



# INGENIEURBIOLOGIE GÉNIE BIOLOGIQUE INGEGNERIA NATURALISTICA INSCHENIERA BIOLOGICA



**INNOVATIVE ARBEITSMITTEL  
UND NEUE TOOLS**

**MOYENS DE TRAVAIL INNOVANTS  
ET NOUVEAUX OUTILS**

**STRUMENTI DI LAVORO NUOVI  
E INNOVATIVI**

# Inhalts- verzeichnis

## **Titelbild/Frontispice:**

*Frontseite: Gestützt auf eine webbasierte Entscheidungshilfe-Software wurden bei der Revitalisierung des grobmaterialreichen Selbbaches in Oberfranken geneigte Lebendfaschinen und Setzstangen eingebaut (Foto: StowasserService GmbH & Co. KG).*

*Rückseite: Verlegte Holzwollevliese zur Böschungssicherung in der Ostschweiz (Foto: Lindner Suisse GmbH).*

*Couverture recto: Avec le soutien d'un logiciel d'aide à la décision en ligne, des fascines vivantes inclinées et des plançons ont été installés lors de la revitalisation du Selbach, un cours d'eau riche en matériaux grossiers, en Haute-Franconie (photo : StowasserService GmbH & Co. KG).*

*Couverture verso: Pose de la natte en laine de bois pour la consolidation de pentes en Suisse orientale (Photo : Lindner Suisse GmbH).*

*Prima pagina: Con il supporto di un software di supporto decisionale online, nell'ambito della rivitalizzazione del Selbach, un corso d'acqua dell'Alta Franconia ricco di materiale grossolano, sono state messe in opera delle fascine vive e delle talee. (Foto: StowasserService GmbH & Co. KG).*

*Retro: Stabilizzazione di pendii nella Svizzera orientale con stuoia di lana di legno (Foto: Lindner Suisse GmbH).*

**3**

*Editorial*

*Roland Scheibli*

**5**

*Digitale Ingenieurbiologie*

*Andreas Stowasser*

**12**

*Nachhaltiger Erosionsschutz mit  
Holzwolle und naturgemässer Begrünung*

*Thomas Wildberger*

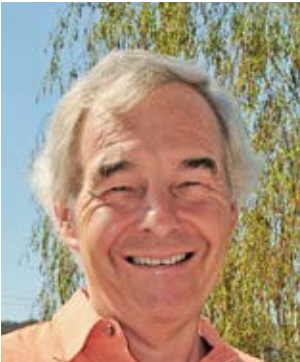
*Imad Lifa*

*Andreas Bosshard*

**22**

*Evaluation von Massnahmen zur  
Wiederansiedelung der Fluss-Perlmuschel*

*Isidor Storchenegger*



# Editorial

Roland Scheibli

**Begrünungen Hunn**  
Mit der Natur als Partner

Begrünungen  
Samenmatten  
Sedumatten

Erosionsschutz  
und  
Böschungsbegrünung

Begrünungen Hunn AG  
Pilatusstrasse 14, 5630 Muri  
[www.begrueenungen-hunn.ch](http://www.begrueenungen-hunn.ch)

## Liebe Leserin, lieber Leser

Der Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen der Menschheit ist eine zentrale gesellschaftliche Herausforderung. Klimatische Veränderungen, die Abnahme der biologischen Vielfalt sowie die sinkende Qualität von Böden und Gewässern zwingen uns zu einem umweltbewussten Handeln. Das Instrumentarium der Ingenieurbiologie entspricht diesen Anforderungen bereits seit vielen Jahrzehnten. Lebende Pflanzen wurden in unterschiedlichsten Klimazonen und Landschaften für Bau- und Sicherungsaufgaben eingesetzt. Aber auch diese bewährten ingenieurbioologischen Massnahmen brauchen neue Impulse in Form von innovativen Arbeitsmitteln und neuen Tools, um weiterhin erfolgreich eingesetzt werden zu können. Durch gezielte Weiterentwicklung der ingenieurbioologischen Bauweisen oder lokale Anpassungen bei der Pflanzenwahl können negative Einflüsse des Klimawandels vermieden und die Biodiversität gefördert werden.

Der Artikel zur digitalen Ingenieurbiologie zeigt, wie das jahrhundertealte Wissen über Ingenieurbiologie systematisiert, datenbankgestützt aufbereitet und mit aktuellen Ergebnissen aus Forschung und Wissenschaft verknüpft wurde. Die entsprechende Software erleichtert die Auswahl, Planung und Ausschreibung ingenieurbioologischer Bautechniken im Wasserbau.

In einem Forschungsprojekt der Fachhochschule Graubünden wurde die Eignung von Holzwollevliesen in Kombination mit hochwertigen, lokal gewonnenen Saatgutmischungen im Hinblick auf die Erosionsschutzwirkung untersucht. Im Beitrag, welcher die Resultate dieses Projektes zusammenfasst, wird aufgezeigt, dass durch die Verwendung lokaler Rohstoffe und Pflanzenmaterialien einerseits keine unerwünschten Organismen eingeschleppt werden und andererseits auch dem Artenschwund entgegengewirkt werden kann.

Angeregt durch eine Diplomarbeit, die sich Massnahmen zur Wiederansiedlung der Flussperlmuschel in der Lüneburger Heide widmete, wurden an der Universität Rostock hydraulische Kriterien zur Variantenwahl erarbeitet. Das Beispiel im Artikel konkretisiert einerseits die Anwendung des Problemlösungszyklus des Systems Engineering und macht andererseits den Umgang mit der Hydraulik der Gewässer mit Gehölzsäumen vertraut, indem es aufzeigt, wie eine hydraulische Analyse der Entscheidung in der Akzeptanzdiskussion dienen kann.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre und Inspirationen zur Zukunft der Ingenieurbiologie.

Roland Scheibli

### Chère lectrice, cher lecteur,

La conservation des bases naturelles de la vie humaine est un défi social central. Les changements climatiques, la diminution de la biodiversité ainsi que la baisse de la qualité des sols et des eaux nous obligent à agir dans le respect de l'environnement. Les outils du génie biologique répondent à ces exigences depuis de nombreuses décennies déjà. Les plantes vivantes ont été utilisées dans une grande variété de zones climatiques et de paysages pour des tâches de construction et de protection. Mais même ces mesures de génie biologique éprouvées ont besoin de nouvelles impulsions sous forme d'outils de travail innovants et de nouveaux outils pour pouvoir continuer à être utilisées avec succès. Un développement ciblé des méthodes de génie biologique ou des adaptations locales dans le choix des plantes peuvent éviter l'impact négatif du changement climatique et favoriser la biodiversité.

L'article sur le génie biologique numérique montre comment les connaissances séculaires sur le génie biologique ont été systématisées, préparées à l'aide d'une base de données et reliées aux résultats actuels de la recherche et de la science. Le logiciel correspondant facilite le choix, la planification et l'appel d'offres des techniques de génie biologique dans le domaine de la construction hydraulique.

Dans le cadre d'un projet de recherche de la Haute école spécialisée des Grisons, l'aptitude de nattes en laine de bois combinés à des mélanges de semences de haute qualité d'origine locale a été étudiée quant à leur effet de protection contre l'érosion. L'article, qui résume les résultats de ce projet, montre que l'utilisation de matières premières et de matériaux végétaux locaux permet d'une part de ne pas introduire d'organismes indésirables et d'autre part de lutter contre la disparition des espèces.

Stimulée par un travail de diplôme consacré aux mesures de réintroduction de la moule perlière d'eau douce dans la lande de Lunebourg, l'université de Rostock a développé des critères hydrauliques pour le choix des variantes. L'exemple présenté dans l'article concrétise d'une part l'application du cycle de résolution de problèmes de l'ingénierie des systèmes et familiarise d'autre part avec l'approche de l'hydraulique des cours d'eau aux bordures boisées, en montrant comment une analyse hydraulique peut servir à la prise de décision dans le cadre d'une discussion sur l'acceptation.

Je vous souhaite une lecture intéressante et des inspirations pour l'avenir du génie biologique.

Roland Scheibli

### Cara lettrice, caro lettore

il mantenimento delle risorse naturali preservare le basi naturali della vita umana è una sfida centrale della società. I cambiamenti climatici, la perdita di biodiversità e la diminuzione della qualità dei suoli e delle acque ci obbligano ad agire con consapevolezza ambientale. Gli strumenti dell'ingegneria naturalistica rispondono a queste esigenze da molti decenni. Le piante vive sono state utilizzate in una grande varietà di climi e paesaggi nell'ambito della costruzione e della protezione. Ma anche queste misure collaudate di ingegneria naturalistica hanno bisogno di nuovi impulsi sotto forma di metodi di lavoro innovativi e nuovi strumenti per continuare ad essere impiegate con successo. Attraverso un ulteriore sviluppo mirato dei metodi di costruzione dell'ingegneria naturalistica o degli adattamenti locali nella selezione delle piante, si possono evitare le conseguenze negative del cambiamento climatico e si può promuovere la biodiversità.

L'articolo sull'ingegneria naturalistica digitale mostra come le conoscenze secolari in questo campo sono state sistematizzate, elaborate con il supporto di database e collegate ai risultati attuali della ricerca e della scienza. Il software corrispondente facilita la selezione, la pianificazione e l'offerta di tecniche di costruzione di ingegneria naturalistica nel settore dell'ingegneria idraulica.

In un progetto di ricerca dell'Università di Scienze Applicate dei Grigioni, è stata studiata l'idoneità delle stuoie di lana di legno in combinazione con miscele di semi di alta qualità di provenienza locale per quanto riguarda l'effetto sul controllo dell'erosione. L'articolo, che riassume i risultati di questo progetto, mostra che, da un lato, utilizzando materie prime e vegetazione locale non vengono introdotti organismi indesiderati e, dall'altro, si può contrastare la perdita di specie.

Basandosi su una tesi di diploma dedicata alle misure per la reintroduzione della cozza perlata d'acqua dolce nella landa di Luneburgo, presso Amburgo, all'Università di Rostock sono stati sviluppati i criteri idraulici per la selezione delle varianti. Da un lato, l'esempio dell'articolo concretizza l'applicazione delle tecniche di problem-solving dell'ingegneria dei sistemi e, dall'altro, presenta la gestione dell'idraulica dei corsi d'acqua con zone golenali, mostrando come un'analisi idraulica può servire alla decisione nell'ambito di una discussione di accettazione.

Vi auguro una lettura interessante e di trarne ispirazione per il futuro dell'ingegneria naturalistica.





Roland Scheibli

# Digitale Ingenieur- biologie

Andreas Stowasser



Unser Beratungs- und Ausführungsteam begleitet Ihre Projekte mit 55 Jahren Know-how.

- 
**Ansaat**  
 Wir begrünen alle Flächen und Böschungen in jedem Gelände und an jedem Standort.
- 
**EcoTex®-Geotextilien als Erosionsschutz**  
 Wir liefern und verlegen Geotextilien aus Kokosfasern oder Jute; natürlich und biologisch abbaubar.
- 
**Sedummatten**  
 Sie suchen vorkultivierte, sofort verlegbare Sedummatten für die extensive Begrünung von Böschungen, Verkehrsinseln, Garten- und Rasenabschlüssen oder Garagen und Carports? Wir liefern sie.
- 
**Ingenieurbiologie**  
 Wir sind Ihr Ansprechpartner für verschiedene Stützkonstruktionen für Uferzonen und Böschungen.

Mehr Informationen und interessante Referenzobjekte finden Sie auf unserer Internetseite [www.hydrosaart.ch](http://www.hydrosaart.ch).

Senden Sie uns eine Mail an [hydrosaart@hydrosaart.ch](mailto:hydrosaart@hydrosaart.ch) oder rufen Sie uns an unter 026 322 45 25. Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme!



## Zusammenfassung

«Das jahrhundertealte Wissen über Ingenieurbiologie systematisieren, datenbankgestützt aufbereiten und mit aktuellen Ergebnissen aus Forschung und Wissenschaft verknüpfen» – daran arbeitet die StowasserService GmbH & Co. KG aus Radebeul bei Dresden. Bereits seit 2012 ist die Software für Ingenieurbiologie – SOFIE® zur fachgerechten Auswahl ingenieurbiologischer Bauweisen mit vielfältigen Hintergrundinformationen am Markt. Dem webbasierten Entscheidungsunterstützungssystem [Decision Support System, DSS] liegt der methodische Ansatz nach STOWASSER [2011] zu Grunde, wobei zur Definition der Rahmenbedingungen am Einbauort 15 maßgebliche Faktoren zu definierten sind, um ein Anforderungsprofil der spezifischen Ausgangsbedingungen zu erstellen. Entsprechend der jeweiligen Eigenschaften der verschiedenen Bauweisen kann damit datenbankgestützt deren Eignung anhand dieser Faktoren am spezifischen Einbauort ermittelt werden.

Sowohl für Einsteiger als auch erfahrene Ingenieurbiologen werden Planungs-, Entscheidungs- und Arbeitsprozesse erheblich beschleunigt, nachvollziehbar gestaltet und erleichtert.

Derzeit befindet sich die Anwendung in Überarbeitung und wird voraussichtlich ab September 2022 für den mobilen Einsatz und endgeräteunabhängig programmiert zur Verfügung stehen.

## Keywords

SOFIE, Software für Ingenieurbiologie, Entscheidungsunterstützungssystem, Bauweisenauswahl, Bauweiseneignung



Abb. 1: Digital aufbereitetes und damit einfach und schnell verfügbares Wissen über Ingenieurbiologie im naturnahen Wasserbau.

Fig. 1 : Connaissances sur le génie biologique dans l'aménagement hydraulique proche de la nature, préparées numériquement et donc facilement et rapidement disponibles.

## Génie biologique numérique

### Résumé

« Systématiser les connaissances séculaires sur le génie biologique, les préparer à l'aide d'une base de données et les relier aux résultats actuels de la recherche et de la science » - c'est ce à quoi s'emploie la société Stowasser-Service GmbH & Co. KG de Radebeul près de Dresde. Depuis 2012 déjà, le logiciel de génie biologique - SOFIE® - est disponible sur le marché pour la sélection conformément aux règles de l'art de méthodes de construction de génie biologique avec de nombreuses informations de fond. Le système d'aide à la décision basé sur le web [Decision Support System, DSS] est basé sur l'approche méthodologique d'après STOWASSER [2011], où 15 facteurs déterminants doivent être définis pour établir les conditions-cadres sur le site d'installation afin de créer un profil d'exigences des conditions initiales spécifiques. En fonction des caractéristiques respectives des différentes méthodes de construction, il est ainsi possible de déterminer, à l'aide d'une base de données, leur adéquation sur le lieu d'installation spécifique à l'aide de ces facteurs. Pour les débutants comme pour les spécialistes de génie biologique expérimentés, les processus de planification, de décision et de travail sont considérablement accélérés, rendus compréhensibles et facilités. L'application est en cours de révision et il est prévu qu'elle soit disponible à partir de septembre 2022 pour une utilisation mobile et programmée indépendamment des terminaux.

### Mots-clés

SOFIE, logiciel pour génie biologique, système d'aide à la décision, choix des méthodes de construction, aptitude des méthodes de construction

## Ingegneria naturalistica digitale

### Riassunto

“Sistematizzare le conoscenze secolari di ingegneria naturalistica, elaborarle con il supporto di banche dati e collegarle ai risultati attuali della ricerca e della scienza” - ecco a cosa sta lavorando la StowasserService GmbH & Co. KG di Radebeul vicino a Dresda. Il software per l'ingegneria naturalistica SOFIE®, per la selezione professionale dei metodi di costruzione di ingegneria naturalistica con diverse informazioni di base, è sul mercato dal 2012. Il sistema di supporto decisionale [Decision Support System, DSS], basato sul web, si basa sull'approccio metodico

secondo STOWASSER [2011], in cui devono essere definiti 15 fattori per la definizione delle condizioni quadro nel sito di progetto. L'obiettivo è di creare un profilo dei requisiti necessari delle specifiche condizioni locali. Secondo le rispettive proprietà dei diversi metodi di costruzione, la loro idoneità al sito di progetto può infatti essere determinata con l'aiuto di un database.

