

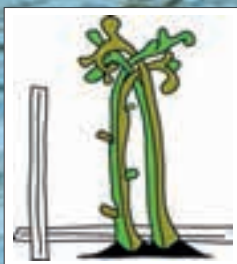
Mitteilungsblatt Nr. 1, Februar 2015
Bulletin n° 1, février 2015
Bollettino n. 1, febbraio 2015
ISSN 1422-0008



Ingenieurbiologie
Neue Entwicklungen an Fließ-
gewässern, Hängen und Böschungen

Génie biologique
Nouveaux développements pour les
cours d'eau, les versants et les pentes

Ingegneria naturalistica
Nuovi sviluppi lungo corsi d'acqua,
scarpate e pendii



INGENIEURBIOLOGIE
GENIE BIOLOGIQUE
INGEGNERIA NATURALISTICA

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

Heft Nr. 1/2015, 25. Jahrgang
Erscheint viermal jährlich

Herausgeber:

Verein für Ingenieurbiologie
c/o Zürcher Hochschule für Angewandte
Wissenschaften
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Sekretariat Andrea Grimmer
Grüntal, Postfach 335, CH-8820 Wädenswil
Tel.: +41 58 934 55 31
E-Mail: sekretariat@ingenieurblogie.ch

Internet-Adresse:

<http://www.ingenieurblogie.ch>

Druck:

Vögeli AG, Langnau i. E.

**Verantwortliche Redaktorin/
Rédactrice responsable:**

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

**Redaktionsausschuss/
Comité de rédaction:**

Roland Scheibli
Tel.: + 41 43 259 27 64
Fax: + 41 43 259 51 48
E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch

Robert Bänziger

Tel.: + 41 44 850 11 81
Fax: + 41 44 850 49 83
E-Mail: info@baenziger-ing.ch

Lektorat/Lectorat:

Martin Huber
Tel.: + 41 32 671 22 87
Fax: + 41 32 671 22 00

Übersetzungen/Traductions:

Rolf T. Studer
E-Mail: rolf.studer@mail.com
Michel Jaeger
E-Mail: mr.mjaeger@gmail.com

Veranstaltungen:

Verein für Ingenieurblogie
c/o Zürcher Hochschule für Angewandte
Wissenschaften
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Sekretariat Andrea Adelheid Grimmer
Grüntal, Postfach, CH-8820 Wädenswil
Tel.: +41 58 934 55 31
E-Mail: sekretariat@ingenieurblogie.ch

**Weitere Exemplare dieses Heftes
können zum Stückpreis von Fr. 15.–
beim Sekretariat bezogen werden.**

Ingenieurblogische Massnahmen sind als Stand der Technik im modernen Wasserbau nicht mehr wegzudenken. Der ingenieurblogische Lebendverbau erfüllt dabei wesentliche Aufgaben im Sinne des Wasserbaus und schafft es, die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie, der Hochwasserrichtlinie, aber auch der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie unter einen Hut zu bekommen. Die komplexen Anforderungen im Wasserbau, mit seinen verschiedenen Interessen, machen eine exakte Planung und Ausführung der ingenieurblogischen Massnahmen notwendig, um die Anforderungen der Schutzwasserwirtschaft keinesfalls zu konterkarieren.

Prof. Florin Florineth, dem Leiter des Instituts für Ingenieurblogie und Landschaftsbau der BOKU Wien, ist es zu verdanken, dass die Ingenieurblogie auch Eingang in die ÖWAV-Fachgruppe «Wasserbau, Ingenieurblogie und Ökologie» gefunden hat, und seit 2002 wird in diversen Arbeitsausschüssen an Publikationen aus dem Bereich der Ingenieurblogie gearbeitet. Dabei werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse für

die Praxis aufbereitet und den Anwenderinnen und Anwendern Werkzeuge in die Hand gegeben, um am Stand des Wissens Massnahmen umzusetzen.

Das Seminar «Ingenieurblogie – Neue Entwicklungen an Fließgewässern, Hängen und Böschungen», zu dem dieses Heft der «Ingenieurblogie» erstellt wurde, fällt unter diese wichtige Kategorie der Wissensvermittlung und stellt in den Blöcken «Ökologisches Potenzial der Ufervegetation», «Angewandte ingenieurblogische Massnahmen an Fließgewässern» und «Begrünung von Extremstandorten an Hängen und Böschungen» praktische Lösungsansätze vor. Damit werden die Massnahmen der Ingenieurblogie kompakt dargestellt, um den hohen Ansprüchen der oben erwähnten EU-Richtlinien gerecht zu werden.

Wir wünschen Ihnen zwei spannende Seminartage und empfehlen Ihnen, die Zeit zu nutzen, um sich mit den Kolleginnen und Kollegen auszutauschen und zu vernetzen. Auch das trägt dazu bei, dass Massnahmen noch besser werden.

BR h.c. DI Roland HOHENAUER,
Vizepräsident des Österreichischen
Wasser- und Abfallwirtschafts-
verbandes

Dans la technique des ouvrages hydrauliques modernes, les mesures du génie biologique sont devenues indispensables. Les ouvrages végétaux du génie biologique remplissent des tâches essentielles au sens de l'aménagement hydraulique et satisfont simultanément aux exigences de la Directive-cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE), aux Directives relatives à la gestion des crues et à la Directive «Habitats, Faune, Flore», plus communément appelée Directive Habitats (Directive 92/43/CEE). Face à ces divers intérêts, les exigences complexes des aménagements hydrauliques requièrent une planification et une exécution minutieuses des mesures de génie biologique afin de ne pas contrecarrer les exigences de la protection contre les crues.

Titelbild/Frontispice/Immagine di copertina:

Lafnitz flussab von Neustift
La Lafnitz en aval de Neustift
Il fiume Lafnitz a valle di Neustift

Grâce aux travaux du Professeur Florin Florineth, Directeur de l'Institut du génie biologique et de l'aménagement paysager de l'Université pour la culture des sols à Vienne (BOKU), le génie biologique est entré dans le groupe de travail «Génie hydraulique, génie biologique et écologie» de la Fédération autrichienne pour la gestion de l'eau et des déchets (ÖWAV) et a fait l'objet, depuis 2002, de plusieurs publications au sein de diverses commissions de travail. Dans ce cadre, les connaissances scientifiques sont préparées pour la pratique et des outils sont mis à disposition des utilisatrices et des utilisateurs.

Le séminaire «Génie biologique – Nouveaux développements pour les cours d'eau, les versants et les pentes» auquel est consacré ce bulletin est un exemple dans cette catégorie importante de la transmission du savoir. Des solutions pratiques sont présentées dans les domaines «Potentiel écologique de la végétation riveraine», «Mesures de génie biologique appliquées aux cours d'eau» et «Végétalisation de pentes et remblais sur des emplacements extrêmes». Ainsi, les mesures de génie biologique sont représentées de manière compacte afin de répondre aux exigences élevées des Directives européennes susmentionnées.

Nous vous souhaitons deux jours de séminaire instructifs et passionnants et vous encourageons au partage et au réseau

tage avec les collègues présents. Cela contribue également à l'amélioration de nos mesures du génie biologique.

BR h.c. DI Roland HOHENAUER,
Vice-Président de l'ÖWAV

Al giorno d'oggi non ci si può più immaginare opere d'ingegneria idraulica senza prendere in considerazione misure d'ingegneria naturalistica all'avanguardia. La sistemazione con tecniche vegetali soddisfa le funzioni fondamentali dell'ingegneria idraulica e riempie alla volta i criteri delle direttive quadro dell'Unione Europea sulle acque, sulla protezione contro le inondazioni e sull'habitat della flora e fauna. Le complesse esigenze di opere idrauliche, che devono tener conto di diversi interessi, rendono indispensabile una minuziosa pianificazione ed esecuzione delle misure d'ingegneria naturalistica in modo da soddisfare i criteri della protezione contro le piene.

Grazie al prof. Florin Florineth, direttore dell'istituto per l'ingegneria naturalistica e architettura paesaggistica della BOKU Vienna, l'ingegneria naturalistica è entrata a far parte del gruppo di lavoro «ingegneria idraulica, ingegneria naturalistica e ecologia» della ÖWAV (n.d.t. «associazione austriaca per l'economia delle acque e dei rifiuti»). Dal 2002

all'interno di diverse commissioni tecniche viene lavorato a pubblicazioni nel campo dell'ingegneria naturalistica. Si tratta di preparare le ultime conoscenze scientifiche per offrire agli specialisti degli strumenti di lavoro allo stato dell'arte per realizzare le opere previste.

Il seminario «ingegneria naturalistica – nuovi sviluppi lungo corsi d'acqua, scarpate e pendii», per il quale è stata redatta questa edizione della rivista, fa parte dell'importante categoria di scambio delle conoscenze. Approcci concreti sono presentati nei blocchi «Potenziale ecologico della vegetazione riparia», «Misure d'ingegneria naturalistica applicata lungo corsi d'acqua» e «Rinverdimento di siti estremi su scarpate e pendii». In questo modo sono presentate in maniera compatta le misure d'ingegneria naturalistica per soddisfare agli alti standard delle sopracitate direttive quadro dell'UE.

Vi auguriamo due interessanti giorni di workshop e consigliamo di sfruttare il tempo per scambiare opinioni con le colleghe e i colleghi oltre che per allargare la propria rete di contatti. Anche questo aiuta a migliorare le misure naturalistiche.

BR h.c. DI Roland HOHENAUER,
Vicepresidente ÖWAV



Lindner
suisse

Erosions-Schutzvlies

aus Schweizer Holz.
Der natürliche Schutz gegen Wind- und Wassererosion.
Bei der Planung nicht vergessen!

produziert von: Lindner Suisse GmbH | Bleikenstrasse 98 | CH-9630 Wattwil
Phone +41 (0) 71 987 61 51 | Fax +41 (0) 71 987 61 59 | holzwolle@lindner.ch | www.lindner.ch

Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka

Gerda Holzapfel, Hans Peter Rauch

Zusammenfassung

Die Ufervegetation ist ein wichtiger Bestandteil von Flussökosystemen und beeinflusst das Fließgewässer nachhaltig. Durch starke anthropogene Nutzungen, besonders im Tiefland, wurden Fließgewässer in Zentraleuropa sehr stark verändert und in einen weitgehend mässigen ökologischen Zustand versetzt. Auwald musste oft Siedlungsgebieten oder landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen weichen, wodurch wichtige Funktionen der Ufervegetation wie auch die Beschattung ausser Kraft gesetzt wurden. Am Beispiel der aktuellen Situation der Landnutzung und Ufervegetation der Flüsse Lafnitz und Pinka wird der Zusammenhang zwischen Ufervegetation und Wassertemperatur beschrieben. Des Weiteren werden anhand eines Leitbildes (Lafnitz) Ansätze zur Wiederherstellung der Ufervegetation aufgezeigt. Ein Zusammenhang zwischen Wassertemperatur und Beschattung ist an der Pinka von Sinnersdorf bis Jabing (Flusskilometer 20–48), einem Bereich mit gleichem Abflussverhalten ($1,0\text{--}1,2\text{ m}^3/\text{s}$) und verschiedenen Vegetationszuständen, zu erkennen. Die Wiederherstellung der Ufervegetation ist, durch diese Ergebnisse bestärkt, eine Methode zur Beeinflussung der Wassertemperatur und daher wichtig für den Fluss und dessen Lebewesen. Als Leitbild dafür wurde der naturnahe Abschnitt der Lafnitz-Stögersbach-Auen mit seiner natürlichen Artenzusammensetzung aus Bruchweiden, Schwarzerlen, Traubenkirschen und Schwarzem Holunder herangezogen. Standorte für die Wiederbepflanzung sind in verschiedenen Prioritätsklassen ausgewiesen, allerdings müssen diese immer in Kombination mit flussmorphologischen Begutachtungen stehen.

Keywords

Ufervegetation, Wassertemperatur, Beschattung, Auwald

Influence de la végétation riveraine sur la température de l'eau de la Lafnitz et de la Pinka

Résumé

La végétation riveraine est un élément important des écosystèmes fluviaux et influe durablement le cours d'eau. En Europe centrale en particulier dans les plaines, les cours d'eau ont été fortement modifiés et conditionnés par les utilisations anthropiques intenses. Les forêts riveraines ont souvent dû faire place à des zones urbaines ou agricoles intensives, de sorte que des fonctions importantes de la végétation riveraine telle que l'ombrage ont été délaissées. La relation entre la végétation riveraine et la température de l'eau est décrite à l'exemple de la situation actuelle de l'utilisation des terres et de la végétation riveraine des cours d'eau Lafnitz et Pinka. En outre, des approches afin de rétablir la végétation riveraine ont été identifiées sur la base d'un modèle (Lafnitz). Une corrélation entre la température de l'eau et l'ombrage est mise en évidence sur la Pinka de Sinnersdorf à Jabing (km 20 à 48), un secteur avec des conditions d'écoulement stables ($1,0\text{--}1,2\text{ m}^3/\text{s}$) et différentes conditions de végétation. La restauration de la végétation riveraine est encouragée par ces résultats et dispose d'une méthode pour influencer la température de l'eau, d'importance pour le cours d'eau et ses organismes. Le secteur quasi-naturel de la plaine inondable de Lafnitz-Stögersbach a été utilisé comme modèle avec sa composition naturelle d'espèces telles que des saules, aulnes, cerisiers à grappes noires et sureaux noirs. Des emplacements pour la replantation sont présentés en différentes classes de priorité. Celles-ci doivent cependant toujours être considérées en combinaison avec la morphologie du cours d'eau.

Mots-clés

Végétation riveraine, température de l'eau, ombrage, forêt riveraine

L'influenza della vegetazione riparia sulla temperatura dell'acqua dei fiumi Lafnitz e Pinka

Riassunto

La vegetazione riparia è un importante elemento degli ecosistemi fluviali e influenza in maniera durevole le acque. I corsi d'acqua dell'Europa centrale, soprattutto nelle pianure, sono stati fortemente modificati dall'importante impatto dell'uomo che li ha generalmente relegati in uno stato ecologico mediocre. La foresta alluvionale ha spesso dovuto far posto a insediamenti o zone agricole sfruttate intensamente e così importanti funzioni della vegetazione riparia, come per esempio l'ombreggiatura, sono andate perse. Basandosi sullo stato attuale della destinazione dei suoli e della vegetazione riparia dei fiumi Lafnitz e Pinka viene descritta la relazione tra vegetazione riparia e temperatura dell'acqua. Inoltre, sulla base di un esempio (Lafnitz), vengono presentati approcci per ripristinare la vegetazione riparia.

Lungo il fiume Pinka, sul tratto con condizioni di deflusso costanti ($1\text{--}1,2\text{ m}^3/\text{s}$) tra Sinnersdorf e Jabing (kilometro 20–48), si riconosce una relazione tra temperatura dell'acqua e ombreggiatura. L'utilità del ripristino della vegetazione riparia è dunque confermata, essendo questa un metodo utile per influenzare la temperatura dell'acqua e quindi un elemento importante per il fiume e i suoi organismi viventi.

Come esempio viene citato il tratto seminaturale Stögersbach-Auen del fiume Lafnitz, il quale presenta una struttura tassonomica naturale composta da sa-

lici fragili, ontani, ciliegi e sambuchi neri. I siti per il reimpianto sono categorizzati in diverse classi di priorità, tuttavia devono sempre essere combinati con una valutazione della morfologia fluviale.

Parole chiave

Vegetazione riparia, temperatura dell'acqua, ombreggiatura, foresta alluvionale

1. Einleitung

Die Ufervegetation ist ein wichtiger Bestandteil von Flussökosystemen und beeinflusst das Fließgewässer nachhaltig. Sie dient als Lebensraum, Nahrungsquelle und Schutz für die aquatische Flussfauna (Florineth, 2012; Jüring und Patt, 2005; Jungwirth et al., 2003; in dieser Zeitschrift: «Einfluss der Wassertemperatur auf die Habitatpräferenz von Fischen in mittelgrossen Flüssen» [Melcher et al.] und «Der Einfluss der Wassertemperatur auf die benthischen Invertebratenzönosen in Fließgewässern, am Beispiel der Lafnitz und Pinka» [Dossi et al.]). Durch starke anthropogene Nutzungen, besonders im Tiefland, wurden Fließgewässer in Zentraleuropa sehr stark verändert und in einen weitgehend mässigen ökologischen Zustand versetzt, Auwald musste oft Siedlungsgebieten oder landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen weichen (Florineth, 2012; Muhar et al., 2004). Damit wurden wichtige Funktionen der Ufervegetation wie auch die Beschattung ausser Kraft gesetzt (Holzapfel, 2010). Bei kleinen bis mittelgrossen Fließgewässern reduziert ein natürlicher Auwald die einfallende Strahlung um bis zu 95% (Holzapfel et al., 2013; Holzapfel et al. 2012; Rickert, 2009; DVWK 244/1997) und hat somit einen wesentlichen Einfluss auf die Wassertemperatur. Dies ist besonders in Zeiten des Klimawandels von Bedeutung, da mit einer Ufervegetation die Einflüsse wie extreme Temperaturen und deren Auswirkung auf die Wassertemperatur abgeschwächt werden können (Holzapfel et al., 2013; Hacker und Johannsen, 2012). Besonders bei Perioden mit Niedr Wasserabfluss

	Lafnitz	Pinka
Länge (km)	114	100
Einzugsgebiet (Rohrbach/Pinkafeld) (km ²)	269	134
MQ (Rohrbach/Pinkafeld) (m ³ /s)	2,66	1
Q 95 (Rohrbach/Pinkafeld) (m ³ /s)	1,14	0,34
HQ 100 (Rohrbach/Pinkafeld) (m ³ /s)	168	128
Einzugsgebiet (Dobersdorf/Burg) (km ²)	925	664
MQ (Dobersdorf/Burg) (m ³ /s)	5,72	2,82
Q 95 (Dobersdorf/Burg) (m ³ /s)	2,28	0,73
HQ 100 (Dobersdorf/Burg) (m ³ /s)	342	240

Tab. 1: Hydrologische Kennwerte der Flüsse Lafnitz und Pinka.
 Tab. 1 : Caractéristiques hydrologiques des rivières Lafnitz et Pinka.

kann die Wassertemperatur durch fehlende Ufervegetation kritische Werte erreichen und wesentliche Änderungen in der Flussfauna und der Wasserqualität (in dieser Zeitschrift: «Veränderung ausgewählter Wasserqualitätsparameter durch Querbauwerke in kleinen Fließgewässern» [Pressl und Allabashi]) verursachen. Dieser Artikel beschreibt die aktuelle Situation der Landnutzung und Ufervegetation der Flüsse Lafnitz und Pinka. Der Zusammenhang zwischen Vegetation und der Wassertemperatur wird an ausgewählten Standorten der Pinka dargestellt, des Weiteren werden anhand eines Leitbildes (Lafnitz) Ansätze zur Wiederherstellung der Ufervegetation aufgezeigt.

2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über den Verlauf der Flüsse Lafnitz und Pinka von der Quelle bis zur österreichischen Staatsgrenze im Südosten Österreichs (Abb. 1). Beide Flüsse werden der Bioregion 13, den östlichen Flach- und Hügelländern des oststeirischen und südburgenländischen Hügellandes, zugeordnet. Zoografisch befinden sie sich zum Grossteil in der Region der Ungarischen Tiefebene (Wimmer et al., 2012). Die Lafnitz ist der «natürlicher» Fluss der beiden. Durch ihren Verlauf entlang einer Grenze (früher Österreich/Ungarn, heute Steiermark/Burgenland) blieben lange, natürliche Bereiche erhalten. In den letzten zehn Jahren gab es in diesem Gebiet zusätzlich mehrere gewässerökologische Pro-

jekte. So wurde von 2003 bis 2007 ein Life-Projekt durchgeführt und es wurden Ramsar- sowie Natura-2000-Gebiete ausgewiesen (Cejka et al., 2005). Es gibt jedoch auch an der Lafnitz durchaus stark beeinträchtigte Abschnitte. Die Pinka hingegen ist grossteils stark anthropogen beeinträchtigt. Wasserkraftwerke, starke agrarische Nutzung des Talraumes sowie ein begradigter Verlauf durch Siedlungsgebiete haben sie stark verändert. Genauere Informationen zur Hydrologie der beiden pluvial

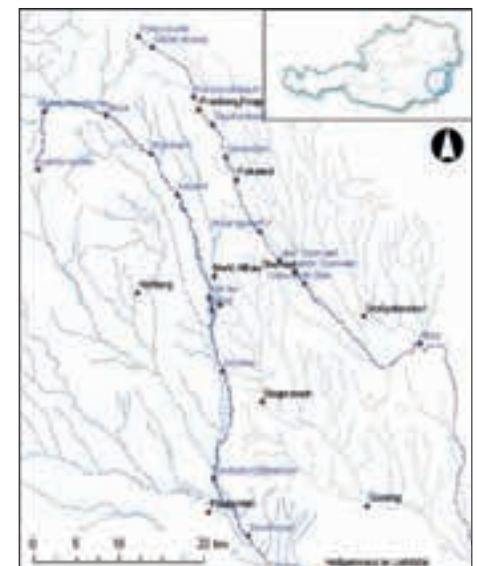


Abb. 1: Projektgebiet – im Bild links die Lafnitz von der Quelle im steirischen Joglland bis Heiligenkreuz und rechts die Pinka von der Quelle bis zum ersten Grenzübertritt in Burg (Gewässernetz von der burgenländischen Landesregierung).
 Fig. 1 : Zone de projet – à gauche la Lafnitz de sa source dans le Joglland styrien jusqu'à Heiligenkreuz. A droite la Pinka de sa source au premier franchissement de la frontière à Burg (réseau hydrographique du gouvernement du Burgenland).

geprägten Flüsse sind Tabelle 1 zu entnehmen.

3. Material und Methoden

Im Längsverlauf der beiden Flüsse wurden die Landnutzung, die Ausprägung der Ufervegetation, die an der Wasseroberfläche eintreffende Globalstrahlung und die Wassertemperatur erhoben. Mit Hilfe von Orthofotos und einem geografischen Informationssystem (GIS) wurde ein Pufferstreifen von 50 m in homogene Polygone mit gleicher Landnutzung (Überdeckung/Gebäude; Infrastrukturflächen, Forst/Garten, Landwirtschaft/Wiesen und Auwald) geteilt. Diesen wurden die Eigenschaften Vegetationshöhe und -dichte zugeordnet, anschliessend wurden sie vor Ort überprüft und ergänzt. Aus der Flussbreite und dem Überhang der Vegetation in den Flussraum wurde der Lichtraum berechnet. Diese erhobenen Vegetationsdaten wurden mit Hilfe der GIS-Erweiterung «Ttools» für weitere Aussagen in 50-m-Schritten aufbereitet. Zusätzlich wurden an ausgewählten Profilen Detailinformationen über vorkommende Artenzusammensetzungen, Einzelbaumhöhen, 3-D-Verteilung der Vegetation und der Überhang über das Gewässer erhoben. Mit hemisphärischen Fotografien (Fischaugen fotografieren) wurde der Global Site Factor (GSF) berechnet, der das Verhältnis der Globalstrahlung oberhalb ($Glob_{Ab}$) und unterhalb ($Glob_{Be}$) des Kronendaches darstellt, wobei gilt:

$$GSF = \frac{Glob_{Be}}{Glob_{Ab}}$$

Die Wassertemperatur wurde mit Hilfe von Temperaturloggern (HOBO Pendant Temperature/Light Data Logger 8K * UA-002-08) im Längsverlauf der Flüsse gemessen. Detailinformationen sind in dieser Zeitschrift dem Artikel «Messung und Modellierung der Wassertemperatur an den Flüssen Lafnitz und Pinka» von Weihs zu entnehmen.

Diese Grundlagen wurden anschliessend verschnitten und analysiert. Mit Hilfe eines erstellten Leitbildes basierend auf naturnahen Bereichen der Lafnitz wurden Vorschläge und mögliche Massnahmen zur Bepflanzung eines in

der Dimension und Lage vergleichbaren, stark beeinträchtigten Abschnittes an der Pinka erarbeitet.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Landnutzung

Die Ausprägung der Ufervegetation ist oft abhängig von der vorherrschenden Landnutzung, da diese zumindest ihr

sen, Weiden und Ähnlichem zusammen. Infrastrukturflächen wie Strassen, Feldwege und Parkplätze haben besonders an der Lafnitz eine untergeordnete Rolle.

4.2 Zustand der Ufervegetation im Projektgebiet

An Lafnitz und Pinka sind in Hinsicht auf Vegetationshöhe, -dichte und -breite

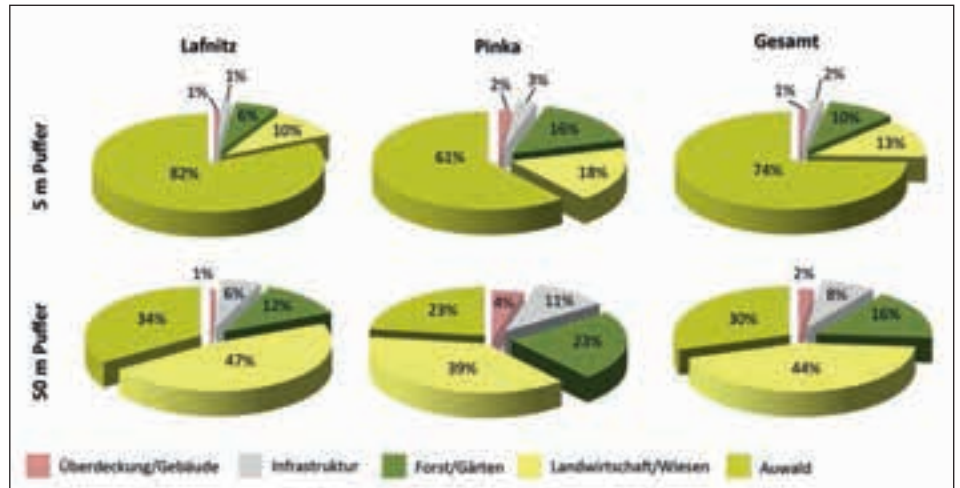


Abb. 2: Landnutzungen an Lafnitz und Pinka in einem 5-m- (oben) und einem 50-m-Puffer (unten).
Fig. 2: Occupation des sols de la Lafnitz et de la Pinka dans une amplitude de 5 m (en haut) et de 50 m (en bas).

Ausdehnungspotenzial bestimmt. Abbildung 2 zeigt die verschiedenen Landnutzungen an Lafnitz und Pinka vergleichsweise in einem 5-m- und einem 50-m-Pufferstreifen. Es ist deutlich zu erkennen, dass direkt am Fluss (die ersten 5 m) Auwaldreste mit einem Anteil von 82% an der Lafnitz bzw. 61% an der Pinka im Vergleich zu landwirtschaftlichen Flächen wesentlich stärker ausgeprägt sind. Vergrössert sich der Pufferstreifen, nehmen die landwirtschaftlichen Flächen schnell um bis zu 40% zu, diese setzen sich aus Äckern, Streuobstwie-

vier verschiedene «Vegetationstypen» zu finden. Abbildung 3 zeigt die Zusammensetzung dieser in Höhe, Dichte und Breite sowie den Lichtraum über dem Gewässer. Der Forst zeichnet sich durch hohe Dichten, Breiten und Höhen aus, dies ergibt einen geringen Lichtraum. Im Gegensatz dazu sind die Siedlungsgebiete durch niedere Werte in allen Kategorien ausser dem Lichtraum geprägt. Der Ufersaum ist oft sehr dicht und hoch und hat daraus resultierend meist einen geringen Lichtraum, also über weite Bereiche einen Kronen-

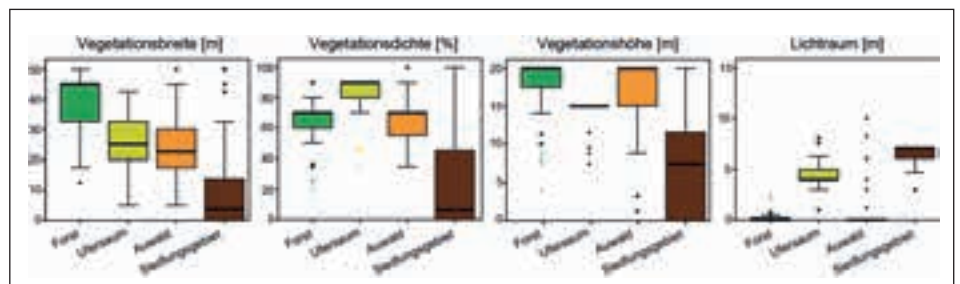


Abb. 3 (v.l.n.r.): Breite, Dichte, Höhe und Lichtraum der Ufervegetation der vier verschiedenen Standortstypen. Die Einheiten befinden sich jeweils über der Abbildung.
Fig. 3 (de gauche à droite): largeur, densité, hauteur et espace libre de la végétation riveraine pour les quatre types d'emplacements différents. Les unités sont situées sur la figure.

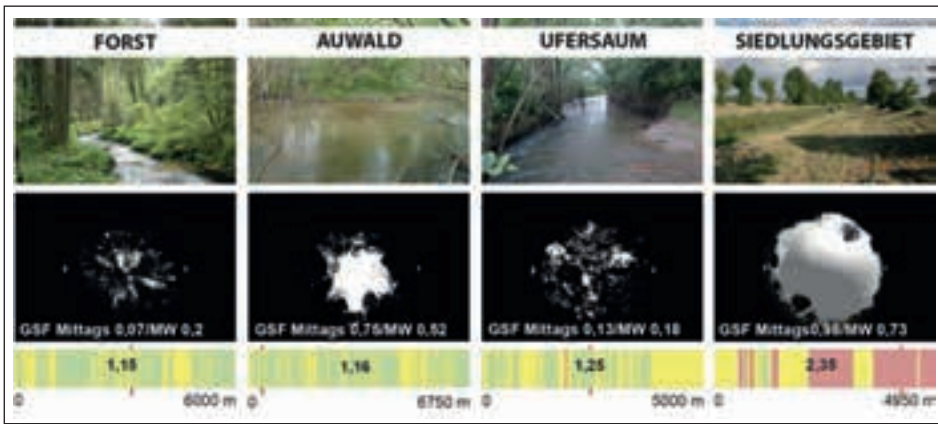


Abb. 4: Vegetationstypen an Lafnitz und Pinka (als Beispiele der Typen v.l.n.r. Pinka Oberlauf, Lafnitz Mittellauf, Pinka Mittellauf, Pinka Mittellauf). Oben: Foto eines ausgewählten Profils (siehe roten Strich ganz unten); Mitte: Fischaugenaufnahme an den obigen Fotostandpunkten mit GSF-Werten des Bildes und einem Mittelwert der GSF-Werte der Profile in diesem Abschnitt; unten: Zustand der Vegetation im Längsverlauf des Abschnittes in 3 Kategorien (grün = gut, gelb = mittel, rot = schlecht) mit dem Mittelwert von normalisierter Höhe, Dichte und Breite.

Fig. 4: Types de végétation. En haut: photo d'un profil sélectionné (voir la ligne rouge tout en bas); au milieu: prise de vue de poisson à l'emplacement photo avec les valeurs GSF de l'image et une moyenne des valeurs GSF des profils dans cette section; en bas: état de la végétation le long de la section en 3 catégories (vert = bon, jaune = moyen, rouge = mauvais) avec la moyenne des hauteurs, densités et largeurs normalisées.

schluss aufzuweisen. Die Auwälder sind an die 15 m hoch und haben, besonders an der Lafnitz, auch weitgehend Raum, um sich zumindest an einer Flussseite bis zu 50 m auszudehnen. Trotz einer hohen Dichte haben sie einen hohen Lichtraum, da die offenen Stellen meist direkt am Flussufer liegen. Abbildung 4 beschreibt Abschnitte mit den vier dominanten Vegetationstypen. Im Oberlauf beider Flüsse dominieren Forstgebiete mit sehr niederen Einstrahlungswerten.

Im Mittellauf kommt es auf Grund der starken Nutzung des Umlandes zu starken Einschränkungen der Vegetation. In Siedlungsgebieten sind oft gemähte Böschungen mit entfernten, einreihigen Baumbeständen und daraus resultierender uneingeschränkter Einstrahlung die Regel. Im Agrarland gibt es häufig Uferbegleitsäume aus zwei- bis dreireihigen Baumbeständen, diese sind meist natürlich in der Artenzusammensetzung sowie sehr dicht und können daher bis

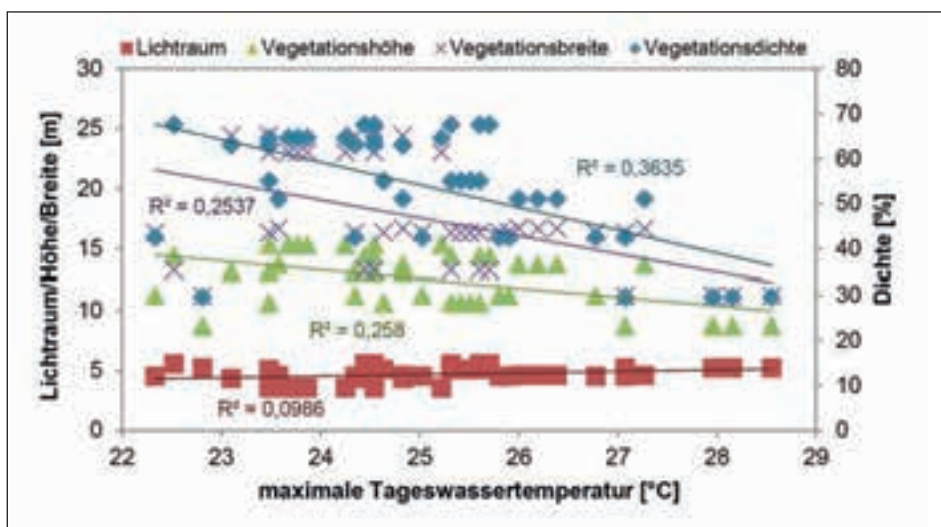


Abb. 5: Maximale Wassertemperaturen der Standorte Sinnersdorf bis Jabing an der Pinka vom 2. bis 8. August 2013 in Zusammenhang mit Lichtraum, Höhe, Dichte und Breite.

Fig. 5: Températures maximales de l'eau de Sinnersdorf à Jabing, du 2 au 8 août 2013, en relation avec l'espace libre, la hauteur, la densité et la largeur.

zu 80% der Strahlung abschirmen. Besonders an der Lafnitz gibt es noch ausgedehnte Auwälder, welche stark durch die Dynamik des Flusses geprägt sind und daher gerade im Uferbereich immer wieder Vegetationslücken aufweisen. Hier werden durchschnittlich bis zu 50% der Strahlung abgeschirmt.

