



Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

INGENIEURBIOLOGISCHE HANGSICHERUNGSMASSNAHMEN IN WILDBACHEINZUGSGEBIETEN – BESTANDESENTWICKLUNG UND LANGFRISTIGE WIRKSAMKEIT

BIOTECHNICAL AND SOIL BIOENGINEERING SLOPE STABILIZATION IN TORRENT CATCHMENT AREAS – DEVELOPMENT OF STANDS AND LONG-TERM PERFORMANCE

Rosemarie Stangl¹

ZUSAMMENFASSUNG

Zur verlässlicheren Einschätzung der langfristigen Funktionserfüllung ingenieurbioologischer Hangsicherung werden am Arbeitsbereich Ingenieurbioologie und Landschaftsbau (Universität für Bodenkultur Wien) verschiedene Konstruktionen in Wildbacheinzugsgebieten ausgedehnt untersucht. Die Ergebnisse sollen einen Beitrag dazu leisten, einen sinnvollen Umgang und Pflegekonzepte für ingenieurbioologische Stabilisierungsmethoden zu definieren. Erste Detailuntersuchungen wurden an Heckenbuschlagen aus den 50iger Jahren in den Einzugsgebieten des Geroldsbach und Enterbach in den Stubai Alpen durchgeführt. Aufgrund hervorragender Gesamtkonzepte konnten dort die problematischen Blaikten stabilisiert werden, wodurch das Vermurungspotential maßgeblich reduziert wurde. Zum gegebenen Zeitpunkt sind die steilen Geschiebeherde stabil. Die erlendominierten Bestände befinden sich in vitalem Zustand, fortschreitende Bruchanfälligkeit lassen allerdings Vitalitätseinbußen erwarten. Eine Sukzessionsfolge ist nicht abzusehen, ausreichendes Regenerationsvermögen der Erlenbestände muss jedoch aufgrund eingeschränkter Stockausschlagkapazität angezweifelt werden. Aufgrund der geologischen Verhältnisse sind die Einzugsgebiete einer ständigen Bewegungsdynamik ausgesetzt, das Erosionspotential wird auch auf lange Sicht erhalten bleiben.

Key-words: Ingenieurbioologie, Hangstabilisierung, Heckenbuschlagen, Sukzessionsgrad

ABSTRACT

Different types of successfully applied bio-technical slope constructions are being investigated at the Department of Soil Bioengineering and Landscape Construction (University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Austria) in order to assess long-term performance of bio-technical stabilization methods in torrent catchment areas. Insight into future protection potential and reliability is expected and will be the basis for the development of maintenance and care programs. First steps in detailed investigations were done with hedge brush layers constructed in the early 1950s in the catchment areas of the torrents Geroldsbach and Enterbach in the Tyrolean Central Alps. By means of outstanding

¹ Wissenschaftliche Assistentin, Arbeitsbereich Ingenieurbioologie & Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur, Hasenauerstr. 42, A-1190 Wien (Tel.: ++43/368 09 60-19, Fax: ++43/368 09 60-24, email: rosemarie.stangl@boku.ac.at)

torrent control conception, the problematic catchment areas were successfully stabilized. The risk of erosion could be reduced considerably. At the present moment, the soil bioengineering constructions are still stable at all sites but the stands dominated by *Alnus* sp. are of advanced age, the risk of breaking down is increasing. The potential of natural succession and self-regeneration is rather low. Risk of slope instability remains due to geological site conditions.

Key words: bio-technical erosion control, slope stabilization, hedge brush layers, grade of succession

EINLEITUNG

Neben harten technischen Verbauungen erlebte die Ingenieurbiologie in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts eine Renaissance und erlangte neue Bedeutung bei Stabilisierungs- und Entwässerungsmaßnahmen an Hängen und in Wildbacheinzugsgebieten. Durch Wiederaufnahme von Jahrhunderte alten Traditionsbauweisen mit Pflanzen und Holz konnten in der Hochblüte des Betonzeitalters bedeutende Erfolge bei der Stabilisierung großflächiger Erosionszonen und Blaikenanbrüche erzielt werden (Schiechtl & Stern, 1992; Praxl, 1954).

Trotz erfolgreicher Beruhigung gefährlicher Geschiebeherde und deutlicher Risikominderung fehlte jedoch bisher die Erfahrung im weiteren Umgang mit gelungenen Lebendverbauungen. Aussagen über die Entwicklung von Gehölzbeständen aus ingenieurbioologischen Strukturen und deren langfristige Schutzfunktion konnten bislang nicht getroffen werden.