In questo modo la pianificazione, il processo decisionale e il lavoro sono notevolmente accelerati, resi comprensibili e facilitati, sia per i principianti che per gli specialisti in ingegneria naturalistica.

L'applicazione è attualmente in fase di revisione generale e dovrebbe essere disponibile da settembre 2022 per l'uso mobile e programmata indipendentemente dai dispositivi utilizzati.

### Parole chiave

SOFIE, Software per l'ingegneria naturalistica, sistema di supporto decisionale, scelta delle tecniche costruttive, idoneità per il sito

### Einleitung

Klimaschutz, schonender Umgang mit den knappen Ressourcen, gestiegenes Umweltbewusstsein: Ingenieurbiologie kann zur Lösung vieler aktueller Fragestellungen beitragen. Bei der naturnahen Ufersicherung und nachhaltigen Aufwertung der Gewässerstruktur nehmen ingenieurbiologische Bauweisen eine Schlüsselposition ein (vgl. Abbildung 2). Unter den anliegenden Restriktionen und Nutzungsansprüchen, mit denen unsere Fließgewässer um Raum konkurrieren, kann die geforderte naturnahe Gestaltung der Fließgewässer im Sinne der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie [EG-WRRL, Rat der Europäischen Union, 2000] nur mit standortgerechten und naturgemäßen Bauweisen umgesetzt werden.

Die Software für Ingenieurbiologie nutzt zur Definition spezifischer Rahmenbedingungen am Einbauort 15 maßgebliche Faktoren entsprechend dem methodischen Ansatz nach STOWASSER [2011]. Mittels dieser «Schlüsselfaktoren» lässt sich als Voraussetzung für die Auswahl ingenieurbiologischer Bauweisen im Wasserbau ein Anforderungsprofil der spezifischen standörtlichen Ausgangsbedingungen erstellen. Gemäß diesem Anforderungsprofil kann aufgrund der jeweiligen Bauweiseneigenschaften die spezifische Eignung der verschiedenen Baumethoden für den konkreten Anwendungsfall ermittelt werden.

Diese Methodik zur stufenweisen und transparenten Auswahl ingenieurbiologischer Bauweisen aufgrund der Rahmenbedingungen am Einbauort und der Bauweiseneigenschaften ist auch maßgeblicher Bestandteil des DWA Regelwerks zu ingenieurbiologischen Bauweisen [DWA-M 620-1, 2020a].



Abb. 2: Einbau und Entwicklung von Raubbäumen in Kombination mit Weidensetzstangen am Beispiel des Lungwitzbaches zwischen St. Egidien und Niederlungwitz [links oben 2005, rechts unten 2012].

Fig. 2 : Installation et développement d'arbres en épi en combinaison avec des plançons de saule à l'exemple du ruisseau Lungwitz entre St. Egidien et Niederlungwitz [en haut à gauche en 2005, en bas à droite en 2012].

Auf Grundlage der Methodik nach STOWASSER [2011] wurde ein Auswahl-Algorithmus entwickelt, der eine anwendungsfreundliche und nutzerinteraktive Bauweisenauswahl ermöglicht [vgl. Abbildung 3].

### Inhalt und Module

Das Entscheidungsunterstützungssystem ist in verschiedene Module gegliedert [vgl. Abbildung 4], die inhaltlich

und didaktisch eng miteinander verknüpft sind. Die strukturierte und kompakte Informationsaufbereitung erschließt das Wissen über ingenieurbio-logische Bauweisen einem breiten Anwenderkreis.

Dank einer klar strukturierten Oberfläche wird der Nutzer intuitiv durch die Anwendung geführt. Sämtliche Prozesse und Schritte zu einer fachgerechten Auswahl von Bauweisen werden damit transparent und nachvollziehbar. Damit

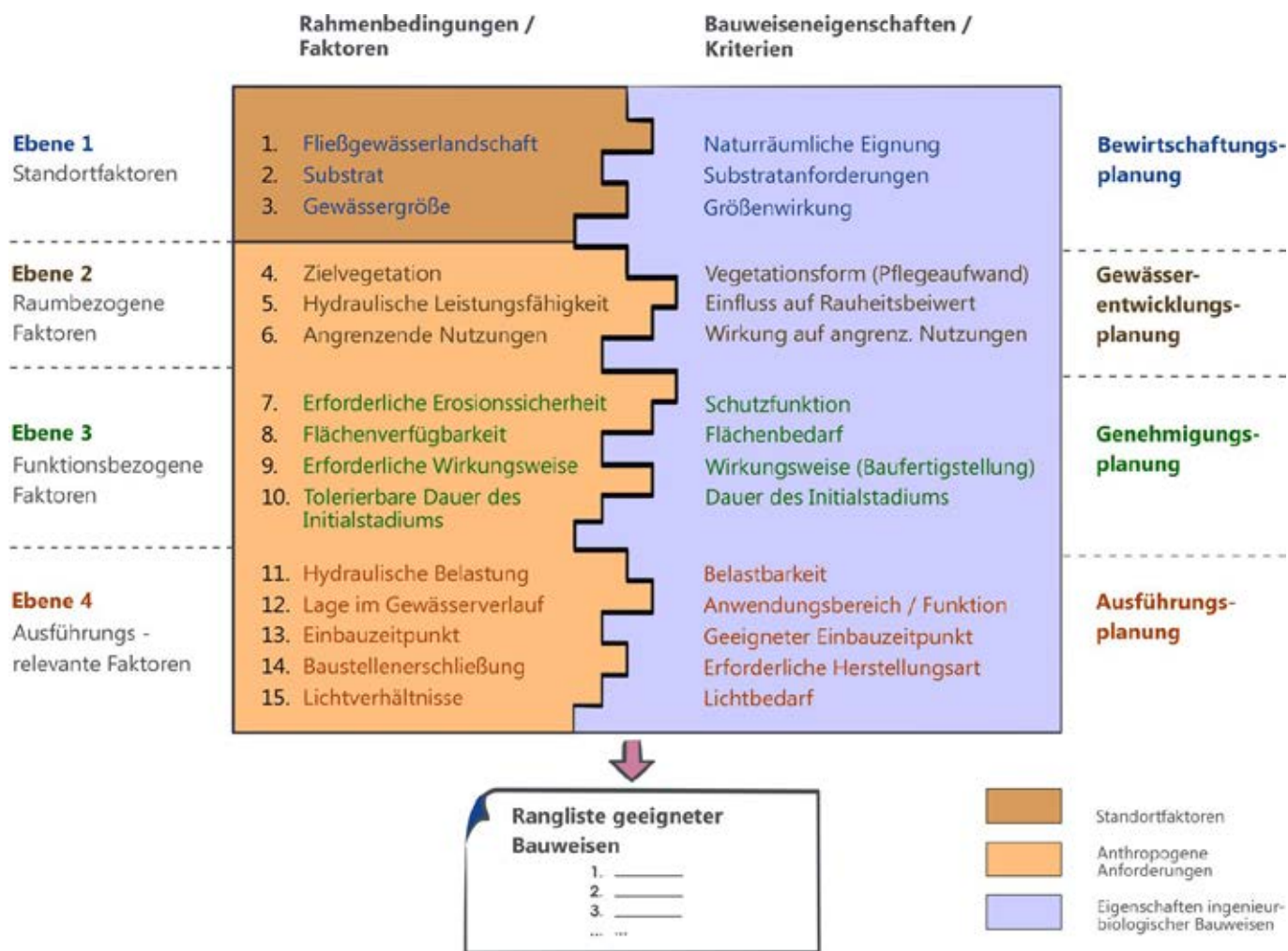


Abb. 3: Funktionsprinzip der Methodik zur Auswahl ingenieurbiologischer Bauweisen nach STOWASSER (2011): Der Grad der Übereinstimmung von Eigenschaften ingenieurbiologischer Bauweisen (Kriterien) mit den Standortanforderungen (Faktoren) definiert die Eignung einer Bauweise für einen konkreten Anwendungsfall.  
 Fig. 3 : Principe de fonctionnement de la méthode de sélection des méthodes de construction selon STOWASSER (2011) : le degré de concordance entre les propriétés des méthodes de génie biologique (critères) et les exigences du site (facteurs) définit l'adéquation d'une méthode de construction pour un cas d'application concret.



Abb. 4: Übersicht der Module [Modul „TEXT“ ist derzeit noch in Bearbeitung].  
 Fig. 4 : Aperçu des modules [le module « TEXT » est encore en cours d'élaboration].

kann das Tool als Planungs- aber auch als Prüfinstrument zum Einsatz kommen.

Das Modul **EVAT** (Evaluationstool) basiert auf der vorgestellten Methodik nach STOWASSER (2011) und präsentiert sich dem Nutzer in vier Evaluationsebenen, die den Planungsebenen Bewirtschaftungsplanung, Pflege- und Entwicklungsplanung, Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Ausführungsplanung entsprechen. Innerhalb der Ebenen können zur Beschreibung des Standorts und der vorherrschenden Rahmenbedingungen 15 projektspezifische Faktoren wie beispielsweise Gewässergröße, Zielvegetation, Freibord, Flächenverfügbarkeit oder hydraulische Belastung eingegeben werden. Die Standortbeschreibung mittels Auswahl der in der Software vorgegebenen Faktorausprägungen bzw. Eingabe konkreter Werte z.B. für Gewässergröße [Wasserspiegellagenbreite bei Mittelwas-



ser in Metern], hydraulische Belastung [in N/m<sup>2</sup>] etc. wird mit jeder Evaluationsebene konkreter.

Hinsichtlich der Eignung für die gegebenen Projektfaktoren bewertet EVAT die Bauweisen der Datenbank in einer 5-stufigen Skala von «sehr gut geeignet» bis «ungeeignet». Grundlage für die Bauweisenbewertung ist ein Regelwerk, das Expertenwissen in Form von WENN-DANN-Beziehungen in einer Matrix abbildet und dabei auch die Prinzipien der Fuzzy-Logik integriert. So erhält der Nutzer entsprechend seiner eingegebenen Rahmenbedingungen eine Bewertung von über 60 in der Datenbank enthaltenen Bauweisen und Bauweisenkombinationen und kann aus dieser Rangliste die Bauweise auswählen, die für seine Anwendung besonders gut geeignet ist (siehe Abbildung 5).

Die der Software zu Grunde liegende Bauweisendatenbank ist sowohl hinsichtlich der Bauweisengliederung als auch ihrer -bezeichnungen an das Europäische Bautypenbuch [ZEH 2007] sowie das DWA Regelwerk zu ingenieurbio-logischen Bauweisen an Fließgewässern [DWA-M 620-1, 2020a und DWA-M 620-2, 2020b] angelehnt. Beim Führen der Computermaus über die Bauweisensymbole («Mouse over») werden dem Nutzer die Bauweisenbezeichnungen angezeigt.

Zur Veranschaulichung der ingenieurbio-logischen Bauweisen in der Plandarstellung wasserbaulicher Vorhaben bedient sich die Anwendung einer einheitlichen Bauweisen-Symbolik, die auf dem Bautypenbuch [ZEH 2007] beruht, von STOWASSER [2011] weiterentwickelt wurde und auch Bestandteil des DWA Merkblatts M 620-2 [DWA 2020b] ist. Sie ermöglicht eine eindeutige Darstellung der Bauweisen im Lageplan wie auch in Quer- und Längsschnitten des Gewässers, die Lesbarkeit in verschiedenen Maßstäben sowie bei der Schwarz-Weißdarstellung. Die Symbolik beruht auf leicht lesbaren und einprägsamen, bildhaften Darstellungen der Bauweisen. Sie ist nach einem Baukastenprinzip (vgl. Abbildung 5) aufgebaut und lässt grundsätzlich die symbolhafte Darstellung jeder beliebigen Bauweisenkombination zu. In der Software ist die Symbolsprache der Bauweisen wichtiger Bestandteil der intuitiven Nutzerführung (vgl. Abbildung 6).

Mit dem Modul **ISYS** [Informationssystem] kann der Nutzer schnell und einfach auf Hintergrundinformationen zu derzeit 60 verschiedenen Bauweisen und Bauweisenkombinationen zurückgreifen. Neben Regeldetails für jede Bauweise erleichtern systematisch aufbereitete Bauschritte und Pflegeanleitungen Planungen um ein Vielfaches und helfen dabei Zeit und Ressourcen zu sparen. Zudem kann für die jeweils ausgewählte Bauweise anhand der für den

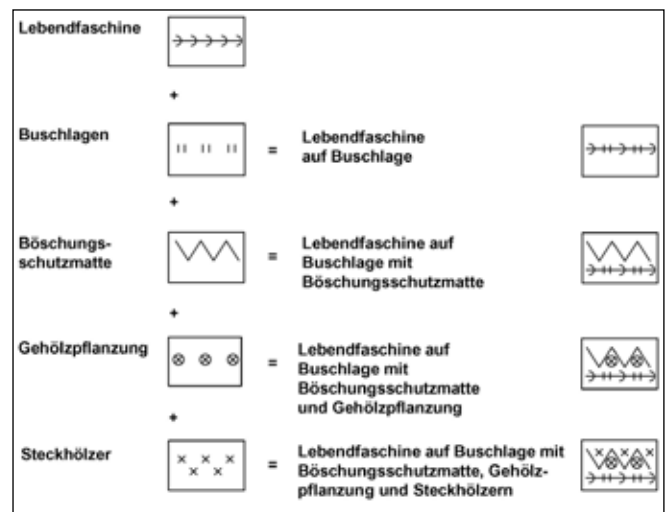


Abb. 5: Symbolsystematik [Beispiel] zur Darstellung von ingenieurbio-logischen Bauweisen im Wasserbau [STOWASSER, 2011].  
Fig. 5 : Système de symboles [exemple] pour la représentation des méthodes de construction de génie biologique dans l'aménagement des eaux [STOWASSER, 2011].



Abb. 6: Benutzeroberfläche der Webanwendung Modul EVAT - Evaluationsergebnis nach abgeschlossener Faktoreingabe für 4 Ebenen.  
Fig. 6 : Interface utilisateur de l'application web Module EVAT - résultat de l'évaluation après la saisie des facteurs pour 4 niveaux.

Einbauort ausgewiesenen potenziell natürlichen Vegetation das zur Herstellung der Bauweise erforderliche und standortgerechte lebende Baumaterial ermittelt werden (vgl. Abbildung 6).

Die Datenbank ist so ausgelegt, dass sukzessive alle in ZEH [2007] enthaltenen Bautypen integriert werden könnten. Die Module EVAT und ISYS sind in eine **Projekt- und Standortverwaltung** eingebettet, bei der durch das Modul **SITE** einfach per Mausklick Standortinformationen wie beispielsweise die Fließgewässerlandschaft oder vegetationskundliche Einheiten (Assoziationen) gemäß Potenziell natürlicher



Abb. 7: Funktionen und Nutzungsmöglichkeiten von ISYS [Informationssystem].  
Fig. 7 : Fonctions et possibilités d'utilisation d'ISYS [système d'information].