4.3 Wassertemperatur und Ufervegetation

Die Ufervegetation wird immer wieder als Parameter genannt, der die Wassertemperatur in kleinen bis mittelgrossen Gewässern nachweislich beeinflussen kann (Jungwirth et al., 2003; DVWK 244/1997). Im Mittellauf der Lafnitz bei Wolfau kann ein 15 m hoher Baum, der direkt am Ufer steht, um 12 Uhr mittags (MEZ) einen Schatten von 6,5 m werfen (10 bzw. 14 Uhr – 10 m und 8 bzw. 16 Uhr – 27 m). Dementsprechend spielt der Schattenwurf auf Gewässern bis zu einer Breite von ca. 10 m eine grosse Rolle. Im Folgenden werden die Wassertemperaturen der Schönwetterperiode vom 2. bis 8. August 2013 an der Pinka in einem Bereich mit vergleichbaren Abfluss (von Sinnersdorf bis nach Jabing [MQ: 1,0–1,2 m³/s]) herangezogen. Abbildung 5 zeigt Zusammenhänge der Vegetationshöhe, -dichte und -breite sowie des Lichtraums mit der Wassertemperatur. Die maximalen Wassertemperaturen der einzelnen ausgewählten Tage zeigen den stärksten Zusammenhang mit der Vegetationsdichte ($R^2=0,4$), deshalb werden diese Kennwerte in der weiteren Analyse besonders berücksichtigt. Abbildung 6 zeigt den Zusammenhang der mittleren maximalen Wassertemperatur mit der vorherrschenden begleitenden Ufervegetation. Zur Darstellung der Ufervegetation wurde jeweils die mittlere Dichte der Ufervegetation der flussauf gelegenen letzten 5 km verwendet. Hierbei gilt: je dichter die Ufervegetation ist, umso stärker ist deren beschattende Wirkung. Bei Flusskilometer 20, 31 und 35 ist deutlich zu erkennen, dass eine hohe Vegetationsdichte eine niedrigere Wassertemperatur bewirkt. Bei Flusskilometer 37 sinkt die Vegetationsdichte unter 45%, die Wassertemperatur beginnt infolge der fehlenden Beschattung zu steigen und erreicht bei Flusskilometer 39 mit 27,2 °C den

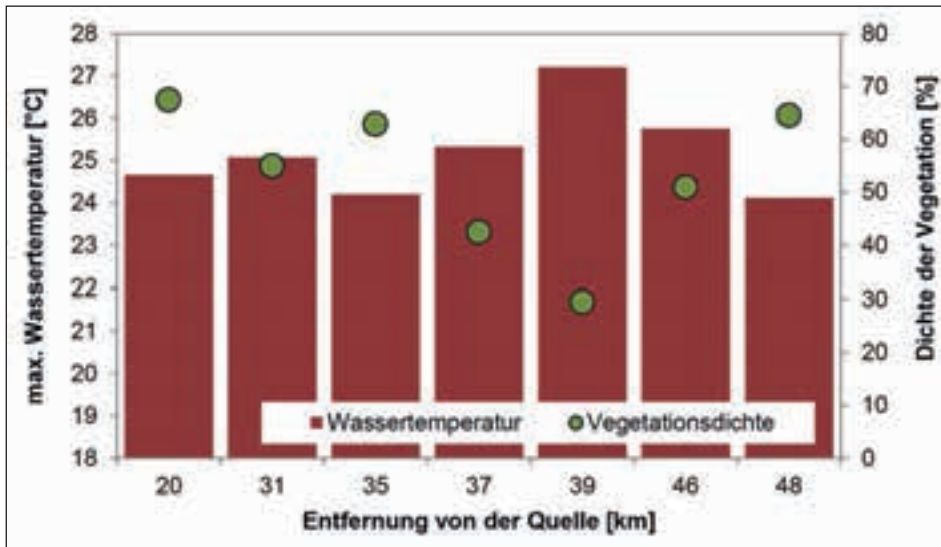


Abb. 6: Mittelwerte der maximalen Wassertemperaturen der Schönwettertage 2. bis 8. August 2013 an der Pinka im Bereich Sinnersdorf (Flusskilometer 20) bis Jabing (Flusskilometer 48). Die Vegetationsdichte beschreibt die Ufervegetation der letzten 5 km vor dem jeweiligen Temperaturmesspunkt.

Fig. 6: Valeurs moyennes des températures maximales de l'eau les jours de beau temps du 2 au 8 août 2013 dans la zone de Sinnersdorf (km 20) à Jabing (km 48). La densité de la végétation décrit la végétation riveraine des 5 derniers kilomètres de chaque point de mesure de température.

höchsten Wert. Anschliessend sinkt die Temperatur im beschatteten Bereich auf 24 °C.

Ein Zusammenhang zwischen Wassertemperatur und Beschattung ist demnach in diesem Bereich gegeben ($R^2=0,84$).

4.4 Leitbild: Lafnitz-Stögersbach-Auen

Die natürlichste Ausprägung der Ufervegetation ist im Mittellauf der Lafnitz

von Flusskilometer 51 bis Flusskilometer 58, von Wolfau bis zur Mündung des Stögersbaches, zu finden (Lafnitz-Stögersbach-Auen). Hier schlängelt sich die Lafnitz in 40 Flusschlingen durch das Tiefland. Neben Auwäldern (FFH Lebensraumtyp 91E0* Auenwald mit *Alnus glutinosa* und *Fraxinus excelsior* [Cejka, 2005]) finden hier auch extensiv bewirtschaftete Feuchtwiesen ihren Platz. Der Auwald hat meist zumindest

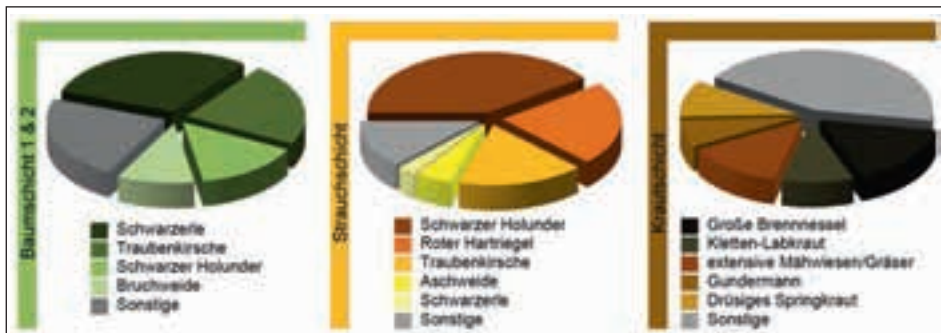


Abb. 7: Zusammensetzung der Ufervegetation in Bereich Wolfau. Links: Baumschicht, Mitte: Strauchschicht, rechts: Krautschicht.

Fig. 7: Composition de la végétation riveraine à Wolfau. A gauche: strate arborescente; au milieu: strate buissonnante, à droite: strate herbacée.

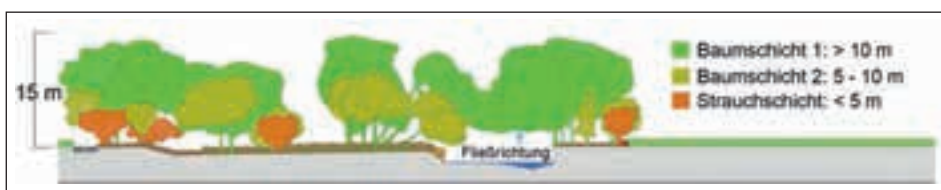


Abb. 8: Querschnitt durch die Lafnitz und angrenzende Auegebiete bei Flusskilometer 52.

Fig. 8: Coupe transversale à travers la Lafnitz et les plaines alluviales adjacentes au kilomètre 52 du cours d'eau.

auf einer Seite die Möglichkeit, eine Breite von 20 bis 50 m zu entwickeln. Laut Cejka et al 2005 findet man hier die Hohe Weidenau. Diese zeichnet sich durch eine gut strukturierte Strauchschicht aus Holunder, rotem Hartriegel, Traubenkirsche u. a. aus. In der Krautschicht sind Brennnessel-Labkraut-Fazies zu finden. Pionier-Weidengebüsche fehlen (Purpur, Mandel, Korbweiden), da es vermehrt zu steilen Abbrüchen kommt. In Abbildung 7 sieht man dies durch die Aufnahmen dieser Studie bestätigt. Abbildung 8 zeigt ein charakteristisches Profil mit ausgeprägtem Auwald auf der orographisch linken Seite. Anschliessend befinden sich beidseitig extensive Feuchtwiesen des Natura-2000-Gebietes. Der Flussquerschnitt weist rechts eine steile Abbruchkante mit schnellen Fließgeschwindigkeiten auf, während links ein flacher, beruhigter Gleithang ist. Betrachtet man den ganzen Abschnitt, zeigt Abbildung 9 die Landnutzung des Abschnittes, Vegetationshöhen und -dichten. Im 50-m-Pufferstreifen gibt es nur zwei Landnutzungen, Auwald und landwirtschaftliche Flächen. Die landwirtschaftlichen Flächen sind in diesem Bereich extensive Feuchtwiesen, die beweidet werden und daher als Teil des Auwaldkomplexes zu sehen sind. Die Vegetationsdichte ist mit grossteils 76–90% recht hoch, zu beachten ist allerdings, dass Wiesen mit geringer Höhe ebenso in diese Kategorie fallen. Direkt am Fluss befinden sich zusätzlich grosse Auwaldbereiche mit einer Dichte von 51–76%. Dichten von 5–50% kommen weniger vor und sind nach Windbruch oder Bewirtschaftung neu aufkommender strauchiger Bewuchs mit geringer Höhe.

5. Conclusio und Ausblick

Die Auswertung der Untersuchungen bestätigt, dass Vegetationsparameter einen Einfluss auf die Wassertemperatur haben, ein gezieltes Ufervegetationsmanagement kann daher eine positive Auswirkung auf die Wassertemperatur haben. Abbildung 10 zeigt den Zustand der Ufervegetation der Pinka im Längsverlauf. Zur Vergleichbarkeit des potenziell natürlichen Vegetationstyps mit den Lafnitz-Stögersbach-Auen kann auf

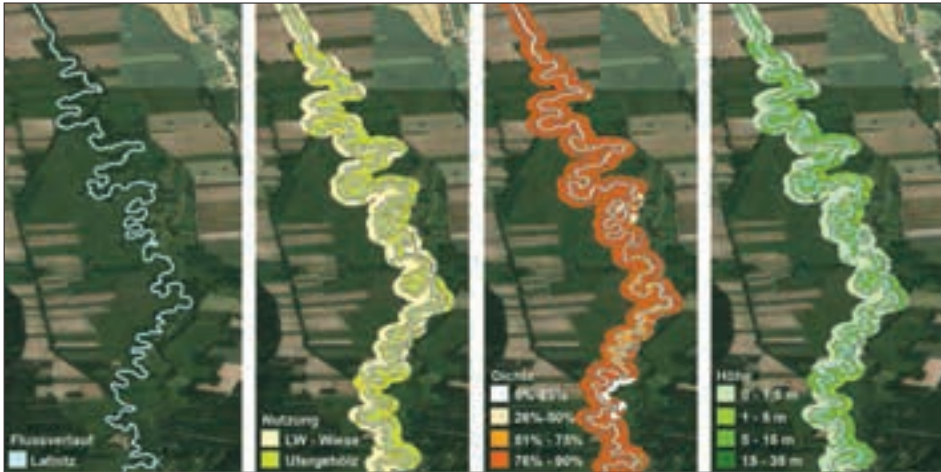


Abb. 9: Lafnitz von Wolfau bis zur Stögersbachmündung von links nach rechts: Mäanderschlingen, Landnutzung, Dichte und Höhe der Vegetation.
 Fig. 9: La Lafnitz de Wolfau à l'embouchure du Stögersbach, de gauche à droite: méandres, occupation des sols, densité et hauteur de la végétation.

Grund seiner Lage nur der Mittelauf der Pinka ab Sinnersdorf (Flusskilometer 20) herangezogen werden. Die roten Bereiche zeigen die Abschnitte der Pinka, die den schlechtesten Zustand aufweisen. In der zweiten Zeile werden die roten Kategorien in drei «Dringlichkeitsklassen» unterteilt. Je nach finanziellen Mitteln ist es möglich, längere Bereiche zu bepflanzen oder Grünkeile in die vegetationslosen Abschnitte zu treiben. Die Vegetation sollte folgende Ziele erfüllen:

- Zusammensetzung der Arten und Dichte der Vegetation nach dem Beispiel des Leitbildes der Lafnitz-Stögersbach-Auen.
- Die Vegetationsbreite ist hierbei am schwierigsten steuerbar, da Besitzverhältnisse oft nur einen schmalen Saum zulassen, daher ist besonders bei schmalen Ufersäumen auf Dichte,

vertikale Schichtung und Nähe zum Ufer (möglicher Kronenschluss) zu achten.

- Wie in einem natürlichen Bereich soll aber auch hier in der Dichte variiert werden, dies schafft vielfältige Habitate für die Flussfauna.

Die Beurteilung eines Flusssystem nach nur einem Parameter ist allerdings in der Praxis nicht möglich. Vegetationsparameter müssen in weiterer Folge mit Strukturparametern gekoppelt und auf Hochwassersicherheit überprüft werden, um als Entscheidungsgrundlage zu dienen. Im Zuge dieses Projektes zeigt sich, dass eine Wiederbesiedelung der Ufer mit standorttypischer Vegetation bei Revitalisierungsprojekten unumgänglich ist. Schlussendlich unterstreichen die Ergebnisse die Wichtigkeit einer intakten Ufervegetation als Beschattungs- und

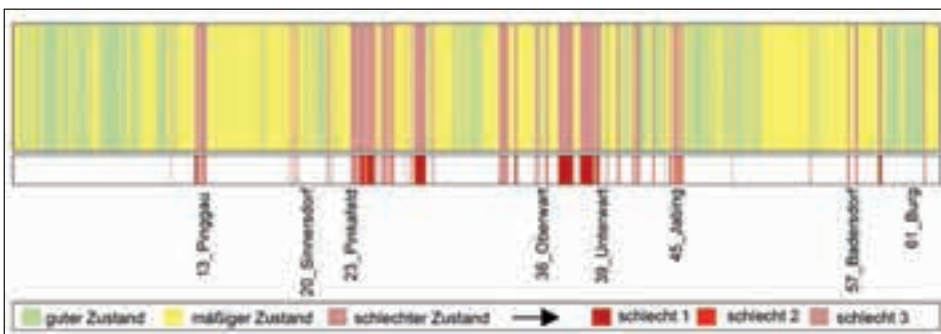


Abb. 10: Zustand der Vegetation im Längsverlauf der Pinka in 3 Kategorien. Die Bereiche mit schlechtem Zustand sind nochmals in 3 Dringlichkeitsklassen unterteilt, wobei «schlecht 1» den höchsten Handlungsbedarf hat. Beschriftung gibt Flusskilometer und Ortschaften an.
 Fig. 10: Etat de la végétation le long de la Pinka en 3 catégories. Les zones en mauvais état sont à nouveau divisées en 3 classes d'urgence (la classe «schlecht 1» indique la nécessité d'action la plus élevée). La légende indique le kilométrage du cours d'eau et les localités.

Strukturelement entlang von Flüssen, um die naturräumliche Vielfalt und Biodiversität aufrechterhalten zu können.

6. Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen der Projekte BIO_CLIC und LOWFLOW+, gefördert durch den ACRP, eine Programmschiene des Klima- und Energiefonds. Vielen Dank an die MasterstudentInnen Bartel, Hlousek, Jachs und Ledochowski, die die Aufnahmearbeiten unterstützt haben.

7. Literaturverzeichnis

Cejka, A., Dvorak, M., Fortmann, I., Knogler, E., Korner, I., Schlögl, G., Wendelin, B., Wolfram, G., Zechmeister, T.C. 2005. Das Lafnitztal – Flusslandschaft im Herzen Europas. Umweltbundesamt, Wien.

DVWK 244/1997. Merkblätter zur Wasserwirtschaft: Uferstreifen an Fließgewässern – Funktion, Gestaltung und Pflege. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbh, Bonn.

Florineth, F. 2012: Pflanzen statt Beton – Sichern und gestalten mit Pflanzen. Patzer, Wien/Berlin.

Hacker, E., Johannsen, R. 2012. Ingenieurbioogie. Eugen Ulmer, Stuttgart.

Holzapfel, G. 2010. Das Beschattungspotential von Ufervegetation. Mitt. bl. Ingenieurbioogie 3: 31–36.

Holzapfel, G., Weihs, P. & Florineth, F. 2012. Influences of Riparian Vegetation on the Ecology of River Systems – Shading Effects of Riparian Vegetation. Proceedings of the 9th international Symposium on Ecohydraulics, Vienna; 13407_2. <http://www.ise2012.boku.ac.at/papers.php?menu=1>

Holzapfel, G., Weihs, P. & Rauch, H.P. 2013. Use of the Shade-a-lator 6.2 model to assess the shading potential of riparian Purple willow (*Salix purpurea*) coppices on small to medium sized rivers. Ecol. Eng. 61P: 697–705.

Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muher, S., Schmutz, S. 2003. Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas, Wien.

Jüring, P., Patt, H. 2005: Fließgewässer- und Auentwicklung – Grundlagen und Erfahrungen. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.

Muhar, S., Poppe, M., Egger, G., Schmutz, S., Melcher, A. 2004. Flusslandschaften Österreichs – Ausweisung von Flusslandschaftstypen anhand des Naturraums, der Fischfauna und der Au-vegetation. bm:bwk, Wien.

Rickert, K. 2009: Wirkung von Gehölzen an Fließgewässern. Leibnitz Universität Hannover.

Wimmer, R., Wintersberger, H., Parthl, G.A. 2012. Hydromorphologische Leitbilder – Fließgewässertypisierung in Österreich (Band 2). Lebensministerium, Wien.

Kontaktadresse:

DI Gerda Holzapfel
E-Mail: gerda.holzapfel@boku.ac.at
Tel.: 01 47654 7315
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Bautechnik und Naturgefahren
Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
Peter-Jordan-Strasse 82, 1190 Wien



**Hochwasserschutz
Renaturierungen
Objektschutz
Expertisen**

Ihr erfahrener Partner für nachhaltige Wasserbauprojekte im Siedlungs- und Landschaftsraum

> Sicherheit, Ökologie, Erholung

Mehrwert durch kompetente Beratung und Planung

berchtold + eicher 
a Gruner company

6300 Zug 041 748 20 80
www.berchtold-eicher.ch



**Mehr als grüne Böschungen.
Mit Sicherheit!**

-  Böschungsbegrünung
-  Erosionsschutz
-  Nasssaat
-  Jute- und Kokosgewebe
-  Hochlagenbegrünung
-  Rohbodenbegrünung
-  Wildblumenwiese

Unser Angebot für eine erfolgreiche Begrünung:

-  Objektberatung
-  Produkte ab Lager
-  Ausführung und Einbau

Begrünungen  Hunn

Flüterstrasse 14, CH-5630 Muri AG
Tel. 056 644 22 25, Fax 056 644 29 15
info@begrueenungen-hunn.ch, www.begrueenungen-hunn.ch

Messung und Modellierung der Wassertemperatur an den Flüssen Lafnitz und Pinka

Philipp Weihs, Heidi Trimmel, Stefan Hasel, Andreas Mursch-Radlgruber

Zusammenfassung

Die Wassertemperatur ist einer der wichtigsten Faktoren für die Ausbildung aquatischer Lebensgemeinschaften. Der Sauerstoffgehalt des Wassers nimmt mit zunehmender Wassertemperatur ab und kann für die Fischgesellschaften und benthischen Evertibraten kritische Schwellwerte erreichen. Jeder Organismus ist u. a. unter gewissen Temperaturverhältnissen lebensfähig. Bei Niederwasserabflüssen kann die Wassertemperatur durch fehlende Beschattung durch Ufervegetation kritische Werte erreichen und für wesentliche Änderungen in der aquatischen Fauna verantwortlich sein. Ziel des Projektes «Bio_Clic» ist es, potenzielle Minderungseffekte der Ufervegetation betreffend den Klimawandel und folgend deren Auswirkung auf benthische Evertibraten und Fischgesellschaften zu erkennen und zu verstehen. Dies soll einerseits mit Hilfe von Messungen erfolgen, andererseits sollen aber Modelluntersuchungen bei der Bearbeitung der Fragestellung behilflich sein. Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die im Rahmen des Projektes durchgeführten Wassertemperaturmessungen und meteorologischen Messungen sowie einen Einblick in die dabei verwendeten Modelle.

Keywords

Wassertemperatur, Energiebilanz, Modellierung, Meteorologie

Mesure et modélisation de la température de l'eau sur les cours d'eau de la Lafnitz et de la Pinka

Résumé

La température de l'eau est l'un des facteurs les plus importants pour le développement des organismes aquatiques. La teneur en oxygène de l'eau diminue avec l'augmentation de la température de l'eau. Des valeurs critiques de la

température peuvent mettre en danger les organismes aquatiques et les invertébrés benthiques. De plus, chaque organisme est capable de survivre sous certaines conditions thermiques uniquement. Dans les zones où le niveau de l'eau est bas, la température de l'eau peut atteindre un seuil critique et être responsable de changements significatifs dans la faune aquatique en raison du manque d'ombrage. L'objectif du projet de recherche «Bio_Clic» est d'étudier et de comprendre les effets d'atténuation potentielle de la végétation riveraine en relation avec le réchauffement climatique et ainsi leur impact sur les organismes aquatiques et les invertébrés benthiques. Cette étude est d'une part réalisée au moyen de mesures et d'autre part basée sur des données expérimentales afin de mieux comprendre les mécanismes. Cet article donne un aperçu des activités menées en lien avec la température de l'eau et des paramètres météorologiques. Il nous introduit aussi les techniques de modélisation choisies dans le cadre du projet «Bio_Clic».

Mots-clés

Température de l'eau, bilan énergétique, modélisation, météorologie

Misure e modellizzazione della temperatura dell'acqua nei fiumi Lafnitz e Pinka

Riassunto

La temperatura dell'acqua è uno dei fattori chiave per lo sviluppo di biocenosi acquatiche. La concentrazione di ossigeno nell'acqua diminuisce con l'aumentare della temperatura e può raggiungere valori di soglia critici per le popolazioni ittiche e gli invertebrati del benthos. Ogni organismo può vivere, tra gli altri fattori, solo a determinate temperature. In situazioni di deflusso limitato, a causa della mancanza di ombreggiatura la temperatura può

raggiungere valori critici e causare importanti modificazioni della fauna acquatica. Il progetto «Bio_Clic» ha come obiettivo di riconoscere e comprendere possibili effetti mitigatori della vegetazione riparia per quanto riguarda i cambiamenti climatici e i suoi effetti sugli invertebrati del benthos e la popolazione ittica. Per rispondere a queste domande s'intende ricorrere da un lato all'aiuto di misure, dall'altro con l'ausilio di modellizzazioni. Il presente studio presenta le misure meteorologiche e della temperatura dell'acqua realizzate nell'ambito del progetto e mostra i modelli utilizzati.

Parole chiave

Temperatura dell'acqua, bilancio energetico, modellizzazione, meteorologia

1. Einleitung

Die Messung der Wassertemperatur sowie das Verstehen der Vorgänge, welche die Wassertemperaturen beeinflussen, bilden den Grundstein für alle Untersuchungen, welche im Rahmen von Bio_Clic durchgeführt werden. Mit Hilfe eines Modellansatzes sollen die komplexen Zusammenhänge simuliert werden. Dieser Artikel gibt einen kurzen Überblick über die durchgeführten Messungen und deren Verwendung, in weiterer Folge werden das Gewässerenergiebilanzmodell HEATSOURCE sowie erste Vergleiche zwischen Modell und Messungen vorgestellt.

2. Untersuchungsgebiet und Methoden

Zwei Gewässer im Südosten Österreichs werden im Rahmen von Bio_Clic untersucht: die Pinka und die Lafnitz (Abb. 1). An der Lafnitz wurde von der Quelle bis zu Flusskilometer 115 an neun Stellen die Wassertemperatur gemessen, an der Pinka wurden bis zu Flusskilometer 100 insgesamt 14 Sensoren aufgestellt.

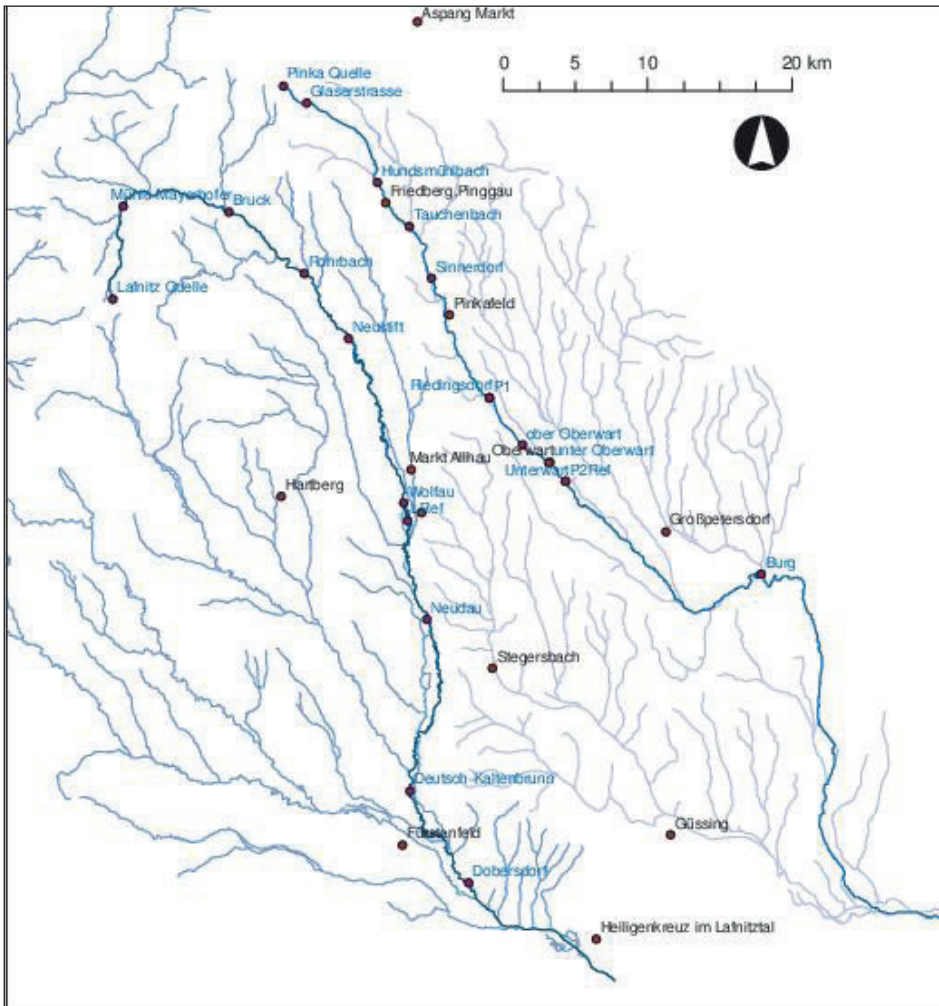


Abb. 1: Messgebiet: Die Namen der wichtigsten Messorte der Wassertemperatur sind angegeben. An den Messorten Riedlingsdorf, Unterwart und Wolfau wurden zusätzlich Messungen wichtiger meteorologischer Parameter durchgeführt (Abkürzel P1, P2ref und Lref wurden hinzugefügt).

Fig. 1 : Zone de mesure : les noms des lieux de mesure de la température les plus importants sont donnés. Aux lieux de mesure Riedlingsdorf, Unterwart et Wolfau, des mesures supplémentaires de paramètres météorologiques importants ont été réalisés (les abréviations P1, P2ref et Lref ont été ajoutées).

2.1 Experimentelle Untersuchungen

Die Wassertemperatur wird mit in Dataloggern integrierten HOBO-Licht- und -Temperatursensoren gemessen (Abb. 2). Messungen wurden in Einstundenintervallen durchgeführt. Lichtmessungen wurden nur an einzelnen an Waschbetonplatten fix horizontal befestigten Sensoren durchgeführt. In der Regel reicht der Speicher bei alleinigen Wassertemperaturmessungen sechs Monate, während bei gleichzeitigen Licht- und Wassertemperaturmessungen der Speicher nur vier Monate reicht. Die vom Hersteller angegebene Messgenauigkeit liegt bei $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Wegen der extrem starken Kräfte, welche Wassermassen ausüben können, zeigte sich, dass eine Befestigung der Sensoren an den Ufern (an Bäumen oder mit einem Pfahl im Bo-

den) notwendig war (Abb. 3). Es zeigte sich, dass in den oberen Abschnitten der Gewässer Lafnitz und Pinka (bis Flusskilometer 115 bzw. 100), wo noch keine Wasserkraftwerke vorhanden sind, die Fließgeschwindigkeit ausreicht, um eine homogene Durchmischung der Wassermassen zu erzeugen, die in weiterer Folge die Entstehung von horizontalen sowie vertikalen Temperaturprofilen verhindert. Die gemessenen Wassertemperaturen können deswegen als repräsentativ für die jeweiligen Gewässerabschnitte betrachtet werden. Zusätzlich zu den Wassertemperaturmessungen wurden Daten der Fließgeschwindigkeit, des Fließvolumens und des Wasserstands von den hydrologischen Diensten bzw. von den zuständigen Magistratsabteilungen der Bundesländer Burgenland und Steiermark erhalten. An drei ver-



Abb. 2: HOBO Wassertemperatur und Lichtsensor (in einem Datalogger integriert).

Fig. 2: Température de l'eau HOBO et capteur de lumière (intégré dans un enregistreur de données).



Abb. 3: Befestigung der Waschbetonplatte, auf der ein Wassertemperatursensor montiert ist, verbindet das Ufer mit einem Metallseil.

Fig. 3: Fixation à la rive de la dalle de béton sur laquelle un capteur de température de l'eau est monté avec un câble métallique.

Station	Lage	Kontinuierlich durchgeführte meteorologische Messungen
Wolfau	Auf einer Wiese, frei liegend 300 m von der Lafnitz entfernt	Langwellige und Kurzwellige Globalstrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Richtung Senkrechte Profile der Lufttemperatur und Luftfeuchte.
Unterwart	Auf einer Wiese, frei liegend, 10 m von der Pinka entfernt	Kurzwellige Globalstrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Richtung
Riedlingsdorf	Im Bestand, 5 m von der Pinka entfernt	Kurzwellige Globalstrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Richtung

Tab. 1: Überblick über die durchgeführten meteorologischen Messungen.
Tab. 1: Vue d'ensemble des mesures météorologiques effectuées.

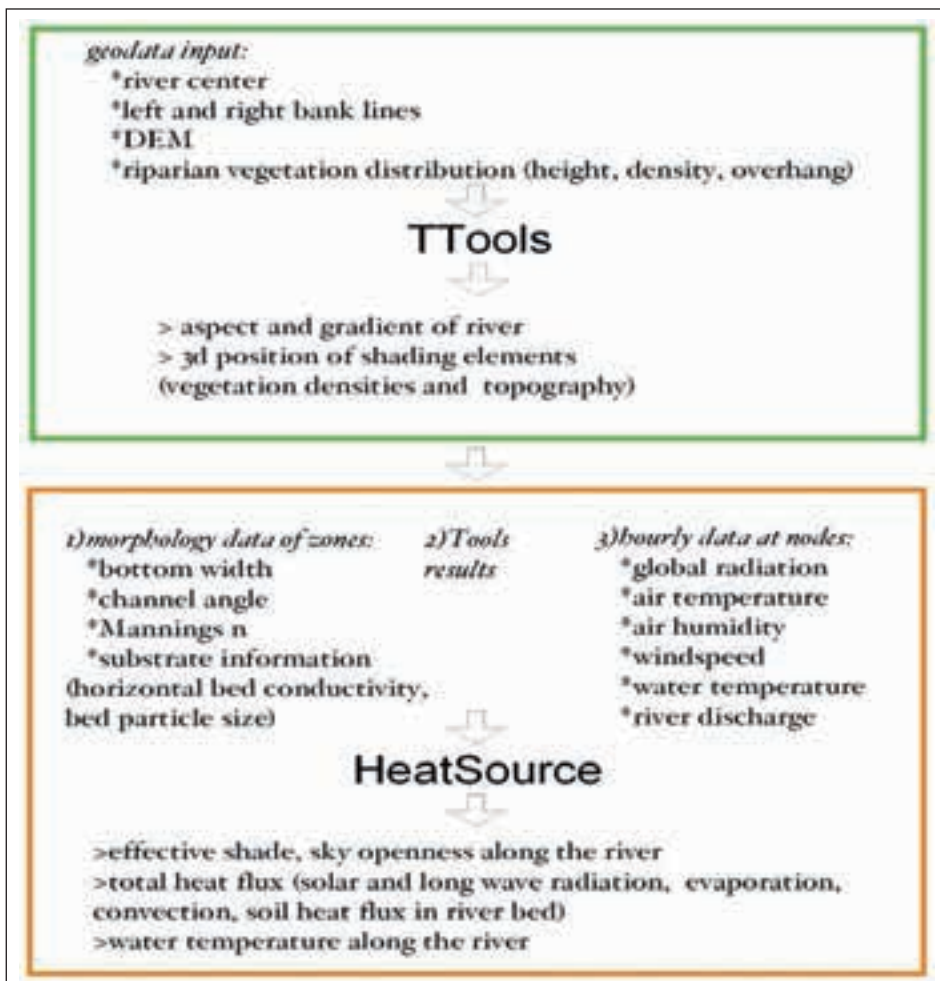


Abb. 4: Überblick über die Struktur des Gewässer-Energiebilanzmodells HEATSOURCE. Dieses Modell kann mit dem ArcGIS Tool TTOOLS, welches die Eingabeparameter aus dem ARCGIS herausliest, verknüpft werden.

Fig. 4: Vue d'ensemble de la structure du modèle de bilan énergétique du cours d'eau HEATSOURCE. Ce modèle peut être lié à l'outil ArcGIS TTOOLS qui lit les paramètres d'entrée issus de ARCGIS.

schiedenen Standorten, Wolfau, Unterwart und Riedlingsdorf, wurden zusätzliche Messungen der meteorologischen Elemente Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie (nur in Wolfau) atmosphärische langwellige Strahlung durchgeführt (Tab. 1). Zusätzlich dazu wurden Messungen des Profils der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit und der Globalstrahlung quer zum Fluss durchgeführt. Die Querprofile, bei denen die Geräte senkrecht zur Flusslinie in verschiedenen Entfernungen zum Fluss aufgestellt wurden, zeigten eine grosse Inhomogenität der einzelnen meteorologischen Elemente.

