzpappel und Liguster noch gut zu verwenden (Anwuchserfolg 65 %).

**Nicht als Stecklingsmaterial eignen sich
Weisserle, Alpenerle, Berberitze und Salweide.**

Falls in der Nähe der Verbauungsfläche erfolgreiche Grünverbauungen ausgeführt wurden, kann aus diesen Flächen eventuell geeignetes Ast- und Stecklingsmaterial gewonnen werden.

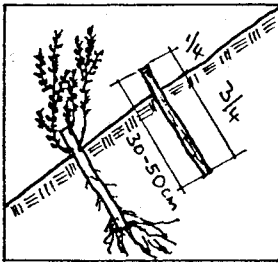
Für den Einbau von bewurzelten Pflanzen (Heckenlagen) erfolgt die Wahl der Pflanzenarten aufgrund ihrer Standortsansprüche, ihrer bodenfestigenden Wirkung und der Resistenz gegen Verschüttung, Steinschlag, Kriechschnee, etc.

**Folgende Pflanzen sind relativ gut geeignet für den Heckenlagenbau (bewurzelt):
Bergahorn, Weisserle, Grünerle, Vogelbeere, Esche,
Weidenarten, Liguster, Berberitze.**

Für die **Verwendung** von Stecklingsmaterial zeigt sich in der Praxis, dass der "dickere" Steckling wegen seines besseren Starts höhere Zuwachseleistungen aufweist und weniger schnell austrocknet. Vor allem die im Grünverbau entscheidenden Wurzellängen steigen entsprechend dem Stecklingsvolumen bzw. der Stecklingslänge.

Es ist immer auf saubere Schnittstellen und Verletzungen zu achten!

➤ **senkrecht zum Hang** eingebrachte Stecklinge (Einzelstecklinge):



(aus Quelle 6)

- Länge 30-50 cm, $\frac{3}{4}$ - $\frac{4}{5}$ dick-örtig im Boden, \varnothing 1-5 cm.
- Schnittfläche oben rechteckig, im Boden auch schräg.
- 3-5 Stück pro m^2 im Boden einpressen, sonst verlocken.
- ⇒ Bewurzelung vorwiegend an der unteren Schnittfläche.

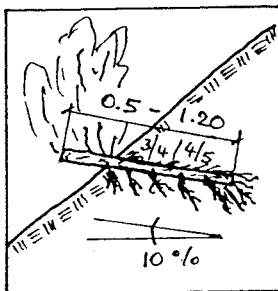
Anwendung:

- als Übergang zwischen Stabil- und Deckbauweisen.
- an Böschungen.
- an flachgründigen, steinigen Standorten.

➤ **Wichtig:**

Stecklinge nicht einschlagen! Das Erdreich muss mit einem dicken Eisen vorgelocht werden. Den Steckling anschliessend von Hand hineindrücken.

➤ **flach** eingebrachte Stecklinge (Buschlagen):



(aus Quelle 6)

- Länge 0.5-1.2 m, $\frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{5}$ dick-örtig im Boden.
- \varnothing 1-10 cm untereinander mischen.
- Schnittfläche rechteckig.
- ⇒ Bewurzelung an seiner ganzen von Erde bedeckten Länge.

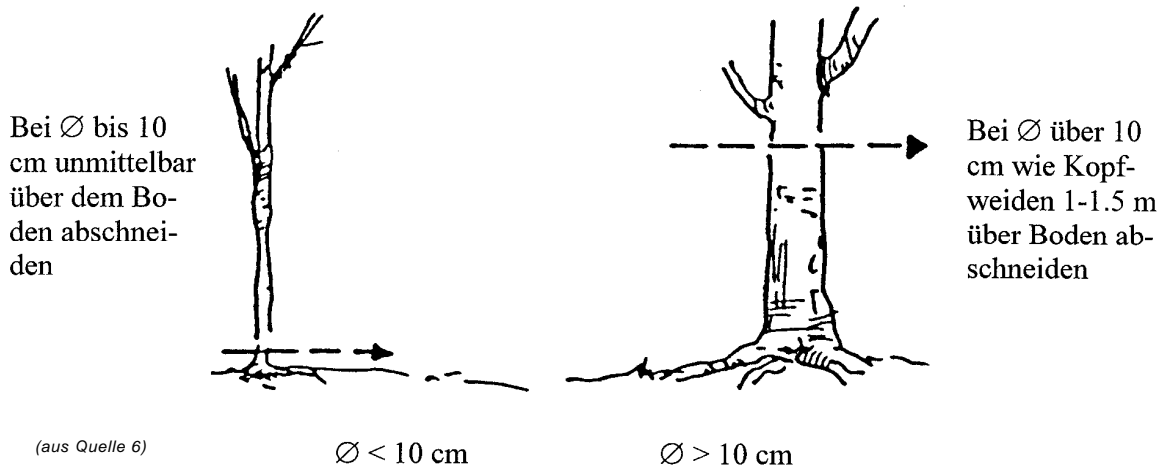
Anwendung:

- an instabilen, rutschgefährdeten Stellen.

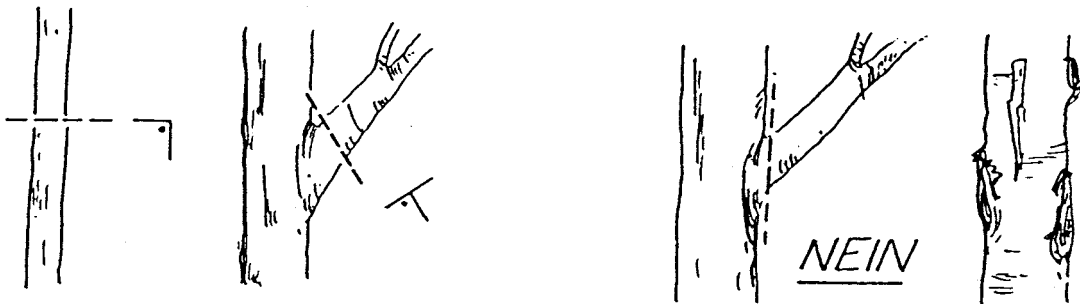
4.4.2 Gewinnung, Lagerung und Transport des Pflanzenmaterials

Für die **Ernte** von Ast- und Stecklingsmaterial gelten folgende Grundsätze:

- *Ernte* am Besten während der Vegetationsruhe.
- je kürzer der Zeitraum zwischen Ernte und Einbau, desto besser.
- *Rutenstärken* zwischen 1 cm und ca. Armdicke.
- möglichst lange Ruten, Äste und Stecklinge wären wünschenswert, doch muss sparsam mit dem Material umgegangen werden.
- **Schnittmethoden:**



- **Schnittform:**



Der Schnitt soll glatt und die Schnittstelle möglichst klein sein.

(aus Quelle 6)

Nicht wie bei üblicher Entastung vorgehen und auf zusätzliche Verletzungen achten.

- *Ausgetriebenes oder angetriebenes Stecklingsmaterial* sollte grundsätzlich **nicht** oder wenigstens innerhalb weniger Stunden verwendet werden.

- **Transport:**

Grundsatz: Geschnittenes Astwerk in ganzer Länge auf die Baustelle transportieren und erst dort ablängen und zuschneiden. Ist dies nicht möglich, muss das Material während des Transportes vor Austrocknung geschützt werden (Schutz vor Austrocknung durch Fahrtwind: abdecken, anfeuchten etc.).