Um die langfristige Wirksamkeit des Lebendverbaus besser einschätzen zu können, beschäftigt sich der Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (Universität für Bodenkultur Wien) mit der Evaluierung des Zustandes von ingenieurbioologisch gesicherten Einzugsgebieten, wobei folgende Schwerpunkte im Vordergrund stehen:

- Erhebung von Bestandeskennwerten
- Einschätzung des Sukzessionsgrades
- Analyse von Wurzelsystemen aus ingenieurbioologischen Konstruktionen
- Feststellung der Bodenentwicklung
- Pflegeeingriffe zur Steuerung der Sukzession
- Untersuchung des Stockausschlagvermögens von Erlen
- Hydrologische Aspekte von Erlenbeständen

Intensive Forschungen wurden bisher in folgenden Gebieten durchgeführt:

Cordonbau (50iger Jahre) in der Galina (Vbg.): allgemeine Evaluierung des Einzugsgebietes

Heckenbuschlagen (50iger Jahre) in der Blaike Geroldsbach und der Großen Mure Enterbach (T): Detailevaluierung der ehemaligen Anbrüche

Erlenaufforstung (80iger Jahre) in der Rutschung Stambach (OÖ): Detailanalyse und Untersuchungen zum Wasserhaushalt des Bestandes

Holzkrainerwände (2-20jährig) im Pustertal, Martelltal, Vintschgau, Eggental, (Südtirol): Detailuntersuchungen innerhalb der Konstruktionen

Das vorliegende Paper stellt erste Ergebnisse aus Untersuchungen in den oberen Einzugsgebieten des Enterbach und des Geroldsbach (Tirol) vor, in denen H.M. SCHIECHTL in den 50iger Jahren die gefährlichen Blaikten mittels Heckenbuschlagen begrünen und somit das Gefahrenpotential erfolgreich minimieren konnte.

FORSCHUNGSGEBIETE – AUSGANGSSITUATION UND STABILISIERUNGS- MASSNAHMEN

Zahlreiche Hochwasserkatastrophen und Murgänge hatten wiederholt die Infrastrukturen im Unterlauf des Enterbach und des Geroldsbach zerstört, die die nördlichen Ausläufer der Stubai er Alpen entwässern. Die starke Geschiebeführung der Bäche, die seit Jahrhunderten eine lebensbedrohende Gefahr für die betroffenen Gemeinden darstellte, lässt sich anhand des geologischen Ausgangsmaterials erklären: Gneiss und Glimmerschiefer (Para- und Orthogneise, Amphibolit, Biotit, und Muskovit) sind von riesigen Moränenmassen und Schotter-sedimenten überlagert.

Riesige Muschel-anbrüche in den oberen Einzugsgebieten stellen die Hauptgeschiebequellen dar. Das ausgesprochen schwierige Gelände mit Neigungen bis zu 90 ° ist gekennzeichnet von tiefen Runsen und scharfen Graten, die vegetationslos bleiben. Abbruchschutt und starke Bodenbewegungen zerstören die Jungpflanzen, ihre Wurzelsysteme werden zerrissen oder als Ganzes abgetragen. Als Entstehungsursachen der Blaik en sind Hangdurchnässung, Fußunterwaschungen und Folgen von Abholzungen zu sehen. Die abwitternden Mengen, die im Ober- und Mittellauf akkumulieren, werden erst bei heftigem Schlagregen und außergewöhnlichen Hochwässern mobilisiert, wodurch Muren zwar nicht so häufig, dafür umso gewaltiger auftreten.

Die Sanierung der Blaike Geroldsbach und der Großen Mure Enterbach mittels Heckenbuschlagen wurde in den frühen 50iger Jahren in Angriff genommen, wobei vorausgehende technische Unterstützungsarbeiten unumgänglich waren: Reduktion der hohen Neigungen auf durchschnittlich 40 ° durch großflächiges Abbösch en der Anbruchkanten und des Blaikengeländes, Anlage von Entwässerungsgräben zur Ableitung von Quellwasser und Errichtung von Trockenmauern zur punktuellen Basisstützung. Die Zwischenflächen der Heckenbuschlagen wurden mittels Mulchsaaten begrünt und mit Steckhölzern, Stecklingen und bewurzelten Pflanzen aufgeforstet, wobei in der Blaike Geroldsbach auf eine breite Artenvielfalt geachtet wurde (vergl. Tab. 2 und 3).

In mehreren Bauetappen wurden die Gerinnesohlen durch Sperrnstaffelung und Geschiebesperren gesichert. Dies war eine wesentliche Grundvoraussetzung für den großen Erfolg der Begrünungsarbeiten, da durch die Ausschaltung der mechanisch wirkenden Kräfte im



Abb. 1: Große Mure Enterbach vor der Stabilisierung 1952

Fig. 1: un stabilised erosion scarp Enterbach 1952



Abb. 2: Große Mure Enterbach 2002 – lückiger Bestand durch Schnittmaßnahmen nach erhöhter Brüchigkeit

Fig. 2: Enterbach 2002 – Due to high brittleness of the green alder parts of the stand were cut to the base.