Vegetation für das jeweilige Projektgebiet ermittelt werden können. Zusätzlich steht dem Nutzer mit dem Modul **HILFE** ein umfangreiches Nachschlagewerk rund um das Thema Ingenieurbilogie mit über dreihundert Glossar Begriffen zur Verfügung.

### Anwendungsvorteile im Überblick

Mittels der Methodik zum Auswahlalgorithmus ingenieurbilogischer Bauweisen nach STOWASSER (2011) und deren Aufbereitung in einer Webanwendung werden folgende wesentlichen Voraussetzungen für die erfolgreiche Planung und Anwendung von ingenieurbilogischen Bauweisen im Wasserbau geschaffen:

1. Reduzierung des Aufwands für die Auswahl und Planung geeigneter ingenieurbilogischer Bauweisen durch ein standardisiertes Verfahren, bei dem sich dennoch die Besonderheiten der jeweiligen Baustelle ausreichend berücksichtigen lassen.
2. Nachvollziehbares Aufzeigen der jeweiligen Bauweiseignung als Entscheidungshilfe für die Auswahl ingenieurbilogischer Bauweisen.
3. Minimierung des Fehlerrisikos bei der Planung - unabhängig von der Erfahrung des Anwenders - damit ingenieurbilogische Bauweisen von einem größeren Anwenderkreis in Planungsbüros, öffentlicher Verwaltung und privater Bauherren eingesetzt werden können.
4. Verbesserung der Prüfbarkeit und damit der Akzeptanz der ingenieurbilogischen Bauweisen bei wasserbaulichen Vorhaben, insbesondere bei Genehmigungsverfahren. Durch eine entsprechende empirische Auswahlroutine bietet sich für Fachbehörden oder Entscheidungsträger die Möglichkeit, bei der Genehmi-

gung bzw. Beurteilung von Bauvorhaben zu prüfen, ob ingenieurbilogische Bauweisen gewässertypspezifisch und entsprechend der örtlichen Verhältnisse sinnvoll gemäß den gesetzlichen Grundlagen angewandt werden. Dank der Auswahlroutine ist das Tool sowohl als Planungswerkzeug als auch als Prüfwerkzeug einsetzbar.

5. Ermöglichung einer Bauweisenauswahl in unterschiedlichen Maßstabs- oder Planungsebenen. Damit ist gewährleistet, dass der Aufwand für die Faktorenermittlung dem jeweiligen Bearbeitungsmaßstab entspricht. Sowohl im Rahmen konzeptioneller Planungen als auch bei konkreten Ausführungsplanungen lässt sich dadurch jeweils die Bauweiseignung auf Grundlage der in der jeweiligen Planungsphase verfügbaren Informationen und Rahmenbedingungen ermitteln. Gleichzeitig wird gewährleistet, dass auch bei kleineren oder lokal begrenzten Bauvorhaben die gewässertypspezifischen Besonderheiten und Charakteristika des Einzugsgebiets und der Umgebung der Baustelle zwangsläufig mit beachtet werden.

### Literatur

- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND AB-FALL E. V. (Hrsg.) (2020a): Merkblatt DWA-M 620-1, Ingenieurbilogische Bauweisen an Fließgewässern Teil 1: Grundlagen und Bauweisenauswahl. Hennef.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND AB-FALL E. V. (Hrsg.) (2020b): Merkblatt DWA-M 620-2, Ingenieurbilogische Bauweisen an Fließgewässern Teil 2: Planung, Umsetzung und Erfolgskontrolle. Gelbdruck, Stand: Februar 2020 [Weißdruck erscheint voraussichtlich Ende 2021]. Hennef.
- RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik [EU-Wasserrahmenrichtlinie]. PECONS 3639/00, ENV 221, CODEC 513, 18. Juli 2000.
- STOWASSER, A. (2011): Potentiale und Optimierungsmöglichkeiten bei der Auswahl und Anwendung ingenieurbilogischer Bauweisen im Wasserbau. Dissertation, Schriftenreihe Umwelt und Raum, Band 5. Göttingen.
- ZEH, H. (2007): Ingenieurbilogie - Handbuch Bautypen. Zürich.

**Kontaktadresse**

Dr.-Ing. Andreas Stowasser  
[www.stowasserservice.de](http://www.stowasserservice.de)  
 StowasserService GmbH & Co. KG  
 Hauptstraße 47f  
 DE-01445 Radebeul  
 Tel.: 0049-351-32061500  
 Fax: 0049-351-32061509  
 E-Mail: [info@stowasserservice.de](mailto:info@stowasserservice.de)

**Bezugsquelle:**

Die Software befindet sich derzeit in grundlegender Überarbeitung und wird an die neuesten Web-Technologien angepasst. Die Anwendung wird voraussichtlich ab dem 3. Quartal 2022 wieder verfügbar sein. Unter [www.stowasserservice.de](http://www.stowasserservice.de) ist ein Demovideo zur Funktionsweise der Software erreichbar. Bei Interesse über weitere Informationen zur Software schicken Sie bitte eine E-Mail an die o. g. Kontaktadresse. Unabhängig von einer Softwarelizenz können über den SOFIE® Online-Shop detaillierte Informationen, Bau- und Pflegeanleitungen sowie Regeldetails in pdf und dwg-Formaten erworben werden.



**Natürlich bauen.**  
wsb



# Nachhaltiger Erosionsschutz mit Holzwolle und natur- gemässer Begrünung

---

Thomas Wildberger  
Imad Lifa  
Andreas Bosshard

## Zusammenfassung

Mit dem Klimawandel und damit einhergehenden Starkniederschlägen steigt das Risiko für Rutschungen an neu erstellten Böschungen. Holzwolle schützt nicht nur die edle Flasche Wein oder den zarten Schokoladenhasen. Sie kann auch ganze Hänge stabilisieren. Die Fachhochschule Graubünden und die Firmen Lindner Suisse und Ö+L haben direkt am Hang erforscht, wie das flauschige Material aus Schweizer Holz zum Vlies gesteppt der Erosion entgegenwirkt. Der Beitrag erläutert die erarbeiteten fachlichen Grundlagen, um die aus den USA bekannte Technik an die Schweizer Gegebenheiten anzupassen.

## Key Words

Holzwollevlies, Erosionsschutz, Saatgut, Begrünung, Biodiversität

## Protection durable contre l'érosion avec de la laine de bois et végétalisation naturelle

### Résumé

Avec le changement climatique et les précipitations intenses qui l'accompagnent, le risque de glissements de terrain sur les remblais nouvellement construits augmente. La laine de bois protège non seulement la noble bouteille de vin ou le tendre lapin en chocolat, elle peut aussi stabiliser des pentes entières. La Haute école spécialisée des Grisons et l'entreprise Lindner Suisse et Ö+L ont étudié directement sur une pente comment le matériau cotonneux en bois suisse piqué en nattes protège contre l'érosion. L'article explique les bases techniques élaborées afin d'adapter aux conditions suisses cette technique connue aux États-Unis.

### Mots-clés

Natte de laine de bois, protection contre l'érosion, semences, végétalisation, biodiversité

## Controllo sostenibile dell'erosione con lana di legno e inverdimento prossimo al naturale

### Riassunto

A causa del cambiamento climatico e delle forti precipitazioni che ne derivano, aumenta il rischio di frane sui pendii di nuova costruzione. La lana di legno non serve solo a proteggere una buona bottiglia di vino o un delicato coniglietto di cioccolato, bensì può anche stabilizzare interi pendii. L'Università di Scienze Applicate dei Grigioni e la società Lindner Suisse e Ö+L hanno studiato direttamente in situ



Abb. 1: Übersicht Standorte Versuchsfleichen.  
Fig.1 : Vue d'ensemble des sites d'expérimentation.

come il materiale soffice fatto di legno svizzero, trasformato in una stuoia adatta, serve a contrastare l'erosione. L'articolo spiega i principi tecnici sviluppati per adattare la tecnica, in uso negli USA, alle condizioni svizzere.

### Parole Chiave

Stuoia di lana di legno, controllo dell'erosione, semi, inverdimento, biodiversità

## 1. Einleitung

Mit dem Klimawandel und damit einhergehenden Starkniederschlägen steigt das Risiko für Rutschungen an neu erstellten Böschungen. Den wichtigsten Schutz leistet eine stabile, artenreiche Vegetation mit einem starken, vielfältigen Wurzelwerk.

Zur Unterstützung der Begrünung in der heiklen Phase nach der Ansaat werden Erosionsschutzprodukte eingesetzt. Ihre Struktur gewährleistet bis zur Etablierung der Vegetation einen Schutz der Keimlinge und der Bodenoberfläche vor Erosion durch Wind, Regen und Schnee.

Es handelt sich dabei um gewobene oder gestreckte Netze oder Gelege aus Kunst- oder Naturfasern. In den letzten 10 bis 15 Jahren wurden in der Schweiz vor allem Netze aus importierten Naturfasern [Kokos und Jute] eingebaut. Dank der Entwicklungsarbeit des einzigen verbliebenen Holzwolleherstellers in der Schweiz stehen seit einigen Jahren auch Holzwollevliese als Erosionsschutz zur Verfügung. Das einheimische Holz hat den Vorteil, dass im Gegensatz zu den importierten Materialien keine unerwünschten Organismen eingeschleppt werden können. Schweizer Holzwollevliese [nach Holzwolle-Standard hergestellt] sind zudem im Gegensatz zu einigen anderen Produkten nicht mit Pestiziden oder anderen chemischen Stoffen behandelt, die nach Verlegen der Netze in die Umwelt gelangen.

In den USA ist die Verwendung von Geonetzen aus Holzwolle im Gegensatz zur Schweiz schon seit den 1960er-Jahren weit verbreitet. Neben den genannten Vorteilen fallen auch die physikalischen Eigenschaften der Holzwolle positiv ins Gewicht. Die Holzwollevliese weisen im Vergleich mit anderen Produkten ein besseres Wasserrückhalte- und

Gemeinde	Kanton	Flurname/Bezeichnung	Verlegedatum	Fläche [m <sup>2</sup> ]
Bogno	Tessin	Cugno	21.9.2016	1500
Pollegio	Tessin	Gramiröi	22.7.2015	400
Bidogno	Tessin	Monte Bar	Ende Aug. 2017	500
Lugano	Tessin	Soragno	27.8.2015	600
Cazis	Graubünden	Porteiner Tobel	19.11.2015	1000
Rhäzüns	Graubünden	Undrau Runcaglia	18.4.2016	500
Schiers	Graubünden	Deponie Winkel	15.9.2015	500
Brütten	Zürich	Steigstrasse	6.7.2016	1000
Bülach	Zürich	Autobahn Kloten–Bülach Projektfläche und Testfläche	Ende Aug. 2017 Mai 2018	2000 23'700
Gränichen	Aargau	Pfendel / Forstweg	6.7.2015	800
Gretzenbach	Solothurn	Böschung SBB	8.7.2016	800
Péry	Bern	Zementgrube Charuque	25.4.2016	1500
Stoos	Schwyz	Standseilbahn Schwyz–Stoos Projektfläche und Testfläche	26.10.2015 2016	800 9200
Altstätten	St. Gallen	Kiesfang Oberüli	24.4.2015	700

Tab. 1: Standorte der Versuchsflächen.

Tab. 1 : Emplacements des surfaces d'expérimentation.

Wasserspeichervermögen auf. Damit sind die sich entwickelnden Keimlinge nach der Aussaat besser vor Temperaturschwankungen und Trockenphasen geschützt.

## 2. Forschungsprojekt «Nachhaltiger Erosionsschutz mit Holzwolle und naturgemässer Begrünung»

Das zwischen April 2015 und Mai 2019 durchgeführte Forschungsprojekt der Fachhochschule Graubünden zielte darauf ab, die Eignung von schweizer Holzwollevliesen in Kombination mit hochwertigen, ebenfalls lokal gewonnenen Saatgutmischungen im Hinblick auf die Erosionsschutzwirkung zu untersuchen und weiter zu optimieren. Als Versuchsflächen wurden insgesamt vierzehn Standorte von neu angelegten Böschungen ausgewählt.

Pro Standort wurden je vier verschiedene Typen von Holzwollevliesen nach einem einheitlichen Design verlegt. Die vier Typen unterschieden sich einerseits in den verwendeten Holzarten und andererseits im Netz, in das die Holzwolle eingearbeitet ist. Für die Begrünung wurden zwei

verschiedene Saatgutmischungen verwendet. Zum einen kam eine Mischung von autochthonem Saatgut zur Anwendung (Projekt-Samenmischung nach HoloSem-Standard). Dabei handelt es sich um lokal gewonnenes, artenreiches, standörtlich optimal an die Begrünungsfläche angepasstes Saatgut, das im Umkreis von maximal 15 km um den Ansaatstandort in artenreichen Naturwiesen gewonnen wird. Diese autochthone Saatgutmischung wurde dem handelsüblichen Saatgut (VSS-Mischung) gegenübergestellt, die ebenfalls artenreich zusammengesetzt ist, jedoch teilweise aus Importen aus dem Ausland stammt und zudem in der Arten- und Ökotypenzusammensetzung nicht an den spezifischen Standort angepasst ist.

## 3. Ergebnisse Erosionsschutz und Begrünung

### 3.1. Holzwollevlies

In den Schweizer Wäldern gibt es reichlich Holz, das sich für die Produktion von Holzwollevliesen sehr gut eignet. Im idealen Fall wird das Holz 2 Jahre vor Beginn der Bauarbeiten geliefert. Die Hölzer werden dann umweltfreundlich in der Luft ca. 18 Monate getrocknet. Danach werden die Hölzer zu Holzwolle und anschliessend zu Holzwollevliesen



Abb. 2: Schweizer Holzwollevliesen ab Rolle.  
Fig. 2 : Nattes de laine suisse de bois en rouleau.



Abb. 3: Verlegen der Holzwollevliese ist Handarbeit.  
Fig. 3 : La pose d'une natte en laine de bois est un travail manuel.



Abb 4: Verlegen der Erosionsschutzvliese an einer Böschung.  
Fig. 4 : Pose d'une natte de protection contre l'érosion sur un talus.



Abb. 5: Durch das geringe Gewicht sind die Holzwollevliese leicht zu verlegen.  
Fig. 5 : Grâce à leur faible poids, les tapis en laine de bois sont faciles à poser.



Abb 6.: Die Holzwollevliese werden mit Holzhaften befestigt.  
Fig. 6 : Les tapis en laine de bois sont fixés à l'aide d'attaches en bois.



Abb. 7: Verlegte Holzwollevliese zur Böschungssicherung in der Ostschweiz.  
Fig. 7 : Pose de la natte en laine de bois pour la consolidation de pentes en Suisse orientale.

	Standort	Péry BE	Soragno TI	Bogno TI	Rhazüns GR	Cazis GR	Schiers GR	Stoos SZ			
	Saatguttyp	HoloSem	HoloSem/ VSS	HoloSem/ VSS	HoloSem/ VSS	HoloSem/ VSS	HoloSem/ VSS	HoloSem/ VSS			
Aussaat	Breitsaat / Hydrosaat	H	B	B	H	H	B	B			
	ohne/wenig/ mit Dünger	wenig	wenig	wenig	ohne	wenig	ohne	ohne			
Standort	1 (schwierig) bis 3 (günstig)	1	2	2	1	1	2	1			
Vegetation	Deckung % (5%-Klassen)	10	80	30	<5	<5	<10	<10	5	10	<5
	Grasanteil %	95	85	90	80	80	80	80	80	40	70
	Kräuteranteil %	5	15	10	20	20	20	20	20	60	30
	Anzahl ange- säte Gräser	5	11	9	3	3	9	5	3	4	ca. 5
	Anzahl ange- säte Kräuter	14	19	8	7	4	4	3	13	6	ca. 8
	Anzahl ange- säte Leguminosen	2	2	3	0	0	0	4	5	7	3
	Anzahl Zielarten total (angesät)	21	32	20	10	7	13	12	21	17	ca. 16
	Weitere Arten	4	16	11	4	4	>5	>5	>4	>4	>8

Tab. 2: Übersicht über die Standorte und die Aussaaten der auswertbaren Versuchsfächen.