2.2 Modellierung

Um die Wassertemperatur und dessen Einflussfaktoren besser analysieren zu können, wird das Gewässer-Energiebilanzmodell HEATSOURCE (Boyd and Kasper, 2002) verwendet. Das Modell HEATSOURCE berechnet alle Energieflüsse angefangen von der einfallenden kurzwelligen und langwelligen Solarstrahlung bis hin zur kurzwelligen Reflexion der einfallenden Sonnenstrahlung. Die vom Gewässer emittierte langwellige Strahlung wird weiters berechnet, ebenfalls die Abgabe von fühlbarer und latenter Wärme an die über das Gewässer liegenden Luftschichten. Die Subroutinen, die die am Oberrand des Gewässers einfallende Sonnenstrahlung berechnen, berücksichtigen Beschattungseffekte durch die umgebende Topografie sowie durch die Ufervegetation. Der Wärmefluss in den Boden geht auch in die Berechnungen des Programms HEATSOURCE ein.

Die meteorologischen Grössen Lufttemperatur und Feuchte, solare Globalstrahlung, langwellige atmosphärische Strahlung, Windgeschwindigkeit sowie Messungen der Fliessgeschwindigkeit, des Fliessvolumens sowie des Wasserstands werden als Modelleingabeparameter für die Simulationen verwendet. Mit Hilfe des GIS-gestützten Programms Ttools (Boyd and Kasper, 2002), des Gewässer-Energiebilanzmodells HEATSOURCE (Boyd and Kasper, 2002) (Abb. 4) und der Modelleingabeparameter werden die Wassertemperatur und die Energieflüsse entlang dem Gewässer berechnet.

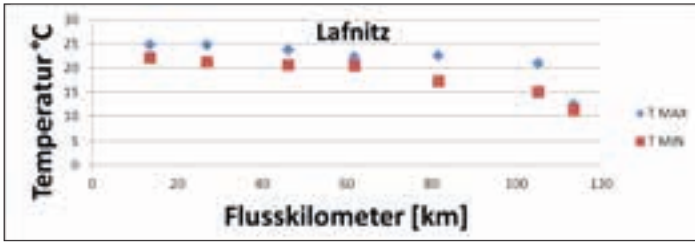


Abb. 5a: Abhängigkeit der Minimum (TMIN)- und Maximum (TMAX)-Wassertemperatur als Funktion der Flusskilometer an einem typischen Sommertag an der Lafnitz.

Fig. 5a: Dépendance de la température de l'eau minimale (TMIN) et maximale (TMAX) d'après le kilométrage sur la Lafnitz au cours d'une journée d'été standard.

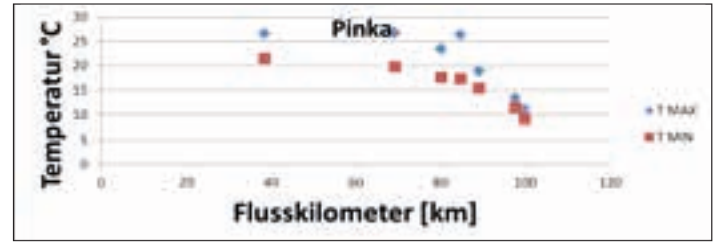


Abb. 5b: Abhängigkeit der Minimum (TMIN)- und Maximum (TMAX)-Wassertemperatur als Funktion der Flusskilometer an einem typischen Sommertag an der Pinka.

Fig. 5b: Dépendance de la température de l'eau minimale (TMIN) et maximale (TMAX) d'après le kilométrage sur la Pinka au cours d'une journée d'été standard.

Die Vegetation entlang den Gewässern wird in verschiedene Zonen eingeteilt. Diese werden als Funktion der Vegetationshöhe und -dichte und der Abdeckung des Gewässers beschrieben. Mit Hilfe dieser Modelleingabeparameter und eines digitalen Höhenmodells (DEM) wird der «sky view factor» berechnet. Zusätzliche Informationen über die Gewässerbreite, die Uferneigung sowie das Sediment werden noch vom HEATSOURCE-Modell benötigt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Messungen (Abb. 5a und b) zeigen eine starke Zunahme der Minimum- und Maximumtemperaturen mit abnehmender Entfernung von der Mündung. Zusätzliche Schwankungen der Wassertemperatur werden durch Beschattung durch die Ufervegetation oder durch das Ufer sowie durch Zuflüsse verursacht. Bei der Lafnitz nimmt die Temperatur bei einem Flussabschnitt von 100 km Länge um ca. 15 °C zu, wobei bei dem nur 60km langen Abschnitt der Pinka die Temperaturzunahme fast 20 °C beträgt. Dies hängt damit zusammen, dass einerseits die Pinka weniger Wasser führt als die Lafnitz und andererseits die

Pinka weniger durch die umgebende Ufervegetation beschattet wird.

Modellsimulationen

Abbildung 6 zeigt eine Gegenüberstellung einer Modellsimulation mit gemessenen Daten der Wassertemperatur der Pinka. Bei den Modellsimulationen wurden die hydrologischen Modelleingabeparameter an die tatsächlichen Verhältnisse angeglichen. Diese Gegenüberstellung von Messung und Modellierung und der Vergleich von mit leicht veränderten Eingabeparametern durchgeführten Modellberechnungen zeigen die Empfindlichkeit des Modells und die aufgrund von relativ geringen Veränderungen an den Inputparametern doch relativ hohen eingetretenen Änderungen der simulierten Wassertemperatur. Es ist daraus ersichtlich, dass eine richtige Validierung des HEATSOURCE-Modells relativ schwierig ist und von einer eingehenden Sensitivitätsstudie begleitet sein sollte.

4. Conclusio

Die Messungen zeigen die erwartete Zunahme der Temperatur mit zuneh-

mender Entfernung von der Quelle. Die Zunahme der Temperatur weist Inhomogenitäten auf, welche durch Beschattung durch umgebende Vegetation, aber auch durch unter- oder oberirdische Zuflüsse verursacht werden können. Diese Inhomogenitäten werden nun mit Hilfe von Modellmessungen analysiert. Erste Modellsimulationen zeigen eine starke Abhängigkeit der Wassertemperatur von den Modelleingabeparametern. Als Nächstes werden Simulationen des Einflusses der Vegetation auf die Wassertemperatur durchgeführt werden. Schlussendlich werden Simulationen der Wassertemperatur für zukünftige Klimaszenarien gerechnet und wird das Potenzial der Ufervegetation zur Entschärfung der Wassertemperaturerhöhung untersucht werden.

5. Danksagung

Das Projekt Bio_Clic wurde vom österreichischen Klima- und Energiefonds unterstützt (Vertragsnummer KR11AC0K00259).

6. Referenzen

Boyd, M.; Kasper, B. (2007): Analytical methods for dynamic open channel heat and mass transfer: Methodology for heat source model Version 7.0. <http://www.deq.state.or.us/wq/tmdl/docs/tools/heatsourcemanual.pdf> (accessed July 2012).

Kontaktadresse:

Philipp Weihs
 Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
 Peter-Jordan-Strasse 82, A-1190 Wien, Österreich
 E-Mail: philipp.weihs@boku.ac.at



Abb. 6: Messungen der Wassertemperatur (x) und Simulationen der Wassertemperatur für verschiedene Zuflusseingabeparameter als Funktion des Abstands von der Mündung.

Fig. 6: Mesures de la température (x) et simulations de la température de l'eau pour différents paramètres du débit d'entrée en fonction de la distance à l'embouchure.

Einfluss der Wassertemperatur auf die Habitatpräferenz von Fischen in mittelgrossen Flüssen

Andreas Melcher, Florian Pletterbauer, Martin Guldenschuh, Pablo Rauch, Kristina Schaufler, Martin Seebacher und Stefan Schmutz

Zusammenfassung

Die Rolle von Ufervegetation als wesentlicher Faktor für die Reduktion von Wassertemperaturen und das damit einhergehende Potenzial zur Minderung von Effekten des Klimawandels auf Biozönosen wurden bisher für mittelgrosse Flüsse kaum beschrieben. Daten zu Ufervegetation, Wassertemperatur, Flussmorphologie, Abfluss und fischökologische Parameter wurden für zwei österreichische Voralpenflüsse, die Lafnitz und die Pinka, im Südosten Österreichs erhoben. Ziel dieser Arbeit ist es, mit Hilfe verschiedener statistischer Methoden für Fische gut geeignete Lebensräume zu beschreiben und darüber hinaus den Einfluss der Wassertemperatur zu analysieren. Die natürliche Verbreitung einzelner Fischarten im Längsverlauf von Flüssen hängt von vielen Faktoren, wie z. B. der Gewässerdimension, der Verfügbarkeit von Habitaten und eben auch der Wassertemperatur, ab. Die Beschattung durch eine vorhandene Ufervegetation spielt dabei eine wesentliche und positive Rolle für Fische. Die erarbeiteten Habitat- und Temperaturpräferenzen für Bachforelle, Äsche, Nase und Barbe bilden eine wichtige Grundlage für ein nachhaltiges Flussmanagement und etwaige Anpassungsstrategien an den Klimawandel für vergleichbare Fließgewässer.

Keywords

Fische, Flüsse, Wassertemperatur, Habitat, Lafnitz, Pinka

Effet de la température de l'eau sur la préférence d'habitat des poissons dans les cours d'eau de taille moyenne

Résumé

Le rôle de la végétation riveraine en tant que facteur essentiel visant à la

réduction de la température de l'eau et le potentiel associé à l'atténuation des effets du changement climatique sur les biocénoses ont rarement été décrits pour les cours d'eau de taille moyenne. Les données sur la végétation riveraine, la température de l'eau, la morphologie du cours d'eau, l'écoulement et les paramètres liés à l'écologie des poissons ont été recueillies pour deux cours d'eau dans le sud-est des Alpes autrichiennes: la Lafnitz et la Pinka. Le but de ce travail est d'utiliser différentes méthodes statistiques afin de décrire un habitat approprié pour les poissons et ainsi analyser l'influence de la température de l'eau. La répartition naturelle des espèces de poissons le long des cours d'eau dépend de nombreux facteurs tels que la dimension du cours d'eau, la disponibilité des habitats et la température de l'eau. L'ombrage par une végétation riveraine existante joue un rôle important et positif pour les poissons. Les préférences d'habitat et de température développées pour la truite d'eau douce, l'ombre, le nase et le barbeau constituent une base importante pour la gestion durable des rivières et les stratégies éventuelles d'adaptation au changement climatique pour des cours d'eau comparables.

Mots-clés

Poissons, cours d'eau, température de l'eau, habitat, Lafnitz, Pinka

L'influenza della temperatura dell'acqua sugli habitat preferenziali della fauna ittica in fiumi di media grandezza.

Riassunto

Il ruolo che la vegetazione riparia svolge quale importante fattore nella riduzione della temperatura dell'acqua e il potenziale che ne deriva per ri-

durare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle biocenosi acquatiche nei fiumi di media grandezza non è finora stato particolarmente approfondito. Per i due fiumi prealpini Lafnitz e Pinka, nel sud-est dell'Austria, sono stati raccolti dati sulla vegetazione riparia, temperatura dell'acqua, morfologia fluviale, portata e parametri di ecologia della fauna ittica. L'obiettivo della presente ricerca è di poter definire gli habitat adatti ai pesci con l'aiuto di diversi metodi statistici, oltre ad analizzare l'influenza della temperatura dell'acqua. La diffusione naturale delle singole specie ittiche lungo tutto il fiume dipende da molteplici fattori, tra cui la dimensione del corso d'acqua, la disponibilità di habitat adeguati o appunto la temperatura dell'acqua. L'ombreggiatura da parte della vegetazione riparia ha un ruolo importante ed ha un'influenza positiva sui pesci. Le preferenze di habitat e temperatura elaborate per la trota fario, il temolo, il nase e il barbo sono un'importante base di riferimento per una gestione fluviale sostenibile e per eventuali strategie di adattamento al cambiamento climatico per corsi d'acqua simili.

Parole chiave

Pesci, fiumi, temperatura dell'acqua, habitat, Lafnitz, Pinka

1. Einleitung

Vorliegender Artikel stellt einen Beitrag zum österreichischen Forschungsprojekt «Bio_Clic» dar. Das Projekt analysiert das Potenzial der Ufervegetation zur Minderung von Effekten des Klimawandels auf biologische Lebensgemeinschaften kleiner bis mittelgrosser Fließgewässer («Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka», Holzapfel et al., diese Ausgabe). Ein generelles Ziel ist es, dabei das Poten-

zial von Ufervegetation zu identifizieren bzw. zu quantifizieren und Auswirkungen des Klimawandels auf die Artengemeinschaft von Fischen und benthischen Evertebraten zu mindern. Darauf aufbauend sollen Vorschläge für ein nachhaltiges Flussmanagement formuliert werden, um Auswirkungen von Klimawandel und Landnutzungsveränderungen zu mildern. Es finden sich Arbeiten dazu in diesem Band; dabei werden unter anderem der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka («Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka», Holzapfel et al., diese Ausgabe) und der Einfluss der Wassertemperatur auf die benthische Evertebratenzönose in mittelgrossen Fließgewässern am Beispiel der Flüsse Lafnitz und Pinka (Burgenland, Steiermark) in Österreich («Der Einfluss der Wassertemperatur auf die benthische Evertebratenzönose in mittelgrossen Fließgewässern am Beispiel der Flüsse Lafnitz und Pinka [Burgenland, Steiermark] in Österreich», Dossi et al., diese Ausgabe) erklärt.

Klimawandeleffekte beeinträchtigen aquatische Ökosysteme, die durch Einflüsse des Menschen noch zusätzlich verstärkt werden können (Dudgeon et al., 2006). Verschiedene Eingriffe in Fließgewässerökosysteme führen zu einem Verlust flusstypischer Habitatstrukturen und beeinträchtigen dadurch den Bestand sensibler Fischarten. Die verschiedenen Fischarten und ihre Altersstadien sind an Habitatstrukturen angepasst,

deren Veränderung sich direkt auf die Lebewesen auswirkt. Besonders bei Perioden mit Niederwasserabfluss kann die Wassertemperatur durch fehlende Ufervegetation kritische Werte erreichen und wesentliche Änderungen in der Flussfauna und der Wasserqualität verursachen («Veränderung ausgewählter Wasserqualitätsparameter durch Querbauwerke in kleinen Fließgewässern», Pressl & Allabashi, diese Ausgabe).

Der fortschreitende Klimawandel wird in der Zukunft Lebensräume und Artenzusammensetzung in Fließgewässersystemen verändern (Xenopoulos et al., 2005). Klimamodelle sagen einen weiteren Temperaturanstieg in allen vier Jahreszeiten sowie eine mögliche Verschiebung von Niederschlagsart und Zeitpunkt voraus (IPCC, 2013), damit ändert sich auch der Abfluss von Flüssen. Demnach sind Auswirkungen der Erderwärmung auf Fließgewässerökosysteme und ihre Bewohner bereits auch in Österreich erkennbar (Melcher et al., 2013; Comte et al., 2012).

Ziel dieser Studie ist die Analyse von fischökologischen Daten an Lafnitz und Pinka hinsichtlich Habitatpräferenzen und Wassertemperatur. Zunächst sollen (1) typische Habitate der Leitifischarten und deren Lebensstadien identifiziert werden. Anschliessend wird (2) gezeigt, welchen Wassertemperaturbereich die Leitifischarten bevorzugt nutzen, bzw. (3) diskutiert, welche Rolle dabei die Wassertemperatur und die Ufervegetation spielen können.

2. Untersuchungsgebiet und Methoden

Die beiden Flüsse Lafnitz und Pinka liegen im Südosten Österreichs, wobei sich die Lafnitz weitestgehend naturnah und die Pinka vor allem im Mittel- und Unterlauf als stark hydromorphologisch verändert präsentieren (Foto 1). Als voralpine Flüsse decken sie sowohl jenen topografischen als auch klimatischen Gradienten ab, der es ermöglicht, biotische wie auch abiotische Verhältnisse im Längsverlauf der Flüsse zu untersuchen («Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka», Holzapfel et al., diese Ausgabe).

Die Verknüpfung von abiotischen und biotischen Daten soll Aufschluss über bevorzugte Habitate von Fischen und ihren Lebensstadien geben. Darüber hinaus werden charakteristische Wassertemperaturbereiche von den flusstypischen Leitifischarten Bachforelle (*Salmo trutta f. fario*), Äsche (*Thymallus thymallus*), Nase (*Chondrostoma nasus*) und Barbe (*Barbus barbus*) aufgezeigt. Der Fischbestand wurde standardisiert mittels der Elektrofischungsmethode qualitativ und quantitativ im Herbst 2013 erhoben und durch Daten von vorangegangenen Untersuchungen (1991–2011) ergänzt (Guldenschuh, 2014). Zusätzliche Messungen der Parameter Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe und Substrat (Rauch, 2014) sowie der Wassertemperatur («Messung und Modellierung der Wassertemperatur an den



Foto 1: Die weitestgehend naturnahe Lafnitz im Unterlauf (links) und die stark hydromorphologisch veränderte Pinka (rechts).

Photo 1 : La Lafnitz très largement naturelle dans son bief inférieur (à gauche) et la Pinka hydromorphologiquement très fortement modifiée (à droite).

Flüssen Lafnitz und Pinka», Weihs P. & H. Trimmel; «Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka», Holzapfel et al., beide diese Ausgabe) an repräsentativen Standorten im Längsverlauf erlauben die Charakterisierung von Fischhabitaten. Mit Hilfe von Entscheidungsbäumen (Answer Tree CHAID-Methode; Melcher et al., 2012) konnten typische Habitate anhand von Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe und Substrat zunächst an der weitgehend naturnahen Lafnitz festgemacht und in der Folge an der morphologisch stark beeinträchtigten Pinka identifiziert werden. Somit war es auch möglich zu unterscheiden, welche Habitattypen sich für welche Altersstadien der Leitfischarten besonders gut eignen (Rauch, 2014).

Für die Leitfischarten beschreibt die standardisierte Wassertemperaturpräferenz den bevorzugten Temperaturbereich im Sommer (Juli) von der Lafnitz. Dazu wurden zunächst die Biomassewerte der einzelnen Fischbestandserhebungen standardisiert und von der Quelle bis zum Unterlauf über 100 km hindurch verortet. Aufgrund der hohen Korrelation von Wassertemperatur und Entfernung zur Quelle wird Letztere durch die Wassertemperatur ersetzt und daraus eine Temperaturpräferenz abgeleitet. Der Fischregionsindex ist ein Mass für die relative Zusammensetzung aller Leit- und Begleitfischarten und nimmt mit der Veränderung der Fischzönose vom Oberlauf zum Unterlauf zu (Matulla et al., 2007). Er kann unter anderem dazu verwendet werden, den Einfluss der Wassertemperatur für einzelne Abschnitte zu beschreiben. Abschliessend wird die relative Verteilung von Wassertemperaturgilden, man spricht von Kaltwasser liebenden und warmwassertoleranten Arten, für naturnahe und morphologisch veränderte Abschnitte der beiden Flüsse verglichen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Wassertiefe Fließgeschwindigkeit und das Substrat sind entscheidende Parameter, um Lebensräume für aquatische Organismen zu erklären. Fischarten und deren verschiedene Lebensstadien sind besonders an spezifische Lebensräume

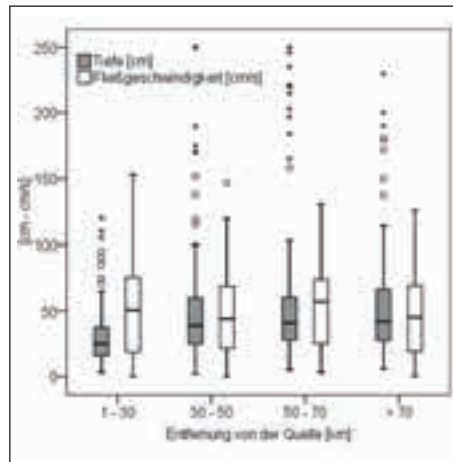


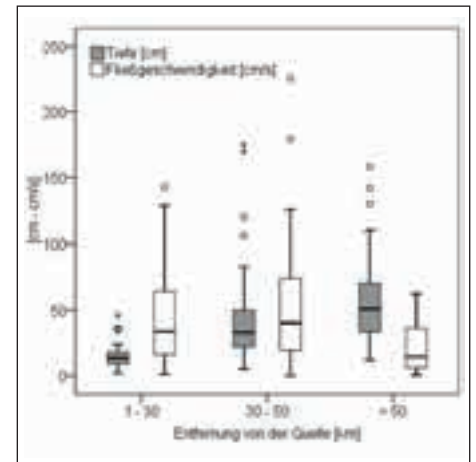
Abb. 1: Wassertiefen in cm (graue Box) und Fließgeschwindigkeiten in cm/s (weisse Box) im Längsverlauf von Lafnitz (links) und Pinka (rechts).

Fig. 1: Profondeur de l'eau en cm (en gris) et vitesse d'écoulement en cm/s (en blanc) dans le profil longitudinal de la Lafnitz (à gauche) et la Pinka (à droite).

angepasst, so sind z.B. besonders die strömungsliebenden Arten wie Forelle oder Äsche auf höhere Fließgeschwindigkeiten angewiesen. Die vorherrschenden Fließgeschwindigkeiten an Pinka und Lafnitz (Abb. 1) zeigen keine signifikante Abnahme im Längsverlauf, sie beträgt im Mittel durchwegs etwa 50 cm/s, wenngleich die maximalen Fließgeschwindigkeiten in den oberen Flussabschnitten mit höherem Gefälle zu finden sind. Die Tiefenverteilungen an der Lafnitz zeigen einen geringen, aber stetigen Anstieg im Längsverlauf. Die grösste Tiefenvarianz wird allerdings im dritten Teilabschnitt (50–70 km) erreicht. Die mittlere Tiefe liegt bis Flusskilometer 30 bei etwa 25 cm, im weiteren Flussverlauf knapp unter 50 cm.

An der Pinka zeigt sich eine deutlichere Ausprägung der Tiefenzunahme von der Quelle flussab, was den generell geringeren Tiefen im obersten Bereich geschuldet ist. Während der Oberlauf kaum tiefer als 25 cm ist, erreichen die Maximalwerte in den unteren Abschnitten über 1,5 m. Die Fließgeschwindigkeiten sind an der Pinka im Unterlauf am geringsten (Median unter 0,2 m/s), im Mittel- und Oberlauf etwas höher und vor allem breiter gestreut. Dies ist auch als Hinweis auf hydromorphologische Eingriffe wie Begradigung und Kanalisierung des Flussverlaufs in Bereichen des Mittel- und Unterlaufs an der Pinka zu deuten.

Die Parameter Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Substrat bildeten die



Grundlage für eine Unterteilung von sechs verschiedenen morphologischen Habitattypen für den als Referenz dienenden Fluss Lafnitz. Abbildung 2 zeigt, dass sich die einzelnen Typen hinsichtlich ihrer Tiefen- und Fließgeschwindigkeitsverhältnisse klar voneinander abgrenzen. Während die Typen 1 und 2 seichte und eher strömungsberuhigte Bereiche repräsentieren, steht Typ 3 für etwas tiefere, aber sehr langsam fließende Stellen. Typ 4 wiederum charakterisiert sich durch schnell überströmte Stellen mittlerer Tiefe. Die Typen 5 und 6 stellen Kolk-Habitats mit grossen Tiefen und geringen Strömungen dar.

Die Verteilung der einzelnen Habitattypen zeigt an der Lafnitz ein heterogenes Bild entlang des gesamten Flusslaufs. Bis auf den obersten Abschnitt sind in der Lafnitz in allen Bereichen alle sechs Habitattypen verfügbar. Im Gegensatz dazu dominieren an der Pinka klar die seichten und langsam bis mässig fließenden Bereiche (Typen 1 und 2), deren Anzahl mit dem Flussverlauf abnimmt. Vor allem im Unterlauf, aufgrund von Begradigung und Stauhaltung, gibt es ein Defizit der Typen 5 und 6 und somit der tiefen, zum einen durchströmten und zum anderen strömungsberuhigten Habitats, die für adulte Fische von besonderer Wichtigkeit sind. Im Allgemeinen sind Laichhabitats im Lebenszyklus von Fischen von grosser Bedeutung, da sie eine enge ökologische Nische (v.a. geringe Wassertiefe, sehr hohe Fließgeschwindigkeiten) bilden und rheo-

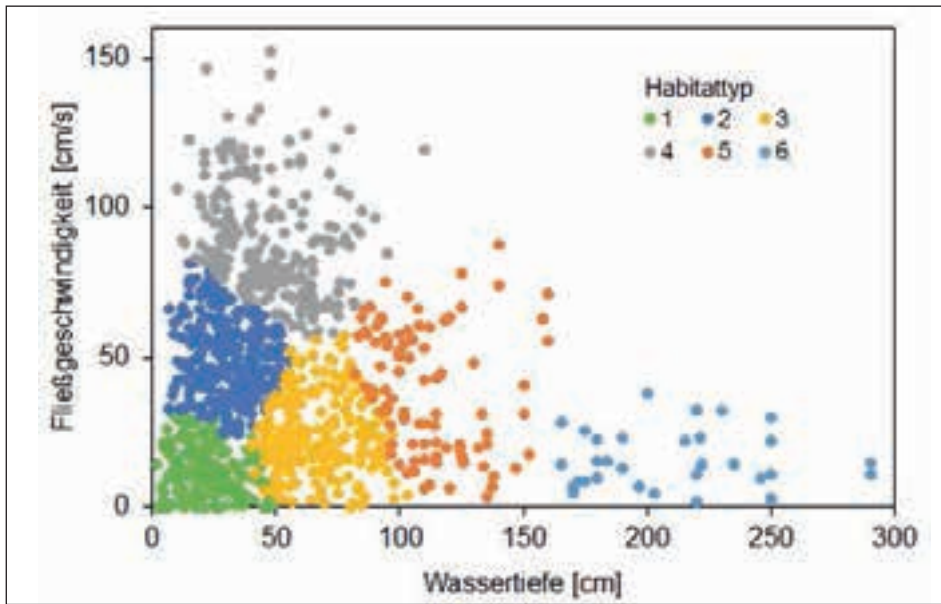


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit in den sechs charakteristischen Habitattypen.

Fig. 2: Relation entre la profondeur de l'eau et la vitesse d'écoulement dans les six types d'habitats caractéristiques.

Habitattyp	Äsche		Barbe			Nase		
	JUV	AD	LP	JUV	AD	LP	JUV	AD
Typ 1	--	-	+	+	--	--	+	--
Typ 2	-	--	+	-	--	--	-	-
Typ 3	++	+	--	--	+	--	-	+
Typ 4	+	-	++	--	-	++	--	+
Typ 5	+	+	--	--	+	--	-	++
Typ 6	+	+	--	--	++	--	-	++

Tab. 1: Eignung der sechs Habitattypen für die unterschiedlichen Altersstadien der Leifischarten Äsche, Barbe und Nase (LP: Laichplatz, JUV: Juvenile, AD: Adulte / - nicht geeignet, - gering geeignet, + mässig geeignet, ++ gut geeignet).

Tab. 1: Adéquation des six types d'habitats pour différents âges des espèces de poisson considérées: l'ombre, le barbeau et le nase (LP: frayère, JUV: jeune poisson, AD: adulte / - pas approprié, - peu approprié, + approprié, ++ bien approprié).

phile Populationen sehr stark limitieren können (Melcher und Schmutz, 2010; Hauer et al., 2007).

Vor allem die Laichhabitate der strömungsliebenden Nasen und Barben sind fast ausschliesslich im Habitattyp 4 anzutreffen (Tab. 1). Die seichten Juvenilhabitate des Typs 1 sind für Nasen und Barben ebenfalls notwendig. Adulte Individuen präferieren die tieferen Stellen der Typen 5 und 6. Die Äsche zeigt keine deutlichen Unterschiede zwischen Juvenil- und Adultstadium. Beide sind in tieferen Bereichen der Habitattypen 5 und 6 zu finden, wenngleich auch beobachtet werden muss, dass Habitate dieses Typs im Mittellauf verhältnismässig

anders dimensioniert sind als im Unterlauf. Die Analysen zeigen deutlich, dass die Verfügbarkeit aller Habitattypen nicht nur innerhalb eines Flusses, sondern innerhalb räumlich verbundener Abschnitte, Stichwort longitudinale und

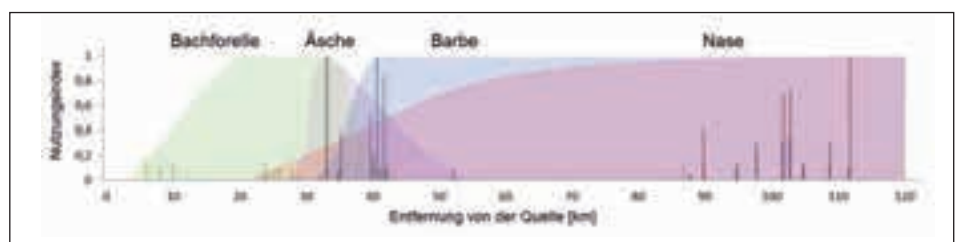


Abb. 3: Nutzungsindex (von 0 bis 1, schraffierte Flächen) und Nachweise (Balken) der Leifischarten Bachforelle, Äsche, Barbe und Nase entlang des Flusslaufs der Lafnitz.

Fig. 3: Indice d'utilisation (de 0 à 1, surfaces hachurées) et recensement (bars) des espèces truite d'eau douce, ombre, barbeau et nase le long de la Lafnitz.

laterale Konnektivität, für den Bestand sehr wichtig ist.

Insgesamt besteht das Leitbild an der Lafnitz aus 47 und an der Pinka aus 35 Fischarten (Guldenschuh, 2014; Woschitz und Wolfram, 2012). In der Folge wird das längszonale Vorkommen für die Leitarten bzw. Zeigerarten Bachforelle, Äsche, Barbe und Nase dargestellt. Die Abfolge entspricht dem bekannten, auf Thienemann 1928 basierenden, aber auch von anderen Autoren beschriebenen Konzept der Fischregionen (z. B.: Huet, 1959).

Der Oberlauf der Lafnitz, bis km 30, wird von der Bachforelle dominiert. Im Mittellauf, zwischen km 30 und 50, der von der Äsche dominiert wird, kommen alle Leitarten vor. Ab km 40 geht in der Folge die Dichte der Bachforelle und Äsche zurück, die rheophilen Leitarten Barbe und Nase prägen das Epipotamal. Das Verschwinden von Bachforelle und vor allem Äsche grenzt an der Lafnitz den Unterlauf ab (Abb. 3). Diese längszonale Präferenz der hier beschriebenen Forellen-, Äschen- und Barbenregion beruht zum einen auf einer graduellen Veränderung des Habitatgefüges (Vannote et al., 1980), aber auch auf der wechselnden Wassertemperatur. Für Österreich haben 2013 Melcher et al. die mittlere Sommer-temperatur für die Forellenregion mit 12,8°C, die Äschenregion mit 13,5°C und die Barbenregion mit 16,8°C angegeben. Daraus abgeleitet, lässt sich die Abfolge der Fischarten im Längsverlauf auch über einen Anstieg der durchschnittlichen Wassertemperaturen mittels des Fischregionsindex erklären (Abb. 4, links). Ebenso konnte dies auch für benthische Evertebraten mittels des biozönotischen Regionsindex im Untersuchungsgebiet festgestellt werden

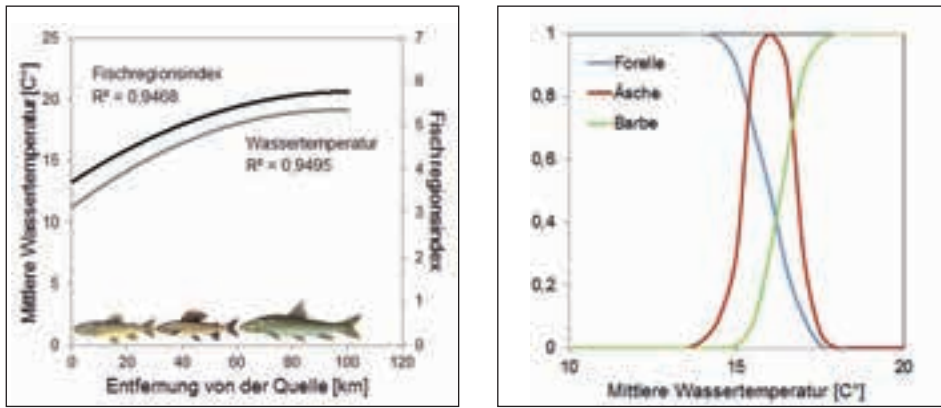


Abb. 4: Die mittlere Wassertemperatur im Juli (graue Linie) und der Fischregionsindex (schwarze Linie) sind sehr hoch miteinander korreliert und nehmen in der Lafnitz mit der Entfernung zur Quelle tendenziell zu (links); dementsprechend ergeben sich klar abgegrenzte und standardisierte Wassertemperaturpräferenzen für die Leitfischarten Bachforelle, Äsche und Barbe (rechts).

Fig. 4: La température moyenne de l'eau en juillet (ligne grise) et l'indice piscicole de la région (ligne noire) sont très fortement corrélés et ont tendance à se renforcer en s'éloignant de la source de la Lafnitz (à gauche). Des préférences standardisées de la température de l'eau sont ainsi clairement définies pour les espèces truite d'eau douce, ombre et barbeau (à droite).

«Der Einfluss der Wassertemperatur auf die benthische Evertibratenzönose in mittelgrossen Fließgewässern am Beispiel der Flüsse Lafnitz und Pinka [Burgenland, Steiermark] in Österreich», Dossi et al., diese Ausgabe).

Neben der Gewässerdimension und den hydromorphologischen Eigenschaften, die durch Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit beschrieben sind, ist die Wassertemperatur ein entscheidender Faktor im chemo-physikalischen Lebensraum von Fischen, der somit die Zusammensetzung von Fischbeständen in Fließgewässern entscheidend beeinflusst (Pletterbauer et al., 2014). Einerseits wirkt die Temperatur direkt auf die Stoffwechselprozesse von wechselwarmen Organismen wie Fischen, andererseits verändert sich mit der Temperatur das Habitatgefüge als solches, z. B. die Abhängigkeit der Sauerstoffsättigung von der Temperatur des Wassers.