Abb. 3: Bau der Heckenbuschlagen in der Blaike Geroldsbach 1955

Fig. 3: construction of hedge brush layers at the site Geroldsbach in 1955

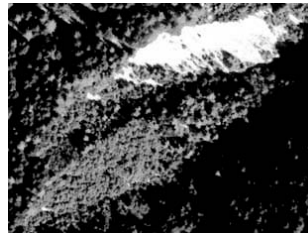


Abb. 4: Blaike Geroldsbach - geschlossener Bestand 2000

Fig. 4: closed canopy at the site Geroldsbach in 2000

Bachbett der Hangfuß zusätzlich vor ständiger Erosion geschützt wurde.

In beiden Gebieten entwickelte sich rasch eine geschlossene Vegetationsdecke, die Erosionen konnten eingedämmt werden und die Hänge blieben stabil.

FORSCHUNGSINHALTE UND METHODIK

Bodenzustand und Geologische Aspekte

Zur Bodenklassifizierung (nach BLUM et al., 1996, NESTROY, 2000) wurden pro Standort je 3 Profile geöffnet. Für die chemischen Analysen wie pH-Wert (ÖNORM L 1083-9), Kalkgehalt nach Scheibler (ÖNORM L 1084-89), Kationenaustauschkapazität im BaCl₂-Auszug (ÖNORM L 1086-1), Elementgesamtgehalt, Schwefel und Phosphorgehalt (ÖNORM L 1085), Stickstoffgehalt nach Kjeldahl (ÖNORM L 1082-89) und Gesamtkohlenstoffgehalt (ÖNORM L 1080) wurden Mischproben bis 70 cm Bodentiefe herangezogen.

Die Korngrößenverteilung im Feinboden (gesiebt auf < 2 mm) wurde mittels Nasssiebung und Sedigraphie bestimmt (Coakley & Syvitski, 1992). Die mineralogischen Komponenten wurden mittels Röntgendiffraktometrie (Moore & Reynolds, 1989) analysiert.

Bestandesanalysen

Zur Bestandserhebung wurde das feste Probekreisverfahren herangezogen (nach ENGLISCH & KILIAN, 1998), wobei die Aufnahmekriterien an die besondere Fragestellung adaptiert wurden:

- Allgemeine Standortparameter
- Funktion technischer und/oder ingenieurbioologischer Strukturen
- Aktuelle Akkumulation und Erosionszonen
- Forstliche Maßnahmen
- Deckung Baum-, Strauch- und Krautschicht
- Bestandes- und Verjüngungsdaten (Baumart, BHD, Baumhöhen, Baumalter)
- Wildverbiss, div. Schäden

Untersuchungen der Wurzelsysteme

Um einen Einblick in die Wurzelbildung aus eingelegten Steckhölzern in Heckenbuschlagen zu bekommen, wurden die Wurzelbereiche von 3 Grünerlen und 1 Grauerle schonend mittels Bürsten freigelegt. Hauptaugenmerk wurde auf die Adventivwurzelbildung, die Vertikal- und Horizontalausbreitung, das Verhältnis Fein-, Mittel- und Grobwurzel und Knöllchenbakterien gelegt.

ERGEBNISSE

Bodenzustand und Geologische Aspekte

Auf beiden Standorten, die von starkem Hangwasserzug geprägt sind, sind Feinmaterial-Rohböden und Mull-Ranker aus silikatischen Lockersedimenten zu finden (pH-Werte 3,8 – 7,5). Biologische Aktivität und Humusbildung unterscheiden sich lokal nur geringfügig, spielen insgesamt aber eine nur untergeordnete Rolle.

Die Gehalte an Stickstoff (< 2,4 mg/g), Phosphor (<0,8 mg/g) und Schwefel (<1,2mg/g) sowie die niedrige Kationenaustauschkapazität (24,2 – 150,1 mmolc/kg) belegen, dass die Nährstoffanreicherung auch 50 Jahre nach der Stabilisierung äußerst eingeschränkt ist. In den

oberen Bodenschichten ist die Kationenverfügbarkeit bei Humusgehalten < 10 % ebenfalls sehr gering.

Die Ergebnisse der Korngrößenanalyse am Feinboden (gesiebt auf 2mm) sind in beiden Standorten sehr einheitlich. Die Profile sind von sehr hohem Sandanteil (durchschnittlich 90 %) geprägt, die Tonfraktion ist zum Teil vollständig ausgewaschen (vergl. Abb. 5). Die mineralogischen Untersuchungen weisen auf dieselbe Geologische Herkunft beider Standorte hin (vergl. Tab. 1). Die sauren Mineralbestandteile sind sowohl qualitativ als auch quantitativ sehr homogen verteilt. Der lediglich lokal nachgewiesene Calcit am Standort Geroldsbach stammt vom Kalkkögel im obersten Einzugsgebiet.