- **Lagerung** : Bei der Lagerung von lebendem Astmaterial ist auf folgende Punkte zu achten:
 - Wenn immer möglich, ist ein direkter Einbau des Astmaterials ohne Lagerung am besten.
 - Bereits austreibendes Astwerk darf nicht gelagert werden.
 - *kurzfristige Lagerung* am Ende der Ruhezeit in angetriebenem Zustand (max. eine Woche):
 - im Schatten.
 - mit Ästen, Blachen oder Erdmaterial abdecken.
 - ev. mit Wasser berieseln.
 - *langfristige Lagerung* bis weit in die Vegetationszeit hinein (Vegetationsruhe künstlich aufrecht erhalten):
 - tief in den Lawinenschnee stecken.
 - in kaltem Wasser lagern.
 - in befeuchteten Kühlräumen. Bei Lagerung in Kühlräumen muss sorgfältig auf genügende Feuchtigkeit geachtet werden (sonst Verminderung der Bewurzelungsfähigkeit), am besten durch Umhüllung mit feuchtem Gewebe oder Polyäthylensäcken. Regelmässig auf Pilzbefall kontrollieren.

4.5 Unterhaltsmassnahmen

Um eine lange Lebensdauer der Verbauungen zu gewährleisten, ist eine andauernde Kontrolle, Unterhalt und periodische Pflege der Verbaueflächen unerlässlich. Folgende Arbeiten sind dabei sehr wichtig:

➤ **Unterhalt von Rutsch- und Erosionsverbauungen**

- Die Rutsch- und Erosionsverbauungen sind dauernd zu überwachen und allfällige Schäden wenn möglich sofort zu beheben. Wird dies nicht ausgeführt, läuft man Gefahr, dass sich die Schadenstellen weiter ausweiten.
- Besonders kritisch sind die Verbauungen mit Holz, welche mit zunehmendem Alter durch das Vermorschen immer anfälliger werden. In diesem Fall sind die Verbausysteme zu erneuern. Optimale Wirkung erreichen die Rutsch- und Erosionsverbauungen aus Holz (Holzkästen, Hangroste, Schwellen) nur in Kombination mit ingenieurb biologischen Massnahmen. Dabei übernehmen die Pflanzen mit dem Alter teilweise die Stützfunktion des Holzes (vgl. Kap. 3.4.3).

➤ **Unterhalt ingenieurb biologischer Massnahmen**

Hier wird zwischen der Pflege für Stabilbauweisen und Deckbauweisen unterschieden.

- **Unterhalt und Pflege von Bauweisen mit Gehölzen (Stabilbauweisen)**
 - Kontrolle und Nachbesserung fehlerhafter Stellen (z.B. Risse durch Nachsetzungen, Erosionsschäden).
 - **Grundsatz:** Kleine festgestellte Schäden nach Möglichkeit **sofort** beheben!
 - Einzäunung gegen Beweidung.
 - Weiden alle 3-6 Jahre auf den Stock setzen (Erhaltung eines elastischen Weidengebüsches) oder periodische Ausdünnung der Weidenstangen.
 - Düngung auf nährstoffarmen Böden zur Verbesserung der Standortbedingungen.
- **Unterhalt und Pflege von Saaten (Deckbauweisen)**
 - Beregnung in Trockenzeiten.
 - Ausbesserung nicht begrünter Stellen.
 - Einzäunung gegen Viehtritt.
 - Evtl. Nachdüngung, insbesondere auf nährstoffarmen, kiesigen Böden.
 - Evtl. einmaliges Zurückschneiden zur Förderung des Wurzelwachstums.

Für üppiges Ausschlagen und Aufkommen des lebenden Astmaterials und der Stecklinge ist viel direktes Licht erforderlich. Falls die Verbaueflächen stark beschattet sind, muss mit begleitenden waldbaulichen Massnahmen mehr Licht auf den Boden gebracht werden.

5 Kosten

Die angegebenen Einheitspreise sind mit Vorsicht zu verwenden, da die Verhältnisse sehr unterschiedlich sein können. Die Preise ergeben sich aus Materialbedarf, Maschinen- und Personalaufwand. Durch Eigenleistungen resultieren geringere Kosten.

• Hangstützwerke, Rutschverbau	Einheit	Einheitspreis
– Holzkasten	m ³ Holz	450.- bis 800.- Fr
– Verankerter Hangrost	m ²	700.- bis 800.- Fr
– Steinblockmauer	m ²	100.- bis 180.- Fr
– Steinkörbe	m ²	220.- bis 280.- Fr
– Wände aus vorgefertigten Betonelementen	m ²	200.- bis 400.- Fr
• Oberflächenstabilisierung, Erosionsverbau		
– Leichte Hangroste	m ²	50.- bis 140.- Fr
– Schwellen	m ¹	60.- bis 150.- Fr
• Ingenieurbioologische Massnahmen		
– <i>Stabilbauweisen</i>		
einzelner Steckling (mit Versetzen)	Stck.	2.5 bis 4.- Fr
Buschlagen, l = 60 cm	m ¹	10.- bis 25.- Fr
Heckenlagen, 5 Stck. pro m ¹	m ¹	20.- bis 40.- Fr
Hecken-Buschlagen	m ¹	15.- bis 40.- Fr
Flechtzäune, h = 30 cm	m ¹	50.- bis 90.- Fr
Hangfaschine, d = 30 cm	m ¹	40.- bis 60.- Fr
– <i>Deckbauweisen</i>		
Spreitlagen	m ²	50.- bis 150.- Fr
Saaten und Begrünungen	m ²	1.- bis 3.- Fr
Rasenverlegung, mit Lieferung	m ²	20.- bis 40.- Fr
– <i>Ingenieurbioologie in Kombination mit Rutsch- und Erosionsverbau</i>		
begrünter Holzkasten, 1 m hoch	m ³	150.- bis 300.- Fr
begrünte Steinblockmauer	m ²	200.- bis 300.- Fr
begrünte Steinkörbe	m ²	250.- bis 320.- Fr
begrünte Schwelle	m ¹	80.- bis 200.- Fr

6 Quellenverzeichnis Bilder und Zeichnungen

Die im Handbuch dargestellten Bilder, Zeichnungen und Fotografien stammen aus den folgenden Quellen:

- Quelle 1 **Wildbach- und Hangverbau, Albert Böll, 1997** - Bericht Nr. 343, 1997 der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
- Quelle 2 **Holzkonstruktionen im Wildbach- Hang- und Runsenverbau, Albert Böll, Werner Gerber, Frank Graf, Christian Rickli, 1999** - Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
- Quelle 3 **Wald- und Güterstrassen, Viktor Kuonen, 1983**
- Quelle 4 **Normalien Wasserbau, Tiefbauamt des Kt. Bern, Oberingenieurkreis IV, 16. Juli 1992**
- Quelle 5 **Foto und Projektarchiv, Forstingenieurbüro Berwert-Lopes, 6063 Stalden**
- Quelle 6 **Foto und Projektarchiv, Amt für Wald und Raumentwicklung OW, 6060 Sarnen**
- Quelle 7 **Planarchiv WSL, Abt. Verbauwesen und Nüsch+Amman AG**

Der Quellenverweis (*aus Quelle x*) auf der unteren linken Ecke der Darstellungen bezieht sich jeweils auf diese nummerierte Zusammenstellung.