Tab. 2: Aperçu des sites et des ensemencements des surfaces d'essai évaluables.

	Bogno		Bülach		Gramiröi		Monte Bar		Péry		Rhazüns		Schiers		Soragno	
Nullfläche			1	1			2	1			1					
Kein Netz, HoloSem			2	2			2	1			1					
Kein Netz, VSS			2	2							1					
Typ 1 HoloSem	1	3	3	3					1	2	1	1	2	2	4	4
Typ 1 VSS	1	4	3	3	2	3	2	1			1	1	2	2		
Typ 2 HoloSem	3	2	3	3					1	1	1	1	1	2	4	3
Typ 2 VSS	2	3	4	4	2	3	1	2			1	1	3	2		
Typ 3 HoloSem	3	2	2	3					1	1	2	1	2	3	3	3
Typ 3 VSS	2	2	2	3			1	1			1	1	3	3		
Typ 4 HoloSem	3	3	3	3					1	1	2	3	2	2	3	3
Typ 4 VSS			3	3			1	1			2	1	2	3		

- Bewuchsklasse 1: kaum bewachsen
- Bewuchsklasse 2: wenig bewachsen
- Bewuchsklasse 3: viel bewachsen
- Bewuchsklasse 4: völlig bewachsen

Tab. 3: Einteilung Grünanteile in Bewuchsklassen.

Tab. 3: Répartition des parties vertes en classes de végétation.





Abb. 8: Mit schweizer Holzwollevliesen belegte Böschung in der Ostschweiz (vorher).  
 Fig. 8 : Talus recouvert de nattes en laine suisse de bois en Suisse orientale (avant).



Abb. 9: Böschung nach Auflaufen der Ansaat (nachher).  
 Fig. 9 : Talus après la levée de semis (après).

verarbeitet.

In der Studie wurden vier unterschiedliche Holzwollevliese verwendet. Die vier Typen unterschieden sich einerseits in den verwendeten Holzarten und andererseits im Netz, in das die Holzwolle eingearbeitet ist. Sie wurden auf folgende Eigenschaften geprüft: Wasseraufnahmefähigkeit, Zugfestigkeit, Zugfestigkeit nass, dynamischer Durchschlagsversuch und Stempeldurchdruckversuch [CBR-Versuch].

### Schlussfolgerungen Holzwollevliese

Im Ergebnis zeigten die Labortests signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Holzwolletypen in Bezug auf die Wasseraufnahmefähigkeit und die Zugfestigkeit. Die Unterschiede wirkten sich allerdings im Feld nicht signifikant auf den Begrünungsgrad und/oder die Erosion aus. Neben dem generellen Schutz durch die Holzwolle und dem Einsatz von geeignetem Saatgut wirkten sich vor allem Standortfaktoren auf den Begrünungserfolg und den

Erosionsschutz aus, insbesondere Humusgehalt, Hangneigung, Exposition, Höhenlage sowie Hangstabilität. Dabei zeigte sich auch, dass Holzwollevliese zwar gut vor oberflächlicher Erosion zu schützen vermögen, jedoch erwartungsgemäss keine mitteltiefe Erosion verhindern können. Eine höhere Grammatatur bei den Holzwollevliesen verbessert zwar den direkten Erosionsschutz und das Wasserrückhaltevermögen, kann aber die Etablierung der Vegetation behindern, vor allem von zweikeimblättrigen, lichtbedürftigen Pflanzenarten. Die anfänglich verwendeten Rezepturen wurden aus diesem Grunde im Laufe des Projekts angepasst. [Zwischenzeitlich wurde auf diese Erkenntnisse reagiert und das Erosionsschutzvlies Typ Lumina speziell für lichtbedürftige Pflanzenarten entwickelt.] Mit dem Einsatz unterschiedlicher Holzwolletypen kann die Dauer des Verrottungsvorgangs gesteuert werden. Buchenholz wirkt bei der Verrottung zudem als natürlicher Dünger.

Standort	Holzwolle	Netz	Zeitraum
Bogno	Teilweise sichtbar	PP und Jute noch intakt	2016–2018
Gramiröi	Verrottet	PP sichtbar, Jute kaum	2015–2018
Monte Bar	Kaum verrottet	PP und Jute noch intakt	2017–2018
Soragno	Verrottet	PP teilweise sichtbar, Jute verrottet	2015–2018
Cazis	Kaum verrottet	PP und Jute noch intakt	2015–2018
Rhözüns	Kaum verrottet	PP und Jute noch intakt	2016–2018
Schiers	Verrottet	PP sichtbar, Jute kaum	2015–2018
Bülach	Kaum verrottet	PP und Jute noch intakt	2017–2018
Gränichen	Verrottet	PP und Jute verrottet	2015–2018
Gretzenbach	Verrottet	PP teilweise sichtbar, Jute verrottet	2016–2018
Péry	Verrottet	PP teilweise sichtbar, Jute verrottet	2016–2018

Tab. 4: Witterungsbeständigkeit der Holzwolleliese.

Tab. 4 : Résistance aux intempéries de la natte en laine de bois.

### 3.2 Vegetationsanalyse

In den Flächen wurde bei der Schätzung der Deckungs- und Massenanteilswerte der Vegetation jeweils ein Durchschnitt über die ganze Fläche gebildet, und für die Bestimmung der Artenzahlen wurden jeweils alle vorhandenen Arten aufgelistet und diese 5 Häufigkeitsklassen zugeteilt. Die unterschiedlichen Holzwolletypen konnten aufgrund der grossen Inhomogenität innerhalb der Flächen nicht berücksichtigt werden, wobei sich optisch jeweils kaum Unterschiede an der Vegetation ausmachen liessen.

Eine Übersicht über die Standortbedingungen und die durchgeführten Aussaaten gibt Tabelle 2. Die Standortbedingungen waren aufgrund der teilweise humusfreien und extrem exponierten Rohböden in den meisten Fällen ausgesprochen schwierig, was den teilweise geringen Deckungsgrad der Vegetation erklärt, insbesondere auf denjenigen Standorten, wo kein Dünger verwendet wurde. Die Flächen wurden per Hydrosaat oder per Hand mit Breitsaat angesät. Die Anzahl etablierter Zielarten bewegte sich zwischen 7 und 32, was einer mittleren bis hohen Biodiversität entspricht. Ob die Ökotypen der autochthonen HoloSem-Mischung längerfristig eine wie erwartet stabilere Vegetation etablieren als das VSS-Saatgut, konnte aufgrund der kurzen Versuchslaufzeit nicht analysiert werden.

#### Schlussfolgerungen Vegetationsanalyse

- HoloSem-Saatgut schneidet artenmässig bei geeigneten Spenderflächen im Vergleich mit VSS-Saatgut besser ab (mehr Arten, zudem auch seltenere lokaltypische Arten vorhanden).

- Bezüglich Vegetationsdeckungsgrad und Entwicklungsgeschwindigkeit keine Unterschiede zwischen HoloSem- und VSS-Saatgut.
- Die Daten lassen betreffend Einfluss verschiedener Holzwolletypen auf die Vegetationsentwicklung keine Rückschlüsse zu (zu inhomogene Flächen).
- Die langsame Anfangsentwicklung der Zielarten – die Etablierung einzelner Arten dauert insbesondere auf Rohböden bis zu 2 - 3 Jahre – passt ausgezeichnet mit dem ebenfalls ca. 3 Jahre haltenden Holzwolle-Erosionsschutz zusammen.
- Auf nährstoffarmen Rohböden ist eine dezente Düngung mit organischem Langzeitdünger für einen befriedigenden Erosionsschutz unumgänglich.
- Für einen besseren Etablierungserfolg (Deckungsgrad, Artenzahlen) sollten vor allem extremere Rohböden angereichert werden mit etwas A-Horizont, Humus oder Kompost (Erfahrungen von anderen Flächen ausserhalb des Projekts).
- Flächen mit ungenügendem Erfolg – mögliche Ursachen
- Péry: Verhinderung von Oberflächenerosion mittels Bermen und evtl. Gittern; Kompostanteil der Hydrosaat beimischen.
- Rhözüns: Unbedingt organischen Dünger, Deckfrüchte und Kompostanteil der Hydrosaat beimischen.
- Cazis: Sehr schwierige Bedingungen, kaum besser machbar. Neue Begrünung konnte sich besser etablieren als die

früher bereits einmal durchgeführte Hydrosaat.

- Stoos: Unbedingt organischen Dünger, Deckfrüchte und Kompostanteil der Hydrosaat beimischen.

### 3.3 Begrünungsgrad

Die Begrünungsgrade wurden bei den Projekten, wo dies möglich und sinnvoll war, mittels Fotoanalyse ausgewertet. Dazu wurde ein Holzrahmen von 1 m<sup>2</sup> auf die jeweiligen Felder mit den unterschiedlichen Holzwole- und Saatguttypen ausgelegt. Pro Feld wurden zwei möglichst repräsentative Stellen ausgewählt und fotografiert. Die Fotos wurden dann auf den Ausschnitt des Holzrahmens zugeschnitten und die resultierenden Files als Basis für die Grünanteilanalyse verwendet.

Die Grünanteile wurden mit zwei unterschiedlichen Webtools durchgeführt, die die Farben der Pixel zu Hauptfarbtönen gruppieren und dann deren Anteile am Gesamtbild ausgeben. Ausserdem wurden die Projekte noch durch das Forschungsteam eingeschätzt und in 4 Bewuchsgruppen eingeteilt.

### Schlussfolgerungen Begrünungsgrad

Während der Auswertungen wurden einige grundsätzliche Themen aufgeworfen, die beachtet werden müssen. Die Verteilung der Grünanteile innerhalb der Testfelder ist in vielen Fällen durch externe Einflussfaktoren (Steilheit, Erosion, Beschattung etc.) sehr inhomogen. Hier mussten für die Auswertung möglichst repräsentative Stellen zur Untersuchung gefunden werden. Generell konnte keine eindeutige Tendenz zugunsten eines spezifischen Holz-

wolletyps festgestellt werden. Offensichtlich war jedoch der Unterschied im Begrünungsgrad, verglichen mit den Nullflächen, deutlich besser, was die grundsätzliche Wirksamkeit der Holzwole zeigt. Offensichtlich beeinflussen die zusätzlichen Standortfaktoren (Boden, Steilheit, Beschattung) den Begrünungsgrad in höherem Ausmass als die unterschiedlichen Holzwoletypen.

### 3.4 Witterungsbeständigkeit

Die Holzwolelviere wurden bei der letzten Begehung auf ihre Witterungsbeständigkeit im Feld geprüft.

Schlussfolgerungen Witterungsbeständigkeit  
 Jute verrottet schneller als PP und ist meist nach 2 Jahren nicht mehr sichtbar. Das PP-Netz ist ausser in Gränichen an allen Standorten nach 3 Jahren noch sichtbar, jedoch teilweise verrottet. In Gränichen war es schwierig, noch etwas PP zu finden. [Inzwischen befindet sich eine schweizer Produktion von Netzen aus heimischen Naturfasern (zellulosen) in der Testphase.]

### 3.5 Pilzbefall

Zur Pilzbefallanalyse wurden zwei sehr unterschiedliche Standorte beprobt.

### Schlussfolgerungen Pilzbefall

Die Holzwole in Rhäzüns war 3 Jahre verlegt und jene in Bülach 1 Jahr, wobei klar zu erkennen ist, dass die neueren Proben stärker befallen sind als die alten. Zudem ist Rhäzüns ein sehr trockener und sonniger Standort mit schlechtem Bewuchs, während in Bülach die Begrünung

Standort	Holzwoletyp 1	Holzwoletyp 2	Holzwoletyp 3	Holzwoletyp 4
Rhazüns	Schwache Befallsdichte	Schwache Befallsdichte	Starke Befallsdichte, Bruchstücke holzzerstörender Pilze	Starke Befallsdichte
Bulach	Extrem starke Befallsdichte, Bruchstücke holzzerstörender Pilze	Mittlere Befallsdichte	Starke Befallsdichte	Extrem starke Befallsdichte

Tab. 5: Laboranalyse von zwei Standorten bezüglich Pilzbefalls.  
 Tab. 5 : Analyse en laboratoire de deux sites concernant l'infestation fongique.

schnell ging. Die Holzwolle wird von Pilzen abgebaut, hauptsächlich von holzerstörenden Schimmelpilzen wie z.B. dem Echten Hausschwamm [Serpula lacrymans]. Diese wurden in zwei Proben gefunden, je eine in Rhäzüns und eine in Bülach.

#### 4. Empfehlungen für wirksamen Erosionsschutz und erfolgreiche Begrünungen

Zusammenfassend ergeben sich aus der Studie «Nachhaltiger Erosionsschutz mit Holzwolle und naturgemässer Begrünung» folgende Empfehlungen:

- Schweizer Holzwollevliese und autochthones Saatgut ergänzen sich ausgezeichnet für eine erfolgreiche Begrünung: Die Holzwolle stellt den kurzzeitigen Erosionsschutz so lange sicher, bis sich die teilweise langsam etablierenden Arten des autochthonen Saatguts etabliert haben und diese den langfristigen Schutz übernehmen können.
- Zudem schafft die Holzwolle ein geeignetes Mikroklima, das die Etablierung der frisch aufgelaufenen Pflänzchen auch in Trockenperioden (Wasserspeicherkapazität und Schutz vor Sonneneinstrahlung) oder bei Starkniederschlägen fördert.
- Rohböden sind auch mit Holzwolle oft sehr schwierig zu begrünen, insbesondere in südexponierten Hanglagen und wenn kein Langzeitdünger beigegeben wird (was teilweise nicht möglich oder nicht gewünscht wird). Falls baulich möglich, empfehlen wir, beim Bodenaufbau geringe Mengen an Humus oder Kompost beizugeben oder oberflächlich eine dünne, 1 bis 2 cm dicke Humusschicht auf den Boden aufzutragen.
- Ebenso empfehlen wir, bei der Begrünung wo aus gewässerschutzrechtlichen Gründen möglich, auf Rohböden geeignete (geringe) Mengen an langfristig wirksamem organischem Dünger beizugeben.
- Bei einer Handsaat (Breitsaat) kann die Aussaat mit Saatgut vor oder nach Verlegen des Holzwollevlieses durchgeführt werden. Falls Hydrosaat zum Einsatz kommt, ist eine Aussaat vor dem Verlegen eher vorteilhaft. Idealerweise wird die Hälfte des Saatguts vor, die andere nach Verlegen von Holzwollevliesen aufgespritzt.
- Beim Verlegen der Holzwollevliese ist auf eine fachgerechte Ausführung zu achten.
- In der Etablierungsphase nach Ansaat ist es entscheidend, den Hang nicht durch konzentriert eingeleitete Regenwässer, z.B. von oberhalb liegenden Verkehrsflächen, einer zusätzlichen Erosionsbelastung auszusetzen. Diese müssen durch geeignete technische Massnahmen (z.B. Abflussrinne) kontrolliert bis zum Hangfuss geleitet werden.