Bestandesanalysen

Grünerle, Fichte und Grauerle bilden zu annähernd gleichen Teilen den Hauptbestand am Standort Geroldsbach, während Lärche, Birke, Kiefer und Weiden im Nebenbestand eine völlig untergeordnete Rolle spielen. Am Standort Enterbach ist die Artenvariabilität noch deutlich eingeschränkter: Neben der Fichte beherrscht ausschließlich die Grünerle den Hauptbestand, als vereinzelt auftretende Arten sind nur ein paar Weiden und Lärchen zu finden. Grün- und Grauerle treten in den BHD-Klassen bis 20 cm bei einem Alter bis 45 Jahren auf. In den BHD-Klassen > 20 cm sind ausschließlich vereinzelt Birken, Rotkiefern und Lärchen zu finden, die primär aus Einzelpflanzungen stammen. Das gezählte Höchstalter von 69 Jahren einer Pinus sylvestris im Standort Geroldsbach ist auf Minimalreste eines Altbestandes zurückzuführen, die sich auf einem Hangrücken im Blaikengelände halten konnten. Einzig die Fichte kommt in allen BHD-Klassen vor und kann sich somit in allen Altersstufen neben den Erlen behaupten.

Die Jungwuchsanalysen ergaben, dass Weide und Lärche z.T. zwar keimen, sich aber aufgrund des Lichtmangels nicht durchsetzen können. Obwohl anhand von Schäl- und Fege-



Abb. 5: Beispiel für die Korngrößenverteilung im Feinboden

Fig. 5: example for particle size distribution of the fine textured soil

Tab. 1: Übersicht über die Mineralkomponenten (analysiert im Röntgendiffraktometer)

Table 1: mineralogical components (analysed by X-ray diffraction)

Hauptbestandteile	Enterbach	Geroldsbach
Plagioklas	xxx	xxx
Quarz	xx	xx
Nebenbestandteile		
Glimmer (Muskovit)	x	x
Amphibol	x	x
Chlorit	x	Sp.
TM-Neubildungen	Sp.	Sp.
Calcit (nur lokal)		x

schäden Wildpfade erkennbar sind, stellt Wildverbiss für die vorherrschenden Arten keinen limitierenden Faktor dar.

Charakteristisch für beide Standorte sind die äußerst hohen Hektarwerte der Erlen, welche auf die Mehrstämmigkeit der beiden Arten zurückzuführen ist. Noch stärker wirkt sich allerdings die vegetative Vermehrung und Ausbreitung durch Wurzelbrut auf die Stammzahldichte aus, wobei im Jungwuchs (BHD < 4 cm) die Grünerle zahlenmäßig konkurrenzstärker ist als die Grauerle (s. Abb. 6 und 7). Die hohen Hektarwerte der Grünerle im Jungwuchs am Standort Enterbach ist auf Unwetter in den späten 60iger Jahren zurückzuführen; der Hangfuß wurde damals komplett erodiert, mittlerweile ist dieser Bereich aber wieder von dichtem Grünerlengebüsch besiedelt. Dadurch sind

auch die Werte der BHD-Klasse 10-20 cm reduziert, was noch einen weiteren Grund hat: der Bestand weist im Mittel- und Oberhang größere Lücken auf als Folge von Substanzverlust durch Brüchigkeit und lokal konzentrierten Entlastungsschlägerungen von 1999.

Untersuchungen der Wurzelsysteme

An allen freigemachten Wurzelkörpern konnten die Sprosse, die in die Heckenbuschlage eingelegt wurden, eindeutig identifiziert werden. Sie sind die dicksten Wurzeln, die quer in den Hang reichen. Die Hauptwurzeln bildeten sich regelmäßig rund um das Sprosszentrum und verzweigten sich am Wurzelhals. Die Adventivwurzelbildung entlang der ehemaligen Sprosse ist stark reduziert, es konnten keine Feinwurzeln in diesem Bereich beobachtet werden. Dies widerspricht Untersuchungen von Schlüter (1971) und Schiechtl (1973), die sowohl an *Alnus incana* als auch an *Alnus viridis* reichlich Adventivwurzel feststellen konnten.