Basierend auf dem Vorkommen der Leitfischarten lassen sich optimale bzw. nicht geeignete Wassertemperaturbereiche für Forelle, Äsche und Barbe (Nase) ableiten (Abb. 4, rechts). Flussabschnitte mit einer Durchschnittstemperatur von über 16 °C im Juli eignen sich für die Bachforelle nicht. Die Äsche findet sich in einem bevorzugten Bereich zwischen 15 und 17 °C, was für diese Art einen vergleichsweise hohen Wert bedeutet und auf genetische Anpassung der vorkommenden Individuen schliessen lässt

(Gum et al., 2009). Ab 16 °C finden auch die rheophilen Cypriniden Barbe und Nase ihren bevorzugten Temperaturbereich, welcher erfahrungsgemäss ab 20 °C wieder abnimmt.

Entsprechend ihrer bevorzugten Wassertemperaturpräferenz können Fischarten sogenannten Temperaturgilden zugeordnet werden. In der Literatur wird in Europa zwischen Kaltwasser liebenden (kalt-stenotherm) und warmwassertoleranten (meso-eurytherm) Arten unterschieden. Diese beiden Gilden kommen auch in unserem Untersuchungsgebiet vor und sollen als Indikatoren dafür dienen, inwieweit sie für unterschiedlich temperierte und anthropogen geprägte Flussabschnitte charakteristisch sind (Abb. 5, links).

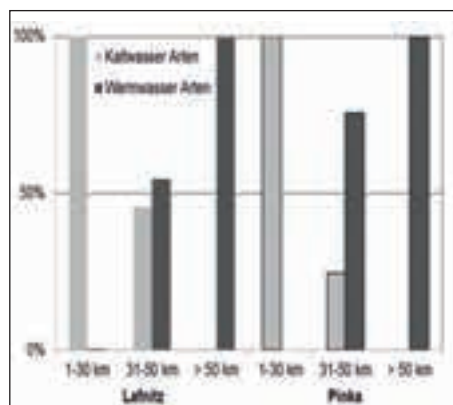
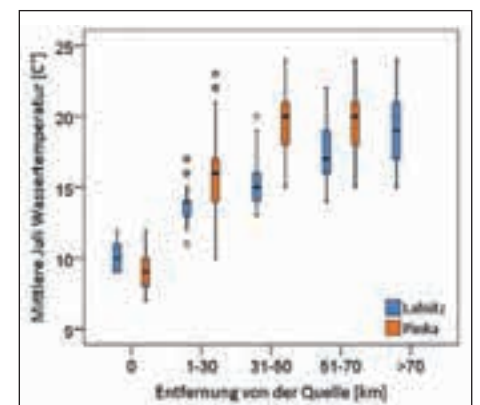


Abb. 5: Die relative Verteilung der Wassertemperaturgilden in Ober-, Mittel- und Unterlauf (links) sowie die Entwicklung der mittleren Wassertemperaturen im Juli von Lafnitz und Pinka (rechts).
Fig. 5: La distribution relative des groupes de température de l'eau dans la partie supérieure, moyenne et inférieure (à gauche), ainsi que l'évolution de la température moyenne de l'eau en juillet de la Lafnitz et la Pinka (à droite).

Die Dominanz der Kaltwasser liebenden Arten im Ober- bzw. der warmwassertoleranten Arten im Unterlauf entspricht den Erwartungen (Logez & Pont, 2013). Auffällig sind die Unterschiede hinsichtlich der unterschiedlichen Verteilung der beiden Gilden im Mittellauf von Lafnitz und Pinka. Während die weitgehend von einer Ufervegetation geprägte Lafnitz ein nahezu ausgeglichenes Verhältnis aufweist, dominieren in der morphologisch stark beeinträchtigten Pinka die warmwassertoleranten Arten. Stellt man diese Verteilung den mittleren Juli-Wassertemperaturen im Längsverlauf der beiden Flüsse gegenüber (Abb. 5, rechts), scheinen die Unterschiede in der Gildenzusammensetzung wenig überraschend, so weist doch die Pinka insbesondere im Mittellauf deutlich höhere Wassertemperaturen auf. Die Fischzönose passt sich entsprechend dem thermalen Regime an. Vergleichsweise werden in der grösseren, aber morphologisch intakten und beschatteten Lafnitz vergleichbare Temperaturen im Juli erst im untersten Flussabschnitt erreicht. Der Unterschied zwischen beschatteten und nicht beschatteten Abschnitten kann bis zu 2 °C betragen (siehe auch «Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka», Holzapfel et al., diese Ausgabe), dies würde auch in unserer Studie eine Verschiebung des Artenvorkommens um eine Fischregion bedeuten.

4. Conclusio

Die hydromorphologischen Gegebenheiten prägen die Habitateigenschaften



innerhalb des Flusses und beeinflussen so das Vorkommen und die Verbreitung von Fischarten (Moir and Pasternack, 2009). Jede Fischart und ihre unterschiedlichen Lebensstadien weisen Strömungs- und Wassertiefenbereiche auf, die sie natürlicherweise bevorzugen. Die hier definierten sechs charakteristischen Habitattypen grenzen die bevorzugten Lebensräume von Leitfischarten hinsichtlich Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit klar ab und beschreiben eindeutig geeignete Bereiche für laichende, juvenile und adulte Fische. Diese Notwendigkeit von geeigneten Habitaten für die unterschiedlichen Lebensstadien ist insofern hervorzuheben, als eine nachhaltige Sicherung eines jeweiligen Artenvorkommens nur dadurch gewährleistet werden kann. Neben Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe ist die Wassertemperatur ein wichtiger, weil limitierender Faktor, der das Vorkommen von Fischen je nachdem positiv oder negativ beeinflussen kann. Jedenfalls hat ein Temperaturanstieg im Längsverlauf eines Gewässers eine natürliche Veränderung der Fischartenzönose zur Folge. Eine «unnatürliche» Zunahme der Wassertemperatur, sei es durch fehlende Beschattung oder Klimawandel, birgt auch immer das Risiko, dass, vor allem für Kälte liebende Fischarten des Ober- und Mittellaufes, der Lebensraum nur mehr begrenzt zur Verfügung steht. Deshalb kann gerade eine vorhandene Ufervegetation eine wichtige Rolle einnehmen und durch Beschattung den Energieeintrag bzw. die Erwärmung insgesamt mindern. Zusätzlich können durch einen Abbau von Temperaturspitzen lokal günstigere Habitateigenschaften geschaffen werden. In der Folge ist darauf hinzuweisen, dass die Vegetation an der Übergangszone zwischen Landschaft und Fluss nicht nur als Schattenspende dient, sondern auch als Puffer für Stoffeinträge von Gift- oder Nährstoffen und Feinsedimenten, welche sich allesamt zusätzlich negativ auf Fischpopulationen auswirken. Das längszonale Vorkommen und die Verbreitung einzelner Fischarten in Flüssen hängen zum einen von hydromorphologischen Parametern wie Gewässerdimension oder Verfügbbarkeit von

Habitaten ab, zum anderen stellt die Wassertemperatur einen limitierenden Faktor dar. Die erarbeiteten Habitate und Temperaturpräferenzen für die Leitfischarten Bachforelle, Äsche, Nase und Barbe bilden eine wichtige Grundlage für ein nachhaltiges Flussmanagement und etwaige Anpassungsstrategien an den Klimawandel.

5. Danksagung

Das Projekt «BIO_CLIC» wurde vom österreichischen Klima- und Energiefonds unterstützt (Vertragsnummer KR11AC0K00259). Für hilfreiche Kommentare und die Bereitstellung von Daten sei vor allem Gerhard Woschitz, aber auch Christian Feld, Piotr Parasiewicz und Erwin Lautsch gedankt.

6. Referenzen

Comte, L., L. Buisson, M. Daufresne, and Grenouillet, G. (2012). Climate-induced changes in the distribution of freshwater fish: observed and predicted trends. *Freshwater Biology*, 58: 625–639.

Dudgeon, D., A. Arthington, M. Gessner, Z.-I. Kawabata, D. Knowler, C. Lévêque, R. Naiman, A.-H. Prieur-Richard, D. Soto, M. Stiassny, and Sullivan, C. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 81: 163–182.

Guldenschuh, M. (2014). Longitudinal zonation of habitat parameters and fish species assemblages in the Austrian lowland rivers Lafnitz and Pinka. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.

Gum, B., R. Gross, and Geist, J. (2009). Conservation genetics and management implications for European grayling, *Thymallus thymallus*: synthesis of phylogeography and population genetics. *Fisheries Management and Ecology*, 16: 37–51.

Hauer, C., Unfer, G., Schmutz, S. and Habersack, H. (2007). The importance of morphodynamic processes used as spawning grounds during the incubation time of nase (*Chondrostoma nasus*). *Hydrobiologia*, 579: 15–27.

Intergovernmental Panel on Climate Change–IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*.

Logez, M., and Pont, D. (2013). Global warming and potential shift in reference conditions: the case of functional fish-based metrics. *Hydrobiologia*, 704: 417–436.

Matulla, C., Schmutz, S., Melcher, A., Gerersdorfer, T., and Haas, P. (2007). Assessing the impact of a downscaled climate change simulation on the fish fauna in an Inner-Alpine River. *International journal of biometeorology*, 52: 127–137.

Melcher A., Lautsch E. and Schmutz, S. (2012). Non-parametric methods – Tree and P-CFA – for the ecological evaluation and assessment of suitable aquatic habitats: A contribution to fish psychology. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 54: 293–306.

Melcher, A. and Schmutz, S. (2010). The importance of structural features for spawning habitat of nase *Chondrostoma nasus* (L.) and barbel *Barbus barbus* (L.) in a pre-Alpine river. *River Systems*, 19: 33–42.

Melcher, A., F. Pletterbauer, H. Kremser and Schmutz, S. (2013). «Temperaturansprüche und Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischfauna in Flüssen und unterhalb von Seen». *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 65: 11–12.

Moir, H.J. and Pasternack, G.B. (2010). Substrate requirements of spawning Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) are dependent on local channel hydraulics. *River Research and Applications*, 26: 456–468.

Pletterbauer, F., A. H. Melcher, T. Ferreira, & S. Schmutz, 2015. Impact of climate change on the structure of fish assemblages in European rivers. *Hydrobiologia* 744: 235–254.

Rauch, P. (2014): Fish habitat use and distribution in medium sized Austrian rivers – Exploring differences between the life stages of *Chondrostoma nasus*, *Barbus barbus* and *Thymallus thymallus*. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.

Schinegger, R., C. Trautwein, A. Melcher, and Schmutz, S. (2012). Multiple human pressures and their spatial patterns in European running waters. *Water and Environment Journal*, 26: 261–273.

Schmutz, S., M. Kaufmann, B. Vogel, and Jungwirth, M. (2000). Methodische Grundlagen und Beispiele zur Bewertung der fischökologischen Funktionsfähigkeit österreichischer Fließgewässer. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, ISBN 3-85 174-036-X.

Vannote, R.L., G.W. Minshall, J.R. Sedell, and Cushing, C.E. (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 130–137.

Woschitz G. & G. Wolfram (2012). «Status Quo der Schutzgüter Fische und Neunaugen im Natura-2000-Gebiet Lafnitzauen». Wien.

Xenopoulos, M.A., D.M. Lodge, J. Alcamo, M. Märker, K. Schulze, and Van Vuuren, D.P. (2005). Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. *Global Change Biology*, 11: 1557–1564.

Dossi F., P. Leitner, E. Steindl und W. Graf (diese Ausgabe). Der Einfluss der Wassertemperatur auf die benthische Evertbratenzönose in mittelgrossen Fließgewässern am Beispiel der Flüsse Lafnitz und Pinka (Burgenland, Steiermark) in Österreich.

Holzapfel G. und H.P. Rauch (diese Ausgabe). Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka.

Pressl A. und R. Allabashi (diese Ausgabe). Veränderung ausgewählter Wasserqualitätsparameter durch Querbauwerke in kleinen Fließgewässern.

Weihls P. und H. Trimmel (diese Ausgabe). Messung und Modellierung der Wassertemperatur an den Flüssen Lafnitz und Pinka.

Schaufler K. in prep. 2015. Water temperature effects on fish in pre alpine medium-sized rivers. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur.

Kontaktadressen:

Andreas Melcher,
Dipl.-Ing Dr. nat. techn.,
andreas.melcher@boku.ac.at

Florian Pletterbauer, Dipl.-Ing.,
florian.pletterbauer@boku.ac.at

Martin Guldenschuh, B. Sc.
guldenschuh.martin@gmail.com

Pablo Rauch, M. Sc.,
pablo.rauch@boku.ac.at

Kristina Schaufler, B. Sc.
schauflerkristina@gmail.com

Martin Seebacher,
martin.seebacher@boku.ac.at

Stefan Schmutz,
Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. echn.,
stefan.schmutz@boku.ac.at

IHG – Institut für Hydrobiologie und
Gewässermanagement

WAU – Department für Wasser-
Atmosphäre-Umwelt

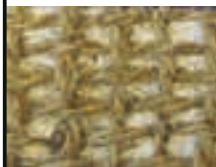
BOKU – Universität für Bodenkultur,
Wien

Max-Emanuel-Strasse 17, 1180 Wien,
Österreich

**IHR
VORTEIL:**

SIFOR®
natürlicher
Erosionsschutz
aus Jute und Kokos

**Direktimport
aus dem Ursprungsland**



**Kurzfristige Lieferung dank
grossem Lagerbestand!**

**Fragen Sie uns an -
wir beraten Sie gerne!**



Relianz AG
Packende Ideen

Stationsstrasse 43 · 8906 Bonstetten
Tel. +41 44 701 82 82 · Fax +41 44 701 82 99
www.geonatex.ch · relianz@relianz.ch

Der Einfluss der Wassertemperatur auf die benthische Evertebratenzönose in mittelgrossen Fließgewässern am Beispiel der Flüsse Lafnitz und Pinka (Burgenland, Steiermark) in Österreich

Florian Dossi, Patrick Leitner, Eva Steindl und Wolfram Graf

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht den Einfluss der Wassertemperatur auf die benthische Evertebratenfauna in Fließgewässern. Das Projekt wurde an zwei voralpinen Flüssen im Südosten Österreichs, der Lafnitz und der Pinka, durchgeführt. Die Flüsse wurden ausgewählt, da sie typologisch vergleichbar sind, jedoch Unterschiede in ihrem Verbauungsgrad bzw. der Ausprägung ihrer begleitenden Ufervegetation aufweisen. Beide Flüsse wurden mehrfach entlang ihres Flusslaufes beprobt, um Aussagen über die longitudinale Verteilung der benthischen Zönose treffen zu können und diese in der Folge mit der gemessenen Wassertemperatur zu verschneiden.

Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur und der Verbreitung von Arten. Das Abhängigkeitsverhältnis wurde durch Korrelationsverfahren überprüft, wobei ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen der etablierten Zönose und der Morgentemperatur im Gewässer festgestellt werden konnte.

Im Vergleich der beiden Flüsse konnte gezeigt werden, dass sich trotz der Kombination aus höher liegender Quellregion, gestreckterem Flussverlauf und daraus resultierend rascherem Wassertransport an der Pinka früher ein wärmeres (potamales) Temperaturregime einstellt. Es wird angenommen, dass die intakte Ufervegetation an der Lafnitz einen Grossteil der einfallenden Strahlung absorbiert und somit als Temperaturpuffer für das Gewässer dient.

Die Bereitstellung von zusätzlichen Habitaten und die Beeinflussung der Flussmorphologie durch die Ufervegetation können – neben der Funktion als Temperaturpuffer – als weiterer positiver Effekt angesehen werden.

Keywords

Makrozoobenthos, Wassertemperatur, Beschattung, Ufervegetation, Fließgewässer

Influence de la température de l'eau sur la cénose des invertébrés benthiques dans les rivières de taille moyenne à l'exemple de la Lafnitz et la Pinka (Burgenland, Styrie en Autriche)

Résumé

La présente étude examine l'influence de la température de l'eau sur la faune des invertébrés benthiques dans les cours d'eau. Le projet a été réalisé sur deux rivières dans le sud-est des Alpes autrichiennes, la Lafnitz et la Pinka. Celles-ci ont été choisies car elles présentent des caractères typologiques similaires, mais se différencient dans leur degré d'aménagement et dans leur végétation riveraine.

Les deux cours d'eau ont été examinés plusieurs fois afin de pouvoir arriver à des conclusions sur la répartition longitudinale des cénoses benthiques et de les recouper avec la température mesurée de l'eau.

Les résultats montrent une corrélation claire entre la température de l'eau et la distribution des espèces. Le rapport de dépendance a été vérifié par une méthode de corrélation qui a pu mettre en valeur un lien significatif entre la cénose établie et la température de l'eau dans la matinée.

En comparant les deux cours d'eau, on a pu démontrer qu'en dépit d'une source plus élevée, un parcours plus rapide et une vitesse d'écoulement plus élevée est observé plus vite sur la Pinka. On pense que la végétation riveraine intacte sur la Lafnitz absorbe une grande

partie du rayonnement solaire et sert ainsi d'écran de protection pour le cours d'eau.

La mise en disposition d'habitats supplémentaires et l'influence sur la morphologie du cours d'eau par la végétation riveraine peuvent – en plus de leur fonction d'écran – être considérées comme éléments positifs additionnels.

Mots-clés

Macroinvertébrés, température de l'eau, ombrage, végétation riveraine, cours d'eau

L'influenza della temperatura dell'acqua sulle biocenosi d'invertebrati bentonici in fiumi di media grandezza – l'esempio dei fiumi Lafnitz e Pinka (Burgenland, Steiermark) in Austria

Riassunto

Il presente studio esamina l'influenza della temperatura dell'acqua sugli invertebrati bentonici nei corsi d'acqua. Il progetto è stato realizzato lungo i due fiumi prealpini Lafnitz e Pinka, nel sud-est dell'Austria. Sono stati scelti poiché simili dal punto di vista tipologico, sono tuttavia diversamente costruiti, ossia le rispettive vegetazioni riparie hanno un differente stato di sviluppo. Entrambi i fiumi sono stati campionati più volte per identificare la distribuzione longitudinale della biocenosi bentonica e in seguito confrontarla con le misure della temperatura dell'acqua.

I risultati mostrano chiaramente un rapporto tra la temperatura dell'acqua e la distribuzione delle specie. La correlazione è provata da metodi statistici in cui è stata confermata una relazione molto intensa tra le biocenosi presenti e la temperatura dell'acqua la mattina. Nonostante la regione in cui sorge il

fiume Pinka si trovi a un'altezza più elevata, che il suo corso sia più lineare e che quindi le sue acque scorrano più velocemente, il confronto tra i due fiumi ha mostrato che proprio il fiume Pinka raggiunge più rapidamente un regime di temperatura più caldo (potamale). Si suppone quindi che la vegetazione riparia del fiume Lafnitz assorba una gran parte della radiazione solare e faccia da isolamento per il corso d'acqua. La messa a disposizione di habitat supplementari e l'influenza sulla morfologia fluviale possono, oltre a limitare l'aumento della temperatura, essere considerati come ulteriori effetti positivi della vegetazione riparia.

Parole chiave

Macrobenthos, temperatura dell'acqua, ombreggiatura, vegetazione riparia, corsi d'acqua

1. Einleitung

Im Rahmen des österreichischen Forschungsprojekts «Bio_Clic» wurden Zusammenhänge zwischen Art und Ausprägung der Ufervegetation, die benthischen Makrovertebraten (wirbellose Lebensgemeinschaft der Gewässersohle) sowie die Wassertemperatur an zwei südöstösterreichischen Flüssen untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen eine Grundlage für ein nachhaltiges Flussmanagement vor dem Hintergrund des prognostizierten Klimawandels liefern.

Die Klimaszenarien des IPCC sagen eine Erwärmung des Klimas in allen Jahreszeiten voraus. Zudem wird eine Steigerung der Frequenz und Intensität von Extremwetterereignissen wie Hitzeperioden und Starkregen erwartet (IPCC, 2013).

Die Wassertemperatur wurde bereits vor geraumer Zeit als eine der wichtigsten physikalischen Einflussgrößen, die die Verbreitung von Arten und die Zusammensetzung der Zönose mitbestimmen, erkannt (u. a. Illies, 1952; Kamler, 1967). Grundlegende Prozesse wie die Geschwindigkeit von Stoffwechselforgängen und somit das Wachstum bzw. das Timing von Schlupf und Emergenz

von benthischen Evertebraten hängen direkt mit der Temperatur in Gewässern zusammen (Haidekker, 2004; Schönborn, 1992)

Neben dem direkten Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Physiologie der Organismen ergeben sich zusätzlich indirekte Auswirkungen auf andere Faktoren, unter anderem auf den Sauerstoffgehalt eines Gewässers. Dieser stellt einen limitierenden Faktor für die Entwicklung und das Überleben aquatischer Organismen dar (Engels, 1997; Speth, 1997). Das komplexe Faktorengefüge von Sauerstoffgehalt, Temperatur, Strömung, Substratbeschaffenheit und Stabilität sowie Nahrungsressourcen führt zu einer longitudinalen Abfolge von Organismengemeinschaften, die, beginnend mit Illies & Botosaneanu (1963) beschrieben, in spezifische Gewässerzonen klassifiziert wurden und durch Indices einer praktischen Anwendung zugeführt wurden (Moog, 2005). Als prägende Steuergröße dieser Zonierung wurden von Moog & Wimmer (1994) und Graf & Moog (2003) maximale Temperaturobergrenzen definiert (siehe Abb. 2).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Überprüfung der Temperaturabhängigkeit der Zönosen auf Basis der benthischen Evertebratenfauna. Als Untersuchungs-gewässer wurden ein vergleichsweise naturnaher Fluss (Lafnitz) und ein anthropogen stark verändertes Gewässer (Pinka) miteinander verglichen. Beide Flüsse sind typologisch ähnlich und liegen grossteils in der Ungarischen Tiefebene (Ökoregion 11 nach Illies (1978).

2. Untersuchungsgebiet und Methoden

Die untersuchten voralpinen Flüsse befinden sich im Südosten Österreichs und durchfließen die Ökoregionen «Alpen» und «Ungarische Tiefebene». Während sie sich in geografischer Lage und Hydrologie gut vergleichen lassen (siehe Tab. 1 und Abb. 1), weisen sie Unterschiede in ihrer Morphologie auf, welche am deutlichsten im Mittel- bzw. im Unterlauf der Flüsse auffallen. Die Lafnitz kann sich über weite Teile ihres Flussverlaufs frei entwickeln, was zu weitläufigen Mäanderbögen und einer



Abb. 1: Überblick über das Untersuchungsgebiet und die Lage der Untersuchungsstellen an den Flüssen Lafnitz (links) und Pinka (rechts).

Fig. 1: Vue d'ensemble de la zone étudiée et situations des emplacements de recherche le long de la Lafnitz (à gauche) et la Pinka (à droite).

	Lafnitz	Pinka
L4 Rohrbach / P5 Pinkafeld		
EZG [km ²]	268,5	134,1
MJNQ _T [m ³ /s]	1,05	0,43
MQ [m ³ /s]	2,56	1,03
MJHQ [m ³ /s]	53	16,1
L9 Dobersdorf / P8 Burg		
EZG [km ²]	925,1	664,1
MJNQ _T [m ³ /s]	2,64	0,94
MQ [m ³ /s]	6,55	2,96
MJHQ [m ³ /s]	61,1	39,4

Tab. 1: Ausgewählte hydrologische Kennwerte der Flüsse Lafnitz und Pinka. Quelle BMLFUW (2013)

Tab. 1: Caractéristiques hydrologiques choisies de la Lafnitz et de la Pinka, d'après BMLFUW (2013).

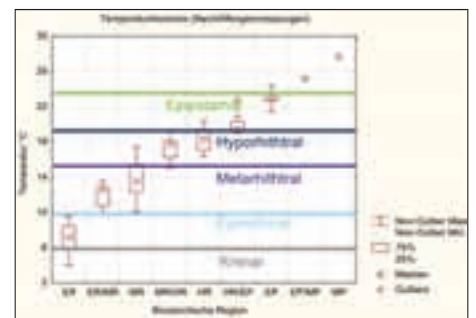


Abb. 2: Temperatur-Klassengrenzen zwischen den biözönotischen Regionen; Abbildung aus Graf & Moog (2003).

Fig. 2: Limites de classe de température entre les régions biocénétiques, d'après Graf & Moog (2003).

insgesamt sehr heterogenen Gewässerlandschaft führt. Die Pinka hingegen ist nahezu über ihren gesamten Flusslauf in ihrer Dynamik stark durch Uferver-

bauungen und Begradigungen eingeschränkt (siehe Abb. 10–13). Andere Belastungen sind an beiden Flüssen vergleichbar (BMLFUW, 2010).

Die Erhebung der benthischen Zönose erfolgte an allen 17 Untersuchungsstellen (neun an der Lafnitz, acht an der Pinka) zu mehreren Terminen im Jahr, um ein möglichst vollständiges Bild über deren Zusammensetzung bzw. deren Verteilung im Längsverlauf zu erhalten. Die Lage der Untersuchungsstellen ist in Abbildung 1 ersichtlich.

Die Durchführung der Probenahme erfolgte nach der standardisierten Multi-Habitat-Sampling-Methode (MHS) nach Moog (2004). Mit ihr ist es möglich, das Arteninventar an den einzelnen Untersuchungsstellen (semi-)quantitativ zu erheben. Ergänzend dazu wurden auch Sonderhabitate wie submerse Totholzstrukturen, deren Vorhandensein direkt mit der Ufervegetation verknüpft ist, separat beprobt.

Sämtliche Proben wurden auf Screening-Niveau nach Ofenböck et al. (2010) bestimmt, da nur in Ausnahmefällen eine detailliertere Bestimmung möglich war. Im Fall der Diptera-Familie der Chironomidae wurde nur auf Familienniveau bestimmt.

Insgesamt konnten an den vier Probenahmeterminen (Frühjahr, Sommer, Herbst 2012 und Frühjahr 2014) 231 Taxa nachgewiesen werden.

Um statistisch verwertbare Aussagen über die gesamte Artengemeinschaft an den einzelnen Untersuchungsstellen treffen zu können, wurde deren Zusammensetzung anhand des Regionsindex für

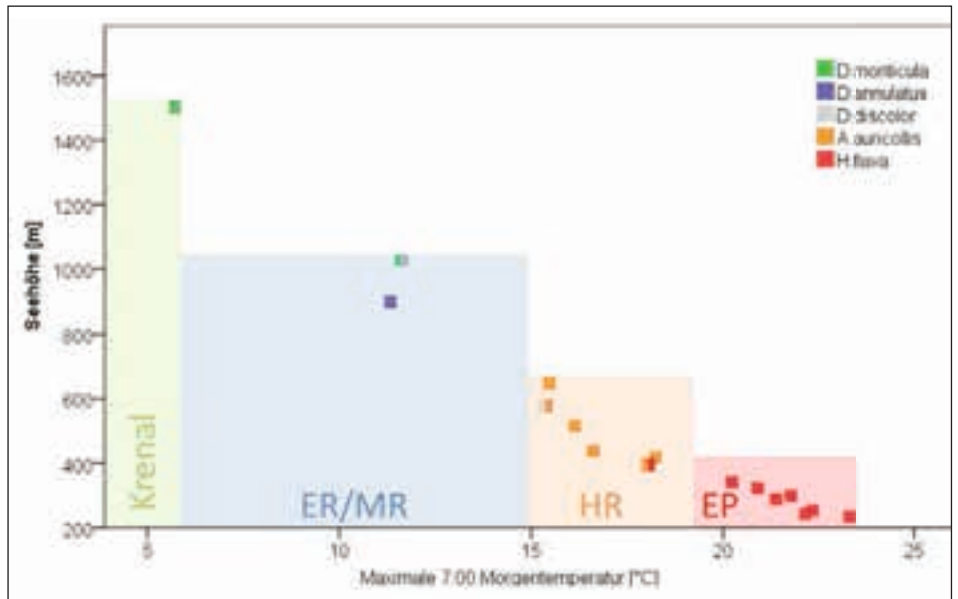


Abb. 3: Habitateinnischung einiger ausgewählter Arten (Trichoptera: *Drusus monticola*, *Drusus annulatus*, *Drusus discolor*, *Allogamus auricollis*; Ephemeroptera: *Heptagenia flava*) entlang des longitudinalen Gradienten der Flüsse Lafnitz und Pinka; ER = Epirhithral, MR = Metarhithral, HR = Hyporhithral, EP=Epipotamal nach Graf & Moog (2003).

Fig. 3 : Présence de certaines espèces sélectionnées (Trichoptera : *Drusus monticola*, *Drusus annulatus*, *Drusus discolor*, *Allogamus auricollis* ; Ephemeroptera : *Heptagenia flava*) le long du gradient longitudinal de la Lafnitz et la Pinka ; ER = Epirhithral, MR = Metarhithral, HR = Hyporhithral, EP = Epipotamal, d'après Graf & Moog (2003).

biozönotische Haupt-Regionen (RIZI) mit Hilfe der Software EcoProf 4.0 (Moog et al., 2013) quantifiziert. Dieser Index gibt Auskunft über die longitudinale Einstufung der Zönose innerhalb der biozönotischen Regionen. Für den Vergleich der Artengemeinschaften zwischen den Untersuchungsstellen wurde der Ähnlichkeitsindex nach Soerensen (1948) verwendet. Die Wassertemperatur wurde an allen beprobten Untersuchungsstellen im stündlichen Intervall gemessen. Details zu den Messungen sind in diesem Band unter dem Titel

«Messung und Modellierung der Wassertemperatur an den Flüssen Lafnitz und Pinka» von Weihs einsehbar.

3. Ergebnisse und Diskussion

Eine wesentliche Steuergröße für aquatische Biozönosen ist die Wassertemperatur. Dies bestätigt die Korrelation zwischen der maximalen 7:00-Morgentemperatur und der Zönose, ausgedrückt in biozönotischen Regionsindices (siehe Abb. 4). Diese Tatsache unterstreicht die starke Abhängigkeit zwischen den biologischen Prozessen in einem Gewässer und dem Temperaturregime (Domisch et al., 2013). Beispielhaft gibt Abbildung 3 die längenzonale Verbreitung von ausgewählten Arten im Seehöhe-Temperatur-Kontinuum wieder. Es zeigt sich, dass jede Art ein spezifisches Temperaturregime bevorzugt.

Abbildung 7 gibt einen Überblick über die Zuordnung der Untersuchungsstellen anhand der maximalen Morgentemperatur zu biozönotischen Regionen (nach Graf & Moog, 2003) und die Entwicklung der Zönosen im Längsverlauf der Flüsse (links Lafnitz; rechts Pinka).

Obwohl sich die beiden Fließgewässer in einigen Parametern, wie u.a. Lauf-

	L3	P3	L5	P4	L6	P6
Ähnlichkeit nach Soerensen (1948)	71,6%		65,3%		65,4%	
RIZI	3,7942	3,3686	4,41	3,9271	4,8898	4,9939
Max 7:00 Morgentemperatur [°C]	16,1	15,4	18	17,8	20,9	20,2
Max Temperatur [°C]	21	18,9	22,6	26,39	23,2	26,8
Temperatursumme > 0°C	9817,8	9083,6	11058,9	10679,7	11905	12507,1
Temperatursumme > 15°C	3143,8	1108,9	7234,3	5958,6	11195,6	11989,6
Temperatursumme > 19°C	19,1		1578,5	1331,2	2324,3	4780,6
Temperatursumme > 21°C			502,9	598,8	1462,9	2235,4
Temperatursumme > 24°C				24,2		675,0
Taxazahl	68	64	57	41	75	44

Tab. 2: Ähnlichkeit der Fauna an den Untersuchungsstellenpaaren L3/P3, L5/P4 und L6/P6 nach Soerensen (1948); Regionsindex für biozönotische Haupt-Regionen (RIZI); maximale 7:00-Morgentemperatur und maximale Temperatur der Sommermonate Juni bis August in °C; Temperatursummen des Monats August 2013 (Summe aller stündlichen Werte über 0, 15, 19, 21 und 24 °C).

Tab. 2 : Similitude de la faune sur les paires d'emplacements étudiés L3/P3, L5/P4 et L6/P6 d'après Soerensen (1948); indice régional pour les régions principales biocénologiques (RIZI); température matinale maximale à 7h00 en °C durant les mois de juin à août; sommes des températures en août 2013 (somme de toutes les valeurs horaires supérieures à 0, 15, 19, 21 et 24 °C).

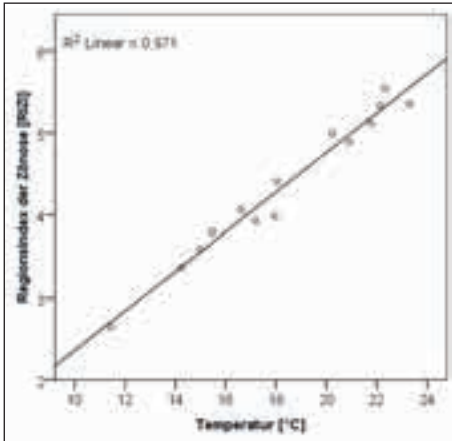


Abb. 4: Korrelation zwischen der maximalen 7:00-Morgentemperatur und dem Regionsindex für biozönotische Haupt-Regionen (RIZI) an den einzelnen Untersuchungsstellen beider Flüsse.

Fig. 4: Corrélation entre la température maximale le matin à 7h00 et l'indice régional pour les régions principales biocénologiques (RIZI) sur les sites de recherche individuels des deux cours d'eau.

länge, morphologischer Beeinträchtigung und Ausprägung der Ufervegetation, unterscheiden, lässt sich die Zusammensetzung der benthischen Zönosen durch die gemessenen Wassertemperaturen erklären. Auffallend ist, dass die auftretenden Temperatursprünge zwischen den Stellen der Pinka bei Glaserhütte (P_2_GS) und bei Hundsmühlbach (P_3_HM) bzw. zwischen Sinnersdorf (P_5_SD) und Riedlingsdorf (P_6_RD) deutlich durch die Zusammensetzung der Zönose nachvollzogen werden. Im Gegensatz dazu ergibt sich an der Lafnitz ein gleichmässigerer Anstieg der Temperatur- sowie Indexwerte. Lediglich der Übergang zwischen der ersten (L_1_QU) und zweiten Untersuchungsstelle (L_2_MM) zeigt eine grössere Abweichung. Dies lässt sich jedoch durch die generell konstanteren Temperaturbedingungen in Quellnähe (L_1_QU) erklären.

Um diese Erkenntnisse in ein quantifizierbares Mass zu überführen, wurde der Zusammenhang zwischen Temperatur und der Zönose mit Hilfe von Korrelationsverfahren analysiert.

Ein weiterer Aspekt ist die Temperaturentwicklung im Flussverlauf. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die durchflossenen Höhenmeter sowie die Lauflänge der Gewässer und beschreiben zusätzlich die longitudinale Ausdehnung der biozönotischen Regionen.

