



Hochschule Anhalt (FH)
Anhalt University of Applied Sciences
**FB Landwirtschaft, Ökotropologie
und Landschaftsentwicklung**

**Potentiale ingenieurbioologischer Bauweisen bei der naturnahen
Sicherung im Erd- und Wasserbau**

Bachelorarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science (B.Sc.)

Claudia Siebert

Matrikelnummer: 4052780

Studiengang: Naturschutz und Landschaftsplanung

1. Gutachter: Frau Prof. Dr. Ellen Kausch

2. Gutachter: Frau M.Sc. Ilka Ballerstein

Datum der Abgabe: 04. Oktober 2016

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	3
3. Vergleich - naturnahe und herkömmliche technische Bauweisen und Materialien	4
3. 1. Planungsbesonderheiten ingenieurbioologischer Bauweisen	8
3. 2. Besonderheiten in der Herstellung ingenieurbioologischer Bauweisen	9
3. 3. Wirkung ingenieurbioologischer Bauweisen auf deren Umgebung	11
3. 4. Kostenfaktor	12
3. 5. Einsatzgrenzen der Ingenieurbioologie	13
4. Zielstellungen ingenieurbioologischer Bauweisen im Bereich Erdbau	14
4. 1. Maßnahmen zum Erosionsschutz	14
4. 2. Schutz vor Rutschungen	16
4. 3. Schutz von Verkehrswegen	18
4. 4. Maßnahmen zur Hangentwässerung	19
4. 5. Lärmschutzanlagen	19
5. Stabilisierung und Entwicklung von Fließ- und Stillgewässern und deren Ufer	21
5. 1. Wildbäche, Hänge und Runsen	24
5. 2. Hochwasser	27
6. Lebensdauer ingenieurbioologischer Bauweisen	31
6. 1. Pflegemaßnahmen	33
6. 1. 1. Fertigstellungspflege	34
6. 1. 2. Entwicklungspflege	36
6. 1. 3. Unterhaltungspflege	37

7. Praxiserfahrungen ausgewählter Bauweisen	41
7. 1. Erdbau	41
7. 1. 1. Trockenansaat (4 Beispiele)	41
7. 1. 2. Hydrosaat (2 Beispiele)	50
7. 1. 3. Geotextilien (2 Beispiele)	56
7. 1. 4. Implantate und Transplantation (3 Beispiele)	61
7. 1. 5. Steckhölzer (3 Beispiele)	69
7. 1. 6. Busch- und Heckenlagenbau (4 Beispiele)	77
7. 2. Wasserbau	88
7. 2. 1. Spreitlage (3 Beispiele)	88
7. 2. 2. Stein- und Kiesschüttung (3 Beispiele)	96
7. 2. 3. Faschinen (2 Beispiele)	103
7. 2. 4. Buhnen (5 Beispiele)	108
7. 2. 5. Holzkrainerwände (4 Beispiele)	119
7. 2. 6. Sohlschwellen, -gleiten und -rampen (2 Beispiele)	128
7. 2. 7. Lahnungen (2 Beispiele)	135
8. Zusammenfassung – Potentiale ingenieurbiologischer Bauweisen	139
Literaturverzeichnis	146
Abbildungsverzeichnis	152
Anhang	154
Selbstständigkeitserklärung	154

1. Einleitung

Im Ingenieurwesen ist es heute nicht mehr nur wichtig auf Funktionalität und Kosteneffizienz der Bauprojekte zu achten, sondern auch auf deren Umweltverträglichkeit und die Einfügung in das umgebende Landschaftsbild. Gerade deshalb gewinnt die Ingenieurbiologie aktuell stärker an Bedeutung bei der Ausführung von Bauprojekten. Als begleitende Maßnahmen oder als alleinige naturnahe Bauwerke.

Die Ingenieurbiologie zeichnet sich dabei besonders dadurch aus, dass lebende Baumaterialien wie Gräser und Kräuter, Gehölze, sowie naturverträgliche, abbaubare Stoffe genutzt werden und auf eine für die Natur, so weit es im Bereich des Möglichen liegt, schonende Bauweise geachtet wird. In der Europäischen Richtlinie für Ingenieurbiologie heißt es hierzu in Punkt 1. 1.: „Ingenieurbiologie ist eine technisch – biologische Disziplin, welche mithilfe von Pflanzen und Pflanzenbestände zur Sicherung von Nutzungen und Bauwerken sowie zur Landschaftsentwicklung beiträgt.“ (Europäische Föderation für Ingenieurbiologie 2015, S. 6)

Diese Arbeit soll herausstellen wie sich die Ingenieurbiologie seit ihren Anfängen weiterentwickelt hat und ob sie trotz verschiedener natürlicher Grenzen der Bauweisen mit dem herkömmlichen Ingenieurwesen durchaus konkurrieren kann.

Die in der Arbeit zusammen getragenen Beobachtungen aus der Praxis zu durchgeführten Bauweisen zeigen die zahlreichen unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten in der Ingenieurbiologie auf. Durch die festgehaltenen Erfahrungen und Verwendung neuer Materialien und Techniken wird die Anwendung und Ausführung naturnaher Bauweisen immer weiter optimiert. Da natürlich zum Großteil mit lebenden Materialien gearbeitet wird, können jederzeit während und nach dem Bau unerwartete Entwicklungen am und im Bauwerk selber auftreten, was eine Dokumentation der Ereignisse so wichtig macht.

Ursprünglich stammen ingenieurbiologische Bauweisen aus Regionen mit oft schlechter Zugänglichkeit und großen Belastungen an den Standorten. So wurden in Küstennähe beispielsweise Lahnungen entwickelt um Land zu gewinnen oder der Buschlagenbau

zur Stabilisierung von steilen Hängen im Hochland entworfen. Werden diese Bauweisen an anderen Standorten verwendet, in anders beschaffenen Regionen, müssen sie dem neuen Naturraum erst angepasst werden. Daher ist es in der Ingenieurbiologie so wichtig auf die Kräfte, welche auf ein Bauwerk einwirken werden, zu achten. Verschiedene Bauweisen können sich verschieden auf den unterschiedlichen Standorten auswirken. Sind also bereits viele positive Erfahrungen mit Lahnungen zum Küstenschutz und zur Landgewinnung gemacht worden, heißt dies nicht, dass es in Seen genau so sein wird. Ergebnisse zu der selben Bauweise können sehr unterschiedlich an verschiedenen Standorten ausfallen.

Durch die Bemühungen zahlreicher Ingenieurbiologen hat sich das Verständnis für naturnahe Bauwerke in den letzten Jahrzehnten vervielfacht. Beweise für ihren sinnvollen Einsatz gibt es bereits genug. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig ausgeprägt und versprechen positive Ergebnisse. So fristet die Ingenieurbiologie kein belächeltes Schattendasein mehr.

Natürlich ist die veränderte Rolle der Ingenieurbiologie zu einem Großteil auch der neu entwickelten Sicht auf die Natur und dem gewachsenen Verständnis für diese zu verdanken. Mittlerweile ist man sich bewusst, dass technische Bauweisen große Eingriffe in den Naturhaushalt darstellen und dadurch den Ursprung für die Notwendigkeit eines Bauwerkes sogar noch verschlimmern können. Generell gilt heute, unabhängig von der Bauweise, der Grundsatz der Vermeidbarkeit für Eingriffe in den Naturhaushalt wenn es im Bereich des Möglichen liegt.

Unabhängig von der Schutzfunktion wird die Ingenieurbiologie inzwischen ebenfalls zur Entwicklung der Landschaft genutzt. Besonders im Wasserbau werden ingenieurbiologische Bauweisen auch zur Initiierung von eigendynamischen Prozessen oder zur Strukturverbesserung verwendet (Buhnen, Raubaum), wovon die biologische Vielfalt in den betroffenen Gebieten ebenfalls meist profitiert.

Die nachfolgenden Kapitel beschäftigen sich mit den Besonderheiten, Ansprüchen und Möglichkeiten von ingenieurbiologischen Bauweisen. Es werden Probleme und Einschränkungen aufgezeigt, aber auch Erfolge und positive Wirkungen der

Ingenieurbiologie ausgewertet.

2. Material und Methoden

Dies ist eine reine Literaturlarbeit. Sämtliche aufgeführten Informationen zur Ingenieurbiologie und herkömmlichen Ingenieurbauweisen entstammen Fachliteratur, wie Bücher, Zeitschriften, Aufsätze oder Verordnungen und werden, wenn nicht zitiert, in eigenen Worten wieder gegeben.

In den folgenden Kapiteln wird unter anderem über Aufbau, Wirkung, Funktion und Langzeitverhalten, sowie die Notwendigkeit von Pflegemaßnahmen von naturnahen und technischen Bauweisen Auskunft gegeben um das Verständnis für daraus gezogene Schlussfolgerungen zu gründen. Verschiedene Arten von Erd- und Wasserbaumaßnahmen werden aufgezählt und kurz erläutert um dadurch eine Vorstellung der Vielfältigkeit aller Ansatzmöglichkeiten zu geben.

Die Frage ist, wo sich die Potentiale der ingenieurbiologischen Bauwerke befinden. Sind sie in ihrer Stabilität mit herkömmlichen Bauwerken konkurrenzfähig? Wie steht es um die Langlebigkeit von naturnahen Bauwerken und welche Rolle spielt die Pflege dabei? Welche positiven Eigenschaften können ingenieurbiologische Bauweisen zusätzlich auf ihren Standort haben bzw. gibt es neben der reinen Sicherungsfunktion noch andere Aufgaben, welche diese Bauweisen erfüllen können?

Die Praxisbeispiele ausgeführter Bauweisen im Erd- und Wasserbau sind dabei kritisch zu sehen, da man beachten muss, dass in solchen Fachbeiträgen meist zahlreiche geglückte Bauweisen näher erläutert werden, die Misserfolge aber oft keine weitere Erwähnung finden. Anhand der Fachzeitschriftenartikel konnten aktuellere Bauwerke analysiert werden, aber es war auch möglich Aufzeichnungen von älteren Bauweisen zu verwenden. Damit konnten sowohl die verschiedenen ingenieurbiologischen Bauwerke untereinander verglichen, als auch einige Bauweisen zu unterschiedlichen Zeiten dargestellt und ihre Entwicklung beobachtet werden.

Die Ausführungen zu den Praxisbeispielen im Erd- und Wasserbau wurden für jede Bauweise zusammen gefasst, positive und negative Beobachtungen aufgezählt, interpretiert und in einem Fazit bewertet. Schließlich sind die einzelnen Bauweisen durch eine eigene Einschätzung in einem Gesamtfazit zusammengefasst.

3. Vergleich – naturnahe und herkömmliche technische Ingenieurbauweisen und Materialien

Entscheidend bei der Betrachtung von ingenieurb biologischen Bauweisen im Unterschied zu den meisten künstlichen technischen Bauwerken ist, dass die naturnahen Ausführungen zusätzlich zu ihrer technischen Funktion auch längerfristig positive Effekte auf ihr nahes Umfeld haben (zum Beispiel Klimaschutz, Wasserrückhalt, Lebensraumfunktion).

Dabei bestehen die Ziele ingenieurb biologischer und herkömmlicher Maßnahmen vor allem darin die Erosion an Erd- und Uferhängen infolge physikalischer Belastungen durch Wind, Wasser und Frost dort zu minimieren, wo sie nicht toleriert werden können.

„Der Gestaltung und Sicherung solcher [belasteter] Flächen kommt daher große Bedeutung zu, wofür sich ingenieurb biologische Verfahren in besonderem Maße eignen, weil gleichzeitig zu der technischen Wirkung auch eine gute ökologische, ökonomische und ästhetische Wirkung tritt.“ (Schiechtl / Stern 2002, S.13) Um diesen „Mehrwert“ zu generieren, ist es wichtig standortgerechte abiotische und biotische Materialien für die Planungsgebiete auszuwählen.

Bei anthropogener Überprägung der Standortverhältnisse ist zu berücksichtigen, dass dies auch Auswirkungen auf die Pflanzengesellschaften samt ihren Entwicklungsstadien haben kann. So kann sich die Gesellschaft vom Standort entfremden. Außerdem muss die Funktionalität der Maßnahmen durch den Einsatz der lebenden Baustoffe am Standort gegeben sein. Zusätzlich sollte sich der Bau außerdem optisch gut in das Gesamtbild der Landschaft einfügen und längere Zeit gesehen ökonomisch vertretbar sein. Eventuell kann sich der Standort aus naturschutzfachlicher Sicht durch die

Maßnahme verbessern indem zum Beispiel durch Ansaaten seltene Pflanzengesellschaften gebildet werden.

Dabei wird mehr oder weniger schnell an die Grenzen der Ingenieurbiologie gestoßen, denn die Einsatzmöglichkeiten im Erd- und Wasserbau werden durch die Eigenschaften der Standorte und auch des lebenden Baumaterials limitiert. Klima, Höhenlage und Platzmangel können die Auswahlmöglichkeiten der ingenieurbiologischen Bauweisen einschränken. Eine besondere Herausforderung sind ingenieurbiologische Baumaßnahmen oberhalb der Baumgrenze. Besonders Kälte oder große Hitze, aber auch lang andauernde Trockenperioden haben teilweise einen stark begrenzenden Einfluss auf ingenieurbiologische Bauweisen. (vgl. Zeh 2007, S. 46)

Auch wenn artenarme Bestände ebenfalls eine hohe Stabilität erzeugen können, gilt allgemein: „Je artenärmer ein Gebiet ist, desto eingeschränkter ist die Anwendbarkeit ingenieurbiologischer Bauweisen.“ (Zeh, 2007, S.46)

Ein sehr häufig in der Ingenieurbiologie genutzter Baustoff ist lebendes oder totes Holz. Es ist ein flexibles Material, ähnlich wie Stahlbeton, und lässt dadurch der Planung bei der Begrünung einen Freiraum, der bei der Verwendung von Stahl und Beton nicht vorhanden ist. Zwar lassen sich Bauwerke aus künstlichen Materialien ebenfalls begrünen, doch ein komplett miteinander verwachsenes lebendes System kann aus ihnen nicht entstehen.

In der Vergangenheit war Holz ein unbeliebtes Material. Ihm wurde nachgesagt, unter Lasten schnell zu brechen und selbst bei stabilen Bauwerken im Freien innerhalb schon mittelfristiger Zeiträume an Stabilität zu verlieren, weil es wesentlich schneller Zersetzungsprozessen und den Elementen erliege als künstlich hergestellte Baustoffe wie Beton oder Stahl. Diese Aussage ist stark von der jeweiligen Belastung und dem Umfeld der Holzbauweise abhängig. Zwar ist es richtig, dass Holz nicht so langlebig sein kann wie Beton, Stahl oder Stein, aber generell liegt es vor allem am Umgang mit dem Rohstoff beim Verbau, sowie der passenden Planung wie haltbar Holz sein kann. Bei entsprechender Beobachtung und Pflege besitzen Holzkonstruktionen eine wesentlich längere Lebensdauer als im Normalfall. (vgl. Böll et al. 1999, S. 54)

Zudem ist Holz nicht gleich Holz. Verschiedene Holzarten können ganz unterschiedliche Eigenschaften besitzen. Auch die verschiedenen Teile eines Baumes sind unterschiedlich widerstandsfähig, wobei das Kernholz den stabilsten Teil darstellt. Aber trotzdem können zwei Teile Kernholz von zwei Bäumen derselben Art und von dem selben Standort komplett verschiedene Festigkeit aufweisen. Die Ursache dafür ist wohl vor allem durch die hygroskopischen Eigenschaften des Holzes bedingt. „Dagegen verringern sich die Bruchfestigkeiten mit zunehmenden Feuchtigkeitsgehalt u des Holzes (u = Gewichtsanteil des Wassers in % des absolut trockenen Holzgewichtes).“ (Böll et al. 1999, S. 12)

Holz sollte unter feuchten Bedingungen generell so schnell wie möglich nach dem Fällen verbaut werden, denn je länger es im Freien in der Nässe liegt, desto höher ist die Gefahr, dass es von Pilzen oder Bakterien befallen wird. Dieses Problem haben Planer bei Betonwänden oder Stahlkonstruktionen natürlich nicht. Bereits von Pilzen oder Käfern stark befallenes Holz kann nicht für naturnahe Bauwerke verwendet werden, weil seine Stabilität nicht mehr versprochen werden kann. Bei Nadelbäumen, die verwendet werden sollen, müssen die Jahresringe im Holz möglichst eng aneinander liegen um die Festigkeit zu gewährleisten. Zu schnell gewachsenes Koniferenholz hat keine besonders hohe Stabilität. (vgl. Böll et al. 1999, S 20/21)

Die Holzfestigkeit hängt also von der Trockenhaltung ab, der Baumart (Resistenz gegen Pilze und Bakterien, sowie Wachstumsgeschwindigkeit), aber auch von der Verarbeitung (Schutzmaßnahmen durch Einsatz von Chemie).

Ein zusätzlicher Pluspunkt für die Verwendung von Holz ist, dass es aufgrund seines geringeren Gewichts besser an weniger zugängliche Bereiche gebracht und dort eingesetzt werden kann als Stahl und Beton.

Bei dem Verbau von lebendem Holz wiederum werden bestimmte Arten mit unterschiedlichen Eigenschaften gezielt in der Ingenieurbiologie eingesetzt. So sind Weiden beispielsweise für ihre Wasserverträglichkeit bekannt und werden aufgrund ihres Adventivwurzervermögens und der Biegsamkeit (natürlich in Abhängigkeit von der

Bauweise) gerne bei Projekten in direkter Nähe zum Wasser eingesetzt – entweder zur zeitlich begrenzten Stabilisation, als Übergangsmaßnahme, oder, falls der Standort auch ihrem natürlichen Lebensraum entspricht, auch langfristig.

Die Schwachstellen von Beton- oder Stahlbauwerken sind, im Gegensatz zu verwendetem toten oder lebenden Holz, meist nicht durch die Bauwerke bedingt, sondern in ihrer Verankerung im Boden oder am Hang zu suchen. Sollen beispielsweise Geschiebmassen durch Betonmauern zurück gehalten werden, ist es für das Bauwerk immens wichtig eine ausreichende Grundtiefe zu besitzen. Wenn die Mauer noch so stark ist, ist ihr Fundament nicht tief und fest genug im Hang oder Boden eingelassen, kippt sie, dem Druck nachgebend, um, kann abrutschen oder unterspült werden. „So ist beispielsweise die an sich hohe Lebensdauer einer Stahlbetonsperre belanglos, wenn die Sperrenflügel beim ersten Unwetter überflutet werden, dadurch die seitlichen Böschungen abrutschen und schließlich die Sperre kippt.“ (Böll et al. 1999, S.55) Dies gilt natürlich auch für Holzkonstruktionen. Solche Bauwerke müssen ebenfalls tief und stabil genug in die begrenzenden Hänge eingebaut sein um dem Druck durch große Wassermassen stand halten zu können. Deshalb machen sich in solchen Fällen oft ergänzende ingenieurbioologische Maßnahmen bezahlt um die betroffenen Hänge zusätzlich zu stabilisieren. (vgl. Bergmeister et al. 2009, S. 52/53)

Generell weisen sowohl naturnahe als auch herkömmliche technische Bauweisen verschiedene Stärken und Schwächen auf. Das größte Problem bei den ingenieurbioologischen Bauweisen besteht darin, dass die naturnahen Materialien, welche verwendet werden, vor allem Holz, nicht fähig sind für einen längeren Zeitraum extreme Lasten zu halten, wie es teilweise bei Tal-, Wildbachsperren oder Lawinenzäunen notwendig ist. Noch immer wird bei solchen Beispielen auf einen Verbau mit Beton und Stahl zurück gegriffen und das wird sich mit großer Wahrscheinlichkeit auch nicht ändern, auch wenn sie in den meisten Fällen einen Eingriff in das Landschaftsbild darstellen, aber durch die Ingenieurbiologie können die Ursachen, die zum Beispiel zu Wildbachereignissen oder Lawinen führen, vermindert oder ganz beseitigt werden. So ergänzen sich beide Bauweisen teilweise auch untereinander.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für die Auswahl des Materials in der Ingenieurbiologie und auch im technischen Ingenieurwesen vor allem die Statik von Bedeutung ist, wenn es sich um statisch belastete Bauwerke handelt.

3. 1. Planungsbesonderheiten bei ingenieurbiologischer Bauweisen

In der Ingenieurbiologie werden Baumaßnahmen häufig an Böschungen und Hängen ausgeführt, da diese in erhöhtem Maße anfällig für Rutschungen und Erosion sind. Unterschieden wird dabei zwischen stabilen, labilen und instabilen Hängen. Die Zuordnung, ob ein Hang stabil ist oder labil, erfolgt mit Hilfe der Standsicherheit. Diese stellt die haltenden Kräfte des Hangs in Beziehung zu den treibenden Kräften vor Ort. Je mehr die Standfestigkeit gefährdet ist, desto weniger Maßnahmen für Verbau oder Erosionsschutz stellen eine Option dar und können genutzt werden. Die Planung einer Maßnahme kann schon durch die Standfestigkeit am Bauort extrem eingeschränkt werden.

Außerdem muss vor Baubeginn überlegt werden wie die Materialien bis zum Standort transportiert werden können. Es kommt in der Ingenieurbiologie nicht selten vor, dass sich die Bauorte an schlecht bis sehr schwer zugänglichen Stellen befinden. Der Transport von schweren Bauelementen kann zudem zusätzlich das Gelände schädigen. Gerade in Gebirgen stellt diese Tatsache nicht selten eine planerische Herausforderung dar.

Vorkenntnisse zum Baugebiet sind in der Ingenieurbiologie wesentlich ausschlaggebender für den Bauerfolg als bei herkömmlichen Bauweisen, da mit lebenden Materialien gearbeitet wird. Neben Informationen zum Klima, der Vegetation, Geologie und dem Wasserhaushalt sind für ingenieurbiologische Bauweisen detaillierte Angaben zu Niederschlagsmengen und -verteilung, Temperatur und Einstrahlungsintensität, Nährstoff- und Sauerstoffgehalt des Bodens, Länge der Vegetationszeit, Exposition und Hangneigung, aber auch anthropogene Faktoren wie Übernutzungen oder Bodenverdichtungen für den Erfolg ausschlaggebend. (vgl. Schiechl / Stern 2002, S.5/6) Denn da bei Lebendbauweisen für gewöhnlich Pflanzen der örtlichen HpnV benutzt werden, reagieren diese auf plötzliche Veränderungen der

Standortbedingungen sensibel.

Der eigentliche Planungsablauf ist bei technischen und ingenieurbiologischen Bauwerken in wesentlichen Teilen zunächst gleich. Als Erstes wird die Zielstellung definiert und anschließend überlegt, wie das Ziel am besten erreicht werden kann. Während Planungen für herkömmliche Bauarbeiten bis in das kleinste Detail ausgearbeitet werden können, lohnt es bei Ingenieurbauweisen oft, die detailliertere Planung erst während der Durchführung der Arbeiten an dem Projekt vorzunehmen. (vgl. Zeh 2007, S.49) Bei Arbeiten im Erdbaubereich können immer wieder unvorhersehbare Probleme auftreten, zum Beispiel wenn „[e]in bei der Bodenuntersuchung im Hinblick auf die Versickerung als günstig eingestuft Boden mit gutem Schluckvermögen [...] bei der Bauausführung durch Kneten und Verdichten beim Befahren in seiner Versickerungsfähigkeit stark beeinträchtigt w[ird].“ (von der Stein 1997, S.35) Damit sind Planänderungen nötig, eine höhere Flexibilität bei Planern und Ausführenden gefragt.

Anders als bei technischen Bauwerken spielt bei der Planung von ingenieurbiologischen Bauten zusätzlich die Pflege eine große Rolle. Die Entwicklungs- und Unterhaltungspflege wird bereits vor Fertigstellung der Bauweise festgelegt. Dabei wird im Einzelnen Wert auf den regelmäßigen Abstand der Pflegeeinsätze gelegt, aber auch Maßnahmen zum Erhalt und zur Unterstützung der optimalen Weiterentwicklung des Bauwerkes bestimmt.

3. 2. Besonderheiten in der Herstellung ingenieurbiologischer Bauweisen

Anders als bei technischen Bauweisen, muss bei der Herstellung von Bauwerken oder Maßnahmen mit lebenden Komponenten auf deren spezielle Wachstumsanforderungen geachtet werden damit ein Erfolg erzielt werden kann.

So ist es bei Ansaaten zum Beispiel wichtig, das Saatgut passend zur potentiell natürlichen Vegetation des Standortes oder deren Sukzessionsstadien entweder zusammengestellt oder ausgewählt wird. Im Idealfall sollte dieses direkt aus der Herkunftsregion stammen, was seit 2010 Pflicht geworden ist. Bei Saatgut, aus

herkunftsfremden Regionen, welches oft kostengünstiger erworben werden kann, besteht immer die Gefahr, dass einzelne Arten in den Mischungen enthalten sind, die in den natürlichen Pflanzengesellschaften der Herkunftsregion nicht vorkommen und diese somit verfälschen könnten. Darauf zu achten ist Pflicht des Planers. Die Verwendung von Saatgut aus zertifizierten Saatgutherkünften ist natürlich mit höheren Kosten verbunden.

Bei Starkregen können frisch angesäte Pflanzen oder Keimlinge weg gespült werden. Alle Erdarbeiten, ob ingenieurbio-logische oder herkömmliche, sind vom Wetter abhängig. Bei anhaltendem Regenwetter müssen alle vegetationstechnischen Erdarbeiten (Verfüllung oder an Arbeiten an Hängen) abgebrochen werden, besonders wenn sich die Nässe ungünstig auf das verwendete Material auswirkt. So können Verfüllungsarbeiten mit feuchter Erde bei zu großer Nässe auslaufen. Die Regelungen zu Bearbeitungsgrenzen finden sich unter anderem in der DIN 18915 wieder. Damit ist es Pflicht bei geplanten Bauarbeiten den Wetterbericht im Auge zu haben. In der Ingenieurbio-logie werden daher passend zu den Witterungsbedingungen am Standort die Begrünungsmittel samt deren zu verwendenden Mengen sorgfältig ausgewählt.

Aber auch lange Trockenperioden können bremsend auf die Bauausführung wirken. Wenn beispielsweise in oder direkt an Flüssen gearbeitet wird, aber zu wenig Wasser zur Verfügung steht, so dass etwa geplante Spreitlagen nicht anwachsen können.

Worauf also zusätzlich bei ingenieurbio-logischen Maßnahmen zu achten ist – im Gegensatz zu herkömmlichen technischen Bauweisen, sind sämtliche Faktoren, die den Verbau der lebenden Materialien beeinflussen können. Ob es die allgemeinen Standortfaktoren sind oder das Wetter – ingenieurbio-logische Maßnahmen mit lebenden Materialien reagieren deutlich sensibler auf ihre Umgebungsfaktoren.

Davon abgesehen sind nicht ständig alle Materialien für den geplanten Verbau auch in der Nähe des Standortes vorhanden. In der Regel ist es jedoch möglich die benötigten Materialien aus nächster Nähe zu beschaffen. So können bei geplanten Spreitlagen auch Weidenbestände von weiter entfernten Gebieten beschafft werden, sollte der vorhandene Bestand in nächster Nähe nicht ausreichen. Werden allerdings sehr

spezielle Arten für eine Bauweise benötigt, die sich nicht direkt an Ort und Stelle befinden, kommen durch den notwendigen Transport von entnommenen Pflanzenbeständen oder Implantaten größere Kosten auf die Maßnahme zu. Wobei die Pflege (Wässerung, Beschattung etc.) während des Transportes ebenfalls wichtig ist, um die Individuen am Leben zu erhalten bzw. keinen Verpflanzungsschock auszulösen. In der Ingenieurbiologie können die zu verwendenden „Zutaten“ eben nicht passend zusammen gerührt werden, wie bei der Herstellung von Betonteilen.

3. 3. Wirkung ingenieurbiologischer Bauwerke auf deren Umgebung

Ansaaten oder Anpflanzungen wirken sich weit positiver auf das Umfeld aus, als nur in ihrer geplanten Funktion zur Sicherung des dauerhaften Erosionsschutz. Sie besitzen außerdem andere wichtige landschaftsökologische Funktionen: durch das Wurzelwerk wird der Boden je nach Pflanzenart oberflächlich oder auch tiefgründiger durchwurzelt, was eine Festigung der Bodendecke bis hin in den tieferen Boden zur Folge hat und Erosion zusätzlich verringert oder komplett verhindert.

Auch kann durch die Durchwurzelung eine verbesserte Aufnahme und Zurückhaltung von Wasser durch die Pflanzen erzielt werden, sodass die Entstehung von Standwasser nach ergiebigem Regen verhindert wird, genau wie auch das Abfließen von Oberflächenwasser in Richtung Hangfuß, wodurch oft Fließwassererosion entsteht. Die Durchwurzelung des Bodens fördert zusätzlich die natürliche Versickerung von Niederschlägen. (vgl. Zeh 2007, S.46)

Zusätzlich wird auch die Ablagerung von Erde, Geschiebe und Schnee durch die vergrößerte Bodenrauigkeit bei Buschlagen oder Bepflanzungen erhöht. Im Laufe der Zeit reichert abgestorbenes Pflanzenmaterial den Boden mit zusätzlichen Nährstoffen an. Dies kann sich positiv auf die örtliche Vegetationsgesellschaft auswirken.

Die Wirkung von ingenieurbiologischen Bauweisen ist also viel positiver und auch die Nebeneffekte sind sehr viel vorteilhafter als bei herkömmlichen Bauverfahren.

3. 4. Kostenfaktor

Der Kostenfaktor bei ingenieurb biologischen Bauweisen hat eine sehr große Spannweite. Sie können vom einstelligen Bereich pro Quadratmeter bis in den vierstelligen Bereich gehen. Das ist abhängig von der Aufgabenstellung, den verwendeten Materialien, dem Standort und dessen Zugänglichkeit.

Nicht anders als bei herkömmlichen naturfernen Bauweisen müssen die Kosten für das Material, die benötigten Geräte und Maschinen sowie der Zeitfaktor und damit verbunden die Löhne der Arbeiter berücksichtigt werden. (vgl. Böll et al. 1999, S.49)

Wobei sich der Kostenfaktor in der Ingenieurbiologie oft erst langfristig zeigen kann. Auch wenn manch ein Projekt zu Beginn der Bauphase wesentlich kostspieliger erscheint, macht es den anfänglichen hohen Aufwand auf lange Sicht vielleicht bezahlt. Denn im Endeffekt handelt es sich in der Ingenieurbiologie um lebende Objekte, die durch ihre Vermehrung oder ihr Wachstum in der Lage sind den Verschleiß durch die physikalische Beanspruchung mit ihrem natürlichen Wachstum zu kompensieren. (vgl. Schiechl / Stern et al. 2002, S.36)

Wichtig ist, dass sich die natürlichen Bauteile in einem Großteil der Fälle nach einer individuellen Entwicklungszeit selbst tragen können, d. h. im Idealfall ist die natürliche Entwicklung größer als der Verschleiß an den Bauwerken. Somit lässt sich der Pflegeaufwand nach der Entwicklungszeit gering halten und damit auch die Pflegekosten. „Das Ergebnis ingenieurb biologischer Verbauungen sind lebende Systeme, die sich auf dem Wege der natürlichen Sukzession, also durch eine dynamische Selbstregelung ohne künstliche Energiezufuhr, weiterentwickeln und im Gleichgewicht bleiben.“(Zeh 2009, S.47)

Die Entscheidung für die geeignete Bauweise fällt nach einer Abwägung auf die Bauart, welche am Standort einfach zu verwirklichen ist, sich gut in das Landschaftsbild einfügt und sich unter den Standortbedingungen behaupten kann. Bei voraussichtlich geringem Pflegeaufwand lassen sich die Kosten langfristig minimieren.

3. 5. Einsatzgrenzen der Ingenieurbiologie

Bei der Verwendung von Pflanzen als Baumaterial gibt es verschiedene limitierenden Faktoren, die bei künstlichen Materialien nicht beachtet werden müssen. Ob dies einen Nachteil für die Ingenieurbiologie darstellt, kommt auch auf die Voraussicht des Planers an. Für die Vegetationsetablierung, unabhängig ob es sich um Saatgut, Wiesendrusch, Stecklinge oder Anpflanzung von Gehölzen handelt, gibt es jeweils optimale Ausführungszeiträume. Während die beste Pflanzzeit bei Gehölzen in die Vegetationsruhe fällt, also über die Wintermonate - aber ohne Frost - sind bei Ansaaten traditionell die Zeiträume zwischen Anfang April und Mitte Mai sowie zwischen Anfang September und Mitte Oktober zu bevorzugen. In den Wintermonaten ist das Risiko von Erfrierung, in den Sommermonaten die Austrocknungsgefahr für die Saat zu hoch. Selbst bei Ansaaten unter Begrünungsmatten oder Mulchungen ist die Gefahr des Saatgutausfalls bei großer Kälte oder Hitze hoch. Zum Ausgleich können bei Ansaaten im Spätherbst Kaltkeimer zum Saatgut hinzu gegeben werden um einen Mindesterosionsschutz zu gewährleisten.

Auch natürliche Verbreitungsareale müssen bei ingenieurbiologischen Planungen berücksichtigt werden. So wachsen bautechnisch geeignete Arten eventuell gar nicht, weil das Gebiet nicht in ihr Areal gehört oder aber gebietsfremde Arten verdrängen die natürlich vorkommende Vegetation. Bei ingenieurbiologischen Bauweisen mit beispielsweise Weidenspreitlagen in Gebieten, die unter natürlichen Umständen keine Weiden beinhalten würden, muss darauf geachtet werden alle verbauten und eventuell angewachsenen Äste wieder vollständig zu entfernen um der Verbreitung der Weide dort keine Chance zu lassen. Da Weiden allerdings in den meisten Fällen lediglich Pionierarten darstellen, die sich außerhalb ihres Verbreitungsgebietes nur übergangsweise halten, können sie durch Pflanzungen von Zielgehölzen auch aus dem Bestand heraus konkurriert werden.

Für Gehölze spielt die Durchwurzelbarkeit des Bodens eine wichtige Rolle. Ist an einem Standort nur die oberste Bodenschicht durchwurzelbar, weil im tieferen Erdbereich etwa hartes Gestein liegt, können sich Bäume nicht fest im Boden verankern. Die Gehölze verlieren ihre Standfestigkeit bei zunehmender Größe und können bei starkem Wind

kippen. An Hängen reicht mitunter schon das Eigengewicht des Großbaumes aus um ihn zu entwurzeln. Bei solchen Böden ist der Planer angehalten Gräser und Kräuter Anpflanzungen vorzuziehen bzw. auf kleine Gebüsche zurück zu greifen.

Wie eingangs dargestellt, ist ein weiterer begrenzender Faktor in der Ingenieurbiologie das verwendete Material. Holz hat deutlich geringere Belastungsgrenzen als Beton oder Stahl, daher eignet es nicht ohne weiteres für den Einsatz an stark belasteten Stellen. Bei der Verwendung von Holz bei Wildbachsperrern beispielsweise werden häufig Drahtschotterkörbe oder großes Gestein verwendet um Konstruktionen zusätzlichen Halt zu bieten.

Trotz vieler limitierender Faktoren, lohnt der Einsatz der Ingenieurbiologie. Besonders weil die Etablierung der Bauweisen häufig weitere ungeplante positive Effekte auf die Umgebung fördert. Ohnehin ist zu sagen, dass der geübte Planer die Vegetationsarten und Bauzeiten passend zu den jeweiligen Standorten wählen wird. Das schränkt eventuell die Auswahl bei der Planung ein, aber ist kein Grund dafür, dass die gewählte Bauweise sich nicht erfolgreich etablieren wird.

4. Zielstellungen ingenieurbiologischer Bauweisen im Bereich Erdbau

4. 1. Maßnahmen zum Erosionsschutz

Unabhängig davon wie der Begrünungsversuch von Erdbaubauwerken erfolgt, das Ziel ingenieurbiologischer Bauweisen ist zumeist die Stabilisierung des Hangs durch eine Verringerung der Erosionskräfte, die auf den Hang einwirken. Zudem trägt die Begrünung zusätzlich noch zur Aufschließung des Bodens bei und erleichtert so die Wasseraufnahme bei Regen. Auch dienen die ansiedelnden Pflanzengesellschaften dem Ausgleich der Temperaturextreme zwischen den Luftschichten und dem Boden. Dadurch wird die Gefahr von Frost in der Erde verringert. Durch das abgestorbene Pflanzenmaterial reichert sich Humus auf den Hängen an.

An Standorten, an denen Pflanzen nur dünn-schichtige Böden oder Rohböden zur

Verfügung stehen oder Neigungsflächen keine Befahrung zulassen, wird Anspritzbegrünung bevorzugt. Denn durch den Kleber hält die Saat der Verlagerung durch Wind oder Regen stand. Das Saatgut ist sonst ungeschützt den Elementen ausgesetzt, durch Wind und Wetter angreifbar. Oftmals werden auf Extremstandorten zusätzlich Böschungsmatten oder Geotextilien auf die Ansaaten gelegt und mit Nägeln oder Holzpflocken befestigt um sie zu schützen, insbesondere an Uferböschungen um vor Unterspülung zu schützen oder an windexponierten Standorten. Dadurch wiederum entsteht unmittelbar ein Schutz der oberen Erdmassen vor Erosion in sehr steilen Lagen oder in Starkniederschlagsgebieten, allerdings mit begrenzter Tiefenwirkung.

Auch Saatmatten wirken so, mit dem Unterschied, dass die Ansaat dort bereits in dem Mattengeflecht eingearbeitet ist, dafür müssen allerdings Hänge eingeebnet werden, wodurch diese Bauweise nicht optimal für skelettreiche Böden ist. Alle Geotextilien können nur optimal bei Bodenkontakt wirken. Die eingeschlagenen Pflöcke zur Befestigung können je nach Gehölzart wiederum ebenfalls austreiben und durch die Durchwurzelung das Erdbaubauwerk um einiges stabiler machen. So erfüllen Steckhölzer zwei Funktionen, sie können zur Befestigung von Geotextilien, Reisiglagen, Strohdecksaaten und anderes verwendet werden und gleichzeitig sorgt die spätere Verwurzelung in den Erdtiefen später für zusätzliche Stabilität in den Böschungen. (vgl. Zeh 2007, S.165/167/181)

Bei Heumulchsaaten ist eine unmittelbare Wirkung auf die Böschungen festzustellen. Die Auflage aus Gräsern und Kräutern, welche im Heu beinhaltet sind, schützt direkt vor Winderosion im Gegensatz zum Heudruschverfahren, bei dem der Halmanteil zum Großteil fehlt. Zudem liegt der Vorteil bei dem Drusch- und Heuverfahren darin, dass es sich bei dem Saatgut um Vegetation aus dem direkten Umfeld der Böschungen und Hänge handelt und daher die Pflanzengesellschaften nicht durch fremdes Saatgut verfälscht werden. (vgl. Zeh 2007, S.171) Dazu müssen allerdings auch geeignete Spenderflächen in der Umgebung vorhanden sein.

Gehölzansaaten finden auf Hängen und Böschungen statt, auf denen Pflanzungen nicht erfolgversprechend sind und daher Gebüsche etabliert werden sollen. Diese Hänge haben oft einen felsigen oder kiesigen Untergrund und eine geringe Konkurrenz von

krautigen Pflanzen. Bei Gehölzansaaten muss dem Projektplaner klar sein, dass die Wirkung dieser Maßnahme erst nach sehr langer Zeit eintreten wird. Der Vorteil dabei ist aber, dass sich die Wurzeln der Gehölze, ähnlich wie bei dem Setzen von Gehölzstecklingen, langsam in die Böschung graben und anpassen können. Ein Verpflanzungsschock wie er bei manchen Jungpflanzen nach der Umpflanzung zu beobachten ist, entsteht hier nicht. Das Wurzelwerk bildet sich bei den wachsenden Jungbäumen entsprechend aus und reicht dann weiter in die tiefer gelegenen Erdschichten hinein. Dadurch entsteht Stabilisierung in der Tiefe des Hangs. (vgl. Zeh 2007, S.177/189f.)

In Extremlagen, wie zum Beispiel in großen Höhen, ist es unter Umständen erfolgversprechender gewünschte Gräser und Kräuter im Rahmen einer Hangstabilisierungsmaßnahme aus Initialpflanzungen mit Arten aus der näheren - oder einer vergleichbaren - Umgebung des Standortes zu setzen. Denn die Gräser und Kräuter in den Höhenlagen sind sehr gut an ihren Lebensraum angepasst, wachsen aber nur sehr langsam und sind nicht besonders konkurrenzfähig. Konventionelle Ansaaten müssen in Höhenlagen oft nachgebessert werden, da sie sich bei den kurzen Vegetationsperioden meist nicht dauerhaft halten können. Der Zweck der Hangsicherung wird bereits kurz nach dem Einsatz erfüllt. Durch Initialpflanzungen oder Versetzung von Vegetationsbeständen wird den Ausführenden der Maßnahmen die Ansiedlung oder Vermehrung einzigartiger Pflanzengesellschaften erleichtert. (vgl. Zeh 2007, S.211/257)

Dasselbe Prinzip wird auch bei Rasenziegeln verwendet. Wenn auch die Rasengesellschaften keinen unmittelbaren Wert für den Naturschutz haben, wird durch das Versetzen der geschlossenen Rasendecken am Ort des Einsatzes eine sofortige funktionelle und auch optische Wirkung damit erreicht. (vgl. Zeh 2007, S.261)

4. 2. Schutz vor Rutschungen

An Erdbaubauwerken wirken mehrere Kräfte. Zum einen begünstigen Wind und Wasser die Erosionen, besonders Starkniederschläge oder anhaltende Regenfälle, sowie Frost, Schneeschurf und Lawinenabgänge, zudem wirkt die Schwerkraft auf Hänge und

Böschungen ein. Kann das Bodenskelett instabile Hänge oder Ränder nicht mehr tragen, brechen sie ab oder Rutschen in Richtung Hangfuß hinunter. Ingenieurbiologische Maßnahmen können als Nebenwirkung ebenfalls den Standort destabilisieren oder Rutschungen auslösen, wenn etwa der Hang bei Bauarbeiten durch die Gerätschaften zu sehr belastet wird oder im Vorfeld nicht ausreichend gesichert wurde.

Um solche Rutschungen zu vermeiden, gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Stabilisierung. Es gibt Baumaßnahmen, die die Böschungen an sich temporär stabiler machen, zum Beispiel durch das Legen von Reisiglagen oder Geotextilien und es gibt Bauweisen, wie Anpflanzungen, die in der weiteren Entwicklung zur Verminderung von Rutschungen führen.

Um eine gezielte und somit kontrollierbare Materialverlagerung an steilen oder instabilen unbewachsenen Hängen auszulösen, werden diese von Hand mit Hilfe von Wasserdruck oder Maschinen abgeflacht. Bei Böschungen mit gebrochenen oder abgeschnittenen Rändern werden mit Hilfe von Maschinen oder auch von Hand die Ränder abgerundet (mit 3 m Radius) um die Möglichkeit der Erosion an den scharfen Kanten zu vermindern, sowie verlagerungsgefährdete Steine zu entfernen und somit die Böschung stabiler zu machen. (vgl. Zeh 2007, S.73/75) Hier muss der Abschnitt 4: Schutz von Bäumen, Vegetationsbeständen und Tieren der Richtlinie für die Anlage von Straßen beachtet werden. Werden an steilen Hängen Geotextilien verlegt oder eine Oberbodenandekung durchgeführt, werden die Flächen zuvor planiert um Ebenflächigkeit zu erzeugen und somit die Durchführung der Bauweise zu erleichtern. (vgl. Zeh 2007, S.77) Je nach Lage kann eine leichte Abtreppe vor dem Auftrag von Oberboden ebenfalls günstig sein.