#### Literatur

Nachhaltiger Erosionsschutz mit Holzwolle und naturgemässer Begrünung, Schlussbericht Fachhochschule Graubünden, Projekt Nr.: 17431.2 PFIW-IW, <https://forschungs-mosaik.ch/erosionsschutz-hangrutschungen-holzwolle/>

#### Kontaktadressen:

Thomas Wildberger  
Geschäftsführer  
Lindner Suisse GmbH  
Bleikenstrasse 98  
CH-9630 Wattwil  
Tel.: +41 71 987 61 51  
E-Mail: [holzwollevliese@lindner.ch](mailto:holzwollevliese@lindner.ch)

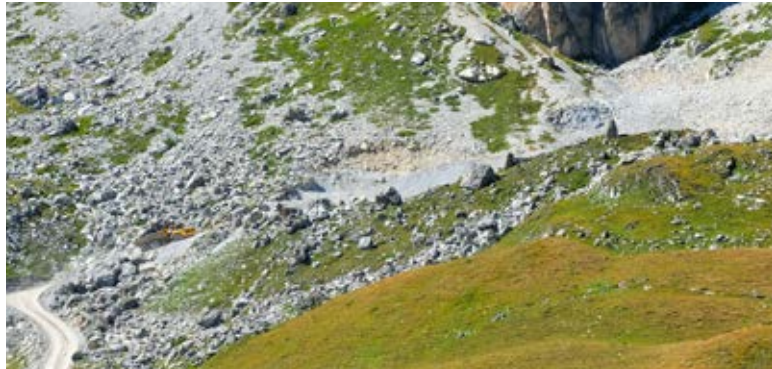


Imad Lifa  
Prof.Dr.Ing. TU/SIA, MBA  
Leiter Institut für Bauen im alpinen Raum (IBAR), FHGR  
Pulvermühlestrasse 80  
CH-7000 Chur  
Tel.: +41 81 286 24 83  
E-Mail: [imad.lifa@fhgr.ch](mailto:imad.lifa@fhgr.ch)



Andreas Bosshard  
Dr.sc.nat. ETH, Agrarökologe  
Ö+L GmbH / HoloSem-  
Begrünungen  
Litzibuch  
CH-8966 Oberwil-Lieli  
Tel.: +41 56 641 11 55  
E-Mail: [info@holosem.ch](mailto:info@holosem.ch)





**Saatgut** – individuelle Mischungen mit MykoFix  
Mit Sicherheit hoch hinaus



**OHS** Otto  
Hauenstein  
Samen

[www.hauenstein.ch](http://www.hauenstein.ch) | [info@hauenstein.ch](mailto:info@hauenstein.ch) | 044 879 17 19

STOMOH




**Drenoroll Drainagerohr**  
Die Drainage mit Schweizer Holz.

**Drenoroll tube de drainage**  
Le drainage avec du bois suisse.

**Drenoroll tubo di drenaggio**  
Il drenaggio con legno svizzero.

**Lindner**  
suisse

produziert von | produit par | prodotto da:  
Lindner Suisse GmbH | CH-9630 Wattwil  
[holzwohle@lindner.ch](mailto:holzwohle@lindner.ch) | [www.lindner.ch](http://www.lindner.ch)








# Evaluation von Massnahmen zur Wiederansiedlung der Fluss-Perlmuschel

Isidor Storchenegger

## Zusammenfassung

Der Beitrag zeigt das Erarbeiten der hydraulischen Kriterien für eine Zielerfüllungs-Matrix zwecks Auswahl von Varianten in einem Projekt zur Wiederansiedlung der Flussperlmuschel.

## Keywords

Uferrandstreifen, Gewässerunterhaltung, Systems Engineering, Gerinnehydraulik, Sedimenttransport.

## Évaluation des mesures de réintroduction de la moule perlière d'eau douce

### Résumé

L'article montre l'élaboration des critères hydrauliques pour une matrice de réalisation des objectifs dans le but de sélectionner des variantes dans un projet de réintroduction de la moule perlière d'eau douce.

### Mots-clés

Bande riveraine, entretien des cours d'eau, ingénierie des systèmes, hydraulique du lit, transport des sédiments.

## Valutazione delle misure per reintrodurre la cozza perlata d'acqua dolce

### Riassunto

L'articolo descrive la definizione delle condizioni idrauliche per sviluppare una matrice decisionale degli obiettivi, necessaria per selezionare le varianti nell'ambito di un progetto di reintroduzione della cozza perlata d'acqua dolce.

### Parole chiave

Fascia riparia, manutenzione fluviale, ingegneria dei sistemi, idraulica fluviale, trasporto dei sedimenti.

## 1. Einleitung

Der Verfasser entwickelte das hier beschriebene Beispiel für die Lehre des Kulturtechnischen Wasserbaus im ehemaligen Studiengang «Landeskultur und Umweltschutz» an der Universität Rostock. Die Anregung kam von der Diplomarbeit BLECKEN's (2004), die sich Massnahmen zur Wiederansiedlung der Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*) in der Lüneburger Heide widmete.

## 2. Material und Methoden

Das Beispiel soll einerseits die Anwendung des Problem-lösungszyklus' des Systems Engineerings (DAENZLER F., 1988; SCHMID W.A., FLURY A., 1984) konkretisieren und andererseits den Umgang mit der Hydraulik der Gewässer mit Gehölzsäumen vertraut machen, indem es aufzeigt, wie eine hydraulische Analyse mit Mitteln des kleinen Ingenieurbüros der Entscheidung in der Akzeptanzdiskussion dienen kann.

Die Vorgaben und Annahmen zum angestrebten Habitat für die Flussperlmuschel [siehe SEIDEL M. et al., 2014] stehen hier nicht zur Diskussion. Sie entsprechen dem Kenntnisstand der Ökologie im Umfeld der damaligen Diplomarbeit.

### 2.1. Bearbeitung nach dem Problemlösungszyklus des Systems Engineerings (SE)

Die folgenden Absätze und Bild 1 verweisen auf Zusammenhänge zwischen den Komponenten des Problemlösungszyklus' des Systems Engineerings. Das Vorhaben befindet sich auf der Bearbeitungsstufe einer Machbarkeits-Studie mit entsprechender Bearbeitungstiefe.



Abb. 1: Der Problemlösungszyklus führt zur Akzeptanz-Diskussion mit dem Entscheid über den Vorhabens-Abbruch, den nächsten Planungsschritt, eine Zielmodifikation oder über die Ausarbeitung weiterer Varianten auf gleicher Bearbeitungsstufe mit allfällig intensiverer Bearbeitungstiefe.

Fig. 1 : Le cycle de résolution des problèmes mène à la discussion sur l'acceptation avec la décision d'abandonner le projet, de passer à l'étape de planification suivante, de modifier l'objectif ou d'élaborer d'autres variantes au même niveau de traitement avec, le cas échéant, un traitement plus approfondi.

#### 2.1.1. Zielsuche: Problem-Analyse

Das Beispiel handelt von einem Meliorationsgraben, der wieder zum Habitat der Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*) werden soll. Zwischenwirt für die Muschel-Eier ist die Bachforelle. Deshalb soll sich auch der Hasel als [Ersatz-]Futter des Fischotters vermehren und dafür wandern können.



Abb. 2: Der Hellbach soll sich im sandigen Substrat durch Aussetzen der Unterhaltung selbst renaturieren.

Fig. 2 : Le Hellbach doit se renaturer de lui-même dans le substrat sablonneux en supprimant l'entretien.



Abb. 3: Spontaner Gehölzwuchs an der Peene wird mit dem Ziel der Renaturierung nicht entfernt.

Fig. 3 : La végétation ligneuse spontanée de la Peene ne sera pas éliminée avec l'objectif de renaturation.

Zur Begrenzung des finanziellen und administrativen Aufwandes sollen diese Ziele durch geeignete Unterhaltung statt durch bauliche Massnahmen realisiert werden. Bild 2 und Bild 3 zeigen solche Ansätze an zwei norddeutschen Gewässern.

Aus denselben Gründen sollen die rechtlichen Verhältnisse wie Eigentumsgrenzen und Einleitungs-Rechte unverändert bleiben. Der Hochwasserschutz (**Freibord  $hF=0.5m$** ) des Meliorationsprojekts ist weiterhin zu gewährleisten.

#### 2.1.2. Zielsuche: Grundlagen-Analyse

Die Grundlagen-Analyse führt zu folgenden Ergebnissen:

- Die Parameter der Erdstoffe zur Beurteilung der Sohlen- und Böschungsstabilität liegen vor.
- Das Habitat der Flussperlmuschel ist eine kiesige Sohle. Die Flussperlmuschel kann sich auf permanent sandigen Sohlen nicht halten, obwohl sie in der Lage ist, ein einzelnes eingedrungenes Sandkorn in einer Perle abzukapseln [bestätigt durch <http://de.wikipedia.org/wiki/>

Flussperlmuschel).

- Das Habitat des Hasels (Karpfenfisch, *Leuciscus leuciscus*) sind rasch fließende Gewässer. Zum Laichen unternimmt er kilometerweite Wanderungen, wofür seine Wandergeschwindigkeit von 0.5m/s bis 1m/s massgebend ist (Bainbrid in KLOSS, 1999 S.23ff; bestätigt durch [http://de.wikipedia.org/wiki/Hasel\\_\(Fisch\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Hasel_(Fisch)))
- Die Gewässergüte erfüllt sowohl die Ansprüche der Perlmuschel als auch des Hasels.
- Die aktuelle Einleitungshöhe der Dräneinmündungen liegt den Normen entsprechend über dem Mittelwasserstand der Vegetationsperiode.

### 2.1.3. Zielformulierung im Pflichtenheft

Die oben allgemein verständlich formulierten Ziele setzt der Ingenieur in ein lösungsneutrales Pflichtenheft in seiner Fachsprache um.

1. Mussziel: Da die Perlmuschel permanent nur auf Kiessohlen existieren kann, muss auf der Sohle die Schleppkraft durchwegs so groß sein, dass sich Sand ( $d_m < 2\text{mm}$ ) auf Kies ( $2\text{mm} < d_m < 60\text{mm}$ ) nicht halten kann. Der maßgebliche Korndurchmesser  $d_m$ , der nach Geschiebetransporttheorie nicht bewegt werden kann, muss größer als 2 mm sein, d. h. die Wandschubspannung bei Mittelwasser  $\tau_{MQ}$  für  $d_m = 2\text{mm}$   $\tau_{MQ} > \zeta_{Sh} \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d_m = \tau_{crit}$  ( $\rho_s$  Korndichte,  $\rho$  Wasserdichte  $\zeta_{Sh}$  Shields-Faktor).

2. Mussziel: Als Bemessungshochwasser  $HQ_{Bem}$  gilt das 20-jährliche Hochwasser  $HQ_{20} = HQ_{Bem} = 3\text{m}^3/\text{s}$

3. Mussziel: Die Einleitungsrechte sind zu gewährleisten, d.h. dass beispielsweise die Sohle der einmündenden Drän-sammler über dem Mittelwasser der Vegetationsperiode liegen muss  $Z_{DränSohle} > Z_{MW}$ .

4. Mussziel: Die Fließgeschwindigkeit  $v$  bei Mittelwasser ( $MQ = 0.6\text{m}^3/\text{s}$ ) darf die Wandergeschwindigkeit von 0.5m/s bis 1m/s des Hasels nicht übersteigen

1. Sollziel: Die monetären Kosten und der administrative Aufwand sind gering zu halten. Das Ziel ist durch geeignete Unterhaltung zu realisieren.

2. Sollziel: Die Stabilität der Böschung und der Uferkante auf der Böschung ist zu gewährleisten. Dies erfordert eine erosionssichere Bodenbedeckung.

3. Sollziel: Der Bodenabtrag aus den anliegenden Äckern soll auf der Böschung ausgekämmt werden. Dies erfordert einen dichten, regelmäßig geschnittenen Böschungsrasen.

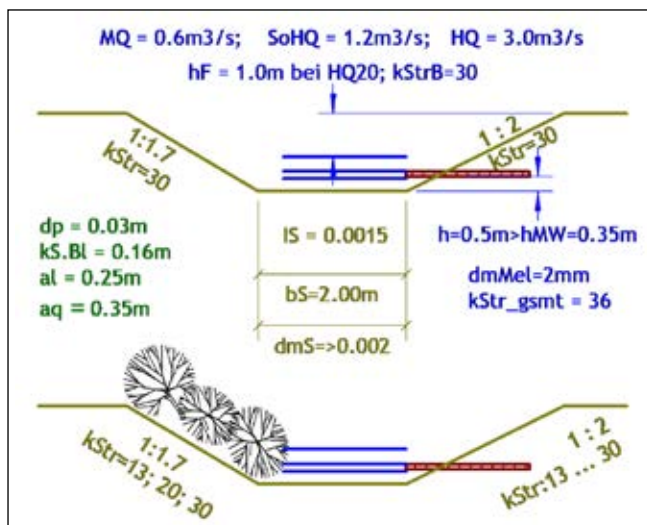


Abb. 4: Oben Gewässer gemäss Meliorationsprojekt, unten im Vergleich die geplanten Unterhaltungsvarianten, beides mit den Wasserspiegeln des Meliorationsprojekts. Fig. 4 : En haut, cours d'eau selon le projet d'amélioration ; en bas, comparaison avec les variantes d'entretien prévues, les deux avec les niveaux d'eau du projet d'amélioration.

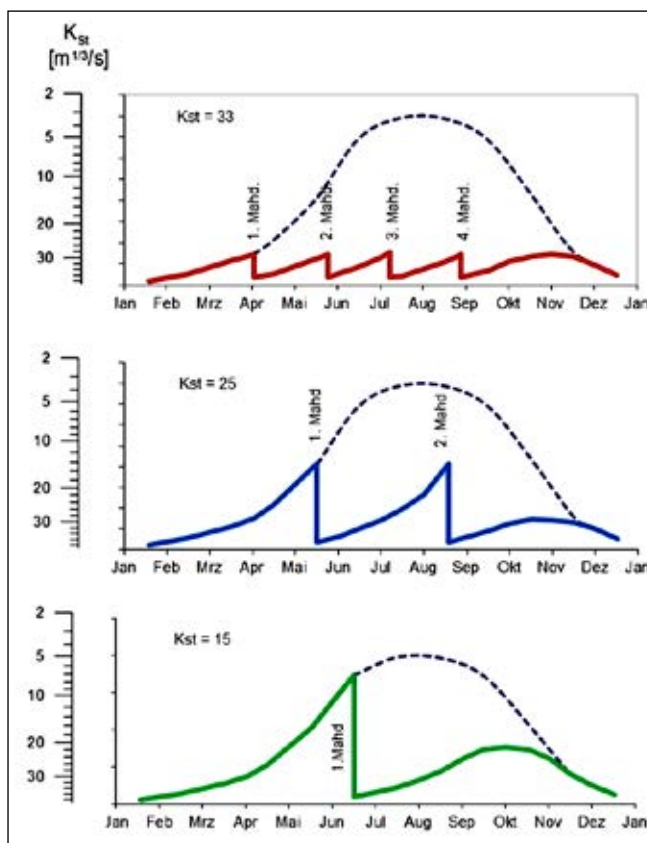


Abb. 5: Mittelwert und zeitlicher Verlauf der Strickler-Beiwerte in Abhängigkeit vom Mahd-Rhythmus, gemäss [NITSCHKE (1985)]. Fig. 5 : Valeur moyenne et évolution dans le temps des coefficients de Strickler en fonction du rythme de fauche, selon [NITSCHKE (1985)].

4. Sollziel: Mindestens auf dem südlichen Ufer soll die terrestrische Vernetzung durch Anlage eines Gehölzsaumes gefördert werden.