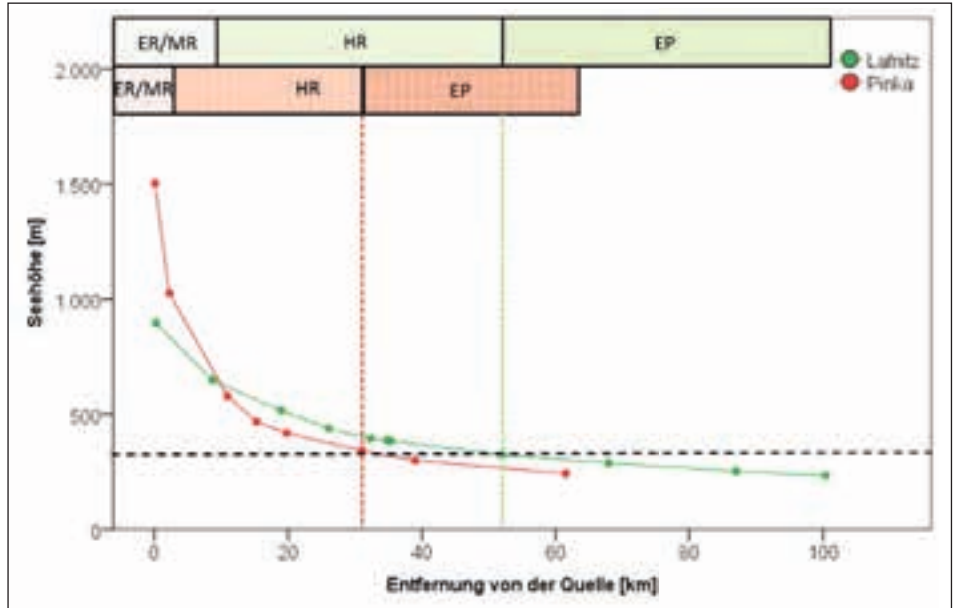


Abb. 5: Laufentwicklung der Lafnitz (grün) und der Pinka (rot) und longitudinale Ausdehnung der biozönotischen Regionen (nach Graf & Moog, 2003); gestrichelte Linie: Beginn des Epipotamals an beiden Flüssen; ER = Epirithral, MR = Metarhithral, HR = Hyporhithral, EP = Epipotamal.

Fig. 5: Développement du tracé de la Lafnitz (vert) et la Pinka (rouge) et expansion longitudinale de la région biocénologique (d'après Graf & Moog, 2003); ligne en pointillé: début des Epipotamals sur les deux rivières; ER = Epirithral, MR = Metarhithral, HR = Hyporhithral, EP = Epipotamal.

Die Quellregion der Pinka liegt deutlich höher als jene der Lafnitz, doch bereits nach wenigen Flusskilometern liegen die beiden Flüsse auf einem vergleichbaren Höhenniveau. Der Oberlauf der Pinka ist somit durch einen sehr steilen Gefällegradienten und somit rasche Fließgeschwindigkeiten charakterisiert. Die Lafnitz befindet sich grossteils in einem naturnäheren Zustand, wie in den Abbildungen 10 und 11 zu sehen ist. Weite Teile der Fließstrecke sind als Natur- und Landschaftsschutzgebiet ausgewiesen und vor allem der Mittellauf ist durch Mäanderbögen und somit auch ein geringeres Flussgefälle charakterisiert.

An der Pinka zeigt sich hingegen ein anderes Bild (siehe Abb. 12 und 13). Weite Teile des Gewässers sind verbaut. Es kommt somit zu verkürzten Fließstrecken und einem höheren Flussgefälle. Diese Bedingungen führen zu einem rascheren Wassertransport und somit zu einer geringeren Verweildauer des Wassers als an der Lafnitz.

Die Erwärmung eines Wasserkörpers erfolgt durch den Energie-Input der Sonne, direkt über die Einstrahlung und indirekt über die Umgebungstemperatur, sofern keine Grundwasserphänomene auftre-

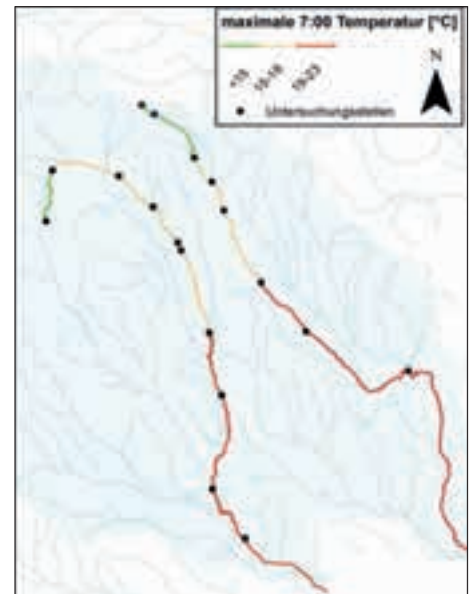


Abb. 6: Verlauf der maximalen 7:00-Morgentemperaturen (Juni bis August) der Flüsse Lafnitz (links) und Pinka (rechts); die Temperaturklassengrenzen entsprechen jenen zu den biozönotischen Regionen nach Graf & Moog (2003)

Fig. 6: Evolution des températures matinales maximales à 7h00 (de juin à août) de la Lafnitz (à gauche) et la Pinka (à droite); limites de classe de température correspondant aux régions biocénologiques d'après Graf & Moog (2003).

ten. Es ist somit zu erwarten, dass sich an der Lafnitz früher ein potamaleres Temperaturregime einstellt. Wie die Abbildungen 5 und 6 zeigen, ist jedoch das Gegenteil der Fall. Zwischen den

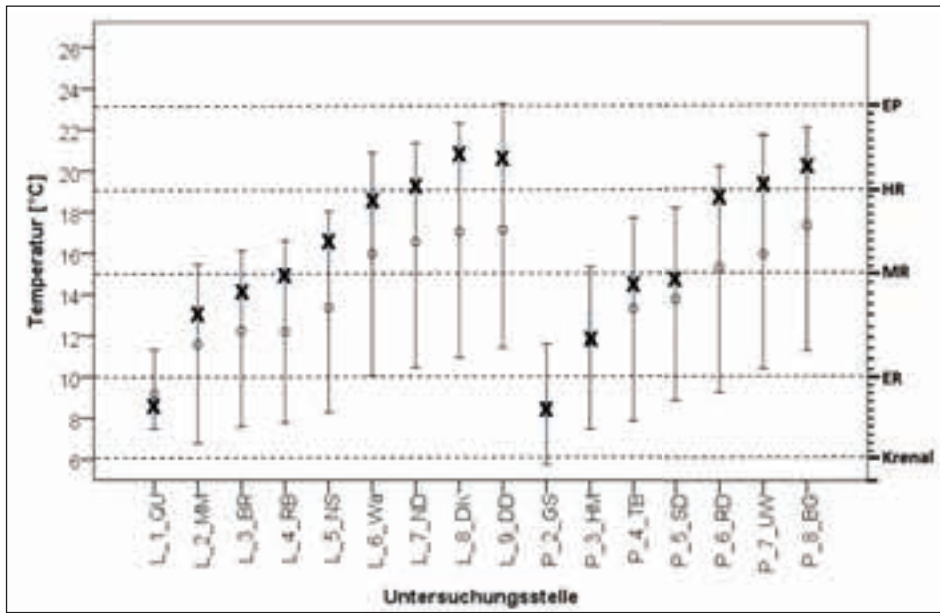


Abb. 7: Strichlierte Linie: Grenzen der biozönotischen Regionen im Flussverlauf der Lafnitz (links) und Pinka (rechts) nach Graf & Moog (2003); linke Skala: Spannweite der maximalen 7:00-Morgentemperatur der Sommermonate Juni bis August; rechte Skala: Regionsindex für biozönotische Haupt-Regionen (RIZI) der jeweiligen Zönosen an beiden Flüssen (durch Kreuze markiert); ER = Epirhithral, MR = Metarhithral, HR = Hyporhithral, EP = Epipotamal.

Fig. 7: Ligne traitillée: limites des régions biocénologiques le long de la Lafnitz (à gauche) et la Pinka (à droite) d'après Graf & Moog (2003); échelle de gauche: amplitude de la température matinale maximale à 7h00 durant les mois de juin à août; échelle de droite: indice régional pour les régions principales biocénologiques (RIZI) des cénoses respectives sur les deux rivières (marqués par des croix); ER = Epirhithral, MR = Metarhithral, HR = Hyporhithral, EP = Epipotamal.

Untersuchungsstellen Sinnersdorf (5_SD) und Riedlingsdorf (6_RD) kommt es zu einer Temperaturzunahme, welche einen sprunghaften Zönosenwechsel (siehe Abb. 7) nach sich zieht. Hier besteht die Annahme, dass trotz der längeren Fließstrecke, dem geringeren Gefälle und dem somit langsameren Wassertransport die intakte Auenvegetation der Lafnitz einen Grossteil des Energie-Inputs in das Gewässer puffert (vgl. «Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka» in dieser Ausgabe von Holz-

apfel und Rauch). Es muss hierbei jedoch noch der Einfluss der unterschiedlichen Abflussmengen berücksichtigt werden, da sich das Volumen eines Wasserkörpers zusätzlich auf dessen Energiebilanz auswirkt.

In den bisherigen Analysen wurden die beiden Flüsse durchwegs separat voneinander analysiert. Im Folgenden soll nun die Annahme getestet werden, dass sich in Abschnitten mit ähnlichen Temperaturverhältnissen infolgedessen auch ein Grundstock an vergleichbaren Arten etabliert. Hierfür wurde zunächst

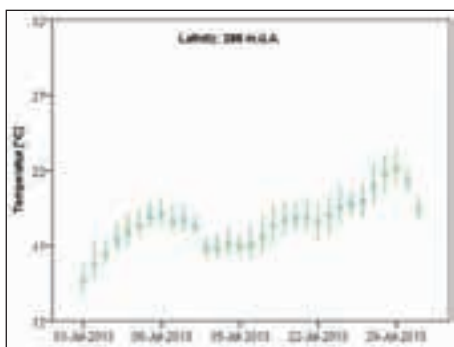


Abb. 8: Tägliche Temperaturamplitude an der Lafnitz Untersuchungsstelle 7_ND im Juli 2013.
Fig. 8: Amplitude de température journalière sur la Lafnitz à l'emplacement 7_ND en juillet 2013.

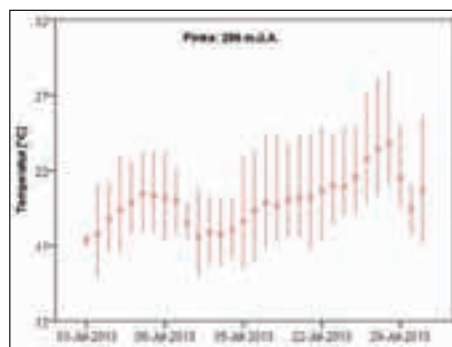


Abb. 9: Tägliche Temperaturamplitude an der Pinka Untersuchungsstelle 7_UW im Juli 2013.
Fig. 9: Amplitude de température journalière sur la Pinka à l'emplacement 7_UW en juillet 2013.

das Arteninventar aller Untersuchungsstellen beider Flüsse miteinander verglichen, um Abschnitte mit einer ähnlichen Fauna zu identifizieren.

Die Untersuchungsstellenpaare mit den höchsten faunistischen Ähnlichkeiten nach Soerensen (1948) sind L3/P3, P4/L5 und P6/L6. Tabelle 2 gibt einen Überblick über ausgewählte Temperaturkennwerte und die Taxazahl an den Stellen.

Zunächst fällt auf, dass sich die miteinander verglichenen Stellenpaare vor allem in ihrer 7:00-Morgentemperatur stark ähneln. Es wird angenommen, dass dieser Wert eine besondere Bedeutung für die benthische Zönose einnimmt, da er die Bedingungen im Sediment am besten beschreibt (Wimmer & Moog, 1994). Zusätzlich bewegt sich der Gesamtenergie-Input (Temperatursumme > 0 °C) der Stellenpaare auf einem vergleichbaren Niveau.

Bei genauerer Betrachtung fallen jedoch auch Unterschiede in der Temperaturcharakteristik bzw. in der Artengemeinschaft auf. Ab dem Mittellauf der Pinka kann ein massiver Rückgang der Artenvielfalt beobachtet werden. Die Vermutung liegt nahe, dass die höheren und länger andauernden Extremtemperaturen (Temperatursumme über 21/24 °C; maximale Temperatur) den Grund dafür darstellen. Der direkte Vergleich zwischen zwei Untersuchungsstellen auf vergleichbarem Seehöheniveau in den beiden Flüssen zeigt sehr deutlich die stärker ausgeprägten Tagestemperaturamplituden an der Pinka (siehe Abb. 8 und 9). Der höhere Verbaungsgrad der Pinka dürfte darüber hinaus gerade Arten der strömungsberuhigten Uferzone negativ beeinflussen. Die diskreten Effekte der beiden Stressoren Temperaturregime und Morphologie auf die Biodiversität sind schwer trennbar zu analysieren. Vor allem stenotherme Arten oder solche mit sehr spezifischen Habitatansprüchen können sich unter diesen Bedingungen nicht dauerhaft reproduzieren.

Beide Einflüsse können mit dem Vorhandensein und der Ausprägung der Ufervegetation in Verbindung gebracht werden. Zum einen dient diese, wie bereits oben erwähnt, als Temperaturpuffer. Durch die Abschirmung der di-



Abb. 10: Lafnitz bei Wolfau.
Fig. 10: La Lafnitz à Wolfau.



Abb. 11: Lafnitz flussab von Neustift.
Fig. 11: La Lafnitz en aval de Neustift.



Abb. 12: Pinka bei Oberwart.
Fig. 12: La Pinka à Oberwart.



Abb. 13: Pinka bei Unterwart.
Fig. 13: La Pinka à Unterwart.

rekten Sonneneinstrahlung werden Temperaturmaxima reduziert und es kommt in der Folge zu geringeren Temperaturschwankungen im Gewässer (vgl. «Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka» in dieser Ausgabe von Holzappel und Rauch). Aber auch die Habitatvielfalt, vor allem im Uferbereich von Mittel- und Unterläufen, wird durch die uferbegleitende Vegetation wesentlich beeinflusst. In ihrem natürlichen Zustand versorgt diese das Gewässer mit Totholz, welches die morphologische Ausprägung der Gewässersohle entscheidend formt (Gerhard & Reich, 2000; Gurnell et al., 1995; Kail, 2004). Zudem wurden an der Lafnitz einige extrem seltene, exklusiv auf Totholz vorkommende Taxa (xylobionte Arten) nachgewiesen, was in einer zusätzlichen Steigerung der Biodiversität resultiert.

4. Conclusio

Die Verbreitung von Arten entlang des longitudinalen Gradienten eines Fließgewässers ist von einem komplexen Gefüge aus abiotischen Einflüssen abhängig. Ein wichtiger Faktor ist die Verfügbarkeit von geeigneten Habitatstrukturen, welche sich aus der Wechselwirkung von u. a. Strömung, Wassertiefe und Nahrungsangebot zusammensetzen. Als überregionalem Faktor kommt der Wassertemperatur eine überragende Bedeutung in der Ausprägung der aquatischen Organismengemeinschaften zu. Dies ist vor allem unter den Aspekten der prognostizierten Temperaturerhöhung im Rahmen von «Climate change»-Phänomenen wesentlich für ein nachhaltiges Gewässermanagement. Die vorliegende Untersuchung zeigt erste Resultate zweier typologisch ähnlicher Fließgewässer der «Ungarischen

Tiefenebene». Trotz der Kombination aus höher liegender Quellregion, gestreckterem Flussverlauf und daraus resultierendem rascherem Wassertransport stellt sich an der Pinka deutlich früher ein höheres (potamiales) Temperaturregime ein. Zudem konnten an der naturnahen Lafnitz geringere Schwankungen der Wassertemperatur festgestellt werden. Es wird angenommen, dass die intakte Ufervegetation der Lafnitz einen Großteil des Energie-Inputs der Sonne puffert und somit eine stabilere sowie langsamere Erhöhung der Wassertemperaturentwicklung im Flusslauf bewirkt. Der starke Zusammenhang zwischen der Verbreitung von Arten und der Wassertemperatur macht vor dem Hintergrund der Auswirkungen des Klimawandels auf die kleinen und mittelgrossen Gewässer in Zentraleuropa einen Handlungsbedarf deutlich. Besonders rhithrale Zö-

nosen werden mit der fortschreitenden Erhöhung der Wassertemperatur stark in ihrem Lebensraum eingeschränkt, da höhere Temperaturen tolerantere Organismen der Unterläufe fördern. Es ist somit ein breiter Ausfall an Arten zu befürchten. Eine intakte uferbegleitende Vegetation kann dazu beitragen, die Auswirkungen des Klimawandels abzumildern und auch für stenotherme Arten Lebensräume zu erhalten.

Die Bereitstellung von zusätzlichen Habitaten und die Beeinflussung der Flussmorphologie durch die Ufervegetation können – neben der Funktion als Temperaturpuffer – als weiterer positiver Effekt angesehen werden. Daher konnten in der Lafnitz eine Vielzahl seltener, exklusiv auf Totholz vorkommender Arten (xylobionte Arten) nachgewiesen werden, was zu einer zusätzlichen Erhöhung der Biodiversität im Gewässer beiträgt.

5. Literatur

BMLFUW (2010). NGP-Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW-UW.4.1.2/0011-1/4/2010).

BMLFUW (2012). Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2011 (Bd. 119). Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Abteilung VII 3 – Wasserhaushalt (HZB).

Domisch, S., Araújo, M.B., Bonada, N., Pauls, S.U., Jähnig, S.C. & Haase, P. (2013). Modelling distribution in European stream macroinvertebrates under future climates. *Global Change Biology*, 19, 752–762.

Engels, S. (1997). Einfluss von Nitrit und Sauerstoffmangel auf Entwicklung und Verhalten der Larven einheimischer Hydropsyche-Arten (Insecta: Trichoptera). Dissertation, Universität Köln, S. 1–122.

Gerhard, M., & Reich, M. (2000). Restoration of Streams with Large Wood: Effects of Accumulated and Built-in Wood on Channel Morphology, Habitat Diversity and Aquatic Fauna. *International Review of Hydrobiology*, 85, S. 123–137.

Graf, W., & Moog, O. (2003). Aquatische Fauna in: Institut für Meteorologie

und Physik, BOKU, Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Tierwelt – derzeitiger Wissensstand, fokussiert auf den Alpenraum und Österreich. Eigenverlag Wien. S. 1–141.

Gurnell, A., Gregory, K., & Petts, G. (1995). The role of Coarse woody debris in forest aquatic habitats: implications for management. *Aquatic Conservation: Marine and freshwater Ecosystems*, 5, S. 143–166.

Haidekker, A. (2004). The effect of water temperature regime on benthic macroinvertebrates. Dissertation Universität Duisburg-Essen, CE, S. 1–151.

Illies, J. (1952). Die Mölle. Faunistisch-ökologische Untersuchung an einem Forellenbach im Lipper Bergland. *Arch. f. Hydrobiol.*, 46, S. 424–612.

Illies, J. (1978). *Limnofauna Europaea*. Eine Zusammenstellung aller die europäischen Binnengewässer bewohnenden mehrzelligen Tiere mit Angaben über ihre Verbreitung und Ökologie. – A Checklist of the Animals Inhabiting European Inland Waters, with Accounts of their Distribution and Ecology (except Protozoa). 2., überarbeitete und ergänzte Auflage. Stuttgart, New York, Amsterdam: Gustav Fischer Verlag, Swets & Zeitlinger B.V. S. 1–532.

Illies, J., & Botosaneanu, L. (1963). Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. S. 1–57.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*.

Kail, J. (2004). Geomorphic effects of large wood in streams and rivers and its use in stream restoration: A central european perspective. Phd Thesis, University of Duisburg-Essen. S. 1–160.

Kamler, E. (1967). Distribution of Plecoptera and Ephemeroptera in relation to altitude above mean sea level and current speed in mountain waters. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 14, S. 29–42.

Moog, O., & Wimmer, R. (1994). Comments to the water temperature based assessment of biocoenotic regions according to ILLIES & BOTOSANEANU. *Verh. Internat. Verein. Limnol*, 25.

Moog, O. (2004). Standardisierung der habitatanteilig gewichteten Makrozoobenthos-Aufsammlung in Fließgewässern (Multi-Habitat-Sampling; MHS). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft.

Moog O. (2005). Aktuelle Erweiterungen des Kataloges zur autökologischen Einstufung aquatischer Organismen Österreichs (Fauna Aquatica Austriaca).

Moog, O., Hartmann, A., Schmidt-Kloiber, A., Vogl, R., & Koller-Kreimel, V. (2013). ECOPRF Vers. 4.0 Software zur Bewertung des ökologischen Zustandes von Fließgewässern nach WRRL.

Ofenböck, T., Moog, O., Hartmann, A., & Stubauer, I. (2010). Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente Teil A2-Makrozoobenthos. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, S. 1–103.

Sørensen, T. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter*, 5, S.1–34.

Schönborn, W. (1992): *Fließgewässerbilogie*. Jena Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.

Speth, S. (1997). Aspekte der Respiration und des Verhaltens limnischer Insekten-Larven (Insecta) bei Sauerstoffmangel. Dissertation an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, S. 108.

Kontaktadressen

Dipl.-Ing. Florian Dossi

(florian.dossi@boku.ac.at)

Dipl.-Ing. Patrick Leitner

(patrick.leitner@boku.ac.at)

Dipl.-Ing. Eva Steindl

(eva.steindl@boku.ac.at)

Ass. Prof. Dr. Wolfram Graf

(wolfram.graf@boku.ac.at)

IHG – Institut für Hydrobiologie

und Gewässermanagement

WAU – Department für

Wasser-Atmosphäre-Umwelt

BOKU – Universität für Bodenkultur,

Wien

Max-Emanuel-Strasse 17, 1180 Wien,

Österreich

Veränderung ausgewählter Wasserqualitätsparameter durch Querbauwerke in kleinen Fließgewässern

Alexander Pressl, Roza Allabashi

Zusammenfassung

Im Zuge eines Projekts wurden ausgewählte physikalisch-chemische und chemische Parameter in einem Teilabschnitt eines kleinen Flachlandgewässers im Osten Österreichs erhoben. In diesem rund 22,6 km langen Teilabschnitt gibt es mehrere Querbauwerke mit Staucharakter, sodass die wenigen frei fließenden Strecken durch kilometerlange Staubecken unterbrochen sind. Die Querbauwerke bestehen hauptsächlich aus sechs Kraftwerken für die Stromerzeugung mit Absturzhöhen von 2 bis 5 Meter sowie mehreren Rampen und Sohlschwellen von 0,2 bis 0,5 Meter Höhe. Einschränkungen bezüglich der Datenlage waren durch die Fragestellung innerhalb des Projekts zu erwarten, die sich nur auf geringe Abflussmengen bezieht.

Um die vorhandenen Messreihen (Wasserqualität) am Pinka-Abschnitt sowohl hinsichtlich der Messhäufigkeit als auch der räumlichen Ausdehnung zu ergänzen, wurden flussabwärts der Bundes- und Landes-Messstelle weitere zeitlich begrenzte Fließgewässer-Messstationen (temporäre mobile Messstationen) betrieben.

Bei keinen der im Projekt untersuchten chemischen Parameter war ein ungewöhnliches Konzentrationsniveau an den temporären Fließgewässer-Messstationen zu beobachten. Dabei anzumerken ist, dass die Konzentrationen gewisser Parameter im angrenzenden Grundwasser vor allem am Ende des Gewässer-Teilabschnitts deutlich zunehmen und dadurch wesentlich höher als im Flusswasser sind.

Bezüglich der gemessenen Online-Parameter war die Sauerstoffkonzentration wegen der ausgeprägten Tag-Nacht-Schwankungen in der Kraftwerkskette im Fokus des Interesses. Dazu wurden Überlegungen bezüglich der online gemessenen im Vergleich zur berechneten Sauerstoffkonzentration bei

Sauerstoffsättigung von Wasser bei 1013 mbar in Abhängigkeit der Wassertemperatur durchgeführt.

Keywords

Messstation, Kraftwerk, Nährstoffe, Sauerstoff, Niederwasser

Modification dans les paramètres sélectionnés de qualité de l'eau par des structures transversales dans les petits cours d'eau

Résumé

Dans le cadre d'un projet, des paramètres physico-chimiques et chimiques sélectionnés ont été recueillis dans une section d'un petit cours d'eau de plaine dans l'est de l'Autriche. Dans cette section partielle de 22,6 km se trouvent de nombreux ouvrages transversaux avec bassin de stockage, de sorte que les quelques tronçons à écoulement libre sont interrompus par de longues zones de stockage. Les structures transversales se composent principalement de six centrales hydrauliques avec des hauteurs de chute de 2 à 5 mètres, ainsi que plusieurs rampes et seuils de 0,2 à 0,5 mètres de hauteur.

Pour compléter la série existante des mesures (sur la qualité de l'eau) sur le tronçon de la Pinka à la fois en termes de fréquence de mesure et d'étendue spatiale, des stations de mesure supplémentaires (stations mobiles temporaires) ont été opérées en aval des stations de mesure fédérales et provinciales.

Aucun des paramètres chimiques étudiés dans le projet n'a fait état d'un niveau de concentration inhabituelle dans les stations de mesure temporaires. Il convient de noter que les concentrations de certains paramètres dans les eaux souterraines adjacentes en particulier aux extrémités de la section augmentent

de manière significative, et sont par conséquent beaucoup plus élevées que dans le cours d'eau.

Concernant les paramètres de mesure en ligne et en raison des fluctuations marquées de l'activité de la centrale le jour et la nuit, la concentration d'oxygène était au centre des intérêts. Des considérations concernant la concentration d'oxygène mesurée en ligne par rapport à la concentration calculée ont été réalisées en fonction de la température de l'eau avec une saturation en oxygène de l'eau à 1013 mbar.

Mots-clés

Station de mesure, centrale électrique, substance nutritive, oxygène, étiage

Alterazione di parametri di qualità dell'acqua selezionati causata da opere trasversali in piccoli corsi d'acqua

Riassunto

Nell'ambito di un progetto sono stati selezionati dei parametri chimico-fisici e chimici da campionare in un tratto di un piccolo fiume di pianura nell'est dell'Austria. In questo tratto di 22,6 km ci sono diverse opere trasversali con carattere di sbarramento, cosicché i pochi tratti a scorrimento libero sono interrotti da ritenute chilometriche. Le opere trasversali sono soprattutto 6 centrali idroelettriche con sbarramenti tra 2 e 5 metri di altezza, come anche diverse rampe e soglie tra 0,2 e 0,5 metri. Siccome il progetto è incentrato su portate di magra, limitazioni sulla disponibilità dei dati erano da aspettarsi in seguito alla formulazione della domanda.

Per completare le serie di misure disponibili (qualità dell'acqua) in questo tratto del fiume Pinka, sia dal lato della frequenza delle misure che da quello della distribuzione spaziale, sono state instal-

late temporaneamente delle stazioni di misura mobili a valle delle stazioni di misura ufficiali. Durante lo studio, nessuno dei parametri chimici misurati a una delle stazioni di misura temporanee ha mostrato dei livelli di concentrazione anomali. Va però notato che la concentrazione di determinati parametri nella falda freatica adiacente aumenta sensibilmente soprattutto alla fine del tratto di fiume considerato, risulta quindi nettamente più elevata che nel corso d'acqua. Tra i parametri misurati on-line, l'evoluzione della concentrazione di ossigeno dovuta al ciclo giorno-notte della catena di centrali idroelettriche era di particolare interesse. A questo riguardo sono state fatte riflessioni sulla concentrazione di ossigeno misurata on-line in confronto a quella calcolata per una saturazione dell'acqua a 1013 mbar e sulla loro variazione in base alla temperatura dell'acqua.

Parole chiave

Stazione di misura, centrale idroelettrica, sostanze nutrienti, ossigeno, portata di magra

1. Einleitung

Gewässerstrukturen an Fließgewässern haben über die Veränderung der Fließbedingungen sowohl einen Einfluss auf die Ökologie als auch auf die Gewässergüte. Der nationale Gewässerbewirtschaftungsplan (BMLFUW, 2010) in Österreich definiert als «erheblich veränderte» Wasserkörper vor allem Gewässerabschnitte, deren Wasser für die Energieproduktion genutzt wird oder an denen Massnahmen für den Hochwasserschutz gesetzt wurden. Für diese Gewässer gilt nicht der «gute Zustand», sondern das «gute ökologische Potenzial» als spezifisches Umweltziel. Stauketten werden als eindeutiges Risiko der Zielverfehlung betrachtet, vor allem wenn sie zusätzlich auch noch Abflussschwankungen durch die Stromerzeugung vorweisen. Diese Abschnitte müssen gesondert betrachtet werden, um geeignete Massnahmen zur Zielerreichung zum Einsatz bringen zu können.

An grösseren und mittleren Fließgewässern ist der Einfluss in der fließenden Welle von massiven Querbauwerken bei mittleren Abflüssen vor allem am Sauerstoffgehalt, an den Nährstoffkonzentrationen und am Schwebstoffanteil abzulesen (BMLFUW, 2008; Schmitt et al., 2008; NRW, 2005; ARGE Trübung Alpenrhein, 2001). Diese Parameter beeinflussen wiederum massgeblich die Randbedingungen aquatischer Ökosysteme, indem sie neue Lebensräume fördern oder auch verhindern. Dies wird auch noch dadurch verstärkt, dass als Folge des Klimawandels eine Zunahme der Variabilität des Abflusses in Oberflächengewässern erwartet wird (Blöschl et al., 2011; LAWA, 2010), was unter anderem in eine höhere Anzahl an jährlichen Niederwasserperioden mündet. Das führt auf der einen Seite zu erhöhten Wassertemperaturen und auf der anderen Seite zu einem Sunk-Schwall-Betrieb der Kraftwerke bei entsprechend niedriger Abflussmenge. Das resultiert wiederum in lebensfeindlichen Standortbedingungen für Wasserorganismen, wobei der Zusammenhang zwischen Wassertemperatur und anderen Parametern ausreichend belegt ist (z. B. Vankova und Petlus, 2014).

Um mögliche Veränderungen abschätzen zu können, wurden im Zuge eines Projekts ausgewählte physikalisch-chemische und chemische Parameter in einem Teilabschnitt eines kleinen Flachlandgewässers im Osten Österreichs erhoben. Dieser rund 22,6 km lange Teilabschnitt befindet sich an der Pinka im Burgenland (Abb. 1). Das Gewässer besitzt in diesem Abschnitt mehrere Querbauwerke mit Staucharakter, sodass die wenigen frei fließenden Strecken durch kilometerlange Staubereiche unterbrochen sind. Die Querbauwerke bestehen hauptsächlich aus sechs Kraftwerken für die Stromerzeugung mit Absturzhöhen von 2 bis 5 Meter sowie mehreren Rampen und Sohlschwellen von 0,2 bis 0,5 Meter Höhe. Bei Niedrigwasser summiert sich die gestaute Fließstrecke auf ein Gesamtausmass von rund 55% oder 12,4 km.

Die Pinka durchfließt im betrachteten Teilabschnitt, nachdem sie nach rund 3,5 km Fließstrecke eine bewaldete

Schluchtstrecke verlassen hat, einen durchlässigen kiesig-sandigen Porengrundwasserkörper. Ein Austausch mit dem Grundwasser ist zu erwarten und vor allem hydraulisch bei geringen Abflussmengen stellenweise auch plausibel nachvollziehbar.

Einschränkungen bezüglich der Datenerhebung waren durch die Fragestellung innerhalb des Projekts zu erwarten, die sich nur auf geringe Abflussmengen bezieht.

2. Material und Methoden

Gewässerabschnitt

Der untersuchte Gewässerabschnitt an der Pinka, der von Burg bis Moschendorf reicht (Abb. 1), entspricht einer Fließstrecke von etwa 22,6 km. Er besitzt auf dieser Strecke ein durchschnittliches Sohlgefälle von 0,18% und ein Q95 (Durchfluss, der an 95% aller Tage erreicht oder überschritten wird) von 0,73 m³/s, ein MQ von 2,8 m³/s und ein HQ1 von 28 m³/s.

Massgebende Einmündungen von Oberflächengewässern auf dieser Fließstrecke sind der Tauchenbach und Erlbach

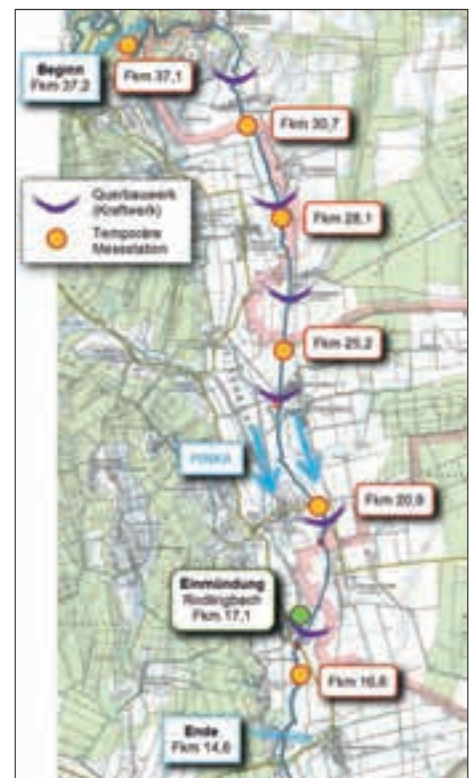


Abb. 1 Übersicht über den untersuchten Teilabschnitt an der Pinka im Burgenland (Österreich). Fig. 1 : Vue d'ensemble de la section partielle de la Pinka dans le Burgenland (Autriche).

bei Flusskilometer (Fkm bis Einmündung in die Raab) 37,8 kurz vor Beginn des Teilabschnitts (Fkm 37,2) sowie der Rodlingbach bei Fkm 17,1. Diese weisen bei Trockenperioden jedoch keine signifikanten Abflüsse auf.

Das 670 km² grosse Einzugsgebiet oberhalb von Burg ist vor allem landwirtschaftlich (48%) sowie durch Wald und naturnahe Flächen (46%) geprägt. Darin befinden sich mehrere Einleitungen von Kläranlagen in der Grössenordnung von 4000 bis 45000 EW. Innerhalb des anschliessenden 22,6 km langen Gewässerabschnitts herrschen ebenfalls hauptsächlich landwirtschaftliche Flächen heterogener Struktur sowie Ackerflächen und Wälder vor. Die Siedlungsstruktur ist aufgelöst. Punktuelle Einleitungen aufgrund von Kläranlagen haben in dem Abschnitt nur einen geringen Anteil im Ausmass von ca. 17000 EW aufgeteilt auf vier Kläranlagen, deren gesamte Ausleitungsmenge in etwa 1% bei einem Abfluss von 2,0 m³/s entspricht. Es wird davon ausgegangen, dass die in diesem Projekt nicht mitbeobachtete Hydrochemie die Wasserqualität der Pinka durch den Austausch (Exfiltration bzw. Infiltration) des Grundwassers mit dem Oberflächenwasser beeinflusst (Hayashi et al., 2012).