Sollen Projekte an sehr hohen Böschungen verwirklicht werden, ist es oft nicht zu vermeiden Bermen in den Hang zu bauen um Platz für die Baumaschinen zu schaffen. Je nachdem wohin das abgetragene Material gebracht wird, ist der Bermenbau aufwändig oder schnell abgeschlossen. Da diese durch Wasseransammlungen aber einen Schwachpunkt für die Böschungen darstellen, wird versucht bei ingenieurbiologischen Verfahren weitestgehend auf sie zu verzichten. Stattdessen

werden lieber Verfestigungsmittel auf bindigen Böden verwendet. Im Endeffekt entscheidet das am Standort befindliche Gesteins- und Bodenmaterial und dessen Größe über das anzuwendende Verfahren.

Der Heckenlagenbau stabilisiert den Hang in der Tiefe, da die Wurzeln weit in den Hangs hinein reichen. An Hängen oder Böschungen mit steinigem Untergrund ist dieses Verfahren aber sinnlos, weil die Gehölze keinen tieferen Halt finden können und dadurch eher gegenteilig zur Stabilisierung wirken. Die Pflanzen geben dann Geröll und Geschiebe wie auch Starkregen schnell nach und reißen mit ihrem Wurzelraum noch einiges an Erde oder kleineren Pflanzen auf dem Weg zum Hangfuß mit sich.

Holzkrainerwände werden gerne auch zur Stabilisierung von Hängen an Fließgewässern eingesetzt, ebenso wie an Erdbaubauwerken. Wichtig zur Stabilisierung ist hier, dass je nach Ort und Lage die Wände gleich zu Beginn mit lebenden Pflanzen kombiniert werden. Die angepflanzten Arten können nach einiger Zeit die Stützfunktion der Krainerwände aus Holz übernehmen oder auch deren Lebenszeit durch zusätzlichen Schutz gegen die Abnutzung durch Wind, Regen und mechanischer Beanspruchung verlängern. (vgl. Zeh 2007, S.269) Dadurch erhöht sich der Schutz vor Rutschungen.

4. 3. Schutz von Verkehrswegen

Die Gewährleistung der Verkehrssicherheit wird besonders regelmäßig kontrolliert. Hier wird kein Risiko eingegangen und nur sehr effektive Sicherungsmaßnahmen genutzt. Die Einfügung der Bauweisen in die Umgebung oder deren Naturverträglichkeit steht in diesem Fall an hinterer Stelle.

Bei sehr steinigem Untergrund an steilen Hängen mit Abbruchgefahr großer Gesteine gibt es oftmals keinen anderen Weg als die Hänge durch Verankerung bzw. Erd- oder Felsnägel zu stabilisieren und somit Rutschungen zu verhindern. (vgl. Zeh 2007, S.101/103) Ist die Steinschlaggefahr hoch oder ist die Gefahr von rollenden Felsen an Felsböschungen akut, werden, besonders zum Schutz des Verkehrs, Steinschlagnetze aus Stahl angebracht, oft gefolgt von einer Anspritzbegrünung auf dem Rohboden oder

direkt auf dem Felsstandort. (vgl. Zeh 2007, S.109/167)

Die Gewährleistung der Verkehrssicherheit ist auch bei der Ingenieurbioogie ein wichtiges Thema. Besonders in der Nähe von Straßen werden oft Windschutz- und Verwehungszaune angebracht, in extremeren Gebieten auch Schneefänge um zu erreichen, dass Straßen vor Lawinen gesichert werden, oder auch vor Schneeverwehungen oder Sandstürme. Auch in Wintersportgebieten wird viel für die Sicherung von Hängen getan. Hier kommen neben den Schneefängen zusätzlich stabile Fangwände an Hängen und Böschungen zum Einsatz, die in der Lage sind, bereits rollende Lawinen mitsamt Geröll und Felsen aufzuhalten, die sie mit sich tragen können. (vgl. Zeh 2007, S.111/115/117)

4. 4. Maßnahmen zur Hangentwässerung

Auf sehr feuchten Standorten kommen Sickergräben mit Vorflutern zum Einsatz. Die feuchte Oberfläche wird durch die Gräben entwässert. Staunässe kann dadurch verhindert werden. Durch diese könnten Böden weiter verfestigt werden, versumpfen oder die Bodenlebewesen durch Sauerstoffmangel empfindlich gestört werden. Die Aufnahme und Ableitung des Oberflächenwassers hilft gegen durch Wasser bedingte Erosion. (vgl. Zeh 2007, S.87)

An feuchten Hängen werden außerdem Hangfaschinen zur Entwässerung benutzt. Die Faschinen werden den Hang entlang in Gräben befestigt und leicht übererdet. Dabei verlaufen die Gräben meist leicht geneigt und schräg zum Hangfuß, damit das von den Faschinen aufgenommene Wasser in dessen Richtung transportiert werden kann. Zum Abtransport des Wassers wird am Hang- oder Böschungsfuß eine Rinne gegraben, in der das aufgefangene Wasser sich sammelt und weiter abfließen kann. Bei starkem Regen hilft dieses System entstehende Wassermassen gleich aufzunehmen und gezielt abzuleiten anstatt eine Erosion durch Wasser zu riskieren. (vgl. Zeh 2007, S.237)

4. 5. Lärmschutzanlagen

Der Einsatz der Ingenieurbioogie zum Schutz vor Lärm scheint gegenüber ihren

anderen Einsatzgebieten beinahe banal zu sein, da es viele künstliche Lärmschutzwälle gibt, die gut funktionieren und vergleichsweise weniger Platz in Anspruch nehmen als Lärmschutzwälle aus bspw. Erde. Allerdings sollte dabei die positive optische Wirkung einer naturnahen Lärmschutzanlage nicht außer Acht gelassen werden.

Bestehen die Lärmschutzanlagen aus normalen Erdhügeln, die nicht so hoch und steil gebaut werden können, ist es für den erfolgreichen Lärmschutz wichtig zusätzlich Sträucher und, je nach Größe des Erdhügels, auch Bäume in enger Weise aneinander zu pflanzen um den durch kommenden Lärmpegel durch den geschlossenen Laubschirm zusätzlich zu verringern. (vgl. Theobald 1988, S.109f.) Problem im Winter ist bei Laubbäumen aber, dass die Fähigkeit vor Lärm zu schützen mit dem Verlust der Blätter ebenfalls verloren geht.

Wo normale Erdhügel oder -wälle nicht sicher genug sind, kann bewehrte Erde verwendet werden. Besonders bei sehr steilen Böschungen bei Lärmschutzanlagen, wird bewehrte Erde bevorzugt angewendet. Die Schichtung der Erdmassen, die durch Bewehrungsbänder und Geotextilien zusätzlich gesichert sind, kann extrem steil aufgebaut werden ohne einen Erdbeben befürchten zu müssen. Deshalb eignet sie sich besonders gut für Bauweisen nahe Verkehrswegen. (vgl. Zeh 2007, S.107)

Direkt an Autobahnen und Bahnanlagen werden für den Lärmschutz auch gerne Lärmschutzgabionen oder Betonkübel genutzt, die mit Kies, Sand oder Schaumlava gefüllt werden um unempfindlichen Pflanzenarten eine Existenzgrundlage zu bieten. (Zeh 2007, S.333) Gerade an Autobahnen oder anderen sehr stark befahrenen Verkehrswegen ist es sehr wichtig bei der Auswahl der Pflanzen-, Gehölz- und Baumarten darauf zu achten, dass sie widerstandsfähig gegenüber starker Hitze, Immissionen und Salze sind, um einem Ausfall der gepflanzten Individuen und damit auch gesteigerten Kosten für Ersatz- oder Pflegemaßnahmen entgegen zu wirken. (Theobald 1988, S.105f.)

5. Stabilisierung und Entwicklung von Fließ- und Stillgewässern und deren Ufer

„Fließgewässer sind dynamische Systeme, die ihr Bett und den dazugehörigen Talraum durch Abfolgen von Erosion, Transport und Sedimentation unter den jeweiligen Randbedingungen ausformen und dabei ihre eigenen morphologischen und biotischen Strukturen entwickeln.“ (Patt et al. 1998, S. 195)

In der Regel haben Fließgewässer einen eigendynamischen Charakter. An Stellen, an denen die Gewässer aber durch den Menschen verändert wurden, durch Begradigung, Ausbau oder Trockenlegung, wird diese Eigendynamik durch die dadurch entstehenden Belastungen oft entartet oder verhindert. (vgl. Patt et al. 1998, S.44) Die damit mancherorts einhergehende Strukturarmut führt in einem Großteil der Fälle zu einem Verlust an vielfältigen Lebensräumen. Durch den Rückbau früherer Verbauungen wird die natürliche Entwicklung des Fließgewässers wieder unterstützt. So kann beispielsweise begradigten Flüssen ermöglicht werden ihre eigene Dynamik wieder zu finden, denn „Wasserbau, insbesondere seine naturnahe Variante, bildet Elemente der Landschaftsgestaltung.“ (Schiechl / Stern 2002, S.2)

Ingenieurbiologische Bauweisen dienen im Wasserbau dennoch vor allem dem Erosionsschutz der Ufer von Fließ- und Stillgewässern, besonders bei erhöhten Wasserständen oder Hochwasser. Um diesen Schutz verwirklichen zu können, sollten auch hier wie im Erdbau Pflanzen benutzt werden um durch das Wurzelgeflecht die Stabilität der Böschung zu erhöhen. Bei sehr beanspruchten Böschungen empfiehlt es sich die Ansaaten zusätzlich durch leichte Netze aus Jute zu sichern oder eine Reisiglage anzulegen um die Jungpflanzen vor Verwehungen oder Austrocknung zu schützen. (vgl. Schiechl / Stern 2002, S. 37)

Besonders Steilhänge und Prallufer neigen dazu durch angreifende Schleppkräfte erst unterspült zu werden und dann später abzubrechen. Das in das Gewässer gefallene Material wird anschließend vom Wasserstrom flussabwärts transportiert und dort bspw. wieder an einem Gleitufer angelagert. Die Durchwurzelung mit Gräsern, Kräutern, Sträuchern oder Bäumen stabilisieren Gleit- und Prallufer oberflächlich und auch in der Tiefe und beugt so weiteren Abbrüchen vor.

Gräserdominierte Vegetationsbestände sind an Deichen und Dämmen einzusetzen. Größere Pflanzen samt ihres Wurzelraumes sind nicht für alle Ufer geeignet, da die Wurzeln besonders Erdwälle zu sehr auflockern könnten. Zudem kann Rasen auf viele verschiedene Arten etabliert werden und sogar wertvolle Biotope hervorbringen, wie zum Beispiel Halbtrockenrasengesellschaften. (vgl. Patt et al. 1998, S.248) Der Wasserhaushalt wird dadurch reguliert, da die Pflanzen das Regenwasser speichern und die überschüssige Nässe durch den gut verwurzelten Boden zur Hangentwässerung in die tieferen Erdschichten leiten können. (vgl. Schiechtl / Stern 2002, S.152)

Gehölze beschatten wiederum, wo sie Platz finden, das Gewässer, was andere Vorteile mit sich bringt. Es werden etwa Laichzonen für Fische begünstigt, das Wasser wird vor Erwärmung und Verkrautung bewahrt. (vgl. Patt et al. 1998, S.70) Da Gehölzansaat sehr viel Zeit brauchen bis eine gewünschte Wirkung eintritt, ist es verbreitet Steckhölzer von Weiden- oder Pappelarten am Gewässerrandstreifen einzusetzen. Sie können in Bauwerken der Ingenieurbiologie verwendet werden, treiben bei passenden Gegebenheiten aus und schlagen tief im Erdreich Wurzeln. Dadurch werden nicht nur Hänge gesichert, sondern auch Lebensräume für Pflanzen und Tiere geschaffen, die im Unterholz ihren Lebensraum haben. Zudem schützen die entstandenen Gehölze das Gewässer vor schädlichen Stoffeinträgen aus dem Umland, z. B. Dünger aus der Landwirtschaft. (vgl. Schiechtl / Stern 2002, S.48/56)

Die Wurzelstockpflanzung kann viele Vorteile mit sich bringen und ist weder kosten- noch, in den meisten Fällen, bauaufwändig. So werden an ruhigen Bächen oder auch Seen bei Niedrigwasser Pfähle zusammen mit zu einem Drittel eingegrabenem Altholz befestigt. Die Verankerung der Pfähle sorgt dafür, dass das Altholz bei Unwetter oder Hochwasser nicht weg gespült werden kann. Die Wurzeln des Baumes erhöhen die Struktur am Ufer und im Wasser und bieten vielen Tierarten einen Rückzugsraum. Ist das Altholz fähig zur Regeneration, kann es an geeigneten Standorten nach einiger Zeit wieder ausschlagen und somit können Gehölze an den Ufern etabliert werden. (vgl. Zeh 2007, S.141)

Die Ufervegetation in vielen Seen ist über Jahrzehnte hinweg sehr weit zurück gegangen. Neben einigen anderen Gründen sind die Wellenaktivitäten für den Schwund der Vegetation an den Ufern mitverantwortlich. Die Wellen tragen immer mehr Sedimente ab und nehmen so dem Schilf die Grundlage sich am Ufer anzusiedeln. Durch den Einbau von Lahnungen knapp unter Wasseroberfläche nahe des betroffenen Ufers wird die Wellenenergie gebrochen und die Sedimentation erhöht. Wird die Vegetation nicht mehr gestört, bestehen gute Chancen der Wiederausbreitung. (vgl. Zeh 2007, S.281)

Im Wasser selbst sind Steine ein sehr geeigneter Baustoff. Allerdings müssen die verwendeten Gesteine unempfindlich gegenüber Frost, Verwitterung und Abrieb sein und zusätzlich natürlich geologisch zu dem Einzugsgebiet des Gewässers passen. Oft werden in Flussbetten absichtlich Störsteine verschiedener Größen abgelegt um die Strukturierung des Gewässers zu erhöhen und damit auch neue Lebensräume zu gewinnen.

Optisch können Steinpflasterungen im Wasser oder am Ufer sehr künstlich wirken. Dem kann mit dem Setzen von Steinhölzern, in den Fugen oberhalb der Mittelwasserlinie, ein wenig abgeholfen werden, was auch für zusätzliche Stabilität sorgt. (vgl. Zeh 2007, S.293) Steinschüttungen wirken natürlicher und fügen sich mit ausgewählter Begrünung definitiv besser in das Landschaftsbild ein, was nicht unterschätzt werden sollte. Außerdem sind die Baukosten bei Schüttungen geringer als bei Pflasterungen. Stabilisieren lässt sich eine Steinschüttung zusätzlich mit Steinhölzern oder ausschlagfähigen Ästen, die zwischen die Steine gesteckt und mit feiner Erde abgedeckt werden. (vgl. Zeh 2007, S.291)

Beliebt zum Schutz des Uferfußes sind alle möglichen Arten von Faschinen. Diese werden meist in Fließgewässern eingesetzt. Je nach Fließgeschwindigkeit, Wasserdurchflussmenge und Transportfähigkeit des betreffenden Flusses, werden zum Schutz des Ufers Uferfaschinen, Senkfaschinen oder Drahtsteinfaschinen mit oder ohne Bepflanzung befestigt. Vorteil der Faschinen ist dabei, dass sie trotz Abschirmung des Ufers vor Auskolkung und Unterspülung wasserdurchlässig sind und Kleinstlebewesen in ihnen Schutz finden, sowie die Sedimentation an ihnen gefördert wird.

Uferpfahlwände bestehen neben Holzpfählen und wasserverträglichen Steinen auch aus Steinfaschinen. Um den Uferfuß zu schützen und auch den Hang zu stabilisieren, können Faschinen auch mit anderen naturnahen Bauweisen kombiniert werden. Die Astenden von Weidenspreitlagen, die in den Uferfuß gedrückt werden, werden dort in der Regel mit Faschinen gesichert. (vgl. Zeh 2007, S.233f.)

An reißenden oder sehr schnell fließenden Gewässern reichen Faschinen oft nicht mehr zur Ufersicherung aus. In diesen Fällen wird auf Krainerwände zurück gegriffen. (vgl. Schiechtl / Stern 2007, S.85f.) Faschinen finden sich trotzdem oft am Boden der Krainerwände zu deren Schutz und Unterstützung wieder.

Sind bereits Teile des Ufers eines Flusses abgebrochen, kann Gitterbuschbau verwendet werden um die Verlandung an ausgesuchten Punkten zu fördern und somit wieder Sedimente anzureichern. Treiben die eingearbeiteten Äste nach einiger Zeit aus, sichert dies die Böschung und das Ufer zusätzlich. (vgl. Schiechtl / Stern 2002, S.104)

Schließlich können auch verschiedene Arten von Bühnen eingesetzt werden, nicht nur zum zusätzlichen Uferschutz, sondern auch um den Stromstrich eines Fließgewässers gezielt zu verändern und abzulenken. So ist es dem Planer möglich eine erhöhte Dynamik zu erreichen, Ruhestellen für Fauna und beruhigte Bereiche für Flora zu schaffen, aber auch Gleit- und Prallufer zu bestimmen, wobei eine vorherige Sicherung erfolgen kann um die erhöhte Fließintensität an den jeweiligen Hängen zu kompensieren.

5. 1. Wildbäche, Hänge und Runsen

Diese, besonders im Gebirge und Hochgebirge vorkommenden natürlichen Formen, sind oft Auslöser für Erosionen und Abtrag von Geschiebe, bei starkem Regen. Durch die starken Neigungswinkel der Hänge, auf denen auch die Wildbäche und Runsen entlanglaufen, sammelt sich das Regenwasser aus dem gesamten Einzugsgebiet. Je mehr Wassermassen in den Bächen oder Runsen bei Regen nach unten stürzen, umso eine größere Transport- oder Schiebekraft haben sie. Diese Kräfte haben das Potential selbst Straßen und Häuser weg zu reißen.

Die Stabilisierung der Hänge ist das wichtigste Mittel der Ingenieurbiologie zur Vorbeugung solcher Extremereignisse. In Hangregionen ist das Problem dabei, dass die durch die Wurzeln der Pflanzen erreichte Festigung nicht über deren Tiefe hinaus geht. Für die Hangsicherung werden in den Wildbachregionen zur Gehölzbepflanzung neben Weiden auch oft Erlen, Eschen und Ahorn eingesetzt.

Durch die geballte Kraft der Geschiebmassen bei Extremereignissen in Wildbächen sind Holzbauweisen nur eingeschränkt einsetzbar, da deren Stabilität oft nicht ausreichend ist. Deshalb finden in diesem Bereich oft kombinierte Bauweisen, zu Beispiel mit Holz und Beton, ihre Anwendung.

Die Gefahr der Strukturveränderung der Bäche und Runsen liegt im Abtrag des Gesteins, kleinerer Kiesel und Erdschichten. Dabei werden die bereits vorhandenen Rillen weiter in den Untergrund geschliffen. Vertiefen sich die Abflussrinnen weiter, erfolgt der mögliche Geschiebetransport bei den nächsten Regenfällen durch den erhöhten Winkel noch schneller nach unten. Es drohen größere Rutschungen und immer tiefer liegende Erd- und Gesteinsschichten sind davon betroffen. Ziel ist hier also durch ingenieurbiologische Bauweisen die Abflussmengen und die damit verbundene Schubenergie des Wassers so weit wie möglich zu verringern. (vgl. Bergmeister et al. 2009, S.12f)

Die Frage nach einem passenden Wildbach- oder Runsenverbau ist in solchen Fällen durch einen Blick auf die Geschiebemengen bei Starkregen beantwortet. Holz als natürlicher Baustoff kann keine großen Geschiebetransportvorgänge stoppen. Die Stabilität dieses Baustoffes stößt dabei an seine Grenzen. Wenn die Schiebekräfte für Holzkonstruktionen zu groß werden, muss auf kombinierte technische Bauweisen mit Drahtsteinkörben, Beton oder Stahlbeton zurück gegriffen werden. (vgl. Bergmeister et al. 2009, S.70f.)

Ingenieurbiologische Maßnahmen wie Runsenausgrasungen oder -buschungen können nur während ruhiger Wetterlage ausgeführt werden. Gerade die Ausgrasung braucht Zeit um in den Runsen ihre Wirkung erzielen zu können. Hier ist die Vorbeugung vor

weiteren Eintiefungen innerhalb der Runsen das Ziel, wohin gegen die Runsenausbuschung dazu genutzt wird um bereits entstandene Eintiefungen wieder mit ausschlagfähigem Holz zu verfüllen. Treten gleich nach Abschluss der Bauarbeiten starke Regenfälle auf, ist das Risiko hoch, dass die eingefüllten Materialien durch die Regenfluten weg gespült werden. (vgl. Schiechl / Stern 2002, S.65/145)

Bei Hängen im Gebirge steht der Verbau von erosionsgefährdeten Stellen im Vordergrund. Hier wird zwischen oberflächlichen Rutschungen von lockerem Gestein und Oberboden und Rutschungen von tiefen Gesteinen oder Boden unterschieden. Da es Hänge auch in Runsen und an den Wildbachufern gibt, werden oft kombinierte Bauweisen aus oberflächlicher Befestigung mit Holzpfählen und Rückhalt von Geschiebe durch Wildbachsperrern aus Beton angewandt. Die richtige Einschätzung der Abnutzung ist von entscheidender Bedeutung für die Festlegung der Kontrollabstände der Bauwerke zusammen mit der Aufstellung der Pflegemaßnahmen. Auch hier kann die Bausubstanz schnell von ihrer Stabilität einbüßen wenn die Belastungen durch die Kraft der Geschiebetransportprozesse vernachlässigt werden. Eine Unterspülung des Bauwerkes muss vermieden werden. (vgl. Bergmeister et al. 2009, S.50f.) An solchen Stellen ist es wichtig in periodischen Abständen das Geschiebe und angeschwemmtes Totholz zu entfernen, um die Funktion der Wildbachsperre aufrecht zu halten.

Dabei sind Holzkastensperrern und Sperrernflügel durch ihren wechselfeuchten Standort und die hohen Geschiebelasten extrem in ihrer Haltbarkeit begrenzt. Deshalb werden zur Unterstützung mancherorts auch Drahtsteinkörbe mit in die Konstruktion eingefügt. (vgl. Böll et al. 1999, S.30)

Das ständig beanspruchte Holz muss unbedingt vor dem Abrieb geschützt werden, der durch die Geschiebe führenden Wassermassen entsteht. (vgl. Böll et al. 1999, S.51)

Bei extremen Wassermassen können in und um Wildbäche große Massen an Feststoffen mitgerissen bzw. transportiert werden und das in kurzer Zeit. Wildbachereignisse, die einen sehr hohen Feststoffgehalt im Wasser aufweisen, werden Murgang genannt. Darunter gehören unter anderem Gestein, Erde und auch Holz, dass durch die übertretenen Wassermassen zum Rutschen gebracht wird oder direkt im

Strom mit geschwemmt wird. Genau so können ganze Hänge als Begleiterscheinung zu rutschen beginnen oder abstürzen. So verlagern sich die Feststoffe vom oberen Hang in den unteren Talbereich. (vgl. Bergmeister et al. 2009, S.14)

Interessant ist, dass sich die Ablagerung der mit geführten Stoffe dabei je nach Ereignis unterscheidet. „Sind für Hochwasser bankige Feinsedimente (...) charakteristisch, so finden sich bei fluviatilem Feststofftransport sortierte Geschiebefächer und Lappen, die teilweise eine Deltaschichtung (...) aufweisen. Ablagerungen von murartigen Prozessen sind bei großer Ungleichförmigkeit unsortiert (...). Für Murgänge sind ein U-förmiger Abflussquerschnitt, den Murgang seitlich begrenzende Levees, Murlappen und ein Murkopf aus überwiegend großen Blöcken (...) charakteristisch.“ (Bergmeister et al. 2009, S. 15)

Um den Hang und dessen Umgebung vor solchen Verlagerungsprozessen zu schützen, gibt es mehrere Ansatzmöglichkeiten. So halten Schutzbauwerke Teile des Stofftransportes auf, indem im Bach Sperren und Becken oder Treppen errichtet werden um diesen zu mindern. Über Konsolidierungs- und Stabilisierungsversuche am Ufer, der Sohle und den Hängen wird versucht den Feststofftransport zu verkleinern. Hänge ingenieurbologisch so zu bearbeiten, dass durch die Pflanzung von Gräsern, Kräutern und Gehölzen mehr Wasser bei großen Regenfällen aufgenommen und zurück gehalten wird, ist eine hervorragende Maßnahme zur Vorbeugung gegen Wildbachereignisse.

5. 2. Hochwasser

Viele eigentliche Überschwemmungsgebiete haben im Laufe der Jahrhunderte ihre natürliche Funktion als Hochwasserrückhalt verloren. Zahlreiche Ufer in Auengebieten sind verbaut. Das hatte in der Vergangenheit vor allem wirtschaftliche Gründe. Die Schifffahrt war besonders im 19. Jh. ein wichtiges Transportmittel für Rohstoffe und Güter aller Art. Die Folgen des Uferverbaus und der Flussbegradigungen zu Gunsten der Schifffahrt wurden nicht bedacht oder in Kauf genommen. Im Wasserhaushaltsgesetz ist mittlerweile festgehalten, dass, wenn es nicht gegen überwiegende Gründe des Wohls der Allgemeinheit steht, alte Rückhalteflächen wieder

zurück gewonnen werden sollen, Eingriffe in das Ufer, welche zur Erosion führen können verhindert werden oder die ursprünglichen Gewässerstrukturen erhalten und verbessert werden sollen (§§ 77/78 WHG).

Durch die Begradigung vieler Flüsse zum Wohle der Schifffahrt gräbt sich das Wasser an manchen Stellen Jahr für Jahr tiefer in die Gewässersohle ein. Durch die erhöhte Fließgeschwindigkeit lagert sich in der Mitte des Flussbetts kein Sediment mehr ab, dafür werden aber Sedimente und kleinere Steine Flussabwärts transportiert. Das Bett wird so stetig tiefer gegraben. (vgl. Patt et al. 1998, S.232) Das hat meist auch Einfluss auf den Grundwasserspiegel der Umgebung, der ebenfalls absinkt. (vgl. Patt et al. 1998, S.49) Um solchen Prozessen entgegen zu wirken und das gerade in einer Zeit, in der die Schifffahrt als Wirtschaftsfaktor immer unbedeutender wird, ist die Ingenieurbiologie gefragt. Renaturierungsprojekten kommt in solchen Fällen eine Hauptrolle zu. So kann versucht werden durch Buhnen die Fließrichtung abzulenken um natürliche Prozesse in der Gewässerentwicklung in Gang zu setzen.

An vielen Urstromtälern entlang wird wegen des natürlich fruchtbaren Bodens intensive Landwirtschaft betrieben. In diesen Gegenden wurde in der Vergangenheit Land gewonnen indem Flussläufe umgelenkt worden sind oder Altläufe und -wasser trocken gelegt worden sind. (vgl. Patt et al. 1998, S.49)

Auch wenn für Hochwasser immer noch hauptsächlich Niederschläge verantwortlich sind, entstehen viele der heutigen Hochwasser auch durch den bisherigen Umgang des Menschen mit limnischen Gewässern und deren Umgebung. „Neben der räumlichen und zeitlichen Verteilung des Niederschlags ist die Speicherwirkung des Einzugsgebiets durch Bewuchs, Boden, Gelände und Gewässer maßgebend für die Höhe des Hochwassers.“ (Patt et al. 2001, S.11) Die Nutzung von Gewässern als Transportmittel war besonders in der Vergangenheit wichtig. Die Begradigungen der Schifffahrtsruten verschlimmern den Wasserstau bei Hochwasser, wenn das in der Gerade beschleunigte Wasser wieder auf ein natürliches gebogenes Ufer trifft. Ein Stau entsteht der das Ufer in diesem Bereich zusätzlich belastet. Je länger dieser Stau anhält, desto größer ist die Gefahr, dass Teile des Uferhangs abbrechen oder unterspült werden. Meist sind die Ufer an Häfen auf einer Seite komplett verbaut, sodass die

Wellenenergie das andere, nicht verbaute Ufer beschädigen.

Vielerorts sind die Städte und Dörfer bis dicht an die Flussufer heran gebaut worden. So wurden natürliche Überflutungsflächen vollständig besetzt und versiegelt. (vgl. Patt et al. 1998, S.50) Hochwasser hat so nicht nur keinen Platz mehr um sich auszubreiten und ist gezwungen, an diesen Stellen schneller abzufließen, es wird auch noch dadurch verstärkt, dass mehr Wassermassen in den Zufluss fließen, anstatt von einem Boden aufgenommen zu werden, dessen Infiltrationsrate kaum bis gar nicht mehr vorhanden ist. Regen sammelt sich oder fließt über andere Zuflüsse bis in den Hauptstrom seines Einzugsgebietes ein. Besonders bei Flüssen in direkter Nähe zu dränierten landwirtschaftlichen Flächen ist während starker Regenfälle ein extrem großer Oberflächenabfluss zu verzeichnen. (vgl. Patt et al. 2001, S.303)

Heute wird über ingenieurbioologische Bauweisen versucht, die natürlichen Formen des Gewässers wieder zu erlangen. Waren rechtwinklige, häufig gegenüber liegende Packwerksbuhnen aus Stein, Erde und Holz früher vor allem dazu verwendet worden, die Fließgeschwindigkeit des Wassers in der Flussmitte zu erhöhen, werden heute stromauf- oder abwärts geneigte Dreiecks- oder Flügelbuhnen vor allem dazu verwendet das Flussufer vor Auskolkung zu schützen. Die Zwischenräume der Buhnen dienen dabei als Refugium für Kleintiere, Fische, aber auch Wassersportler. Von Ufer zu Ufer wechselseitige Buhnen können den Stromstrich eines Flusses verändern und je nach Anlage auch die Dynamik des Gewässers. So können Prallufer entlastet werden und neue Prallufer gezielt entstehen. Die Ingenieurbiologie kann so Buhnen nutzen um das Gewässer zum Beispiel auf ein neues Prallufer zu lenken, welches zu diesem Zweck bereits verstärkt wurde. Die Bepflanzungen auf dem Bühnenkopf sollten in etabliertem Zustand in der Lage sein bei Überspülungen die Strömung zu verlangsamen. (vgl. Patt et al. 1998, S.225f.)

Auch können, um Hochwasserereignissen entgegen zu wirken, Altarme und Altwässer wieder reaktiviert werden. Bei Altarmen, die noch nicht vollständig vom Fließgeschehen des Hauptflusses abgeschnitten sind, kann eine Sanierung erfolgen. Dabei muss auf eine natürliche Wiederherstellung des Gewässers geachtet werden. Unnatürliche Zuflüsse müssen beseitigt werden. Hat sich Müll angesammelt, wird dieser genauso wie

die wahrscheinlich angehäuften Sedimente entfernt und abtransportiert. Der Charakter des Altarms, wie auch die Form seines Ufers müssen denen des Hauptgewässers entsprechen. Sind die Verlandung und andere Schäden am Altarm zu weit fortgeschritten, ist es lohnenswert über einen Neubau des Altarms, oder -gewässers nach zu denken. Dieser Schritt ist in solch einem Fall kostengünstiger und zeitsparend gegenüber der Alternative. Ein neuer Altarm sollte nach der Herstellung im Idealfall vollständig sich selbst überlassen werden um ihn in seiner eigendynamischen Entwicklung nicht zu stören. Diesen Prozess bis zur vollständigen Verlandung des Altgewässers durchlaufen zu lassen wird mit verschiedensten artenreichen Lebensgemeinschaften belohnt. Aus diesem Grund ist es eine Überlegung wert, ein Altgewässer lieber neu anzulegen anstatt ein vorhandenes verlandendes zu „restaurieren“. Obwohl die Neuanlage eines Altgewässers im Mittel- oder Unterlauf eines Flusses ein Eingriff ist, ist die dadurch neu entstehende Biozönose naturschutzfachlich meist wertvoller als der Ausgangszustand. (vgl. Patt et al. 1998, S.202f.)

Überflutungsflächen können benutzt werden um die Fließgeschwindigkeiten bei Hochwassern zu dezimieren. Dazu wird in Flüssen mit geringer Strömungs- und Wellenbelastung und in Altarmen auch der Bürsten- und Kammbau verwendet. Die ausgehobenen bewachsenen Gräben verringern dabei nicht nur die Wasserfließgeschwindigkeit, sondern fördern zudem noch die Sedimentation. (vgl. Zeh 2007, S.227)

Während eines Hochwassers wirken meist höhere Schubspannungskräfte auf die Flussufer. Die Ufervegetation verlangsamt die Fließgeschwindigkeit des übergetretenen Wassers und verringert somit auch seine Schubkraft. (vgl. Patt et al. 1998, S.145f.) Dennoch stellt jedes Hochwasser eine große Belastung für die betroffenen Uferbereiche samt deren Gewässerrandstreifen dar, genauso wie für ingenieurbioologische Bauweisen in diesen Bereichen. Eine Kontrolle des Zustandes der Ufer und anderen betroffenen Bereiche ist nach dem Extremereignis unbedingt von Sachkundigen durchzuführen.

6. Lebensdauer ingenieurbioologischer Bauweisen

Es gibt momentan nur wenige Berichte über die Lebensdauer von ingenieurbioologischen Bauwerken. Das liegt vor allem daran, dass die Ingenieurbioologie im Vergleich zu herkömmlichen Bauweisen verhältnismäßig jung ist. Frühe Bauwerke wurden zudem des Öfteren nicht gepflegt, da das dafür benötigte Geld nicht vorhanden war. Auch hier lässt sich sagen, dass Verbauungen an Extremstandorten generell selbst bei bestmöglicher Planung eine kürzere Lebenszeit haben als Projekte an wenig belasteten Stellen. Dem entsprechend werden an Extremstandorten die Pflegeeinsätze häufiger und aufwändiger geplant. Wenn die Pflanzen passend zum Standort gewählt sind und sich die Verhältnisse von Klima und Boden nicht zum negativen für die Anpflanzungen verändern, können sich die Bauwerke selbst erhalten nachdem sie sich zu einem Klimaxstadium entwickelt haben. Hier wirken das natürliche Wachstum und die Verjüngung der Pflanzen dem Zerfall durch physikalische Abnutzung entgegen. Der Vorteil bei den in der Ingenieurbioologie benutzten Materialien liegt in den möglichen Selbsterneuerungsfähigkeiten. „Die Langfristigkeit solcher Entwicklungen und die Langlebigkeit von Klimaxstadien erlaubt die Annahme, dass lebende Bauwerke hinsichtlich ihrer Lebensdauer dem klassischen Ingenieurbau überlegen sind.“ (Zeh 2007, S.50)

Bei Bauweisen mit Totholz weisen die verschiedenen Holzarten auch eine verschieden lange Lebensdauer auf. Sie sind je nach Art unterschiedlich gut gegen Insekten, Bakterien und Pilze geschützt und weisen unterschiedlich hohe Festigkeit auf. Vor allem Pilze können die Lebensdauer eines Holzbauwerkes entscheidend beeinflussen. Da Pilze, als Destruenten, nun einmal Totholz abbauen, können sie für ein Bauwerk zu einem großen Problem werden. Die Zersetzungsprozesse durch Pilze im Holz können vor allem durch eine Regulierung der Feuchtigkeit beeinflusst werden. Allerdings ist das bei Holzbauten in freier Landschaft nicht möglich.

Es ist aber trotzdem von Vorteil, wenn möglich einen Standort für die Holzkonstruktion zu wählen, der im trockenen Bereich liegt oder aber im komplett Feuchtem anstatt im Wechselfeuchten. (vgl. Böll et al. 1999, S.22) So sollte eine Konstruktion nicht in eine Senke gesetzt werden, in der sich das Wasser sammelt, sondern lieber auf leicht

geneigtem Terrain so dass Regenwasser abfließen kann. Eine andere Möglichkeit dem späteren Pilzbefall entgegen zu wirken, ist den Sauerstoffgehalt im Holz so niedrig wie möglich zu halten, da, für die Abbauprozesse von Pilzen Sauerstoff benötigt wird. Dafür empfiehlt sich die Nasslagerung, bestenfalls im Wasser, da so auch Bakterien am Holzabbau behindert werden. (vgl. Böll et al. 1999, S.15)

Auch Trocknung und Vergiftung des bereits gefällten Baumes kommen für die Langzeitkonservierung des Holzes in Frage. Wo Holz nach seinem Verbau in ständig feuchter Umgebung vorkommen wird, macht die Nasslagerung Sinn. (vgl. Böll et al. 1999, S.19) Das Holz kann allerdings auch schon vor dem Fällen von Pilzen oder Schadinsekten befallen sein.

Sollte das Holz während der Bauarbeiten entrindet werden um den Zusammenhalt der glatten Stämme zu erhöhen oder einem möglichen Befall von Schadinsekten über die Rinde entgegen zu wirken, ist es wichtig die Entrindung per Hand und nicht maschinell zu machen, da maschinelle Bearbeitungen grober sind und eine größere Gefahr besteht das Splintholz zu verletzen. (vgl. Böll et al. 1999, S.24)

Eine wesentlich längere Lebensdauer des jeweiligen Bauwerks lässt sich außerdem durch voraussichtliches Denken erreichen. Bei Konstruktionen, die ständig starken Witterungen oder Abrieb ausgesetzt sind, sollten die zumeist beanspruchten Teile so eingesetzt werden, dass sie relativ unkompliziert auszutauschen sind, ohne das gesamte Bauwerk wieder öffnen zu müssen. Natürlich können solche Stellen auch von vorneherein mehr verstärkt werden, zum Beispiel die Flügel einer Wildbachsperre gleich aus Drahtsteinkörben oder Steinblöcken zu bauen anstatt mit Holz. (vgl. Böll et al. 1999, S.54)

Die Lebensdauer eines solchen Drahtsteinkorbes wird von der Langlebigkeit und Stabilität des Drahtgeflechtes limitiert. Dabei ist zu bedenken, dass der Draht bei Hochwasser oder Sturzfluten, je nachdem in welcher Region er eingebaut wurde, unterschiedlich stark mechanisch beansprucht wird. Bei einer Beschädigung des Drahtgeflechtes durch mitgeführtes Schwemmholz oder Gestein, kann eine Schwachstelle im Korb entstehen. Daher sind an solchen Stellen „doppelt geflochtene

Körbe mit grosser Drahtstärke [...] besonders geeignet.“ (Böll et al. 1999, S.30)

Zusammenfassend lässt sich also schlussfolgern, dass die Lebensdauer ingenieurbiologischer Bauweisen, ähnlich wie bei technischen, stark vom Standort und dem verwendeten Material abhängig ist, genau so, wie an Bauorten mit extremen Wetterereignissen auch von der regelmäßigen Wartung und Pflege. Im Unterschied dazu ist, bei der Verwendung von lebenden Baumaterialien, das Bauwerk im Idealfall durchaus dazu in der Lage sich nach einer gewissen Zeit selbst zu tragen, was wiederum den Aufwand für Pflegeeinsätze stark verringert und die Lebensdauer des Bauwerkes um einen bedeutenden Zeitraum verlängert.

6. 1. Pflegemaßnahmen

Zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit ingenieurbiologischer Bauprojekte werden in der Regel Pflegepläne ausgearbeitet, die sich mit den einzelnen Schritten der Fertigstellungspflege, Entwicklungspflege und der dann später erfolgenden Unterhaltungspflege auseinander setzen und zusätzlich auch die Abstände für Zustandskontrollen festlegen. Diese Pflegepläne können einen Zeitraum von mehr als dreißig Jahren umfassen. (vgl. Zeh 2007, S.50) „Der Pflegeplan entfaltet aber nur dann Wirkung, wenn er praktikabel ist. Das heißt, die inhaltlichen Angaben müssen sachgerecht sein (Hochwassersicherheit, Natur- und Landschaftsschutz) und die Maßnahmen müssen innerhalb von sinnvollen Arbeitsabläufen durchgeführt werden können.“ (Stocker / Weber 1995, S.20)

„Bei der Beurteilung der Sicherheit eines Einzelbauwerks ist es zwingend erforderlich, das gesamte Verbauungssystem zu betrachten, da z. B. das Versagen eines Einzelbauwerks durch die Wirkungsbeziehungen Auswirkungen auf die restliche Verbauung und die geschützten Bereiche hat.“ (Bergmeister et al. 2009, S:196)

Im Gegensatz zu komplett mit künstlichen Materialien hergestellten Bauwerken, die ihre größte Wirkung direkt nach Fertigstellung des Baus entfalten, aber später aufgrund fehlender Selbstregelungsmechanismen unterschiedlich stark auf die Beobachtung und Pflege angewiesen sind, benötigen ingenieurbiologische Projekte ab einem bestimmten

Zeitpunkt kaum oder keine zusätzliche Pflege mehr. (vgl. Zeh 2007, S.47)

Diese Aussage bezieht sich allerdings auf den Idealfall. Die Fähigkeit der jeweiligen Bauweise, ihre Funktion voll selbstständig aufrecht zu erhalten, ist mit sehr vielen Faktoren verknüpft. Je extremer der Standort des Bauwerkes ausfällt, desto umfangreicher fallen die Pflegemaßnahmen aus. (vgl. Schiechtl / Stern 2002, S:163) Für Ansaaten und Gehölzpflanzungen ist das Klima ausschlaggebend. Bei unserem relativ milden Klima in Mitteleuropa stellen jedoch höchstens alpine Kältengrenzen für die Ingenieurbiologie eine Begrenzung dar. Trockenheit, große Hitze, aber auch Frost oder stehendes Wasser können die Pflanzungen stark schädigen, schwächen und sogar vernichten. (vgl. Zeh 2007, S.46) Auch die Zusammensetzung des Bodens entscheidet über die Pflege mit. Ist der Boden etwa stark sandig, sind Probleme für die Anpflanzungen eventuell fehlende Nährstoffe oder fehlende Wasserreserven bis sich durch die Pflanzen eine ausreichende Mulchschicht ausgebildet hat. Ein zu fester Boden kann durch die mögliche Wasser- und Luftundurchlässigkeit die ausreichende Durchwurzelung verhindern und damit die Instabilität der Bauweise verschulden. (vgl. Schiechtl / Stern 2002, S.165)

Bei Bauweisen direkt an Flüssen sind die verwendeten Materialien ständig der Reibungs- und Treibkraft des Wassers und der mitgeführten Sedimente ausgesetzt, besonders in Extremsituationen wie bspw. bei Hochwasser. An solchen Stellen eingesetztes Holz, hat je nach Dicke und Anzahl eine sehr limitierte Lebenszeit. An diesen Stellen wird oft lebendes Holz in die Konstruktion mit verbaut, welches schnell austreibt und wächst um die Funktionen des Totholzes zu stützen und wenn möglich später selbst zu übernehmen. An Extremstandorten müssen entsprechend öfter Pflegekontrollen erfolgen. „Um die Bestandsdauer [...] durch regelmäßige Instandhaltung optimal verlängern zu können, ist eine kontinuierliche Zustandsüberwachung der Bauwerke erforderlich.“ (Bergmeister et al. 2009, S.195)

6. 1. 1. Fertigstellungspflege

Die Fertigstellungspflege endet wenn der geeignete Zustand zur Abnahme erreicht ist. Dieser Zustand muss garantieren können, dass sich die Maßnahme weiterhin

entwickeln kann. In der Regel ist die Fertigstellungspflege die kürzeste Pflege an einem ingenieurbiologischem Bauwerk, dennoch kann sie gleichzeitig auch am kostenaufwändigsten sein. (vgl. Schiechl / Stern 2002, S.163)

In der DIN 18 918 sind die genauen Bedingungen zum Erreichen der ersten Abnahme beschrieben. Allerdings sind diese Bedingungen in den Pflegeverträgen meist zusätzlich verschärft aufgeführt.