Anhang 1: Tabelle nach VSS für Bodenkennwerte

Tabelle (nach VSS-Stützmauertabelle)

USCS	Geotechnische Bezeichnung	Mittlere Kornverteilung (mm)						Konsistenzgrenzen			Raumgewicht, Wassergehalt, Porosität			Scherfestigkeit			Durchlässigkeitskoeffizient	Boden nach Proctor verdichtet					
		0-0,002		0,002-0,006		0,06-2,0		2,0-60,0		W _L	W _p	IP	γ	w	n	φ			c	u	k	W _{opt}	γ _{d opt}
		Ton	Silt	Sand	Kies	W _L	W _p	IP	γ														
GW	Sauberer Kies (gut abgestuft)	0	2	26	72	—	—	—	—	—	—	2,00 ±0,25	5 ±3	30 ±6	40	0	—	—	10 ^{+1...10⁻²}	8	2,10 ±0,10		
GP	Sauberer Kies (schlecht abgestuft)	Mittelwerte ähnlich wie bei GW																					
GM	Siltiger Kies (mit wenig Feinanteilen)	2	8	30	60	17	13	4	—	—	—	1,90 ±0,30	3 ±2	32 ±8	38	0	—	—	10 ^{+1...10⁻²}	9	2,05 ±0,10		
GC	Toniger Kies (mit wenig Feinanteilen)	3	9	23	65	25	15	10	—	—	—	2,10 ±0,25	8 ±5	28 ±8	36	0	—	—	10 ^{-3...10⁻⁶}	9	2,10 ±0,15		
GM-ML	Siltiger Kies (mit viel Feinanteilen)	4	20	33	43	14	11	3	—	—	—	2,05 ±0,20	11 ±6	32 ±8	34	0	*	*	10 ^{-6...10⁻⁸}	14	1,90 ±0,25		
GM-GC	Siltiger bis toniger Kies	6	22	30	42	19	13	6	—	—	—	2,15 ±0,20	11 ±6	28 ±8	33	0,2 ±0,2	*	*	10 ^{-3...10⁻⁶}	8	2,15 ±0,10		
GC-CL	Toniger Kies (mit viel Feinanteilen)	8	23	28	41	26	15	11	—	—	—	2,10 ±0,20	14 ±6	32 ±8	29	0,3 ±0,3	*	*	10 ^{-6...10⁻⁸}	9	2,10 ±0,10		
GC-CH	Toniger Kies (mit Feinanteilen hoher Plastizität)	10	23	29	38	57	23	34	—	—	—	1,95 ±0,20	20 ±10	40 ±10	28	0,4 ±0,4	*	*	10 ^{-6...10⁻⁸}	11	1,95 ±0,15		
SW	Saubere Sand (gut abgestuft)	0	2	76	22	—	—	—	—	—	—	1,95 ±0,20	13 ±10	36 ±10	38	0	—	—	10 ^{0...10⁻³}	9	2,05 ±0,20		
SP	Saubere Sand (schlecht abgestuft)	Mittelwerte ähnlich wie bei SW																					
SM	Siltiger Sand (mit wenig Feinanteilen)	2	9	75	14	26	22	4	—	—	—	2,00 ±0,25	17 ±10	37 ±10	34	0	—	—	10 ^{-3...10⁻⁶}	11	1,95 ±0,25		
SC	Toniger Sand (mit wenig Feinanteilen)	5	7	76	12	25	15	10	—	—	—	1,95 ±0,20	20 ±10	40 ±10	32	0	*	*	10 ^{-6...10⁻⁸}	1) 1)	1)		
SM-ML	Siltiger Sand (mit viel Feinanteilen)	4	28	60	8	15	12	3	—	—	—	2,00 ±0,20	20 ±9	38 ±9	34	0	—	—	10 ^{-3...10⁻⁶}	9	2,05 ±0,25		
SM-SC	Siltiger bis toniger Sand	9	32	45	14	19	13	6	—	—	—	2,10 ±0,20	15 ±8	32 ±10	31	0,5 ±0,5	*	*	10 ^{-6...10⁻⁸}	10	2,00 ±0,25		
SC-CL	Toniger Sand (mit viel Feinanteilen)	9	30	43	18	25	15	10	—	—	—	2,05 ±0,20	19 ±10	36 ±11	28	0,5 ±0,5	*	*	10 ^{-6...10⁻⁸}	15	1,85 ±0,15		
SC-CH	Toniger Sand (Feinanteile hoher Plastizität)	12	31	54	3	57	23	34	—	—	—	1,85 ±0,20	35 ±15	49 ±10	27	1,0 ±1,0	*	*	10 ^{-6...10⁻⁸}	1) 1)	1)		
ML	Silt	6	64	29	1	30	26	4	—	—	—	1,90 ±0,25	32 ±21	47 ±15	33	0	(*)	(*)	10 ^{-3...10⁻⁶}	1) 1)	1)		
CL-ML	Silt bis toniger Silt	12	58	26	4	20	14	6	—	—	—	2,10 ±0,25	19 ±8	35 ±8	30	1,5 ±1,0	*	*	10 ^{-5...10⁻⁸}	1) 1)	1)		
CL	Siltiger Ton	20	61	16	3	33	17	16	—	—	—	2,00 ±0,15	25 ±10	41 ±8	27	2,0 ±1,0	**	**	10 ^{-6...10⁻⁸}	14	1,85 ±0,15		
CH	Ton	22	59	18	1	64	25	39	—	—	—	1,75 ±0,15	47 ±24	56 ±8	22	2,5 ±1,0	**	**	10 ^{-6...10⁻⁸}	1) 1)	1)		
OL	Toniger Silt (mit organischen Beimengungen)	8	70	21	1	42	29	13	—	—	—	1,70 ±0,15	48 ±13	57 ±8	25	1,0 ±0,5	(*)	(*)	10 ^{-4...10⁻⁶}	1) 1)	1)		
OH	Ton (mit organischen Beimengungen)	12	70	17	1	71	40	31	—	—	—	1,55 ±0,15	68 ±22	66 ±8	22	1,0 ±0,5	**	**	10 ^{-6...10⁻⁸}	1) 1)	1)		
MH	Spezielle Silte, zum Beispiel Seekreide	10	65	25	0	68	38	30	—	—	—	1,55 ±0,15	73 ±20	67 ±7	24	0,5 ±0,5	(*)	(*)	10 ^{-4...10⁻⁶}	1) 1)	1)		

Bezeichnungen:
 WL Fließgrenze
 Wp Ausrollgrenze
 IP Plastizitätsindex
 γ Feuchtraumgewicht
 w Wassergehalt
 n Porosität
 φ Reibungswinkel
 c Kohäsion
 u Porenwasserspannung
 * Schwacher Einfluss der Porenwasserspannung auf die Scherfestigkeit
 ** Starker Einfluss der Porenwasserspannung auf die Scherfestigkeit
 k Durchlässigkeitskoeffizient
 W_{opt} optimaler Wassergehalt
 γ_{d opt} optimales Raumgewicht
 1) Die Verdichtung der Böden ist schwierig; die Proctorkurve ist von Fall zu Fall zu bestimmen

Anhang 2: Tabellen zur Ermittlung von Holzkubaturen für Holzkasten und Hangroste

Im nachfolgenden sind die Tabellen für folgende Stützwerke beigelegt:

- Doppelter Holzkasten
- Doppelter Holzkasten, ausgefacht
- Einfacher Holzkasten
- Einfacher Holzkasten, ausgefacht
- Hangrost
- Verankerte Schwellen

Auf Wunsch können die Tabellen auch als EXCEL - Datei bezogen werden.
Bitte senden Sie dazu ein Email an admin@belop.ch.