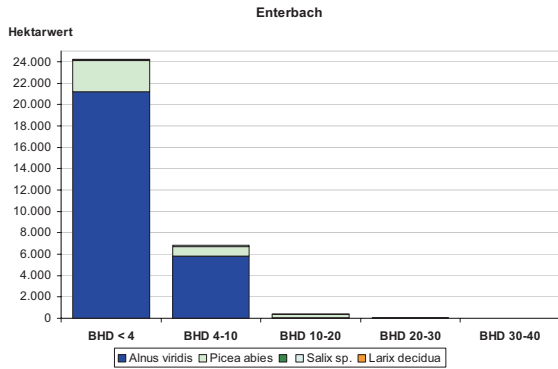


Abb. 6: BHD-Verteilung am Standort Enterbach

Fig. 6: dbh-distribution Enterbach: The stand is dominated by *Alnus viridis*, species diversity is rather low.

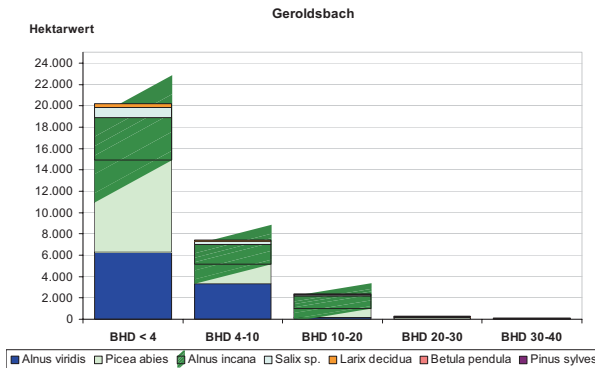


Abb. 7: BHD-Verteilung am Standort Geroldsbach

Fig. 7: dbh-distribution Geroldsbach: only spruce can compete with green and white alder.

Der Feinwurzelanteil ist bei der Grünerle deutlich höher, der Besatz mit Knöllchenbakterien eindeutig niedriger als bei der Grauerle.

Alnus incana: Am oberen verdickten Ende des eingeleigten Sprosses, das gleichzeitig das Zentrum des Wurzelraumes bildet, entspringen 5 Stämme (max. Höhe: 13,7 m, max. Stockdurchmesser: 27 cm). Die Wurzelcharakteristik entspricht dem typischen Wurzelbild von *Alnus incana*, der eine Hauptwurzel meist fehlt. Dafür breiten sich die gleichwertigen Grobwurzel als regelmäßiger, kegelförmiger Umhang aus, wobei die Orientierung in die Tiefe höher ist als die seitliche (vergl. auch Kutschera & Lichtenegger, 2002).

Alnus viridis: Die Grobwurzel, die sich aus den Sekundärstämmen sprossbürtig entwickelt haben, bilden ein dichtes, oberflächennahes, weitverzweigtes Wurzelnetz. Dies deckt sich mit Untersuchungen von Kutschera & Lichtenegger (2002), die bei älteren Individuen ebenfalls Sprosswurzelbildung vom Grund der horstartig gehäuften Sprosstriebe festgestellt haben. Der eingelegte Spross stellt hier nicht unmittelbar das Zentrum des Wurzelraumes dar.



Abb. 8: Wurzelsystem von *Alnus incana* (Alter 53J.) aus Heckenbuschlagen

Fig. 8: root system of *Alnus incana* (aged 53) in hedge brush lay



Abb. 9: Wurzelsystem von *Alnus viridis* (Alter 40J.) aus Heckenbuschlagen

Fig. 9: root system of *Alnus viridis* (aged 40) in hedge brush layer

DISKUSSION

Gefahrenpotential bleibt erhalten

Die Bodenbildung in den stabilisierten Hängen befindet sich nach wie vor im Initialstadium, es handelt sich in beiden Fällen um ausgesprochen magere Standorte. Die ständigen Bewegungen, die durch zahlreiche wechselnde Erosions- und Akkumulationsflächen angezeigt werden, unterbinden eine Nährstoffanreicherung, ihre Pflanzenverfügbarkeit wird durch die permanente Auswaschung behindert.

Die geologischen Analysen belegen, dass das Gefahrenpotential in den ehemaligen Blaikern auch auf lange Sicht nicht ausschaltbar ist. Glimmer und ihre Verwitterungsprodukte, die Tonminerale, sind als Ursache für das hohe Erosions- und Rutschpotential zu sehen. Aufgrund der Schichtstruktur der Mineralkomponenten brechen die Grobklaster sehr leicht auf, bei zunehmender chemischer Verwitterung verschlechtern sich die bodenmechanischen Eigenschaften und die Rutschanfälligkeit steigt.

Aufgrund der vorherrschenden Transportmechanismen (starker Wasserzug, konstanter Substratabtrag) fehlt festigendes, verklebendes Feinmaterial, was aus den selten auftretenden, markanten Korngrößenverteilungen abzulesen ist.

Nachhaltige Wirksamkeit der ingenieurbiologischen Strukturen

In beiden Standorten sind die technischen Stabilisierungselemente gut sichtbar und in ausgezeichnetem Zustand. Die fast vertikalen Trockensteinmauern sind intakt und erfüllen ihre Funktion als mechanische Basisstützung auch noch 50 Jahre nach den Hangsanierungen.