Die für die Pflege verantwortliche Firma ist unter anderem verpflichtet nicht angewachsene Pflanzen durch eine Nachsaat oder -pflanzung zu ersetzen, Maßnahmen zur Wuchsförderung und zum Pflanzenschutz zu unternehmen, wie Gesundungs-, Kopf-, Stock- und Pflegeschritte an Gehölzen, genau wie entstandene Wunden zu versorgen. Auf Flächen mit konkurrenzschwachen Arten müssen störende Konkurrenten beseitigt werden, meist per Hand. Junge Anpflanzungen müssen vor Schädlingen geschützt werden, wenn möglich aber mit natürlichen Mitteln. (vgl. Schiechl / Stern 2002, S.163)

Die Bodenbearbeitung beinhaltet in der Regel die Förderung des Wachstums der Zielvegetation indem der Boden belüftet, gelockert, gemulcht, gedüngt, und Unkraut entfernt werden muss. Flächen, die es für die gewünschten Arten erfordern, müssen je nach Bedarf gedüngt werden, dabei muss die Art des Düngers passend zu den Bedürfnissen der Pflanzen sein. Bei der Gehölzpflege kann je nach Notwendigkeit entbuscht oder ausgelichtet werden.

Bei der Bewässerung von Flächen ist zu beachten, dass die Zugabe von Wasser vorsichtig portioniert und zeitlich stark begrenzt erfolgen sollte, um die betroffenen Pflanzen nicht von der Wasserzugabe abhängig zu machen. Daher erfolgt im Regelfall Bewässerung nur in extrem trockenen Perioden um die Vegetation am Leben zu erhalten. Ist der Boden nicht in der Lage Wasser in den Poren zu halten, sollten vor Anpflanzung spezielle Systeme zur Wasserhaltung verbaut werden. (vgl. Schiechl / Stern 2002, S.164)

Bei Projekten an Fließgewässern muss hingegen beispielsweise regelmäßig eventuell

angeschwemmtes Treibgut entfernt werden um mögliche Schädigungen der Bauwerke zu verhindern.

Wurde der Zustand des Projekts vom Auftraggeber abgenommen, erfolgt im Anschluss an die Fertigstellungspflege über meist mehrere Vegetationsperioden hinweg die Entwicklungspflege.

6. 1. 2. Entwicklungspflege

Die Pflege zur Entwicklung von Ingenieurbauweisen ist in den meisten Fällen wesentlich aufwändiger als die Unterhaltungspflege. Sie umfasst alle Pflegemaßnahmen, die nötig sind um einen funktionsfähigen Zustand zu erreichen.

Sobald das jeweilige geplante Bauwerk selbstständig seine Funktion aufnehmen kann, ist die Entwicklungspflege abgeschlossen. Normalerweise vergehen bis dahin zwischen zwei bis fünf Vegetationsperioden. Die Pflege beinhaltet unter anderem, ähnlich wie bei den Fertigstellungspflegemaßnahmen: Nachsaat bei nicht aufkeimenden Ansaaten, Nachpflanzungen, notwendige Düngungen oder Mulchen bei Nähr- oder Mineralstoffmangel, Durchlüftung des Bodens um den Stoffumsatz anzuregen, Rückschnitte und Mahd - falls die eingesetzten Pflanzen zu intensiv wachsen oder bereits vorhandene Pflanzen drohen das Projekt zu überwuchern - und das Wässern bei extremer Trockenheit. (vgl. Schiechtl / Stern 2002, S.164)

Droht der angesäten oder -pflanzten Vegetation Vertritt oder Verbiss durch Wild oder Weide, sollten Wildzäune rund um die gesamte Fläche oder die einzelnen Gehölze angebracht werden. Da diese aber sehr kostspielig sind, entscheiden sich manche Pflegefirmen für Wildverbisschutzmittel, die es aber nur auf chemische Basis gibt und daher auch Nebeneffekte auf die direkt umgebende Flora und Fauna haben können. (vgl. Schiechtl / Stern 2002,S.165)

Bereits nach dem ersten großen Unwetter nach Fertigstellung sollte eine erste Inspektion vorgenommen werden. Hier können sich eventuelle Schwächen in der Konstruktion gleich abzeichnen. Die frühzeitig erkannten Mängel können so mit

geringem Aufwand beseitigt werden. (vgl. Böll et al. 1999, S.57)

Die Entwicklungspflege wird im Normalfall zusammen mit der Ausführung des Bauvorhabens, sowie der Fertigstellungspflege, der selben Fachfirma anvertraut. Somit kann bei Mängeln, die schon während der Arbeiten auftreten, sofort flexibel reagiert und eine Gegenmaßnahme dazu ergriffen werden. Zudem ist es für die verantwortlichen Firmen vorteilhafter ihre eigenen Misserfolge zu beheben, denn daraus können sie für zukünftige Bauvorhaben gleich wertvolle Informationen sammeln. Natürlich kann der Planer aber auch geschultes Personal von dafür vorgesehenen Boden- oder Wasserverbänden für die Pflegearbeiten verpflichten. (vgl. Schiechtl / Stern 2002, S.166)

Schon bei der Entwicklungspflege werden die gepflegten Bauwerke nummeriert. Es werden Protokolle und Datensätze angelegt, die verschiedene Informationen über die Konstruktionen enthalten. Das Baujahr wird eingetragen, aber auch die Bauweise und das verwendete Material, die beauftragte Firma usw. Es empfiehlt sich die, während der Fertigstellung auftretenden Schäden oder das Projekt erschwerende Faktoren fest zu halten, um den Pflegern in der Unterhaltung wertvolle Hinweise auf den zu erwartenden Zustand oder Komplikationen mit dem Material geben. (Böll et al. 1999, S.57)

6. 1. 3. Unterhaltungspflege

Bei den Maßnahmen zur Unterhaltung steht der Erhalt bzw. die Sicherung der geschaffenen Vegetation oder des Bauwerkes im Vordergrund. Das heißt, im Idealfall muss in der Unterhaltungspflege kaum Aufwand betrieben werden. Wenn die ausgewählte Bauweise am Standort sich selbst erhalten kann ohne von ihrer mechanischen schützenden Wirkung einzubüßen, bedarf es keiner weiteren Pflege von Außen mehr.

Der Erhalt der Funktion der Bauweise wird trotzdem regelmäßig kontrolliert. Zudem unterstehen Bauwerke in Bereichen, die zum Zweck der unmittelbaren Sicherheit des Menschen dienen und Bauwerke in der Nähe von Verkehrswegen auch bei größtmöglicher Selbstregulation weiterhin ständiger Pflege, wie zum Beispiel

Erdbaubauwerke an Straßen oder Hochwasserschutzanlagen im städtischen Bereich. (vgl. Schiechtl / Stern 2002, S.168)

Die Pflegemaßnahmen während der Unterhaltung können bei bestehendem Bedarf unter anderem sein: Wildgitter als Schutz gegen Verbiss, Mahd inklusive Abtransport bei Halbtrockenrasen, Beweidung bei anfänglicher Verbuschung von Wiesen, Mulchauflage zum Schutz von Gehölzen oder Keimlingen vor zu großer Hitze oder Kälte, Bewässerung bei extremer Trockenheit, aber auch Entwässerung im Falle eines Wasserstaus, bei nährstoff- oder organismenarmen Böden Düngung, Lockerung oder Belüftung des Bodens, Gehölzschnitte bei kranken oder abgestorben Trieben, aber auch zur Verjüngung und Förderung gewünschter Gehölze. Somit gibt es bei den Maßnahmen an sich keinen großen Unterschied zu der Entwicklungspflege. (vgl. Zeh 2007, S.49)

Das Ziel der periodischen Unterhaltungsmaßnahmen bei Ansaaten oder Anpflanzungen ist die Schaffung von Dauergesellschaften von Pflanzen oder Gehölzen oder auch Schlussgesellschaften in Auenwäldern oder dass das Bauwerk seine technischen Funktionen zum Schutz erfüllt und vollkommen selbstständig auch weiterhin aufrecht erhalten kann. (vgl. Schiechtl / Stern 2002, S.166)

Was unterschieden werden muss, sind die verschiedenen Unterhaltungsmaßnahmen bei den einzelnen ingenieurb biologischen Bauweisen. So werden bei Krainerwänden ggf. die austreibenden Weidenbuschlagen zurückgenommen, um damit das Wachstum der eingebrachten Zielgehölze zu fördern, wie zum Beispiel Schwarzerlen, Eschen und Spitzahorn. Diese Gehölze sollen dann die Funktion der Krainerwand nach deren Zerstörung oder Verfall vollständig übernehmen.

Weidenspreitlagen in der Ufersicherung dienen zusätzlich meist als Schutz der eingebrachten Anpflanzungen. In der Unterhaltung ist darauf zu achten, dass die Bepflanzung wenn nötig frei geschnitten wird und nicht durch die austreibenden Weiden verdrängt wird.

Bei Uferfaschinen, die ebenso häufig mit austriebsfähigen Weiden versetzt sind,

übernehmen diese schnell nach Austrieb die Sicherung des Ufers. Damit diese elastisch bleiben, sich an das Ufer drücken und somit auch bei Hochwasser die Sicherung weiterhin gewährleisten können, werden sie je nach Austrieb alle drei bis fünf Jahre vollständig zurück geschnitten.

Wurde eine Raubaumsetzung im Fließgewässer durchgeführt, ist in der Unterhaltung vor allem darauf zu achten, dass die Bauweise weiterhin in der Strömung gut befestigt ist, gerade nach größeren Abflussmengen, außerdem sollten auf den angelagerten Sedimenten rechtzeitig standortgerechte Gehölze gepflanzt werden um die Festigung der Bauweise zu sichern.

Bei Lahnungen ist es in der Unterhaltungspflege wichtig die funktionsunfähig gewordenen Teile des Bauwerks nachzubessern oder auszutauschen. Daher ist dort eine periodische Überwachung angebracht um rechtzeitig funktionsunfähige Bauteile heraus filtern zu können. Die Unterhaltung bei Steckhölzern beschränkt sich lediglich auf das Auslichten der wachsenden Gehölze, aber das ist hier ganz abhängig von dem Entwicklungsziel.

Angebrachte Vegetations- oder Böschungsschutzmatten müssen im Lauf der Jahre nur auf ihre Befestigungen hin kontrolliert werden und stellen somit einen sehr geringen Unterhaltungspflegeaufwand dar. (vgl. WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung 2013, S.46-84) „Versickerungsanlagen müssen mindestens einmal im Jahr gesäubert werden.“ (von der Stein 1997, S.35) Dabei sollten Siebe und Filter im Zulauf gereinigt oder ausgetauscht, Absetzschächte geräumt und nach der Mahd begrünter Mulden muss das Mahdgut entfernt werden. (vgl. von der Stein 1997, S. 35)

Eine, dem verwendeten Material oder der Funktion, angemessene Überwachung muss an allen Konstruktionen unbedingt durchgeführt werden. Generell sind kleine frische Mängel in den Bauweisen leichter und mit wesentlich weniger Aufwand zu beheben als schwer reparierbare größere Schäden, die entstehen, wenn kleine Defekte nicht zeitnah behandelt werden. So lassen sich zum Beispiel einzelne verfaulte Holzteile einer Wildbachsperre ersetzen, wohingegen die gesamte Sperre bei Nichtbeachtung der

Einzelelemente funktionsuntüchtig werden kann. Der Neubau einer Sperre ist natürlich zeit- und kostenaufwändiger als der Austausch einzelner Elemente. (vgl. Böll et al. 1999, S.54)

Auf extremen Standorten, in Hochwassergebieten, oder in Gebieten mit Lawinengefahr oder bei starken Regenfällen, die im Gebiet typisch sind, ist eine regelmäßige Kontrolle unablässig. Die ständigen starken Beanspruchungen der Bauwerke verhindern in diesen Fällen meist eine vollkommene Selbstregulierung. Die Kontrollen werden in solchen Gebieten meist einmal jährlich durchgeführt oder im Bedarfsfall nach extremen Ereignissen. Dabei wird auf Beschädigungen im Bauwerk, Unterspülungen, Spuren von Verbiss, Austrocknung, Brand und Ähnliches geachtet und entsprechend des Zustandes mit passenden Gegenmaßnahmen reagiert. (vgl. Zeh 2007, S.49)

Bei akuten Schäden werden sofort nach Entdeckung und je nach Lage mehrmals im Jahr Unterhaltungsmaßnahmen ergriffen. Davon abgesehen erfolgen Pflegemaßnahmen in mittelfristigen und langfristigen Intervallen, das heißt zwischen drei und zehn Jahren und in Abständen von mehr als zehn Jahren. (vgl. Zeh 2007, S.49) Besonders aus diesem Grund ist es notwendig, dass der Planer des Projekts schon frühzeitig die Pflegepläne für die verschiedenen Stadien der Bauwerke festlegt, in denen auch Einzelheiten zum Pflegekonzept fest gelegt werden. Dadurch wird es für die ausführende Firma bei großem Pflegeumfang leichter den Überblick zu behalten und wichtige Einzelheiten nicht zu übersehen. (vgl. Schiechtl / Stern 2002, S.168f.)

Man darf nicht vergessen, dass jeder Pflegeeinsatz eine Wirkung auf die ingenieurbioologischen Bauweisen hat und das können auch negative sein, wie bei der Mahd von Hängen durch Maschinen. Durch das Gewicht solcher Mähmaschinen kann die Erosion am Hang begünstigt werden. Von diesem Gesichtspunkt aus, sollten die Einsätze zur Unterhaltung vorher stets genau durchdacht sein, auch mit möglichen negativen Konsequenzen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Unterhaltungsmaßnahmen genau auf die jeweilige ingenieurbioologische Bauweise zugeschnitten werden müssen. Dabei gibt es sehr aufwändige, genauso wie weniger aufwändige Maßnahmen abhängig von der

Bauweise. Zusätzliche Kontrollen nach Extremereignissen, wie Hochwasser oder starken anhaltenden Regenfällen sind empfehlenswert. Im Regelfall werden Pflegeeinsätze in der Unterhaltung aber seltener.

7. Praxiserfahrungen ausgewählter Bauweisen

7. 1. Erdbau

7. 1. 1. Trockenansaat (4 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Karl 1992, S.8-12)

Standort:

Österreich, südlich der Donau und nördlich der March, Gerasdorf

Gegenstand:

Marchfeldkanal – Leitung von Wasser der Donau, Fließgewässertyp 9.2 Große Flüsse des Mittelgebirges, zu den trockengefallenen Bächen Russbach und Stempfelbach; Begrünung von Uferböschungen

Ausführender/Planer:

interdisziplinäre Teams aus Kulturingenieuren, Bautechnikern, Landschaftsplanern, Architekten und Biologen, Detailplanungen unter Einbeziehung der Bevölkerung

Ausführungszeitpunkt:

1988-1992

Beschreibung der Maßnahme:

Die Ansaaten erfolgten auf trockenen, teilweise sonnenexponierten Böschungen in einem niederschlagsarmen Gebiet. Es wurde eine Saatgutmischung zusammengestellt, welche Gräser, Kräuter, aber auch Gerste (*Hordeum vulgare*) oder Hafer (*Avena spec.*) enthielt. Allerdings wurden auf verschiedenen Flächen verschiedene Ansaaten

aufgebracht. So wurde auf einer Versuchsfläche beispielsweise nur Winterweizen angesät, andere Standorte wurden mit Wiesensaatgut besamt. Auf weitere im Marchfeldkanal angewandte Maßnahmen, wie Steckhölzer und Spreitlagen, und deren Entwicklungen wird unter den Punkten 7. 1. 5. Beispiel 1 und 7. 2. 1. Beispiel 2 näher eingegangen.

Entwicklung:

Beobachtungen ein bis drei Jahre nach den Maßnahmen

positive Beobachtungen:

Über das gesäte Getreide erfolgte eine rasche Primärsicherung der Böschungen. Durch das Abmähen des Getreides konnten Gräser und Kräuter in den Lücken wachsen, während die Erosionssicherung durch die Getreidewurzeln weiterhin bestehen blieb. In einer Untersuchung zur Vegetationsentwicklung des Marchfeldkanals vor der Flutung waren über 300 eingewanderte Pflanzenarten gezählt worden. Der Artenreichtum war besonders auf Brachflächen und Schotterbänken ungewöhnlich hoch. Während die Flächen mit Wiesensaatgutmischungen nur ca. 10 Arten aufweisen konnten, wuchsen bis zu 120 verschiedene Arten auf den Getreideflächen, was nicht erwartet worden war. Die Herkunft der zahlreichen Arten konnte auch nach Überprüfung nicht geklärt werden, da auch im Umland nur artenarme Pflanzenbestände vorkamen. Des Weiteren fanden sich bei Kontrollen auch Arten der feuchten Standorte auf den trockenen Böschungen, deren Vorkommen ebenfalls nicht nachvollzogen werden konnte.

negative Beobachtungen:

Die Wiesensaatgutmischung hatte nach einiger Entwicklungszeit entgegen den Erwartungen nur eine sehr niedrige Artenzahl aufzuweisen. Eine Wiederverwendung dieses Saatgutes für das Marchfeldprojekt war unwahrscheinlich.

Fazit:

Die Entwicklung der verschieden ausgewählten Trockensaatgutarten war auch für die Planer überraschend oder teilweise nicht nachvollziehbar. (vgl. Karl 1992, S.8-12) Scheinbar ist die Verwendung von artenarmen Getreidemischungen auf den trockenen Standorten ein Erfolg. Das liegt wahrscheinlich daran, dass die Getreidesorten bei der Trockenheit

nicht so dominieren wie sie es auf frischeren Standorten tun würden. So haben Arten, die auf trockene nährstoffarme Standorte angepasst sind Gelegenheit sich anzusiedeln. Die extrem hohe Artenvielfalt könnte womöglich durch Ruderalpflanzen aus dem vorher abgedeckten Boden resultieren.

2. Beispiel (vgl. Eberle 2002, S. 18-23)

Standort:

Schweiz, Kanton Graubünden, Flüelapass

Gegenstand:

Flüelapass, Alpenpass mit Höhenlage von über 2200 Meter über dem Meeresspiegel mit teilweise starker Sonneneinstrahlung, da auf Südabdachung des Alpenkammes; Übergang von alpiner zu subalpiner Zone; durch ständige Erosionen kaum Oberbodenmaterial; unregelmäßige Regenfälle und starker Wind, ständige Austrocknung der obersten Bodenschicht; Schutz vor Steinschlag zum Ziel

Ausführender/Planer:

Bauherr: Tiefbauamt Chur, Planer: Forstingenieurbüro Dr. Hannes Barandun, Vegetationstechnik: Eberle Ingenieurbüro für Landschaftsbau AG, Bauarbeiten: Prader & Co. AG

Ausführungszeitpunkt:

1995-1998

Beschreibung der Maßnahme:

Nachdem vor der Bauausführung Versuche zum Begrünungsverfahren durchgeführt wurden, entschied sich die Bauherrschaft für das FIBRATER-System, womit ein organisch-mineralisch bindendes Gemisch und angepasstes Saatgut aus CH-Hochlagen-Ökotypen im Trockenspritzverfahren auf die Flächen gespritzt wird, da es am besten abgeschnitten hatte und alle Voraussetzungen für eine erfolgreiche Begrünung erfüllte. Dem Gemisch wurden für sofortige Erosionsminderung auf den Flächen zusätzlich organische Bindemittel beigefügt. Die Trockenanspritzung enthielt

für die oberste Schicht eine Samenmischung, die speziell aus einheimischen eingelagerten Samen bestand. Wenn notwendig wurden die angespritzten Saatflächen wegen der Hangsteilheit oder Geländeform mit nicht näher beschriebenen Mulch oder Beschattungsmatten abgedeckt um die Ansaat vor Ausfall zu schützen. Zusätzlich wurden alle Flächen mit Seilnetzvorhängen oder Maschennetzen abgedeckt um Lockerfelspartien zu sichern.

Entwicklung:

Beobachtungen 1998-2002

positive Beobachtungen:

Die Vegetationsdecke hatte sich trotz extremer Bedingungen gut entwickelt, was wohl auf die Saatgutmischung und das Trockenspritzverfahren zurück zu führen war. Dadurch wurde die Erosion von Feinmaterial zwischen den Netzen mindestens vermindert. Die entstandene organische Masse der Vegetation verringerte Erosion durch Frost und Regen. Durch das Spritzverfahren in Kombination mit den Netzen wurden harte Bauweisen, trotz anliegender Straße, auf ein Minimum reduziert. Trotz anfänglicher Probleme mit Wild konnten sich die Tiere nach zwei Vegetationsperioden im Sanierungsgebiet aufhalten ohne die Vegetation negativ zu beeinflussen.

negative Beobachtungen:

Die junge Vegetation wurde durch Wildverbiss sowie Trittbelastung durch Gämsen und Hirsche gefährdet. Ein errichteter Wildschutzzaun hatte keine Wirkung, daher mussten in letzter Möglichkeit einige Leittiere geschossen werden.

Fazit:

Das Trockenspritzverfahren war durch die genau ausgesuchte Saatmischung erfolgreich. Während der Anspritzung können die mineralischen und organischen Stoffe in unterschiedlichen Dicken aufgetragen werden, wodurch kleinere Unebenheiten im Hang beseitigt werden. Dank des bindenden Gemisches war die Saat fest im Auftrag verankert, da die Böschungen trotzdem extremem Wetter und Wind ausgesetzt waren, war die vereinzelte zusätzliche Abdeckung mit Mulch oder Beschattungsmatten angebracht um die Saat vor Austrocknung oder Abtransport zu schützen. Die relativ

schnelle Entwicklung der jungen Pflanzen an einem solch extremen Standort ist trotzdem überraschend, besonders an den Stellen, wo die Vegetation durch Wildverbiss und -tritt in der ersten Zeit gestört wurde. Ohne die Sammlung und Einlagerung des einheimischen Saatgutes wäre die Entwicklung der Ansaat sicher nicht so positiv verlaufen.

3. Beispiel (vgl. Andrey / Streit 2005, S.9-11)

Standort:

Schweiz, Val d' Anniviers, Mottec

Gegenstand:

Hänge des Val d' Anniviers, von denen häufig Lawinengefahr ausgeht, weswegen der Hang zum Schutz vor Lawinen mit einem System aus Anhalts-, Führungs- und Umleitungsdämmen umbaut ist

Ausführender/Planer:

Planung: Nivalp SA, Ayer; Ansaat: Hydrosaat SA, St. Ursen; Samenmischung: Otto Hauenstein Samen AG, Rafz; Helikopter: Air Zermatt SA, Raron

Ausführungszeitpunkt:

2002-2004

Beschreibung der Maßnahme:

Für die Erstellung der Dämme wurde aufgeschüttetes Erdmaterial, vor allem aus Moräne, aus der Umgebung benutzt. Die verschiedenen Schichten wurden gemischt wieder aufgeschüttet und der Zugang zu den Flächen war nach Fertigstellung der Erdarbeiten sehr erschwert. Daher konnten nur die Flächen unterhalb der Zubringerstraße im Nasssaatverfahren begrünt werden, da dieses Verfahren eine begrenzte Reichweite hat. Der Großteil der Flächen musste mit einem Helikopter per Trockenansaatverfahren begrünt werden. Das Saatgut enthielt dabei Arten, die schnellen Erosionsschutz gewährleisten und standortheimische Arten. Die schnell wachsenden Pionierarten, die das Auswaschen von Bodenfeinteilchen verhindern

sollten, wurden dann nach einigen Jahren von den standortgerechten Arten abgelöst. Zusammen mit dem Saatgut wurden mineralische und organische Nährstoffe und Bodenaktivatoren ausgeworfen, wie auch für die meisten Pflanzen in der Umgebung wichtige Pilzteile und -sporen. Zusätzlich wurde ein organischer Kleber über die Saat ausgebracht um die Samen bis zur Verwurzelung vor Erosion durch Wind oder Wasser zu schützen. Die Hangneigung betrug meist um die 60% während der Höhenunterschied vom Helikopter zum Hang ca. 340 Meter betrug. Es wurden zwei Ansaaten in einem Abstand von zwei Jahren ausgebracht um den Erosionsschutz zu erhöhen.

Entwicklung:

Beobachtungen 2004

positive Beobachtungen:

Durch die feuchten Sommer hatte sich die Saat sehr gut entwickelt. Die Flächen von 2002 wiesen nach zwei Jahren bereits eine fast vollständige Vegetationsdecke auf. Insgesamt waren alle beteiligten Parteien sehr zufrieden mit dem Ergebnis.

negative Beobachtungen:

Der Einsatz eines passenden Helikopters samt Sägerät ist sehr teuer und erfordert einen erfahrenen Piloten, zudem kann die Aussaat nur an windstillen Tagen ausgeführt werden und der Boden sollte bestenfalls feucht sein, damit der Kleber besser haftet.

Fazit:

Obwohl der Helikoptereinsatz sehr teurer war, hat er sich gelohnt. Da der angestrebte oberflächliche Erosionsschutz bereits nach zwei Jahren auf den Flächen erfolgt war, war die Bauweise der Trockenansaat im Beispiel erfolgreich. Weil die Flächen bereits durch die erste Ansaat fast zu 100% bewachsen waren, ist es fraglich inwieweit die zweite Ansaat und damit verbundene Kosten noch notwendig gewesen war. Nachteilig für den Erfolg der Maßnahme war sie trotzdem nicht.

4. Beispiel (vgl. von Albertini / Regli 2012, S. 12-22)

Standort:

Schweiz, Kanton Graubünden, Julierpassstraße

Gegenstand:

Julierpassstraße, Trasse erneuert und teilweise um Schüttungen und Abträge ergänzt

Ausführender/Planer:

Tiefbauamt Graubünden

Ausführungszeitpunkt:

Herbst 2008

Beschreibung der Maßnahme:

Zur Begrünung der neu aufgeschütteten oder abgetragenen Hänge nahe der Straße wurden verschiedene Methoden ausprobiert. Im Herbst 2008 wurde eine passende Saatmischung, für Magerweide mittlerer Berglagen, an einigen kleineren Flächen der Böschungen ausgestreut. Die Ansaat erfolgte ohne anschließende Abdeckungen oder Düngung. Der Rest der Hänge wurde durch direkte Versetzung bereits vorhandener Pflanzenbestände begrünt. Mehr Informationen zu den Einzelheiten und der Entwicklung der Transplantationen an der Julierpassstraße befinden sich unter Punkt 7. 1. 4. Beispiel 3.

Entwicklung:

Beobachtungen von 2009

positive Beobachtungen:

Es wurden im ersten Jahr nach der Ansaat 35-40 verschiedene Arten gezählt, wovon zwischen 7 und 11 Süßgräser waren.

negative Beobachtungen:

Im Sommer 2009 hatte sich unerwünschter Roggen (*Secale cereale*) und andere

Fremdarten in den Ansaatflächen etabliert, vermutlich als Folge einer unreinen Saatmischung. Der Deckungsgrad der Ansaatflächen betrug nur 39%.

Fazit:

Die Ansaaten hätten sich mit Sicherheit wesentlich besser am Standort etablieren können, wenn wachstumsunterstützende oder schützende Maßnahmen ergriffen worden wären. Zudem war der Saatzeitpunkt selbst für eine Hochlagen-Mischung nicht ideal gewählt. Die Ansaat hätte mit einer Mulch- oder Geotextilauflage vor Erosion und Kälte geschützt bessere Überlebens- oder Austriebsmöglichkeiten gehabt. Das wohl fremde Arten mit im Saatgutmix beigemischt waren, ist kein unbekanntes Problem. Zukünftige Pflegemaßnahmen sollten anschließend die Fehler bei der Ansaat beheben. Ungewollte Arten müssen aus dem Bestand entfernt oder so zurück geschnitten werden, dass andere Arten im Wachstum gefördert werden.

Gesamtfazit Trockensaat

Von den vier Beispielen ausgewählter Trockensaatungen wurden alle zumindest in erhöhter Lage durchgeführt. Das verschafft einen relativ guten Überblick über Probleme solcher Verfahren im Hochland und Gebirge. Da die Herausforderungen des Trockensaatverfahrens allerdings durchaus die Selben im Flachland sind, als da wären Trockenheit, zu große Hitze oder Kälte, sowie starker Wind oder Regen, die die Saat fortspülen, muss diese Zusammenfassung nicht als zu einseitig gesehen werden.

Der Helikoptereinsatz aus Beispiel 3 zeigt nochmals die Vorteile einer Trockenansaat auf, besonders im Gebirge. Für dieses Verfahren wird kein Wasser benötigt um die Saatmischung zu verteilen. Trotzdem können, wenn es die Lage erfordert – wie in Beispiel Nummer 2, auch Bindemittel zu der Mischung zugefügt werden um ein Haften der Samen an der aufgerauten Oberfläche zu erwirken.

Allgemein ist für den Erfolg von Trockensaatungen trotzdem vor allem die richtige Auswahl des Saatguts verantwortlich. Besonders bei Anwendungen in Hochlagen profitieren die Maßnahmen von dieser Wahl, aber auch in anderen Gebieten. Der Grund dafür ist simpel: standortgerechtes Saatgut ist nun einmal auch auf den gewählten Standort

bestens abgestimmt. Genauso reagiert Saatgut von trockenen Standorten auch bei dem Einsatz auf trockenen Standorten stressfrei und angepasst. So können sich die Samen schneller etablieren und eine Vegetationsdecke aufbauen, die vor Erosion schützt.

Wie in Beispiel 1 gezeigt, kann eine Ansaat sogar Ausschlag für eine erstaunlich hohe Artenvielfalt sein, da sie anderen standortgerechten heimischen Pflanzen den Weg ebnen kann, sich in neuen Gebiete nieder zu lassen. Bei an den Standort unangepasstem Saatgut ist das Risiko des Verlustes wesentlich höher, da die dort angesäten Arten bereits um ihre Etablierung kämpfen müssen. Bei Saatgutmischungen besteht jedoch die Gefahr, dass auch standortfremde oder ungewünschte Arten in die Zusammenstellung geraten sind. Wie in Beispiel 4, wo Roggen im Saatgut mit enthalten war.

Unreines Saatgut kann im schlimmsten Fall die Verdrängung von Zielarten zur Folge haben, daher sind bei solchen Entdeckungen sofortige Pflegemaßnahmen der betroffenen Flächen umzusetzen, die die ungewünschten Arten durch komplette Entfernung oder Rückschnitt unter Kontrolle bringen. Einer Verunreinigung des Saatgutes kann vorgebeugt werden, indem getrennte Lieferungen der Saatgutarten veranlasst werden. Dies erhöht aber den Kostenfaktor für die Maßnahme. Ohne Kontrolle kann auch Jahre nach erfolgter artenreicher Etablierung das Saatgut ausfallen, wie in Beispiel 4 passiert ist.

Da Ansaaten meist nur aus Samenstreuung auf aufgerautem Boden bestehen und die Samen keinerlei Schutz vor der Umwelt und dem Wetter erhalten, ist es ebenfalls wichtig für ein positives Ergebnis, dass der richtige Saatzeitpunkt gewählt wird, denn die Trockensaat sollte nicht bei zu trockenem, kalten oder heißen Wetter ausgebracht werden, da die Verlustraten dann zu groß sind. Der ideale Zeitpunkt liegt bei der Trockensaat zu Beginn oder während der Vegetationsperiode. (vgl. Zeh 2007, S.165) Kann dieser Saatzeitpunkt nicht eingehalten werden, zum Beispiel weil die Baumaßnahme erst zu Winteranfang fertig gestellt wird aber die Ansaat trotzdem noch ausgebracht werden soll um einen oberflächlichen Erosionsschutz zu erreichen, ist es notwendig entweder das Saatgut mit Kaltkeimern zu versetzen, oder, wenn die Kaltkeimer nicht zu den Arten des Standortes passen, zusätzlich Geotextilien zu

verwenden oder eine Mulchauflage zu legen um die Saat vor Frost und Abdrift zu schützen. Meiner Meinung nach ist der größte Nachteil von Trockensaat, dass der Saatzeitpunkt das Verfahren zeitlich begrenzt. Werden Maßnahmen direkt im Winter oder Hochsommer unerwartet notwendig, ist entweder mit hohem Ausfall der Samen zu rechnen oder aber es müssen teilweise umfangreiche Zusatzmaßnahmen ergriffen werden um diese zu schützen. Das kostet Zeit, Arbeitskraft und somit auch Geld. Damit sind andere Verfahren zu diesen Zeitpunkten unter Umständen günstiger.

Natürlich können auch Düngestoffe oder Pilze mit in die Saat ausgebracht werden um die Chance des Erfolges zu erhöhen. Mit zusätzlichen Hilfsmaßnahmen kann Saatgut auch unter widrigen Umständen erfolgreich ausgebracht werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Trockensaat in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt werden können. Die Ausbringung lässt sich flexibel gestalten und ist nicht so stark an bestimmte Bedingungen gebunden, wie die Hydrosaat, die von Wasserquellen in der Umgebung abhängig ist. Die Möglichkeit der Ausbringung per Hand macht die Trockenansaatmethode zusätzlich zu einer möglichst günstigen ingenieurbioologischen Maßnahme.

7. 1. 2. Hydrosaat (2 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Flasche / Hacker 1995, S.39-41)

Standort:

B54 Bereich Schalkmühle-Dahlerau

Gegenstand:

steile felsige Böschungen in Bundesstraßennähe

Ausführender/Planer:

Herr Peiner Landesstraßenbauamt Hagen

Ausführungszeitpunkt:

Frühjahr 1987

Beschreibung der Maßnahme:

Die erste Anspritzung an die steilen Böschungen erfolgte nach der Entfernung loser Bodenteile und instabiler Anpflanzungen. Das Spritzgemisch enthielt organische Stoffe, Dünger, Haftmittel und Saatgut aus einer Gras-Kräutermischung, die der natürlichen potentiellen Vegetation entsprach, und eine Gehölmischung aus Wildrosen (*Rosa spec.*), Ginster (*Genista spec.*) und Brombeeren (*Rubus sectio Rubus*). Durch das Spritzverfahren war es möglich die Saat auch in allen Nischen und Ritzen der Böschung zu verteilen. Anschließend wurde schützend eine Nylonstrukturmatte (Enkamat) und darüber ein Sechseck-Drahtgeflecht über die Hydrosaat gespannt. Die Matte sollte den Halt der Wurzeln der wachsenden Anspritzbegrünung unterstützen und zusätzlichen Halt bieten. Nach der Befestigung der Matten und Geflechte erfolgte noch eine zweite Hydrosaat auf die neuen Oberflächen und Pflanzungen mit Kletterpflanzen und Buschwerk. Im Mai 1987 waren die Maßnahmen abgeschlossen.

Entwicklung:

Beobachtungen vom Herbst 1993

positive Beobachtungen:

Die kurz nach der Fertigstellung der Maßnahmen entstandene, reiche Begrünung hatte sich durch Anemochorie bereits mit anderen Pflanzen aus der Umgebung ausgetauscht. Die auf der Nylonstrukturmatte entstandene Gras-Krautschicht hat zur Ansammlung von Feinerde und Pflanzenrestmaterialien geführt. Gesäte Gräser haben sich trotz kargem Standort gut entwickelt. Rotschwingel (*Festuca rubra*) verzeichnete die höchsten Deckungen. Wiesenpflanzen waren selten vorhanden, dafür nahm der Bewuchs mit Kräutern, wie Beifuß (*Artemisia vulgaris*) und Leinkraut (*Linaria vulgaris*) zu. Gebüsche aus Salweide (*Salix caprea*) und Brombeere (*Rubus sectio Rubus*) entwickelten sich. Auf verschiedenen Kleinstandorten wuchsen eingewanderte angepasste Arten, Besenginster (*Cytisus scoparius*) auf armen Standorten, Sternmiere (*Stellaria holostea*) an schattigen Stellen, Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*), Baldiran (*Valeriana officinalis*) und Rasenschmiele (*Deschampsia cespitosa*) an feuchten Stellen im Hang.

negative Beobachtungen:

Die Anpflanzung von Kletterpflanzen erfolgte auch mit nicht heimischen Arten, wie dem Schlingknöterich (*Polygonum aubertii*). Sie wirkten gegen das Anwachsen anderer Arten im Untergrund und behinderten somit die Entwicklung der Vegetation.

Fazit:

Auf der benutzten Strukturmatte konnte viel Feinerde und humoses Material akkumuliert werden. Die angespritzten Arten hatten Möglichkeiten sich mit Vegetation der Umgebung auszutauschen. Somit entstand eine eigene Dynamik in der Entwicklung der Vegetationsbestände. Im weiteren Verlauf begannen Stauden und Gehölze die Gräser örtlich zu überwachsen. Durch verschiedene Eigenschaften der Standorte bildeten sich kleine Standortdifferenzierungen aus. Es kann zwischen Wald- und Feuchtwiesenarten unterschieden werden. Die ursprüngliche Hydrosaat hat sich also schnell weiterentwickelt und somit die Sicherung der Böschung unterstützt, sowie zu einer Weiterentwicklung der Vegetation mit unterschiedlichen Standortanpassungen geführt. Allerdings hat dabei die angebrachte Nylonstrukturmatte eine wahrscheinlich größere Rolle bei der Entwicklung gespielt. Ohne die Akkumulation der Erde an der Oberfläche und ohne, dass den Wurzeln der Pflanzen Halt geboten wird, ist es fraglich inwieweit sich die Vegetation an der Böschung entwickelt hätte. Vermutlich wären nur mit Hydrosaat vermehrt Moose an den Hängen gewachsen, da der Halt für größere Wurzeln gefehlt hätte. „Zu beobachten bleibt, inwieweit die Gesamtstabilität mit der Zeit, während der Verrottung der Matten, durch den Bewuchs mit einer Rückverankerung der Wurzeln im Gestein übernommen wird.“ (Flasche et al. 1995, S.40)

2. Beispiel (vgl. Kurz / Schütz 2012, S.40-49)

Standort:

Österreich, Westtirol, St. Anton, Kartell-Stausee

Gegenstand:

Erddamm am Kartell-Stausee mit einer Seehöhe von rund 2000m und damit verbunden einer Vegetationszeit von ca. drei bis vier Monaten pro Jahr und langer

Schneedeckendauer, die Böschungsneigung beträgt ungefähr 33 Grad, die Böschungen am Stausee werden in den Sommermonaten für Viehweide genutzt

Ausführender/Planer:

Bauherrschaft: EWA St. Anton; Ökologische Begleitung: Technisches Büro für Landschaftsökologie und Landschaftsgestaltung, Telfes im Stubai; Bauüberwachung: Dipl.-Ing. Dr. Roland Stern

Ausführungszeitpunkt:

2003-2005

Beschreibung der Maßnahme:

Das Schüttgut des Staudammes konnte vollständig aus dem Stauraum gewonnen werden. Die Wasserseite des Dammes wurde durch ein Uferdeck aus massiven Steinen vor Wellenschlag geschützt gebaut. Auf der Luftseite des Dammes wurden Begrünungen geplant, die sich gut in das vorhandene Landschaftsbild einfügen sollten und gleichzeitig unempfindlich gegenüber Viehtritt, lange Schneedecken und Pilzbefall sein mussten. Die Luftseite wurde mit einer vorher zwischengelagerten Oberbodenschicht von ca. 10 cm abgedeckt. Die Böschung wurde mit Vorbild der umliegenden Hänge gestaltet. Es wurden Gehölze, wie Weidensteckhölzer (*Salix spec.*), Grünerle (*Alnus viridis*) und Zirbelkiefer (*Pinus cembra*), angepflanzt und teilweise Felsblöcke in die Außenböschungen eingebaut. Zur Begrünung wurden einige Rasenziegel aus den umliegenden Böschungen verpflanzt, vor allem aber eine Nasssaatanspritzung angewandt. Die Hydrosaat wurde im Anschluss an die Transplantationen und Bepflanzungen auf den Oberboden aufgetragen. Sie bestand zu verschiedenen Teilen aus einer standortgeeigneten Samenmischung von Rispen-Bürstling-Rasen, mineralischen Langzeitdünger, Biosol und Bentonit, Kleber, wie Alginat, Zellulose und Torf.

Übersicht Gehölzpflanzungen:

250x Grünerle (*Alnus viridis*), 50x Hänge-Birke (*Betula pendula*), 50x Blaue Heckenkirsche (*Lonicera caerulea*), 20x Engelmann-Fichte (*Picea engelmannii*), 250x Zirbelkiefer (*Pinus cembra*), 50x Bergkiefer (*Pinus mugo*), 100x Hakenkiefer (*Pinus*

mugo subsp. uncinata), 50x Alpen-Johannisbeere (*Ribes alpinum*), 70x Steckholz Silber-Weide (*Salix alba*), 70x Steckholz Purpur-Weide (*Salix purpurea*), 60x Steckholz Waldsteins Weide (*Salix waldsteiniana*), 50x Eberesche (*Sorbus aucuparia*)

Saatgutmischung:

Rispen-Bürstling-Rasen – Schafgarbe/*Achillea spec.* (1%), Rotes Straußgras/*Agrostis capillaris* (2%), Alpen-Ruchgras/*Anthoxanthum alpinum* (5%), Rasen-Schmiele/*Deschampsia cespitosa* (10%), Felsen-Schwingel/*Festuca halleri* (5%), Rotschwingel/*Festuca rubra* (10%), Schafschwengel/*Festuca ovina* (10%), Violett-Schwingel/*Festuca violacea* (8%), Hornschotenklee/*Lotus corniculatus* (10%), Alpen-Lieschgras/*Phleum alpinum* (5%), Mattenlieschgras/*Phleum hirsutum* (5%), Alpen-Rispengras/*Poa alpina* (17%), Schwedenklee/*Trifolium hybridum* (7%), Weißklee/*Trifolium repens* (5%)

Entwicklung:

Beobachtungen und Kontrollaufnahmen von 2009 und 2012

positive Beobachtungen:

Alle Flächen waren gut angewachsen. Einige gepflanzte Gehölze, die Weiden (*Salix spec.*), Erlen (*Alnus viridis*) und Ebereschen (*Sorbus aucuparia*), waren bereits schnell gewachsen im Gegensatz zu anderen Gehölzarten, wie Zirbelkiefer (*Pinus cembra*), Bergkiefer (*Pinus mugo*) und Engelmann-Fichte (*Picea engelmannii*). Obwohl die Böschung nicht zum Schutz vor Beweidung eingezäunt war und Trittwege von Vieh bewiesen, dass auch auf der neuen Böschung geweidet wurde, schien die Vegetation nicht davon beeinträchtigt worden zu sein. Wildverbiss wurde nicht beobachtet. Die Dammluftseite war durch die neu gewachsene Vegetation gut vor Erosion geschützt. Die durchgängige Pflanzendecke stärkte den Oberboden mit ihrer Durchwurzelung.

negative Beobachtungen:

Einige Gehölze drohen zu überwuchern und müssen bei zukünftigen Pflegeeinsätzen dringen zurück getrimmt werden.

Fazit:

Die angewandte Hydrosaat wurde eigens für die Dammböschung zusammen gestellt. Besonders bei den Samenarten war eine durchdachte Verwendung wichtig, weil die ausgebrachte Saat vielen limitierenden Faktoren ausgesetzt wurde. Wäre die Mischung nicht speziell auf die standörtlichen Umstände abgestimmt gewesen, hätte es sicherlich einen hohen Ausfall von Saatgut im ersten Jahr gegeben. Durch die in der Mischung enthaltenen verschiedenen Dünger hatten die Ansaaten anfängliche Unterstützung beim Anwuchs. Da die Kontrollaufnahmen frühestens vier Jahre nach der Fertigstellung der Begrünungen erfolgten, wurden ggf. auftretende Keim Schwierigkeiten der Saat nicht dokumentiert. Zumindest die Beweidung und der damit verbundene Tritt waren für die Entwicklung der Bepflanzungen nicht nachteilig.

