

Pflanzen im Einsatz gegen Erosion und oberflächennahe Rutschungen

Christoph Graf, Albert Böll, Frank Graf



Einführung

Naturgewalten haben die Menschen seit jeher gezwungen ihren Lebensraum zu schützen. Die frühen Siedler verwendeten dazu einfachste Methoden, welche beispielsweise ein Stützen oder Regulieren betroffener Geländeteile erlaubten. Dies geschah mit den vor Ort verfügbaren Baustoffen wie Steinen, Holz und Pflanzen. Der Einsatz von Pflanzen gegen Erosion und oberflächennahe Rutschungen hat sich seither laufend weiterentwickelt und in vielen verschiedenen Bauweisen bewährt.

So zahlreich heute die Begriffe für das Verbauen mit Pflanzen sind (Lebendverbau, Grünverbau, Ingenieurbiologie, Eco-engineering, usw.) so unterschiedlich lauten die entsprechenden Definitionen. Eine davon stützt sich vornehmlich auf Prozesse ab und berücksichtigt neben den praktischen Aspekten auch neuste Erkenntnisse aus der Forschung. Im folgenden wird nur der Begriff «Ingenieurbiologie» verwendet.



Ingenieurbiologie will:

Was?

Die Bodenstabilität umwelt-relevant erhöhen.

Die Erosion dauerhaft reduzieren.

Die natürliche Entwicklung der Sukzession fördern.

Wie?

Sie erreicht dies mit dem gezielten Einsatz von standortangepassten Organismen in Kombination mit technischen Verbauungssystemen.

Abb. 1. Heckenbuschlage: Bermen (Kleinterassen) mit eingelegten Weidenstecklingen sowie bewurzelten Erlen- und Ligustersämlingen kurz nach der Fertigstellung und 10 Jahre danach.

Die Stabilisierung und Renaturierung erosions- und rutschgefährdeter Gebiete sind für den Schutz vor Naturereignissen äusserst wichtig. Neben technischen Massnahmen, welche häufig unumgänglich sind, spielt die Wiederherstellung einer standortgerechten Vegetationsdecke eine entscheidende Rolle für entwicklungsfähige und langfristig stabile Natursysteme.

Im vorliegenden Merkblatt fliessen in Teil «Mykorrhizapilze» verschiedene neue Ergebnisse aus der Forschung ein, welche im Zusammenhang mit Ingenieurbiologie und Bodenstabilität zu neuen Möglichkeiten führen.

Methoden

Erosions- und Verwitterungsprozesse im Oberflächenbereich spielen eine entscheidende Rolle bei der Entstehung und Entwicklung von Rutschhängen und Runsen. Der Oberflächenschutz ist daher ein wichtiger Bestandteil der Stabilisierungsmassnahmen. Ein vordringliches Ziel ist die dauerhafte Wiederbepflanzung kahler Erosionsflächen. Dafür stehen verschiedene Methoden der Ingenieurbiologie zur Verfügung, welche je nach Schadenereignis, Geländeform und Pflanzenwahl zum Einsatz kommen. Die im Erdbau am häufigsten angewandte, weil am vielseitigsten und wirtschaftlichsten einsetzbare Methode ist der (Hecken-) Buschlagenbau – entweder ausschliesslich mit ausschlagfähigem Astmaterial (z.B. Weidenästen) als Buschlage oder zusammen mit bewurzelten Gehölzen (z.B. Erlen) als sogenannte Heckenbuschlage gebaut (Abb. 1). Diese und weitere Methoden sind in der Literatur ausführlich beschrieben (SCHIECHTL 1973, ZEH 1993). In Kombination mit solchen Massnahmen werden oft Saaten in verschiedenster Weise ausgebracht, um eine möglichst vollständige Abdeckung der Bodenoberfläche zu erreichen. Die gebräuchlichste Anwendungsform ist die Spritz- oder Hydrosaart, bei welcher das Saatgut als wässrige Lösung aufgespritzt und je nach Bedürfnissen mit verschiedenen Zusätzen (Dünger, Stroh, Klebstoff, usw.) ergänzt wird (Abb. 2).