Innerhalb der Bestände ist der Lagenbau nach wie vor gut erkennbar. Die älteren Gehölze wachsen in horizontalen Reihen in Abständen von 2 – 3 m, während die Zwischenflächen vorwiegend von Jungpflanzen, die primär aus Wurzelaufläufern hervorgehen, besiedelt sind.

Die Untersuchungen der Wurzelbilder belegen eindeutig die hervorragende Tiefenwirkung der Heckenbuschlagen. Durch die vertikalen Asteinlagen wird das steile Gelände mechanisch gestützt, wodurch die oberflächennahen Wurzelsysteme vor allem der Grünerle optimal ergänzt werden. Das intensive Wurzelnetz stellt vor allem für lockeres Moränenmaterial einen bedeutenden Rückhalt dar.

Am *Standort Geroldsbach* ist die Bestandesvitalität bei Ausfallraten von nur 16 % (*Alnus incana*) und 8 % (*Alnus viridis*) sehr hoch. Der Bestand am *Standort Enterbach* war in den späten 90iger Jahren lokal von starker Brüchigkeit der Grünerle geprägt, woraufhin einzelne Abschnitte auf den Stock gesetzt wurden. In diesen Bereichen ist nicht nur die Stockmortalität mit über 80 % sehr hoch, sondern auch die Verjüngung äußerst eingeschränkt. Es ist anzunehmen, dass ein Großteil der Wurzelsysteme zum Zeitpunkt der Schnittmaßnahmen bereits abgestorben war.

Der verbliebene Bestand ist mit Ausfallraten von nur 5 % und hohen Jungpflanzenzahlen in gutem Zustand.



Abb. 10: Stabile Trockensteinmauer als Stützelement

Fig. 10: Dry stone walls as stabilisation elements are still in excellent condition.



Abb. 11: Horizontale Gehölzstrukturen aus dem Lagenbau

Fig. 11: horizontal stand structures of hedge brush layers

Langfristige Stabilität durch technisch-ingenieurbiologische Gesamtkonzepte

Nach den Arbeiten am Enterbach und Geroldsbach kann aufgezeigt werden, dass offene Erosionsflächen auch unter schwierigsten standortbedingten Voraussetzungen dauerhaft saniert werden können. Durch den Schutz der geschlossenen Vegetationsdecke, die sich schon wenige Jahre nach den Begrünungen einstellte, konnten einige Bedingungen, die den Materialabtrag wesentlich fördern, deutlich verbessert werden:

- Stabilisierung der oberflächennahen Bodenschichten durch weitreichende Wurzelnetze mit ausgezeichneter Tiefenwirkung durch den Lagenbau
- Schutz des bruchanfalligen Materials vor mechanisch wirkenden Kräften wie Schlagregen ebenso wie Schwerkraft und Druck des Eigengewichts

Als wesentliche Grundvoraussetzung für die erfolgreiche lokale Erosionsverminderung sind in jedem Fall die technischen Unterstützungsarbeiten innerhalb der Steilhänge sowie die rigorose Sohlensicherung zu sehen: Die Verbesserung des Oberflächenabflusses ist den gezielten Entwässerungsgräben zu verdanken, die punktuellen Basisstützungen in Form vertikaler Mauerelemente erhöhen erheblich den statischen Zustand der Hänge. Die

umfangreichen Sperrenbauten im gesamten Bachverlauf garantieren den gefahrlosen Abtransport der Geschiebemengen und schützen den Hangfuß vor ständigem Abtrag.

Der langjährige Erfolg der ingenieurbioologischen Maßnahmen konnte letztendlich nur dadurch gewährleistet werden, dass beide Einzugsgebiete einem umfangreichen Gesamtkonzept unterworfen wurden. Ähnlich beurteilt Grohmann (2001) die Wirksamkeit der Sanierungen im Einzugsgebiet der Galina (Vbg.): nur mit Hilfe der großzügigen Bachkonsolidierung konnte durch den Cordonbau ein weiträumiger rascher Oberflächenschutz erzielt und in großen Bereichen eine nachhaltige Bestandesentwicklung erzielt werden.