Berechnung Holzkubatur**Doppelter Holzkasten****Eingaben:**

Tiefe, t=	2	m			
Längsholz, d=	0.35	m	A=	0.096 m ²	10 m/m ³
Zangen, d=	0.25	m	A=	0.049 m ²	20 m/m ³
Reserve	0%				

Ergebnisse in m³

Länge des Holzkastens	Höhe des Holzkastens					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
4	0.8	1.7	2.5	3.4	4.2	5.1
5	1.1	2.1	3.2	4.2	5.3	6.3
6	1.3	2.5	3.8	5.1	6.3	7.6
7	1.5	3.0	4.4	5.9	7.4	8.9
8	1.7	3.4	5.1	6.8	8.5	10.1
9	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5	11.4
10	2.1	4.2	6.3	8.5	10.6	12.7
12	2.5	5.1	7.6	10.1	12.7	15.2
14	3.0	5.9	8.9	11.8	14.8	17.8
16	3.4	6.8	10.1	13.5	16.9	20.3
18	3.8	7.6	11.4	15.2	19.0	22.8
20	4.2	8.5	12.7	16.9	21.1	25.4
22	4.7	9.3	14.0	18.6	23.3	27.9
24	5.1	10.1	15.2	20.3	25.4	30.4
26	5.5	11.0	16.5	22.0	27.5	33.0
28	5.9	11.8	17.8	23.7	29.6	35.5
30	6.3	12.7	19.0	25.4	31.7	38.0

entsprechender Volumenfaktor: 0.21

Berechnung Holzkubatur**Doppelter Holzkasten
mit Ausfachung**

Eingaben:

Tiefe, t=	2	m			
Längsholz, d=	0.35	m	A=	0.096 m ²	10 m/m ³
Zangen, d=	0.25	m	A=	0.049 m ²	20 m/m ³
Reserve	0%				

Ergebnisse in m³

Länge des Holzkastens	Höhe des Holzkastens					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
4	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
5	1.2	2.5	3.7	5.0	6.2	7.4
6	1.5	3.0	4.5	6.0	7.4	8.9
7	1.7	3.5	5.2	6.9	8.7	10.4
8	2.0	4.0	6.0	7.9	9.9	11.9
9	2.2	4.5	6.7	8.9	11.2	13.4
10	2.5	5.0	7.4	9.9	12.4	14.9
12	3.0	6.0	8.9	11.9	14.9	17.9
14	3.5	6.9	10.4	13.9	17.4	20.8
16	4.0	7.9	11.9	15.9	19.9	23.8
18	4.5	8.9	13.4	17.9	22.3	26.8
20	5.0	9.9	14.9	19.9	24.8	29.8
22	5.5	10.9	16.4	21.8	27.3	32.8
24	6.0	11.9	17.9	23.8	29.8	35.7
26	6.5	12.9	19.4	25.8	32.3	38.7
28	6.9	13.9	20.8	27.8	34.7	41.7
30	7.4	14.9	22.3	29.8	37.2	44.7

entsprechender Volumenfaktor: 0.25

Berechnung Holzkubatur**Einwandiger Holzkasten****Eingaben:**

Tiefe, t=	2	m			
Längsholz, d=	0.35	m	A=	0.096 m ²	10 m/m ³
Zangen, d=	0.25	m	A=	0.049 m ²	20 m/m ³
Reserve	0%				

Ergebnisse in m³

Länge des Holzkastens	Höhe des Holzkastens					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
4	0.5	1.0	1.6	2.1	2.6	3.1
5	0.7	1.3	2.0	2.6	3.3	3.9
6	0.8	1.6	2.4	3.1	3.9	4.7
7	0.9	1.8	2.8	3.7	4.6	5.5
8	1.0	2.1	3.1	4.2	5.2	6.3
9	1.2	2.4	3.5	4.7	5.9	7.1
10	1.3	2.6	3.9	5.2	6.6	7.9
12	1.6	3.1	4.7	6.3	7.9	9.4
14	1.8	3.7	5.5	7.3	9.2	11.0
16	2.1	4.2	6.3	8.4	10.5	12.6
18	2.4	4.7	7.1	9.4	11.8	14.2
20	2.6	5.2	7.9	10.5	13.1	15.7
22	2.9	5.8	8.7	11.5	14.4	17.3
24	3.1	6.3	9.4	12.6	15.7	18.9
26	3.4	6.8	10.2	13.6	17.1	20.5
28	3.7	7.3	11.0	14.7	18.4	22.0
30	3.9	7.9	11.8	15.7	19.7	23.6

entsprechender Volumenfaktor: 0.13

Berechnung Holzkubatur**Einwandiger Holzkasten
mit Ausfachung**

Eingaben:

Tiefe, t=	2	m			
Längsholz, d=	0.35	m	A=	0.096 m ²	10 m/m ³
Zangen, d=	0.25	m	A=	0.049 m ²	20 m/m ³
Reserve	0%				

Ergebnisse in m³

Länge des Holzkastens	Höhe des Holzkastens					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
4	0.7	1.3	2.0	2.7	3.4	4.0
5	0.8	1.7	2.5	3.4	4.2	5.0
6	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
7	1.2	2.4	3.5	4.7	5.9	7.1
8	1.3	2.7	4.0	5.4	6.7	8.1
9	1.5	3.0	4.5	6.0	7.6	9.1
10	1.7	3.4	5.0	6.7	8.4	10.1
12	2.0	4.0	6.0	8.1	10.1	12.1
14	2.4	4.7	7.1	9.4	11.8	14.1
16	2.7	5.4	8.1	10.8	13.4	16.1
18	3.0	6.0	9.1	12.1	15.1	18.1
20	3.4	6.7	10.1	13.4	16.8	20.2
22	3.7	7.4	11.1	14.8	18.5	22.2
24	4.0	8.1	12.1	16.1	20.2	24.2
26	4.4	8.7	13.1	17.5	21.8	26.2
28	4.7	9.4	14.1	18.8	23.5	28.2
30	5.0	10.1	15.1	20.2	25.2	30.2

entsprechender Volumenfaktor: 0.17

Berechnung Holzkubatur**Verankerter Hangrost****Eingaben:**

Feldgrösse	1.5	m			
Längsholz, d=	0.3	m	A=	0.071 m ²	14 m/m ³
Querholz, d=	0.25	m	A=	0.049 m ²	20 m/m ³
Reserve	0%				

Ergebnisse in m³

B Hangrost	H Hangrost				
	4	6	8	10	12
2	1.4	2.1	2.8	3.4	4.1
4	2.3	3.4	4.6	5.7	6.8
6	3.2	4.8	6.4	7.9	9.5
8	4.1	6.1	8.2	10.2	12.2
10	5.0	7.5	10.0	12.4	14.9
12	5.9	8.8	11.8	14.7	17.6
14	6.8	10.2	13.6	16.9	20.3
16	7.7	11.5	15.4	19.2	23.0
18	8.6	12.9	17.2	21.5	25.7
20	9.5	14.2	19.0	23.7	28.4
25	11.7	17.6	23.5	29.3	35.2
30	14.0	21.0	28.0	35.0	41.9

entsprechender Flächenfaktor 0.12

Berechnung Holzkubatur**Verankerte Schwellen****Eingaben:**

minimaler d=	0.25	m	A=	0.049 m ²	20 m/m ³
maximaler d=	0.35	m	A=	0.096 m ²	10 m/m ³
Reserve	0%				