Alle technischen Verbaumassnahmen zur Stabilisierung (Hangfuss-Sicherung,



Abb. 2. Hydrosaart: Aufspritzen eines Samengemisches kombiniert mit flüssigem Dünger und Klebstoff in schwer zugänglichem Gelände und mit einer Strohecke kombinierte Hydrosaart kurz nach der Fertigstellung auf einer Skipiste in der alpinen Zone.



Reduktion der Hangneigung, Entwässerungsmassnahmen, usw.) sind von Anbeginn auf die nachhaltige Wiederbepflanzung auszurichten und haben der Verbesserung der Standortbedingungen zu dienen (Abb. 3). Die Schutzwirkung der Pflanzen kann sich nur ein-

stellen, wenn während der Ausbildung des Wurzelwerkes keine oder nur unbedeutende Bodenbewegungen stattfinden sowie die Beanspruchung durch Wasser, Geschiebe, Steinschlag oder Schnee gering ist (BÖLL 1997). Technische Massnahmen zur Stabilisierung

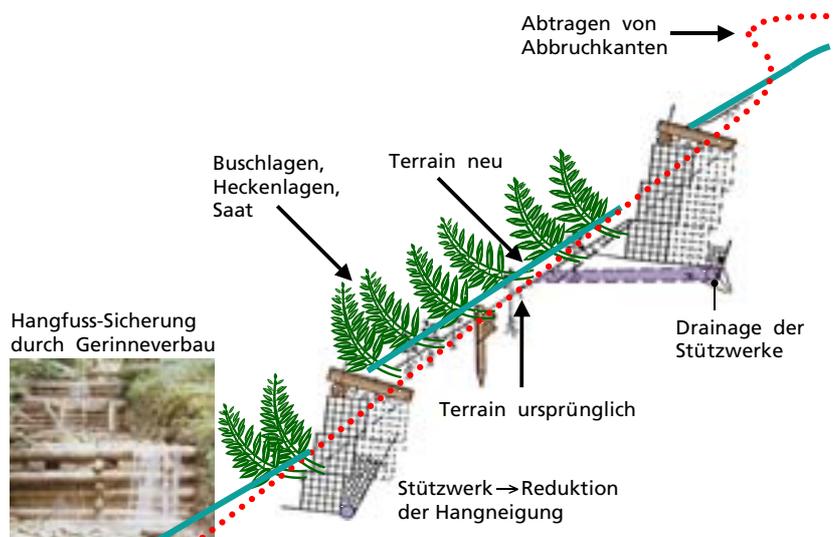


Abb. 3. Technik und Biologie: Verbauter Wildbach zur Hangfuss-Sicherung. Die Stützwerke im Hang dienen der Neigungsreduktion. Solche technischen Massnahmen zur Hangstabilisierung sind eine wichtige Voraussetzung für erfolgreichen Lebendverbau; beispielsweise mit Hecken-/Buschlagen (nach BÖLL 1997, verändert).

von Rutschhängen und Runsen bilden oft die Voraussetzung einer erfolgreichen Wiederbepflanzung. Die Wirkung der Bauwerke ist allerdings nur punktuell oder linear und zeitlich begrenzt. Der dauerhafte Oberflächenschutz wird von den Pflanzen geleistet. Für eine langfristige Stabilisierung ist deshalb eine intakte Vegetation mit entsprechend gut ausgebildetem Wurzelwerk entscheidend.