Geringes Sukzessionspotential

Im Gegensatz dazu müssen die vorliegenden Ergebnisse aus den Bestandesanalysen sehr kritisch betrachtet werden. Zwar erfreuen sich die Bestände, die aus den Heckenbuschlagen hervorgingen, noch ausreichender Vitalität, aufgrund der Stagnierung in der Artenzusammensetzung, die keinerlei Sukzessionstendenzen erkennen lässt, ist von einer Initiierung zu natürlichen Pflanzengesellschaften keine Rede. Das von Raschendorfer (1954) erwartete Sukzessionschema für kalkarme Alt-schuttblaien der Zentralalpen von Großblattweiden über Grau-Grünerlenbestände bis hin zu Zitterpappel-Eichen-Lärchen-Fichten-Mischwäldern kann 50 Jahre nach den Begrünungen nicht bestätigt werden. Bedenklich ist vor allem der ungeheure Aufwand an Gehölzarten und Pflanzenzahlen, mit dem man sich schon während

Tab. 2: Verwendete Gehölzarten für die Begrünungsarbeiten lt. Archivunterlagen

Table 2: Index of tree species used for revegetation according to archive records

	Heckenbuschlagen	Stecklinge	Einzelpflanzung	Ansaat
Acer pseudoplatanus	x			
Alnus incana	x	x	x	x
Alnus viridis	x		x	
Berberis vulgaris	x		x	
Betula pendula(=verrucosa)			x	x
Betula pubescens			x	
Cornus sanguinea				x
Hippophae rhamnoides			x	
Larix decidua			x	
Ligustrum vulgare	x		x	x
Picea abies			x	
Pinus sp.			x	
Populus tremula			x	
Prunus padus	x			x
Rhamnus cartharticus				x
Rubus idaeus			x	
Salix appendiculata (=grandiflora)		x		
Salix eleagnos (=incana)	x			
Salix nigricans	x			
Salix purpurea	x			
Sambucus sp.			x	
Sorbus aucuparia	x		x	
Viburnum lantana				x

Tab. 3: Geländeparameter und Pflanzenaufwand für die Begrünungsarbeiten lt. Archivunterlagen

Table 3: Site parameters according to archive records

	Blaike Geroldsbach	Gr. Mure Enterbach
Meereshöhe	1200-1500 m N.N.	1300-1500 m N.N.
Blaikengröße*	1.8 ha	1.5 ha
Materialaufwand für die Begrünungsarbeiten (Stückzahl)		
Heckenbuschlagen	13 050	
Bewurzelte Pflanzen	34 227	
Weidenstecklinge	1 000	
Gesamt	48 277	6 160
Saatgut	95.5 kg	135.0 kg

* lt. computerunterstützter Flächenberechnung anhand von Luftbildern

der Bauphase in der Blaike Geroldsbach bemühte, von vornherein ein sinnvolles Artenspektrum zu fördern (vergl. Tab. 2 und 3) und Weiden- und Erlenmonokulturen zu vermeiden. Bereits 1987 stellte Grünwald bei seinen Untersuchungen einen Rückgang in der Artenvielfalt

fest, der sich in den darauffolgenden 15 Jahren bis hin zu eindeutig von Grün- bzw. Grauerlen dominierten Beständen, in denen sich lediglich die Fichte einigermaßen behaupten kann, fortsetzte. Ausschlaggebend dafür sind die hohen Stammzahldichten durch Wurzelbrut und Mehrstämmigkeit, die dichten geschlossenen Bestände sind für andere Gehölze auf längere Sicht offensichtlich zu konkurrenzstark.

Auch Grohmann (2001) stellte in der Galina in einigen Bereichen eine hinkende Entwicklung zu einer natürlichen mehrschichtigen Waldgesellschaft trotz wiederholter Aufforstungen fest, wobei hier das Problem weniger in dominanten Pioniergesellschaften liegt. Als primäre Hemmfaktoren für die z.T. dahinkümmernenden Cordonstrukturen nennt er ungünstige Bodenstruktur und verlangsamte Bodenbildung, klimatische Extrembedingungen (überdurchschnittlich lange Schneelage und Schneedruck), Wildverbiss und Beweidung, Windwurf und Borkenkäfer, sowie falsche Zwischenpflanzung und fehlende Jungwuchspflege.

Erle als Klimaxgesellschaft

Mit Hilfe von Erlenbuschlagen eine Abkürzung des Pionierstadiums bzw. eine sofortige Einleitung von Folgestadien zu erreichen, wie Grünwald (1990) es anspricht, wird anhand der vorliegenden Ergebnisse angezweifelt.

Nach den Beobachtungen in der Großen Mure Enterbach muss dort der Grünerlenwald möglicherweise als Klimaxgesellschaft für derartige Extremstandorte gesehen werden: Durch die hohe Geländedynamik wird die Vegetationsdecke kleinflächig ständig neu aufgerissen. Auf dem losen Moränenmaterial siedelt sich ausschließlich die Grünerle an und bildet aufgrund ihrer hohen Wuchsleistung dichte Strauchschichten, die wiederum das Einwandern von Folgegehölzen verhindern. Mittelfristig ist daher nicht zu erwarten, dass sich natürliche mehrstufige Mischwaldgesellschaften entwickeln können. Um eine Artenumwandlung zu erzielen, sind großflächige Schnittmaßnahmen und intensive Aufforstungen unter absoluter Wildfreistellung notwendig.