Ergebnisse in m

Verbaufäche m ²	schräger Abstand zwischen Schwellen				
	2	2.5	3	3.5	4
25	13	10	8	7	6
50	25	20	17	14	13
75	38	30	25	21	19
100	50	40	33	29	25
125	63	50	42	36	31
150	75	60	50	43	38
175	88	70	58	50	44
200	100	80	67	57	50
250	125	100	83	71	63
300	150	120	100	86	75
350	175	140	117	100	88
400	200	160	133	114	100

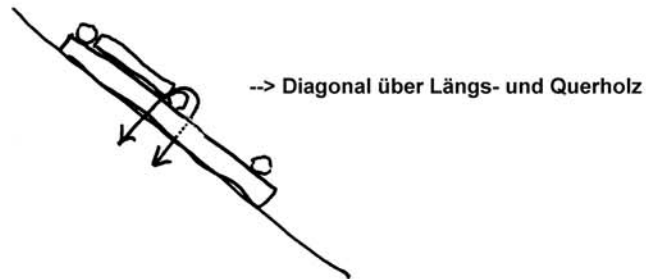
Anhang 3: Unterlagen zu Bindetechniken für Verankerung von Stützwerken mit Hilfe von Lockermaterialankern

Inhalt:

- Hangrost-Verankerung mit Manta-Ray
- Holzkasten-Verankerung mit Manta-Ray, Typ „Sachseln“
- Holzkasten-Verankerung mit Manta-Ray, Typ „Aretor, 1 Anker“
- Holzkasten-Verankerung mit Manta-Ray, Typ „Aretor, 2 Anker“
- Schwellen-Verankerung mit Manta-Ray, Typ „gebunden“
- Schwellen-Verankerung mit Manta-Ray, Typ „gebohrt“
- Ankertypen Manta-Ray und DuckBill
- Technische Daten zu den Manta-Ray - Lockermaterialankern
Haltekräfte für Erdanker Manta-Ray Typ MR-1 und MR-2
Angaben für Bohrdurchmesser in harten Böden

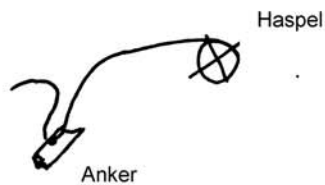
Hangrostverankerung mit Manta-Ray - Anker

1. Wo ?

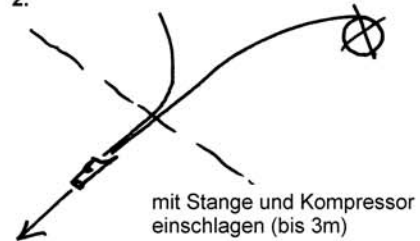


2. Wie binden ?

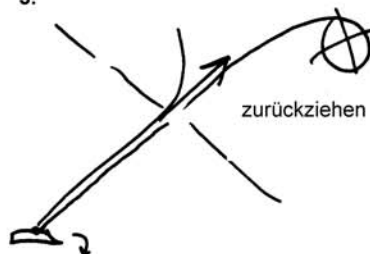
1.



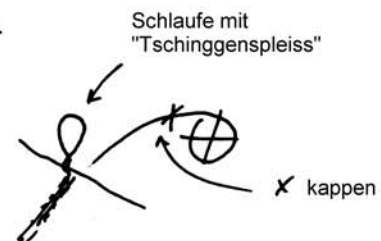
2.



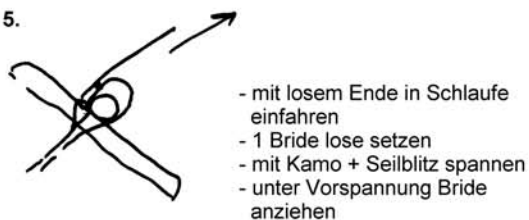
3.



4.



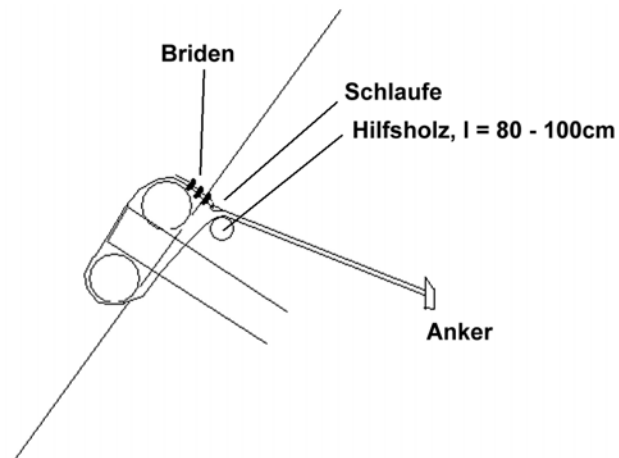
5.



6.



Holzkasten-Verankerung mit Manta-Ray, Typ „Sachseln“



Vorgehen:

1. Seil ab Haspel mit dem lose eingezogenen MR, am Seilende mit einem Lättsch („Tschingenspleiss“).
2. Anker schlagen und verriegeln (Lättsch am Haken des Baggerlöffels einhängen, ebenfalls den Seilblitz, der das andere Seilende fixiert, dann anziehen).
3. Das lose Ende des Seils im Seilblitz einhängen, dann ziehen bis der „Lättsch“ ca. auf das Hilfsholz zu liegen kommt.
4. Mit dem losen Seil zuerst unter dem unteren, dann über dem oberen Längsholz fahren und dann zurück zum „Lättsch“.
5. Loses Ende im „Lättsch“ einfahren, im Seilblitz einhängen. Eine Bride lose setzen. Dann mit der Baggerschaufel ziehen, um den Anker zu spannen.
→ unter Vorspannung die vorbereitete Bride anziehen, dann zwei weitere Briden setzen und anziehen

TIPP: Anker neben einer Zange setzen (nicht in der Feldmitte!!), damit er nicht entspannt wird, wenn der Schreitbagger auf den Holzkasten steigt.