Vorhandene Daten

Es standen langjährige Abflussreihen von Messstellen zu Beginn und am Ende des Teilabschnitts des Hydrografischen Dienstes im Burgenland zur Verfügung, welcher sowohl diese Abflussmengen kontinuierlich erhebt als auch die Grundwasserstände im angrenzenden Porengrundwasserleiter überwacht. Die Gewässeraufsicht Burgenland führt parallel dazu an fast allen dieser Messstellen periodische Probenahmen mit einer anschliessenden Laboranalytik durch. Weiters gibt es eine Fliessgewässer-Überblicksmessstelle (FW10000177), welche in das nationale Überwachungsprogramm des Bundes eingebunden ist, die ebenfalls in der Nähe von Burg situiert ist.

Temporäre mobile Messstationen (Online-Messungen sowie Probenahmen mit anschliessender Analyse im Labor)

Um die Messreihen an der Pinka sowohl hinsichtlich der Messhäufigkeit als auch der räumlichen Ausdehnung zu ergänzen, wurden flussabwärts der Messstation bei Burg weitere zeitlich begrenzte Fliessgewässer-Messstationen betrieben. Die Auswahl der Untersuchungsstellen erfolgte u. a. durch folgende Kriterien: (i) erkennbare Beeinflussung der Wasserqualität, (ii) sichtbare Veränderung der hydraulischen Verhältnisse, (iii) mögliche Effekte von extremen Wetterbedingungen auf den Wasserkörper, (iv) Messprofil mit vertretbarem Aufwand mit Equipment erreichbar.

Da die Messstationen nur bei Niedrigwasser eingesetzt wurden, war die Gefahr einer Beschädigung der Messeinrichtungen aufgrund von Regenerignissen so gut wie ausgeschlossen. Der Aufbau war daher sehr einfach und robust (siehe Abb. 2). Es konnten jeweils

Als mobile Online-Messgeräte wurden batteriebetriebene Messgeräte der Firma WTW mit internem Datenlogger (Multi 197i, Multi 3410, Multi 3430) in Kombination mit WTW-Sensoren für die Messung direkt im Gewässer für gelösten Sauerstoff (FDO@925), pH-Wert (SenTix@41, SenTix@940) und Leitfähigkeit (TetraCon@325, TetraCon@925) verwendet. Die Wassertemperatur wurde durch die integrierten Temperaturfühler miterfasst.

Für die Entnahme von repräsentativen Schöpfproben während der Messstellenbesuche diente eine 1-Liter-Kunststoffflasche, welche an einer 2,5 Meter langen Stange befestigt war. Für die Probenahme über einen längeren Zeitraum wurden batteriebetriebene tragbare automatische Probenehmer der Fa. ISCO (Type 6700) mit 24 Flaschen zu je 1 Liter Inhalt eingesetzt.

Die Dauer der Messperioden betrug jeweils 2–3 Tage, wobei die Messwerte bei den Online-Messungen in 5- bzw. 10-minütigem Intervall generiert wurden.



Abb. 2: Temporäre mobile Messstation im Einsatz.

Fig. 2: Station de mesure mobile temporaire en cours d'utilisation.

drei Messstationen gleichzeitig betrieben werden, was auch einen Aufschluss über die zeitliche Änderung der Messparameter über die Fliessstrecke zulässt.

Die Probenahme mit anschliessender Analyse im Labor wurde mittels Einzel-Schöpfproben und/oder automatischer Probenehmer für 24 Probenahmen (d. h.

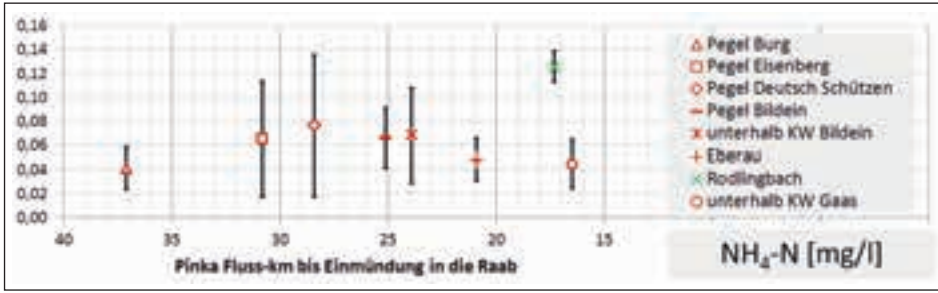


Abb. 3: Mittelwert mit Standardabweichung von Ammonium-Stickstoff entlang des Gewässer-Teilabschnitts (n = 8 bis 10).

Fig. 3: Moyenne et écart-type de la teneur en azote d'ammonium le long de la section partielle (n = 8 à 10).

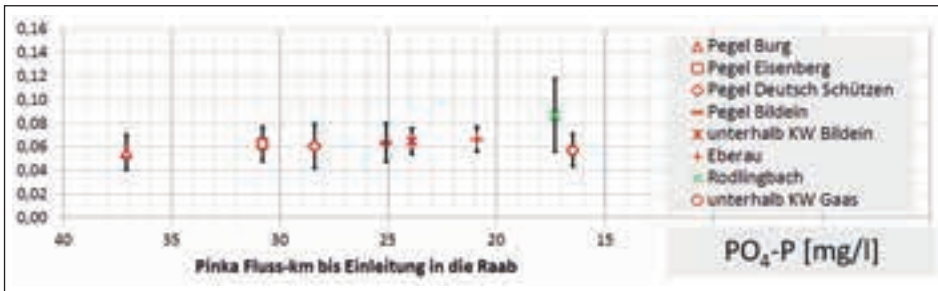


Abb. 4: Mittelwert mit Standardabweichung von Orthophosphat (Phosphat-Phosphor) entlang des Gewässer-Teilabschnitts (n = 8 bis 10).

Fig. 4: Moyenne et écart-type de la teneur en orthophosphate (phosphate-phosphore) le long de la section partielle (n = 8 à 10).

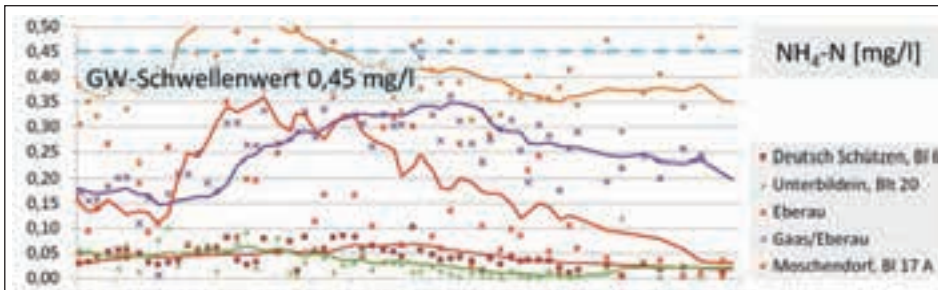


Abb. 5: Trend der Ammonium-Konzentrationen im angrenzenden Porengrundwasserkörper von 1997 bis 2013 an verschiedenen Messstellen entlang des Fliesswegs (Deutsch-Schützen – Beginn Teilabschnitt, Moschendorf – Ende Teilabschnitt; Datenquelle: H2O Fachdatenbank).

Fig. 5: Evolution des concentrations en ammonium dans les nappes adjacentes d'eau souterraine de 1997 à 2013 en différents points de mesure le long du cours d'eau (Deutsch-Schützen – début de la section partielle, Moschendorf – fin de la section; source: H2O Fachdatenbank).

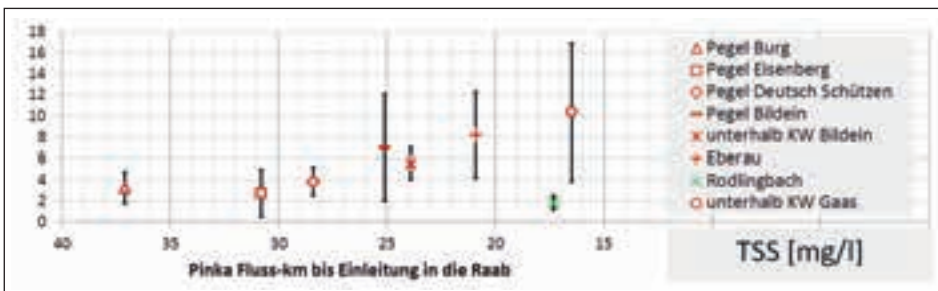


Abb. 6: Mittelwert mit Standardabweichung der abfiltrierbaren Stoffe (> 45 µm) entlang des Gewässer-Teilabschnitts (n = 8 bis 10).

Fig. 6: Moyenne et écart-type des matières en suspension (> 45 microns) le long de la section partielle (n = 8 à 10).

2 Tage alle 2 Stunden oder 3 Tage alle 3 Stunden) durchgeführt.

Im Labor wurden die Wasserproben vor allem auf die sogenannten Nährstoffparameter Stickstoff (als Ammonium NH₄-N und Nitrat NO₃-N) und Phosphor (als Orthophosphat PO₄-P und Gesamtphosphor P_{ges}) analysiert sowie je nach der weiteren Fragestellung auf abfiltrierbare Stoffe (TSS), Kohlenstoff (als gelöster [DOC] und gesamter [TOC] Anteil), Kalium (K) und Chlorid (Cl).

3. Ergebnisse

Die hier beschriebenen Parameter stellen nur einen Auszug aus dem gesamten Untersuchungsumfang dar. Als Beispiel sollen die in den Abbildungen 3 und 4 dargestellten Ergebnisse von NH₄-N und PO₄-P aus dem Jahr 2013 (Juni bis Oktober) dienen. An jeder der zehn Messperioden herrschten eine stabile Schönwetterlage ohne Niederschlag sowie gleichmässige Abflussverhältnisse. Der Abfluss des Gewässers lag dabei jeweils zwischen 1,0 und 3,0 m³/s. Bei keinem der untersuchten chemischen Parameter war ein ungewöhnliches Konzentrationsniveau zu beobachten. Dies trifft neben den hier dargestellten Nährstoffparametern auch auf die in der gelösten Phase gleichzeitig analysierten Parameter DOC, Chlorid und Kalium zu. Die in Abbildung 5 von der Gewässeraufsicht Burgenland im angrenzenden Grundwasserkörper erhobenen NH₄-N-Konzentrationen der letzten 15 Jahre zeigen, dass erst in letzter Zeit eine deutliche Trendumkehr bezüglich der Nährstoffparameter im angrenzenden Porengrundwasserkörper stattgefunden hat. Im Vergleich dazu machen die vorhandenen NH₄-N-Konzentrationen in Abbildung 5 deutlich, dass die im Projekt erhobenen Flusswasser-Konzentrationen während der Beobachtungsperiode im Sommer 2013 in etwa den äquivalenten Konzentrationen des jeweiligen Nährstoffparameters im Grundwasser (2013) entsprachen. Dabei anzumerken ist, dass die Belastung des Grundwassers vor allem am Ende des Gewässer-Teilabschnitts (bei Gaas und Moschendorf) deutlich zunimmt und dadurch wesentlich höher als im Flusswasser ist.

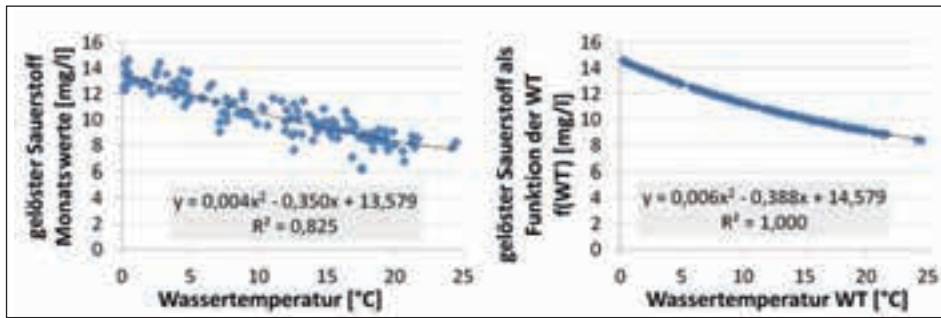


Abb. 7: Zusammenhang zwischen Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt. Links: monatliche Messungen bei Bundes-Messstelle FW10000177 (Datenquelle: H2O Fachdatenbank). Rechts: Sauerstoffkonzentration bei O₂-Sättigung von Wasser bei 1013 mbar als Funktion der Wassertemperatur (berechnet).
 Fig. 7: Corrélation entre la température de l'eau et la teneur en oxygène. A gauche: mesures mensuelles à la station fédérale FW10000177 (source: H2O Fachdatenbank). A droite: concentration en oxygène en fonction de la température de l'eau (calculée) avec une saturation en oxygène de l'eau à 1013 mbar.

Interessant ist die Entwicklung bei den abfiltrierbaren Stoffen (> 45 µm) in Abbildung 6 zu beobachten. Hier erhöhte sich nach der bewaldeten Schluchtstrecke bei Fkm 30,7 entlang einer Fließstrecke von 14,1 km der Anteil von 3 mg/l kontinuierlich bis auf 11 mg/l. Da sich diese Erhöhung bei den gegebenen meteorologischen und hydraulischen Verhältnissen weder durch einen punktuellen noch durch einen diffusen Eintrag erklären lässt und sich das Niveau zusätzlich auf den ersten 3,5 km Fließstrecke nicht verändert, muss ein anderer Grund dafür verantwortlich sein. Eine mögliche Erklärung dafür wäre das lichtbedingte Wachstum von Algen entlang dieser Strecke, welches erst nach der stark bewaldeten und damit dunklen Schluchtstrecke zum Tragen kommt. Das Wachstum könnte auch noch durch den verzögerten Abfluss in den Staubereichen verstärkt wer-

den. Eine andere Erklärung wäre die Anreicherung von zuvor sedimentierten Schwebstoffen entlang der Kraftwerkskette bei geringen Abflüssen aufgrund von Sunk und Schwall. Keine dieser beiden Erklärungsversuche kann derzeit bestätigt oder ausgeschlossen werden. In Abbildung 7 ist der Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur und dem gelösten Sauerstoff in der Nähe von Burg (bei Bundes-Messstelle FW10000177) dargestellt. Für die Korrelation (R² = 0,825) standen monatliche Messwerte von 2000 bis 2013 zur Verfügung. Der gut erkennbare Zusammenhang ist im Vergleich zu den berechneten Sauerstoffkonzentrationen bei Sauerstoffsättigung von Wasser bei 1013 mbar in Abhängigkeit der Wassertemperatur als Idealfall (R² = 1,000) zu sehen. Dieser Idealfall berücksichtigt nur physikalische Gesetzmässigkeiten im Gewässer und kann durch Vergleich mit anderen Kurven als Gradmes-

ser für biologische Abläufe dienen. Bei der Bundes-Messstelle FW10000177 in der Nähe von Burg wurde im gesamten Jahr 2012 ein 90%-Perzentilwert von 99% Sauerstoffsättigung ermittelt (BML-FUW, 2013). Dies legt den Schluss nahe, dass für den Sauerstoffeintrag am Beginn des Teilschnitts (d. h. vor der Kraftwerkskette) überwiegend physikalische Prozesse vorherrschen. Bei Betrachtung der Online-O₂-Messungen bei Burg (Fkm 37,1) in Abbildung 8 ist dieser Schluss jedoch nicht ganz richtig. Anzumerken ist, dass diese Art der Betrachtung nur mit hochaufgelösten Messungen über den Tag möglich ist.

Abbildung 8 zeigt die an drei Messstationen kontinuierlich (online) gemessenen und die entsprechenden theoretischen Sauerstoffkonzentrationen (fTW) infolge der Wassertemperatur. Alle Sonden waren während der Messungen ca. 20 cm unter dem Wasserspiegel positioniert. Die erste Messstation bei Fkm 37,1 liegt in der Nähe der Bundes-Messstelle FW10000177, die beiden anderen innerhalb der Kraftwerkskette. Es werden hier zwei Perioden betrachtet: die erste Mitte Juli mit hohen Lufttemperaturen und intensiver Sonneneinstrahlung, die zweite Ende September mit kühleren Nächten und tiefer stehender Sonne. Fkm 37,1 liegt am Anfang einer Schluchtstrecke in einem stark bewaldeten Bereich mit einer Wasserhöhe von 30–40 cm und stetigem Abfluss während der Messungen. Fkm 25,2 liegt im sonnigen Rückstaubereich eines Kraftwerks mit rund 2 Meter Wasserhöhe und tragem Fließverhalten. Eine ähnliche Situation liegt bei Fkm 16,6 vor, wobei es sich nicht um einen Rückstau, sondern um einen Bereich handelt, der einen durch Bühnen und Sohlschwelen künstlich erhöhten Wasserspiegel aufweist.

Während der Messperiode im Juli lag der Abfluss bei der Pegelmessstelle Burg stabil bei rund 1,4 m³/s, im September bei 2,5 m³/s. Man kann daher davon ausgehen, dass die Kraftwerke in diesen Messperioden im Schwallbetrieb betrieben worden sind, da allesamt eine Schluckfähigkeit der Turbinen von 2,4 bis 3,5 m³/s aufweisen.

Da die Wasserqualitätsmessungen des gegenständlichen Projekts nur im Som-

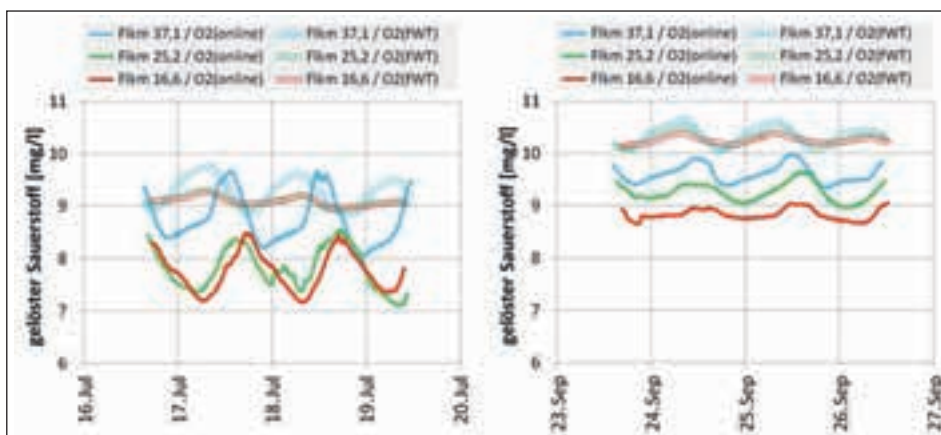


Abb. 8: Vergleich der gemessenen (O₂/online) mit der anhand der Wassertemperatur theoretisch maximal möglichen Sauerstoffkonzentration (O₂/fTW, Doppellinie).
 Fig. 8: Comparaison des concentrations en oxygène mesurées (O₂/en ligne) avec la concentration maximale théorique d'après la température de l'eau (O₂/fTW, en double ligne).

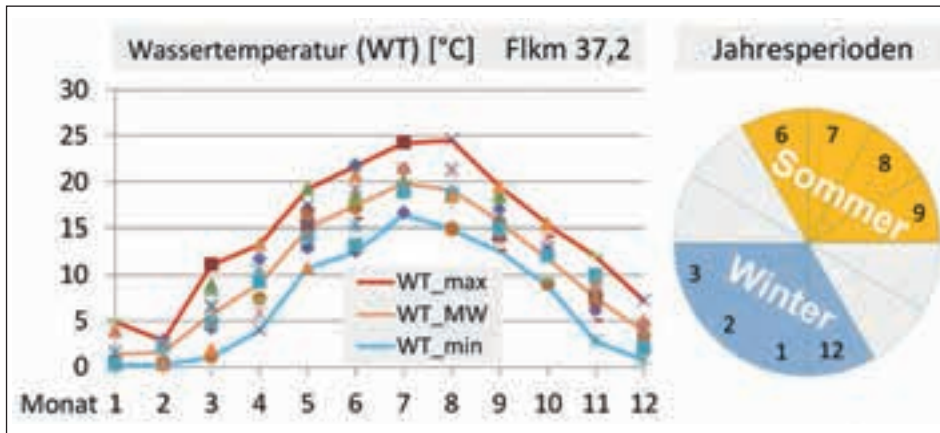


Abb. 9: Jahreszyklus der Wassertemperatur (Messungen 1x pro Monat) bei Fkm 37,2 bei Betrachtung der Jahre 2000 bis 2013 (Datenquelle: H2O Fachdatenbank).
 Fig. 9: Cycle annuel de la température de l'eau (mesures 1x par mois) au km 37,2 pour les années 2000 à 2013 (source: H2O Fachdatenbank).

mer stattfanden, stellt sich nun die Frage, wie sich die Situation im Gewässer während der Winterperiode darstellt. Hierzu wurden Daten der Landes-Messstelle bei Burg verwendet, bei der langjährige

Untersuchungen vorliegen. Anhand der Wassertemperaturdaten in Abbildung 9 wurde schliesslich die massgebende Sommer- und Winterperiode identifiziert. Die Werte der jeweiligen Jahresperiode

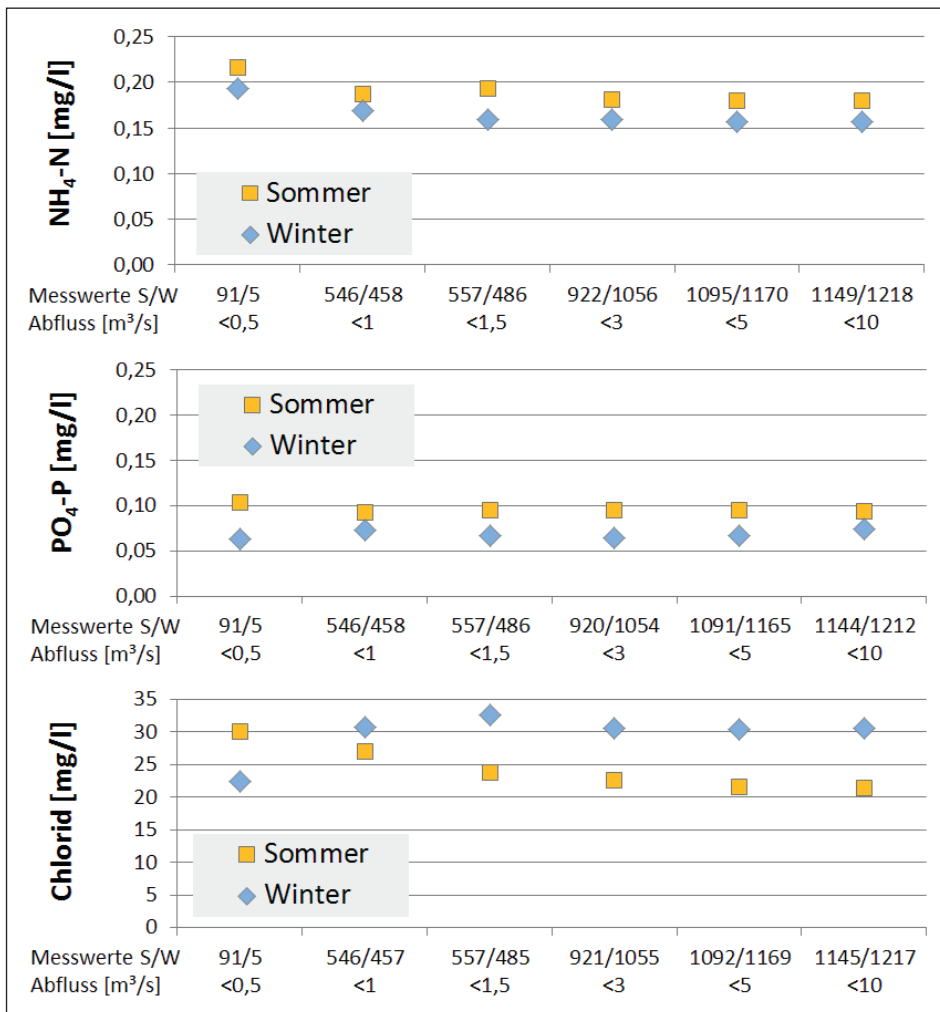


Abb. 10: Mittelwerte ausgewählter Parameter am Beginn der Teilstrecke bei Burg von 1998 bis 2012 in Abhängigkeit verschiedener Abflussbereiche (Datenquelle: Gewässeraufsicht Burgenland).
 Fig. 10: Valeurs moyennes de paramètres sélectionnés au début de la section à Burg de 1998 à 2012 selon différentes conditions d'écoulement (source: Gewässeraufsicht Burgenland).

wurden anschliessend in verschiedene Abflussklassen (Abflüsse < 0,5 m³/s, <1,0 m³/s, <1,5 m³/s etc.) eingeteilt. Bei der folgenden Auswertung in Abbildung 10 waren zu Beginn des Gewässerabschnitts bei der Landes-Messstelle zwischen den Konzentrationsmittelwerten der dargestellten Parameter innerhalb der Sommer- und Winterperioden nur geringe Unterschiede festzustellen.

4. Diskussion

Wie schon eingangs erwähnt, sind bei den durchgeführten Messungen die Einschränkungen bezüglich der Fragestellung innerhalb des Projekts zu berücksichtigen, die sich nur auf Niedrigwasser bezieht. Dazu muss jedoch angemerkt werden, dass genau diese Zustände innerhalb des Gewässers zu Stress der darin befindlichen Organismen führen. Ein weiterer Stressfaktor – Hochwasser – wurde hier nicht nur wegen der Fragestellung ausser Acht gelassen, sondern auch wegen der messtechnischen Schwierigkeiten, die während solcher Ereignisse zu erwarten sind.

Interaktion mit der Hydrologie des Umlandes

Der Tauchenbach bzw. der Erlbach (beide Einmündungen sind kurz vor Beginn des betrachteten Teilabschnitts) dienen in ihrem Oberlauf als aufnehmendes Gewässer für Kläranlagen mit einer Ausbaugrösse von 10000 EW bzw. 2000 EW. Diese Auswirkungen der punktuellen Einträge werden jedoch durch diffuse Einträge durch landwirtschaftliche Aktivitäten überlagert. Ähnlich ist das Bild beim Rodlingbach, in den die gereinigten Abwässer einer Kläranlage mit 4100 EW münden, der jedoch selbst durch intensiv landwirtschaftlich genutztes Gebiet fliesst und in Trockenperioden extrem wenig Wasser in die Pinka ableitet.

Deswegen wurde versucht, mögliche Belastungen des Grundwassers hinsichtlich der chemischen Parameter entlang der Teilstrecke mit zu betrachten. Dabei zeigt sich bei manchen Parametern entlang der Fließstrecke des Grundwassers deutlich die Beeinflussung durch die Landwirtschaft (Abb. 5). Diese liegen jedoch unterhalb der Grundwasser-

Schwellenwerte laut QZV Chemie GW (BGBl. 2010/98) von 0,45 mg/l für $\text{NH}_4\text{-N}$ bzw. 0,30 mg/l für $\text{PO}_4\text{-P}$. Dies geht so weit, dass das Oberflächengewässer stellenweise eine geringere Konzentration bei z. B. den Nährstoffparametern aufweist als das Grundwasser. Das kann wiederum bei Niedrigwasser – bei einer stattfindenden Exfiltration von Grundwasser ins Fließgewässer – zu unerwarteten zusätzlichen Nährstoffbelastungen im zu diesem Zeitpunkt ohnehin schon gestressten Gewässer führen (Brügger, 2012; LUBW, 2006).

Variation des Sauerstoffgehalts

Die Wassertemperatur lag im betrachteten Zeitabschnitt in Abbildung 8 bei allen drei Messstellen im Juli bei 20 °C und im September bei 14 °C im Mittel. Ein weiterer Aspekt bei Betrachtung des Sauerstoffgehalts in Fließgewässern ist abgesehen vom Eintrag aus der Luft die Produktion von Sauerstoff durch Grünpflanzen, Algen, Plankton und Phytoplankton mit Hilfe der Photosynthese. Dies kehrt sich während der Nachtstunden um, indem durch Respiration gelöster Sauerstoff wieder verbraucht wird. Wenn man sich in Abbildung 8 die Periode im Juli ansieht, fällt die hohe Amplitude der O_2 - (Online-)Werte von rund 1,5 mg/l auf. Diese ist am geringsten bei Fkm 25,2, was auf geringere Fließgeschwindigkeiten und Turbulenz und damit auf einen reduzierten Luftsauerstoffeintrag im Rückstaubereich des Kraftwerks hindeutet. Das Konzentrationsniveau hingegen ist bei der rascher strömenden Messstelle bei Fkm 37,1 wesentlich höher, da sowohl die Messstelle bei Fkm 25,2 als auch jene bei Fkm 16,6 entweder im oder knapp unterhalb eines KW-Rückstaubereichs liegen. Ebenso nähert sich bei Fkm 37,1 in den Nachtstunden die maximal erreichbare O_2 (fWT) der maximal (online) gemessenen O_2 -Konzentration in der Höhe von ca. 9,7 mg/l an. Dies ist bei den beiden anderen Messstellen nicht zu sehen, wo auch in den Nachtstunden eine Differenz von fast 1 mg/l zu den O_2 (fWT)-Werten zu erkennen ist. Erstaunlich dabei ist die zeitliche Verschiebung der maximal möglichen zur tatsächlich gemessenen Sauerstoffkonzentration von 4 Stunden

bei Fkm 37,1 bzw. 10 Stunden bei Fkm 25,2 und Fkm 16,6. Dies muss mit den Abhängigkeiten verschiedener Parameter innerhalb der Kraftwerkskette zusammenhängen, wie z. B. der Trägheit der Wasserkörper im Staubereich sowie der vermehrten Respiration in den Nachtstunden.

Bei Betrachtung der Messperiode im September sieht man eine gewisse Angleichung der O_2 (fWT)-Werte untereinander, was auf ein ähnliches Temperaturniveau im gesamten betrachteten Flussschlauch hindeutet. Auch die täglichen Amplituden und die zeitliche Verschiebung der O_2 - (Online-)Maximalwerte zu den O_2 (fWT)-Werten werden im Vergleich zum Juli geringer.

Umlegung der im Projekt gewonnenen Aussagen auf das Winterhalbjahr

Um die im Zuge des Projekts gewonnenen Aussagen aus dem Sommerhalbjahr auch auf das Winterhalbjahr umzulegen, wurde versucht eine Abschätzung durchzuführen.

Diese erfolgte anhand der Konzentrationsniveaus verschiedener Wasserqualitätsparameter im Sommer und Winter der langjährigen Datenreihen bei der Landes-Messstelle bei Burg. Wie in Abbildung 9 ersichtlich, wurden für die Betrachtung der Sommerperiode die Monate Juni bis September und für die Winterperiode die Monate Dezember bis März herangezogen.

Hier war bei den meisten Parametern ein nur geringer Unterschied zwischen den beiden Jahresperioden auffällig, der aber grösser wird, je intensiver der Parameter im biotischen Zyklus von Produktion-Konsumierung-Zerfall integriert ist. Es kann daher keine allgemeingültige Aussage zu den Bedingungen innerhalb der anschliessenden Kraftwerkskette im Winterhalbjahr getroffen werden, da auch das bereits beschriebene Verhalten des gelösten Sauerstoffs am Beginn der Teilstrecke bei Burg mit den Messstationen innerhalb der Kraftwerkskette nicht vergleichbar war.

5. Danksagung

Die Arbeiten wurden im Rahmen des Projekts LOWFLOW+ erbracht, welches

durch das Austrian Climate Research Programme (ACRP) gefördert wurde.

6. Literaturverzeichnis

ARGE Trübung Alpenrhein (2001). Trübung und Schwall im Alpenrhein – Fachbericht zu den Teilaspekten Trübung, Licht, Bewuchs und Drift, Gesamtbericht zum Projekt.

BGBl. 2010/98 (2010). Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers (Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser – QZV Chemie GW).

Blöschl, G., Viglione, A., Merz, R., Parajka, J., Salinas, J.L., Schöner, W. (2011) Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasser und Niederwasser, ÖWAW – Österreichische Wasserwirtschaft 1–2/2011, 21–30.

BMLFUW (2008). Schwebstoffe im Fließgewässer – Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes, 108 Seiten.

BMLFUW (2010). Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 – NGP 2009, Impressum: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

BMLFUW (2013). Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 2013, Impressum: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Brügger, M. (2012). Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen in voralpinen Einzugsgebieten bei Niedrigwasser, Masterarbeit am Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau.

Hayashi, M., Vogt, T., Mächler, L., Schirmer, M. (2012). Diurnal fluctuations of electrical conductivity in a pre-alpine river: Effects of photosynthesis and groundwater exchange, Journal of Hydrology 450–451, 93–104.

LAWA (2010). Strategiepapier «Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft» – Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen, LAWA-Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser.

LUBW (2006). Fluss-Grundwasser-Interaktion, Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben, INTERREG III A-Projekt «MoNit», Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

NRW (2005). Handbuch Querbauwerke, Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Deutschland, 212 Seiten.

Schmitt, F.G., Dura, G., Souissi, S., Zongo, S.B. (2008). Statistical properties of turbidity, oxygen and pH fluctuations in the Seine river estuary (France), *Physica A* 387, 6613–6623.

Vankova, V., Petlus, P. (2014). Water temperature influence on selected properties of surface river water throughout the year (river nitra), *Ekológia Bratislava* 33 (2), 151–159.

Kontaktadresse:

DI Alexander Pressl
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz

Universität für Bodenkultur, Wien

E-Mail: alexander.pressl@boku.ac.at

Tel.: +43/1/47654/5811

Fax: +43/1/47654/5803

URL: <http://www.wau.boku.ac.at/sig.html>



UFA SAMEN | SEMENCES **PROFI GRÜN**
ESPACES VERTS

UFA-Samen für eine erfolgreiche Begrünung

- Qualitäts-Saatgutmischungen
- Erosionsschutz
- Organische Bodenverbesserer
- Spezialdünger
- Beratung

Erhältlich in Ihrer LANDI
fenaco | UFA-Samen PROFI GRÜN
8401 Winterthur | Telefon 058 433 76 76 | www.ufasamen.ch

Revitalisierungsmassnahmen im Kanton Zürich, Schweiz

Gerhard Stutz

Zusammenfassung

Es wird die aktuelle strategische Revitalisierungsplanung des Kantons Zürich vorgestellt. In den nächsten 20 Jahren sollen 100 km Gewässerstrecken revitalisiert werden. Hingegen ist der Gewässerraum auf die gesamten Gewässerstrecken festzulegen. Es werden zwei aktuelle und ausgeführte Revitalisierungsprojekte, je eines an einem kleinen und grossen Gewässer, vorgestellt. Abschliessend werden Sanierungen von alten Steinmantelschwellen im Rahmen des Gewässerunterhaltes aufgezeigt.