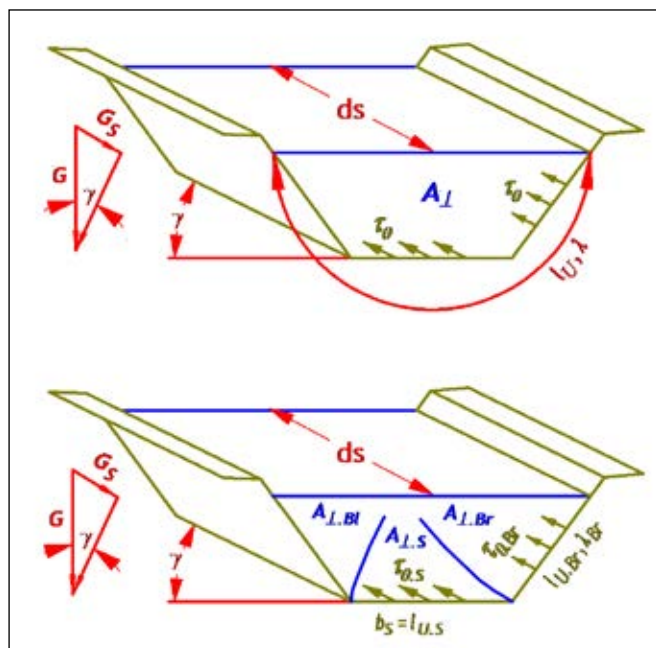


Abb. 6: Erläuterungsskizze zum Kräftegleichgewicht zwischen der Gewichtskomponente  $G_s$  und der Reibung  $\tau_0 \cdot A_f$ : Oben gleiche Rauheit von Bett und Böschungen. Unten unterschiedliche Rauheiten, die unterschiedliche Querschnittsanteile «bremsen». Fig. 6 : Schéma explicatif de l'équilibre des forces entre la composante de poids  $G_s$  et le frottement  $\tau_0 \cdot A_f$  : en haut, rugosité identique du lit et des remblais. En bas, rugosité différente, les différentes parties transversales « freinent ».

### 2.1.4. Lösungs-Entwurf

Um die Artenvielfalt und eine gute Böschungsstabilität zu erhalten sowie eine Kostensenkung zu bewirken, soll die Böschung nur noch zweimal statt wie bisher viermal pro Jahr gemäht werden. Bild 4 zeigt den aktuellen und den geplanten Zustand mit den entsprechenden Parametern. Die zweischürige Mahd drängt die Stauden zurück und fördert das Aufkommen der Gräser [SCHARFF 1999]. Gräser sorgen nicht nur für eine bessere Durchwurzelung, sondern ihr dichter Besatz kämmt den Bodenabtrag besser aus [DUNCKER 1999, bestätigt bei STRAUSS et al. 2011]. Der Gehölzsaum soll auf der Südseite durch schnellwüchsige Weiden rasch realisiert werden. Auf der gegenüberliegenden, beschatteten Uferseite wird Lägerrispe (Poa sopina) eingesät. Das Krauten der Sohle kann aufgrund der hohen Wasserqualität, welche die Ansiedelung von Perlmuscheln ermöglicht, entfallen.

### 2.1.5. Wirkungsbeschreibung

Ob die geplanten Massnahmen auch den Zielen entsprechend funktionieren, wird auf der Grundlage der Hydraulik offener Gerinne unter Annahme von Normalabfluss unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses fester Gehölze, eines veränderten Mahd-Rhythmus [Bild 5] und der unterschiedlichen Rauheiten [NITSCHKE, 1985] auf Böschungen und Sohle untersucht.

## 2.2. Hydraulik offener Gerinne mit durchströmtem Bewuchs

Der beauftragte Generalist erarbeitet die Wirkungsbeschreibung für die geplanten Massnahmen entsprechend der Bearbeitungsstufe mit seinen persönlichen Arbeitsmitteln.

Die Hydraulik realer Gewässer ist selbst beim einfachen Meliorationsgraben kompliziert. Sie basiert auf der Formel von Darcy-Weisbach [DRACOS 1990] für turbulente Rohrströmungen, in die der Widerstandsbeiwert  $\lambda$  und der Quotient aus Leitungslänge  $l$  und hydraulischem Radius  $r_{hy}$  [Quotient aus Fliessquerschnitt  $A_L$  und benetztem Umfang  $l_w$ ] als Proportionalitätsfaktoren zwischen der Verlusthöhe  $h_v$  und der Geschwindigkeitshöhe  $v^2/(2g)$  eingehen [ $g$  Fallbeschleunigung]. Sie führt mit der Bedingung: « Wassergewichtskomponente  $G_s = \rho \cdot g \cdot A_L \cdot ds \cdot \sin \gamma$  gleich Reibung  $A_f \cdot \tau_0 = l_w \cdot ds \cdot \tau_0$  » in offenen Gerinnen zu den Gleichungen, die auch im naturnahen Wasserbau grundlegend sind: zur Gleichung für die Fliessgeschwindigkeit  $v$ , für das Energieliniengefälle  $I_E$  bzw. das Sohlengefälle  $I_s$  und für die Wand Schubspannung  $\tau_0$  (Bild 6), wobei der Sinus  $\gamma$  durch den Tangens ersetzt wird.

$$h_v = \lambda \cdot \frac{l}{4 \cdot r_{hy}} \cdot \frac{v^2}{2g} \Rightarrow \frac{h_v}{l} = \sin \gamma = \frac{l_U \cdot ds \cdot \tau_0}{A_L \cdot ds \cdot \rho \cdot g} = I_E \approx \tan \gamma = I_s = \frac{\lambda}{8 \cdot r_{hy}} \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{8 \cdot r_{hy} \cdot g \cdot I_s}{\lambda}} = k_{Str} \cdot r_{hy}^{\frac{1}{2}} \cdot I_s^{\frac{1}{2}}; \quad \tau_0 = \frac{\lambda}{8} \cdot \rho \cdot v^2$$

$$\lambda_{Str} = \frac{1}{4} \left[ -\log \left( \frac{k_s}{14.84 r_{hy}} + \frac{0.6275}{Re(r_{hy}) \cdot \sqrt{\lambda}} \right) \right]^2 \approx \frac{1}{4} \left[ \log \left( \frac{14.84 r_{hy}}{k_s} = \frac{14.84 \cdot A}{k_s \cdot l_U} \right) \right]^2$$

Der Widerstandsbeiwert  $\lambda$  wird in der Regel durch jene Fliessformel ausgedrückt, für welche die erforderlichen Parameter vorliegen oder die durch Normen gefordert wird. Bei Fliessgewässern ist dies meistens die Fliessformel von Strickler. Der Widerstandsbeiwert  $\lambda_{Str}$  von Darcy-Weisbach ergibt sich aus dem Strickler-Beiwert  $k_{Str}$  bzw. dem massgeblichen Korndurchmesser  $d_m$  statt gemäss DIN als logarithmisches Fliessgesetz  $\lambda_{log}$  aus äquivalenter Sandrauheit  $k_s$ , Reynoldszahl  $Re$ .

$$\lambda_{Str} = \frac{1}{4} \left[ \log \left( \frac{14.84 r_{hy}}{k_{s, Str}} \right) \right]^2; \quad \lambda_{Str, Str} = \frac{8 \cdot g}{k_{Str}^2 \cdot r_{hy}^3}; \quad \lambda_{Str, log} = 0.176 \cdot \left( \frac{d_m}{r_{hy}} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Die Kombination einer Fliessformel mit der sogenannten Kontinuitätsgleichung ergibt die Bestimmungsgleichung für eine unbekannte Grösse der Gerinneströmung, falls alle anderen Einflussgrössen bekannt sind, wobei die Unbekannte oft nichtlinear eingeht, z.B. bei der Berechnung der Abflusstiefe  $h_f$  für einen gegebenen Durchfluss  $Q$  im

gegebenen Gerinne. Die Bestimmungsgleichung für einfache Gerinne mit konstanter Rauheit – beispielsweise für ein Trapezprofil (Bild 4 und Bild 6, je oben) mit verschiedenen Böschungswinkeln  $\beta$ , links  $\beta_l$  und rechts  $\beta_r$  bzw. Böschungsneigungen  $m$  links  $m_l = \cot\beta_l$  und rechts  $m_r = \cot\beta_r$  lautet:

$$\underbrace{Q - A_{\perp} \cdot v = 0}_{\text{Kontinuität}} = Q - k_{sv} \cdot \frac{\left( b_s \cdot h + \frac{m_l + m_r}{2} \cdot h^2 \right)^{\frac{5}{3}}}{\left[ b_s + \left( \sqrt{1+m_l^2} + \sqrt{1+m_r^2} \right) \cdot h \right]^{\frac{2}{3}}} \cdot \sqrt{I_s} = 0$$

$$\Rightarrow Q - [Q_{Bl} + Q_{oF}] = Q - [A_{\perp,Bl} \cdot v_{Bl} - A_{\perp,oF} \cdot v_{oF}] = 0$$

Falls über die Kontinuitätsbedingung hinaus weitere Bedingungen zu erfüllen sind, wie etwa unterschiedliche Rauheiten auf Bett und Böschung oder Wirbelwiderstände kugelförmiger (Störsteine) oder zylindrischer Elemente (Gehölze), ergeben sich zusätzliche Gleichungen und daraus schliesslich ein System nichtlinearer Gleichungen. Solche Systeme sind heute in jeder noch so schlichten Ingenieurstube lösbar (beispielsweise mit Solver von EXCEL in Microsoft's Office).

Das unten erläuterte Gleichungssystem für Gerinne mit unterschiedlichen Rauheiten und Gehölzsäumen beruht auf dem Ansatz von MERTENS [1989], jedoch nicht auf den von ihm verwendeten Fliessformeln. Jene sind weniger bekannt, führen aber zu einem einfacheren Gleichungssystem. Das hier erläuterte System ist zwar umfangreicher, passt aber trotzdem für den Einsatz in kleinen Ingenieurbüros (ausführlicher bei STORCHENEGGER, 2008).

Erstrecken sich über einen Querschnitt  $i$  verschiedene Rauheiten (Bild 6 unten), so müssen die durch die Wand Schubspannungen  $\tau_{0,i}$  auf den Flächen  $A_{//,i} = l_{U,i} \cdot ds$  erzeugten Reibungskräfte entgegengesetzt gleich den durch sie «gebremsten» Gewichtskomponenten parallel zur Sohle  $G_{s,i} = \rho \cdot g \cdot A_{\perp,i} \cdot ds \cdot \sin\gamma$  sein und ihre Summe muss im Gleichgewicht mit  $G_s = \rho \cdot g \cdot A_{\perp} \cdot ds \cdot \sin\gamma$  sein.

Die Querschnittsflächen-Anteile  $A_{\perp,i}$  liegen an den  $i$ -ten Rauheiten an und sind vorerst unbekannt. Da die Reibungskräfte gleich den Gewichtskomponenten sind, gilt auch, dass die Summe der Reibungskräfte auf den Flächen  $A_{//,i} = l_{U,i} \cdot ds$  gleich der Reibung auf der gesamten benetzten Fläche  $A_{//} = l_U \cdot ds$  ist, auf der die mittlere Schubspannung  $\tau_0$  durch den mittleren Widerstandsbeiwert  $\lambda$  definiert ist.

$$\tau_0 \cdot l_U \cdot ds = \frac{\lambda \cdot v^2 \cdot \rho}{8} \cdot l_U \cdot ds = \sum_{i=1}^n \tau_{0,i} \cdot l_{U,i} \cdot ds = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i \cdot \rho \cdot v^2}{8} \cdot l_{U,i} \cdot ds \Rightarrow \lambda \cdot l_U - \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot l_{U,i} = 0$$

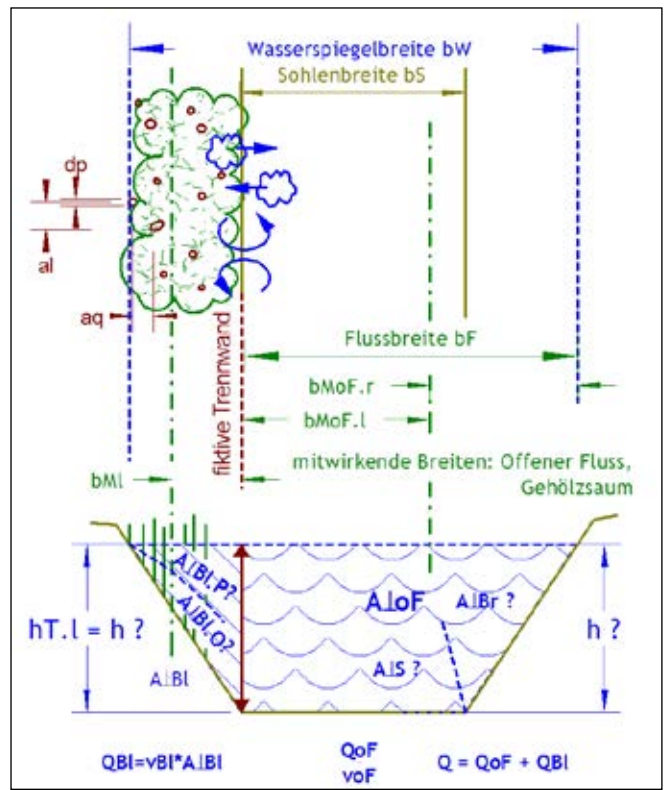


Abb. 7: Bezeichnungen und hydraulisches Modell der Strömung in Gewässern mit Gehölzsäumen.

Fig. 7 : Désignations et modèle hydraulique de l'écoulement dans les cours d'eau aux bordures boisées.