Holzkasten-Verankerung mit Manta-Ray, Typ „Aretor, 1 Anker“

HOLZKASTEN-VERANKERUNG MIT MANTA-RAY ERDANKER

(Variante mit 1 Anker)

ARBEITSABLAUF (mit je 1 Anker pro Bund)

Bild A

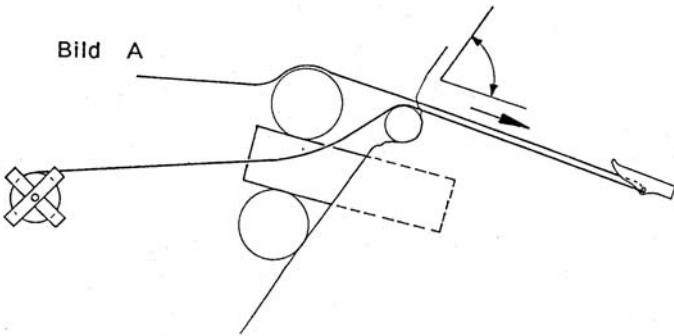


Bild A

- Vorbereiten des Untergrundes, eingraben der Zangenhölzer. Die Stämme müssen möglichst durchgehend auf dem Untergrund aufliegen.
- Einrammen eines Ankers (z.B. Manta-Ray Typ MR-2A) unter einem Winkel $\leq 90^\circ$ (ca. 80°) mit doppelter Seilführung (Seildurchmesser z.B. 13 mm). Einrammtiefe ca. 3 m. Das Seil muss so lang gewählt werden, dass das freie Ende für die Schlinge um den oberen Baum reicht, plus ca. 1,5 m.
- Einbau eines Lagerholzes (l ca. 1 m)

Bild B

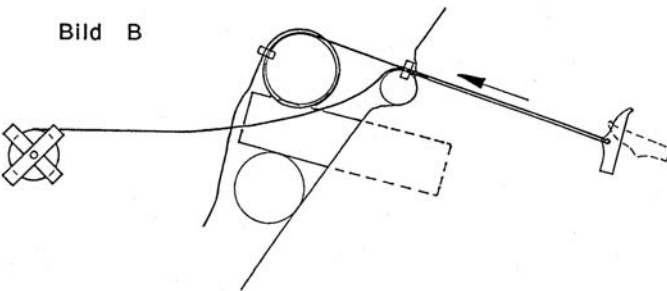


Bild B

- Hinter dem Lagerholz eine Bügelseilklemme anbringen ohne festzuziehen. Umschlingen des oberen Stammes mit dem freien Seil und am ende des Seiles 1 Bügelseilklemme anbringen.
- Am anderen Seilende ziehen (Stockwinde) und Anker im Boden verriegeln. Unter Last die Bügelseilklemme hinter dem Lagerholz festziehen.

Bild C

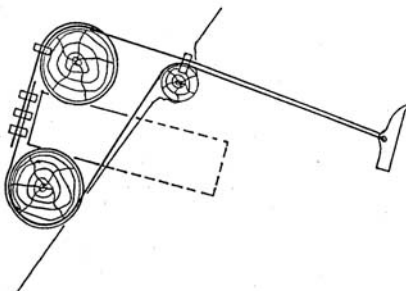
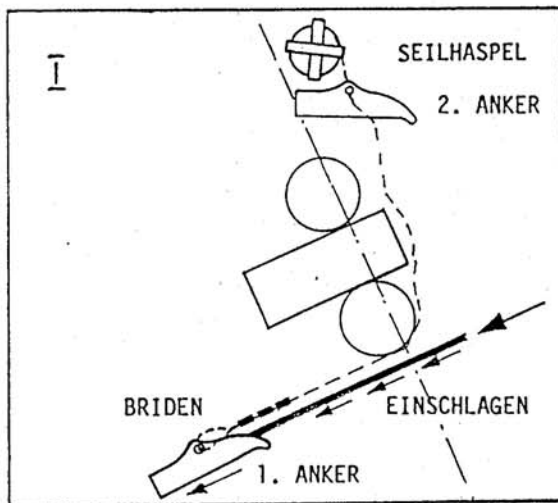


Bild C

- Seil ablängen und den unteren Stamm umschlingen. Die 2 Seilenden unter Spannung miteinander verbriden (min. 2 Bügelseilklemmen).

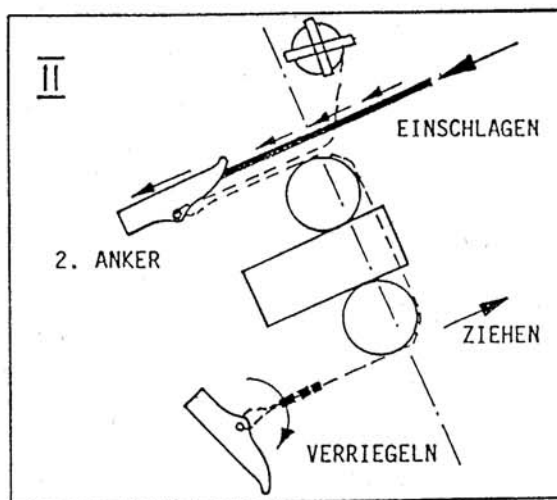
2.10.96 HB

Holzkasten-Verankerung mit Manta-Ray, Typ „Aretor, 2 Anker“

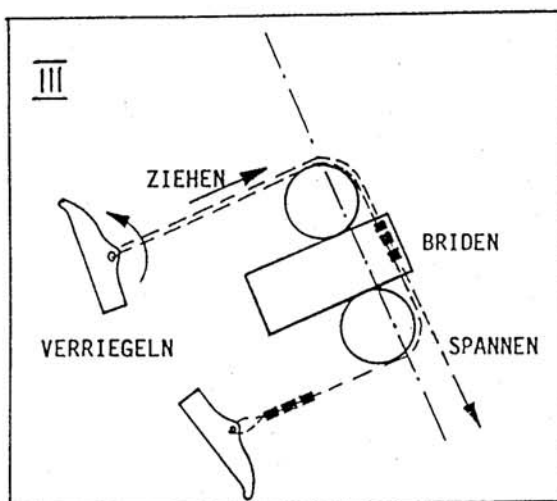


VERANKERUNG VON EINSEITIGEN HOLZKAESTEN MIT DUCKBILL/MANTA-RAY ERDANKER

Durchziehen des Seils durch beide Anker, fixieren des einen Ankers am Seilende mittels Seilbriden und einschlagen des ersten Ankers mittels Abbauhammer.
Herausziehen des Rammgestänges.



Verriegeln des ersten Ankers durch ziehen am Seil mittels Stockwinde.
Einschlagen des zweiten Ankers.

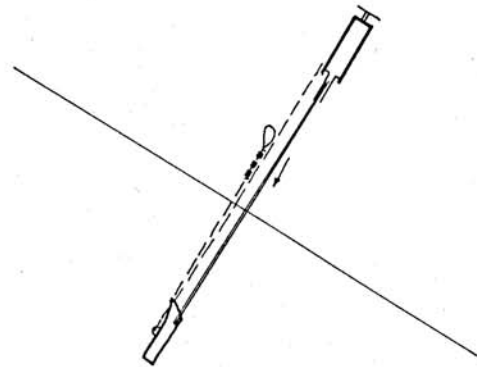


Verriegeln des zweiten Ankers.
Unter Spannung die Seile mit Briden fixieren und Seil abtrennen.

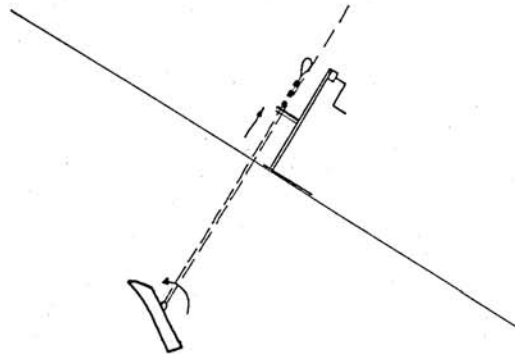
Schwellen-Verankerung mit Manta-Ray, Typ „gebunden“

Verankern von einlagigen Hölzern mit Erdanker (Manta Ray)

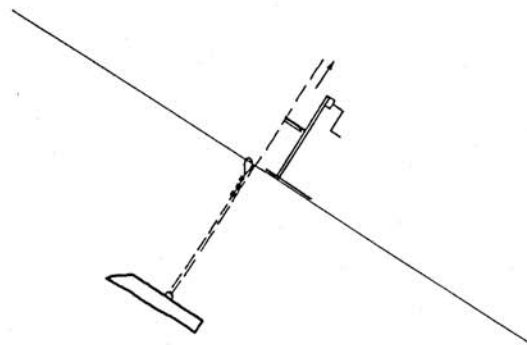
- 1 Seil doppelt führen.
Am einen Ende Kausche einbringen.
Anker ca. 3m tief schlagen.
Rammgestänge ziehen.