Boden

Nach Erosions- und Rutschungsereignissen bleiben sehr einseitige Substratverhältnisse zurück, welche äusserst lebensfeindlich sind (Abb. 4). Wenn Pflanzendecke und Oberboden fehlen, sind die betroffenen Gebiete massiven Auswaschungsprozessen sowie fortschreitenden Bodenbewegungen ausgesetzt. Der erhöhte Wasserabfluss sowie zusätzliche Erosionsprozesse führen zu markanter Auswaschung von Samen, Sporen und Überdauerungsorganen von Mikroorganismen und somit zu weiteren Verlusten an Biomasse sowie pflanzlichem und mikrobiellem Rekolonisierungspotential.

Die neuen Bodenoberflächen weisen im Vergleich zum Ursprungsmaterial häufig eine höhere Dichte auf, da sie zuvor unter der Last der darüber liegenden Schichten lagen. Diese Situation ist im Zusammenhang mit Wurzelbildung und Pflanzenwachstum ein entscheidender Nachteil und verzögert die Etablierung einer Vegetationsdecke beträchtlich (BÖLL und GERBER 1986). Zudem wird die Bodendurchlüftung und somit die Zersetzung organischer Substanz gehemmt, was sich negativ auf die Nährstoffbilanz auswirkt. Neben Durchwurzelbarkeit und Bodenbelüftung sind weitere für das Pflanzenwachstum wichtige Faktoren, wie Wasser- und Nährstoffangebot, entscheidend von der Körnung des Bodens abhängig. Vermehrter oberflächlicher Wasserabfluss führt zu Materialabtransport mit einem massiven Verlust der Sand- und Siltanteile sowie der Tonfraktion. Die Folgen sind geringere Aggregatstabilität und damit verbunden, beträchtlich reduzierte Rückhaltekapazität für Porenwasser und Nährstoffe (GRAF und GERBER 1997).



Abb. 4. Lebensfeindlicher Boden: Stark erodierter und ausgewaschener Boden im unteren noch nicht verbauten Teil eines steilen Rutschhanges.

Pflanzen

Für die verschiedenen Anwendungen in der Ingenieurbiologie sind hauptsächlich Pionierpflanzen gefragt. Für den (Hecken-) Buschlagenbau sind das vorwiegend ausschlagfähige Gehölze

(Tab. 1). Dazu gehören beispielsweise viele Weidenarten (*Salix* spp.), Goldregen (*Laburnum anagyroides* Med., *L. alpinum* [Miller] Presl.) oder der Liguster (*Ligustrum vulgare* L.). Im Zusammenhang mit Saaten werden vorwiegend Gräser und Leguminosen verwendet.

Tab. 1. In der Ingenieurbiologie häufig verwendete Gehölze mit Angaben zu Einsatzbereich (Höhenstufen), vegetativer Vermehrbarkeit und Symbioseformen: A = arbuskuläre Mykorrhiza, E = Ektomykorrhiza, N = Stickstoff-Fixation.

		Vegetative Vermehrbarkeit (%)	Symbioseformen	Höhenstufe	deutsche Namen
<i>Salix</i>	<i>daphnoides</i>	~100	A, E	montan	Reifweide
	<i>purpurea</i>	~100	A, E	collin-subalpin	Purpurweide
	<i>fragilis</i>	95	E	collin	Zerbrechliche Weide
	<i>pentandra</i>	90	E	subalpin	Lorbeerweide
	<i>viminalis</i>	90	A, E	collin-montan	Korbweide
	<i>nigricans</i>	80	A, E	collin-subalpin	Schwarzwerdende Weide
	<i>alba</i>	75	E	collin-montan	Silberweide
	<i>aurita</i>	75	E	collin-subalpin	Ohrweide
	<i>elaeagnos</i>	75	E	collin-montan	Lavendelweide
	<i>cinerea</i>	70	A, E	collin-montan	Grauweide
<i>Populus nigra</i>	70–100	A, E	collin-montan	Schwarzpappel	
<i>Laburnum</i>	<i>alpinum</i>	70–100	A, N	collin-montan	Alpen-Goldregen
	<i>anagyroides</i>	70	A, N	collin-montan	Goldregen
<i>Ligustrum vulgare</i>	70–100	A	collin	Liguster	
<i>Alnus</i>	<i>glutinosa</i>	—	A, E, N	collin-montan	Schwarzzerle
	<i>incana</i>	—	A, E, N	collin-montan	Grauerle
	<i>viridis</i>	—	A, E, N	subalpin	Grünerle