Gesamtfazit Hydrosaat

Neben dem Einsatz auf normalen Standorten, sind Hydrosaaften besonders gut auf Standorten geeignet, die keine oder nur eine geringe Rohbodenauflage besitzen, wie bei Beispiel 1. Durch das Anspritzen des Gemisches aus Samen, Klebern, Bodenverbesserungsstoffen und Dünger kann sich gleich eine Bodenauflage bilden, die auch auf festem Steinuntergrund das Aufwachsen einer Vegetationsdecke möglich macht. Dadurch können auch für andere Verfahren ungeeignete Bereiche begrünt und so vor Erosion geschützt werden.

Durch die Zusammenmischung verschiedenster Begrünungshilfsmittel ist die ausgebrachte Saat anschließend außerdem nicht so empfindlich gegenüber der Ausbringungszeit oder Wind. Die Nasssaat kann auch nach oder vor der Vegetationszeit erfolgen, wobei allerdings die Gefahr für Ausfall vergrößert ist - wenn auch nicht so extrem hoch wie bei dem Trockensaatterfahren - da dies nicht optimal ist. In dem Gemisch befinden sich im Normalfall genug Dünger und Kleber, dass die Samen ungestört anwachsen können. Da die Hydrosaat allerdings meist auf sehr steilem Gelände ausgebracht wird, werden oft metallene Sicherungsnetze, zum Beispiel bei Steinhängen in Straßennähe, über der Saat angebracht um den Verkehr vor hinab rollenden Steinen oder Felsen zu sichern, wie es auch bei Beispiel 1 der Fall war.

Auch bei Hydrosaatungen ist es für den weiteren Erfolg der Maßnahme wichtig Pflanzenarten für die Saatgutmischung auszuwählen, die an den Standort angepasst sind und sich auch im Anschluss weiterhin gut entwickeln. Selbst auf rohbodenarmen Standorten kann mittels der Hydrosaat eine Humusaufgabe aufgebracht und so das Wachstum der Vegetation unterstützt werden. Durch die heranwachsenden Individuen werden Sand und Humus auf der Oberfläche zurück gehalten und bilden eine Grundsicht für weitere Vegetationsansiedlung, wie sich im ersten Beispiel gezeigt hat.

Gehölzsaaten können ebenfalls mit der Hydrosaat sehr gut und schnell aufgebracht werden, wie bei Beispiel 2. Auch als zusätzliches Verfahren zu anderen Maßnahmen ist die Nasssaat geeignet. Limitierend auf die Hydrosaat wirkt jedoch die Bedingung, dass die zu begrünenden Flächen nicht weit von zugänglichen Straßen oder Wegen entfernt sein dürfen und ein ständiger Zugang zu Wasser nicht weit vom Standort vorhanden sein muss. Selbst mit den längsten Schläuchen kann die Nasssaat nicht weiter als ca.400 m vom Wagen weg ausgeführt werden. Dies ist der größte Nachteil dieses Verfahrens. So waren auch beide Beispiele nicht weit von Verkehrswegen und Wasserquellen entfernt.

7. 1. 3. Geotextilien (2 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Meylan et al. 2001, S.22-28)

Standort:

Schweiz, Genf, Fluss Rhone

Gegenstand:

Insel Planfonds – 500 Meter lange, künstlich auf einer Sandbank angelegte Insel

Ausführender/Planer:

ECOTEC Environnement SA (Genf), GEOS Ingénieurs Conseils SA (Genf), BIOTEC Biologie appliquée SA (Jura)

Ausführungszeitpunkt:

November 1999 – April 2000

Beschreibung der Maßnahme:

Die künstliche Insel wurde auf einer im Fluss bereits natürlich vorhandenen Sandbank aufgeschüttet, nachdem die grobe Aufschüttung einen Monat Zeit hatte um zu trocknen, wurde das entstandene Gelände modelliert und bepflanzt. Durch die von der Schifffahrt verursachten Wellen waren weitere Stabilisierungsmaßnahmen auf der Insel notwendig. Auf ca. 300 Meter Länge der Insel Planfonds wurden Kokosnetze verlegt. Alternativ wurden stellenweise Wälle aus Strohballen errichtet um die Anpflanzungen vor Schwankungen des Wasserspiegels zu schützen. Die Kokosmatten sollten den oberflächlichen Erosionsschutz übernehmen bis die gepflanzten Weiden- (*Salix spec.*) und Schilfpflanzungen (*Phragmites spec.*) ein ausreichend dichtes Wurzelwerk gebildet hatten um selbst vor Erosion schützen zu können. Das Schilf und die Weiden wurden nur in den Kokosmatten ausgesetzt.

Entwicklung:

Beobachtungen zwei Monate nach Beendigung der Baumaßnahmen

positive Beobachtungen:

Zwei Monate nach Fertigstellung der Bauweisen wurde ein Speicher in der Nähe der Insel entleert, was den Wasserstand erhöhte. Es wurde beobachtet, dass nur jene Areale der Insel, die von Kokosmatten bedeckt waren nicht stark durch den Wellengang geschädigt wurden. Die Pflanzen hatten sich schon nach kurzer Zeit gut entwickelt und bedeckten die Insel. Das Schilf in den Matten ist ebenfalls gut angewachsen.

negative Beobachtungen:

Die Strohballen boten nur teilweise Schutz gegen den Wellengang. Durch die Schifffahrt verursachte Wellen schlugen teilweise über die Ballen hinweg und zerstörten diese dadurch wesentlich schneller als von den Planern erwartet war. Die gepflanzten Rhizome waren nur teilweise angewachsen.

Fazit:

Die Kokosmatten haben die aufgeschüttete Insel, entgegen der Erwartungen der Planer, besser vor Erosion durch Wellengang geschützt als die Strohballenwälle. Da die Wälle aus Stroh durch höhere Wellen hinterspült werden konnten, waren sie dadurch leichtes Angriffsziel. Die Kokosmatten hingegen hatten die Anpflanzungen vor größerem Schaden durch Wellengang lange genug geschützt bis Weiden und Schilf angewachsen waren. Dem Thema Weiden ist in Zukunft Aufmerksamkeit zu schenken, da anzunehmen ist, dass das Gehölz die kleine Insel vollkommen überwuchern könnte. Bei zu intensivem Holzwachstum auf der Insel sind Rückschnitte vorzunehmen. Davon abgesehen haben die eingesetzten Kokosnetze ihren Zweck während der Anwachsphase für Erosionsschutz zu sorgen vollkommen erfüllt.

2. Beispiel (vgl. Siegenthaler / Rieder 2013, S.21-25)

Standort:

Schweiz, Kanton Wallis, Glatthorn

Gegenstand:

Südwestflanke des Glatthorns mit 3200 Meter langen alten Lawinenverbauungen aus Beton, die im Hang befestigt wurden, in Höhen zwischen 2280 und 2581 Meter über dem Meeresspiegel; diese werden durch Erosionen an den Hängen ständig beschädigt, daher soll der Hang stabilisiert werden

Ausführender/Planer:

Bundesamt für Straßen (ASTRA), Pflanzenzüchtung: Schutz Filisur Samen und Pflanzen AG

Ausführungszeitpunkt:

Sommer 2010 und Sommer 2011

Beschreibung der Maßnahme:

Um ausreichenden Erosionsschutz an den Hängen herzustellen, ohne die alten

Lawinenverbauungen zu schädigen oder entfernen zu müssen, blieb nur die Begrünung. Dafür wurden zuvor vermehrte standortgerechte krautige Pflanzen direkt in die erosionsgefährdeten Hänge eingesetzt und der Rest der Böschungen mit Saatgut begrünt. Die verwendeten Pflanzen und das Saatgut bestanden aus standortgerechten tief- und flachwurzelnden Arten. Insgesamt wurden 37 verschiedene Pflanzenarten verwendet. „Sie wurden im Rahmen von 26 verschiedenen Pflanzendesigns zusammengestellt, die jeweils eine Fläche von 5 x 2 Metern ergaben.“ (Siegenthaler / Rieder 2013, S.24) Die einzelnen Flächen wurden in Streifenform zwischen den Lawinenverbauungen begrünt. Die Pflanzungen der vorgezogenen Arten erfolgte generell in der oberen Hanghälfte, während die Ansaat in beiden Hälften der Streifen ausgeführt wurde. Pro Quadratmeter wurden um die zehn Pflanzen implantiert und ca. 14 g Saatgut verteilt. Zum Schutz der Anpflanzungen und Saaten wurden anschließend 34700 m² Kokosmatten über die Flächen mit Ankern befestigt. So wurde der Hang durch die Kokosmatten stabilisiert bis die Vegetation groß genug war um diese Schutzfunktion zu übernehmen. Über die Kokosmatten zusätzlich insgesamt 30650 m² Geogitter aus Kunststoff gelegt, die die Pflanzen vor Verbiss durch Wild schützen sollten.

Entwicklung:

Beobachtungen von 2013

positive Beobachtungen:

Zwei Jahre nach Fertigstellung der Begrünungsmaßnahmen waren die Pflanzen bereits gut gewachsen. Bis zum Einwachsen der Vegetation hatten die Kokosmatten die Böschungen stabil gehalten und zugleich die Samen und jungen Pflanzen begrenzt vor Wind, Regen und Kälte geschützt. Die Geogitter aus Kunststoff hatten Wildverbiss verhindert. Nachdem die Kokosmatten sich zersetzten, schützten die Kunststoffgitter weiterhin die Böschungen und Pflanzen. Diese konnten durch die Maschen der Gitter gut hindurch wachsen.

negative Beobachtungen:

Die Erfolgskontrollen hatten nach zwei Jahren nur positive Beobachtungen zu verzeichnen.

Fazit:

Mit Hilfe der Begrünungen und der zur anfänglichen Stabilisation verwendeten Geotextilien war es möglich die Lawinenverbauungen am Glatthorn langfristig zu stabilisieren ohne aufwändige bauliche Maßnahmen zu nutzen. Eine jährliche Kontrolle der Südwestflanke ist ebenfalls wesentlich kostengünstiger als die vorher jährlich notwendigen Reparaturen der Lawinenverbauungen, die ständig wegen erosionsbedingter Schäden ausgebessert werden mussten. Dadurch dass die Kokosmatten verrotten können, war der anfängliche Schutz der Hänge, nach der angemessenen Entwicklungszeit für die Vegetation, von derselben übernommen worden. Nur die Geogitter hinterlassen auch nach mehreren Jahren ein unschönes Bild auf den Hängen. Inwieweit diese überhaupt für den Schutz gegen Wildverbiss nötig gewesen waren, ist nicht bekannt. Da es scheinbar keine Verbissspuren gab, wäre es eine bessere Lösung gewesen, erst nach Beobachtungen von Wildverbiss die Gitter über die Matten zu spannen.

Gesamtfazit Geotextilien

Geotextilien fallen in der Ingenieurbiologie vor allem zwei große Aufgaben zu: der Schutz von jungen Ansaaten oder -pflanzungen vor Wind und Wetter und der Schutz von erosionsgefährdeten Flächen vor Abtrag durch äußere Einflüsse. Meistens erfüllen sie jedoch beide Aufgaben gleichzeitig. Die verwendeten Geotextilien bestehen üblicherweise aus Netzen, verschiedener verrottbarer Materialien, wie Jute, Kokos, Hanf und Schilf. (vgl. Zeh 2007, S.183) Die natürliche Abbaubarkeit ist ein eindeutiges Plus für den Naturschutz trotz notwendiger Maßnahme.

Befestigt werden die Netze mit Nägeln oder Pflöcken. Werden dabei Pflöcke aus ausschlagsfähigem Holz benutzt, meist Weiden, wird die Böschung zusätzlich in der Tiefe durch die austreibenden Wurzeln der Pflöcke gestärkt. Zwischen den Netzen kann aufkommende Vegetation gut hindurch wachsen, wie bei Beispiel 2 bewiesen wurde. Die Pflanzen werden geschützt, gleichzeitig aber nicht in ihrer Entwicklung behindert.

Bei der Auswahl der Netze oder anderer Textilien, wie Saadmatten etc. muss darauf

geachtet werden, dass die gewählten Geotextilien aus Material bestehen, welche lange genug zum Verrotten benötigt, dass die Vegetation der Bauweise bis dahin stabil genug ist um den Erosionsschutz selbst zu übernehmen. Besonders Jute ist ein schnell verrottendes Material, das sich innerhalb eines Jahres zersetzt. So wurden in Beispiel 1 Matten aus Kokos verwendet, die eine längere Lebensdauer haben und der ständigen Beanspruchung durch Wellengang entgegen stehen konnten.

Sind die Pflanzen nicht genug gewachsen um die Funktionen des Textils zu übernehmen, können Probleme bis hin zur Hangerosion auftreten, die die Vegetation stark in Mitleidenschaft ziehen kann.

Die Anbringung der Netze muss übrigens nicht zusammen mit der Ansaat oder -pflanzung erfolgen. Im Notfall können Netze verschiedener Maschenweite und Flexibilität, aus Jute (nur kurzzeitig), Kokos oder Hanf auch im Nachhinein eingesetzt werden wenn die Böschung oder der Hang zu instabil ist, auskollerndes Material die Vegetation zu zerstören droht oder eine Verkehrsgefahr darstellen könnte. Der Einsatz der Netze an sich ist an keine Jahreszeit gebunden und daher flexibel nutzbar.

Bei Problemen mit Steinschlägen auf skelettreichen oder felsigen Standorten macht der Einsatz eines Geotextils allerdings meist keinen Sinn mehr und es muss auf stabilere Netze aus Kunststoff oder Metall zurück gegriffen werden. Dies stellt das Problem der Geotextilien dar. Die Haltekraft ist, wie bei vielen natürlichen Materialien stärker begrenzt als bei ähnlichen Produkten aus Kunststoffen. Genau so wurden in Beispiel 2 am Glatthorn zusätzlich auch Geogitter ausgelegt, weil die Kokosmatten nicht vor Verbiss durch Wildtiere schützen können.

7. 1. 4. Implantate und Transplantation (3 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Schutz 2002, S.10-13)

Standort:

Schweiz, Grande-Dixence

Gegenstand:

Stollenaushubmaterial mit pH-Werten zwischen 7 und 11 ohne Mikroorganismen in Höhenlagen zwischen 2200 und 2480 Meter über dem Meeresspiegel

Ausführender/Planer:

Filisur Schutz Samen und Pflanzen AG

Ausführungszeitpunkt:

1992

Beschreibung der Maßnahme:

Im Auftrag der Grande-Dixence-Kraftwerke sollte Stollenaushubmaterial begrünt werden. Es wurden Versuche mit Implantierungen durchgeführt um geeignete Pflanzenarten für das besagte Areal zu finden. Dabei wurden 18 verschiedene Arten getestet und bei der Entscheidung auf die Wuchs- und Ausbreitungseigenschaften sowie die Erosionsschutzwirkung der Pflanzen geachtet. Die Pflanzung der Implantate erfolgte im Reißverschlussystem, wobei Freiflächen für einwandernde Arten oder sich verbreitende Anpflanzungen belassen wurden. Pflanzpläne gaben eine genaue Anordnung für die verschiedenen Flach- und Tiefwurzler vor. Durch die Verwendung des Reißverschlussystems konnten auch an steilen Hängen keine Erosionsrinnen entstehen.

Entwicklung:

Beobachtungen von 1992 bis 1998

positive Beobachtungen:

Fünf Jahre nach den Implantierungen waren Überlebensraten zwischen 79,5 und 97,3% festgestellt worden. Mit so hohen Überlebensraten wurde aufgrund der Bodenverhältnisse am Standort nicht gerechnet. Die ursprünglich ausgebrachten Pflanzen, darunter Zweizeiliger Grannenhafer (*Trisetum distichophyllum*), Brauner Klee (*Trifolium badium*) und Alpenwegerich (*Plantago alpina*), hatten sich stark entwickelt und ausgebreitet, wobei verschiedene Alterstadien vorhanden waren. Zudem konnten

weitere neue Arten aus der Umgebung einwandern. Die Art *Poa alpina* var. *vivipara* (Alpen-Rispengras) zählte zu den am erfolgreichsten vermehrten Arten unter den ursprünglichen 18, kein Ausfall war bei ihr zu beobachten. Durch die rasche und intensive Durchwurzelung wurde die Oberfläche des Stollenaushubmaterials erfolgreich vor Erosion geschützt.

negative Beobachtungen:

Die meisten Ausfälle von einzelnen Individuen in den Implantaten traten während der ersten zwei Jahre nach Pflanzung auf, hielten sich danach aber konstant gering. Nach fünf Jahren lag der Gesamtausfall zwischen 2,7 und 20,5%. Angaben über Ausfälle einzelner Arten gibt es nicht.

Fazit:

Implantate eignen sich sehr gut für Hochlagenbegrünung, weil sich die Pflanzen der Hochgebirge aufgrund der Witterung vielmehr über Ausläufer oder Brutknöllchen vermehren anstatt über Samen. Ansaaten in großen Höhen haben ein sehr hohes Ausfallrisiko, da sie vorzeitig erfrieren können oder sich die Sämlinge innerhalb der kurzen Vegetationsperiode nicht genug etablieren können um zu überleben. Durch fertige Implantate, die im Reißverschlussverfahren angelegt werden, werden auch einwandernde Arten begünstigt. Mit der Voraussetzung, dass die Boden- und Klimaverhältnisse des Standorts bekannt sind, können passende Arten auf den Standort zugeschnitten werden. Auch können Implantate helfen konkurrenzschwache Arten zu begünstigen, da die Ansaatkonkurrenz umgangen wird. Wichtig ist allerdings bei den Zusammensetzungen von Implantaten darauf zu achten einen artenreichen Bestand zu versetzen, verschiedene Wurzeltiefen gemischter Arten wirken positiv auf den Erosionsschutz und bei Ausfall einer Art, kann diese durch eine andere kompensiert werden.

2. Beispiel (vgl. Weidmann / Eichenberger 2005, S.6-14)

Standort:

Schweiz, Celerina, Val Zuondra, Bergformation Las Trais Fluors

Gegenstand:

Val Zuondra, 40 bis 50 Grad geneigte Böschungen mit Sickerwasser in einer Höhe von 2100 bis 2400 Metern über dem Meeresspiegel mit trockenen Hängen, geringer Wasserspeicherkapazität und kurzen Vegetationsperioden

Ausführender/Planer:

Bauherr: Gemeinde Celerina; Projektierung: Tiefbauamt; Planung: Graubünden;
Oberbauleitung: Abteilung Wasserbau; Bauleitung: Revierforstamt Celerina

Ausführungszeitpunkt:

2003

Beschreibung der Maßnahme:

Die nachhaltige Stabilisierung von Val Zuondras erosionsgefährdeten Hängen war das Ziel der durchgeführten Maßnahmen. Da die Erfolgsaussichten nicht abgesehen werden konnten, wurden mehrere verschiedene Bauweisen an den Problemhängen ausgeführt. Um deren Oberflächenstabilisierung zu erreichen, mussten zuvor die Hangfüße mit Holzkästen stabilisiert werden. Neben Ansaaten mit Jutenetzabdeckungen wurden an den stärksten Erosionsstellen, wie an steilen Erdschlipfen, Topfpflanzen, von teilweise direkt aus dem Projektgebiet gewonnenen Pflanzen, implantiert. Nach der Bepflanzung wurden die dicht aneinander gesetzten Implantate zum Schutz vor Erosion ebenfalls mit Jutenetzen abgedeckt. Insgesamt 15 verschiedene Arten wurden auf den Standorten implantiert.

Implantatpflanzen:

Alpen-Straußgras (*Agrostis alpina*), Alpen-Aster (*Aster alpinus*), Niedriger Schwingel (*Festuca quadrifolia*), Zweizeiliger Goldhafer (*Trisetum distichophyllum*), Kriechendes Gipskraut (*Gypsophila repens*), Langhaariger Thymian (*Thymus polytrichus*), Behaartes Lieschgras (*Phleum hirsutum*), Alpen-Berufkraut (*Erigeron alpinus*), Alpen-Wegerich (*Plantago alpina*), Glanz-Skabiose (*Scabiosa lucida*), Alpen-Rispengras (*Poa alpina*), Alpen-Vergissmeinnicht (*Myosotis alpestris*), Stink-Weide (*Salix foetida*), Kalk-Blaugras (*Sesleria caerulea*), Taubenkropf-Leimkraut (*Silene glareosa*)

Entwicklung:

Beobachtungen ab August 2004

positive Beobachtungen:

„Die im Jahre 2003 eingesäten und implantierten Flächen wiesen im Sommer 2004 Gesamtdeckungswerte von 35%, 55% und 60% auf mit einer Artenvielfalt von 27, 37 und 44 Arten.“ (Weidmann et al. 2005, S.12) Somit schienen sich beide Begrünungsverfahren, trotz der extremen Boden- und Klimaverhältnisse, gut auf den erosionsgefährdeten Böschungen zu entwickeln. Dadurch, dass bei den Versuchen auf die standortgerechte Flora geachtet wurde, konnten die Begrünungen natürliche Artenzusammensetzungen aufweisen.

negative Beobachtungen:

Die gespannten Jutenetze waren besonders an den steilsten Stellen der Erosionsflächen, unterhalb der Anrisskanten, nicht in der Lage größere Steine zu halten. An einzelnen Stellen waren zwei Jahre nach dem Anbringen der Jutenetze bereits Löcher durch fallende Steine in die Netze gerissen worden.

Fazit:

Durch die Verwendung von Arten der potentiellen natürlichen Vegetation in den Implantaten und Ansaaten wurde die Erfolgchance der Begrünungsmethoden um ein Vielfaches vergrößert. Die bereits angepassten Arten haben sich nach Bauabschluss schnell entwickeln können. Dadurch, dass die Implantate mit den Ansaaten auf den Flächen kombiniert wurden, war eine respektable Artenvielfalt nach zwei Jahren Entwicklungszeit zu verzeichnen. Wahrscheinlich wären die Deckungssummen in den einzelnen Versuchsflächen höher gewesen, wenn nur Implantate verwendet worden wären, da Saatgut sich erst etablieren muss und so anfälliger gegenüber Ausfall ist. Man hätte die eingesäten Arten bereits in Containern oder Pflanztöpfen vorziehen können um sie dann zusammen mit den anderen Implantaten zu verteilen. Das hätte eine noch zügigere Flächenabdeckung bewirkt und höheren Erosionsschutz geboten, dafür allerdings den Zeitaufwand und die Kosten der Baumaßnahme erhöht. Die Jutenetze sind in der Praxis nicht stabil genug gewesen um sämtliche fallenden Steine

aufzuhalten. Sie hätten durch festere Netze aus Kokos, oder ,wenn das auch zu wenig Halt bietet, aus Kunststoff oder Metall ersetzt werden sollen.

3. Beispiel (vgl. von Albertini / Regli 2012, S. 12-22)

Standort:

Schweiz, Kanton Graubünden, Julierpassstraße

Gegenstand:

Julierpassstraße, Trasse erneuert und teilweise um Schüttungen und Abträge ergänzt

Ausführender/Planer:

Tiefbauamt Graubünden

Ausführungszeitpunkt:

2008

Beschreibung der Maßnahme:

Zur Begrünung der neu aufgeschütteten oder abgetragenen Hänge nahe der Straße wurden verschiedene Methoden ausprobiert. Während der Arbeiten zum Böschungsabtrag wurden auf der Baustelle vorhandene Rasenziegel direkt in bereits fertig gestellte Böschungsteile umgelagert, wobei das Anfangsstück länger gepflegt werden musste. Dabei wurde streifenweise vorgegangen und so entlang der Böschung gearbeitet. So wurden die Bodenhorizonte nicht durchmischt. Durch diese Methode konnten sogar 2500 m² Flachmoorlebensraum verpflanzt werden. Zusätzlich wurde eine Trockenansaat aufgebracht, über deren Entwicklung ausführlich unter Punkt 7. 1. 1. Beispiel 4 eingegangen wird.

Entwicklung:

Beobachtungen von 2008-2012

positive Beobachtungen:

Durch das direkte Transplantieren der Rasenziegel von einer Baustellenfläche auf die

nächstgelegene fertig gestellte, wurden Maschinen- und Transportkosten eingespart. Durch die Direktumlagerung der Flächen konnte ebenfalls eine lange Verweilzeit in einem Depot vermieden werden, wodurch die Implantate einem erhöhten Erosionsrisiko, wegen fehlender Durchwurzelung, ausgesetzt gewesen wären. Zudem wurde die Bodenstruktur nur minimal durch die Transplantation gestört, wie auch der Wurzelraum. Das führte zu einem nochmals vermindertem Erosionsrisiko bei den versetzten Flächen. Drei Jahre nach der Umlagerung von Borstgrasrasenflächen, war die Vegetationsdecke deutlich geschlossen. Vier Jahre nach Versetzung der Flachmoorbereiche wurden Deckungsgrade von bis zu 93% aufgenommen.

negative Beobachtungen:

Die Bauleute waren von der Transplantation zunächst nicht überzeugt und mussten überredet werden. Eine intensive Betreuung durch Fachleute war nötig um die Ausführung der Direktumlagerung durch die Bauleute fachgerecht durchzuführen, dennoch gab es durch Fehler der Maschinisten auf vielen Flächen Ausfälle in der Vegetation, die durch Ansaat kompensiert wurden. Nach der Verlegung der Flachmoorlebensräume waren Arten anderer Pflanzengesellschaften vorhanden. Der Wasserhaushalt der verlegten Flachmoorbereiche war auf den neuen Standorten verändert, dadurch wuchsen auch Arten anderer Gesellschaften nach der Verlegung auf den Flächen.

Fazit:

Die Direktumlagerung war in dem betroffenen Baugebiet wahrscheinlich das erfolgversprechendste und schnellste Mittel die Vegetation zu erhalten, ohne sie empfindlich zu stören. Die Deckungsraten der umgelegten Vegetationsteilstücke sind ein Beweis für die erfolgreiche Ausführung der Transplantate. Zudem erfolgte an den Hängen und Böschungen wieder direkter Erosionsschutz und die bereits vorhandenen Wurzeln der versetzten Vegetation konnten sich wesentlich schneller in den Hang graben und für Stabilität sorgen, als das bei einer neuen Ansaat der Fall gewesen wäre. In jedem Fall war der Aufwand bei der Direktumlagerung doch geringer. Wären die Ziegel durch geschultes Personal versetzt worden, wären die Ergebnisse sicher noch besser gewesen. Einzig die Umlegung der Flachmoorbereiche war wenig erfolgreich. Das liegt aber nicht an der Maßnahme selbst, sondern an dem Fakt, dass nun einmal

der Wasserhaushalt in einem anderen Stück der Böschung nicht genau gleich sein kann wie am Entnahmeort. Flachmoore sind aus bestimmten Gründen seltener als andere Gesellschaften und können nicht überall entstehen oder überleben.

Gesamtfazit Implantate und Transplantation

Die Implantierung von Pflanzen und Vegetationsbeständen umfasst die Pflanzung von Beständen aus eigens gezüchteten Container- oder Topfpflanzen genauso wie die Transplantation von zwischen gelagerten Rasenziegeln oder die Direktumlagerung an Baustellen. Meist werden besagte Verfahren auf extremen Standorten durchgeführt – wie auf den Standorten in großen Höhenlagen mit kurzen Vegetationsperioden in den Beispielen – um die Vielfalt der geförderten Arten zu erhöhen oder die Etablierungsphase zu umgehen. (vgl. Zeh 2007, S.211)

Besonders im Umfeld von Hochlagen scheinen sich Implantate ausgewählter Arten zu bewähren, insbesondere von Arten, die sich vorwiegend vegetativ vermehren. Ein Bestand, der durch dichte Pflanzungen einzelner im Topf gezogener Individuen bereits nah miteinander verwachsen ist, hat es wesentlich leichter Ausläufer zu bilden, als wenn sich die Arten erst über mehrere Vegetationsperioden entwickeln müssten. Besonders der Ausfall einzelner Individuen wird durch die Verpflanzung bereits gewachsener Bestände stark dezimiert. Zudem ist im ersten Beispiel beobachtet worden, wie durch das Vorhandensein einer bereits bestehenden Vegetationsdecke leichter Pflanzen aus der Umgebung durch Windausbreitung in den Standort einwandern können und somit die Artenvielfalt vergrößern.

Die Verpflanzung einzelner gewonnener Topfpflanzen, wie beim zweiten Beispiel, macht an Standorten Sinn, an denen nicht genug Platz für ein breit flächiges Implantat ist. Besonders Beispiel 1 hatte gezeigt, wie wunderbar die Verpflanzung zusammen gewachsener Vegetationsbestände funktioniert, so dass der Ausfall einzelner Individuen dadurch minimiert wird. Besonders auf Extremen Standorten. Einzig der Zeitfaktor spricht für Topfpflanzen. Das Versetzen eines zuvor angelegten Vegetationsbestand dauert länger als eine einzelne Pflanze umzusetzen. Werden Entscheidungen während einer Maßnahme spontan getroffen und es ist nicht genug Zeit für eine vernünftige

Anlage eines gedeckten Bestandes, muss man das Versetzen einzelner Individuen wohl als Notlösung akzeptieren.

Sollen wertvolle Pflanzenbestände auf Baustellen erhalten werden, werden dazu meist Stücke der Vegetation entnommen und zwischengelagert bis ein ähnlicher Standort zur Wiederanpflanzung gefunden wurde oder die Arbeiten auf der Baustelle beendet wurden und die Stücke gefahrlos wieder zurück in ihre alte Umgebung eingefügt werden können. Problem bei der Zwischenlagerung ist, dass der entnommene Oberboden samt Wurzelwerk meist längere Zeit auf einem fremden Standort liegen, ohne sich im Boden verankern zu können. Das kann trotz Bewässerung dazu führen, dass sie sich nach Verpflanzung nicht wieder erholen und ein Teil der Vegetation absterben kann. Deshalb ist die in Beispiel 3 durchgeführte Direktumlagerung sehr vorteilhaft für die Pflanzen. Auch der Oberboden wird dabei nicht durchmischt, dafür aber aufgelockert und durchlüftet und die Pflanzenbestände profitieren von einer nahezu ungestörten Umsetzung. In einigen Fällen kann es durch die entstehende Durchlüftung zu einem Abbau organischer Substanzen und Nährstofffreisetzung kommen, die eine Umwandlung des Bestandes zur Folge haben können. Meist gibt es einen nur sehr geringen Ausfall einzelner Individuen.

Nicht oder nur bedingt geeignet erscheint dagegen die Versetzung von Moorvegetation. Wie sich im Beispiel 3 zeigte wirkte die Umsetzung von Flachmoorvegetationsbeständen, selbst innerhalb des selben Standortes, stark verändernd auf die Artenzusammensetzung. Bei Vegetationen die genau auf die Boden- und Wasserverhältnisse ihres Standortes abgestimmt sind, macht eine Transplantation insofern wenig Sinn, als dass die ursprüngliche Pflanzengesellschaft durch die Veränderung der Gegebenheiten nicht erhalten bleiben kann. Durch einwandernde Arten verändert sich der Charakter der Vegetation anschließend weiter.

7. 1. 5. Steckhölzer (3 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Karl 1992, S.8-12)

Standort:

Österreich, südlich der Donau und nördlich der March, Gerasdorf

Gegenstand:

Marchfeldkanal – Leitung von Wasser der Donau, Fließgewässertyp 9.2 Große Flüsse des Mittelgebirges, zu den trockenengefallenen Bächen Russbach und Stempfelbach

Ausführender/Planer:

interdisziplinäre Teams aus Kulturingenieuren, Bautechnikern, Landschaftsplanern, Architekten und Biologen, Detailplanungen unter Einbeziehung der Bevölkerung

Ausführungszeitpunkt:

1988-1992

Beschreibung der Maßnahme:

Die Maßnahme erfolgte auf trockenen, teilweise sonnenexponierten Böschungen in einem niederschlagsarmen Gebiet. Steckhölzer wurden nur an einzelnen kleinen Flächen der Uferhänge gesteckt, deren Erosion sehr unwahrscheinlich war. Der Rest der Uferhänge wurde mit Weiden- und Schilfspreitlagen bedeckt. Auf weitere im Marchfeldkanal angewandte Maßnahmen, wie Trockenansaat und Spreitlagen, und deren Entwicklungen wird unter den Punkten 7. 1. 1. Beispiel 1 und 7. 2. 1. Beispiel 2 näher eingegangen.

Entwicklung:

Beobachtungen ein bis drei Jahre nach den Maßnahmen

positive Beobachtungen:

Da immer nur Teilsegmente eines Gehölzes bei Steckhölzern verwendet wurden, ist diese Art der Ufersicherung sehr sparsam im Materialverbrauch und somit auch nicht teuer. Zusätzlich werden im Gegensatz zu den Weiden- und Schilfspreitlagen die Pflegemaßnahmen für die Steckhölzer wesentlich weniger Aufwand erfordern und somit zeit- und kostensparender sein.

negative Beobachtungen:

Es wurde festgestellt, dass die Steckhölzer zuerst in den tieferen Bodenregionen austrieben und Wurzeln bildeten, was sie für einen schnellen Schutz des Ufers ungeeignet machte.

Fazit:

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Steckhölzer allein nicht zur Ufersicherung geeignet sind. Je nachdem welche Art als Steckholz verwendet wird, treiben sie langsamer aus als Weide oder Schilf. Das Hauptproblem bei der Ufersicherung ist die Durchwurzelung des Bodens. Bei Steckhölzern bilden sich die ersten Wurzeln in der Tiefe des Hangs, was bei lockeren Sedimenten zu großen Problemen mit der Oberflächenerosion führen kann. Im oben aufgeführten Beispiel sind die Steckhölzer deshalb auch nur an den Stellen eingesetzt worden, an denen keine mittelbare Gefahr durch Erosion besteht. Sind die Gehölze gewachsen, werden sie die anderen ausgeführten Bauweisen jedoch hervorragend ergänzen. Die umliegenden Weiden- und Schilfspreitlagen sollten in den Folgejahren gut zurück geschnitten werden um die Steckholzarten nicht zu verdrängen.

2. Beispiel (vgl. Subatzus 2013, S.2-17)

Standort:

Brandenburg, FFH-Gebiet Unterspreewald, Naturschutzgebiet Innerer Unterspreewald

Fluss:

Puhlstrom und dessen Altarm, Nebenarm der Spree, Sohle mit 0,4 – 2,0 m Sand- und Schlammauflage

Fließgewässertyp:

Typ 15 – Sand- und lehmgeprägte Tieflandflüsse

Ausführender/Planer:

Büro Subatzus und Bringmann, Büro für Baumbegutachtung und Landschaftsarchitektur, Großräschen

Ausführungszeitpunkt:

Juni 2011 – November 2011

Skizze der Maßnahme:

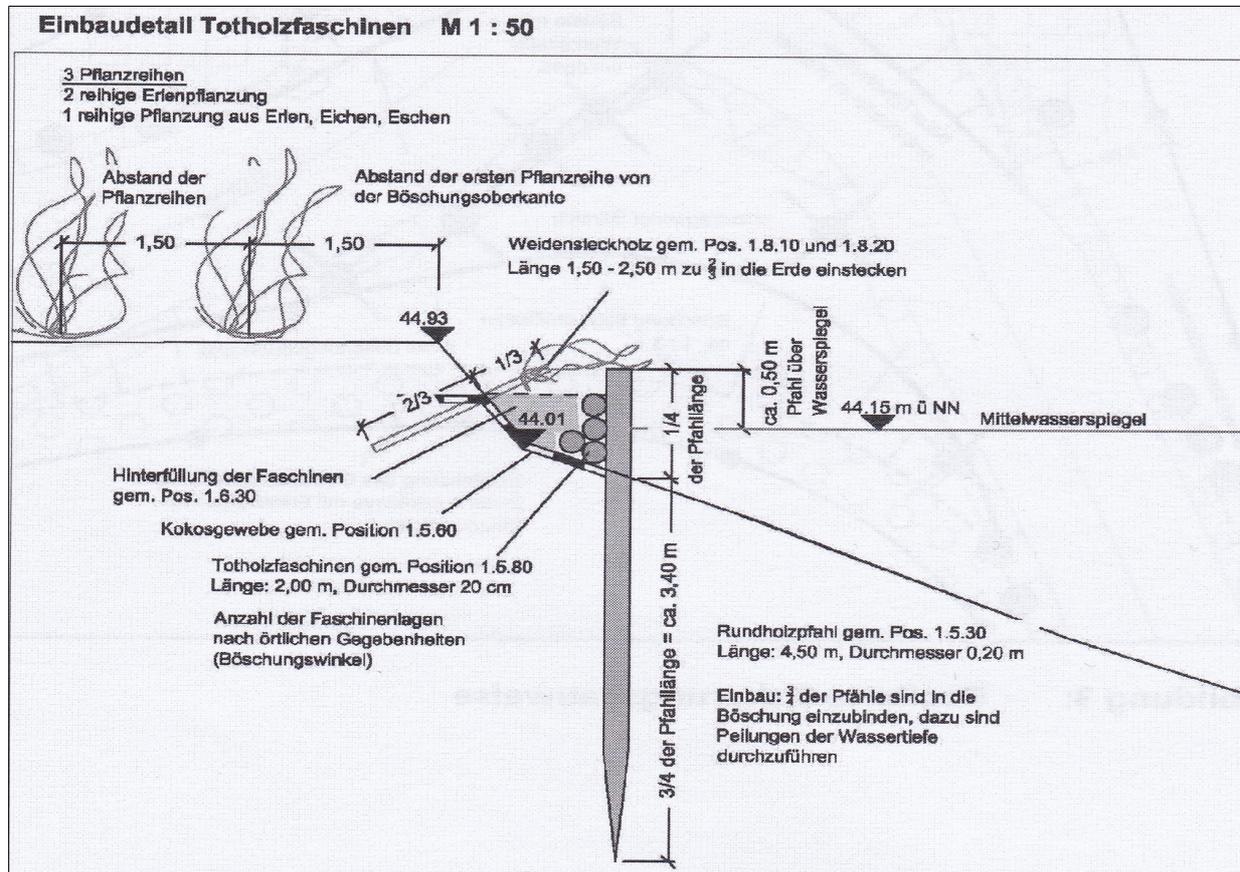


Abbildung 1: Skizze zur Maßnahme im Unterspreewald (M 1:50)

Beschreibung der Maßnahme:

Nach vermehrten Uferabbrüchen durch hohe Wasserabflüsse im Winter 2009/2010 und dadurch verursachte Unterspülungen der Altbäume, sollte das Ufer des Puhlstroms naturnah gesichert werden. Zwei 90 Grad Kurven waren von den Uferabbrüchen am schlimmsten betroffen, zusätzlich gab es in den Kurvenbereichen starke Auskolkungen von bis zu 3 m Tiefe durch Wasserverwirbelungen. Zur Sicherung der Ufer wurden mehrere Maßnahmen festgelegt, so wurde ein Gewässerrandstreifen zwischen 1,50 und 6,00 m Breite entlang des kompletten Altarms insel- und landseitig erstellt. Die zwei Kurven wurden durch Schüttung von übrig gebliebenem Aushubmaterial in ihrem Winkel

entschärft. Die Böschungen wurden mit Geotextilien bedeckt um Erosion zu vermeiden. Zusätzlich wurden in den Kurven und an den Ufern zwei- bis vierlagige Totholzfaschinen eingebaut und an den Abbruchkanten der Böschung Robinienholzpfähle eingeschlagen. Die Faschinen wurden teilweise mit Aushubmaterial aus den Kurven hinterfüllt. In den Innenkurven des Altarms wurden zusätzlich Einzelreihen von Heistern gepflanzt, während in den Außenkurven dreireihige Heisterpflanzungen mit Schwarzerlen (*Alnus glutinosa*), Stieleichen (*Quercus robur*) und Eschen (*Fraxinus excelsior*) erfolgten. Die Pflanzflächen wurden anschließend gemulcht und die Heister durch Drahtosen gegen Wildverbiss geschützt. Die Bereiche der Totholzfaschinen wurden zur Stabilisierung mit Weidensteckhölzern versetzt. Die Steckhölzer dafür wurden direkt aus der Region entnommen und hatten eine Länge zwischen 1,50 und 2,50 m bei einem Durchmesser von mindestens 2 cm. Die genaue Art der Weiden konnte nicht bezeichnet werden. „Sie wurden zu 2/3 und mit einem Abstand von 30 cm unmittelbar im Anschluss an die eingebauten Totholzfaschinen schräg in die gewachsene Böschung eingebracht.“ (Subatzus 2013, S.8)

Entwicklung:

Beobachtungen vom Frühjahr 2012

positive Beobachtungen:

Aufkeimende Erlensämlinge (*Alnus spec.*) bestätigten, dass der Standort für die Heisterpflanzungen richtig gewählt war. Trotz Verbiss des Bibers, schlugen die Weidenstecklinge (*Salix spec.*) im nachfolgenden Frühjahr aus. Es konnten sich neue krautige Pflanzen im Bereich der eingebrachten Stubben etablieren.

negative Beobachtungen:

Der Biber Verbiss sich bereits im ersten Winter nach Ende der Maßnahme in den Steckhölzern. Bei hohem Wasserstand verschoben sich die Robinienpfähle.

Fazit:

Die Weidenstecklinge hatten sich als unempfindlich gegenüber dem Biberverbiss bewiesen. (vgl. Subatzus 2013, S.2-17) Da sie schnell austreiben, konnte bereits ein halbes Jahr nach der Baumaßnahme ein guter Bewuchs festgestellt werden. Obwohl

die Robinienpfähle durch das höhere Wasser im Winter verschoben wurden, blieben die Faschinen und Stecklinge gut gefestigt. Durch das schnelle Wachstum der Weidensteckhölzer, wurde das Ufer unmittelbar durch die austreibenden feinen Wurzeln der Weiden verstärkt. Da die Sohle und das Ufer aus einem Großteil feinen Sandes bestehen, geben die feinen Weidenwurzeln auch besseren Halt vor Erosion, weil die feinen Sedimente wesentlich besser gehalten werden können. Solange die Heister im Wachstum sind und die Weidenstecklinge nicht überschatten, werden diese das Ufer sichern. Sie stellen somit einen passenden Übergang zu einer Zielvegetation dar. Sobald die Heister groß genug sind und die Ufersicherung durch ihr Wurzelwerk übernehmen können, werden die Weiden verdrängt werden und in der Sicherungsfunktion abgelöst. Das selbstständige Aufkeimen von Erlensamen bestätigte darüber hinaus die Richtigkeit der Wahl der Heisterarten für den Standort.

3. Beispiel (vgl. Jakober 2014, S.16-23)

Standort:

Schweiz, Kanton Zug, Gemeinde Oberägeri

Gegenstand:

Böschungen und Ufermauern Würzlibach im Bereich der Liegenschaft Brandeuli, welche vom Bach unterspült wurden

Ausführender/Planer:

Bauherrschaft: Gemeinde Oberägeri und Amt für Wald und Wild Kanton Zug;

Projektingenieur: belop GmbH Sarnen

Ausführungszeitpunkt:

2012

Beschreibung der Maßnahme:

Zur Stabilisierung der Böschungen wurden dieselben auf 50 Meter mit einer Neigung von 1:1 neu geformt. Regenfälle und erneute Rutschungen erschwerten die Baumaßnahmen und machten die Sicherung mit Hinterbeton unumgänglich. In den

Böschungen stand der Fels oberflächlich, daher konnte kein Holzkasten zur Hangverbauung genutzt werden. So wurde ein Querholz mit Hangrost dahinter verankert. Die Holzverbauungen wurden mit Erde überdeckt. Drainagen zu einem Vorfluter sollten der Hangentwässerung dienen. Das aufgeschüttete Erdmaterial wurde trotzdem von Oberflächenwasser weg gespült. Deshalb wurden zwei Weidenfaschinen (siehe 7. 2. 3. Beispiel 2) und Weidensteckhölzer quer über dem Hang befestigt und zusätzlich eine Ansaat auf dem Hang durchgeführt.