Keywords

Strategische Revitalisierungsplanung, Gewässerraum, Revitalisierungsprojekte, Schwellensanierungen

Mesures de revitalisation dans le canton de Zurich, Suisse

Résumé

Dans cet article, la planification stratégique actuelle des mesures de revitalisation du canton de Zurich est présentée. Dans les 20 prochaines années environ 100 km de tronçons de cours d'eau seront revitalisés. En revanche, l'espace pour les cours d'eau sur l'ensemble des tronçons est établi. Deux projets de revitalisation récents et mis en œuvre sont présentés, l'un pour un petit cours d'eau et l'autre pour un plus grand cours d'eau. Finalement, l'assainissement d'anciens seuils en pierre dans le cadre de l'entretien des eaux est démontré.

Mots-clés

Planification stratégique des mesures de revitalisation, espace pour les cours d'eau, projets de revitalisation, assainissement d'anciens seuils

Rivitalizzazioni nel Canton Zurigo, Svizzera

Riassunto

Viene presentata la pianificazione strategica delle rinaturalizzazioni nel Canton Zurigo. L'intenzione è di rivitalizzare 100 km di corsi d'acqua nei prossimi 20 anni, anche se va ancora definito lo spazio da dedicare ai fiumi lungo questa tratta. Sono illustrati due progetti di rivitalizzazione attuali ed eseguiti lungo un corso d'acqua piccolo e uno grande, rispettivamente. Infine è mostrata la riqualifica di vecchie soglie sommerse rivestite in pietra nel corso della manutenzione di corsi d'acqua.

Parole chiave

Pianificazione strategica delle rinaturalizzazioni, spazio di un corso d'acqua, progetti di rivitalizzazione, riqualifica di soglie sommerse

Revitalisierungen von Gewässern wie auch der naturnahe Hochwasserschutz sind im Kanton Zürich schon seit weit über 20 Jahren zwingender Bestandteil im Wasserbau. Schon im Jahr 1989 hatte der damalige Kantonsrat einen Rahmenkredit für Wiederbelebungs-massnahmen an Fliessgewässern in der Höhe von ca. 18 Mio. Franken beschlossen. Rund 50% der 3600 km Gewässerstrecken im Kanton Zürich sind verbaut, eingedolt oder sonst ökomorphologisch stark beeinträchtigt. Mit dem Rahmenkredit konnten in 20 Jahren rund 100km Gewässer aufgewertet werden. Es handelt sich dabei sowohl um reine Revitalisierungen als auch um naturnahe Hochwasserschutzmassnahmen. Ein im Jahr 2011 in Kraft getretenes revidiertes Gewässerschutzgesetz des Bundes verlangt von den Kantonen, bis Ende 2014 eine strategische Revitalisierungsplanung zu erstellen. Die Absicht

des Bundes ist es, innert der nächsten 80 Jahre schweizweit von 15000 km Gewässerstrecken total etwa 4000 km ökologisch aufzuwerten. Auf den Kanton Zürich bezogen bedeutet dies, dass in diesem Zeitraum etwa 400 km zu revitalisieren sind. Ökologischer Hochwasserschutz ist dabei nicht eingerechnet. Neben der eigentlichen Revitalisierungsplanung wird im neuen Gewässerschutzgesetz auch verlangt, dass an allen Gewässern systematisch der Gewässerraum festgelegt, Verbesserungen in der Fischgängigkeit vorgenommen und die Auswirkungen des Schwall-Sunk-Betrieb bei den Kraftwerken reduziert wird. Zudem sind Geschiebehaltstudien zu erstellen und die entsprechende Massnahmenplanung umzusetzen. Die Kraftwerke müssen in Sachen Schwall/Sunk, Fischgängigkeit und Geschiebebetrieb mit der Massnahmenumsetzung entsprechend in die Pflicht genommen werden. Alle diese Planungen erfolgen in der Konzeptphase durch den Kanton selbst



Abb. 1: Hofibach: Luftbild nach Revitalisierung.
Fig. 1: Hofibach: vue aérienne après la revitalisation.



Abb. 2: Limmat-Zürich: Blick Richtung Autobahnbrücke.
Fig. 2: Limmat Zurich: vue en direction du pont de l'autoroute.



Abb. 3: Limmat-Zürich: Blick flussaufwärts.
Fig. 3: Limmat Zurich: vue vers l'amont.



Abb. 4: Töss: Schwelle während Bau.
Fig. 4: Töss: construction du seuil.



Abb. 5: Töss: Unfallschwelle nach Massnahme.
Fig. 5: Töss: accident de seuil après les mesures.

und sind auf die Revitalisierungsplanung abgestimmt.

Bei der Gewässerraumplanung geht es darum, beidseitig und parallel zum Gewässerlauf mittels zweier Linien bis Ende 2018 den Gewässerraum festzulegen. Diese Linien bilden Begrenzungen analog Baulinien für angrenzende Bauten und Anlagen. Die Breite des Gewässerraums ist abhängig von der natürlichen Gerinnesohlenbreite. Der Raum dient primär dem Hochwasserschutz und der Ökologie. Im Gewässerraum können Revitalisierungen durchgeführt werden. Mögliche Revitalisierungstypen sind im Kanton Zürich wie folgt vorgesehen: Wiederherstellung von Auengebieten, Aufweitungen von Fliessgewässerrinnen, Wiederherstellung von natürlichen Mäandern, Aufwertungen von Uferstrukturen und bei beengten Platz-

verhältnissen – als Minimalmassnahme – Verbesserung der Sohlenstrukturen. Aus dem gleichem Grund kann auch eine einseitige Aufwertung erfolgen. Im Siedlungsbereich sind auch punktuelle Aufwertungen für die Erholung des Menschen zu ermöglichen.

Anhand zweier Aufwertungsobjekte soll beispielhaft aufgezeigt werden, wie ein einst verbauter Wiesenbach und ein grosser Flussabschnitt aufgewertet werden konnten:

Neben anderen kleineren Fliessgewässern wurden 2012 der Hofibach und der Moosbach im Südwesten des Kantons revitalisiert. Der in einem engen Korsett fließende Hofibach erhielt im Rahmen einer umfassenden Landumlegung eine grosszügige Parzelle als Gewässerraum zugesprochen. Dies erlaubte es, in Anlehnung an die alte Siegfriedkarte von

1880 ausgeprägte Mäander zu gestalten. Zwei grosse Absturzbauwerke mit Tosbecken wurden aufgehoben und durch eine Abfolge von Sohlschwellen ersetzt, welche fischgängig sind. Der Einbau von diversen Strukturelementen wie z.B. Wurzelstöcken, Findlingen oder das Anlegen von Steil- und Flachufern (Prall- und Gleithang bei Mäandern) wertete den neu entstandenen Lebensraum weiter auf und ermöglicht die Besiedlung durch eine Vielzahl von Pflanzen- und Tierarten.

Eine grosse Herausforderung war die Aufwertung eines Limmat-Abschnittes in der Stadt Zürich: Auf einer Länge von ca. 2 km musste die Limmat unterhalb eines Stauwehrs bis zu einer bestehenden Autobahnbrücke für die umliegenden Siedlungen und Firmengelände – darunter das Klärwerk der Stadt Zürich – wegen

des hohen Schadenpotenzials auf ein 300-jährliches Hochwasserereignis ausgebaut werden. Gleichzeitig ist dieser Limmat-Abschnitt revitalisiert worden. Der alte Hochwasserdamm wurde landeinwärts durch einen neuen ersetzt. Dies ergab Raum für eine neue Uferlandschaft. Die monotone und stark verbaute Uferböschung ist einem Flachufer gewichen. Das verbreiterte Flussbett mit aufgeschütteten Kiesinseln bildet eine natürliche Flusslandschaft, die durch gelegentliche Hochwasser laufend verändert wird. Ein ehemaliger Auenwald wird wieder periodisch überschwemmt. Dadurch entsteht neuer, autotypischer Lebensraum für Vögel, Fledermäuse, Amphibien, Fische und standortgerechte Pflanzen. Um die Limmat schadlos unter der bestehenden Autobahnbrücke hindurchzulenken, wurden sogenannte Steinblockbuhnen (l = 12 m) mit einem Blockteppich erstellt. Abschliessend möchten wir aufzeigen, wie im Bett der kanalisiert und mit Steinmantelschwellen «bewehrten» Töss

mittels Unterhaltmassnahmen die Sohlenvielfalt, die Fischgängigkeit und der Geschiebetrieb verbessert wurden. Gleichzeitig mussten die für Mensch und Tier gefährlichen Schwellen (Ertrinkungsgefahr in den mit Luft angereicherten Wasserwalzen in den Tosbecken) eliminiert werden. Niedrige Abstürze können meist mit sogenanntem Doppel-V-Holzschwellenverbau ersetzt werden. In diesen lassen sich ohne Probleme auch Fischunterstände integrieren. Bei höheren Blockschwellen wird jeweils ein V-Schlitz ausgebrochen und mit einem Blocksatz versehen. Der walzenbildende gleichförmige Abfluss über die Absturzkante wird so «gebrochen» und die Fischgängigkeit verbessert. Durch Revitalisierungen können jedoch nicht alle bestehenden 700 Schwellen aufgehoben werden. Eine vollständige Entfernung ist zur Verhinderung von Sohlenerosionen und auch aus Sicht des Hochwasserschutzes auf Grund der in beengten Verhältnissen nach wie vor

notwendigen Kanalisierung nicht möglich. Revitalisierungen auch an der Töss erfolgten punktuell, dort wo der Nutzen am grössten ist.

Kontaktadresse:

Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Wasserbau

Gerhard Stutz
Abteilungsleiter
Walcheplatz 2, 8090 Zürich
Telefon direkt +41 43 259 54 21
Telefon Zentrale +41 43 259 32 24
Fax + 41 43 259 42 99
gerhard.stutz@bd.zh.ch
www.wasserbau.zh.ch



Otto
Hauenstein
Samen AG



Die Rasenberater –
Fachwissen vor Ort



Begrünungen
für alle Fälle!

Bahnhofstrasse 92
Postfach 138
8197 Rafz
Tel. 044 879 17 19
Fax 044 879 17 30

info@hauenstein.ch
www.hauenstein.ch

Ingenieurbiologische Versuchsstrecke am Schiffahrtsgewässer Rhein bei Worms, Deutschland

Manuel Sokopp

Zusammenfassung

In Deutschland sind die Ufer schiffbarer Fließgewässer aufgrund der besonders starken hydraulischen Belastungen in der Regel mit Hilfe einer Steinschüttung gesichert. Da durch die Europäische Wasserrahmenrichtlinie seit dem Jahr 2000 die ökologische Aufwertung von Fließgewässern und somit auch alternative Ufersicherungsmaßnahmen immer wichtiger werden, es aber diesbezüglich wenig Erfahrungen gibt, wurde 2004 von der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe (BAW) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz (BfG) das Projekt «Untersuchungen zu alternativen, technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen» veranlasst und im Zuge dessen im Jahr 2011 gemeinsam mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim (WSA-MA) am Rhein bei Worms eine Versuchsstrecke mit unterschiedlichen technisch-biologischen Sicherungsmaßnahmen errichtet.

Bisher hat sich dabei die Weidenspreitlage bewährt, weshalb parallel zu den seit Frühjahr 2012 stattfindenden Vegetationsuntersuchungen an der Versuchsstrecke auch Modellversuche am BAW-Gelände durchgeführt werden. Diese umfassen Messungen der hydraulischen Belastungen während des Absunks in einem Wellenbecken bei unterschiedlicher Bestandesdichte sowie unterschiedlichem Sprossdurchmesser, Versuche zur Scherfestigkeit des durchwurzelten Bodens mit Hilfe eines Grossrahmenschergeräts sowie Untersuchungen der filterstabilisierenden Wirkung einer Spreitlage während der kritischen Anwuchsphase.

Keywords

Ingenieurbiologie, naturnaher Wasserbau, Uferschutz, Erosion, Weidenspreitlage

Tronçon d'essai de génie biologique sur le Rhin à Worms, Allemagne

Résumé

En Allemagne, les rives des fleuves navigables sont généralement consolidées par un enrochement en raison des charges hydrauliques particulièrement élevées. Depuis que l'évaluation écologique des cours d'eau ainsi que des mesures alternatives de protection des berges ont pris de plus en plus d'importance par le biais de la Directive-cadre européenne sur l'eau en l'an 2000, et en raison du peu d'expérience disponible, l'Institut fédéral pour la construction hydraulique de Karlsruhe (BAW) et l'Institut fédéral d'hydrologie de Coblenz (BfG) ont lancé en 2004 le projet «Etudes pour une protection des berges alternatives et technico-biologiques sur les voies navigables intérieures». Dans ce cadre et en collaboration avec le Service de l'hydraulique et de la navigation Mannheim (WSA-MA), un tronçon d'essai avec différentes mesures de consolidation de génie biologique a été mis en place sur le Rhin à Worms au cours de l'année 2011.

Jusqu'à présent, des tapis de branches de saules à rejets ont fait leur preuve. C'est pourquoi depuis le printemps 2012, des études sur la végétation sur le tronçon ont été effectuées en parallèle à des essais sur modèle à l'Institut BAW. Il s'agissait notamment de mesures des charges hydrauliques lors de l'exploitation par éclusées avec une densité de peuplement différente et un diamètre de pousse différent, des expériences sur la résistance au cisaillement du sol enraciné avec l'aide d'un appareil de cisaillement ainsi que des analyses de l'effet filtrant stabilisateur d'un tapis de branches à rejets pendant la phase de croissance critique.

Mots-clés

Génie biologique, aménagement hydraulique proche de la nature, protection des berges, érosion, tapis de branches à rejets

Tratto di prova per misure d'ingegneria naturalistica lungo il Reno navigabile a Worms, in Germania

Riassunto

Di regola, in Germania le sponde dei corsi d'acqua navigabili sono protette da gettate di massi poiché esposte a grandissimi stress idraulici. Dall'anno 2000 la direttiva quadro sull'acqua dell'Unione Europea prevede che i corsi d'acqua siano valorizzati e di conseguenza diventano sempre più importanti metodi di protezione delle sponde alternativi. Siccome però manca l'esperienza, nel 2004 la Bundesanstalt für Wasserbau BAW di Karlsruhe e la Bundesanstalt für Gewässerkunde BfG di Koblenz (n.d.t.: entrambi in Germania, istituto per costruzioni idrauliche e istituto per l'idrologia terrestre, rispettivamente) hanno lanciato il progetto «studio di alternative tecnico-naturalistiche di protezione delle sponde». In seguito agli sviluppi del progetto, nel 2011 in partenariato con l'Ufficio per le acque e la navigazione WSA-MA di Mannheim, è stata inaugurata una tratta di prova con diverse opere di protezione tecnico-naturalistiche lungo il Reno a Worms. Finora si è dimostrata efficace la copertura diffusa con ramaglia viva ed è per questo che dal 2012, in aggiunta agli studi sulla vegetazione lungo la tratta di prova, vengono eseguiti test su modelli in scala sull'areale della BAW. Questi test comprendono la misura degli stress idraulici durante abbassamenti discontinui del livello d'acqua in un bacino con onde per diverse densità di popo-

lazione e di diametro delle piante, test della resistenza al taglio del terreno compattato da radici con l'uso di un macchinario apposito, ed inoltre analisi sull'efficacia della ramaglia viva di fare da filtro stabilizzante durante la fase critica dell'attecchimento.

Parole chiave

Ingegneria naturalistica, opere idrauliche naturali, protezione delle sponde, erosione, ramaglia viva

1. Einleitung

Die Ufer von Binnenwasserstrassen sind infolge von Schifffahrt und Hochwasser starken hydraulischen Belastungen wie starken Schiffswellen, dadurch entstehenden Schwall und Absunk, starken Wasserschwankungen sowie hohen Strömungsgeschwindigkeiten ausgesetzt. Als Sicherung dient hierbei in der Regel eine den Standortbedingungen entsprechende und in Regelwerken der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung definierte Steinschüttung. Aufgrund der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie aus dem Jahr 2000 gewinnen naturnahe, technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen bei Unterhaltungsarbeiten, Aus- und Neubau von Wasserstrassen zunehmend an Bedeutung.

Infolgedessen wurde 2004 das Forschungs- und Entwicklungsprojekt «Untersuchungen zu alternativen, technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstrassen» von der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe (BAW) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz (BfG) ins Leben gerufen, da es an schiffbaren Binnengewässern wenig Erfahrungen hinsichtlich alternativer Ufersicherungen gibt. Ziel ist es, die technische Wirksamkeit zur Gewährleistung der Uferstabilität, die hydraulische Belastbarkeit, die ökologische Wirksamkeit sowie den erforderlichen Unterhaltungsaufwand dieser Ufersicherungen zu untersuchen, um Grundlagen und Empfehlungen zu deren Bemessung und Anwendung erstellen zu können.

Im Zuge dieses Projekts wurde in Zusammenarbeit mit der BAW, der BfG und dem Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim (WSA-MA) Ende 2011 eine 1 km

lange Versuchsstrecke mit unterschiedlichen ingenieurbioologischen Massnahmen zur Ufersicherung am Rhein bei Worms fertiggestellt. Die vorhandene Steinschüttung blieb dabei in vier Abschnitten erhalten und wurde durch den Einbau von lebenden und toten Pflanzenmaterialien ökologisch aufgewertet. In den weiteren fünf Abschnitten wurde sie entfernt und durch technisch-biologische Massnahmen ersetzt bzw. blieb das Ufer in einem Abschnitt davon ungesichert, um natürliche Erosion und Sukzession zuzulassen (Fleischer & Liebenstein, 2008; Eisenmann & Fleischer, 2012; BAW, BfG & WSA-MA, 2012).

Als technisch-biologische Massnahme kam unter anderem die Weidenspreitlage zum Einsatz, welche sich als Ufersicherung an unbefahrenen Fließgewässern bereits bewährt hat. Unter Verwendung von strauchförmigen Weidenarten legen sich bei einem Hochwasser die elastischen Weidensprosse an die Bodenoberfläche und schützen diese vor Erosion, ohne die Fließgeschwindigkeit, die Durchflussfläche und damit den Wasserabfluss stark zu verringern. Für den Uferschutz bzw. die Böschungstabilisierung wichtige technisch-biologische Eigenschaften von Weiden sind folgende:

- mechanische Anker- und Dübelwirkung der Wurzeln
- Biegesteifigkeit
- Scherfestigkeit
- Bodenentwässerung
- Auszugswiderstand
- Anpassungsfähigkeit
- Regenerations- und Stockausschlagfähigkeit

Aufgrund ihrer flächigen Bauweise schützen Spreitlagen die Böschung sofort nach Einbau vor Oberflächenerosion und halten bei ausreichender Sprossbildung und Durchwurzelung Belastungen bis zu 300 N/m² stand (Florineth, 2012; Gerstgraser, 2000; Rauch, 2006).

2. Methodik

Durch die von der BAW Karlsruhe in Auftrag gegebenen und im Folgenden beschriebenen Untersuchungsmethoden sollen einerseits Probleme in der kritischen Anwuchsphase, in welcher

noch keine tiefreichende Durchwurzelung und ausreichende Sprossbildung stattgefunden hat, erkannt bzw. Lösungsvorschläge erarbeitet, aber auch die langfristige Eignung, Wirkung und Unterhaltung von Weidenspreitlagen an schiffbaren Wasserstrassen erforscht werden. Diese ergänzen bzw. bauen auf die noch in Bearbeitung befindlichen Untersuchungen zu Weidenspreitlagen von Jeannine Eisenmann.

2.1 Vegetationsaufnahmen an der Versuchsstrecke am Rhein

An der Versuchsstrecke wurden Ende 2011 zwei unterschiedliche Varianten der Weidenspreitlage errichtet. In einem der beiden Versuchsfelder wurden die Weidenäste diagonal bzw. im anderen quer zur Fließrichtung verbaut. Verwendet wurden mit absteigendem Anteil Purpurweide (*Salix purpurea* L.), Silberweide (*Salix alba* L.) und Korbweide (*Salix viminalis* L.).

Die Vegetationsaufnahmen starteten im April 2012. Hierfür wurden pro Spreitlagenvariante zwei 1 m breite Transekte vom Böschungsfuss bis zur Böschungsoberkante als Dauerbeobachtungsflächen markiert und in die drei Böschungsbereiche Wasserwechsel-, Weichholz- sowie Hartholzzone unterteilt. Diese Transekte sind repräsentativ für das gesamte Versuchsfeld und können fortlaufend hinsichtlich Vegetationsentwicklung und aufkommender Erosionserscheinungen langfristig innerhalb derselben Fläche beobachtet werden.

In den ersten beiden Vegetationsperioden (2012 und 2013) fanden jeweils sechs Aufnahmen im Abstand von vier bis sechs Wochen statt, da besonders zu Beginn mit starkem Zuwachs zu rechnen war (siehe Abb. 1–4). Im Zuge der Vegetationsaufnahmen wurde jeder Weidenspross innerhalb der Transekte bestimmt, dessen Länge vermessen und die Anzahl pro Weidenart und Quadratmeter ermittelt. Zusätzlich wurden für jeden Böschungsbereich pro Transekt die durchschnittliche Vitalität und der Gesamtdeckungsgrad bestimmt sowie Erosionserscheinungen dokumentiert. Ab der dritten Vegetationsperiode (2014) werden die beiden Spreitlagen bis in-



Abb. 1: Weidenspreitlage diagonal (Versuchsstrecke am Rhein bei Worms, 01.05.2012).

Fig. 1: Tapis de branches à rejets en diagonale (tronçon d'essai sur le Rhin à Worms, 01.05.2012).



Abb. 2: Weidenspreitlage diagonal (Versuchsstrecke am Rhein bei Worms, 11.09.2012).

Fig. 2: Tapis de branches à rejets en diagonale (tronçon d'essai sur le Rhin à Worms, 11.09.2012).



Abb. 3: Weidenspreitlage quer (Versuchsstrecke am Rhein bei Worms, 02.05.2012).

Fig. 3: Tapis de branches à rejets en travers (tronçon d'essai sur le Rhin à Worms, 02.05.2012).



Abb. 4: Weidenspreitlage quer (Versuchsstrecke am Rhein bei Worms, 11.09.2012).

Fig. 4: Tapis de branches à rejets en travers (tronçon d'essai sur le Rhin à Worms, 11.09.2012).

klusive Herbst 2016 jedes Jahr jeweils in der Mitte und am Ende der Vegetationsperiode untersucht, wobei nicht mehr jeder einzelne Spross, sondern in den unterschiedlichen Böschungsbereichen die Sprosse jeder Weidenart ausgezählt werden und deren maximale Sprosslänge gemessen sowie die mediane Sprosslänge aller Weidensprosse geschätzt wird.

2.2 Versuche im Wellenbecken

Im Wellenbecken der BAW Karlsruhe wurde Mai 2011 im Zuge der Untersuchungen von Jeannine Eisenmann eine Spreitlage aus Korb- und Purpurweide (strauchförmig) angelegt. Das 14 m lange, 8 m breite und 4 m tiefe Becken

kann mit Wasser befüllt werden und mit Hilfe eines Tauchkörpers den bemesungsrelevanten Absink eines vorbeifahrenden Schiffes simulieren. Bei den im Sommer 2015 stattfindenden Versuchen werden, mittels entsprechender Messtechnik in unterschiedlichen Böschungsbereichen, die hydraulischen Belastungen innerhalb unterschiedlich dichter bzw. entwickelter Spreitlagen hinsichtlich der Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses (induktive Strömungsmesser), der Porenwasserdrücke im Boden und an der Bodenoberfläche (absolute Druckaufnehmer), der Druckkraft (ATI-Sensor) sowie der Böschungsverformungen (Ketteninklinometer) während des Absinks untersucht. Hierfür werden

zwei Versuchsreihen durchgeführt. In der ersten Versuchsreihe werden aus der bestehenden Spreitlage viermal 25% des ursprünglichen Bestandes entnommen, sodass dieser allmählich an Dichte verliert und schliesslich kein Bewuchs mehr vorhanden ist. In diesen unterschiedlichen Systemzuständen wird das Becken jeweils befüllt, mittels Herausziehen des Tauchkörpers Absink erzeugt und dabei die hydraulischen Belastungen gemessen. Um den Vergleich zu baumförmigen Weiden herzustellen, werden anschließend starre Stangen als Simulation einer älteren Spreitlage mit Sprossen grösseren Durchmessers in den bewurzelten Boden eingesetzt, das Becken geflutet und dieselben Messungen durchgeführt,



Abb. 5: Weidenspreitlage in Wellenbecken (BAW Karlsruhe, 28.11.2014).

Fig. 5: Tapis de branches à rejets dans un bassin à vagues (BAW Karlsruhe, 28.11.2014).

wobei die Durchmesser aller Stangen pro Messung ident sind. Dabei werden drei Durchgänge mit unterschiedlichen Stangendurchmessern (4, 6 und 8 cm) durchgeführt.

2.3 Scherversuche

Zur Messung der Scherfestigkeit des durchwurzeltens Bodens werden im März 2015 sieben Versuchskästen mit sandigem Boden befüllt und mit Silberweiden in Form einer Spreitlage bepflanzt. Jeder Versuchskasten besteht aus drei übereinander liegenden Rahmen mit einer Höhe von jeweils 33 cm und einer Fläche von 50x50 cm. Im Oktober 2015 werden die gewachsenen Sprosse vermessen, geschnitten, auf Gewichtskonstanz getrocknet und deren Biomasse bestimmt. Anschliessend werden nacheinander die drei Proben jedes Versuchskastens in ein Grossrahmenschergerät eingebaut und jeweils in der Mitte der einzelnen Proben, was einer Bodentiefe von 16,5, 49,5 bzw. 82,5 cm entspricht, bei unterschiedlicher Normalspannung (25, 38, 50, 75, 88 und 100 kPa) abgeschert und die Kohäsion, der Reibungswinkel – und die Gesamtscherfestigkeit – ermittelt. Ein zusätzlicher Kasten wird für die Messung der Wurzeltiefe verwendet.

Diese Scherversuche basieren auf den noch nicht abgeschlossenen Untersu-

chungen mit den Arten Purpurweide und Korbweide von Jeannine Eisenmann. Die Ergebnisse sollen verglichen und somit die Unterschiede zwischen strauch- und baumförmigen Weiden hinsichtlich Scherfestigkeit und Wurzeltiefe untersucht werden.

2.4 Filterversuche

Nach Richtlinien der BAW (2013) müssen durch- und unterströmbare Bauwerke an Wasserstrassen vor Bodenverlagerungen sicher sein. Wenn die innere Standsicherheit nicht nachgewiesen werden kann, kommen in der Regel entsprechende Kornfilter zum Einsatz. Auf der Prüfung von Geotextilien im Verkehrswasserbau (BAW, 1994) bzw. den Versuchen von Jürgen Stein (2012) zur Filterstabilität grober Gesteinskörnungen basierend, sollen Weidenspreitlagen in unterschiedlichen Systemzuständen in der kritischen Anwuchsphase auf ihre filterstabilisierende Wirkung getestet werden. Hierfür werden Weidenspreitlagen aus Silber- bzw. Korbweiden in jeweils drei Anwuchskästen mit unterschiedlichen Korngrößenverteilungen und einer Querschnittsfläche von 30x30 cm angelegt. Diese Kästen bestehen aus zwei übereinander liegenden Rahmen, wovon die Höhe des oberen Rahmens 20 cm beträgt. Der untere Rahmen ist

50 cm hoch, um den Wurzeln in den insgesamt 70 cm hohen Anwuchskästen genügend Platz für eine natürliche Durchwurzelung zu bieten. Für die Versuche zur Filterstabilität werden die Sprosse geschnitten und der obere Rahmen des Kastens inkl. durchwurzeltens Bodens mit Hilfe einer Metallplatte vom unteren Rahmen getrennt und verkehrt in einen vorgefertigten Tauchkasten eingesetzt, wobei unterhalb und oberhalb des Anwuchskastens ein Gitter fixiert sowie an der Oberseite zusätzlich unter das Gitter ein Geotextil eingesetzt wird. Auf den Tauchkasten wird ein weiterer Rahmen mit den Innenmassen 30x30x30 cm bzw. einem Fassungsvermögen von 27 l montiert. Mit Hilfe einer Hängevorrichtung mit Pneumatikzylinder wird der Tauchkasten kontrolliert in ein Wasserbecken getaucht, sodass das Bodenmaterial von unten durchströmt werden kann und sich der Wasserbehälter an der Oberseite des Tauchkastens füllt, und wieder herausgezogen. Dabei sollen Druckabnehmer an der Innenseite des Wasserbehälters nahe dem Boden bzw. an der Unterseite des Tauchkastens nahe der Spreitlage das Druckgefälle zwischen Bodenoberfläche und 20 cm Bodentiefe während des Tauchvorgangs messen. Nach den Tauchvorgängen wird das durch die Spreitlagenäste ausgespülte Bodenmaterial aufgefangen und nach Trocknung auf Gewichtskonstanz gewogen.

Die Anwuchskästen werden im März 2016 mit Spreitlagen bepflanzt und pro Weidenart und Bodenmaterial direkt nach Einbau bzw. einen, drei und sechs Monate danach auf ihre Filterstabilität getestet.

3. Diskussion und Ausblick

Die Weidenspreitlagen an der Versuchsstrecke am Rhein bei Worms haben im Laufe der ersten drei Vegetationsperioden trotz starker hydraulischer Belastungen und ausbleibender Pflege einen dichten und hohen Weidenbestand hervorgebracht. Da die Vegetationsaufnahmen am Rheinufer noch nicht abgeschlossen sind, dabei aber die langfristige Eignung von Weidenspreitlagen an Binnenwasserstrassen untersucht werden soll, können an dieser Stelle keine detaillierten

Zwischenergebnisse angeführt werden. Die Modellversuche im Wellenbecken bzw. zur Scherfestigkeit sowie zur Filterstabilität starten im März 2015, wodurch hierfür noch keine Erfahrungen und Ergebnisse vorhanden sind.

4. Literaturverzeichnis

BAW 1994: Prüfung von Geotextilien im Verkehrswasserbau (RPG). BAW-Merkblätter und -Richtlinien, Karlsruhe.
 BAW 2013. Merkblatt Materialtransport im Boden (MMB). BAW-Merkblätter und -Richtlinien, Karlsruhe.
 BAW, BfG & WSA-MA 2012. Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer; Erster Zwischenbericht – Randbedingungen, Einbaudokumentation, Monitoring. Eigenverlag, Karlsruhe/Koblenz.
 Eisenmann, J. 2012. Technisch-biologische Ufersicherungen – Theorie und Modellversuche zur Belastbarkeit. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.):

Forschungskompodium Verkehrswasserbau 2012. Karlsruhe, 135–137.
 Eisenmann, J. & Fleischer P. 2012. Möglichkeiten und Grenzen pflanzlicher Ufersicherungen an Wasserstrassen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): BAW-Mitteilungen Nr. 95; Johann-Ohde-Kolloquium. Karlsruhe, 21–40.
 Fleischer, P. & Liebenstein, H. 2008. Untersuchungen zu alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen an Bundeswasserstrassen. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Wasserstrassen – Verkehrswege und Lebensraum in der Kulturlandschaft; Berücksichtigung ökologischer Belange an Bundeswasserstrassen. Bonn, 88–93.
 Florineth, F. 2012. Pflanzen statt Beton; Sichern und Gestalten mit Pflanzen (2. Aufl.). Patzer Verlag, Berlin/Hannover.
 Gerstgraser, C. 2000. Ingenieurbio-logische Bauweisen an Fließgewässern; Grundlagen zu Bau, Belastbarkeiten und Wirkungsweisen. Dissertation an der

Universität für Bodenkultur Wien, 228 S.
 Rauch, H.P. 2006. Hydraulischer Einfluss von Gehölzstrukturen am Beispiel einer ingenieurbio-logischen Versuchsstrecke am Wienfluss. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien, 187 S.
 Stein, J. 2012. Filterstabilität grober Gesteinskörnungen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): Forschungskompodium Verkehrswasserbau 2012. Karlsruhe, 132–134.

Kontaktadresse:

DI Manuel Sokopp
 E-Mail: manuel.sokopp@boku.ac.at
 Universität für Bodenkultur Wien
 Department für Bautechnik und Naturgefahren
 Institut für Ingenieurbio-logie und Landschaftsbau
 Peter-Jordan-Strasse 82
 1190 Wien



schweizer

Begrünung für alle Lagen

**Die Spezialisten der
Eric Schweizer AG sind in allen
Begrünungsfragen für Sie da!**

Eric Schweizer AG, Postfach 150, 3602 Thun
 Tel. +41 33 227 57 21, Fax +41 33 227 57 28
www.ericsschweizer.ch

Revitalisierungs- und Umbaumaßnahmen am Mödlingbach im Stadtgebiet von Mödling

Florin Florineth

Zusammenfassung

Im April 1900 wurde das Stadtgebiet von Mödling durch ein gewaltiges Hochwasser überschwemmt und die Strassen in der Innenstadt wurden bis zu 1,50 m überflutet. Es gab Tote und grosse Verwüstungen. Dieses Ereignis war der Anlass für die Regulierung des Mödlingbaches ab dem Jahr 1901. Errichtet wurden seitliche Ufermauern und die Bachsohle ist in den Jahren zwischen 1910 und 1975 streckenweise durch eine Niederwasserrinne und ein seitliches Bruchsteinmauerwerk ausgebaut worden. Erste Versuche einer Revitalisierung erfolgten bereits im Jahr 1988 und von 2000 bis 2007 ist die restliche Stadtstrecke des Mödlingbaches revitalisiert und umgebaut worden. Die Projekte dazu wurden von unserem Institut ausgearbeitet, die Durchführung erfolgte durch die Abteilung Wasserbau der Niederösterreichischen Landesregierung in Zusammenarbeit mit Studierenden der Universität für Bodenkultur Wien.