Vermeidung von Vitalitätseinbußen

Großzügige Eingriffe in die zur Zeit vitalen Bestände laufen allerdings Gefahr, die schwer erkämpfte Stabilität der potentiellen Geschiebeherde massiv zu stören und dadurch das Erosionsrisiko zu erhöhen. Vielmehr sollte als primäres Ziel die Erhaltung der geschlossenen Vegetationsdecke angestrebt werden und der zu erwartenden Brüchigkeit der Erle durch rechtzeitige Verjüngungsschnitte entgegengearbeitet werden. Da wegen der geologischen Situation kaum Aussicht auf Beruhigung der erosionsfördernden Prozesse und Faktoren besteht, leisten die Wurzelsysteme aus dem Lagenbau den wesentlichsten Beitrag zur Geländestabilität aufgrund der hervorragenden festigenden Tiefenwirkung. Die dauerhafte großflächige Vitalität auch im Wurzelraum muss daher unbedingt gefördert werden.

DANKSAGUNG

Der Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (Universität für Bodenkultur Wien) dankt dem Bundesministerium für Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft für die Finanzierung des Projektes Nr. 58.110/10-VC7a/2001. Die Autorin dankt Dr. Franz Ottner (Inst. für Angewandte Geologie, Universität für Bodenkultur Wien, A) und Dr. Monika Sieghardt (Inst. für Waldökologie, Universität für Bodenkultur Wien, A) für die fachliche Hilfe und Anregungen.

LITERATUR

- COAKLEY J.P. & SYVITSKI J.P.M. (1991): SediGraph technique. In: Principles, methods and application of particle size analysis.; edited by James P.M. Syvitski. Cambridge University Press, New York (USA). P. 129ff.
- ENGLISCH M. & KILIAN W. (1999): Anleitung zur forstlichen Standortskartierung in Österreich. FBVA-Berichte Nr. 104, Schriftenreihe der Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien (A). P. 21ff.
- GROHMANN J. (2001): Galina 2001. Untersuchungen zur Wirksamkeit der ingenieurbioologischen Maßnahmen im Wildbacheinzugsgebiet Galina, Gemeinde Nenzing, Vorarlberg. Endbericht im Auftr. d. FTD f. WL V Sekt. Vbg. Eigenverlag Arbeitsbereich Ingenieurbioologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien (A).
- GRÜNWALD H.B. (1990): Blaikengebückung – Entwicklung und Erfahrungen. Österreichische Forstzeitung (A).
- GRÜNWALD H. (1987): Beurteilung des Erfolges ingenieurbioologischer Maßnahmen auf ausgewählten Flächen in der Gebietsbauleitung Mittleres Inntal. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien (A).
- HACKER E. & PFLUG W. (1998): Ingenieurbioologie – Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbioologie e.V.; Zypressen, Aachen (D).P. 205, 310.
- KUTSCHERA L & LICHTENEGGER E. (2002): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Leopold Stocker Verlag, Graz (A). P. 397ff.
- MOORE D.M. & REYNOLDS R.C. (1989): X-Ray Diffraction and the Identification and analysis of Clay Minerals. Oxford University Press, New York (USA). P.179ff.
- NESTROY O. (2000): Systematische Gliederung der Böden Österreichs (Österreichische Bodensystematik 2000). Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges., H. 60; Wien (A).
- ÖNORM L 1061-2 (2002): Physikalische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens - Teil 2: Feinboden. Österreichisches Normungsinstitut, Wien (A).
- ÖNORM L 1080 (1999): Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung des organischen Kohlenstoffs durch trockene Verbrennung. Österreichisches Normungsinstitut, Wien (A).
- ÖNORM L 1085 (1999): Chemische Bodenuntersuchungen - Säureextrakt zur Bestimmung von Nähr- und Schadelementen. Österreichisches Normungsinstitut, Wien (A).
- ÖNORM L 1086-1 (2001): Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der austauschbaren Kationen und der effektiven Kationen-Austauschkapazität (KAKeff) durch Extraktion mit Bariumchlorid-Lösung. Österreichisches Normungsinstitut, Wien (A).
- PRAXL V. (1954): Ein praktischer Weg zu Beruhigung von Moränenbrüchen im Hochgebirge. Zeitschrift für Wildbach- und Lawinerverbauung, 4 (A).
- RASCHENDORFER I. (1954): Blaikentypen in den Tiroler Alpen. Vereinszeitschrift der Diplom-Ingenieure der Wildbachverbauung Band 4-5, Heft 5; Linz (A).
- SCHIECHTL H.M. & STERN R. (1992): Handbuch für naturnahen Erdbau. Österreichischer Agrarverlag, Wien (A). P.95.