Entwicklung:

Beobachtungen von 2014

positive Beobachtungen:

Die Weidensteckhölzer stabilisierten durch die schnelle Durchwurzelung den Hang. Zusätzlich wurde dadurch die Wasseraufnahmefähigkeit des Oberbodens erhöht. Während die Weiden größer wurden, gruben sich deren Wurzeln tiefer in die Böschung um so auch in der Tiefe für zusätzliche Stabilität zu sorgen. Die Böschung war nach zwei Jahren vollständig verwachsen und somit sicher vor oberflächlicher Erosion.

negative Beobachtungen:

Die starke Beschattung des Hanges könnte einen limitierenden Einfluss auf das Wachstum der Weiden und anderen Vegetationen haben.

Fazit:

Im Gegensatz zu teuren und aufwändigen herkömmlich Bauweisen, die vermutlich zu einem kompletten Verbau der Ufer des Würzlibaches geführt hätten, war die Bepflanzung der Böschung wesentlich einfacher zu verwirklichen und bot zusätzlich auch durch die zügige Begrünung nach der Anpflanzung und Aussaat einen erheblichen Schutz gegen weitere Erosion. Problem bei den ingenieurb biologischen Maßnahmen war hier das Oberflächenwasser, welches keine Festigung der Bodendeckschicht zu ließ. Der Einsatz zweier Faschinen in Kombination mit Weidenstecklingen war als gleichzeitige Schutz- und Entwässerungsmaßnahme intelligent ausgeführt. Durch die feuchte Umgebung konnten die Stecklinge gut anwachsen und dank ihrer feinen Wurzeln zusätzlichen Schutz vor Erosion in den oberen und tieferen Schichten der

Böschung erwirken.

Gesamtfazit Steckhölzer

Steckhölzer können zur Stabilisierung sowie zur Entwässerung von Hängen und Böschungen eingesetzt werden, wie das zweite Beispiel bereits zeigte. (vgl. Zeh 2007, S.221) Natürlich muss damit gerechnet werden, dass die austreibenden Wurzeln der Steckhölzer den Hang vor allem erst in der Tiefe festigen, daher verwundert es nicht, dass das Ziel Oberflächenerosion zu vermindern in Beispiel 1 durch die Steckhölzer nicht in einem kurzfristigen Zeitraum erreicht wurde.

In Gebieten, in denen eine Tiefen- und Oberflächenerosion verhindert werden muss, ist es daher sinnvoll Steckhölzer zusammen mit anderen ingenieurb biologischen Bauweisen zu kombinieren. So eignen sich die Hölzer hervorragend um Geotextilien am Hang zu befestigen. Es wird die oberflächliche Erosion durch das Textil in möglicher Kombination mit einer Ansaat oder -pflanzung verringert und die Erosion in der Tiefe durch die austreibenden Wurzeln des Steckholzes.

Die feinen Wurzeln der meist verwendeten Weidensteckhölzer wachsen in die Tiefe und halten zudem feine Segmente mit hoher Erfolgsquote, was auch feinsandige Ufer in der Tiefe absichert (Beispiel 2). Durch die Ausbildung der Wurzeln besteht ein hohes Wasseraufnahmevermögen bei den Steckhölzern. Nasse Hänge können so trocken gelegt werden. Durch die Verwendung von einzelnen Teile eines Gehölzes für die Steckhölzer entstehen zudem wenig Kosten für die Maßnahme. Auch der Einbau geht schnell und unkompliziert von statten wenn der Boden nicht so hart ist, dass er für die Hölzer vorgebohrt werden muss. Der größte Pluspunkt für Steckhölzer ist aber nach wie vor die Kombinationsfähigkeit mit diversen anderen Bauweisen, wie Faschinen oder Spreitlagen, wie das dritte Beispiel belegt, in welchem viele verschiedene Bauweisen zur Hangsicherung verwendet wurden.

7. 1. 6. Busch- und Heckenlagenbau (4 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Pagnoncini 1997, S.13-17)

Standort:

Schweiz, Kanton St. Gallen, Gemeinde Pfäfers, westlich der Ortschaft Pfäfers

Gegenstand:

gerutschter Hang westlich der Ortschaft Pfäfers, 830 m über dem Meeresspiegel, Nordhang, Flyschboden, mittlere Niederschläge, am Waldrand

Ausführender/Planer:

Internationale Försterschule Maienfeld, Fachlehrer Celso Pagnoncini

Ausführungszeitpunkt:

1992-1993

Skizze der Maßnahme:

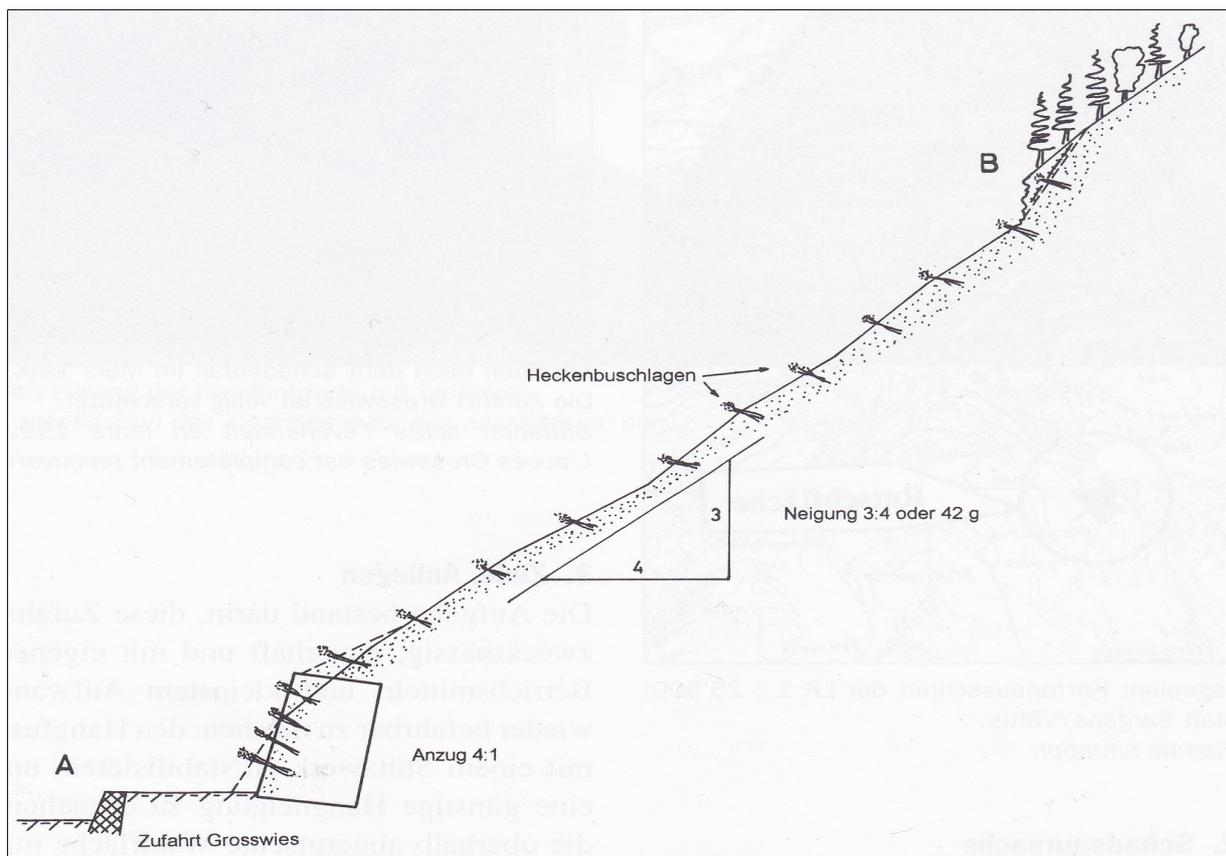


Abbildung 2: Anordnung der Maßnahme am Hang im Längsprofil (M 1:100)

Beschreibung der Maßnahme:

Nach dauerhaften Regen ereigneten sich in Straßennähe Rutschungen, eine Zufahrt wurde verschüttet. Durch die geplanten Maßnahmen sollte der Hangfuß mit wenig Aufwand stabilisiert werden, ebenso sollte die gerutschte Waldfläche mit biologischem Verbau wieder bewaldet werden. Am Hangfuß wurde dazu ein Holzkasten gesetzt über dem, zur Stabilisierung der Hangrutschfläche, Heckenbuschlagen angelegt wurden. Vor dem Bau der Buschlagen erfolgte eine Hangneigungsanpassung. Die Ausführung der Buschlage wurde aus Übungsgründen auf zwei Jahre ausgedehnt. Im ersten Jahr wurde zuerst die obere Hälfte des Hanges bearbeitet. Der obere Anrissrand wurde abgetragen und der dadurch anfallende Boden mit in den Heckenbuschlagen verbaut. Der Abstand der Buschlagen zueinander betrug zwischen anderthalb bis zweieinhalb Metern, während die Einbautiefe zwischen einem halben Meter und 0,8 Metern lag. Die dabei genutzten Gehölze waren als Stecklinge Weiss- (*Salix alba*), Grau- (*Salix cinerea*), Reif- (*Salix daphnoides*), Schwarz- (*Salix myrsinifolia*) und Purpurweide (*Salix purpurea*) und als bewurzelte Baumarten Weißerle (*Alnus incana*), Ahorn (*Acer spec.*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*), Liguster (*Ligustrum spec.*) und Hartriegel (*Cornus spec.*). Die Stecklinge wurden kreuzweise eingebracht, wobei 6-10 Stecklinge pro Meter und eine bewurzelte Pflanze pro halbem Meter gesetzt wurden. Um den Hang zusätzlich vor Erosion zu schützen, wurde eine Jutegeotextilbahn über die Anrisskante befestigt. Unmittelbar nach Abschluss der Maßnahme erfolgte eine Trockenansaat, spezielle Bergwiesenmischung mit verschiedenen Gras- und Kleearten, sowie zusätzlich Kleber und Dünger. 1993 ist die untere Hälfte des Hanges mit Heckenbuschlagen bepflanzt worden.

Entwicklung:

Beobachtungen vier Vegetationsperioden nach Bauabschluss

positive Beobachtungen:

Die gesteckten Ziele sind erreicht worden. Es wurde mit Material vor Ort und damit verbunden geringen Transportwegen gearbeitet, die verwendeten Methoden waren der Landschaft gerecht und konnten mit eigenen Arbeitskräften, Forstpersonal und Landschaftspfleger, verwirklicht werden. „Die erzielte Wertschöpfung war damit optimal.“ (Pagnoncini 1997, S.16) Vom Abschluss der Baumaßnahmen bis zur

Beobachtung kam es zu keinen Rutschungen an diesem Hang mehr. Auch der Hangfuß ist stabil.

negative Beobachtungen:

Der Planer prognostizierte, dass ab Herbst 1997 weitere Pflege notwendig würde um die standortgemäßen Baumarten der Schlussgesellschaft zu begünstigen. Die Weiden (*Salix spec.*) und Weißerlen (*Alnus incana*) müssten entfernt werden.

Fazit:

Auch wenn Weidenstecklinge verwendet wurden, weil sie im Vergleich zu anderen Gehölzarten schneller austreiben und wachsen, ist der Aufwand sie zu einem späteren Zeitpunkt zu entfernen nicht zu unterschätzen. Auch können bei der Ausführung der Pflegemaßnahmen Beschädigungen am Hang auftreten. Da der betreffende Hang aber zur Zeit der durchgeführten Maßnahme möglichst schnell gesichert werden musste, ist die Wahl der Gehölze nachvollziehbar. Eventuell hätte eine Heckenbuschlage mit vorwiegend Ahorn- und Eschearten die, laut Planer, erwünschte Baumarten für den Hang waren und die Sicherung des Oberbodens mit Geotextilien samt Ansaat ebenfalls ausgereicht.

2. Beispiel (vgl. Tognini 2002, S.14-21)

Standort:

Schweiz, Kanton Tessin, Dorf Anzonico, Pizzo Erra

Ausführender/Planer:

Auftraggeber: Consorzio Pizzo Erra zusammen mit dem Kanton Tessin, den Bundesbahnen, der Gemeinde Antonico; Ausführender: Forstdienst

Gegenstand:

Erddamm und Böschung Pizzo Erra

Ausführungszeitpunkt:

1996

Skizze der Maßnahme:

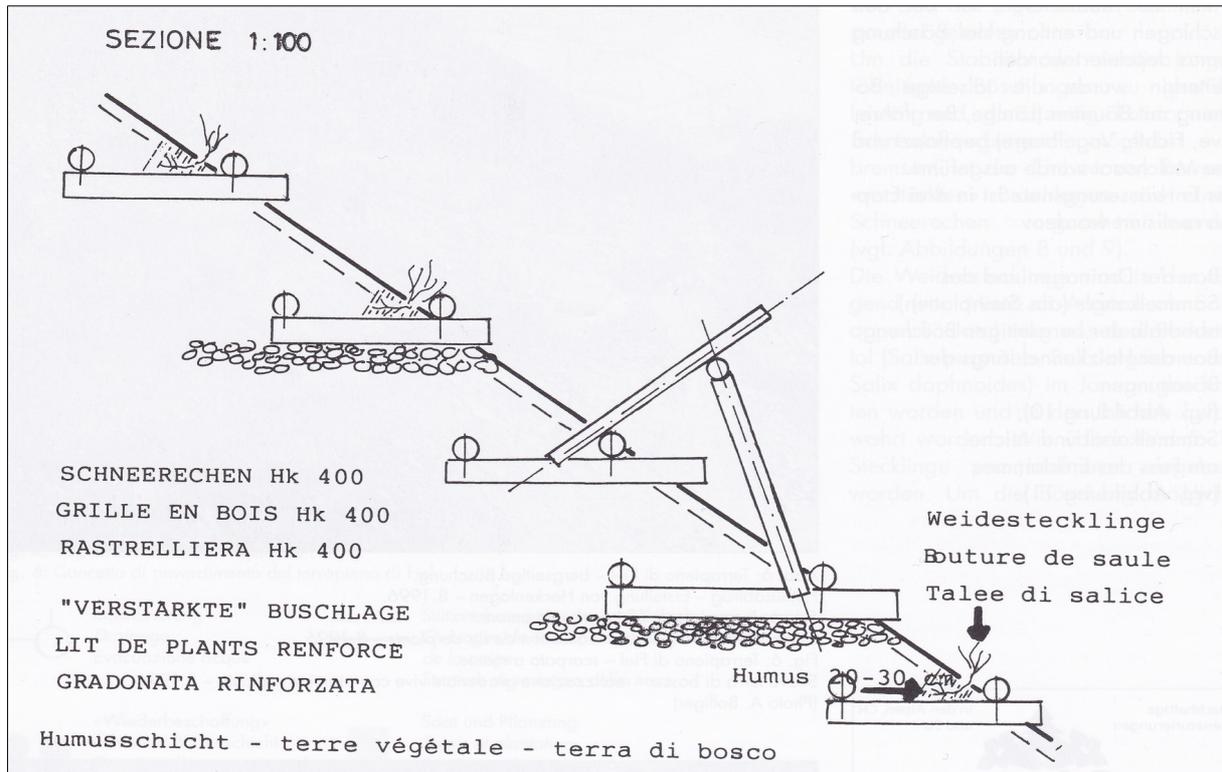


Abbildung 3: Darstellung der Maßnahmen am Pizzo Erra im Längsprofil (M 1:100)

Beschreibung der Maßnahme:

Zur Wiederbegrünung eines großen Erddammes zum Erosions- und Lawinenschutz im Hochland mit starken Niederschlägen, Winden und Schneeablagerungen, sowie teilweise Beweidung durch Wild musste ein Begrünungskonzept ausgearbeitet werden. Bei den Bauarbeiten wurde versucht darauf zu achten, zeitlich phasenweise zu arbeiten um die Begrünung nicht zu stören. An den bergseitigen Böschungen wurden Heckenlagen eingebaut und mit Oberbodenschichten, sowie Bepflanzungen mit Wacholder (*Juniperus*), Lärche (*Larix spec.*) und Bergkiefer (*Pinus mugo*) kombiniert. Anschließend wurde eine Mulchsaat aus verschiedenen standortgerechten Kräutern auf der Fläche verteilt: Berg-Wundklee (*Anthyllis montana*), Alpen-Hornklee (*Lotus alpinus*), Gelbgrüner Frauenmantel (*Alchemilla xanthochlora*), Alpenaster (*Aster alpinus*), Bärtige Glockenblume (*Campanula barbata*), Steinnelke (*Dianthus sylvestris*), Großblütige Gämswurz (*Doronicum grandiflorum*), Alpen-Habichtskraut (*Hieracium alpinum*), Alpen-Vergissmeinnicht (*Myosotis alpestris*), Alpen-Wegerich (*Plantago alpina*), Gold-

Fingerkraut (*Potentilla aurea*), Hügel-Klee (*Trifolium alpestre*), Weißer Germer (*Veratrum album*). Der Einbau von Bermen in den Hang sollte Wasser- und Schneebewegungen minimieren, steile windexponierte Stellen in der Böschung wurden zusätzlich mit Kokosnetzen bespannt. Um die in den Damm gesetzten Buschlagen zu schützen wurden darüber Schneerechen eingebaut. Es wurden Weidenstecklinge eingebracht und Humus entlang der Böschung deponiert, damit die erwünschte Renaturierung schnell statt finden konnte. Zusätzlich wurden Richtung Tal Lärchen (*Larix spec.*), Bergkiefern (*Pinus mugo*), Zirbelkiefern (*Pinus cembra*), Fichten (*Picea spec.*) und Vogelbeeren (*Sorbus aucuparia*) gepflanzt und eine weitere Mulchsaat durchgeführt. Die Hangentwässerung wurde durch Drainagen und Anlegung eines Sammelkanals zum Fuß des Damms hin in angelegte Teiche verwirklicht.

Entwicklung:

Beobachtungen von 1996-2002

positive Beobachtungen:

Die Böschungen wurden relativ schnell und ausreichend dicht begrünt. In der Beobachtungszeit gab es zwei heftige Unwetter 1998 und 2000 bei denen keine Schäden an den Bauweisen entstanden sind und auch keine Erosionsschäden an der Böschung zu verzeichnen waren. Die Buschlagen an sich blieben voll funktionsfähig. Weidenstecklinge von Purpur-Weide (*Salix purpurea*) und Schwarz-Weide (*Salix nigricans*) wuchsen vergleichsweise gut an.

negative Beobachtungen:

Durch Schneebewegungen entstanden geringe Schäden entlang der talseitigen Böschungen. Dadurch und durch Wildverbiss sind einige angepflanzte Gehölze nicht angewachsen beziehungsweise zerstört worden. Außerhalb der Heckenlagen an der bergseitigen Böschung ging die Saat wegen fehlender Bodenschicht nicht auf. Die in den Buschlagen eingebrachten Weidenstecklinge der Großblättrigen Weide (*Salix appendiculata*) hatten sich wegen Austrocknung und Wildverbiss nicht entwickelt.

Fazit:

Auch wenn gebaute Busch- und Heckenlagen, sowie Schneerechen den Unwettern und

der Wildbeweidung ohne nennenswerte Schäden stand gehalten hatten, muss in Zukunft dem Schutz der Begrünung vor Wildverbiss mehr Beachtung geschenkt werden. Die Humus- oder Mulchschichten waren stellenweise zu geringmächtig aufgetragen worden um ein erfolgreiches Anwachsen zu unterstützen. Zudem liegen die Böschungen zwischen 1900 und 2100 Meter über dem Meeresspiegel, haben kurze Vegetationsperioden und ein frisches Klima aufzuweisen, dadurch sind auch die Vegetationsperioden auf weniger Tage als üblich begrenzt. Trotz standortgerechten Saatmischungen verwundert der Ausfall also nicht, denn in solchen Regionen etablieren sich bereits gezogene Individuen besser, bei Saatgut muss oft nachträglich wieder ausgesät werden um den Verlust zu kompensieren. Um den Verbiss und damit verbunden auch die Trittbelastung durch Wild in Zukunft zu verhindern, sollte ein Schutzzaun um die Böschungen errichtet werden. Was die Busch- und Heckenlagen angeht so war das Wachstum der Pflanzungen die direkt in den Bauweisen angelegt wurden, erfolgreicher als Ansaaten. Trotz teils heftiger Wetterlagen haben sich die Buschlagen an den Hängen bewährt und ihre Stabilität bewiesen.

3. Beispiel (vgl. Pagnoncini 2007, S.13-16)

Standort:

Schweiz, Graubünden, Gemeinde Fläsch

Gegenstand:

bewaldeter Hang am Fläscherberg im Gebiet der Gemeinde Fläsch im nördlichen Graubünden, süd/süd-östliche Exposition, 610-760 Meter über dem Meeresspiegel, durchschnittliche Neigung von 34 Grad, Boden größtenteils bestehend aus verwitterten Kalk- und Schieferpartien variabler Korngrößen, durch Besonnung und Föhn relativ trockener Standort

Ausführender/Planer:

Ausführung: Bildungszentrum Wald Maienfeld

Ausführungszeitpunkt:

1980-1984

Beschreibung der Maßnahme:

Im Sommer 1980 führten intensive Regenfälle zum Abrutsch eines ca. ein Hektar großen Hanges am Fläscherberg. Die daraufhin im selben Jahr ausgeführte erste Bauetappe beschränkte sich auf die obere Hangpartie. Dabei wurden Weidenarten geerntet und in Buschlagen schräg im Hang verbaut. Es wurde eine seitliche Ableitung für Regen- und Schmelzwasser angelegt. Die obere Anrisskante wurde abgerundet und das anfallende Material in den Buschlagen eingebunden. Da die Buschlagen nur teilweise anwachsen, wurden im darauffolgenden Sommer speziell an den Ort angepasste Weidenarten (*Salix spec.*) verwendet und schon bewurzelte Erlen (*Alnus spec.*) aus dem Forstgarten als Heckenbuschlagen zusätzlich eingebaut. Nach Ende des Buschlagenbaus wurde die gesamte Fläche mit einer Hydrosaart aus Gräsern begrünt um weiteren Erosionsschutz zu gewährleisten. Nachdem im unteren Teil des Hanges 1987/1988 wieder eine Rutschung auftrat, wurde diese mit begrüntem Hangrosten saniert. Von 1988 bis 2000 wurden über Pflegemaßnahmen die Baumarten Ahorn (*Acer spec.*), Esche (*Fraxinus spec.*) und Kiefer (*Pinus spec.*) im Wachstum unterstützt und zusätzlich Naturverjüngung eingeleitet.

Entwicklung:

Beobachtungen 24 Jahre nach dem Verbau (2004/2005)

positive Beobachtungen:

Die Buschlagen haben einen langfristigen Stabilisierungserfolg verzeichnet. Der Hang hatte keine Nassstellen mehr, was durch die Tiefe der Gehölzwurzeln bei entnommenen Eschen bewiesen wurde. Es entstand eine vollständig deckende Vegetation auf dem Hang, die durch die frühe Pflege gut strukturiert erschien. Eschen (*Fraxinus spec.*), Ulmen (*Ulmus spec.*), Buchen (*Fagus spec.*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) und Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) garantierten einen vielfältigen Bestand.

negative Beobachtungen:

Eingebrachte Gehölze von Reif-Weide (*Salix daphnoides*) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) hatten unter Wildverbiss stark gelitten.

Fazit:

Wären die Verbauungen mit den Weidenstecklingen zum Vegetationsbeginn ausgeführt worden, hätten sich die Stecklinge besser durch Ausschlag in die Buschlagen eingebunden und nicht unter der örtlichen Trockenheit gelitten. Bei der Verwendung von Weidenarten für trockene Lagen (Purpur-, Grauweide) hätten die Gehölze in den Buschlagen ebenfalls eine bessere Chance zum Austrieb gehabt. Um Wildverbiss zu begrenzen, kann überlegt werden an Hängen, die für eine Einzäunung nicht geeignet sind, Wildverbisschutzmittel einzusetzen. Davon abgesehen haben die Buschlagen den Hang stabilisiert. Der Aufwuchs der Gehölze und Gräser sorgte für Oberflächenschutz, später die tiefen Wurzeln der größeren Bäume auch für Tiefenschutz des Hanges.

4. Beispiel (vgl. Schütz / Neukirchen 2010, S.4-13)

Standort:

Österreich, Ahrnbergschüttung an der Brennerautobahn

Gegenstand:

Schüttung zur Verfüllung eines Grabens am Ahrnsberg,, Neigungswinkel 39 Grad, Höhe zwischen 680 und 750 Meter über dem Meeresspiegel, westexponierter Hang

Ausführender/Planer:

Planung ingenieurbioologische Maßnahmen: H. M. Schiechl

Ausführungszeitpunkt:

1964

Beschreibung der Maßnahme:

Im Rahmen des Baus der Brenner-Autobahn von 1959 bis 1963 wurden umfangreiche Hangsicherungsmaßnahmen durchgeführt. Für die geplanten Buschlagen wurden verschiedene Weidenarten verwendet, wie Silber- (*Salix alba*), Grau- (*Salix eleagnos*), Purpur- (*Salix purpurea*), Schwarz- (*Salix nigricans*) oder Korbweide (*Salix viminalis*), Mandelweide (*Salix tiandra*), Reifweide (*Salix daphnoides*). Zusätzlich wurden Heister ,

unter anderem Schwarz- (Populus nigra) und Zitterpappel (Populus tremula), Esche (Fraxinus excelsior), Grauerle (Alnus incana), Eberesche (Sorbus aucuparia), Wolliger Schneeball (Viburnum lantana), Traubenholunder (Sambucus racemosa) und Bergulme (Ulmus glabra), in die Buschlagen eingepflanzt, wobei pro laufendem Meter Buschlagenbau ein Heister gepflanzt wurde. Angelegte Bermen teilten den Hang dabei in Ober-, Mittel- und Unterhang. In den ersten Jahren nach Fertigstellung der Bauweise, wurden an den oberen und mittleren Hängen je vier Pflegeschnitte pro Jahr durchgeführt. 1970 wurde dann der mittlere Hang durchforstet und 1983 der Untere.

Entwicklung:

Beobachtungen von 1988 (fast 25 Jahre nach Bauausführung), 2010

positive Beobachtungen:

Die im Unterhang gepflanzten Gehölze waren zu beinahe hundert Prozent angewachsen. Die schnell wachsenden Pioniergehölze - Weiden, Erlen und Pappeln - bildeten ein ausgeglichenes Klima am Hang und ermöglichten so die Bildung von verschiedenen Strauchschichten. Die Böschung wies bei der Beobachtung eine vielfältige vielschichtige Vegetation mit hohem Gehölzanteil auf. Die Sträucher und Pflanzen des Hangs, sowie Ast- und Baumstümpfe haben einen Auffangeffekt bei abwärts rollendem Material. Mindestens 25 cm des Oberbodens waren an der Böschung stark verwurzelt. „Die Gesamtartenvielfalt der Vegetation ist beeindruckend hoch, zieht man die Böschungsneigung und das anfangs vollständige Fehlen von organischen Bodenanteilen (Humus) mit in Betracht.“ (Schütz et al. 2010, S.11) Während einer späteren Beobachtung wurde festgestellt, dass Weiden über Verdrängung durch andere Laubgehölze aus den Buschlagen ausfielen. Im oberen Hangbereich wuchsen, aufgrund der Trockenheit, besser an den Standort angepasste Nadelgehölze ein.

negative Beobachtungen:

Heckenbuschlagen die 1964 nach Juni eingepflanzt wurden, wuchsen wegen der Trockenheit nur vereinzelt an. Am oberen Hang waren nur 20-50% der Heckenbuschlagengehölze angewurzelt. Die Eberesche (Sorbus aucuparia) hatte sich als einziges angepflanztes Gehölz nicht gut entwickelt.

Fazit:

Nach über 50 Jahren kann der vollzogene Buschlagenbau an der Ahrnbergschüttung nur als Erfolg gewertet werden. Der Hang wurde durch die Gehölze gesichert und hat sich mit der Zeit außerdem nahtlos in das umliegende Landschaftsbild eingefügt. Auch nach einem halben Jahrhundert ist die ursprünglich angepflanzte Vegetation vorhanden. Es existiert ein großer Artenreichtum in allen Schichten der Vegetation. Die große Dichte in der die Vegetation entlang des Hanges wächst, hält abkollerdes Material und sorgt gleichzeitig für eine Anreicherung von Humus.

Gesamtfazit Busch- und Heckenlagenbau

Busch- und Heckenlagen werden vor allem für die Tiefensicherung in Hängen und Böschungen verwendet. Dass der Untergrund dabei aus ausreichend Lockermaterial besteht, ist Voraussetzung für den Einsatz dieser Maßnahmen, da sich nur so die Wurzeln der Gehölze in die Hangtiefen graben können. Auch können, bei Notwendigkeit, Bermen in die Hänge eingebaut werden, wie beim vierten Beispiel. Dies erfordert wiederum genug Platz an den Hängen und Stabilität für große Maschinen. Buschlagenbau auf Steilhängen ohne Rohbodenaufgabe ist nicht möglich.

Die im Buschlagenbau größtenteils verwendeten Weidenäste sichern zwar die Böschungen durch ihr schnelles Austreiben in kurzer Zeit, sind aber in Beispiel 1 unerwünschte Arten, die wieder aus dem Bestand entfernt werden müssen sobald die Zielgehölze selbst genug Wurzelwerk ausgebildet haben um den Tiefenschutz am Standort anstatt der Weiden zu übernehmen.

Mit Heckenbuschlagen können gewünschte standortgerechte Zielarten auf dem Standort eingebracht werden und zugleich der Hang stabilisiert werden. Sehr oft erfolgt das Einsetzen der Hecken zusammen mit dem Buschlagenbau um eine Pioniergehölzvegetation im selben Arbeitsschritt anzulegen wie die gewünschte nachfolgende Laubgesellschaft. (vgl. Zeh 2007, S.247) Die Tiefensicherung kommt dabei meist vor der Oberflächensicherung, daher kann eine Kombination mit Geotextilien angebracht sein.

Wichtig für den Erfolg des Lagenbaus ist, standortgerechte Gehölze zu verwenden, die mit den Klima- und Bodenbedingungen zurecht kommen. Wegen Trockenheit nicht angewachsene Gehölze, wie in Beispiel 2, sind Ergebnis der falschen Gehölzauswahl. Dieser Fehler wurde in den übrigen dargestellten Beispielen nicht gemacht. Dadurch entstehen unnötige Kosten und Gefährdungen für den Rest der Gehölze durch mögliche Erosion der nicht angewachsenen Stellen. Eine Studie zu Heckenbuschlagen hatte belegt, dass „[d]ie Trieblänge und das Dickenwachstum aller eingebauten Pflanzenarten und ebenso die dichte des Bestandes [...] im allgemeinen mit der Hanghöhe ab [nimmt]. Bei der einjährigen Heckenbuschlage ist diese Tendenz in abgeschwächter Form zu erkennen.“ (Grässer 1995, S.17) Der Wirkungserfolg der Buschlagen kann also durch die Höhenlagen der Hänge limitiert werden.

Negativpunkt für Hecken- und Buschlagenbau ist neben der Gefahr des Ausfalls durch Trockenheit (Beispiel 4) ebenfalls das Risiko für Wildverbiss. Wie Beispiel 3 aufzeigte, sind die eingebrachten Arten besonders in der Phase der Etablierung anfällig für Verbiss. Errichtung von Schutzzäunen ist an Hängen nicht einfach und stellt wieder einen Eingriff dar. Junge Gehölze können trotzdem, an Standorten mit regem Wildverkehr, durch den Verbiss stark dezimiert werden.

Sind die Busch- und Heckenlagen aber erfolgreich angewachsen und haben sich etabliert, bieten sie durch die Veränderung des Mikroklimas attraktive Standorte für krautige Pflanzen. Durch die Wurzeln und junge Gehölze können sich Sedimente und totes Pflanzenmaterial anreichern, aber auch abkollernde Steine werden in den Wurzeln festgehalten und die Wasseraufnahme am Hang wird erhöht, wodurch Oberflächenwasser schneller versickert. Im ersten Beispiel hatte sich durch die Gehölze sogar der Wasserhaushalt des Hanges verändert. Drohende Erosion durch abfließendes Oberflächenwasser wurde verhindert. Buschlagenbau kann auch an Ufern eingesetzt werden, wichtig ist dabei wieder die Verwendung standortgerechter Gehölzarten.

7. 2. Beobachtungen zum Wasserbau

7. 2. 1. Spreitlage (3 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Hainz / Arnold 2000, S.35-41)

Standort:

Nordrhein-Westfalen, Kreis Gütersloh, westlich vom Rietberg

Fluss:

Ems

Fließgewässertyp:

Typ 15 – Sand- und lehmgeprägte Tieflandflüsse

Ausführender/Planer:

nicht bekannt, Dokumentation: Institut für Ingenieurbilogie in Aachen

Ausführungszeitpunkt:

1984

Skizze der Maßnahme:

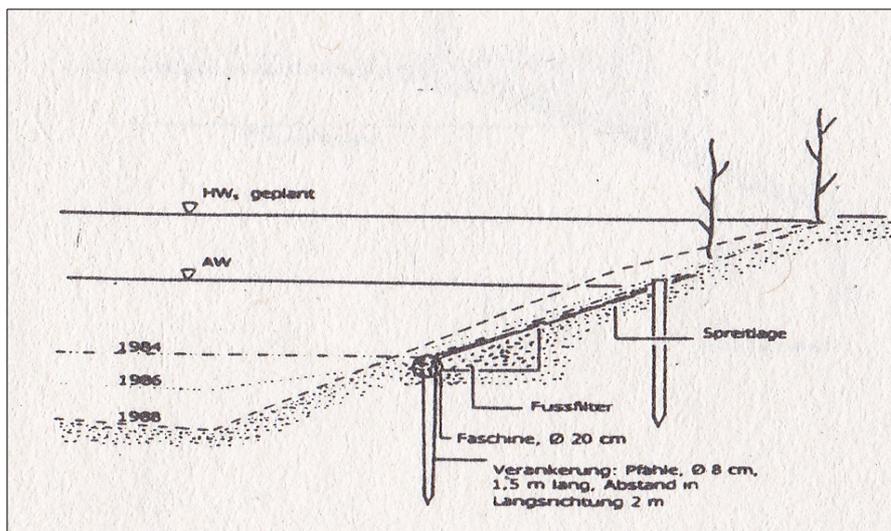


Abbildung 4: Spreitlage an der Ems (unbekannter Maßstab)

Beschreibung der Maßnahme:

An den Prallufeln der Ems wurden bei einer Böschungsneigung von 1:2 verschiedene Sicherungsbauweisen zum Schutz vor Erosion verbaut. Die Maßnahmen beinhalteten Buschmatten (20 cm) mit und ohne Steinschüttungen sowie Spreitlagen und alternativ Steinschüttungen auf Kunststoffgitterplanen. Nähere Erklärungen zu den eingesetzten Steinschüttungen sind in Punkt 7. 2. 2. Beispiel 1 aufgeführt. Unter allen Bauweisen wurden Fußfilter aus Glasasche gelegt um das Bodenfließen nahe dem Böschungsfuß zu verringern. Zusätzlich wurden Faschinen zur Sicherung an den Böschungsfüßen bei allen Bauweisen angebracht. Der obere Böschungsbereich wurde mit standortgerechten Gehölzen bepflanzt. Diese waren unter anderem Schwarzerle (*Alnus glutinosa*), Hängebirke (*Betula pendula*), Faulbaum (*Frangula alnus*), Stieleiche (*Quercus robur*), Ohr-Weide (*Salix aurita*), Grau-Weide (*Salix cinerea*) und Eberesche (*Sorbus aucuparia*). Ein Wehr unterhalb des Bauabschnitts wurde entfernt. Das dadurch größere Gefälle des Gewässers führte zu höheren Fließgeschwindigkeiten. Dadurch erfolgten in den ersten Jahren starke Tiefen- und Seitenerosionen, da wegen eines Stauwehrs flussaufwärts auch keine Sedimente zugeführt wurden

Entwicklung:

Beobachtungen zwischen 1985-1996 zusammengefasst, 2000 ergänzt

positive Beobachtungen:

Die Weidenspreitlagen haben der Erosion durch das Gewässer Stand gehalten und wurden mit den angepflanzten Gehölzen gut durchwurzelt. Im Gegensatz zu den angepflanzten Gehölzen, von denen die Schwarzerle stark dominiert, haben die angewachsenen Weiden der Spreitlage ein wesentlich feineres Wurzelwerk, welches in der Lage ist, die feinen Sedimente des Ufers besser zu festigen als die groben Wurzeln der Schwarzerle. So wurden Ufer mit vielen Schwarzerlen (*Alnus glutinosa*) wesentlich stärker ausgewaschen als Ufer mit einem höheren Anteil an Weidenbewuchs. Nach über neun Jahren hat die angewachsene Vegetation die Sicherungsfunktion der Spreitlagen übernommen.

negative Beobachtungen:

Die erhöhte Fließgeschwindigkeit führte in Kombination mit den fehlenden Sedimenten

zu starken Tiefen- und Seitenerosionen und damit zur Unwirksamkeit der meisten anderen Sicherungsbauweisen durch Tieferlegung der Sohle. Die angepflanzten Bäume kippten bei Unterspülungen des Ufers oder an Steilhängen in Richtung Fluss.

Fazit:

Im Vergleich zu den angepflanzten Gehölzen mit grobem Wurzelwerk, besonders Schwarzerle (*Alnus glutinosa*), wäre die Wasserwechselzone bei vermehrtem Einsatz von Weidenspreitlagen durch deren feineres Wurzelwerk weniger Erosion ausgesetzt gewesen. Davon abgesehen haben die Spreitlagen und Buschmatten ihre Funktion wesentlich besser erfüllt als die Steinschüttungen. Bei den feinen Sedimenten eines typischen Sandgewässers wie der Ems, hätten die Planer vermehrt auf die Wurzelbildung der Gehölze achten müssen. Dadurch, dass die Erosionen an vielen Uferabschnitten nicht verhindert werden konnten, hatte das Gewässer aber Möglichkeit sich dynamisch zu entwickeln. Es wurden Sandbänke aufgespült, während an anderen Stellen Uferanteile abgebrochen sind. Durch zusätzlich entstandene Kolke und Sandriffel in der Sohle erhielt dieser Abschnitt der Ems zusätzlichen Strukturreichtum. (vgl. Hainz / Arnold 2000, S.35-41) Im Jahr 2000 wirkte das Fließgewässer insgesamt naturnah. Leider wurde die Entwicklung durch nah angrenzende Nutzflächen der Landwirtschaft stark eingeschränkt.

2. Beispiel (vgl. Karl 1992, S.8-12)

Standort:

Österreich, südlich der Donau und nördlich der March, Gerasdorf

Gegenstand:

Marchfeldkanal – Leitung von Wasser der Donau, Fließgewässertyp 9.2 Große Flüsse des Mittelgebirges, zu den trockengefallenen Bächen Russbach und Stempfelbach

Ausführender/Planer:

interdisziplinäre Teams aus Kulturingenieuren, Bautechnikern, Landschaftsplanern, Architekten und Biologen, Detailplanungen unter Einbeziehung der Bevölkerung

Ausführungszeitpunkt:

1988-1992

Beschreibung der Maßnahme:

Die Maßnahme erfolgte auf trockenen, teilweise sonnenexponierten Böschungen in einem niederschlagsarmen Gebiet. Es wurden mehrere Gehölzarten zur Errichtung der Spreitlagen verwendet. Sowohl Weiden (*Salix triandra*, *viminalis*, *cinerea*, *purpurea*), als auch Liguster (*Ligustrum vulgare*), Schwarzerle (*Alnus glutinosa*), Haselnuss (*Corylus avellana*) und Schilf (*Phragmites spec.*) oder Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) wurden auf planierten Flächen mit Jutebändern und Steckhölzern befestigt. Die Bedeckung der Spreitlagen mit Erde erfolgte danach nur so weit bis die Zwischenräume zwischen den einzelnen Ruten verfüllt waren. Die Schilfhalme wurden zu einem Drittel in Wasser gelegt und mit Steinen befüllt um ein Abschwemmen zu verhindern. Anschließend wurden sie flach mit sandig-kiesigem Material überschüttet. Auf weitere im Marchfeldkanal angewandte Maßnahmen, wie Trockenansaat und Steckhölzer, und deren Entwicklungen wird unter den Punkten 7. 1. 1. Beispiel 1 und 7. 1. 5. Beispiel 1 näher eingegangen.

Entwicklung:

Beobachtungen ein bis drei Jahre nach den Maßnahmen

positive Beobachtungen:

Die Weidenspreitlagen bildeten bereits im ersten Jahr große und tief gehende Wurzeln aus. Da die Pflanzen auf sehr durchlässigen Böden angelegt wurden, ist zu vermuten, dass die Wurzeln deshalb so intensiv ausgeprägt waren, weil sie nach Wasser suchen mussten. Drei Jahre nach Anlage der Weidenspreitlagen wurden bis zu fünf Meter lange Wurzeln entdeckt. So erfolgte die Durchwurzelung vom anfänglichen Oberboden später auch bis in größere Tiefen der Hänge. Die Schilfspreitlagen sprossen und wurzelten bereits wenige Tage nach ihrer Anlage im Wasser. Es wurde beobachtet, dass sich in kürzester Zeit gute Bestände aus den Spreitlagen bildeten.

negative Beobachtungen:

Der Versuch, die Spreitlagen aus Liguster Schwarzerle oder Haselnuss zu verwenden

schlug fehl, weil sie keine Adventivwurzeln aus Steckhölzern bilden. Dadurch vertrockneten die Pflanzen im ersten Sommer. Die geringfügige Befestigung der Spreitlagen mit Jutebändern war nur möglich, weil der Marchfeldkanal zum Zeitpunkt der Maßnahme noch nicht geflutet war. So hatten die Weiden mehrere Vegetationsperioden zur Festigung der Hänge. Normalerweise hätten die Befestigungen bei Wasserständen nicht gehalten. Eine Anlage von Schilfspreitlagen ist an trockenen Hängen nicht möglich, da neue Sprosse und Wurzeln sich nur im Wasser ausbilden können.

Fazit:

Dass die Weidenspreitlagen hier in trockenen, durchlässigen Sedimenten gepflanzt worden waren, hatte den Vorteil, dass sie ein wesentlich tieferes Wurzelwerk ausbildeten. Dadurch war die Erosionsschutzwirkung für den Hang wesentlich höher. Realisierbar war dieses Verfahren allerdings nur, weil die Planer bereits genau wussten, dass die Weiden genug Zeit haben würden um sich ausreichend zu entwickeln bevor der Kanal geflutet wurde. Auch die Sicherung mit Jutebändern wäre an einem Fließgewässer unzureichend gewesen. Der Vorteil der Schilfspreitlagen ist, dass Schilf einerseits sehr kostengünstig und zeitsparend zu beschaffen ist und gleichzeitig große Bereiche damit bepflanzt werden können. Da Schilf an seinen Nodien neue Wurzeln ausbilden kann, werden bei der Materialbeschaffung die ursprünglichen Bestände nicht dauerhaft beschädigt und können sich regenerieren. Der Einsatz von Schilfspreitlagen ist zur Wiederansiedlung gut geeignet. Man kann davon ausgehen, dass die Spreitlagen in den nächsten Jahren aufwändig mittels Rückschnitt und Ausdünnung gepflegt werden müssen.