Bei der Auswahl des Pflanzenmaterials gebührt den Standortverhältnissen der jeweiligen Baustelle grösste Aufmerksamkeit. Dies gilt sowohl für Gehölze als auch für Kräuter und Gräser bei Saaten. Grundsätzlich sollte nur Pflanzgut aus ökologisch gleichartigen Naturbeständen verwendet werden (SCHIECHTL 1992).

In den verschiedenen ingenieurbio- logischen Bauwerken übernehmen die Pflanzen für die Stabilisierung des Erdmaterials wichtige Funktionen (Abb. 5). Sie vermindern die Aufprallenergie bei Niederschlägen und somit die Oberflächenerosion, fördern die Entwässerung und festigen das Bodenmaterial durch ihre Wurzeln. Das Wurzelsystem hat im Normalfall eine doppelte Funktion zu erfüllen. Es ist einerseits verantwortlich für die Verankerung der Pflanzen im Boden und andererseits für die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen. Für beide Funktionen ist ein ausge- dehntes Wurzelwerk von grosser Bedeutung, da einerseits ein grösseres Bodenvolumen stabilisiert werden kann und andererseits in diesem ein umfang- reicheres Reservoir an Wasser und Nährstoffen erschlossen wird.

Mit Hilfe ausgedehnter Wurzelsyste- me vermögen Pflanzen dem Boden durch Transpiration beträchtliche Men- gen an Wasser zu entziehen und üben so einen regulierenden Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt aus. Eine Son-



Abb. 5. Ingenieurbio- logie und Waldbau: Stabili- sierung von Seiteneinhängen eines Wildbach- gerinnes im Bereich der Waldgrenze mit Hilfe von Buschlagen (Weidensteckhölzer) und Fichten/Lärchen Aufforstungen (Vordergrund).

nenblume verdunstet beispielsweise an einem Sonnentag leicht einen Liter Wasser. Eine Birke mit etwa 200 000 Blättern kann 60 bis 70 Liter, an be- sonders heissen und trockenen Tagen bis zu 400 Liter Wasser verdunsten. In einem Buchenwald wird ungefähr 60 Prozent der gesamten jährlich anfallen-

den Niederschlagsmenge durch Tran- spiration als Wasserdampf wieder an die Atmosphäre abgegeben (SITTE *et al.* 1991).

Hilfsstoffe

Damit Pflanzen die von ihnen erwarteten Stabilisierungsfunktionen überneh- men können, müssen sie schnell und gut gedeihen. Unter den widrigen Beding- ungen von Erosions- und Rutsch- flächen haben sogar Pionierpflanzen Mühe sich zu etablieren, da auch für sie die minimalen Voraussetzungen bezüg- lich Bodenstruktur und Nährstoffe oft nicht gegeben sind. Somit resultiert eine Diskrepanz zwischen den Anforde- rungen der Pflanzen an den Boden und der effektiven Situation zum Zeitpunkt des ingenieurbio- logischen Eingriffes, was die Anwachs- und Etablierungs- phase stark beeinträchtigt.