In allen Fliessquerschnittsanteilen  $A_{\perp,i}$  liegt das gleiche Energieliniengefälle  $I_e$  vor und es herrscht überall mittlere Fliessgeschwindigkeit  $v$  (ausser in Fliessquerschnitts-Anteilen mit durchströmtem Bewuchs), was zu je einer Gleichung für jeden Anteil  $A_{\perp,i}$  führt.

$$\frac{v}{\sqrt{I}} = \sqrt{\frac{8g \cdot A_{\perp}}{\lambda \cdot l_U}} = \sqrt{\frac{8g \cdot A_{\perp,i}}{\lambda_i \cdot l_{U,i}}} \Rightarrow \frac{A_{\perp}}{\lambda \cdot l_U} - \frac{A_{\perp,i}}{\lambda_i \cdot l_{U,i}} = 0$$

Zur Überprüfung der Bedingung, dass Sand weggespült werden kann, wird jener Korndurchmesser  $d_m$  aufgrund der kritischen Schleppspannung  $\tau_{0,cr}$  ermittelt, den der Bemessungs-Durchfluss  $Q$  nicht mehr bewegen kann, und der deshalb die Sohle bildet. Er muss grösser ausfallen als die Obergrenze der Sandfraktion von 2 mm. Da er überdies den Widerstandsbeiwert  $\lambda_s$  beeinflusst, geht die nachstehende Gleichung ebenfalls ins Gleichungssystem ein (SMART und JAEggi 1983).

$$\tau_{0,cr} = \frac{\lambda_s}{8} \cdot \rho \cdot v^2 = \zeta_{sh} \cdot \rho \cdot \rho_{\Delta}^* \cdot g \cdot d_m; \quad \rho_{\Delta}^* = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$$

Gehölzbewuchs auf einem oder beiden Ufer eines Fliessgewässers beeinflusst sowohl den Durchfluss als auch die

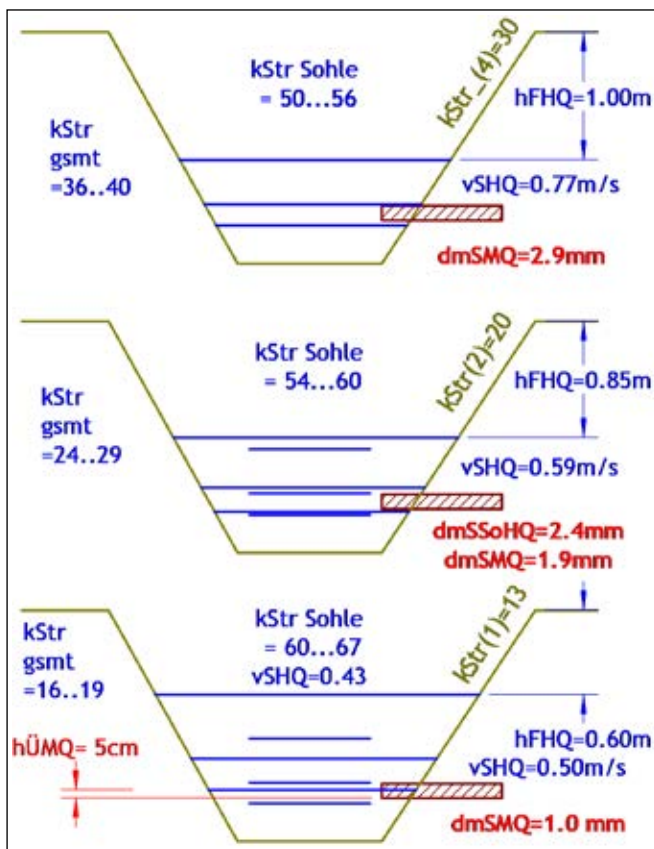


Abb. 8: Änderung der Wasserstände und der bewegbaren Sandkorn-Durchmesser allein infolge Änderung des Mahd-Rhythmus: Oben vierschürige Mahd. Mitte, zwi-schürige Mahd. Unten einschürige Mahd, bei jeweils: HQ<sub>20</sub>, Sommerhochwasser und Mittelwasser. Die Fließgeschwindigkeiten bleiben selbst beim Sommerhochwasser deutlich unter 1m/s.

Fig. 8 : Modification des niveaux d'eau et des diamètres des grains de sable mobiles uniquement suite à la modification du rythme de fauche : en haut, fauche en quatre coupes. Au milieu, fauche en deux fois. En bas, fauche en une seule coupe, pour res-pectivement : HQ<sub>20</sub>, crue estivale et crue moyenne. Les vitesses d'écoulement restent nettement inférieures à 1 m/s, même en cas de crue estivale.

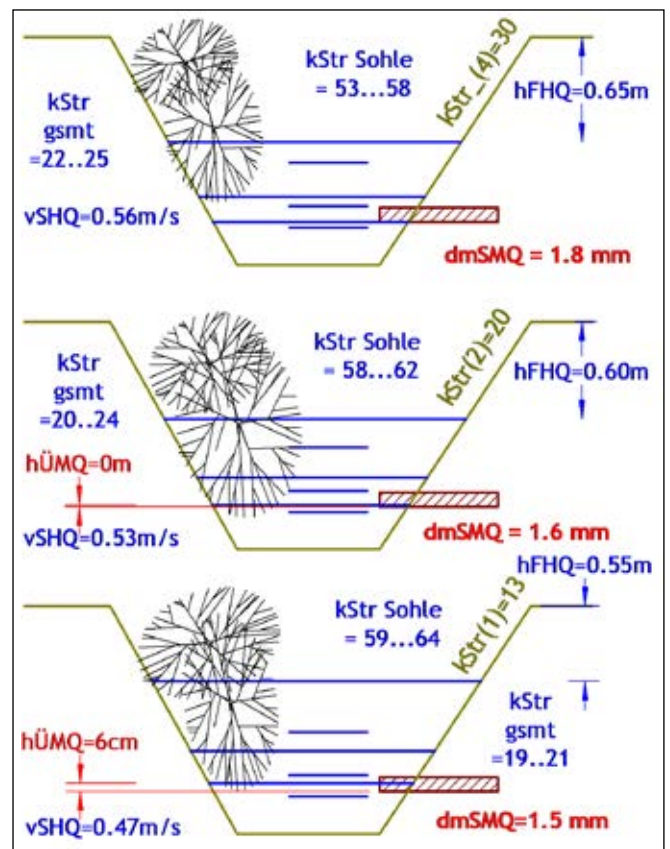


Abb. 9: Änderung der Wasserstände und der bewegbaren Sandkorn-Durchmesser bei linksseitigem Gehölzsaum und unterschiedlichem Mahd-Rhythmus. Oben, vierschürige Mahd. Mitte, zwi-schürige Mahd. Unten, einschürige Mahd, jeweils bei: HQ<sub>20</sub>, Som-merhochwasser und Mittelwasser. Die Fließgeschwindigkeiten bleiben selbst beim Sommerhochwasser deutlich unter 1m/s.

Fig. 9 : Modification des niveaux d'eau et des diamètres des grains de sable mobiles en présence d'une lisière boisée sur la gauche et d'un rythme de fauche différent. En haut, fauche en quatre coupes. Au milieu, fauche en deux fois. En bas, fauche à une seule coupe, respectivement à : HQ<sub>20</sub>, crue estivale et crue moyenne. Les vitesses d'écoulement restent nettement inférieures à 1 m/s, même en cas de crue estivale.

Schleppkraft auf der Sohle (Bild 7). Die heute vielfältigen Modelle zum Abfluss in Gewässern mit Vegetation haben DITTRICH und ABERLE (2010) beschrieben. Dazu nur dies: Die Summe der Wirbelwiderstände  $K_{Wj}$  der  $n_p$  Pflanzen mit Durchmessern  $d_{pi}$  geht nach Division durch die Fläche, auf der sie stehen, in eine Wandschubspannung  $\tau_{0,p}$  über. Diese wird jener aus der Oberflächen-Reibung  $\tau_{0,0}$  addiert (Superpositionsprinzip), mit  $m$  als Böschungsneigung.

$$\sum \frac{K_{Wj}}{l_{U,P} \cdot ds} = \tau_{0,p} = \frac{C_w \cdot \rho \cdot n_{p,i} \cdot \bar{d}_{p,i} \cdot \bar{h}_{p,i}}{l_{U,P} \cdot ds} \cdot \frac{Q^2}{2 \cdot A_i^3} = \frac{\lambda}{8} \cdot \rho \cdot v^2$$

$$\Rightarrow \lambda_{i,p} \approx 4 \cdot C_w \cdot \frac{n_p \cdot \bar{d}_p \cdot \bar{h}_p}{l_{U,i} \cdot ds} \approx 4 \cdot C_w \cdot \frac{\bar{d}_p \cdot \bar{h}_p \cdot \cos \beta_i}{a_i \cdot a_q}; \quad \cos \beta_i = \frac{m_i}{\sqrt{1+m_i^2}}$$

Da im Beispiel (Bilder 4 und 7) der Bewuchs nur links vorkommt, sind die entsprechenden Größen mit  $l$  indiziert. Der Durchfluss  $Q_{Bl}$  im Querschnittsanteil  $A_{LBl} = m_l \cdot h^2 / 2$

mit Gehölzbepflanzung ergibt sich aus dem Energielinien- bzw. Sohlengefälle des Gesamtgerinnes. Er gleitet auf der Bestockungsfläche  $A_{ll,Bl} = l_{U,B} \cdot ds$  und wird durch diese «gebremst». Er unterliegt den Widerstandsbeiwerten der Oberfläche  $\lambda_{B,0}$  und der Pflanzen  $\lambda_{B,p}$ . Die Summe der Widerstandsbeiwerte bestimmt die Fließgeschwindigkeit  $v_B(\lambda_{B,0} + \lambda_{B,p})$  im Bewuchs.

Der Widerstandsbeiwert  $\lambda_{B,0}$  ist eine Funktion des hydraulischen Radius'  $r_{hy,0} = A_{LBl,0} / l_{U,B}$ . Im Widerstandsbeiwert  $\lambda_{B,p}$  tritt die mittlere, angeströmte Bewuchshöhe  $h_p = h_i / 2$  als Hälfte der fiktiven Trennwandhöhe  $h_r$  (Bild 7) auf,

$$A_{LBl} = A_{LBl,0} + A_{LBl,p}; \quad l_{U,B} = h_r \cdot \sqrt{1+m_l^2}; \quad \lambda_{B,p} \approx 4 \cdot C_w \cdot \frac{n_p \cdot \bar{d}_p \cdot \frac{h_r}{2}}{l_{U,B} \cdot ds}$$

mit  $C_w$  als Widerstandszahl des Wirbelwiderstandes.

$$\frac{A_{LB}}{\lambda_{m,LF} \cdot l_{v,LF}} - \frac{A_{m,LF}}{\lambda_{m,LF} \cdot (l_{v,LF} + l_{v,LF})} = 0 \Rightarrow A_{m,LF} = A_{LB} \left[ 1 - \frac{\lambda_{m,LF} \left( \frac{h_T}{2} + \frac{h}{2} \right) / l_{v,LF}}{(\lambda_{m,LF} (A_{m,LF} / l_{v,LF}) + \lambda_{m,LF} (h / l_{v,LF}))} \right]$$

Die fiktive Trennwand trennt den durchströmten Bewuchs mit Fließquerschnittsanteil  $A_{LB}$  von jenem des offenen Flusses  $A_{LoF}$  und weist nur gegen diesen eine Rauheit  $k_{s,T}$  auf. Die Rauheit  $k_{s,T}$  erfasst die bremsende Wirkung der langsamen Turbulenzballen, die aus dem Gehölzsaum in den schnelleren, offenen Fluss geraten (Bild 7). Der durch die Oberflächenreibung «gebremste» Querschnittsanteil  $A_{LBO}$  ist eine Unbekannte und die Trennwandhöhe  $h_T$  ist in diesem einfachen Fall gleich der unbekanntem Abflusstiefe  $h$ . Die Trennwandrauheit  $k_{s,T}$  ist eine komplizierte Funktion des Bewuchses bzw. des Bewuchsparameters  $B$  bzw. der mittleren Abstände der Pflanzen längs  $a_l$  und quer  $a_q$  zur Strömung sowie der mitwirkenden Breite im Bewuchs  $b_m$   $b_{mI} = A_{LB} / h_T = m_l \cdot h / 2$ , deren maximale Breite  $b_{m,max}$  durch die mitwirkende Breite im offenen Fluss  $b_{moF,I}$  begrenzt ist.

$$B = \left( \frac{a_l}{d_p} - 1 \right)^2 \cdot \left[ \min \left( \frac{a_q}{d_p}, 10 \right) \right] \Rightarrow B < 16: b_{mI,max} = 0.25 \sqrt{B} \cdot b_{moF,I} \\ \Rightarrow B \geq 16: b_{mI,max} = b_{moF,I}$$

Die mitwirkende Breite im offenen Fluss  $b_{moF}$  breitet sich von der raueren zur glatteren Seite hin aus und unterteilt die Flussbreite  $b_F$  im Verhältnis der 4. Wurzel der links-  $k_{s,l} = k_{s,T}$  und rechtsseitigen Rauheiten  $k_{s,r}$  [ $k_{s,r}$  hier jene der Grasböschung].

$$b_{moF,I} = \frac{b_F \cdot \sqrt[4]{k_{s,l}}}{\sqrt[4]{k_{s,l}} + \sqrt[4]{k_{s,r}}} = \frac{b_F \cdot \sqrt[4]{k_{s,T}}}{\sqrt[4]{k_{s,T}} + \sqrt[4]{k_{s,r}}} \Rightarrow b_{mI} = \min \left( m_l \cdot \frac{h}{2}, b_{mI,max} \right) \\ \text{Einseitiger Bewuchs} \Rightarrow b_{mI} = m_l \cdot \frac{h_T}{2} \\ c = 1.2 - 0.25 \cdot (10^{-3} \cdot B) + 0.05 \cdot (10^{-3} \cdot B)^3 \Rightarrow k_{s,T} = c(a_l, a_q, d_p) \cdot b_{mI} + 1.3 d_p$$

Die Parameter für den Gehölzsaum sind in Anlehnung an VOGTS und MOHN (1989):  $k_{s,Bl} = 0.16m$ ,  $d_p = 0.03m$   $a_q \approx 0,35m$ ,  $a_l \approx 0,25m$ , gewählt. Die Analyse des Abflusses bei einseitigem Gehölz führt zum System mit 7 Gleichungen und 7 Unbekannten. Dabei ist jeder Gleichung jene Unbekannte vorangestellt, für die sie hauptsächlich bestimmend ist, z.B.  $A_{LBO}$ . Die Formeln vor dem Gleichungssystem erläutern die verwendeten Funktionen.

$$\lambda_{m,LF} = \frac{1}{4} \cdot \log^{-2} \left( \frac{14.84 \cdot A_{LBO}}{k_{s,Bl} \cdot l_{v,LF}} \right); \quad \lambda_{m,S} = 0.1761 \cdot \left( \frac{d_m \cdot b_s}{A_{LS}} \right)^{\frac{1}{2}}; \quad \lambda_{m,LF} = \frac{8 \cdot g \cdot l_{v,LF}^{\frac{1}{2}}}{k_{s,LF}^2 \cdot A_{LF}^{\frac{1}{2}}} \\ A_{LoF} = b_s \cdot h + \frac{m_l}{2} \cdot h^2; \quad l_{v,LF} = h_T + b_s + \sqrt{1 + m_l^2} \cdot h \\ \lambda_{m,LF} = \frac{8 \cdot g}{k_{s,LF}^2 \cdot \rho^{\frac{1}{2}} \cdot l_{v,LF}^{\frac{1}{2}}}; \quad \lambda_T = \frac{1}{4} \cdot \log^{-2} \left( \frac{14.83 \cdot A_{LT}}{k_{s,T} \cdot h_T} \right)$$

Gleichungssystem

$$A_{LBO}: A_{LBO} - A_{LoF} \left[ 1 - \frac{\lambda_{m,LF}}{(\lambda_{m,LF} + \lambda_{m,S})} \right] = 0 \\ A_{LT}: \frac{A_{LoF}(h)}{\lambda_{m,LF}(h, k_{s,LF}) \cdot l_{v,LF}(h)} - \frac{A_{LT}}{\lambda_T(k_{s,T}, h_T, A_{LT}) \cdot h_T} = 0 \\ A_{LS}: \frac{A_{LoF}(h)}{\lambda_{m,S}(h, k_{s,S}) \cdot l_{v,S}(h)} - \frac{A_{LS}}{\lambda_{m,S} \cdot b_s} = 0 \\ A_{LF}: \frac{A_{LoF}(h)}{\lambda_{m,LF}(h, k_{s,LF}) \cdot l_{v,LF}(h)} - \frac{A_{LF}}{\lambda_{m,LF}(l_{v,LF}, A_{LF}) \cdot l_{v,LF}(h)} = 0 \\ k_{s,T}: \frac{8 \cdot g \cdot l_{v,LF}^{\frac{1}{2}}}{k_{s,LF}^2 \cdot A_{LF}^{\frac{1}{2}}} - \left[ \lambda_T \cdot h_T + 0.1761 \cdot \left( \frac{d_m \cdot b_s}{A_{LS}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot b_s + \lambda_{m,S} \cdot l_{v,S} \right] = 0 \\ d_{mS}: \frac{0.176}{8} \cdot \left( \frac{b_s \cdot d_m}{A_{LS}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \rho \cdot \frac{Q_{LF}^2}{A_{LF}^2} - \zeta_{sh} \cdot \rho \cdot \rho_b \cdot g \cdot d_m = 0 \\ h: \frac{Q - A_{LBO}(h)}{\sqrt{\lambda_{m,LF} + \lambda_{m,S}}} \cdot \frac{A_{LoF}(h)}{l_{v,LF}(h)} \cdot g \cdot l_S - A_{LoF}(h) \cdot k_{s,LF} \cdot \left( \frac{A_{LoF}(h)}{l_{v,LF}(h)} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \sqrt{l_S} = 0$$

Die Ergebnisse sind in den Bildern 8 und 9 dargestellt.