3. Beispiel (vgl. Grohmann / Moser 2001, S.20-24)

Standort:

Niederösterreich, Weinviertel, Putzing

Gegenstand:

Putzinger Graben, Lössgerinne

Ausführender/Planer:

Regionalstelle Weinviertel der Wasserbauverwaltung, Projektant: ZT-Büro Trugina – Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, ökologische Begleitplanung: Jakob Grohmann und Markus Moser

Ausführungszeitpunkt:

Juli 1998 – Oktober 1998

Beschreibung der Maßnahme:

Wegen einer Grundstückszusammenlegung und mehreren Überflutungen durch den Graben in den angrenzenden Ortschaften, war die Verlegung von ca. 500 Metern Grabens beschlossen worden. Er wurde ca. 200m nördlich der natürlichen Tiefenlinie in Hanglage verlegt. Zur Sicherung der neuen Sohle wurden ein Reisigboden und eine Holzkünette in Teilstücken des Grabens ausgelegt und anschließend mit Erde überschüttet. Mit in die Holzkünette wurden seitliche Weidenspreitlagen zur Sicherung an den Ufern eingebaut. Ihre Enden wurden direkt in der Holzkünette befestigt und ebenfalls mit 20 bis 30 cm Boden überschüttet. Es wurden zusätzlich weitere ingenieurbio-logische Bauweisen, wie Weidenfaschinen, Röhrichtwalzen, Anpflanzungen von Gehölzen; wie Silber-Pappel (*Populus alba*), Schwarzerle (*Alnus glutinosa*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Wildbirne (*Pyrus pyraster*), Wildapfel (*Malus communis*), Eingriffeliger Weißdorn (*Crataegus monogyna*), Kornelkirsche (*Cornus mas*), Blutroter Hartriegel (*Cornus sanguinea*), Gewöhnlicher Schneeball (*Viburnum opulus*), Wolliger Schneeball (*Viburnum lantana*), Liguster (*Ligustrum vulgare*), Schlehdorn (*Prunus spinosa*) und Felsenkirsche (*Prunus mahaleb*); und eine Krainerwand entlang des Grabens zur Ufersicherung angelegt. Die Wirkung der Krainerwand am Putzinger Graben wird unter Punkt 7. 2. 5. Beispiel 3 erklärt.

Entwicklung:

Beobachtungen von 1999 und 2000

positive Beobachtungen:

Trotz intensiver Aus- und Unterspülungen der Holzkünette am Rückhaltebecken, wurden die Ufer dank der eingesetzten Weidenspreitlagen nicht beschädigt. Die Weiden

zeigten, im Gegensatz zu manchen anderen gepflanzten Gehölzen, durchweg einen guten Austrieb, obwohl sie im belaubten Zustand geschnitten wurden.

negative Beobachtungen:

Im Einlaufbereich zum Rückhaltebecken des Grabens wurden massive Ausspülungen und Unterspülungen der Holzkünette beobachtet, Reparaturen der entstandenen Hohlräume mit Flussschotter verbesserten die Lage nicht.

Fazit:

Die zur Ufersicherung angewendete Spreitlage mit Weidenzweigen war bereits nach einer Vegetationsperiode in der Lage gewesen, trotz Unterspülungen der Holzkünette an manchen Stellen, den Erosionsschutz des Ufers weiterhin zu gewährleisten. Auch wenn die Weiden in den folgenden Jahren vermutlich zugunsten der anderen gepflanzten Gehölze und um Artenarmut zu vermeiden regelmäßig zurück geschnitten werden müssen, hat sich gezeigt, dass die schnell wachsenden Weiden wichtig für Ufersicherungen sind. Besonders bei feineren Sedimenten können die feinen Wurzeln der Weiden für Erosionsschutz sorgen. Der Putzinger Graben fällt in der Regel mehrmals im Jahr trocken. Hier könnten andere gepflanzte Gehölze Probleme haben sich den Standortbedingungen anzupassen. Die richtige Wahl der zu verwendenden Gehölze ist an solchen Standorten ebenfalls sehr wichtig.

Gesamtfazit Spreitlagen

Da Spreitlagen vor allem an abgeflachten Ufern eingesetzt werden, sind die dafür verwendeten Gehölze im Großteil Weiden. Diese besitzen den Vorteil schnell auszutreiben und damit verbunden schneller als andere Gehölze für Stabilität in der Uferböschung zu sorgen. Sie können große Trockenheit, aber auch Nässe bis zu einem gewissen Grad kompensieren. Die feinen Wurzeln der Weiden prädestinieren diese zusätzlich für den Einsatz an sand- und lehmgeprägten Flüssen. Dabei stellt das fließende Wasser hohe Ansprüche an die Haltbarkeit der Weidenspreitlagen. Deshalb werden nicht selten zusätzliche Sicherungsmaßnahmen geplant um die Spreitlagen in der Anfangsphase zu stabilisieren, zum Beispiel Faschinen als Fußsicherung. (vgl. Zeh 2007, S.241) Die Sicherungsmaßnahmen an den Prallufeln der Ems im ersten Beispiel

wurden durch die starke Erosion obsolet, aber trotz der Unwirksamkeit beinahe aller Ingenieurbauweisen, hatten sich nach Jahren Gehölze an den Flussufern aus den Weidenspreitlagen heraus etabliert, auch wenn diese nicht wirklich ihre Sicherungsfunktion erfüllten.

Dagegen wurde in Beispiel drei sogar die Künette, in der die Spreitlage verankert war, ausgespült, aber durch die schnelle Wurzelbildung der Weiden hatte dies keine negative Auswirkung auf die Etablierung der Spreitlage. Und nicht nur mit viel Wasser kommen Weiden gut zurecht, geeignete Arten haben, wie Beispiel 2 beweist, auch mit trockenen Hängen kein Problem. Im Gegenteil, während Spreitlagen aus Liguster (*Ligustrum*), Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) oder Haselnuss (*Corylus avellana*) wegen der am Hang herrschenden Trockenheit abgestorben waren, hatten sich die Weidenwurzeln nur umso tiefer in den Hang gegraben um ausreichend Wasser aufnehmen zu können.

Obwohl Weidenspreitlagen für den Erosionsschutz und die Ufersicherung viele positive Aspekte einbringen, kann ihre Raschwüchsigkeit doch ein Problem sein. Häufig müssen sie später stark zurück geschnitten oder aus dem Bestand entfernt werden um Monokulturen zu verhindern. Andere Arten können den dominierenden Weiden zunächst kaum Konkurrenz machen, daher ist ihre Verwendung mitunter kritisch zu sehen. Zumindest aber für die anfängliche Festigung von Uferböschungen sind Weiden im Vergleich zu anderen Gehölzen unschlagbar. Daher werden Weidenspreitlagen bei Uferbefestigungen gern verwendet um Erosionsschäden vorzubeugen.

In keinem der Beispiele wurden nur die Spreitlagen zur Sicherung errichtet. Es waren in jeder Maßnahme zusätzlich noch andere Schutzbauwerke mit ihnen kombiniert. Diese waren im Endeffekt jedoch gar nicht oder nur mäßig bei der Ufersicherung nützlich. Im Endeffekt lässt sich anhand der aufgeführten Beispiele sagen, dass Spreitlagen sehr effektiv funktionieren können, aber dies vor allem an den verwendeten Gehölzen liegt. Weiden sind bis dato die unangefochtenen Sieger bei der Wahl des besten Gehölzes für diese Bauweise.

7. 2. 2. Stein- und Kiesschüttung (3 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Hainz / Arnold 2000, S.35-41)

Standort:

Nordrhein-Westfalen, Kreis Gütersloh, westlich vom Rietberg

Fluss:

Ems

Fließgewässertyp:

Typ 15 – Sand- und lehmgeprägte Tieflandflüsse

Ausführender/Planer:

nicht bekannt, Dokumentation: Institut für Ingenieurbiologie in Aachen

Ausführungszeitpunkt: 1984

Beschreibung der Maßnahme:

An den Prallufern der Ems wurden bei einer Böschungsneigung von 1:2 verschiedene Sicherungsbauweisen gegen Erosion verbaut. Die Maßnahmen waren Buschmatten mit und ohne Steinschüttungen (25 cm, 5,6 – 12 cm Durchmesser), Spreitlagen und alternativ Steinschüttungen (25 cm, 5,6 – 12 cm Durchmesser) auf Kunststoffgitterplanen. Unter allen Bauweisen wurden Fußfilter aus Glasasche gelegt um das Bodenfließen nahe dem Böschungsfuß zu verringern. Zusätzlich wurden Faschinen zur Sicherung an den Böschungsfüßen angebracht. Der obere Böschungsbereich wurde mit Gehölzen bepflanzt, dazu befinden sich nähere Informationen bei Spreitlagen in Punkt 7. 2. 1. Beispiel 1.

Entwicklung:

Beobachtungen zwischen 1985-1996 zusammengefasst, 2000 ergänzt

positive Beobachtungen:

Da durch starke Unterspülungen kurz nach Fertigstellung der Schüttungen diese Sicherungsbauweisen unwirksam wurden, sind keine positiven Entwicklungen bekannt.

negative Beobachtungen:

Starke Tiefen- und Seitenerosionen führten zur Unwirksamkeit der Sicherungsbauweisen durch Tieferlegung der Sohle. Durch die Kunststoffgitterplanen unter den Steinschüttungen, konnten sich keine Gehölze oder andere Pflanzen zwischen den Steinen etablieren, da die Planen keine Durchwurzelung zulassen und somit eine Sperre für die Flora darstellen. Durch Erosion und Unterspülungen waren die Steinschüttungen unwirksam geworden. Bei Uferabbrüchen, waren die Schüttungen zusammen mit Teilen des Ufers in das Fließgewässer gerutscht.

Fazit:

Die Kunststoffgitterplanen hatten eine Festigung der Steinschüttungen durch Bewuchs verhindert. Weidenstecklinge hätten womöglich das Potential gehabt, den Untergrund und die Schüttung zu sichern, das wäre aber davon abhängig gewesen wie schnell die Weiden angewachsen wären und wie schnell die Erosion die Bauweise unterspült hätte. Davon abgesehen, dass die Schüttungen auf den Planen ebenso wenig Halt hatten wie die Flora, so hat sie ihre ursprüngliche Aufgabe – die Unterspülung der Bauweise aufzuhalten – dennoch gut erfüllt. Die Planer hätten von Anfang an keine Steinschüttungen für einen Sandfluss verwenden sollen. Das die feinen Sedimente nicht in der Lage sein würden die groben Steine zu tragen, besonders weil sie sich schnell auswaschen, hatte ein Abbrechen des Ufers samt Schüttung bereits voraus ahnen lassen. An solchen Fließgewässern wie der Ems sind ingenieurbioökologische Bauweisen wie die ebenfalls verwendeten Buschmatten und Spreitlagen angemessener. Gerade hier ist die Durchwurzelung des Ufers als Schutz vor Erosion sehr wichtig.

2. Beispiel (vgl. Huber / Jud 2009, S.35-40)

Standort:

Schweiz, Zürcher Obersee, Schmerikon, Bätzimatt

Gegenstand:

Bätzimatt samt Inseln als Wellen- und Sichtschutz, Inseln mit feinsandigen Flachufern fallen Erosion durch Wellen zum Opfer, zu wenige Sedimente werden in den Zürcher See aus kanalisiertem Zuflüssen eingeleitet

Ausführender/Planer:

Auftraggeber: Verwaltungsrat Ortsgemeinde Schmerikon; Bauunternehmung: Johann Müller Schmerikon (JMS); Biologische Begleitung: AquaPlus, Zug; Vermessung: Terra Vermessungs AG

Ausführungszeitpunkt:

2000 – Frühjahr 2004

Skizze der Maßnahme:

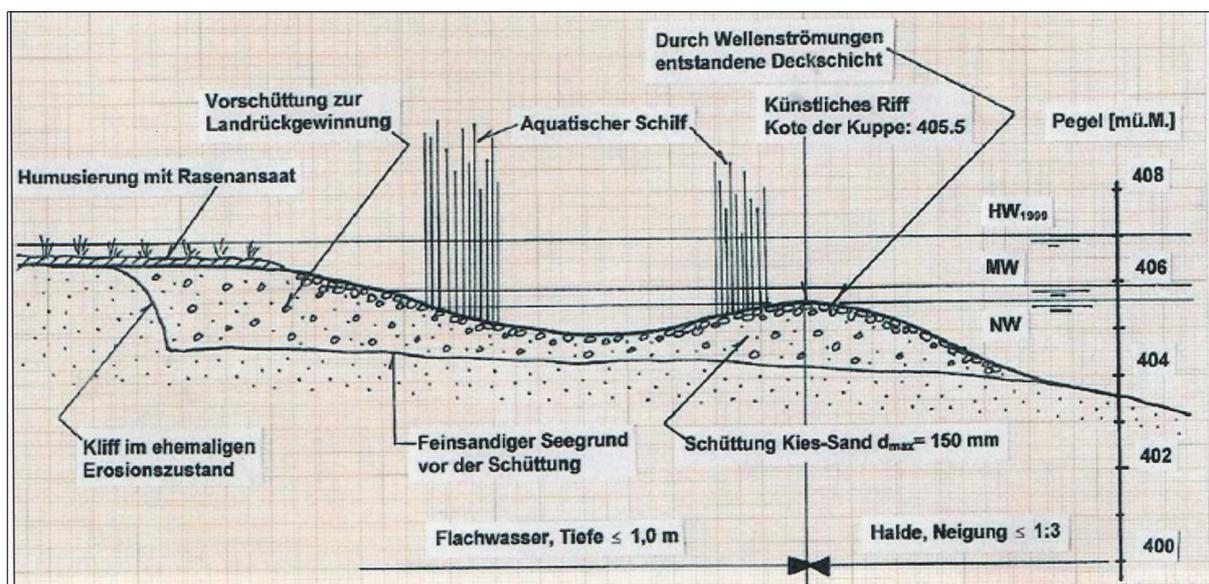


Abbildung 5: Darstellung der Maßnahme im Bätzimatt (unbekannter Maßstab)

Beschreibung der Maßnahme:

Zur Festigung der Wiederanschüttung des westlichen Ufers der vorderen Insel im Bätzimatt wurde eine gröbere Sand-Kies-Mischung gewählt um den feinen Untergrund vor Abtrag durch Wellen zu schützen. Der Kies mit Korngrößen bis 15 cm wurde aus einem nahen Kieswerk (Gäsi) an der Mündung des Escherkanals in den Walensee

entnommen. Vor den Baumaßnahmen wurden auf der Insel Gehölze zurück geschnitten oder entfernt, um genug Belichtung für Schilfwachstum zu schaffen. Die Schüttungen wurden flach geplant um Schilf im Uferbereich anwachsen lassen zu können. Außerdem wurde zusätzlich vor dem Ufer ein Riff aus demselben Kies geschüttet, um Wellen vor erreichen des Ufers zu brechen. Das Kiesgemisch wurde auf die Ostseite der Insel gebracht und von dort aus mit Baggern zur Westseite hin transportiert und geschüttet. Auf einer Fläche von 110 Metern Länge und 10 Metern Breite wurde insgesamt 5000 Kubikmeter Sand-Kies-Gemisch geschüttet. Wobei ein Großteil der Schüttungen für das Riff verwendet wurde. Der Teil der Schüttung für die Landrückgewinnung wurde mit einer 10 cm dicken Humusschicht überdeckt. Der Rand der Inselwestseite wurde mit Pfählen aus Tanne eingefasst und die Zwischenräume mit Kies und Geotextilfilter verlegt. Das Ostufer wurde zusätzlich mit Flechtwerk gefestigt. Die südliche Inselfseite wurde mit Sandsteinblöcken auf Kies befestigt.

Entwicklung:

Beobachtungen von Ende 2004, 2005, 2006 und 2008

positive Beobachtungen:

Die Westseite wurde durch die Aufschüttung und das gestaltete Riff stabilisiert. Schilf, sowie gras- und krautartige Vegetationen waren bereits gut auf dem Gemisch gewachsen. Nach einigen Ausbesserungen war der Fortbestand der Insel schließlich gesichert.

negative Beobachtungen:

Wellenströmungen hatten die Feinanteile der Kiesmischung ausgewaschen. Eine Pflasterung aus Rundkies musste die Schüttung danach vor weiterer Erosion schützen. Das Riff war 2008 um ca. 5-10 cm niedriger geworden. Auf der Südseite wurde das Sand-Kies-Gemisch bei Sturm durch aufprallende Wellen hinter den Sandsteinblöcken weggespült. Gröberer Kies musste als Ersatz geschüttet werden. Durch Sturmwellen bildeten sich auf der Westseite der Insel abfallende Erosionssäume. Unmittelbar an diesen Säumen wurde der obere Böschungsteil samt neu entwickelter Vegetation ebenfalls abgetragen. Zur Ausbesserung wurde grobes Geröll auf das Sand-Kies-Gemisch gelegt, welches zukünftig von der wachsenden Vegetation überdeckt werden

sollte.

Fazit:

Da es keine offiziellen Pflegemaßnahmen gab und die Insel nach Abschluss der Schüttungen und ergänzenden Bauweisen zurück in die Hand der Pächter gegeben wurde, waren die Beobachtungen der Entwicklung nach Bauschluss sehr wichtig für den weiteren Verlauf. Ohne zahlreiche Ausbesserungen wären die verschiedenen Uferteile weiter erodiert. Die Planer hatten die Kraft der Wellen scheinbar unterschätzt. Eine Schüttung mit gröberem Kies hätte voraussichtlich einige Ausbesserungsmaßnahmen im Nachhinein verhindert. Die Anlage von Lahnungen anstatt der Riffschüttung wäre angesichts des stark abfallenden Ufers aber nicht sinnvoll gewesen. Auch der gröbere Kies wäre mit der Zeit durch Vegetation überwachsen worden und durch die Durchwurzelung verstärkt vor Wellenerosion geschützt worden. Dank der Ausbesserungen wird die Insel zukünftig wohl auch so der Erosion trotzen.

3. Beispiel (vgl. Rossi 2012, S.8-11)

Standort:

Schweiz, Steinhausen, Zugersee

Gegenstand:

Zugersee mit durch den Föhn entstehenden starken Wellen und steilen, mit Findlingen gesicherten Ufern

Ausführender/Planer:

Projekt- und Bauausführung: Dominik Rossi vom Tiefbauamt Kanton Zug

Ausführungszeitpunkt:

Winter 2010

Skizze der Maßnahme:

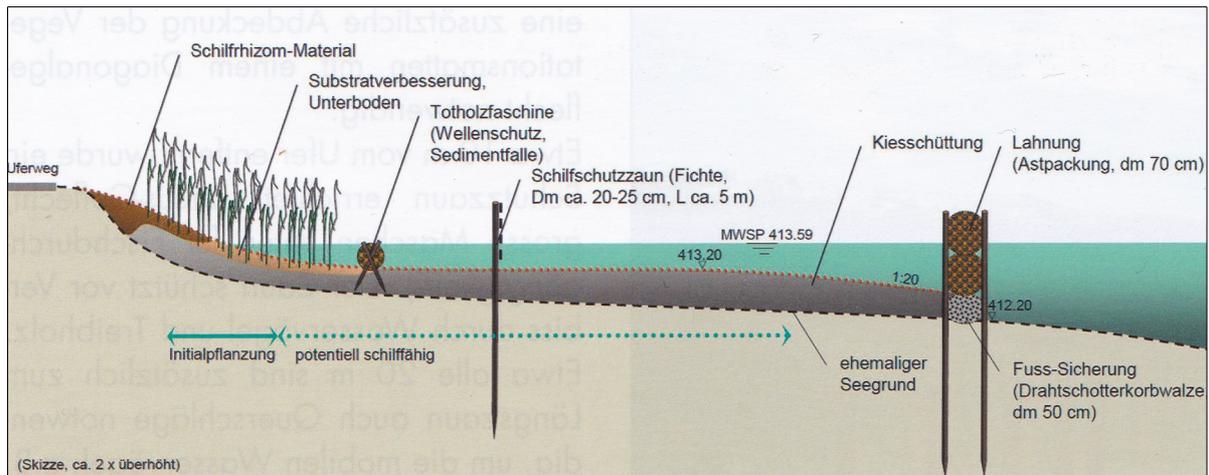


Abbildung 6: zweifach überhöhte Skizze zur Schüttung im Zugersee (unbekannter Maßstab)

Beschreibung der Maßnahme:

Die Findlinge am steilen Ufer wurden entfernt um Platz für eine Schilfvegetation zu schaffen. Zum Schutz der Kiesschüttung wurde an deren Fuß eine Lahnung mit Drahtschotterkorbwalze im Fuß aufgestellt. Die Kiesschüttung hatte dabei eine maximale Neigung von 1:20 und lag im Sommer durchschnittlich 40 cm unter der Wasseroberfläche. Vegetationswalzen mit regionalem Pflanzgut wurden auf eine ca. 20 cm dicke Schicht aus sandig-lehmigem Aushub befestigt. Zehn Meter vom Ufer entfernt wurde ein großmaschiger Schutzzaun eingebracht, der die Vegetation im Flachwasser vor Treibholz und Wasservögel schützen sollte, aber gleichzeitig für Fische passierbar war. Direkt an Land wurde Schilfrhizommateriale aus der Nähe verwendet und wegen des warmen Föhnwindes zusätzlich mit Vegetationsmatten abgedeckt.

Entwicklung:

Beobachtungen anderthalb Jahre nach Fertigstellung der Maßnahme

positive Beobachtungen:

Schilf im Wasser hielt sich stabil. Das Schilfrhizommateriale hatte sich anderthalb Jahre nach dem Einbringen zu hochstaudenflurartigen Vegetationen entwickelt. Die Fußsicherung der Schüttung wurde von Jungfischen angenommen.

negative Beobachtungen:

Nach einem Föhnsturm musste die erste Schilfbegrünung 2011 wiederholt in Stand gesetzt werden. Das Schilf hatte sich trotz mehreren Schutzmaßnahmen nicht weiter Richtung See ausgebreitet.

Fazit:

Das Ziel der Maßnahme, die Schilfvegetation im Zugersee zu stabilisieren, wurde erreicht. Besonders das landseitige Schilf hatte sich nach über einem Jahr gut entwickelt. Das seeseitige Schilf stabilisierte sich zwar, dafür breitete es sich aber auch nicht weiter aus. Besonders Richtung See war keine Besserung aufgetreten. Dafür wurden durch die Kiesschüttung, Lahnung und Flechtzäune neue Strukturen geschaffen, die den Wellengang Richtung Ufer abmindern, aber auch für die Fauna des Sees attraktiv wirken. Eine Fußsicherung für die Kiesschüttung anzulegen war gut durchdacht, gerade an den Ufern des Zugersees mit relativ starken Wellen ist ein Halt für die Schüttung wegen möglicher Erosion wichtig gewesen. Die Schüttung selbst ist natürlich nicht allein für den Schilfbestand des Sees verantwortlich. Für Rückgänge der Schilfbestände gibt es viele verschiedene Ursachen. Sicherlich hat das Uferschilf aber von der Minderung der Wellenenergie stark profitiert.

Gesamtfazit Stein- und Kiesschüttung

Die Dimensionierung von Steinschüttungen kann aufgrund des Verwendungszweckes variieren, doch grundsätzlich dienen diese Schüttungen der Sicherung des Ufer-, Hang- oder Böschungsfußes. (vgl. Zeh 2007, S.131) Dabei ist darauf zu achten, dass die verwendeten Steine nicht zu schwer für den Untergrund sind auf dem sie verwendet werden. Geachtet werden muss auf Filterstabilität und eine ausreichende Auftragsdicke. Auch die Übergänge zu angrenzenden Böschungsbereichen und eine feste Einbindung in die Gewässersohle sind dabei zu beachten. Beispiel 1 zeigte bereits, dass auch aufgrund der feinen Sedimente und der Seitenerosion die gewählten Steine zu schwer für den sandigen Uferfuß waren. Auch die Kombination mit dem Kunststoffnetz hat das Versagen der Steinschüttung an der Ems nicht verhindern können. Deshalb ist es empfehlenswert für Schüttungen Gesteinsmaterial zu verwenden, welches auch in der Nähe zum Standort natürlich vorkommt, wie es in Beispiel 2 gemacht wurde.

Ähnlich wie bei verwendetem Pflanzenmaterial, sind die um den Standort natürlich vorkommenden Gesteine und Kiese besser an die umliegenden Bedingungen angepasst - an die angreifenden Kräfte durch Wellen oder Fließgeschwindigkeiten. Die Herstellung der Filterstabilität ist damit ebenfalls leichter. Daher sind Bauweisen mit ihnen vielversprechender. Natürlich dürfen die gewählten Kiese auch nicht zu fein für die Strömungen oder Wellen am Einsatzort sein, sodass sie fortgespült werden könnten. Eine Begrenzung der Schüttung in Richtung Gewässer durch Faschinen oder Schutzzäune ist in allen Fällen bei der Schüttung und Ausformung feinerer Kiese und Steine von Vorteil, wie Beispiel 3 schon zeigte, da die Erosion dort am ehesten durch Wellen oder Strömungen ausgelöst werden kann. Wenn grobe Gesteinskörnungen aus hydraulischer Sicht Verwendung finden müssen, ist die Vegetationsauswahl und deren Etablierungsweise daran auszurichten.

7. 2. 3. Faschinen (2 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Brügger 2002, S.15-16)

Standort:

Schweiz, Kanton Bern, Gemeinde Laupen

Fluss:

Sense, im untersten Abschnitt stark kanalisiert und Ufer hart verbaut

Ausführender/Planer:

Markus Brügger, Gemeinde Laupen

Ausführungszeitpunkt:

1998

Skizze der Maßnahme:

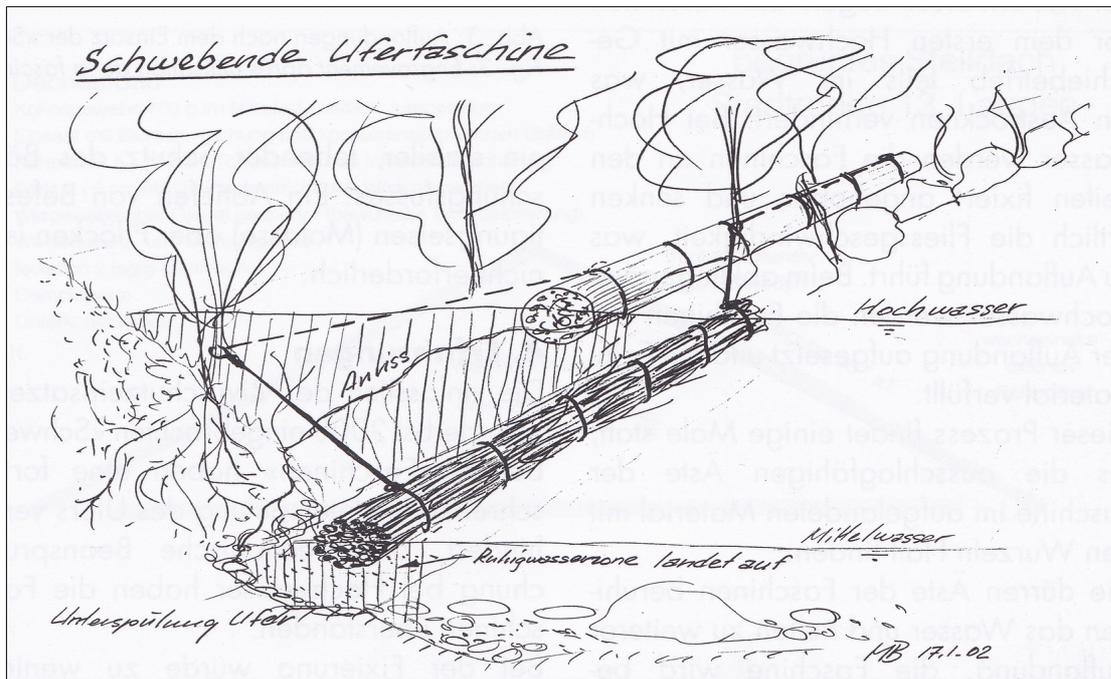


Abbildung 7: grobe Skizze der schwebenden Faschine (unbekannter Maßstab)

Beschreibung der Maßnahme:

Zur Sicherung des Ufers wurden um die Sense herum Weiden und andere Gehölze auf den Stock gesetzt. Das daraus gewonnene Astmaterial bot eine kostengünstige Füllung für mehrere Faschinen von fünf bis sieben Metern Länge. Die Faschinen wurden nach dem Bau nicht wie üblich direkt an der Einbaustelle fixiert, sondern an Büschen über der Anrissstelle mit bis zu drei Seilen aus Kunststoff befestigt, um ihre Bewegungsfreiheit zu gewährleisten. So konnten die Faschinen bei ansteigendem oder sinkendem Wasserspiegel ebenfalls ihre Lage verändern.

Entwicklung:

Beobachtungen bis 2001

positive Beobachtungen:

Die mit Faschinen gesicherten Uferbereiche wiesen keine Unterspülung auf, selbst Hochwasser hatten sie schadlos überstanden. Ein großer Pluspunkt für die Maßnahme war die einfache und schnelle Herstellung der Faschinen, die trotzdem einen immensen Schutz bieten.

negative Beobachtungen:

Bei der Fixierung der Faschinen wurde nicht darauf geachtet, dass sie nach einem Hochwasserereignis wieder in ihre Ausgangsposition zurück kommen ohne sich zu verkeilen. Eine Faschine lag nach Hochwasser trocken, fiel deswegen aus und musste ersetzt werden.

Fazit:

Obwohl die schwebende Faschine mehr oder weniger ein erster Versuch des Planers war, war ihre Wirkung überraschend groß. Die Herstellung kann, wie bei den meisten Faschinen, vor Ort erfolgen, sie ist mit geringen Kosten und Zeitaufwand verbunden. Voraussetzung sind aber natürlich vorhandene Möglichkeiten zur Befestigung am Ufer um eine schwebende Faschine einzusetzen. Man muss sich vor Augen halten, dass die schwebende Verankerung ein höheres Risiko für die Faschine, aber auch für die Verankerungsgehölze birgt, die in Mitleidenschaft gezogen werden können. Statt der verwendeten Kunststoffseile sollten verrottende Hanfseile benutzt werden. Diese können dann in regelmäßigen Abständen überprüft und ggf. ausgetauscht werden. Wo ausreichend starke Gehölze in Ufernähe fehlen, muss auf traditionelle Faschinen oder andere Bauweisen zurück gegriffen werden.

2. Beispiel (vgl. Jakober 2014, S.16-23)

Standort:

Schweiz, Kanton Zug, Gemeinde Oberägeri

Gegenstand:

Böschungen und Ufermauern Würzlibach im Bereich der Liegenschaft Brandeuli, welche vom Bach unterspült wurden

Ausführender/Planer:

Bauherrschaft: Gemeinde Oberägeri und Amt für Wald und Wild Kanton Zug;

Projektingenieur: belop GmbH Sarnen

Ausführungszeitpunkt:

2012

Beschreibung der Maßnahme:

Die Maßnahmen zum Sicherungsprojekt am Würzlibach sind bereits unter Punkt 7. 1. 5. - Steckhölzer, Beispiel 3 ausführlich beschrieben worden. Unter diesem Punkt wird nun näher auf die verwendeten Weidenfaschinen eingegangen.

Entwicklung:

Beobachtungen von 2014

positive Beobachtungen:

Die Weidenfaschinen stabilisierten die Überdeckung des Hangrostes und sorgten zusätzlich für eine Ableitung des Oberflächenwassers von der Böschung. Durch die Verwachsung der ausschlagfähigen Weidenzweige aus der Faschine in den Untergrund der Böschung, wurde zusätzliche Stabilität in der Oberfläche des Hanges erzeugt. Die Böschung war vollständig verwachsen und somit sicher vor oberflächlicher Erosion.

negative Beobachtungen:

Die starke Beschattung des Hanges könnte einen limitierenden Einfluss auf das Wachstum der Weiden und anderen Vegetation und somit auch auf die Entwicklung der Maßnahme haben.

Fazit:

Im Gegensatz zu teuren und aufwändigen herkömmlich Bauweisen, die vermutlich dazu geführt hätten, das Ufer des Würzlibaches komplett zu verbauen, war die Bepflanzung der Böschung wesentlich einfacher zu verwirklichen und bot zusätzlich auch durch die zügige Begrünung nach der Bepflanzung und Saat einen erheblichen Schutz gegen weitere Erosion. Problem bei den ingenieurb biologischen Maßnahmen war hier das Oberflächenwasser, welches keine Festigung der Bodendeckschicht zu ließ. Der Einsatz einer Faschine bot gleichzeitig Erosionsschutz und zusätzliche Hangentwässerung. Durch die feuchte Umgebung konnten die Weidenzweige aus den Faschinen gut anwachsen und dank ihrer feinen Wurzeln in den oberen und tieferen

Schichten die Böschungstabilität sicherstellen.

Gesamtfazit Faschinen

Faschinen weisen ein großes Einsatzgebiet auf. Sie können zur Sicherung des Böschungs- oder Uferfußes verwendet werden, zur Hangentwässerung und selbst in Lahnungen finden sie Anwendung. (vgl. Zeh 2007, S.237) Beide verwendeten Beispiele zeigen, wie vielseitig Faschinen sein können.

Da der Bau von Faschinen meist am Einbauort erfolgt und die Herstellung mit einfachen Mitteln zu bewerkstelligen ist, sind sie ein beliebtes Instrument ingenieurbioologischer Sicherungsbauweisen. So bestehen sowohl die neu erdachten schwebenden Faschinen als auch die Faschinen zur Aufnahme und Ableitung des Oberflächenwassers aus den selben Elementen, können aber doch komplett verschiedene Aufgaben erledigen.

Um den gewollten flexiblen Schutz vor Ausspülung oder Unterkolkung zu bieten, müssen die schwebenden Faschinen im ersten Beispiel am Einsatzort ausreichend befestigt werden und dennoch genug Spielraum besitzen um auf einen schwankenden Wasserspiegel reagieren zu können. Dabei ist es ebenso wichtig darauf zu achten, dass sich die Faschinen nicht verkeilen können. Wohin gegen die Faschinen am Hang des Würzlibaches einfach nur fest gesichert am Hang bleiben mussten um ihre Funktion zu erfüllen.

Faschinen werden vor allem im Wasserbau verwendet, daher haben diese Maßnahmen keine Probleme mit feuchten oder nassen Standorten. Trockenheit kann aber ein Grund für den Ausfall einer Faschine sein. In Beispiel 1 wurde durch die Missplatzierung nach Hochwasser eine Faschine durch Vertrocknung verloren. An komplett trockenen Böschungen macht der Einsatz von Faschinen also keinen Sinn. Diese Tatsache limitiert den Faschineneinsatz eindeutig auf zumindest feuchte Standorte.

7. 2. 4. Buhnen (5 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Zeh 1996, S.24-25)

Standort:

Schweiz, Bern, Gemeinde Hindelbank

Gegenstand:

Dorfbach, Meliorationsgraben

Ausführender/Planer:

Projektion: Landschaftsplanerin Helgard Zeh, Ausführung: Zivilschutz Hindelbank und Klassen B5 a+b der Ingenieurschule Burgdorf

Ausführungszeitpunkt:

28. August – 1. September 1995

Beschreibung der Maßnahme:

Die Betonsohle des Dorfbaches wurde entfernt. Es wurde durch Abtrag und Auftrag von Erde ein geschwungener Lauf errichtet. Um den Stromstrich umzulenken wurden drei Flechtwerksbuhnen aus ausschlagsfähigen Weidenzweigen an den Übergängen zu den Prallufern gebaut. Eine Holzkrainerwand wurde in die Böschung eingebaut, mehr dazu unter Punkt 7. 2. 5 Beispiel 1. Die Sohle des Baches wurde nicht befestigt und behielt somit ihre Ausgangsform. Böschungen mit einer Stellung von 1:1 wurden mit verschiedenen Gehölzen, Sträucher und Bäume, bepflanzt um einer zu starken Eigendynamik des Gewässers so nah an den Privatgrundstücken vorzubeugen. Zur Vorbeugung vor Böschungserosion im Winter wurde Raps gesät. Die bloßgelegten Flächen wurden der natürlichen Sukzession überlassen.

Entwicklung:

Beurteilung etwa ein halbes Jahr nach Fertigstellung der Maßnahmen

positive Beobachtungen:

Durch die Flechtwerksbuhnen hat der Bach begonnen eine pendelnde Bewegung auszuführen, die unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten aufweist. Es hatte sich eine asymmetrische Sohle entwickelt, die im Pralluferbereich grobkörnig ist. An anderen Stellen, auch an den Buhnen wurden Sedimente aufgelandet. Die Aufwüchse der Flechtwerksbuhnen wirkten bremsend auf die Strömung. In den Buchten zwischen den Buhnen hatten sich seltene Pflanzen, wie Bachehrenpreis (*Veronica beccabunga*), angesiedelt.

negative Beobachtungen:

„Da die Straße links keine Entwässerung hat, fließt das Regenwasser schwallartig über die unbegrünt Böschungen, worauf örtlich bis zu 20cm tiefe Rillen entstanden. [...] Nach einem Unwetter war der Bach eine Kloake mit Toilettenpapier, welches am Bewuchs hängenblieb.“ (Zeh 1996, S.24) Scheinbar wurden in den Bach immer noch alte Abflüsse eingeleitet.

Fazit:

Die Flechtwerksbuhnen hatte nur positive Effekte zu verzeichnen. Durch die Auflandungen und in den Buchten hatten sich verschiedene Lebensräume entwickelt, die auch seltenen und anspruchsvollen Pflanzen Habitate anbieten konnten. Die auf den Strom wirkende Bremsfunktion des Aufwuchses scheint sich bei Unwettern positiv schützend auf die Ufer, auszuwirken, indem weniger Kraft durch das Wasser an den Böschungen der Ufer drückt. Durch die entstehenden Verwirbelungen im Wasser wird die Sohle neu strukturiert. Statt der alten Betonsohle entwickelt sich mit der umgelenkten Fließkraft und Verwirbelungen hinter den Buhnen eine differenzierte Sohle, die eine zukünftige naturnahe Entwicklung zulässt.

2. Beispiel (vgl. Weissmann-Zeh 2000, S.34-37)

Standort:

Schweiz, Kanton Bern, Gemeinde Ittigen

Gegenstand:

Worble, offener und gleichmäßig 3-4m breiter Bach, teilweise Kanal

Ausführender/Planer:

Bauherrschaft und Finanzierung Gemeinde Ittigen , Projektierung und Bauleitung: Luder und Perranchon; Landschaftsplanerin Helgard Zeh, Ausführung: Meier und Jäggi; Kocherhans

Ausführungszeitpunkt:

1994-1996

Beschreibung der Maßnahme:

Die Worble hatte ein zu kleines Bachbett für die gelegentlich anfallenden Hochwassermengen. Das Wasserbett sollte aus diesem Grund verbreitert werden. Da der Bach an den Baustellen durch einen Siedlungsbereich fließt, waren die Planer durch begrenzten Platz für die Bauweisen eingeschränkt. Eine Bahntrasse grenzt nördlich mit Spundwand an den Bach. Am südlichen Ufer musste Platz für einen Unterhaltungsweg geschaffen werden. Um die Bachströmung leicht pendeln zu lassen waren Flechtwerksbuhnen aus Weidenzweigen und Gitterbuschbauten im Niedrigwasserbereich gesetzt worden. Die Böschungen wurden zum Großteil mit ingenieurbioologischen Bauweisen geschützt, an einer Stelle aber auch mit massivem Blockwurf verbaut. Erklärungen zur Entwicklung der Holzkrainerwände in dieser Maßnahme finden sich in Punkt 7. 2. 5. Beispiel 2. Da der einmündende Mühlenkanal nicht verändert werden durfte, wurde im westlichen Bereich das Bachbett neu geformt., dabei entstanden neue Böschungen mit unterschiedlichen Neigungswinkeln. Auch hier wurden Flechtwerksbuhnen eingesetzt um ein Pendeln im Stromstrich auszulösen. „Am „Ittigen Beach“ - einem flacheren Uferbereich, der mit Bänken und offenen Grünflächen zum Verweilen einlädt – wurde das Prallufer mit Dreiecksflügelbuhnen aus Weiden gesichert. Zwischen den Buhnen ermöglichen flache Trittsteine den Zugang zum Gewässer.“ (Weissmann-Zeh 2000, S.35) Während der Bauausführung hatte auftretendes Hochwasser die Arbeiten behindert.

Entwicklung:

Beobachtungen drei Jahre nach der Fertigstellung

positive Beobachtungen:

Durch die, an mehreren Stellen eingesetzten Flechtwerksbuhnen innerhalb des Bauabschnitts, konnte die Worble nach Bauende unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten aufweisen, wodurch auch das Sohlensubstrat ständig zwischen kiesig und sandig wechselte. Die Uferbereiche waren teilweise stark eingewachsen. Innerhalb der drei Jahre nach der Fertigstellung ist es zu keinen größeren Erosionen der Hänge gekommen.

negative Beobachtungen:

Ein Pflegeplan samt Unterhaltsmaßnahmen ist erst einige Zeit nach Fertigstellung der Maßnahmen erstellt worden, wodurch an manchen Stellen im Bach ein zu starkes Einwachsen der Ufer entstand. Das Weidenmaterial war allgemein sehr stark gewachsen und musste ständig zurück geschnitten werden.

Fazit:

Das sämtliche Buhnen unter anderem aus Weidenmaterial gebaut wurden, hatte eine negative Entwicklung zur Folge. Das enorme Wachstum der Weiden machte mehrere Rückschnitte notwendig. Teilweise erschwerte das volle Wachstum der Weiden den Zugang an das Fließgewässer. Davon abgesehen haben die Flechtwerks- und Dreiecksflügelbuhnen ihren erdachten Zweck bei dieser Baumaßnahme aber vollkommen erfüllt. Die Sohle der Worble wurde differenziert. Der Wechsel der Sedimente in der Sohle macht den Gewässerraum attraktiv für verschiedene Fauna und Flora. Der Zustand der Worble im Raum Ittigen war nach der Maßnahme wesentlich naturnaher als vorher.

3. Beispiel (vgl. Brügger 2002, S.13-14)

Standort:

Schweiz, Kanton Bern, Gemeinde Laupen

Fluss:

Sense, im untersten Abschnitt stark kanalisiert und Ufer hart verbaut

Ausführender/Planer:

Markus Brügger, Gemeinde Laupen

Ausführungszeitpunkt:

1998

Beschreibung der Maßnahme:

Zur Sicherung der Dammstandfestigkeit und um unterschiedliche Fließstrukturen im Uferbereich der Sense zu schaffen, wurden jeweils zwei Dreiecksbuhnen mit Quarzsandsteinblöcken gesichert und mit Packwerk aus Totholz und Kies verfüllt. Die Buhnen waren zum Ufer hin ansteigend und inklinat ausgerichtet worden. Sie hatten einen abgerundeten Kopf. Die Quarzsandsteinblöcke waren mit Eisenbahnschienen und Drahtseilen zusammengebunden befestigt worden und so gegen Abdrift gesichert. Zwischen zwei weiteren Buhnen wurde ein wilder Blocksatz gelegt. Vor Ort wurden weitere Dammsicherungsmaßnahmen, wie der Einbau von Längsfaschinen oder die Befestigung eines Kokosgewebes, durchgeführt.

Entwicklung:

Beobachtungen bis 2001

positive Beobachtungen:

Es wurde eine positive Wirkung in Bezug auf die Sohlenstrukturierung und Auflandung durch die Buhnen erzielt. Sie sind nicht abgedriftet und auch das Packwerk blieb stabil. Der Dammfuß wurde durch die Buhnen gesichert.

negative Beobachtungen:

Die Steinblöcke einer Buhne wurden unterspült und senkten sich daher ab. Das Packwerk wurde anschließend vom Fluss ausgewaschen und abgeschwemmt.

Fazit:

Die Sense weist bei Hochwasser eine hohe Schleppkraft auf, daher ist die Anwendung von Buhnen aus kombinierten Bauweisen mit Stein, Holz und Kies nicht bedingungslos für den Fluss geeignet. Hier hätten auf den Buhnen Weiden gepflanzt werden können, die das Bauwerk stabilisiert hätten. Der Einsatz schwerer Quarzsandsteinblöcke ist beim Bau vermutlich zeit- und kostenintensiver als die Herstellung von beispielsweise Weidenfaschinenbuhnen direkt vor Ort, dafür entfällt bei Steinbuhnen eine aufwändige Pflege.