Herkömmliche Massnahmen zur För- derung des Pflanzenwachstums sind das Auflockern des Oberbodens bei Verdichtungsproblemen, die Verwen- dung von synthetischen Klebmitteln zur Stabilisierung der Bodenoberfläche, die Zugabe von Dünger zur Verbesse- rung der Nährstoffsituation sowie Kal- kung bei Bodenversauerung. Diese Massnahmen haben jedoch teilweise negative Effekte. Durch die Düngung beispielsweise werden nährstoffbedürf- tige Pflanzenarten anstelle autochtho- ner Pioniere und vor allem die oberirdi- sche Biomasse auf Kosten der Wurzeln gefördert (Abb. 6). Die Verwendung von Dünger, insbesondere Stickstoff, beeinflusst auch die Bodenmikroorga- nismen in verschiedener Hinsicht. So kommt es zu einer Abnahme der Ar- tenvielfalt sowie der Symbiosebildung zwischen Pflanzen und Pilzen (Mykor- rhiza). Auch das Wachstum des Pilzmy- cels wird teilweise drastisch reduziert, was wiederum negative Folgen im Zusammenhang mit der Bodenaggre- gatbildung und Pflanzenernährung hat.

Als Alternative spielt die Zugabe von Mikroorganismen, insbesondere von Mykorrhizapilzen, eine entscheidende Rolle. Einerseits sind sie Baumeister von Bodenaggregaten und mitverantwort- lich für eine stabile Bodenmatrix und Porenstruktur. Andererseits überneh- men sie wichtige Funktionen in der Pflanzenernährung und im Nährstoff- kreislauf.



Abb. 6. Düngereinfluss: Dreijährige Purpurweide (*Salix purpurea*) aus einer gedüngten Verbauungs- fläche mit gut ausgebildetem Spross und schlecht entwickeltem Wurzelwerk.



Abb. 7. Mykorrhiza: Wurzelwerk von je drei fünf Monate alten Weisserlen (*Alnus incana*). Links ohne Mykorrhizapilz; rechts inokuliert mit *Paxillus*

rubicundulus, einem Pilzpartner, der auch in der Natur mit Weisserlen Ektomykorrhizen bildet.

Mykorrhizapilze

Innerhalb der immensen Vielfalt an Bodenmikroorganismen nehmen die Mykorrhizapilze eine Sonderstellung ein. Fast alle Pflanzen leben unter natürlichen Bedingungen mit solchen Pilzpartnern in Symbiose (SMITH und READ 1997, EGLI und BRUNNER 2002). In dieser Lebensgemeinschaft übernimmt der Pilz unter anderem die Wasser- und Nährstoffversorgung der Wirtspflanze. Das Pilzmycel durchdringt den Boden viel intensiver als es die Pflanzenwurzeln können. Der Durchmesser der Pilzfäden (2–5 µm) ist verglichen mit jenen von Wurzelhaaren (15–20 µm) um ein Vielfaches geringer, was Pilzen einen viel grösseren Porenraum erschliesst. Die Absorptionsfläche mykorrhizierter Wurzeln wird durch die Pilzhyphe um bis zu fünfzigmal grösser als jene nicht mykorrhizierter Wurzeln.

Die grossräumigen Hyphennetzwerke dieser Pilze verkitten zudem lose mineralische und organische Partikel im Boden zu stabilen Aggregaten (FREI *et al.*

2003). Dadurch erhöht sich die Stabilität der Bodenmatrix und somit jene der Poren, was sich positiv auf die Wasser- und Nährstoffrückhaltekapazität auswirkt. Zusätzlich dienen die Pilzhyphe anderen Organismen als Verbreitungsvektoren und fördern so die Diversität der Bodenlebewesen. Mykorrhizierte Pflanzen besitzen in verdichteten Böden entscheidende Vorteile bezüglich der Wasser- und Nährstoffversorgung. Es wurden Unterschiede in der Nährstoffaufnahme (Phosphor) von einem Faktor zwei bei geringem (Boden-) Raumgewicht (10kN/m³) bis zu einem Faktor drei bei hohem (Boden-) Raumgewicht (16kN/m³) festgestellt (NADIAN *et al.* 1996). Zudem konnte nachgewiesen werden, dass gegenüber nicht mykorrhizierten Pflanzen insbesondere das Wurzelwerk gefördert und somit die Etablierungsphase und das gesamte Wachstum der Pflanzen beschleunigt wird (Abb. 7).