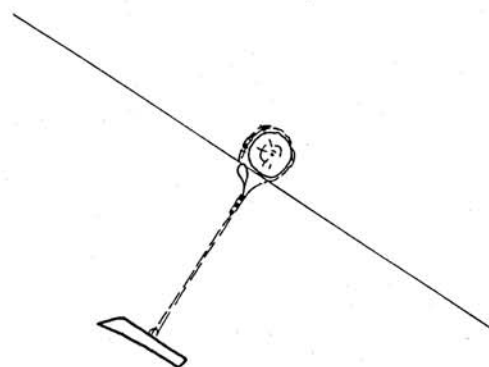
- 2 Spannen des Ankers.
An beiden Seilenden ziehen.



- 3 Am einen Seilende ziehen,
bis die Kausche des anderen Endes
satt auf der Erdoberfläche liegt.

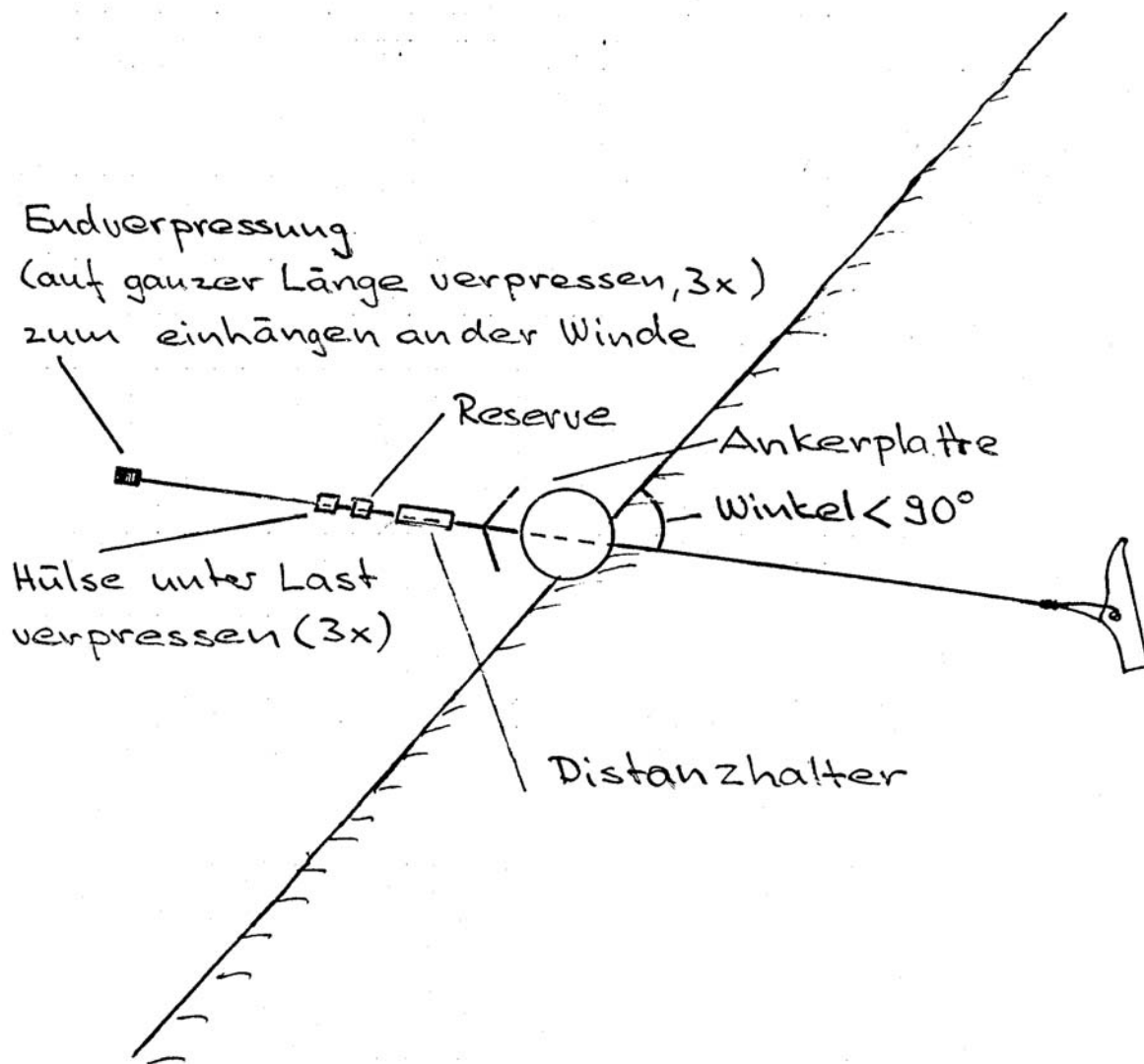


- 4 Seil um das Holz und durch die
Kausche ziehen. Unter Spannung
das Seil verbriden.