4. Beispiel (vgl. Florineth 2002, S. 4-11)

Standort:

Niederösterreich, Mödling

Gegenstand:

Mödlingbach, ausgebauter Stadtbach

Ausführender/Planer:

Prof. Dr. Florian Florineth Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Ausführungszeitpunkt:

Frühjahr 2001

Skizze der Maßnahme:

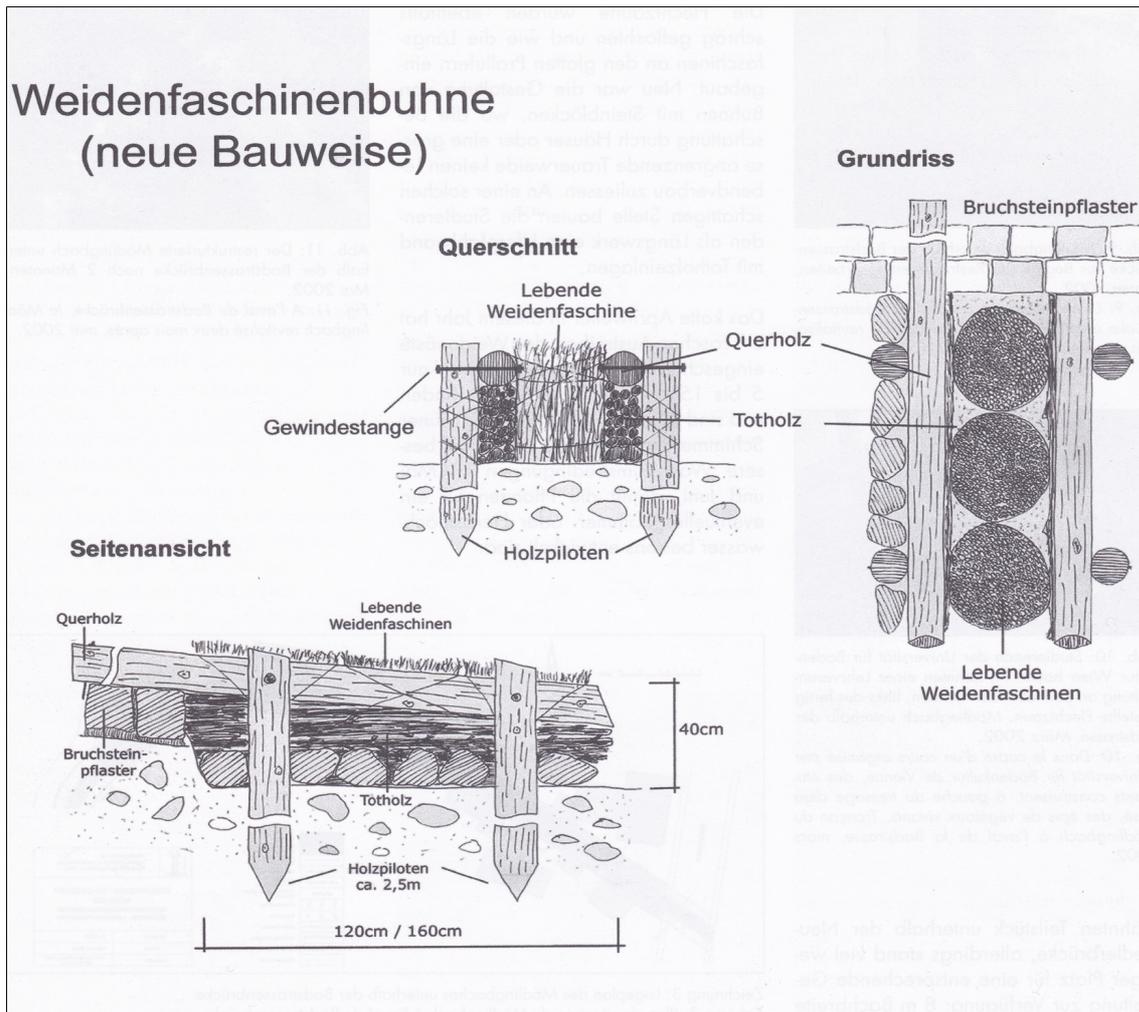


Abbildung 8: Aufbau der Weidenfaschinenbuhne (unbekannter Maßstab)

Beschreibung der Maßnahme:

Zur Restrukturierung des Mödlingbaches wurde die Bachsohle um einen Meter verbreitert. Teile der verbauten Uferbereiche wurden zur Renaturierung umstrukturiert, Betonwände wurden entfernt, es wurden neue Uferböschungen geschaffen, die anschließend ingenieurbologisch gesichert wurden. Anschließend wurden Faschinenbuhnen am Gleitufer in inklinater Richtung angebaut, dabei baute man die Faschinen aber senkrecht ein um auch bei Niedrigwasser genug Feuchtigkeit zur Verfügung zu haben. An den Prallufem wurden Flechtzäune und Längsfaschinen eingebaut. Da der Bach durch die Stadt fließt, gab es einige Stellen, die durch ihre Beschattung keinen Lebendverbau ermöglichten. An diesen Stellen wurden

Uferpfahlwände mit Totholzeinlagen angebracht.

Entwicklung:

Beobachtungen vom März 2002

positive Beobachtungen:

Nach einem Hochwasserereignis im März 2002, wobei die Faschinenbuhnen komplett überspült worden waren, sind keine signifikanten Schäden an den Buhnen beobachtet worden. Lediglich das Feinmaterial war vom Wasser heraus gespült. Die Buhnen schufen Rückzugsmöglichkeiten für Wassertiere, besonders bei Hochwasser.

negative Beobachtungen:

Geschiebe- oder Geschwemmselablagerungen wurden zwar an den komplett überspülten Faschinen nicht erfasst, dafür aber erhebliche Mengen an Holzteilen und anderem Geschwemmsel an den teilüberströmten Faschinenbuhnen beobachtet. Das lag vermutlich dran, dass die Weidenfaschinen gut ausgetrieben waren und so leichter als Halt für das Geschwemmsel dienten. Das Holz musste dringend nach dem Hochwasser entfernt werden um größere Schäden an den Bauwerken bei weiteren Hochwassern zu verhindern.

Fazit:

Dadurch dass die Faschinen senkrecht in die Buhnen eingebaut wurden, sind die Bauwerke „rauer“, daher bleibt bei Hochwassern, wie auch schon beobachtet wurde, leichter Material an den Buhnen hängen. Um dadurch entstehende Schäden zu verhindern, muss das Material nach solch einem Ereignis jedes Mal entfernt werden, was die Unterhaltungskosten erhöht. Die Weiden in den Faschinen treiben schnell aus und sorgen für weitere Festigung der Buhnen. Da die Buhnen bereits kurz nach ihrer Fertigstellung ein größeres Hochwasser überstanden hatten ohne beschädigt worden zu sein, werden die Hochwasser in Zukunft wohl ebenfalls keine große Gefahr für sie darstellen. Die Strukturierung der Sohle, welche durch die Buhnen zusätzlich in Gang gebracht wird (durch Pendelbewegungen des Stromstrichs), ist ein weiterer positiver ökologischer Nebeneffekt, der die erzielte Renaturierung des Mödlingbaches unterstützt.

5. Beispiel (vgl. Huber 2009, S.5-10)

Standort:

Schweiz, Kanton Luzern, Gemeinde Triengen

Fluss:

Suhre, weitgehend begradigter und verbauter Fluss

Ausführender/Planer:

Bauunternehmung: Wüest & Cie AG, Nebikon; Projekt und Bauleitung: Tagmar & Partner AG, Dagmersellen; Bauherrschaft: Gemeinde Triengen, Kanton Luzern

Ausführungszeitpunkt:

2007

Skizze der Maßnahme:

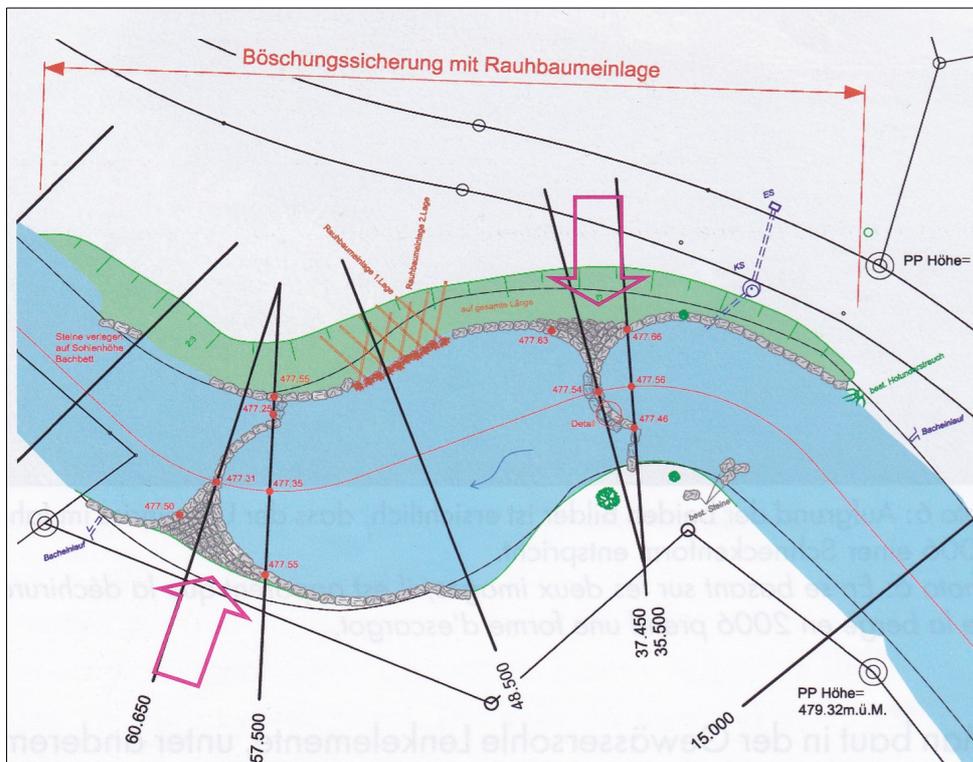


Abbildung 9: Schneckenbuhnen von Oben (unbekannter Maßstab)

Beschreibung der Maßnahme:

Nach zwei Hochwassern von 2006 und 2007 und der damit verbundenen Schädigung eines Prallufers samt Zerstörung der Steinverbauung, wurden zwei Schneckenbuhnen in die Gewässersohle eingebaut um die Strömung der Suhre vom Prallufer weg zu lenken. Die Buhnen wurden so eingesetzt, dass sie auch bei Niedrigwasser ständig überströmt waren. Beide Schneckenbuhnen hatten eine Neigung zur Kurveninnenseite, die Flächen zwischen den Bögen wurden bündig mit großen Steinen gepflastert um Auskolkungen zu verhindern.

Entwicklung:

Beobachtungen von 2008

positive Beobachtungen:

Das Bauvorhaben war günstiger als eine herkömmliche Bauweise. Schon kurz nach der Fertigstellung wurde durch entstehende Gegenströmungen die Fließrichtung des Flusses durch die Schneckenbuhnen vom Prallufer weg und in die Flussmitte gelenkt. Selbst bei zunehmenden Wassermengen beobachtete man, dass sich die Wasserenergie zur Flussmitte hin verlagert. Daraus konnte gefolgert werden, dass selbst Hochwasser den Prallufern keine Schäden zufügen würde.

negative Beobachtungen:

Kurz nach der Fertigstellung der Schneckenbuhnen wurden keine negativen Beobachtungen gemacht.

Fazit:

Die Schneckenbuhnen scheinen so gut zu funktionieren, dass selbst Ufersicherungen nicht nötig erscheinen. Einzige Schwachpunkte der Buhnen sind dabei die Zwischenräume, die mit Steinen ausgelegt wurden. Sollten doch Auskolkungen zwischen den Steinen entstehen, durch zu hohe Fließgeschwindigkeiten oder mangelhaften Verbau, könnten die Buhnen stark geschädigt oder sogar zerstört werden. Die Lenkung der Fließenergie zur Flussmitte hin und damit von den Prallufern weg ist aber ein hervorragender Schutz vor Erosion. Dass die Buhnen auch bei

Hochwasser funktionieren, war zum Zeitpunkt des Berichtes noch rein theoretisch und konnte bis dato nicht durch ein Hochwasserereignis geprüft werden.

Gesamtfazit Buhnen

Buhnen werden in verschiedensten Ausführungen, wie Flechtwerks- Packwerks- Dreiecks- Faschinen- Schneckenbuhnen, in der Ingenieurbiologie benutzt um die Ufer zu schützen und gleichzeitig die Struktur der Gewässersohle zu bereichern.

Die in Beispiele 1 und 2 verwendeten Flecht- und Packwerksbuhnen bestehen dabei aus ausschlagfähigem Material – wieder ist Weide in Verwendung – welches im Lauf der Zeit dazu fähig sein wird durch Einwachsen in den Untergrund die Funktion der Buhnen zu übernehmen. Aber auch hier muss wieder darauf geachtet werden, dass die Weiden nicht zu stark wachsen, gerade bei kleinen Gewässern kann dadurch die Strömung gestaut werden. Diese Arten von Buhnen eignen sich vor allem für kleinere ruhige Fließgewässer.

Durch die Einbringung dreiecksförmiger Buhnen in der Sense wurde der Stromstrich zu einem leichten Pendeln gebracht, welches wiederum an einigen Stellen in der Sohle für Auswaschungen sorgte, die sich an anderen Stellen wieder ansammelten. So entstand eine neue Dynamik im Fluss die für Flora und Fauna attraktiv war. Bei Faschinenbuhnen ist anfangs das Problem des Ausspülens durch die Strömung des Flusses prekär. Daher sollten Faschinenbuhnen nur in kleineren Fließgewässern eingesetzt werden. Die Faschinen können dabei auch quer gelegt werden, wie das vierte Beispiel zeigt, um den Uferfuß zusätzlich vor Auskolkungen zu schützen.

Die Dreiecksbuhnen aus Beispiel 3 wiederum bestanden an der Außenseite aus massiven Quarzsandsteinblöcken. Auch wenn diese gesetzt wurden um anliegende Dämme vor Auskolkung zu schützen, zeigte dieses Beispiel doch wieder, dass der Einsatz von lebendem Material, das verwachsen kann (wie Weidenzweige) langfristig wirkungsvoller sein kann als das Setzen von Steinblöcken, die hier aufgrund ihres Gewichtes in die Flusssohle einsanken. Es muss immer wieder auf die Beschaffenheit des Untergrundes geachtet werden.

Die Schneckenbuhnen aus Beispiel 5 können durch ihre spezielle Form den Stromstrich des Flusses von Richtung der Ufer in die Mitte lenken. Das macht Sicherungsbauweisen direkt am Ufer praktisch überflüssig und da sie auch bei Hochwasser ihre Funktion weiterhin erfüllen sollen, scheinen sie für den Einsatz als Sicherungsbauweisen perfekt. Lediglich der Steinsatz im Bühnenzentrum stellt, wenn dieser nicht dicht genug gesetzt wird, eine offene Angriffsfläche für Auskolkung und ist somit schwacher Punkt dieser Bauweise. Da die Buhnen unter der Wasseroberfläche gesetzt werden und in der Sohle von einem Ufer zum anderen durchgängig sind, können diese in Schifffahrtsgewässern nicht eingesetzt werden, da das Risiko zu groß ist, dass Buhnen oder Schiffe durch einen Zusammenstoß unter Wasser beschädigt werden. In solchen Fällen sind die Buhnen aus den vorherigen Beispielen eindeutig besser zum Uferschutz geeignet. Bei kleineren Gewässern sind die schneckenförmigen Buhnen aber bedenkenlos einzusetzen, gerade weil durch die verursachte Strömungsänderung die Strukturierung der Sohle bevorteilt wird.

7. 2. 5. Holzkrainerwände (4 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Zeh 1996, S.24-25)

Standort:

Schweiz, Bern, Gemeinde Hindelbank

Gegenstand:

Dorfbach, Meliorationsgraben

Ausführender/Planer:

Projektierung: Landschaftsplanerin Helgard Zeh, Ausführung: Zivilschutz Hindelbank und Klassen B5 a+b der Ingenieurschule Burgdorf

Ausführungszeitpunkt:

28. August – 1. September 1995

Beschreibung der Maßnahme:

Die Betonsohle des Dorfbaches wurde entfernt. Es wurde durch Abtrag und Auftrag von Erde ein geschwungener Lauf errichtet. Der Fuß der Prallufer wurde auf Seite der Straße mit Krainerwänden, auf der Wegseite mit Weidenwippen gesichert. Die Sohle des Baches wurde nicht befestigt und behielt somit ihre Ausgangsform. Böschungen mit einer Stellung von 1:1 wurden mit verschiedenen Gehölzen, Sträucher und Bäume, bepflanzt. Zur Vorbeugung vor Böschungserosion im Winter wurde Raps (*Brassica napus*) gesät. Die bloßgelegten Flächen wurden der natürlichen Sukzession überlassen. Es wurden zusätzliche Bühnen eingebracht, über die im Punkt 7. 2. 4. Beispiel 1 berichtet wird.

Entwicklung:

Beurteilung etwa ein halbes Jahr nach Fertigstellung der Maßnahmen

positive Beobachtungen:

Die errichtete Krainerwand hielt ein halbes Jahr nach Bauabschluss dem Wasserdruck am Böschungsfuß des Prallufers stand. Das Überlaufen vom Regenwasser der Straße hatte bislang keine negativen Auswirkungen auf das Bauwerk. Obwohl sich die Bachsohle an den Prallufern eintiefte, wurde die Krainerwand nicht unterspült.

negative Beobachtungen:

„Da die Straße links keine Entwässerung hat, fließt das Regenwasser schwallartig über die unbegrünt Böschungen, worauf örtlich bis zu 20cm tiefe Rillen entstanden. [...] Nach einem Unwetter war der Bach eine Kloake mit Toilettenpapier, welches am Bewuchs hängenblieb.“ (Zeh 1996, S.24)

Fazit:

Die durch Regenwasser entstehenden Rillen könnten unbeachtet gelassen für die Böschung samt Krainerwand zum Problem werden. Allerdings wurde bereits geplant, diese mit Totholzfashinen zu reparieren. Die Krainerwand wird in diesem kleinen Bach trotz Ausspülungen der Sohle an den Pralluferseiten voraussichtlich nicht unterspült werden. Da der Einzugsbereich des Baches nur ca. 5km² umfasst, ist damit zu rechnen, dass die Wassermassen im Bach selbst bei Höchstständen von den stabilen

Krainerwänden mühelos zu bewältigen sind.

2. Beispiel (vgl. Weissmann-Zeh 2000, S.34-37)

Standort:

Schweiz, Kanton Bern, Gemeinde Ittigen

Gegenstand:

Worble, offener und gleichmäßig 3-4m breiter Bach, teilweise Kanal

Ausführender/Planer:

Bauherrschaft und Finanzierung Gemeinde Ittigen , Projektierung und Bauleitung: Luder und Perranchon; Landschaftsplanerin Helgard Zeh, Ausführung: Meier und Jäggi; Kocherhans

Ausführungszeitpunkt:

1994-1996

Beschreibung der Maßnahme:

Die Worble hatte ein zu kleines Bachbett für die gelegentlich anfallenden Hochwassermengen. Das Wasserbett sollte aus diesem Grund verbreitert werden. Da der Bach an den Baustellen durch einen Siedlungsbereich fließt, waren die Planer durch begrenzten Platz für die Bauweisen eingeschränkt. Eine Bahntrasse grenzt nördlich mit Spundwand an den Bach. Am südlichen Ufer musste Platz für einen Unterhaltungsweg geschaffen werden. An dieser Stelle wurde daher eine Holzkrainerwand in einigen Metern Entfernung zum Ufer eingebaut um den Höhenunterschied zwischen Böschungsfuß und Bahntrasse zu überwinden und gleichzeitig den Hang vor Erosion zu schützen. Am von der Holzkrainerwand gestützten Böschungsfuß wurden Weiden direkt am Ufer gepflanzt. Die Böschungen wurden zum Großteil mit ingenieurbioologischen Bauweisen geschützt, wie die Flechtwerksbuhnen von 7. 2. 4. Beispiel 2, an einer Stelle aber auch mit massivem Blockwurf verbaut. Da der einmündende Mühlenkanal nicht verändert werden durfte, wurde im westlichen Bereich das Bachbett neu geformt. Dabei entstanden neue Böschungen mit unterschiedlichen

Neigungswinkeln.

Entwicklung:

Beobachtungen drei Jahre nach der Fertigstellung

positive Beobachtungen:

Die Holzkrainerwand hatte innerhalb der drei Jahre nach Fertigstellung der Bauausführung den Hang hervorragend gestützt. Die in den Erdlücken der Wand eingepflanzten Weiden (*Salix spec.*) sind gut angewachsen und werden in der Lage sein die Stützfunktion der Wand zu übernehmen.

negative Beobachtungen:

Ein Pflegeplan samt Unterhaltsmaßnahmen ist erst einige Zeit nach Fertigstellung der Maßnahmen erstellt worden, wodurch an manchen Stellen im Bach ein zu starkes Einwachsen der Ufer entstand. Die auf der Uferseite gepflanzten Weiden, die die Weidenstraße mit der Krainerwand zusammen eingrenzten, sind zu stark in den Weg gewachsen und mussten ständig zurück geschnitten werden.

Fazit:

Die stabile Holzkrainerwand kann mühelos den Erosionsschutz der Böschung übernehmen. Durch die Anpflanzung von Weiden in den Zwischenräumen der Wand wird der Schutz des Hanges auch in Zukunft gesichert sein. Die schnell wachsenden Weiden werden ihre feinen Wurzeln tief in den Hang graben und Tiefenschutz ermöglichen, wenn die Holzkrainerwand aufgrund von Verwitterung des Totholzes nicht mehr ihre ursprüngliche Stabilität hat. Auch Hochwasser wird für den Hang kein Problem darstellen, da die Worble ohnehin nur ein kleines Fließgewässer ist und eine stabile Holzkrainerwand wesentlich größere Fließgeschwindigkeiten und Hochwasser bewältigen kann.

3. Beispiel (vgl. Grohmann / Moser 2001, S.20-24)

Standort:

Niederösterreich, Weinviertel, Putzing

Gegenstand:

Putzinger Graben, Lössgerinne

Ausführender/Planer:

Regionalstelle Weinviertel der Wasserbauverwaltung, Projektant: ZT-Büro Trugina – Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, ökologische Begleitplanung: Jakob Grohmann und Markus Moser

Ausführungszeitpunkt:

Juli 1998 – Oktober 1998

Beschreibung der Maßnahme:

Wegen einer Grundstückszusammenlegung und mehreren Überflutungen durch den Graben in den angrenzenden Ortschaften, war die Verlegung von ca. 500 Meter Graben beschlossen worden. Er wurde ungefähr 200m nördlich der natürlichen Tiefenlinie in Hanglage verlegt. Zur Sicherung der neuen Sohle wurden ein Reisigboden und eine Holzkünette in Teilstücken des Grabens ausgelegt und anschließend mit Erde überschüttet. Die geplanten Holzkrainerwände mussten entgegen der Planung im Bereich des Einlaufs zum Rückhaltebecken massiver ausgeführt werden als geplant war, weil bei den Bauarbeiten hangwasserführende Schichten freigelegt wurden. Die Krainerwände wurden tief in die steilen Böschungen gebaut um ein Abrutschen zu verhindern. Das an diesen Stellen austretende Hangwasser wurde in einem neu angelegten Gerinne gesammelt und zu einem ausgehobenen Rückhaltebecken geleitet, wo dadurch ein ungeplanter Teich entstand. Es wurden zusätzlich weitere ingenieurbioologische Bauweisen, wie Weidenfaschinen, Röhrichtwalzen, Anpflanzungen von Gehölzen und Spreitlagen entlang des Grabens zur Ufersicherung angelegt. Mit der Maßnahme der Spreitlagen zu diesem Beispiel wird sich unter 7. 2. 1. Beispiel 3 bereits auseinander gesetzt.

Entwicklung:

Beobachtungen von 1999 und 2000

positive Beobachtungen:

Nach zwei Jahren hatte die Krainerwand ihre Funktion zur Böschungssicherung voll erfüllt. Das austretende Hangwasser hat bei der Konstruktion nicht für Ausspülungen gesorgt, die Umleitung über einen Entwässerungsgraben zu dem neu angelegten Teich hatte für die Hangentwässerung ihren Zweck erfüllt.

negative Beobachtungen:

Im Einlaufbereich zum Rückhaltebecken des Grabens wurden massive Ausspülungen und Unterspülungen der Holzkünette beobachtet. Reparaturen der entstandene Hohlräume mit Flussschotter verbesserten die Lage nicht. Bei den Holzkrainerwänden selbst wurden keine negativen Beobachtungen gemacht.

Fazit:

Die Holzkrainerwand durch eine tiefere Einbindung massiver zu gestalten war im Hinblick auf das austretende Hangwasser die richtige Entscheidung. Die durch das Wasser erhöhte Erosionskraft auf die steile Böschung ist nicht zu unterschätzen. Dank des angelegten Gerinnes zur Umleitung des Hangwassers wird die Krainerwand nicht unterspült. Es gab leider keinerlei Angaben zur Bepflanzung der Wand, jedoch ist anzunehmen, dass auch hier Weiden verwendet wurden um die Bauweise zu stärken. Diese werden in angemessener Zeit in der Lage sein die Stützfunktion der Krainerwand zu übernehmen. Da die Wand im Wechselfeuchten steht, ist zu vermuten, dass das verwendete Holz seine Funktion früher nicht mehr erfüllen kann als ursprünglich geplant. Diese Tatsache erhöht wiederum den Erwartungsdruck auf die, mit in die Wand eingebauten Gehölze und deren Entwicklung, da diese die Stabilisierung des Hanges übernehmen werden.

4. Beispiel (vgl. Florineth 2015 S.4-9)

Standort:

Italien, Südtirol, Provinz Bozen, Gemeinde Jenezien

Gegenstand:

Hang des Zufahrtsweges zu den Widmayrhöfen über Jenesien

Ausführender/Planer:

Planer: Prof. Florian Florineth Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Ausführungszeitpunkt:

Frühjahr 1991

Beschreibung der Maßnahme:

Der Hangfuß am Zufahrtsweg war mit nicht länger stabilen Drahtschotterkörben gesichert. Diese drohten zu kippen, daher wurden sie abgebaut und stattdessen mit einer 2 m tiefen, 2,5 m hohen und 15 m langen, bepflanzten Holzkrainerwand aus Lärchen-Rundhölzern ersetzt. Die Steine aus den alten Schotterkörben wurden für Drainagen auf der Bergseite und entlang der untersten Krainerwand verwendet. Über der Holzkrainerwand am Weg wurden zwei weitere Wände in je 10 m Entfernung voneinander errichtet worden. Um die Stand- und Kippsicherheit der Wände zusätzlich zu gewährleisten, wurden gespitzte Eisenbahnschienen vor den hinteren Längshölzern eingeschlagen. Die zehn Meter breiten Flächen zwischen den einzelnen Holzkrainerwänden wurden mit bewurzelten Laubgehölzen bepflanzt und die offenen Bodenflächen per Hydrosaat begrünt. In den Krainerwänden wurden Einlagen und Stecklinge aus verschiedenen Gehölzen eingebracht. Dazu zählten Grauerle (*Alnus incana*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), Sal- (*Salix caprea*) und Lavendelweide (*Salix eleagnos*) und Traubenkirsche (*Prunus padus*).

Entwicklung:

Beobachtungen nach 20 Jahren

positive Beobachtungen:

Die Gehölze waren stark gewachsen und hielten den Hang durch ihre Wurzeln stabil. Schätzungsweise hielten sie die Stabilität des Bodens in bis zu zwei Metern Tiefe aufrecht. Dadurch sind sie in der Lage die Stabilisierungsfunktion der Holzkrainerwand komplett zu kompensieren wenn diese nicht mehr tragen kann. Durch die gewachsenen Gehölze und deren Transpiration wurde der Boden entfeuchtet. Die gelegten Drainagen

erfüllten weiterhin ihren Zweck. Es wurden keine Risse im gesicherten Hang entdeckt.

negative Beobachtungen:

Die verwendeten Lärchen-Rundhölzer zeigten sehr unterschiedliche Dauerhaftigkeit. Splintholz war zum großen Teil vermorscht, aber der Kern war bei einigen Hölzern noch intakt, oder teilweise angemorscht. Daher ist schwer voraus zu sagen wie lange die verwendeten Hölzer nach Einbau halten werden.

Fazit:

Bei der Holzkrainerwand ist es sehr wichtig anzustreben, dass die, in die Konstruktion eingebrachten Gehölze die Funktion der Wand nach einiger Zeit übernehmen können. Wichtig dafür ist die für den Standort passenden Gehölze für den Einbau in die Wand zu wählen. Besonders unter wechselfeuchten Bedingungen hat Holz eine begrenzte Lebensdauer. Die 20 Jahre im Beispiel hatten bereits vollständig für die ausgewählten Gehölze ausgereicht. Zudem wurde durch deren Wachstum der Hang auch an anderen Stellen stabilisiert und gleichzeitig Oberflächen- und Hangwasser gebunden und durch Transpiration an die Umgebung abgegeben. Die Krainerwand samt Bepflanzungen stellt im Vergleich zu den vorherigen Drahtschotterkörben eine deutliche Verbesserung zur Hangstabilität dar. Besonders da die Schotterkörbe bereits zu versagen drohten.

Gesamtfazit Holzkrainerwände

Massive Holzkrainerwände werden gerne zum Schutz von Prallufeln genutzt. Durch den Einbau der Holzpfähle tief in die Schichten des Ufers oder der Böschung sind Krainerwände nicht nur in der Lage den Hang gegenüber Druck und Erosion von Außen zu entlasten, auch in der Tiefe wirken die fest vernagelten Pfähle positiv auf die Stabilität des Hanges und sichern damit auch Straßen vor Erosion, wie in Beispiel 4 bewiesen wurde, zum Teil wirkungsvoller als Stein.

Da Holz ein relativ schnell verrottender Baustoff ist, besonders in wechselfeuchtem Milieu, ist es für die nachhaltige Wirkung einer Holzkrainerwand extrem wichtig, dass zwischen die einzelnen Bauteile, welche meist mit Erde verfüllt werden, lebendes Astwerk oder bewurzelte Laubholzpflanzen gesetzt werden, die die

Stabilisierungsfunktion der Wand spätestens dann übernehmen wenn diese ihre ursprüngliche Aufgabe nicht mehr erfüllen kann. Um diesen Kriterien zu entsprechen, sind Holzkrainerwände am effektivsten in Böschungen aus Erde oder anderen Sedimenten einzubauen.

Die Krainerwand aus Beispiel 2 steht vor allem trocken. Nur bei Hochwasser ist das Holz einem ständig feuchtem Milieu ausgesetzt. Dass Weiden zusätzlich zur Stabilisierung an ihren Fuß eingepflanzt wurden, wird definitiv stärkere Pflegemaßnahmen zur Folge haben, da die Weiden schnell den Weg zuwachsen werden und somit oft geschnitten werden müssen. An dieser Stelle wäre eine Pflanzung mit anderen Zielgehölzen aus diesem Grund auf lange Sicht vorteilhafter gewesen. Dadurch, dass die Gehölze an der Wand auch nicht zu feucht geworden wären, hätten andere Gehölze als Weiden die Sicherungsfunktion für die Wand ebenso übernehmen können.

Wände, die in Steinböschungen eingebaut wurden, können zwar auch mit Erde verfüllt und bepflanzt werden, doch lässt die geringe Bodenschicht wenig Platz für größere standortgerechte Gehölze oder Bäume um sich zu entwickeln, so ist ein Einsatz der Wand an solchen Standorten nur suboptimal.

An Fließgewässern und deren Ufern bietet sich immer das Besetzen der Holzkrainerwand mit Weidenstecklingen an. Hier muss allerdings darauf geachtet werden, dass die Weiden nicht ins Gewässer wachsen und die Strömung behindern. In Beispiel 1 wurde bewiesen, dass selbst Auswaschungen am Hang der Krainerwand nicht gefährlich für die Bauweise sein müssen, allerdings sollte ein solcher Umstand trotzdem nicht unbeachtet gelassen werden, denn unterspült werden kann eine Krainerwand trotzdem. Die Vorgehensweise in Beispiel 3 mit der Umleitung des austretenden Hangwassers war daher vorbildhaft.

Die Qualität und Stabilität dieser Bauweise ist vor allem von der verwendeten Holzart abhängig. Beobachtungen und Studien zur Langlebigkeit verschiedener Holzarten helfen dabei passendes Holz zu wählen, zumal unter solchen Umständen nur Kernholz eine längere Widerstandsdauer verspricht. In einem wechselfeuchten Standort ist die

Bestimmung der Lebensdauer jedoch nur sehr eingeschränkt machbar, da hier das Holz auch individuell sehr unterschiedlich reagieren kann und Beobachtungen teilweise weit auseinander gehen.

7. 2. 6. Sohlschwellen, -gleiten und -rampen (2 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Bönecke 1995, S.5-10)

Standort:

Nordschwarzwald, Forstbezirk Obertal

Fluss:

Wildbach (Name unbekannt)

Fließgewässertyp:

Typ 5 - Grobmaterialreiche silikatische Mittelgebirgsbäche

Planung:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. E. Kirwald

Ausführungszeitpunkt:

1952-1953

Skizze der Maßnahme:

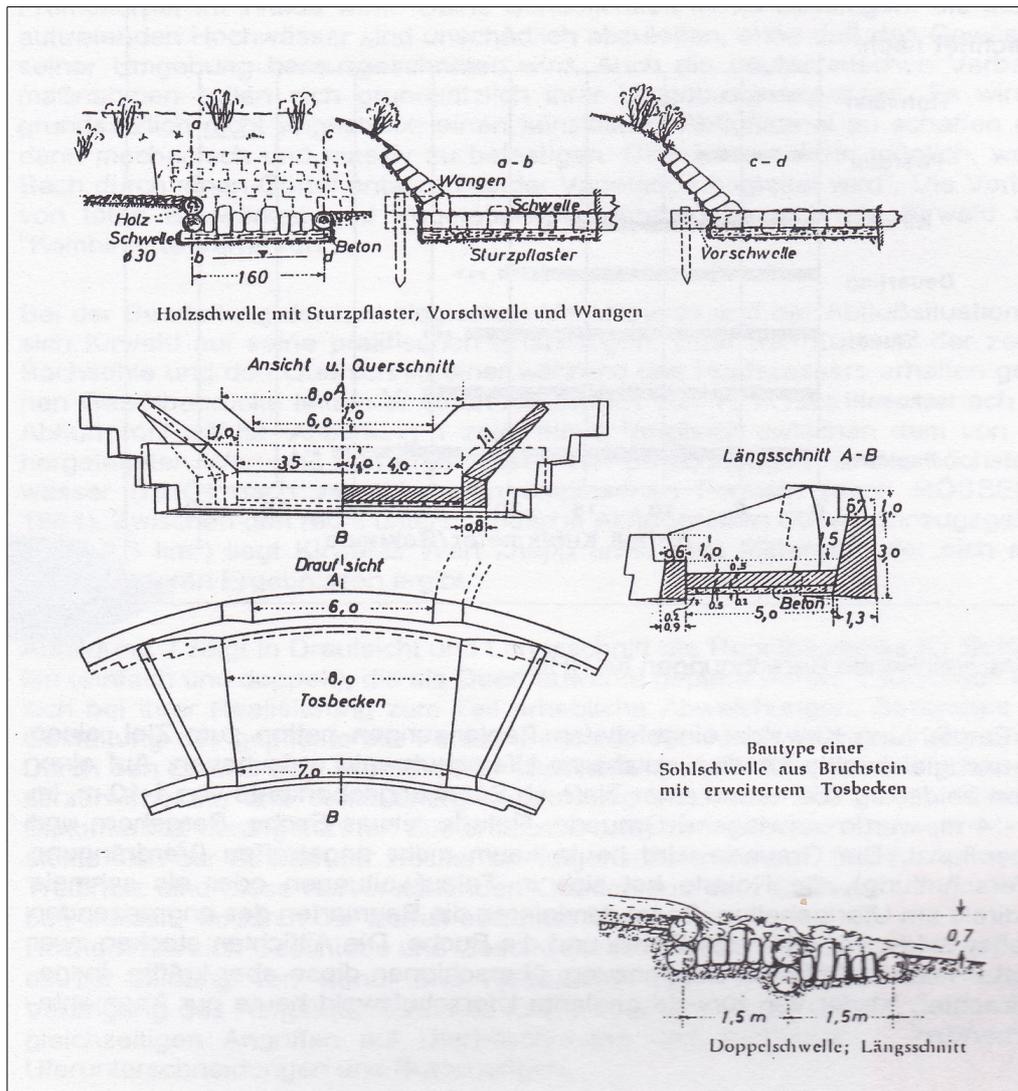


Abbildung 10: Darstellung d. Maßnahmen im Wildbach (unbekannter Maßstab)

Beschreibung der Maßnahme:

Wie in der Skizze zu sehen, wurden verschiedene Schwellen in die Sohle eingebaut um die Tiefenerosion zu vermindern. Anders, als auf der Skizze zum Bauvorhaben festgehalten, wurden zusätzlich Bremshöcker in die Sohle eingebaut um die Wasserenergie zu verringern. Ziel des Planers war den Charakter des Wildbaches trotz den Verbauungen zu erhalten. In den von Fichten dominierten Uferschutzwald wurden Grau- (*Alnus incana*), Roterlen (*Alnus rubra*), einige Eschen (*Fraxinus excelsior*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) und Buchen (*Fagus spec.*) gepflanzt.

Entwicklung:

nach ca. 40 Jahren ungestörter Entwicklungszeit (Aufnahmen von 1991/1992)

positive Beobachtungen:

Trotz des mittlerweile sehr labilen Zustands der Verbauungen, hat die erzielte Hochwasserableitung bisher weitestgehend funktioniert. Ohne Pflegemaßnahmen ist der Zusammenbruch der Bauwerke und damit ein Versagen bei Hochwasser aber nur eine Frage der Zeit. Durch die fehlende Pflege und Wartungen in den Jahren nach dem Bau und der damit folgenden Zerstörung vieler künstlicher Bauwerke, konnte der Bach seinen dynamischen Charakter zurück gewinnen. Uferabbrüche, entstehende Sandbänke und das Pendeln des Stromstrichs führten zu einer naturnahen Entwicklung des Fließgewässers. Da dies allerdings nicht mit den Bauwerken beabsichtigt war und nur eine Folge versäumter Pflegeeinsätze ist, kann dieser Punkt nicht positiv für die Verbauungen gezählt werden.

negative Beobachtungen:

Bei der Untersuchung der Sohlschwellen wurden Schäden an nahezu allen Bauwerken entdeckt. Ursachen dafür sind höchstwahrscheinlich Konstruktionsfehler und eine falsche Anordnung. „Vor einigen Sohlschwellen und Abstürzen sind Kolke entstanden, die sich durch rückschreitende Erosion ständig vergrößern und ganze Bauwerke, ja ganze verbaute Bachabschnitte in ihrem Bestand bedrohen.“ (Bönecke 1995, S.6) Der Einbau der Bremshöcker stellte sich im Nachhinein als folgenschwerer Fehler heraus. Die Höcker wurden durch Geschiebe und Treibholz aus ihrem Steinverband heraus gehobelt. Die dadurch entstandenen Schwachstellen innerhalb der Bauwerke waren ihrem Zerfall ausgesetzt. Höcker, welche nicht ausgehobelt wurden, fungierten für Geschiebe und anderen vom Wildbach transportierten Materialien als Anker. Die Materialien setzten sich an den Höckern fest und verkeilten sich so fest, dass es zur Bildung von Sand- und Kiesbänken führte. Die dadurch verursachte Verengung des Bachs führte zum Pendeln des Stroms, was die Uferböschungen zusätzlich belastete. Unterspülungen und Rutschungen im Uferbereich waren die Folge. Direkt nach der Baumsetzung war der Charakter des Wildbaches durch die Verbauungen nicht länger erkennbar. Die gepflanzten Grauerlen (*Alnus incana*) waren wegen Verschattung durch

die Fichten (*Picea spec.*) komplett verschwunden. Da keine Pflegemaßnahmen zur Unterstützung der neu gepflanzten Gehölzarten erfolgt waren, dominierten am Ufer Fichten, Buchen und Tannen.

Fazit:

Für die weitere Entwicklung des Wildbaches wurden verschiedene Varianten vorgeschlagen. So könnte der Bach weiterhin sich selbst überlassen werden und sich somit trotz der Bauwerke weiterhin eigendynamisch entwickeln. Oder die Verbauungen könnten saniert werden um den Ausgangszustand von 1953 wiederherzustellen. Im Gegensatz dazu kann die Bachverbauung mit heutigen Kenntnissen der Ingenieurbiologie aber auch weiterentwickelt werden oder die Bauwerke könnten auch komplett zurück gebaut werden um dem Bach und seiner Umgebung eine vollkommen natürliche Dynamik zu erlauben. Für die Dörfer am unteren Flusslauf wäre eine ingenieurbiologische Weiterentwicklung der Verbauung aus Gründen des Hochwasserschutzes die beste Variante. Auch wenn die Umsetzung aufgrund knapper finanzieller Mittel sehr unwahrscheinlich ist. Wären Wartung und Pflege an den Verbauungen erfolgt, hätten sie vermutlich noch heute eine ausreichende Wirkung zum Schutz vor Tiefenerosion und Hochwasser, allerdings hätte der Bach dann wahrscheinlich einen sehr künstlichen Charakter. Dafür konnten durch die nicht ausgeführten Maßnahmen dynamische naturnahe Prozesse im Bach entstehen, die auf die Flora und Fauna im und am Gewässer positiv gewirkt hat. Die Konstruktionen hatten dem Wasser zu viele Angriffspunkte gelassen. Trümmerstücke von Bauwerken, wie massive Steine, flussaufwärts schädigten bei ihrem Abtransport andere Verbauungen flussabwärts. Unterkolkungen und Erosionen hatten die Stabilität zusätzlich geschwächt. Konstruktionsfehler und eine falsche Anordnung der Bauwerke, haben diese ihre Funktionen nicht wie geplant ausführen lassen. Mangelnde Wartung und Pflege hatten zusätzlich zum Verfall der Verbauungen beigetragen. Der Planer selbst schien seine Fehler in der Konstruktion erkannt zu haben und hatte bei nachfolgenden Verbauungen in ähnlichen Gewässern keine starren Schwellen und Abstürze mehr genutzt, sondern stattdessen Höckerschwellen eingesetzt.