Durch ihre Doppelfunktion als «Bodenbauer» und «Pflanzenernährer» nehmen die Mykorrhizapilze auch un-

mittelbaren Einfluss auf die Entwicklung und Stabilität von Pflanzengemeinschaften und Ökosystemen, was die langfristige Schutzwirkung der Vegetation garantiert (VAN DER HEIJDEN *et al.* 1998).

Da nach Erosions- und Rutschungsereignissen der natürliche Vorrat an Mykorrhizapilzen häufig stark reduziert ist, müssen geeignete Symbiosepilze zugegeben werden. Wie bei den Pflanzen ist auch bei der Auswahl der Pilze darauf zu achten, dass nur standortgerechte Arten eingesetzt werden.

Unterhalt

Im Gegensatz zu technischen Konstruktionen erreichen ingenieurbioologische Verbauungssysteme ihre optimale Wirkung nicht sofort nach deren Fertigstellung. In Abhängigkeit von Standort und Schutzziel kann die Entwicklungsphase der Vegetation von einigen Monaten bis zu mehreren Jahren dauern



(Abb. 8). Während dieser Zeitspanne sind die Systeme in regelmässigen Abständen zu kontrollieren und notfalls Unterhaltsarbeiten durchzuführen. Dabei handelt es sich beispielsweise um die Ausbesserung entstandener Schäden und Ausfälle durch Nachsaaten, Nachpflanzungen und gegebenenfalls auch Massnahmen gegen Erosionserscheinungen.

In vielen Fällen ist das angestrebte Ziel eine Wald- oder Strauchgesellschaft, wobei man sich immer vor Augen halten soll, dass artenreiche Bestände im Zusammenhang mit Schutzwirkungen in jeder Hinsicht stabiler sind als artenarme oder gar Monokulturen. Bei Waldgesellschaften sind mehrschichtige, reich gegliederte und ungleichaltrige Bestände anzustreben, in denen sowohl licht- als auch schattenliebende Arten gedeihen. Mit allenfalls notwendigen Pflegemassnahmen soll entsprechend auf ein stufiges Gefüge hin gear-

beitet und die Entstehung von Altholzbeständen vermieden werden, um so einen möglichst hohen Schutzgrad gegen Erosion und Rutschungen zu erreichen und zu erhalten.

Entspricht der geplante Zieltyp der potentiellen Vegetation des betreffenden Standortes, erfolgt die weitere Entwicklung in der Regel ohne besondere Eingriffe auf dem Weg der natürlichen Pflanzensukzession.

Der Fokus bezüglich Unterhalt und Kontrolle im Rahmen ingenieurbio-logischer Massnahmen liegt jedoch auf der Initialphase der Vegetationsentwicklung. In diesen Zeitraum fällt in den meisten Fällen auch der Termin der Abnahme des Bauprojektes durch den Auftraggeber. Das Hauptaugenmerk liegt deshalb vorwiegend auf der Wuchsförderung der Pflanzen. Dadurch soll möglichst schnell eine hohe Schutzwirkung der Vegetation erreicht werden. Die Düngung spielt dabei in der Praxis nach wie

vor die zentrale Rolle. Daneben kommen je nach Standort und Vegetationstyp weitere Methoden zum Einsatz, wie beispielsweise Bewässerung, Mähen, Mulchen, Schutzmassnahmen gegen Wildverbiss, usw. (SCHIECHTL 1973).