### 3. Resultate

Die Zielerfüllungsmatrix unterstützt im Systems Engineering die Wahl bzw. das Verwerfen von Varianten und führt zu schlüssiger Entscheidung für das weitere Vorgehen oder für einen «Übungsabbruch». In dieser Matrix werden die Lösungen den Zielen gegenübergestellt (Tabelle 1). Der Grad der Zielerfüllung wird für jede Variante mit Punkten bewertet.

Der Schlüssel zur Vergabe der Punkte ist außerordentlich wichtig und Bestandteil der Akzeptanzdiskussion. Es existiert die Regel, dass die Punktesumme, die eine Variante bei Erfüllung aller Sollziele realisieren kann, kleiner sein muss als die Punktezahl für die Erfüllung eines einzigen Musszieles. Ein Mussziel erhält einen Punkt, wenn es erfüllt ist. Die Anzahl der Mussziele ergibt so die minimale Punktzahl, die eine Variante erfüllen muss, um weiter in Betracht zu bleiben.

Im beigefügten Beispiel – der geübte und praxisorientierte Leser wird leicht eine differenziertere und detaillierte Variante für seine Aufgaben finden – ist die Summe der Mussziele vier. Die Erfüllung eines Sollzieles soll deshalb maximal eine Punktzahl von 0.2 ergeben, damit nicht die Erfüllung aller vier Sollziele zur Akzeptanz einer Variante führt, die ein Mussziel nicht erfüllt.

Bei den Sollzielen kann der Grad der Erfüllung durch unterschiedliche Punktzahlen berücksichtigt werden. So kann das Stufenziel «geringe Kosten» als reziproker Wert des Verhältnisses der Kosten einer einzelnen Variante zur teuersten Variante eingehen. Geht man von linearer Zunahme der Kosten mit der Anzahl der Schnitte aus, so erhält die vierschürige Mahd die Kosten-Proportion 0.25 Punkte und die einschürige Mahd die Kosten-Proportion 1. Die Punkt-

	Ziel- Gewicht	Massnahmen-Varianten					
		ohne Gehölzsaum			mit Gehölzsaum		
		4-schurig	2-schurig	1-schurig	4-schurig	2-schurig	1-schurig
1. Mussziel: Habitats-Anspruch Perlmuschel	1	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2. Mussziel: Freibord bei HQ20	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3. Mussziel: Einleitungsrechte	1	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000
4. Mussziel: Wandergeschwindigkeit Hasels	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<i>Kosten-Proportion</i>	1	0.25	0.5	1	0.125	0.25	0.5
1. Sollziel: Kosten und Administration.	0.2	0.050	0.100	0.200	0.025	0.050	0.100
2. Sollziel: Erosionssichere Bodenbedeckung	0.2	0.100	0.200	0.100	0.200	0.200	0.200
3. Sollziel: Bodenabtrag auskämmen	0.2	0.200	0.200	0.100	0.100	0.100	0.050
4. Sollziel: Vernetzung (Gehölze), Artenvielfalt	0.2	0.05	0.1	0.05	0.1	0.2	0.1
	<b>4.800</b>	<b>4.400</b>	<b>4.600</b>	<b>2.450</b>	<b>3.425</b>	<b>3.550</b>	<b>2.450</b>

Tab. 1: Zielerfüllungsmatrix: Punkte der Massnahmen-Varianten in Abhängigkeit von der Zielerfüllung.  
 Tab. 1 : Matrice de réalisation des objectifs : points des variantes de mesures en fonction de la réalisation des objectifs.

zahl ergibt sich aus der Multiplikation mit der maximalen Punktzahl.

Nach SCHARFF [1999] übertrifft die zweischürige Mahd wegen Förderung der Artenvielfalt und besserer Durchwurzelung bzgl. Ökologie und Erosionsschutz die vier- und die einschürige Mahd und erhält deshalb die doppelte Punktezahl. Da die Anlage eines dichten Gehölzsaumes viel kostet und auch eine Pflege erfordert, diese jedoch den Bodenabtrag kaum auskämmt, erhalten diese Varianten geringere Punktezahlen.

Die Kosten des Sollzieles «möglichst gering» werden oft mit der Summe der Mussziele gewichtet, was zum Ausdruck bringen soll, dass mit der teuersten Variante der kleinste Gewinn an Musszielen erreicht wird. Ist eine ganz bestimmte Ausgabensumme vorgegeben, so bildet diese ein Mussziel. Die Bewertung des Auskämmens von Bodenabtrag auf der Böschung kann als weiteres Beispiel dienen: vier- und zweischürige Mahd werden als zielerfüllend betrachtet und erhalten als Wunschziel die Punktezahl 0.2. Die einschürige Mahd erreicht das Ziel nur zur Hälfte: ergibt 0.1. Beim Anlegen von Gehölzsäumen wird das Ziel höchstens zur Hälfte erreicht, da das Gesamt-Gerinne sehr viel rauer wird, obwohl die Sohle infolge geringerer Schleppkraft immer feiner wird, da die rauerer Böschungen stärker «bremsen» [Bild 8 und Bild 9]. In diesem einfachen Beispiel ist – leichter als in der Realität – ersichtlich, dass das Anlegen eines Gehölzstreifens mit dem Ziel «Rechtsschutz» [Einleitbedingungen] und

mit dem «Schutz einer Rote-Liste-Art» in Konflikt gerät, da nur eine Kieselsohle den Ansprüchen der Perlmuschel genügt. Eine Diskussion mit den Entscheidungsträgern ist unumgänglich.

Ohne auf eine fiktive Akzeptanzdiskussion eingehen zu wollen, bestimmen die Entscheidungsträger in einer solchen Situation,

- ob die Ziele zu modifizieren sind oder gar das Vorhaben aufzugeben sei,
- oder ob sie ein Variantenstudium mit grösserer Bearbeitungstiefe [z. B. eingehender Analyse der Makroturbulenz, des Shields-Faktors (RIJN 1984) usw.] in Auftrag geben wollen.

#### 4. Diskussion

Die Analyse der Auswirkungen auf der Annahme von Normal-Abfluss ist auf dieser Stufe der Bearbeitung gerechtfertigt und weist auf die wunden Punkte hin. Allfällig modifizierte Ziele und ein weiteres Variantenstudium mit feineren Berechnungsverfahren können einer akzeptablen Lösung näher kommen.

Das Arbeiten mit einem Gleichungssystem bietet den Vorteil, dass die berücksichtigten Zusammenhänge der Einflussgrößen überblickbar bleiben – besser als in EXCEL, jedoch in Mathematik-Programmen wie Mathcad. Der EXCEL-Solver ist nicht sehr stabil.

## Literaturverzeichnis

- BLECKEN, G.T., 2004. Ursachenanalyse und Problembewältigung des anthropogen erhöhten Sandeintrages in das Gewässernetz der Este (Niedersachsen). DA Universität Rostock, 1.Bd 35S, 2.Bd 70S.
- DAENZLER, F., 1988. Systems Engineering. Verlag Industrielle Organisation, Zürich.
- DITTRICH, A., ABERLE, J., 2010. Die Vegetation an Fließgewässern aus dem Blickwinkel eines Hydraulikers. Ingenieurbiologie/ Génie Biologique, 3.
- DRACOS, T., 1990. Hydraulik - Vorlesungsunterlagen. vdf Verlag der Fachvereine Zürich.
- KLOSS, M., 1999. Umbau eines Wehres am Gehlsbach zur Herstellung der ökologischen Durchlässigkeit. DA Universität Rostock, 70S.
- DUNCKER [verh. MACHUR], H., 1999. Comparison of the Conceptions for Establishing Buffer Strips as set up by Finland, Germany and European Union. DA Universität Rostock und massgeblich Universität Oulu, Finnland, 95S.
- MERTENS, W., 1989. Zur Frage hydraulischer Berechnung naturnaher Fließgewässer. Wasserwirtschaft 79, 170-179.
- NITSCHKE, E., 1985. Instandhaltung von Entwässerungsanlagen - Möglichkeit der Erhaltung und Erhöhung der Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit. Diss. Universität Rostock.
- RIJN, L.C. van, 1984. Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport. Journal of Hydraulic Engineering, 110 Oct.
- SCHARFF, G., 1999. Auswirkungen eines Pflegekonzeptes auf den Bewuchs von Flusssdeichen. Wasserwirtschaft, 89, 376-381.
- SCHMID, W.A., FLURY, A., 1984. Systemtechnisches Vorgehen in der Güterzusammenlegung. vdf Verlag der Fachvereine, Zürich.
- SEIDEL, M., SPEIERL T., LANGHEINRICH, U., LÜDERITZ, V., 2014. Untersuchungen zur Begleitfauna und -flora der Flussperlmuschel - Vergleich von zwei Mittelgebirgsbächen im Fichtelgebirge und zwei Tieflandbächen in der Lüneburger Heide. Wasserwirtschaft, 104, 12-19, ISSN 0043 0978, D-10812.
- SMART, G.M., JAEGLI M.N.R., 1983. Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, 64, ETH, Zürich.
- STORCHENEGGER, I.J., 2008. Hydraulik naturnaher Fließgewässer-Geoökotope. In: STÜDEMANN, O., 2008. Aspekte der Geoökologie. Weißensee Verlag, Berlin, 224-258.
- STRAUSS, P., KRAMMEN, C., HÖSL, R., 2011: Funktionen und Wirksamkeit von Gewässerrandstreifen für den Gewässerschutz. Ingenieurbiologie / Génie Biologique, 23-30
- VOGTS, B., MOHN, R., 1989. Hydraulische Rauheitsdaten aus digitaler Luftbildverarbeitung. Mittl. des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH, Aachen.

## Kontaktadresse

Isidor Storchenegger  
 Dr. sc. techn.,  
 Dipl. Kultur-Ing. ETH/SIA  
 Prof. a.D. für Kulturtechnik  
 und Gewässerregelung der  
 Universität Rostock  
 Salamanderweg 5  
 CH-7320 Sargans  
 E-Mail: ingisistor@gmail.com



**Samen und Pflanzen für die Hangsicherung**  
 zusammengestellt nach Wurzelprofilen und  
 Erosionsschutzwirkung.  
 Objektbesichtigung kostenlos  
 Lieferung ganze Schweiz und EU

**schutzfilisur**  
 100 Jahre Samen Pflanzen AG

Schutz Filisur, Samen u. Pflanzen AG, CH-7477 Filisur  
 Tel. 081 410 40 00, Fax. 081 410 40 77  
 samenpflanzen@schutzfilisur.ch

# Impressum

---

## **Mitteilungsblatt für die Mitglieder des Vereins für Ingenieurbiologie**

Heft Nr. 2/2021, 31. Jahrgang  
Erscheint viermal jährlich  
ISSN 1422-008

### **Herausgeber / Editeur:**

Verein für Ingenieurbiologie  
c/o OST Ostschweizer Fachhochschule  
ILF-Institut für Landschaft und Freiraum  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 58 257 48 97  
E-Mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch

### **Internet-Adresse / Adresse internet:**

<http://www.ingenieurbiologie.ch>

### **Druck / Impression:**

Vögeli AG, Langnau i. E.

### **Verantwortlicher Redaktor / Rédacteur responsable:**

Roland Scheibli  
Baudirektion Kanton Zürich  
Amt für Landschaft und Natur  
Walcheplatz 2, Postfach  
CH-8090 Zürich  
Tel.: + 41 43 259 27 64  
E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch

### **Redaktionsausschuss / Comité de rédaction:**

Robert Bänziger  
Tel.: + 41 44 850 02 81  
E-Mail: robert.baenziger@bk-ing.ch

Monika La Poutré  
Tel.: + 43 650 8615215  
E-Mail: m.stampfer@gmx.at

Christian Rickli  
Tel.: +41 44 739 24 03  
E-Mail: christian.rickli@wsl.ch

### **Lektorat / Lectorat:**

Martin Huber  
Tel.: + 41 32 671 22 87  
E-Mail: martin.huber@bsb-partner.ch

### **Übersetzungen / Traductions:**

Rolf T. Studer  
E-Mail: rolf.studer@mail.com

### **Sekretariat / Secrétariat:**

Verein für Ingenieurbiologie  
c/o OST Ostschweizer Fachhochschule  
ILF-Institut für Landschaft und Freiraum  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 58 257 48 97  
E-Mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch

**Weitere Exemplare dieses Heftes können zum  
Stückpreis von Fr. 20.– beim Sekretariat bezogen werden.**

## Inserate Annonces

### Inseratentarif für Mitteilungsblatt / Tarif d'insertion dans le bulletin

Der vorliegende Tarif ist gültig für eine Ausgabennummer.

Le present tarif comprend l'insertion pour une parution.

1 Seite Fr. 1125.- 2/3 Seite Fr. 825.- 1/2 Seite Fr. 600.-

1/3 Seite Fr. 450.- 1/4 Seite Fr. 375.- 1/8 Seite Fr. 225.-

Separate Werbebeilage beim Versand: 1 A4-Seite Fr. 1000.-

jede weitere A4-Seite Fr. 300.-

**Inseratenannahme: Verein für Ingenieurbiologie c/o OST Ostschweizer  
Fachhochschule ILF, Institut für Landschaft und Freiraum, Oberseestrasse 10,  
8640 Rapperswil, Tel. +41 58 257 48 97,  
sekretariat@ingenieurbiologie.ch**

Link auf der Internetseite des Vereins / Liens sur la page de l'Association:

Fr. 750.- pro Jahr/par an

Oder gratis bei Inseraten im Mitteilungsblatt im Wert von mindestens

Fr. 750.- pro Jahr.

Ou gratuit pour des annonces dans le bulletin d'une valeur d'au moins Fr. 750.-  
par an.

## Nächste Ausgaben Prochaines éditions

### Thema

Biodiversität und Pflanzenverwendung  
Gewässerpreis/Mitgliederversammlung  
Geländestabilisierungen und Aufforstungen  
Wildbäche: ein Blick über die Grenzen  
Wasserbau mit ökologischer Zielsetzung

### Redaktion

Monika La Poutré  
Roland Scheibli  
Christian Rickli  
Monika La Poutré  
Robert Bänziger

**Fachbeiträge sind gemäss den redaktionellen Richtlinien zu verfassen und bis zum Redaktionsschluss dem/der  
zuständigen Redaktor/in einzureichen.**



INGENIEURBIOLOGIE  
GÉNIE BIOLOGIQUE  
INGEGNERIA NATURALISTICA  
INSCHENIERA BIOLOGICA

Verein für Ingenieurbiologie  
c/o OST Ostschweizer Fachhochschule  
ILF Institut für Landschaft und Freiraum  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 58 257 48 97  
E-Mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch



Europäische Föderation für Ingenieurbiologie  
Federazione Europea l'Ingegn Naturalistica  
Europ. Federation for Soil Bioengineering  
Fedetacion Europea de Ingeniarta def Palufe

Giovanni de Cesare  
EPFL ENAC IIC PL-LCH  
GC A3 495 (Bâtiment GC)  
Station 18, CH-1015 Lausanne  
Tel. +41 21 69 32517  
Mail: giovanni.decesare@epfl.ch