2. Beispiel (vgl. Weinbach 1995, S.34-38)

Standort:

Pfälzer Wald, Venningen

Fluss:

Mühlbach - künstlicher Graben im Gewässersystem des Triefenbaches

Fließgewässertyp:

Triefenbach: Typ 5 - Grobmaterialreiche silikatische Mittelgebirgsbäche

Planung:

Ingenieurgemeinschaft Pappon und Riedel und INPLUS Umweltplanung, Neustadt

Ausführung:

Firma Wagenbrenner, Herxheim

Ausführungszeitpunkt:

Ende 1989 – Anfang 1990

Beschreibung der Maßnahme:

Der Mühlbach wurde umgeleitet um nicht mehr durch Venningen zu fließen, sondern vor dem Ortseingang direkt nach Süden in den Triefenbach. Durch die Umleitung musste eine Neubaustrecke von 165 Meter Länge angelegt und eine Höhe von 3,26 m bis zum Triefenbach überwunden werden. Die Konstruktion des neuen Bachabschnitts sollte so naturnah wie möglich gehalten werden. Eine geplante Profilausweitung des Baches war wegen den Grundstücksverhältnissen nicht möglich. Das Gewässerbett wurde durchgehend mit Vlies und darüber einem mindestens 25 cm starkem gemischt körnigem Substrat bedeckt um einen Austausch zwischen Wasser und Boden weiterhin zu ermöglichen. Ursprünglich als Sohlrampen geplant, wurden während des Baus aber Sohlgleiten von vier Metern Länge an sieben Stellen im Flussbett eingebaut. Somit sollten zu hohe Abstürze vermieden werden und außerdem Kleinfischen die Möglichkeit gegeben werden flussaufwärts zu ziehen. Die durch die Sohlgleiten entstandenen

Abstürze waren lediglich 6 cm hoch. Die Sohlgleiten wurden weit genug den Berghang hinauf gezogen um auch bei Hochwasser das Profil sichern zu können. Neben den Sohlgleiten erfolgten weitere ingenieurbioologische Sicherungsmaßnahmen des neuen Bachbetts und -ufers mit Geotextilien samt Ansaaten und Pflanzungen im Uferbereich, das Leitwerk zum Umlenken des Stroms wurde mit einer Sandsteinmauer samt Weideneinlagen verstärkt und vor dem Einlauf des Mühlbachs in den Triefenbach wurden Stillwasserbereiche angelegt.

Entwicklung:

Beobachtungen 5 Monate nach Fertigstellung des neuen Mühlbach-Abschnitts und in den Folgejahren

positive Beobachtungen:

„Durch die partiellen rauhen Sohlgleiten wurde die Strömungsenergie so gemildert, daß es zu keinerlei Tiefen- und Uferauskolkungen kam.“ (Weinbach 1995, S.36) Zudem wurde das eingebrachte Substrat nicht fortgespült, das Vlies war weiterhin vollständig bedeckt. Auch die Vernetzung für Kleinfische über die rauhen Sohlgleiten hatte funktioniert. Stichlinge wurden einen Monat nach der Flutung am Oberlauf beobachtet. Die anderen Maßnahmen waren ebenfalls erfolgreich angewachsen und hatten Monate nach der Fertigstellung ihre Funktionen erfüllt. Eine wesentliche Verbesserung der Vernetzung und Habitatstrukturen konnten in den nachfolgenden Jahren bestätigt werden.

negative Beobachtungen:

Die vorliegenden Beobachtungen wurden in einem zu kurzen Zeitraum nach Fertigstellung des neuen Bachabschnitts gemacht. Wirklich interessant wäre das Langzeitverhalten der Bauwerke gewesen. Auch wäre eine Aufnahme nach einem Hochwasser sehr interessant. So steht eine abschließende Beurteilung der Sohlgleiten unter großer Belastung nach einem Extremereignis noch aus. Da in den Folgejahren allerdings keine Angaben zu den Sohlgleiten gemacht wurden, kann davon ausgegangen werden, dass es keine außergewöhnlichen negativen Ereignisse gab.

Fazit:

Es lässt sich in jedem Fall feststellen, dass die Entscheidung Sohlgleiten, statt -schwelen im Bachgefälle einzusetzen richtig war. Nicht nur die Auskolkung der Sohle wird durch die niedrigen Abstürze der Bauwerke minimiert, auch die Wasserenergie wird im Gefälle etwas durch die Rauigkeit der Gleiten vermindert. Das Ziel der Vernetzung im Ober- und Unterlauf wurde zusätzlich durch die Sohlgleiten erreicht. Von den Beobachtern festgestelltes Fischvorkommen im Oberlauf, nach der Flutung, sind der Beweis dafür. Bislang scheint die Verbauung gut gesichert zu sein. Die Ufersicherungen mit Weiden und der potentiellen natürlichen Vegetation entsprechenden Ansaaten und Pflanzungen waren bereits fünf Monate nach der Fertigstellung gut angewachsen und bieten in Zukunft sehr wahrscheinlich verbesserten Erosionsschutz der Ufer. Die ingenieurbioologischen Maßnahmen konnten in diesem Projekt zeigen, dass sie ebenso wirkungsvoll sein können wie herkömmliche technische.

Gesamtfazit Sohlschwellen, -gleiten und -rampen

Das Versagen der gebauten Sohlschwellen im ersten Beispiel liegt vor allem an einer mangelhaften Bauausführung, das hatte der Planer bereits kurz nach Bauabschluss erkannt. Die eingebauten Bremsböcker hatten zusätzlich die Sohlschwellen beschädigt nachdem sie sich durch Ausspülung gelöst hatten. Unter diesen Umständen ist es doch überraschend, dass die meisten Bauwerke trotz vieler Schäden nach vierzig Jahren ohne Reparaturen oder Pflegemaßnahmen noch standen und vor allem noch immer vor Hochwasser geschützt hatten. Die Sohlschwellen sind vermutlich zu hoch in dem Gewässerbett angelegt worden, so hatte das herabstürzende Wasser mehr Kraft und Kolke konnten entstehen.

Auch Sohlabstürze, die eigentlich vermieden werden sollten (vgl. Zeh 2007, S.147), hatten sich gebildet. Da die Maßnahme im ersten Beispiel in den fünfziger Jahren entstand, kann man davon ausgehen, dass der Planer noch zu wenig Erkenntnisse über ingenieurbioologische Bauweisen hatte, die er später verfeinern konnte.

Im direkten Vergleich dazu waren die Sohlgleiten in Beispiel 2 ein voller Erfolg. Obwohl

ein Höhenunterschied vom über drei Metern überwunden werden musste, wurden die Sohlgleiten flach genug angelegt, sodass keine Auskolkung entstand und Kleinfische über die Schwellen bachaufwärts wandern konnten, was bei dem Beispiel im Nordschwarzwald niemals möglich gewesen wäre.

Zusätzliche Sicherungsbauweisen der Ufer mit Gehölzen und Ansaaten verhinderten seitliche Erosionen, was in Beispiel 1 zwar auch angestrebt wurde, wobei aber die Zielgehölze dort aufgrund fehlender Pflegemaßnahmen verdrängt wurden. Das verwendete Substrat im Flussbett zusammen mit dem Vlies scheint aber nicht unbedingt für Hochwasser geeignet zu sein. Ob die Sohlgleiten bei Hochwasser standhalten ist schwer zu sagen. In diesem Fall hatten die Bauweisen aus dem ersten Beispiel dem Hochwasser wesentlich mehr entgegen zu setzen.

7. 2. 7. Lahnungen (2 Beispiele)

1. Beispiel (vgl. Iseli 1992, S.11-14)

Standort:

Schweiz, Bielersee, Gemeinden Erlach, Lüscherz, Täuffelen und Mörigen

Gegenstand:

Stillgewässer, Bielersee, Schutz der Ufervegetation

Ausführender/Planer:

Bauherrschaft: Verein Bielerseeschutz stellvertretend für die vier betroffenen Anliegergemeinden Erlach, Lüscherz, Täuffelen und Mörigen

Ausführungszeitpunkt:

Winter 1989/1990

Skizze der Maßnahme:

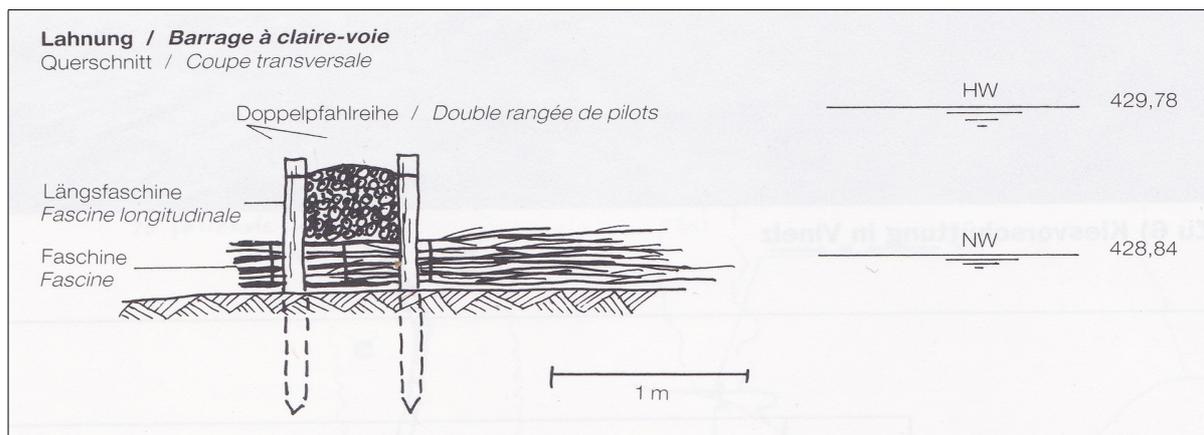


Abbildung 11: Querschnitt der Faschinen im Bielersee (unbekannter Maßstab)

Beschreibung der Maßnahme

„Die Querfaschinen wurden an Land hergestellt und mit Booten an die Einbaustelle gebracht. Die Längsfaschine wurde auf dem Wasser eingebaut und möglichst dicht gepackt.“ (Iseli 1992, S.11)

Entwicklung:

Beobachtungen kurz nach Fertigstellung der Bauweise, Vergleichsuntersuchung stand 1992 noch aus

positive Beobachtungen:

Das Ziel der Herstellung der Lahnungen, im Bielersee die Schilfbestände zu schützen, die durch die Wellenbelastung reduziert worden waren, ist bereits kurz nach Fertigstellung erreicht worden. Schon kurze Zeit nach Beendigung der Maßnahme wurde eine Beruhigung der Wellen beobachtet genauso wie die Anhäufung von Sedimenten in Ufernähe. Die Stabilität der Lahnungen schien ausreichend zu sein.

negative Beobachtungen:

Bei einer größeren mechanischen Belastung der Lahnungen, ist nicht bekannt wie diese darauf reagieren würden.

Fazit:

Kurz nach der Fertigstellung der Lahnungen schienen diese einwandfrei zu

funktionieren. Alle erhofften positiven Wirkungen sind durch das ingenieurbio-logische Bauwerk eingetroffen: Wellen wurden gebrochen, Sedimente angehäuft, das Schilf schien sich kurze Zeit später schon zu erholen und die Stabilität schien ausreichend zu sein. Allerdings erfolgten diese Beobachtungen kurz nach Beendigung der Maßnahmen noch im Winter 1990. Der Bielersee ist ein Erholungsgebiet für viele Touristen. In der Hochsaison im Sommer fahren regelmäßig Schiffe unterschiedlicher Größen auf dem Bielersee. Die dadurch entstehenden Wellenbelastungen auf die Lahnungen wurde noch nicht beobachtet. Ohnehin haben Lahnungen keine hohe Lebensdauer. Die Baumaterialien müssen regelmäßig kontrolliert und ersetzt oder ergänzt werden. Es stellt sich die Frage, ob die durch Lahnungen gesicherten Uferbereiche den Belastungen durch die Schifffahrt und Erholungssuchende ohne weitere Sicherungen auf Dauer stand halten werden.

2. Beispiel (vgl. Müller / Schmocker 2005, S.4-7)

Standort:

Schweiz, Bielersee, Lüscherz, Mörigen

Gegenstand:

Jurarandseen – Bielersee, Neuenburgersee und Murtensee

Ausführender/Planer:

nicht angegeben, Feldmessungen: Bärbel Müller und Peter Schocker, Berner Fachhochschule

Ausführungszeitpunkt:

verschiedene Lahnungen wurden in verschiedenen Jahren fertig gestellt, Lahnung in Lüscherz ca. 2001, Lahnung in Mörigen ca. 2003

Beschreibung der Maßnahme:

Der Bau der neuen Lahnungen zum Schutz der Seeufer bei Lüscherz erfolgte in gleicher Weise wie bereits 1989/1990. Zwischen Holzpfähle wurden quer zur Baurichtung Weidenfaschinen gelegt. Der obere Raum der Lahnungen wurde mit

Weidenzweigen in Form von Querfaschinen aufgefüllt und mit Drahtschlaufen fest gebunden. Die Krone lag in der Höhe etwa auf dem Niveau des Sommerwasserspiegels des Bielersees.

Entwicklung:

Beobachtungen durch Feldmessungen am Bielersee bei Lüscherz 2003, 2004 und 2005 (letzte war zum Bericht noch ausstehend) und seit 2004 in Mörigen

positive Beobachtungen:

Seegrundaufnahmen hatten gezeigt, dass die jährlichen Akkumulations- und Erosionsraten in direkter Nähe der Lahnungen niedriger liegen als im Rest des Sees. Wellenmessungen hatten bewiesen, dass die Lahnungen die Wellenhöhen deutlich reduzierten.

negative Beobachtungen:

Ein Problem war die Porosität der Lahnungen, denn dadurch wurden bei stärkeren Wellengängen immer wieder einzelne Faschinenbestandteile ausgelöst und fort gespült. Die Zusammensetzung der Lahnung in Lüscherz verringerte sich innerhalb dreier Jahre nach ihrem Aufbau um fast die Hälfte. In Mörigen betrug die Porosität der Lahnung nach einem Jahr bereits fast ein Drittel. Mit dem Alter der Lahnungen nimmt ihr Wellendämpfungsvermögen durch die steigende Porosität stark ab. Daher ist ständige Kontrolle und Auffüllung der Lahnungen eine Bedingung für deren Funktionsaufrechterhaltung.

Fazit:

Die neuen zusätzlichen Lahnungen im Bielersee erfüllen nachweislich ihre gedachte Funktion. Wellen werden an ihnen gebrochen, Erosion in Ufernähe wurde gesenkt. Da die 1989 bzw. 1990 gesetzten Lahnungen schon gute Ergebnisse erzielt hatten, waren weitere Lahnungen entlang der Ufer gebaut worden. Unabdingbar für ihre Funktion ist jedoch, eine regelmäßige Erneuerung der eingelegten Faschinen, sobald diese zu sehr ausgespült wurden. Da die Juraseen kontrollierte Pegelstände aufweisen und durch die Regulierung des Wasserstandes nicht von Hochwasser betroffen sind, sind die Lahnungen bei regelmäßiger Kontrolle wahrscheinlich in Punkten des Kosten-, Zeit- und

Nutzenfaktors die beste Alternative für den Schutz der Ufer.

Gesamtfazit Lahnungen

Lahnungen sind allenfalls in ruhigen Stillgewässern für den Uferschutz oder Landgewinnung eine wahre Alternative. Beide Beispiele aus dem Bielersee zeigen, dass die Lahnungen zwar den Wellengang in Ufernähe beruhigen, aber auch ständiger Auswaschung bei stärkerem Wellengang unterlegen sind.

Da sie meist mit Faschinen, wie in beiden Beispielen, oder Weidenäste gefüllt werden (vgl. Zeh 2007, S.281), wäscht sich schnell Kleinmaterial aus. Dadurch entsteht bei Lahnungen ein größerer Beobachtungs- und Unterhaltungsbedarf. Trotzdem nehmen Fische die Bauweise der Lahnung gut an.

Für strömende Gewässer oder Seen und Küstengebiete mit stärkerer Wellenenergie sind die Lahnungen nicht geeignet. Beide Lahnungen werden ohne regelmäßige Kontrollen und Ausbesserungen nicht lange bestehen. Die regelmäßige Schifffahrt auf den Seen verursacht genug zusätzliche Wellenenergie, um die Lahnungen beider Beispiele schnell auszuwaschen. Anschließend minimiert sich der eigentlich erzielte beruhigende Effekt auf die Ufer. Vermutlich hätten gut bewachsene Schwimmkampen mit kräftigen Wurzeln in beiden Fällen die Wellenenergie ebenso abgefangen, ohne denselben Verschleiß aufzuweisen.

8. Zusammenfassung – Potentiale ingenieurbioologischer Bauweisen

Entwicklungen und Erkenntniszuwachs innerhalb der Ingenieurbioologie haben in den letzten 50 Jahren enorm zugenommen. Im Vergleich zu den herkömmlichen technischen Bauweisen werden mittlerweile vermehrt naturnahe oder kombinierte Bauweisen bei Sicherungsarbeiten an Hängen, Böschungen und Ufern angewandt. Nicht nur, weil mehr auf die Einfügung der Bauweisen in das Landschaftsbild geachtet wird, sondern auch ,weil sich diese Bauweisen bewährt haben und zeigen, dass die Verwendung von scheinbar kurzweiligen Materialien im Zusammenspiel mit

Bepflanzungen und Ansaaten teilweise ebenso, wenn nicht wirkungsvoller sein kann als Bauwerke aus Beton und Stahl.

Beobachtungen zu ingenieurbioologischen Bauweisen im Erd- und Wasserbau haben selten nur negative Entwicklungen feststellen können. Meist überwogen die positiven Aspekte der Bauweisen, wobei es wahrscheinlich ist, dass über negative Erfahrungen weniger berichtet wurde. Trotz allem ein Beweis dafür, dass die Ingenieurbioologie einen direkten Vergleich zu herkömmlichen Bauweisen nicht fürchten muss. Natürlich gibt es Grenzen, doch die ständige Verbesserung der Bauweisen, Verfahren und Pflanzenauswahl erhöht die Erfolgchancen für naturnahe Bauwerke immer weiter.

Ganz mit künstlichen Bauwerken kann die Ingenieurbioologie jedoch nicht mithalten. Durch die Beispiele aus der Praxis wird klar, dass auftretende große Kräfte noch immer durch herkömmliche Bauwerke gehalten werden müssen. Es gibt keine Alternative zu Dämmen oder starken Lawinenverbauungen aus Beton. Auch an Stellen, an denen nicht genug Platz für naturnahe Bauweisen ist, muss auf herkömmliche Art gesichert werden, wie das Beispiel der Worble im Kanton Bern, Gemeinde Ittigen zeigt.(vgl. Weissmann-Zeh 2000, S.34-37)

Bei vielen Bauwerken ergänzen aber ingenieurbioologische Bauweisen die Technischen zusätzlich. So werden herkömmliche Lawinenverbauungen mit Geotextilien und Anpflanzungen erfolgreich vor regelmäßigen Beschädigungen durch Steinschlag geschützt. (vgl. Siegenthaler / Rieder 2013, S.21-25) Oder Staudämme und Erdwälle durch Ansaaten, Pflanzungen oder mit Steckhölzern begrünt und so vor Oberflächenerosion geschützt. (vgl. Kurz / Schütz 2012, S.40-49) Gerade auf extremen Standorten, wie in großen Höhen, gibt der Einsatz von Implantaten oder die Ansaat von gezielt ausgesuchten, angepassten Pflanzenarten hohe Garantie für Erfolge.

Auch wenn also die Ingenieurbioologie statisch und was den Raumbedarf angeht noch immer den technischen herkömmlichen Bauwerken unterlegen ist, wird sie dennoch häufig verwendet um diese zusätzlich zu sichern oder auch optisch in die umgebende Landschaft zu integrieren.

Von der Statik abgesehen, ermöglichen ingenieurbio­logische Bauwerke breit gefächerte Anwendungsmöglichkeiten. Die verschiedenen Bauweisen sind flexibel einsetzbar und gut auf verschiedene Eigenschaften unterschiedlicher Standorte zu übertragen. Lahnungen wurden ursprünglich zur Landgewinnung an der Küste erfunden, können aber auch, nach einer Anpassung, in Seen eingesetzt werden um die Schilfbestände und Ufer vor Wellenbelastung zu schützen. (vgl. Iseli 1992, S.11-14) Diese hohe Flexibilität und Anpassungsmöglichkeit sind Grund warum die Ingenieurbio­logie trotz einzelner Schwächen nach Möglichkeit häufig verwendet wird.

Neben der statischen Belastbarkeit, wird die Lebensdauer naturnaher Bauweisen oft kritisiert. Da viele der Bauwerke aus Holz bestehen, scheinen sie gegenüber Stahl und Beton sehr kurzweilig. Dennoch ist die Lebenszeit ingenieurbio­logischer Bauwerke bei weitem nicht so stark begrenzt, wie vielleicht angenommen wird.

Da Ingenieurbio­logie eine junge Alternative zur herkömmlichen Bauart ist, gibt es momentan nicht viele Langzeitbeobachtungen zur Lebenszeit naturnaher Bauweisen. Auch der Großteil der Beobachtungen und Bewertungen zu den Praxisbeispielen unter Punkt 6 fanden meist innerhalb weniger Monate oder in einem Zeitraum von bis zu zwei Jahren nach Fertigstellung statt. Weniger wurden in einem mittelfristigen Abstand von 6-7 Jahren untersucht. Die Ursache hierfür ist simpel: die Bauwerke sind noch zu jung. Sechs der aufgeführten Beispiele waren alt genug, um Beobachtungen nach über zehn Jahren angeben zu können. Davon gab es wiederum drei Beispiele aus der Praxis, deren Bau über 20 Jahre zurücklag, zwei davon im Buschlagenbau und eine Holzkrainerwand. Das erste Beispiel zu den Sohl­schwelen wurde über 40 Jahre nach Bauabschluss analysiert und ist damit das älteste hier aufgeführte Bauwerk, welches eine Aussage zur Langlebigkeit ingenieurbio­logischer Bauwerke machen kann.

Bei einem Blick über die Praxisbeispiele, kann insgesamt eine positive Aussage über die Lebenszeit der Bauwerke gemacht werden. Natürlich sind die meisten Bauweisen dabei über einen zu kurzen Zeitraum aufgeführt, um über ihre Langlebigkeit tatsächlich Aufschluss geben zu können. Aber die wenigen Beispiele, welche über längere Zeit beobachtet worden sind, zeigen mehr durchwachsene Ergebnisse. Beispiele 3 und 4 im Buschlagenbau und die Holzkrainerwand Beispiel 4 sind nach über zwanzig Jahren

noch immer voll funktionsfähig mit nur kleineren Mängeln. Im Gegensatz dazu waren Beispiel 1 der Spreitlagen und Beispiel 1 der Steinschüttungen nach über zehn Jahren wenig erfolgreich. Der Versuch die Erosion in einem Wildbach durch Sohlschwellen zu stoppen ist sogar komplett gescheitert, wobei das Bauwerk allerdings nach über 40 Jahren zumindest noch immer die Aufgabe der Hochwasserableitung erfüllt.

Trotzdem können diese Beispiele allgemein keine aussagekräftigen Ergebnisse zum Thema Langlebigkeit von ingenieurb biologischen Bauwerken liefern. Dazu sind zu viele Faktoren unbekannt. Zunächst einmal sind die Belastungen, die auf die verschiedenen Bauweisen wirken, komplett verschieden. Die Lebenszeit einer Ansaat kann nicht mit der, von einer Holzkrainerwand gleich behandelt werden. So müssten die Beobachtungen zur Langlebigkeit speziell von Bauwerk zu Bauwerk analysiert und aufgeführt werden. Dies war in dieser Arbeit nicht möglich, da die Entwicklung der Praxisbeispiele jeweils in ganz unterschiedlichen Zeiträumen betrachtet wurde.

Auch Bauwerke aus Totholz können durch zusammen eingebrachte lebende Gehölze oder Pflanzen eine weit längere Haltbarkeit erreichen. Dabei sollen die eingesäten oder eingepflanzten Arten die Funktion der Konstruktion übernehmen sobald sie groß genug sind um eine vergleichbare Stützfunktion zu bieten. So zerfällt das Bauwerk nicht wenn das Totholz morsch ist, sondern wird weiterhin von den angewachsenen lebenden Arten getragen, die, mit der richtigen Pflege, ebenfalls ein hohes Alter erreichen können. Trotzdem muss das Totholzbauwerk so lange stützen bzw. stabilisieren, wie die dazu eingebrachten Arten brauchen um die jeweilige Last zu tragen.

Also spielt die Pflege bei der Erhaltung naturnaher Bauwerke eine große Rolle. So können die Maßnahmen ihre größte Wirkung nicht entfalten, wenn die Entwicklung nicht regelmäßig kontrolliert wird. Angepflanzte Arten können absterben oder verdrängt, Faschinen bei Unwettern unterspült werden. Kleinere Mängel können in der Anfangszeit noch schnell behoben werden, aber dazu müssen sie erst einmal erkannt werden. Ob die Bauweisen unter Punkt 6 regelmäßig kontrolliert und gepflegt wurden, ist nicht immer festgehalten. Die Berichte beschäftigen sich oft nur mit den Endergebnissen. Eine detaillierte Aufführung der Pflegeeinsätze fehlt oft.

Im ersten Beispiel der Sohlswellen (vgl. Bönecke 1995, S.5-10) wird ganz klar aufgeführt, dass sich die Verbauungen nach über 40 Jahren in einem sehr schlechten Zustand befinden und ohne Pflege nicht mehr lange erhalten bleiben. Dennoch muss man sich hier vor Augen führen, dass dieses Bauwerk, nach über 40 Jahren ohne Pflege und etlichen Wildbachereignissen, noch immer teilweise seine Funktion erfüllen konnte. Zu der Zeit seines Baus in den fünfziger Jahren, waren die Erkenntnisse zur Ingenieurbilogie noch wesentlich weniger ausgereift. Der Planer selbst, erkannte seine Fehler noch während der Fertigstellung des Baus an und berichtete sich kurz danach bei einem ähnlichen Bauwerk selbst. (vgl. Bönecke 1995, S.5-10)

Zusätzlich zu der Unerfahrenheit früherer Bauwerke muss ebenfalls beachtet werden, dass anschließende Pflegeeinsätze meist nicht erfolgt sind, da das Geld dafür fehlte oder gar nicht erst eingeplant wurde. (vgl. Bönecke 1995, S.5-10) Bekannt ist, dass es für einige ingenieurbilogische Bauwerke möglich ist, sich bei Erreichen eines Optimalzustandes weitgehend selbst zu erhalten. Da naturnahe Bauweisen heute, aufgrund des größeren Wissens, sehr viel besser an ihre Umgebung angepasst und außerdem Pflegepläne häufig bereits bei der Planung detailliert ausgearbeitet werden, kann allgemein mit einer weitaus größeren Lebensdauer gerechnet werden, als bei älteren Bauwerken.

Viele Mängel früherer ingenieurbilogischer Bauwerke beruhten auf fehlenden Erfahrungen mit den Bauweisen oder Fehleinschätzungen der Standorte. Die Ingenieurbilogie hat sich im Laufe der Jahre durch Erkenntnisgewinn und auch über „gescheiterte“ Bauweisen, ergänzt. Durch die Orientierung an natürlich vorhandenen Formen und Materialien werden bekannte Bauweisen, wie das Beispiel der Schneckenbuhnen (vgl. Huber 2009, S.5-10) beweist, stetig weiterentwickelt und optimiert; meist mit Erfolg. So sind „Schwebende Faschinen“ (Punkt 6.2.3 Beispiel 1) und „Schneckenbuhnen (Punkt 6.2.4 Beispiel 5) Beweise dafür, dass die Bauweisen auch aktuell angepasst, verändert und verbessert werden.

Inzwischen ist die Ingenieurbilogie beim Erosionsschutz nicht mehr weg zu denken. Der Erfolg spricht dabei für sich, hier werden nicht nur Sicherungsmaßnahmen durchgeführt, die innerhalb kurzer Zeit fähig sind Erosionen zu verhindern, sondern sich

auch nach Jahrzehnten weitestgehend selbst überlassen werden können, da lebende Systeme anders als tote Bauwerke zur Selbstregulation fähig sind.

Neben der reinen Sicherungsfunktion sind viele ingenieurbioologische Bauweisen zusätzlich fähig einen positiven Effekt auf ihre Umgebung, den Boden, das Mikroklima oder den Wasserhaushalt zu bewirken. Beispiele dazu gibt es unter Punkt 6. So wird es durch das Einbringen von Implantaten in kargen Gegenden mit extremen Wetterverhältnissen ermöglicht, dass sich andere geeignete Arten aus der Umgebung leichter am Standort verbreiten können. (vgl. Schutz 2002, S.10-13) Dies erhöht die Vielfalt. Oder an Stellen ohne Rohboden können durch das Nasssaatverfahren Gräser und Kräuter angepflanzt werden, die dazu beitragen einen Oberboden zu bilden. (vgl. Flasche / Hacker 1995, S.39-41) Damit wird der Standort für verschiedenste Pflanzenarten attraktiver. Durch das gezielte Einbringen von Buhnen kann, neben der Sicherung der Ufer, die natürliche Dynamik in Flüssen erhöht oder wiederhergestellt werden. (vgl. Florineth 2002, S. 4-11) Schließlich kann durch eingebrachte Gehölze (z. B. bei Heckenlagen) neben der Sicherung auch ein Klimaausgleich entstehen, der die Etablierung verschiedener Vegetationsschichten ermöglicht. (vgl. Schütz / Neukirchen 2010, S.4-13)

Diese aufgezählten Bauwerke sind ursprünglich zum Zweck der Stabilisierung oder des Schutzes im Erdbau oder Wasserbau entworfen worden. Sekundär wirken sie auf verschiedene Art positiv auf ihre Umgebung ein. Solche zusätzlichen Effekte schaffen herkömmliche technische Bauwerke nicht. Sie bekämpfen nur die Symptome anstatt etwas gegen die Ursachen von Erosionen zu tun. Außerdem stören sie oft durch ihre Beschaffenheit den Naturhaushalt und die Ansicht im Landschaftsbild. Die Ingenieurbioologie vermag im Gegensatz dazu sowohl die Symptome für Erosionen und Rutschungen zu bekämpfen, als auch gezielt etwas gegen die Ursachen für selbige zu unternehmen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ingenieurbioologie in einigen Bereichen den herkömmlichen Bauwerken unterlegen ist, sie aber trotzdem gut ergänzt. Dafür können die naturnahen Bauweisen einen starken positiven Effekt auf ihre direkte Umgebung haben, was bei künstlichen Bauweisen nicht möglich ist. Trotz einigen

Schwächen lassen sich viele Bauweisen modifizieren, um an verschiedensten Standorten verwendbar zu sein. Dank überlegter Pflege und den bisher erlangten Erfahrungen werden die Bauwerke auch zukünftig langlebiger und effektiver in ihrer Funktion. Somit ist für es wahrscheinlich, dass die Ingenieurbiologie bei der Sicherung stetig weiter in den Vordergrund rücken wird. Eventuell werden sogar neue Methoden entwickelt, durch die einige ingenieurbiologische Bauwerke statisch belastbarer werden. Sicher ist, der Ingenieurbiologie wird bei schwierigen Aufgaben vertraut – und das mit Recht.

Literaturverzeichnis

Primärliteratur:

Bergmeister, K.; Hübl, J.; Rudolf-Miklau, F.; Suda, J.; Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren – Grundlagen, Entwurf und Bemessung. Beispiele. 1. Aufl. Berlin : Ernst & Sohn, 2009

Böll, A.; Gerber, W.; Graf, F.; Rickli, C.; Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Rensenverbau. 1. Aufl. Birmensdorf : Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 1999

Patt, H. (Hrsg.); Bechteler, W.; Brombach, H.; Dillmann, R.; Fröhlich, K.-D.; Jürging, P.; Kron, W.; Niekamp, O.; Nujic, M.; Richwien, W.; Rother, K.-H.; Vogel, G.; Vogt, R.; Hochwasser-Handbuch – Auswirkungen und Schutz. 1. Aufl. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2001

Patt, H.; Jürging, P.; Kraus, W.; Naturnaher Wasserbau – Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. 1. Aufl. Berlin ; Heidelberg : Springer, 1998

Schiechtl, H. M.; Stern, R.; Naturnaher Wasserbau – Anleitung für ingenieurbio-logische Bauweisen. 1. Aufl. Berlin : Ernst & Sohn, 2002

Zeh, H.; Ingenieurbiologie: Handbuch Bautypen. 1. Aufl. Zürich : vdf Hochschulverlag, 2007

Aufsatz aus Sammelband:

Theobald, J.; Kuttler, W.: Biologischer Schallschutz in der Stadt. In: Kommunalverband Ruhrgebiet (Hrsg.): Klima und Lufthygiene als Planungsfaktoren. Planungshefte Ruhrgebiet, P0 20, 1988, S. 101-119.

Gesetze und Verordnungen:

Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 31.07.2009, zuletzt geändert am 31.08.2015

Richtlinien:

Europäische Föderation für Ingenieurbilogie; Europäische Richtlinie für Ingenieurbilogie, Januar 2015

DIN-Normen:

DIN 18 918 Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Ingenieurbilogische Sicherungsbauweisen – Sicherungen durch Ansaaten, Bepflanzungen, Bauweisen mit lebenden und nicht lebenden Bauteilen, kombinierte Bauweisen, 2002-08

Leitfaden:

WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH (Hrsg.): Ingenieurbilogische Bauweisen an Fließgewässern, Teil 1. Leitfaden für die Praxis. Karlsruhe: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2013

Fachzeitschriftenartikel:

Andrey, C.; Streit, M.: Anssat von schwer zugänglichen Flächen mittels Helikoptersaat – am Beispiel des Schutzdammes I.Arlé in Mottec (VS). In: Ingenieurbilogie – Hochlagenbegrünung, Mitteilungsblatt Nr. 1, April 2005, S. 9-11

Bönecke, G.: Überlegungen zu einer 40 Jahre alten Wildbachverbauung von Prof. Dr.-

Ing. Eduard Kirwald. In: Gesellschaft für Ingenieurbioogie e.V. April 1995, Mitteilungen 4, S. 5-10

Brügger, M.: Bühnen in der Sense (c). In: Ingenieurbioogie – Ingenieurbioogie in der Gemeinde, Mitteilungsblatt Nr. 1, April 2002, S. 13-14

Brügger, M.: Schwebende Uferfaschinen (d). In: Ingenieurbioogie – Ingenieurbioogie in der Gemeinde, Mitteilungsblatt Nr. 1, April 2002, S. 15-16

Eberle, A.: Sanierung der Püschelrunse am Flüelapass. In: Ingenieurbioogie – Hilfsstoffe in der Ingenieurbioogie, Mitteilungsblatt Nr. 4, Dezember 2002, S. 18-23

Flasche, P.; Hacker, E.: Sicherung einer sehr steilen Straßenböschung. In: Gesellschaft für Ingenieurbioogie e.V. April 1995, Mitteilungen 4, S. 39-41

Florineth, F.: Langjährige Hangsicherungen durch bepflanzte Holzkrainerwände in Südtirol. In: Ingenieurbioogie – Hang- und Böschungssicherung, Mitteilungsblatt Nr. 3/2014, Juni 2015, S. 4-9

Florineth, F.: Restrukturierungsmaßnahmen am Mödlingbach im Stadtgebiet Mödling in Niederösterreich. In: Ingenieurbioogie – Renaturierung von Fließgewässern, Mitteilungsblatt Nr. 2, Juli 2002, S. 4-11

Grässer, M.: Neue Erkenntnisse für den Einsatz von Heckenbuschlagen. In: Ingenieurbioogie – Ingenieurbioogie bei Rekultivierungen, Mitteilungsblatt Nr. 2, Juni 1995, S. 16-20

Grohmann, J.; Moser, M.: Ingenieurbioogie im Lössgebiet – Ein Pilotprojekt am periodisch trockenfallenden Putzinger Graben im Weinviertel. In: Ingenieurbioogie – Beispiele ingenieurbioogischer Hangverbauungen, Nr. 2, Juli 2001, S. 20-24

Hainz, A.; Arnold, A.: Untersuchung und ökologische Bewertung der ingenieurbioogischen Sicherungsbauweisen an der Ems bei Rietberg. In: Gesellschaft

für Ingenieurbiologie e.V. Juli 2000, Mitteilungen 16, S. 35-41

Huber, A.; Jud, M.: Bätzimatt am Zürcher Obersee – Rettung einer Insel vor der Wellenerosion. In: Ingenieurbiologie – Integrales Flussgebietsmanagement, Mitteilungsblatt Nr. 2, November 2009, S. 35-40

Huber, U.: Schneckenbuhnen am Suhrenknie. In: Ingenieurbiologie - „Flussbau im Fluss“ Uferschonende Methoden in und an Fließgewässern, Mitteilungsblatt Nr. 3, September 2009, S. 5-10

Iseli, C.: Ingenieurbiologische Schilf- und Uferschutzmaßnahmen am Bielersee. In: Ingenieurbiologie – Bauen mit lebenden Pflanzen, Mitteilungsblatt 1/92, 1992, S. 11-14

Jakober, M.: Ingenieurbiologie im Einzugsgebiet von Wildbächen – ein Fallbeispiel aus dem Kanton Zug. In: Ingenieurbiologie – Fließgewässer im alpinen Raum: Möglichkeiten und Grenzen der Ingenieurbiologie, Mitteilungsblatt Nr. 2, September 2014, S.16-23

Karl, S.: Das Marchfeldprojekt. In: Ingenieurbiologie – Bauen mit lebenden Pflanzen, Mitteilungsblatt 3/92, 1992, S. 8-12)

Kurz, B.; Schütz, W.: Das Speicherkraftwerk Kartell Moostal – Verwall – Westtirol. In: Ingenieurbiologie – Hochlagenbegrünung, Mitteilungsblatt Nr. 3, September 2012, S. 40-49

Meylan, S.; Meisser, C.; Ferretti, S.: Ausgleichsmaßnahmen an der Rhone: Beschreibung des Projektes von Planfonds. In: Ingenieurbiologie -Renaturierung der Fließgewässer in Genf, Nr. 1, März 2001, S. 22-28

Müller, B.; Schmocker, P.: Uferschutzmassnahmen am Bielersee: Konstruktion und Erfolgskontrolle. In: Ingenieurbiologie – Potential und Grenzen der Ingenieurbiologie, Mitteilungsblatt Nr. 3+4, September 2005, S. 4-7

Pagnoncini, C.: Sanierung der Rutschfläche „Grosswies“ in Pfäfers. In: Ingenieurbiologie – Ingenieurbiologie im Wald, Mitteilungsblatt Nr. 4, Dezember 1997, S. 13-17

Pagnoncini, C.: Zwanzig Jahre Erfahrung in der Hangstabilisierung „Ellrüfi“ in Fläsch, Graubünden. In: Ingenieurbiologie – Böschungssicherung und -begrünung, Mitteilungsblatt Nr. 4, Dezember 2007, S. 13-16

Rossi, D.: Flachwasserschüttung Choller. In: Ingenieurbiologie – Wasserbau und Schilfschutz im Kanton Zug, Mitteilungsblatt Nr. 1, April 2012, S. 8-11

Schütz, W.; Neukirchen, M.: Heckenbuschlagenbau als ingenieurbiologische Hangsicherungsmassnahme. In: Ingenieurbiologie – Lebenszyklen ingenieurbiologische Verbauungen, Mitteilungsblatt Nr. 4, Dezember 2010, S. 4-13

Schutz, M.: Naturnahe Hochlagenbegrünung: Das Implantierungsverfahren in der Praxisanwendung. In: Ingenieurbiologie – Hilfsstoffe in der Ingenieurbiologie, Mitteilungsblatt Nr. 4, Dezember 2002, S. 10-13

Siegenthaler, M.; Rieder, U.: Erosionsschutz Lawinenverbauung Glatthorn. In: Ingenieurbiologie – Hochlagenbegrünung – Begrünersymposium 2013, Mitteilungsblatt Nr. 3, September 2013, S. 21-25

Stocker, M.; Weber, H.-U.: Gewässerpflege an der Thur. In: Ingenieurbiologie Mitteilungsblatt 1, März 1995, S.19-21

Subatzus, A.: Puhlstromsanierung auf neuen Wegen. In: Gesellschaft für Ingenieurbiologie e. V. April 2013, Mitteilungen 39, S. 2-17

Tognini, F.: Hochlagenbegrünung beim Lawinenverbauungsprojekt Pizzo Erra – Anzonico – Kanton Tessin. In: Ingenieurbiologie -Standortgerechte und umweltschonende Begrünungsmaßnahmen in Hochlagen, Mitteilungsblatt Nr. 3, August 2002, S. 14-21

von Albertini, N.; Regli, L.: Erfolgreiche Begrünungsmethode beim Bau der Julierpassstasse. In: Ingenieurbiologie – Hochlagenbegrünung, Mitteilungsblatt Nr. 3, September 2012, S. 12-22

von der Stein, M.: Pflanzeneinsatz bei der Regenwasserrenaturierung – eine ingenieurbiologische Aufgabe? In: Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. April 1997, Mitteilungen 9, S. 33-37

Weidmann, P.; Eichenberger R.: Vegetative Erosionsschutzmassnahmen in Hochlagen. Eine Herausforderung in Celerina im Oberengadin. In: Ingenieurbiologie – Ingenieurbiologie in Graubünden, Mitteilungsblatt Nr. 2, Mai 2005, S. 6-14

Weinbach, E.: Auflassung und Verlegung des Mühlbaches in der Gemeinde Venningen, Vorderpfalz. In: Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. April 1995, Mitteilungen 4, S. 34-36

Weissmann-Zeh, I.: Ein neues Bett für die Worble in Ittigen. In: Ingenieurbiologie – Auenschutzpark Aargau, Nr. 1, April 2000, S. 34-37

Zeh, H.: Wiederbelebung des Dorfbaches in Hindelbank. In: Ingenieurbiologie – Ingenieurbiologie in der Entwicklungszusammenarbeit, Mitteilungsblatt Nr. 3, September 1996, S. 24-25

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Subatzus, A.: Puhlstromsanierung auf neuen Wegen. In: Gesellschaft für Ingenieurbiologie e. V. April 2013, Mitteilungen 39, S. 6
- Abb. 2: Pagnoncini, C.: Sanierung der Rutschfläche „Grosswies“ in Pfäfers. In: Ingenieurbiologie – Ingenieurbiologie im Wald, Mitteilungsblatt Nr. 4, Dezember 1997, S. 14
- Abb. 3: Tognini, F.: Hochlagenbegrünung beim Lawinenverbauungsprojekt Pizzo Erra – Anzonico – Kanton Tessin. In: Ingenieurbiologie -Standortgerechte und umweltschonende Begrünungsmaßnahmen in Hochlagen, Mitteilungsblatt Nr. 3, August 2002, S. 18
- Abb. 4: Hainz, A.; Arnold, A.: Untersuchung und ökologische Bewertung der ingenieurb biologischen Sicherungsbauweisen an der Ems bei Rietberg. In: Gesellschaft für Ingenieurb iologie e.V. Juli 2000, Mitteilungen 16, S. 39
- Abb. 5: Huber, A.; Jud, M.: Bätzimatt am Zürcher Obersee – Rettung einer Insel vor der Wellenerosion. In: Ingenieurb iologie – Integrales Flussgebietsmanagement, Mitteilungsblatt Nr. 2, November 2009, S. 37
- Abb. 6: Rossi, D.: Flachwasserschüttung Choller. In: Ingenieurb iologie - Wasserbau und Schilfschutz im Kanton Zug, Mitteilungsblatt Nr. 1, April 2012, S. 9
- Abb. 7: Brügger, M.: Schwebende Uferfaschinen (d). In: Ingenieurb iologie – Ingenieurb iologie in der Gemeinde, Mitteilungsblatt Nr. 1, April 2002, S. 15
- Abb. 8: Florineth, F.: Restrukturierungsmaßnahmen am Mödlingbach im Stadtgebiet Mödling in Niederösterreich. In: Ingenieurb iologie – Renaturierung von Fliessgewässern, Mitteilungsblatt Nr. 2, Juli 2002, S. 10

- Abb. 9: Huber, U.: Schneckenbuhnen am Suhrenknie. In: Ingenieurbiologie - „Flussbau im Fluss“ Uferschonende Methoden in und an Fließgewässern, Mitteilungsblatt Nr. 3, September 2009, S. 8
- Abb. 10: Bönecke, G.: Überlegungen zu einer 40 Jahre alten Wildbachverbauung von Prof. Dr.-Ing. Eduard Kirwald. In: Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. April 1995, Mitteilungen 4, S. 8
- Abb. 11: Iseli, C.: Ingenieurbiologische Schilf- und Uferschutzmaßnahmen am Bielersee. In: Ingenieurbiologie – Bauen mit lebenden Pflanzen, Mitteilungsblatt 1/92, 1992, S. 13

Anhang

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt habe.