Die Art und Weise der Förderung des Pflanzenwachstums beeinflusst massgeblich die Entwicklung der Initialvegetation und dadurch die Prozesse der am Standort natürlichen Sukzession. Dies wiederum hat einen entscheidenden Einfluss auf mittel- und langfristige Unterhaltsarbeiten und Eingriffe im Hinblick auf die Erreichung der angestrebten autonomen Zielvegetation. Anstelle der Düngung sollten deshalb im Rahmen der Förderung des Pflanzenwachstums sowie der damit verbundenen natürlichen Sukzessionsprozesse vermehrt die Funktionen der Mykorrhizapilze und deren Ansprüche berücksichtigt werden (GRAF und GERBER 1997, FREI *et al.* 2003).



Abb. 8. Entwicklung: Der Weg von der kahlen Rutschungsfläche über die Pioniervegetation bis zur eigentlichen stabilen Zielvegetation dauert Jahre bis Jahrzehnte. Zwischenstadien nach 10 und 15 Jahren.

Folgerungen

Damit eine angestrebte Pflanzengesellschaft die ihr zugeordneten ingenieurbioologischen Funktionen langfristig erfüllen kann, sind Unterhaltsarbeiten in den meisten Fällen unumgänglich. Ist dabei das Ziel eine Waldgesellschaft, beinhaltet dies insbesondere die Regulierung der Mischung, die Förderung der Stufigkeit sowie Massnahmen zur Unterstützung der Verjüngung.

Im Zusammenhang mit den kurz- bis mittelfristig eingesetzten Hilfsstoffen fördert die Düngung nährstoffbedürftige Organismen auf Kosten standortangepasster und behindert das Einwandern autochthoner Arten aus der Nachbarschaft. Die unkontrollierte Verwendung von Dünger in der Anfangsphase der Wiederbepflanzung von Erosions-

und Rutschungsflächen wirkt sich negativ auf das Wurzelwachstum sowie die Mykorrhizapilze aus.

Die Berücksichtigung und Förderung der Boden-Mikroorganismen, insbesondere der Mykorrhizapilze, während der Initialphase der ingenieurbioologischen Massnahmen, beschleunigen die Bildung von Bodenaggregaten und dadurch die Bodenstabilität. Die Pilzpartner der Pflanzen fördern zudem deren Wachstum und Etablierung sowie die Sukzession und reduzieren dadurch die Unterhaltsarbeiten. Wie bei den Pflanzen ist auch bei der Auswahl der Pilze darauf zu achten, dass nur standortgerechte Arten eingesetzt werden.

Literatur

- BÖLL, A., 1997: Wildbach- und Hangverbau. Ber. Eidg. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 343: 1–123.
- BÖLL, A.; GERBER, W., 1986: Massgebende Gesichtspunkte im Lebendverbau. BündnerWald 8: 43–50.
- EGLI, S.; BRUNNER I., 2002: Mykorrhiza. Merkbl. Prax. 35: 8 S.
- FREI, M.; BÖLL, A.; GRAF, F.; HEINIMANN, H.R.; SPRINGMAN, S., 2003: Quantification of the influence of vegetation on soil stability. Proc. International Conference on Slope Engineering, Hong Kong 2003. (Im Druck).
- GRAF, F.; GERBER, W., 1997: Der Einfluss von Mykorrhizapilzen auf die Bodenstruktur und deren Bedeutung für den Lebendverbau. Schweiz. Z. Forstwes. 148, 11: 863–886.
- NADIAN, H.; SMITH, S.E.; ALSTON, A.M.; MURRAY, R.S. 1996: The effect of soil compaction on growth and P-uptake by *Trifolium subterraneum*: interactions with mycorrhizal colonisation. Plant Soil 182: 39–49.
- SCHIECHTL, H.M., 1973: Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. München, Callwey. 244 S.
- SCHIECHTL, H.M., 1992: Weiden in der Praxis. Berlin, Patzer. 130 S.
- SITTE, P.; ZIEGLER, H.; EHRENDORFER, F.; BRESINSKY, A., 1991: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen (33. Aufl.). Stuttgart, Gustav Fischer. 1031 S.
- SMITH, S.E.; READ, D.J., 1997: Mycorrhizal Symbiosis (2nd ed.). London, Academic Press. 600 pp.
- VAN DER HEIJDEN, M.G.A.; KLIRONOMOS, J.N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STREITWOLF-ENGEL, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I.R., 1998: Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. Nature 396: 69–72.
- ZEH, H., 1993: Ingenieurbiologische Bauweisen. Studienbericht Nr. 4. Bern, Bundesamt für Wasserwirtschaft. 60 S.