Schwellen-Verankerung mit Manta-Ray, Typ „gebohrt“

Verankerung von Rundhölzern



14.5.97 JB

Anker-Typen Manta-Ray - Lockermaterialanker

MANTA RAY REVOLUTIONIZES ANCHORING TECHNOLOGY



MR-SR



MR-1



MR-2



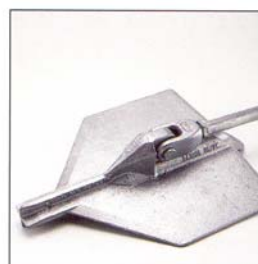
MR-3



MR-4



88-SD1

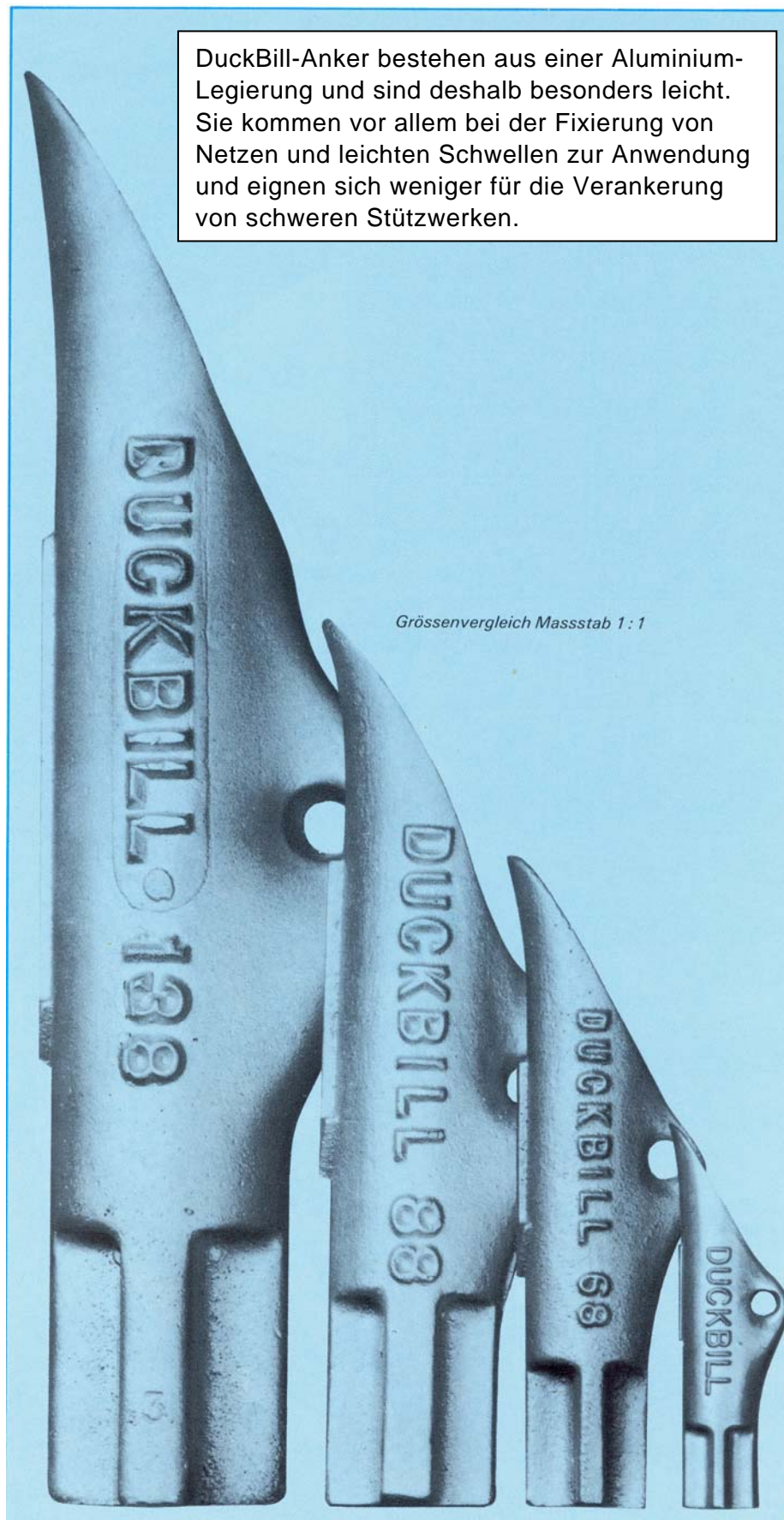
Figure 1
DRIVE POSITIONFigure 2
GAD REMOVEDFigure 3
LOAD LOCK POSITION

Manta-Ray - Anker werden in einem Sphäroguss-Verfahren (Globaler Grauguss, Abkz. GGG) hergestellt und später verzinkt. Sie eignen sich aufgrund ihrer Härte besonders gut für die Anwendungen im Hangverbau.

Am meisten kommen die Typen MR-2, MR-3 und MR-4 zur Anwendung.

Ohne Schäkel für die Gewindestange tragen die Anker die Bezeichnungen MR-4a, MR-3a etc. Sie haben eine einfache Öse für das Durchziehen des Verankerungsseils.

Anker-Typen DuckBill - Lockermaterialanker



Technische Daten zu den Manta-Ray Anker

MANTA-RAY ERDANKER - TECHNISCHE DATEN

	MK-B	MR-SR	MR-1	MR-2	MR-3-20G	MR-4-20G	88-SD1
- Mögliche Haltekapa- zität * kN	45 - 90	45 - 90	36 - 90	22 - 90	13 - 36	9 - 36	4,5 - 22 <i>Es kann sein max 20 kN</i>
** Festigkeit des Ankers kN	90	90	90	90	45	36	22
** Sicherheitsfaktor	2	2	2	2	2	2	2
- Ankeroberfläche cm2 (Projektion)	2594	916	458	265	213	108	65
- Gewicht inkl. Schäkel kg	36,3	9,5	5,5	4,5	2,9	2,2	0,9
- Ankergewinde	M20(-32)	M20(-32)	M20(-32)	M20(-32)	M16(-24)	M16(-24)	M12
- Ankermaterial	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG
- Schäkelmaterial	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG
- Schäkelbolzen	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl
- Oberfläche	verz.	verz.	verz.	verz.	verz.	verz.	verz.
- Installationstiefe m	2,1-9,1	2,1-9,1	1,8-6,1	1,5-6,1	1,5-6,1	1,2-6,1	0,9-1,8

* diese Haltekraft sind von der Belastbarkeit des Bodens abhängig.

** die Festigkeit der Anker ist definiert als maximale zulässige Last bei einer 2-fachen Sicherheit der Anker, ohne Berücksichtigung der Bodentragfähigkeit.

ARETOR Baugeräte AG

Weberstrasse 66
8134 Adliswil

16.12.94 #R

Haltekräfte Manta-Ray Anker vom Typ MR 1 und MR2

RICHTWERTE FÜR MANTA-RAY ERDANKER TYP MR-1 und MR-2 BEZOGEN AUF DIE BODENBESCHAFFENHEIT

Boden Klasse	Beschreibung des Bodens	Richtwerte für Haltekräfte in kN
1	Fels	—
2	Schiefer, Sandstein, Nagelfluh	142 bis 178
3	dichter Sand, Schiefer, dicht gelagerter Kies mit Feinteilen, brüchiger Fels, sehr fester trockener Lehm	116 bis 142
4	Sehr harter Lehm oder Ton, dichter Sand, Kies	98 bis 120
5	harter Lehm, Sand, Kies	80 bis 100
6	Lehm, Ton, Silt, Sand	67 bis 85
7	Lehm, Ton, Silt, Sand	35 bis 62
8	weicher Lehm, loser Sand, Humus	—

ARETOF: Baugeräte AG
Weberstrasse 66

8134 Adliswil

30.1.1995 HB

Diese Angaben beziehen sich auf "gewachsene" Böden bei einer Einrammtiefe von ca. 2.5 m. Je nach Wassergehalt und Tiefe können die Werte abweichen.

Angabe von Bohrdurchmessern in harten Böden

DURCHMESSER FUER ENTSPANNUNGSBOHRUNGEN RESP. FREIBOHRUNGEN IN
HARTEN BOEDEN FUER DUCKBILL- UND MANTA RAY-ERDANKER

Für die Anker-Installation in harten Böden hilft oft eine Entspannungsbohrung oder eine Freibohrung (voller Querschnitt der Anker).

DUCKBILL

Modell	Freibohrung Durchmesser	Entspannungsbohrung min. Durchmesser
40 DB	22 mm	19 mm
68 DB	38 mm	32 mm
88 DB	57 mm	51 mm
138 DB	70 mm	64 mm

MANTA RAY

Modell	Freibohrung Durchmesser	Entspannungsbohrung min. Durchmesser
88 SD	76 mm	70 mm
MR 4	102 mm	89 mm
MR 3	102 mm	89 mm
MR 2	102 mm	102 mm
MR 1	178 mm	102 mm
MR SR	305 mm	102 mm

16.12.94 AB

ARETOR Baugeräte AG
Weberelstrasse 66
8134 Adliswil