Weiterführende Literatur:

- BÖLL, A.; GERBER, W.; GRAF, F.; RICKLI, C., 1999: Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Runsenverbau. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 60 S.
- MILLER, R.M.; JASTROW, J.D., 1992: The application of VA mycorrhizae to ecosystem restoration and reclamation. In: ALLEN M.J. (Hrsg.). Mycorrhizal functioning. New York, London, Chapman & Hall. 438–467.
- MORGAN, R.P.C.; RICKSON, R.J., 1995: Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. London, Spon. 274 S.
- SCHIECHTL, M.H.; STERN, R., 1992: Handbuch für naturnahen Erdbau. Wien, Österreichischer Agrarverlag. 153 S.
- Verein für Ingenieurbiologie, Literaturdatenbank: www.ingenieurbiologie.ch

Merkblatt für die Praxis ISSN 1422-2876

Konzept

Forschungsergebnisse werden zu Wissens-Konzentraten und Handlungsanleitungen für Praktikerinnen und Praktiker aufbereitet. Die Reihe richtet sich an Forst- und Naturschutzkreise, Behörden, Schulen, interessierte Laien usw.

Französische Ausgaben erscheinen in der Schriftenreihe

Notice pour le praticien ISSN 1012-6554

Italienische Ausgaben erscheinen in loser Folge in der Zeitschrift

Sherwood, Foreste ed Alberi Oggi.

Die neuesten Ausgaben

- Nr. 36: SCHÖNENBERGER, W.; ANGST, C.; BRÜNDL, M.; DOBBERTIN, M.; DUELLI, P.; EGLI, S.; FREY, W.; GERBER, W.; KUPFERSCHMID ALBISETTI, A. D.; LÜSCHER, P.; SENN, J.; WERMELINGER, B.; WOHLGEMUTH, T., 2003: Vivians Erbe. Waldentwicklung nach Windwurf im Gebirge. 12 S.
- Nr. 35: EGLI, E.; BRUNNER, I., 2002: Mykorrhiza. Eine faszinierende Lebensgemeinschaft im Wald. 8 S.
- Nr. 34: NIERHAUS-WUNDERWALD, D.; WERMELINGER, B., 2001: Der Schwammspinner (*Lymantria dispar* L.). 8 S.
- Nr. 33: SCHIEGG PASINELLI, K.; SUTER, W., 2000: Lebensraum Totholz. 6 S. (2. Auflage 2002)
- Nr. 32: NIERHAUS-WUNDERWALD, D., 2000: Rostpilze an Fichten. 8 S.
- Nr. 31: NIERHAUS-WUNDERWALD, D.; FORSTER, B., 2000: Rindenbrütende Käfer an Föhren. 12 S.
- Nr. 30: FORSTER, B.; BUOB, S.; COVI, S.; OEHRY, E.; URECH, H.; WINKLER, M.; ZAHN, C.; ZUBER, R., 1998: Schlagräumung. 4 S.
- Nr. 29: NIERHAUS-WUNDERWALD, D., 1998: Biologie und natürliche Regulation von Gespinnstmotten. 8 S.
- Nr. 28: NIERHAUS-WUNDERWALD, D.; LAWRENZ, P., 1997: Zur Biologie der Mistel. 8 S.

Managing Editor

Dr. Ruth Landolt
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
E-mail: ruth.landolt@wsl.ch
www.wsl.ch/lm/publications/

Layout:
Sandra Gurzeler, WSL

Druck:
Bruhin AG, Freienbach