Keywords

Stadt Mödling, Mödlingbach, Ufer- und Sohlsicherung, Revitalisierung und Umbau, Monitoring

Mesures de revitalisation et de reconstruction du Mödlingbach près de Mödling

Résumé

En avril 1900, la ville de Mödling a été prise par une énorme crue et ses rues dans le centre-ville ont été inondées jusqu'à 1,50 m. Il y avait des morts et des dégâts considérables. Cet événement a été le déclencheur pour la correction du Mödlingbach dès 1901. Des digues latérales ont été érigées et le lit du cours d'eau a été élargi entre 1910 et 1975 par tronçons avec un lit

d'étiage et un mur en pierres sèches. Les premières tentatives de revitalisation ont été réalisées en 1988, tandis que le reste du secteur en ville a été revitalisé et transformé entre 2000 à 2007. Les projets ont été développés par notre institut et la mise en œuvre a été réalisée par la division aménagement hydraulique du gouvernement de Basse-Autriche en collaboration avec des étudiants de l'Université pour la culture des sols de Vienne.

Mots-clés

Ville de Mödling, Mödlingbach, protection des berges et du chenal, revitalisation et reconstruction, surveillance

Rinaturalizzazione e opere di rinnovo del fiume Mödlingbach nell'area urbana di Mödling

Riassunto

Nell'Aprile 1900 la città di Mödling (Austria) è stata sommersa da un'enorme piena che ha inondato le strade del centro fino a 1,50 m di profondità. Ci sono stati morti e ingenti danni. È questo avvenimento ad aver dato il via alla canalizzazione del fiume Mödlingbach a partire dal 1901. Furono costruiti degli argini in muratura e dal 1910 al 1975 l'alveo è stato esteso tramite un alveo di magra e un muro ciclopico laterale. Già nel 1988 si è cercato di rivitalizzare il fiume Mödlingbach, dal 2000 al 2007 è poi stata trasformata e rivitalizzata il tratto cittadino del corso d'acqua. I progetti a riguardo sono stati elaborati da questo istituto, mentre la realizzazione è stata effettuata dal dipartimento di costruzioni idrauliche del governo del Bundesland della Bassa Austria in collaborazione con studenti dell'università di Bodenkultur BOKU di Vienna.

Parole chiave

Città di Mödling, fiume Mödlingbach, protezione dell'alveo e delle sponde, rivitalizzazione e trasformazione, Monitoring

1. Geschichte des Mödlingbaches

Durch ein starkes Hochwasserereignis vom 7. bis 9. April 1900 wurde ein Grossteil des Stadtgebietes von Mödling überschwemmt. Die Strassen der Innenstadt waren bis 1,50 m hoch überflutet, es gab Tote, Verletzte und grosse Schäden an Häusern und Strassen. Ursachen für diese Überflutung waren vor allem die vielen Mühlen am Mödlingbach mit ihren Wehren, die nicht rechtzeitig geöffnet werden konnten. Ab dem Jahr 1901 begann der Ausbau des Mödlingbaches durch seitliche Uferschutzmauern und es verblieben nur mehr drei Mühlen. Die Bachsohle wurde ab 1910 schrittweise ausgebaut und zwar mit einer Niederwasserrinne:



Abb. 1: Gemälde von der grossen Überschwemmung im Stadtgebiet von Mödling vom 7. bis 9. April 1900.

Fig. 1: Peintures de la grande crue dans la ville de Mödling les 7 et 9 avril 1900.



Abb. 2: Ausgebauter Mödlingbach mit Uferschutzmauern im Bereich Frauensteingasse, um 1909.
 Fig. 2: Le Mödlingbach modifié avec des murs de rive sur la Frauensteingasse vers 1909.



Abb. 3: Mödlingbach mit Uferschutzmauern und ausgebauter Bachsohle im Bereich Bachgasse, um 1911.
 Fig. 3: Le Mödlingbach avec des murs de rives et le lit du cours d'eau transformé dans le secteur Bachgasse vers 1911.



Abb. 4: Umbau der Brühlerstrasse oberhalb des Stadtgebietes mit der Verlegung und Betonierung des Mödlingbaches, 1975.
 Fig. 4: Transformation de la Brühlerstrasse en-dessus de la zone urbaine avec la pose et le bétonnage du Mödlingbach en 1975.

2,50 m breit und 40 cm tief, versiegelt mit Betonplatten oder bewehrtes durchgehendes Betonbett, eingefasst von Betonrandstreifen, 40cm breit und 80cm hoch. Die seitlichen Randabschnitte wurden mit Bruchsteinmauerwerk versiegelt. Ein letzter Abschnitt oberhalb des Stadtgebietes ist im Jahr 1975 im Zuge eines Strassenneubaues in gleicher Weise verbaut worden. Der Grund für die allmähliche Versiegelung der Sohle war neben der schnellen Wasser-

abführung die Sauberhaltung des Bachbettes von Müllresten und Ratten.

2. Revitalisierung des Mödlingbaches

Erste kurze Abschnitte im Stadtgebiet wurden bereits in den Jahren 1988 bis 1989 durch ein Projekt von Dipl.-Ing. REDL aufgebrochen und mit Blocksteinen gestaltet. Die Bepflanzung erfolgte durch einzelne Weidensteckhölzer von der Bruchweide, die heute auf Grund ihres schnellen Wachstums und Brüchigkeit einen hohen Pflegeaufwand verursachen.

Nach Gesprächen mit dem damaligen Mödlinger Bürgermeister, dem Gemeinderat und mit der Abteilung Wasserbau der Niederösterreichischen Landesregierung in Wiener Neustadt wurde im Jahr 1999 von unserem Institut für Ingenieurbio-logie und Landschaftsbau ein erstes Revitalisierungsprojekt erstellt. Es sah einen leicht gewundenen und unterschiedlich breiten Bachverlauf innerhalb der Uferschutzmauern vor, begleitet von ingenieurbio-logischen Bauweisen als Strukturelementmassnahmen, wie Flechtzäunen, Weidenfaschinen, Rangenerbau, Faschinenbuhnen und einfachen Uferkranerwänden. Zur Sicherung und Erhaltung der 100 Jahre alten Uferschutzmauern musste ein 80cm breiter Randstreifen des Bruchsteinmauerwerks erhalten bleiben. Im Februar und März 2000 begannen die ersten Ausführungsarbeiten durch die oben genannte Wasserbau-Abteilung in

Zusammenarbeit mit Studierenden der Universität für Bodenkultur Wien, die im Rahmen der Lehrveranstaltung «Ingenieurbio-logisches Baupraktikum» vor allem für die Ausführung der ingenieurbio-logischen Bauweisen zuständig waren. Die Finanzierung erfolgte wie für alle weiteren Abschnitte zu je einem Drittel durch die Gemeinde Mödling, die Niederösterreichische Landesregierung und die Österreichische Bundesregierung. Weitere Projekte zur Revitalisierung des Mödlingbaches wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement und dem Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau derselben Universität erstellt, koordiniert von unserem Institut. Die Ausführung dieser Projekte erfolgte jeweils in den Wintermonaten und wurde im Jahr 2007 abgeschlossen. Insgesamt sind rd. 2 km Bachbett neu gestaltet worden mit einem Kostenaufwand von ca. 200 € pro Laufmeter. Hohe Kosten verursachten das Aufreißen und Aufschrämmen der Betonsohle und der Betonrandstreifen sowie die Entsorgung des Materials. Im Winter und Frühjahr 2014 begann die Tieferlegung und Umgestaltung des Mödlingbaches an der östlichen Grenze zu Wiener Neudorf, dieser Bachabschnitt soll im Jahr 2016 bis zum Bahnhof hin abgeschlossen werden. Die lange Unterbrechung der Umbauarbeiten war bedingt durch die vorausgehende Beseitigung des Gubin-Wehres in Wiener Neudorf und die Umgestaltung dieses Streckenabschnittes, die 2013



Abb. 5: 30-jährliches Hochwasser ($29,5 \text{ m}^3/\text{s}$) am Mödlingbach unterhalb der Bahnbrücke, Juli 1997.
 Fig. 5: Crue trentennale ($29,5 \text{ m}^3/\text{s}$) du Mödlingbach sous le pont de chemin de fer en juillet 1997.



Abb. 6: Der hart verbaute Mödlingbach vor den Revitalisierungsarbeiten im Bereich Viechtelgasse, 2004.
 Fig. 6: Le Mödlingbach aménagé en dur avant les travaux de revitalisation dans le secteur de la Viechtelgasse en 2004.



Abb. 7: Dieselbe Stelle nach dem Aufreißen der betonierten Sohle und Ufergestaltung, März 2005.
 Fig. 7: Même endroit après avoir enlevé le lit en béton et l'aménagement des berges en mars 2005.



Abb. 8: Spontaner Bewuchs nach 1 Jahr, Sommer 2006.
 Fig. 8: Croissance spontanée 1 année après, en été 2006.



Abb. 9: Entwicklung des Bachbettes nach 9 Jahren, Sommer 2014.
 Fig. 9: Développement du lit du cours d'eau 9 ans après, en été 2014.



Abb. 10: Treppe für die nicht vorhandenen Fische zur Überbrückung einer Höhendifferenz von 1,20 m im Bereich Keimgasse, 2005.
 Fig. 10: Echelles pour les poissons non-présents afin de combler une différence de hauteur de 1,20 m dans le secteur de la Keimgasse en 2005.



Abb. 11: Aufreissen der Fischtreppe und des angrenzenden Bruchsteinmauerwerks, Februar 2006.
 Fig. 11: Ouverture de l'échelle à poissons et du mur en pierres sèches adjacent en février 2006.



Abb. 12: Umgestaltung der Gefällstrecke mit einer Pendelrampe aus Blocksteinen und anschließender Holzpilotenreihe – das neue Gefälle beträgt 3%, März 2006.
 Fig. 12: Transformation de la pente avec une rampe pendulaire en pierres et avec une série de pilots en bois – la nouvelle inclinaison est de 3% en mars 2006.



Abb. 13: Entwicklung der Pendelrampe nach 3 Jahren, Sommer 2009.
 Fig. 13: Développement de la rampe pendulaire après 3 ans, en été 2009.



Abb. 14: Dieselbe revitalisierte Stelle des Mödlingbaches im Bereich Keimgasse nach 7 Jahren, Sommer 2013.
 Fig. 14: Même emplacement revitalisé du Mödlingbach dans le secteur de la Keimgasse après 7 ans, en été 2013.



Abb. 15: Detail der betonierten Niederwasserrinne und des angrenzenden Bruchsteinmauerwerks im Bereich Bachgasse, Herbst 2005.
 Fig. 15: Détail du lit d'étiage en béton et du mur en pierres sèches dans le secteur de la Bachgasse, en automne 2005.



Abb. 16: Der verbaute Mödlingbach im Bereich Bachgasse vor den Revitalisierungsarbeiten, Winter 2006.
 Fig. 16: Le Mödlingbach aménagé dans le secteur de la Bachgasse avant les travaux de revitalisation, en hiver 2006.



Abb. 17: Strukturierung des neuen Bachbettes mit Faschinenbuhnen als Querwerken und Weidenfaschinen als Längswerken im Bereich Bachgasse, März 2007.

Fig. 17: Structuration du nouveau lit du cours d'eau avec des épis en fascines comme ouvrage transversal et fascines de saules en longitudinale dans le secteur de la Bachgasse en mars 2007.



Abb. 18: Dieselbe Stelle nach 1 Jahr, Sommer 2008.
Fig. 18: Même endroit 1 année après, en été 2008.

erfolgte. Dadurch war eine Absenkung des Baches von 1,20 m im östlichen Gemeindegebiet von Mödling möglich, wodurch der Hochwasserschutz in diesem Abschnitt gewährleistet ist. Vom Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau wurde ein 100-jährliches Hochwasser von 45 m³/s errechnet, die Mittelwassermenge beträgt 240 l/s und das Niedrigwasser 60 l/s. Im Sommer 1997 wurde ein 30-jährliches Hochwasser mit 29,5 m³/s gemessen. Als Grundlage für den Hochwasserschutz im Stadtgebiet dienten eine generelle Absenkung der neuen Bachsohle um 40–80 cm, eine flexible Ufervegetation und ein Freibord von 50 cm.

3. Pflegemaßnahmen am revitalisierten Mödlingbach

Jährlich in den Wintermonaten werden von der Stadtgemeinde Mödling Pflegemaßnahmen durchgeführt für die Gewährleistung des Hochwasserabflusses und die Reinhaltung des Bachbettes. Diese Maßnahmen beinhalten den Stockschnitt von Gehölzen mit einem Basisdurchmesser ab 4 cm als Einzelstammentnahme oder streckenweise Verjüngung, das Entfernen von Bruchweiden und Götterbäumen, die Bekämpfung des Japanischen Knöterichs und des Indischen Springkrauts, das Abräumen von Wildholzansammlungen, die zu Verkläuerungen führen

können, die Entnahme von Geschiebe an den dafür vorgesehenen Stellen. Die Reinigung und Entsorgung von Müll im Bachbett wird von den Abwasserspezialisten der Gemeinde mehrmals im Jahr durchgeführt.

Der Stockschnitt der strauchförmigen und flexiblen Korb- und Purpurweiden und der für Flechtzäune gut geeigneten Dotterweide wird häufig von Studierenden der Universität für Bodenkultur Wien im Rahmen ihrer Praktika durchgeführt und das Schnittgut für weitere ingenieurbio-

logische Maßnahmen verwendet. Auf die Artenauswahl flexibler Weiden wird aus Hochwasserschutzgründen besonders geachtet. Schwarzerlen und



Abb. 19: Entwicklung nach 2 Jahren, Antransport von Wildholz, Sommer 2008.

Fig. 19: Développement 2 ans après, aménagement de bois sauvage en été 2008.



Abb. 20: Zustand nach 7 Jahren mit guter Beschattung des Gewässers und vielfältiger Sohlstruktur, Sommer 2014.

Fig. 20: Situation 7 ans après avec un bon ombrage de l'eau et une structure de fond variée, en été 2014.

andere baumförmige Gehölze werden ausschliesslich am Gewässerrand gepflanzt. Durch das Vorkommen vieler Bruchweiden im Oberlauf wird diese unerwünschte und schnell wachsende Weide leider angeschwemmt und verbreitet sich in bestehenden Gehölzbeständen, was zu vermehrten Pflegeeingriffen führt.

4. Monitoring der Revitalisierungs- und Umbaumaassnahmen

Von den zahlreichen Diplomarbeiten, die am Mödlingbach die Entwicklung der Vegetation und die Wirkungsweise, Dauerhaftigkeit und Widerstandskraft der ingenieurbioologischen Massnahmen untersucht haben, ist besonders die Arbeit von Katrin Mitmasser (2010) zu nennen, die den letzten Abschnitt der Stadtstrecke von der Demelgasse bis zum Bahnhof nach 2,5 Jahren Entwicklung näher beobachtet hat.

Überraschenderweise hat sich nach dieser relativ kurzen Zeit bereits die Sohlstruktur geändert mit vielen kleinen Anlandungen vor allem in den Bühnenfeldern und Kolken, die einen wertvollen Lebensraum für Tiere und Pflanzen darstellen. Entsprechend vielfältig waren die Fischarten mit der Bachforelle, Aitel, Elritze und anderen. Insgesamt waren auf dieser 200 m langen Untersuchungsstrecke 209 Individuen zu finden.

Bemerkenswert ist auch ein Ergebnis der Diplomarbeit von Romana Sturm (2011), die im selben Abschnitt nach 3,5 Jahren 24 verschiedene Makrozoobenthos-Arten feststellen konnte.

5. Resumé und Ausblick

Die Bevölkerung Mödlings erfreut sich ebenso wie die Gemeindeverwaltung an der neu entstandenen Grünzone im Stadtgebiet, die Abkühlung und Abwechslung bringt und für Überraschungen sorgt, wenn etwa der Graureiher mitten im Bachbett auf Fischfang geht. Wie jede andere Grünzone benötigt auch ein grünes Bachbett ausreichende Pflege, die im Gemeindebudget vorgesehen ist.

Durch die gute Beschattung infolge des Bewuchses ist kaum Algenwachstum im Bachbett festzustellen. Allerdings treten an Stellen, wo die Gehölze nicht hoch genug sind, um für einen ausreichenden Schattenwurf sorgen zu können, trotzdem Algen auf, was durch die mässige Wassergüte zwischen 2 und 3 bedingt ist.

Die Revitalisierungsarbeiten werden unterhalb des Bahnhofes in den kommenden Jahren 2015 und 2016 fortgesetzt und an diesem Abschnitt abgeschlossen. Im Gemeindegebiet von Mödling verbleibt noch die Bachstrecke Mühl-gasse-Liechtensteinbrücke, deren Revitalisierung für das Jahr 2017 vorgesehen ist. Dann wird der Mödlingbach im gesamten Gemeindegebiet umgebaut und wiederbelebt sein, was die entlang des Baches wohnenden und spazierenden Menschen erfreut und überrascht und zahlreichen Tieren und Pflanzen einen Lebensraum bietet.

Möglich waren diese Arbeiten durch ein Umdenken der Bevölkerung und durch die sehr gute Zusammenarbeit zwischen der Abteilung Wasserbau,

der Universität für Bodenkultur Wien und vor allem der Gemeindeverwaltung von Mödling.

6. Literaturverzeichnis

MITMASSER, K., 2010: Auswirkungen ingenieurbioologischer Massnahmen auf Sohlstrukturen und Fischbestand am revitalisierten Mödlingbach (NÖ). Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

STURM, R., 2010: Makrozoobenthos am revitalisierten Mödlingbach. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

HANSEN, H., 2008: Monitoring von revitalisierten Teilstrecken des Mödlingbaches im Stadtgebiet von Mödling. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

Kontaktadresse:

Univ.-Prof. Dr. Florin Florineth
 Universität für Bodenkultur Wien
 Institut für Ingenieurbioologie und
 Landschaftsbau
 A-1190 Wien, Peter-Jordan-Str. 82
 Tel. +43 1 47654-7300
 Fax -7349
 E-Mail: iblb@boku.ac.at

Ingenieurbiologische Massnahmen an Wildbächen

DI Elmar Plankensteiner, Dr. DI Wolfram Bitterlich, DI Linda Breuss

Anwendungsbeispiele der Wildbach- und Lawinerverbauung (WLV)

Zusammenfassung

Von Seiten des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinerverbauung (die.wildbach) werden ingenieurbiologische Bautypen, meist in Kombination mit rein technischen Bauwerken zur Stabilisierung von Uferböschungen an Wildbächen oder zur Erosionssicherung rutschanfälliger Hänge, seit über 100 Jahren mit Erfolg ausgeführt. Besonders mit der Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und der Zielvorgabe bis 2015, den guten ökologischen Zustand an allen Gewässern zu erreichen, werden Schutzmassnahmen neben der technischen und wirtschaftlichen Effizienz vermehrt auch auf deren ökologische Verträglichkeit geprüft. Dabei gilt es, einen Mittelweg zwischen dem ausreichendem Schutz für den Siedlungsraum und der Durchgängigkeit ökologisch wertvoller Fließgewässer mit intakter Dynamik sowie möglichst geringer landschaftlicher Beeinträchtigung zu finden.

Die Anwendungsbeispiele Galina (Nenzing) und Gschlifgraben (Gmunden) zeigen, dass ingenieurbiologische Bautypen bei richtiger Anwendung nicht nur einen hohen ökologischen Wert aufweisen, sondern auch einen dauerhaften Schutz erzielen.

Keywords

Galina, Gschlifgraben, Ufersicherung, Hangsicherung, Weidencordon

Mesures de génie biologique sur les torrents Exemples d'application d'aménagement de torrents et de paravalanches (WLV)

Résumé

Du côté du Service de génie forestier pour aménagement de torrents et de paravalanches (die.wildbach), les mesures de construction du génie biologique sont mises en œuvre avec succès depuis plus de 100 ans, la plupart en combinaison avec des structures purement techniques pour la stabilisation des rives de torrents ou la protection contre l'érosion. Surtout depuis la mise en œuvre de la Directive-cadre européenne sur l'eau et l'objectif d'atteindre un bon état écologique pour tous les cours d'eau d'ici 2015, les mesures de protection sont de plus en plus testées non seulement sur leur efficacité technique et économique, mais aussi sur leur compatibilité environnementale. L'objectif est de trouver un équilibre entre une protection appropriée pour les zones urbaines et une continuité écologique de valeur pour les cours d'eau, avec une dynamique intacte et la moindre dépréciation du paysage possible.

Les exemples d'application Galina (Nenzing) et Gschlifgraben (Gmunden) montrent qu'un emploi juste des mesures de construction du génie biologique est la preuve non seulement d'une grande valeur écologique, mais offrent aussi une protection durable.

Mots-clés

Galina, Gschlifgraben, protection des berges, protection des talus, saules

Misure d'ingegneria naturalistica applicate a torrenti – esempi pratici del servizio Wildbach- und Lawinerverbauung WLV

Riassunto

Il servizio tecnico forestale «Wildbach- und Lawinerverbauung» (die.wildbach – n.d.t.: costruzioni lungo torrenti o di ripari antivalanghe) utilizza con successo misure d'ingegneria biologica, spesso in combinazione con opere tecniche, per stabilizzare le sponde di torrenti o per controllare l'erosione di pendii inclini allo scivolamento da oltre 100 anni. Soprattutto l'applicazione della direttiva quadro sulle acque DQA dell'UE e l'obiettivo di ottenere un buono stato ecologico per tutte le acque entro il 2015 hanno come conseguenza che le opere di protezione non vengano analizzate solo dal lato tecnico e finanziario, ma sempre più anche da quello ecologico. Si tratta quindi di trovare un compromesso tra una protezione sufficiente delle zone abitate, minimizzare ove possibile le ripercussioni negative sul paesaggio, e creare corridoi per corsi d'acqua con alto valore ecologico e una dinamica intatta.

Gli esempi pratici Galina (Nenzing) e Gschlifgraben (Gmunden) mostrano come, quando utilizzate correttamente, le opere d'ingegneria naturalistica non abbiano solo un alto valore ecologico, bensì garantiscano anche una protezione permanente.

Parole chiave

Galina, Gschlifgraben, protezione delle sponde, Stabilizzazione di pendii, Weidencordon



Abb. 1: Lage des Projektgebiets der Galina. VoGis.
Fig. 1: Emplacement de la zone du projet Galina. VoGis.

1. Einleitung

Die Wildbach- und Lawinerverbauung, die in diesem Jahr ihr 130-jähriges Jubiläum feiert, kann auf lange Erfahrung in der Anwendung ingenieurbio- logischer Bauweisen zurückblicken. Diese Bauweisen bewähren sich nicht nur auf Grund ihrer ökologischen Nachhaltigkeit, sondern auch wegen ihres geringen Wartungsaufwands und ihrer Fähigkeit, Problembereiche dauerhaft zu sichern. Positive Effekte wie die natürliche Entwässerung und die Festigung des Bodens durch die Wurzelsysteme der Vegetation sind ebenfalls nicht zu vernachlässigen. Oftmals ist es bei den Baufeldern der WLW leider nicht möglich, rein ingenieurbio- logische Bauweisen anzuwen-

den. Die auftretenden Kräfte erzwingen die Verwendung technischer bzw. toter Baustoffe wie Beton, Stahl oder Holz. In solchen Fällen ist aber, wenn möglich, eine Kombination aus ingenieurbio- logischen und technischen Bauweisen im Hinblick auf Nachhaltigkeit und Dauerhaftigkeit unbedingt anzustreben. Im Folgenden wird die Anwendung ingenieurbio- logischer Bautypen anhand zweier Fallbeispiele (Galina und Gschlifgraben) veranschaulicht. Hierbei ist zu beachten, dass sich das eine Projekt bereits über einen grossen Ver- bauungszeitraum erstreckt, während es sich beim anderen Fallbeispiel um ein «jüngeres» Projekt handelt.



Abb. 2: Arbeiter im Projektgebiet Galina. Fotoarchiv der WLW Vorarlberg.
Fig. 2: Travailleurs dans la zone du projet Galina. Archives du WLW Vorarlberg.

2. Material und Methoden

2.1 Galina

Das Wildbacheinzugsgebiet Galina liegt in Vorarlberg und weist eine Grösse von 11,8 km² auf. Kleine Flächen im Bereich von Gampelün gehören zur Gemeinde Frastanz, ansonsten befindet sich das Projektgebiet in der Gemeinde Nenzing. Der Galinabach entspringt in der Nähe der Galinaalpe auf einer Seehöhe von ca. 1600 m und fliesst im Oberlauf durch ein glazial



Abb. 3: Schematische Darstellung eines Weidencordons. Originalzeichnung von Praxl, 1957.
Fig. 3: Représentation schématique d'un cordon de saule. Dessin original de Praxl, 1957.



Abb. 4: Einzugsgebiet des Gschlifgrabens. Ausschnitt ÖK M 1:100 000, Gemeinde Gmunden, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen.
Fig. 4: Bassin versant du Gschlifgraben. Extrait OK 1:100 000, commune de Gmunden, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen.



Abb. 5: Bauweise der lebenden Uferpfahlwand. Eigene Darstellung.
 Fig. 5: Construction d'un mur pilot de rive vivant. Propre représentation.

ausgeprägtes U-Tal. Im Mittellauf hat der Galinabach einen tief eingeschnittenen, schluchtartigen Charakter und wird beidseitig von Moränenhängen umgeben. Im Bereich des Unterlaufs bildet der Wildbach einen kleinräumigen Schwemmkegel zur Mündung in die Jll.

2.2 Gschlifgraben

Der oberösterreichische Gschlifgraben entwässert eine Einzugsgebietsfläche von 3,20 km² und mündet südlich des Gasthauses Ramsau in den Traunsee. Er ist ein murfähiger Wildbach, der auf Grund seiner Geologie ein sehr hohes

In Kooperation mit der BOKU Wien wurde im Jahr 2010 ein ökologischer Bautypenkurs im Gschlifgraben in Gmunden mit der Zielsetzung abgehalten, sämtliche Partieführer und Vorarbeiter der oberösterreichischen Gebietsbauleitungen der WLW in die Methodik der richtigen Ausführung ingenieurbio-logischer Bauweisen zur Sicherung von Hang- und Uferböschungen einzuführen.

Dabei kamen folgende Bautypen zur Anwendung: lebende Uferpfahlwand, Weidenfaschinen, Drainfaschinen, lebender Hangrost mit Steckhölzern und die Ausbuschung einer Trockenrunse sowie die Verlegung eines Raubaumes.



Abb. 6: Erstellung der Uferpfahlwand. Eigene Aufnahme.
 Fig. 6: Mise en place d'un mur pilot de rive vivant. Propre photographie.



Abb. 7: Lebender Hangrost in der Umsetzung. Eigene Aufnahme.
 Fig. 7: Treillage vivant mis en œuvre. Propre photographie.

Bereits seit 100 Jahren ist die Galina ein wichtiges Arbeitsfeld der WLW, für das ein hohes Investitionsvolumen umgesetzt wurde, um den angrenzenden Siedlungsraum und die Verkehrsinfrastruktur zu sichern. Hier wurden Pionierleistungen bezogen auf die Arbeitskraft des Menschen, die Präzision der Technik und die Anpassung an die Natur erbracht. Es wurden folgende Massnahmen umgesetzt: bepflanzte Pilotenwand, Heublumen- und Heudruschsaat sowie Cordonbau.

Der Weidencordon wurde in den Jahren 1948 bis 1951 vom damaligen Gebietsbauleiter Viktor Praxl (Bauleitung Walgau) entwickelt und sogleich großflächig in der Galina angewendet.

Gefährdungspotenzial für den besiedelten Schwemmkegel mit sich bringt. Zahlreiche Ereignisse, beginnend im Jahr 1660, verursachten sehr grosse Schäden am Schwemmkegel und führten teilweise zur völligen Zerstörung von mehreren Liegenschaften. Im November 2007 setzte sich nach vorangegangenen Ereignissen im Oberlauf sowie nach intensiver Durchfeuchtung der Bodenhorizonte ein Erdstrom in Bewegung, welcher ein geschätztes Volumen von ca. 1 500 000 m³ aufweist. Infolge der grossen Bewegungsraten der Grosshangrutschung kam es auf einer Fläche von ca. 22 ha zu massiven Aufschiebungsvorgängen und Geländeumlagerungen.

3. Resultate

3.1 Galina

Zusammenfassend können die ingenieurbio-logischen Massnahmen in der Galina als erfolgreich beschrieben werden. Wegen des guten Anwachsens und der fortgeschrittenen Entwicklung sind die alten Weidencordons meist gar nicht mehr als solche erkennbar. Einzelne Probleme können in nordexponierten Standorten mit schlechter Bodenentwicklung festgestellt werden, der beabsichtigte Wirkungsgrad kann hier nicht erreicht werden. Durch jährliche Pflegearbeiten und einzelne Sanierungen von lokalen Anrissen kann dem aber ausreichend entgegengewirkt werden.



Abb. 8: Galina vor den Verbauungsmassnahmen. Fotoarchiv der WLW Vorarlberg.
 Fig. 8: La Galina avant les mesures d'aménagement. Archives du WLW Vorarlberg.



Abb. 9: Galina während der Umsetzung. Fotoarchiv der WLW Vorarlberg.
 Fig. 9: La Galina pendant les travaux. Archives du WLW Vorarlberg.



Abb. 10: Galina nach Fertigstellung der Bauwerke. Fotoarchiv der WLW Vorarlberg.
 Fig. 10: La Galina à la fin des travaux. Archives du WLW Vorarlberg.



Abb. 11: Orthofoto der Galina aus dem Jahre 1950. VoGis.
 Fig. 11: Orthophotographie de la Galina dans les années 1950. VoGis.



Abb. 12: Orthofoto der Galina aus dem Jahre 2012. VoGis.
 Fig. 12: Orthophotographie de la Galina en 2012. VoGis.



Abb. 13: Gschlifegraben während der Bauphase. Eigene Aufnahme.
 Fig. 13: Le Gschlifegraben pendant les travaux. Propre photographie.



Abb. 14: Begrünungserfolg am Gschliefgraben. Eigene Aufnahme.
Fig. 14: Végétalisation réussie sur le Gschliefgraben. Propre photographie.



Abb. 15: Aktuelle Situation am Gschliefgraben. Eigene Aufnahme.
Fig. 15: Situation actuelle sur le Gschliefgraben. Propre photographie.

Die Orthofotos aus den Jahren 1950 und 2012 geben einen guten Überblick über den Begrünungserfolg in der Galina.

3.2 Gschliefgraben

Der Bautypenkurs im Gschliefgraben wurde zwar mit Erfolg abgehalten, die ausgeführten Bautypen haben sich aber nur zum Teil bewährt. Während die Weiden im Bereich der Ausbuschung der Trockenrunse und der Drainfaschinen gute Anwuchsergebnisse erzielt haben, konnten bei der lebenden Uferpfehlwand nur verzeinkelte Anwuchserfolge verzeichnet werden. Auch nach Aufkommen der Steckhölzer kam es zu grösseren Ausfällen. Im Bereich des lebenden Hangrostes wurden zahlreiche Weiden durch Wildverbiss geschädigt und fielen somit ebenfalls aus.

4. Diskussion

Im Hinblick auf Ökologie, Nachhaltigkeit und Dauerhaftigkeit sollten ingenieurbio-logische Bauweisen zumindest in Kombination mit technischen Bautypen als Standardmassnahmen zur Sicherung von Hang- und Uferbereichen ausgeführt werden. Um einen dauerhaften Begrünungs- und Festigungserfolg erzielen zu können, ist es allerdings notwendig, die für den jeweiligen Standort geeigneten Bautypen kritisch auszuwählen. Gegen oftmals kritisierte «höhere Kosten» im Gegensatz zu technischen Bauweisen kann mittels des geringeren Wartungs- und Sanierungsaufwands

und der hohen Dauerhaftigkeit der Bautypen argumentiert werden.

Es bleibt zu hoffen, dass der Anteil ingenieurbio-logischer Bauweisen im Rahmen der Projekte der Wildbach- und Lawinenverbauung nicht nur gleich bleibt, sondern sich zukünftig auf Grund der guten Erfahrungen weiter vergrössert!

5. Literaturverzeichnis

Grohmann, J. 2001. Untersuchungen zur Wirksamkeit der ingenieurbio-logischen Massnahmen im Wildbacheinzugsgebiet Galina, Gemeinde Nenzing, Vorarlberg; Endbericht. Universität für Bodenkultur, Wien.

Kontaktadressen:

DI Elmar Plankensteiner
Gebietsbauleitung Bregenz
Rheinstrasse 32
6900 Bregenz
elmar.plankensteiner@die-wildbach.at

Dr. DI Wolfram Bitterlich
Gebietsbauleitung Oberösterreich West
Traunreiterweg 5
4820 Bad Ischl
wolfram.bitterlich@die-wildbach.at

DI Linda Breuss
Gebietsbauleitung Bregenz
Rheinstrasse 32
6900 Bregenz
linda.breuss@die-wildbach.at

Europäische Richtlinie für Ingenieurbilogie – Ziel und Zweck

Eva Hacker

Zusammenfassung

Die Richtlinien für Ingenieurbilogie – zusammengestellt von allen Fachvereinigungen für Ingenieurbilogie in Europa – dienen der Verbreitung der Grundgedanken, Vorgehensweisen und positiven Effekte ingenieurbilogischer Arbeitsweisen.

Sie werden als Unterstützung der Umsetzungsziele verschiedener europäischer Richtlinien gesehen, vorrangig der EU-Wasserrahmenrichtlinie, der EU-Hochwasserschutzrichtlinie und der EU-Bodenschutzrichtlinie sowie als Instrument der Verbreitung und Standardisierung der Ingenieurbilogie.

Neben Lösungen im Erd- und Wasserbau gilt Ingenieurbilogie als eines der indirekten Instrumente der Vorsorge im Katastrophenschutz und ist mittlerweile weltweit als Sofflösung bzw. nicht traditionelle Alternative zu reinen Ingenieurslösungen in Sturm- und Hochwasserschutz und -vorsorge anerkannt.

Keywords

Möglichkeiten, Grenzen, Wirkungen, Bemessungen und Entwicklungen ingenieurbilogischer Arbeiten

Directives européennes pour le génie biologique – définition et objectifs

Résumé

Les Directives européennes pour le génie biologique – rédigées par les différentes associations nationales spécialisées en génie biologique en Europe – servent à la diffusion des connaissances et du savoir-faire liés aux techniques de génie biologique.

Elles sont à considérer comme un soutien aux objectifs de transposition de diverses directives européennes, notamment la Directive-cadre sur l'eau de l'UE, la Directive sur la protection contre les inondations de l'UE et la Directive-cadre sur la protection des sols, ainsi qu'en tant qu'instrument de normalisation du génie biologique.

En plus d'offrir des solutions dans les domaines de l'aménagement hydraulique et du génie civil, le génie biologique est réputé comme l'un des instruments indirects de prévoyance contre les risques naturels. Il est en même temps reconnu dans le monde entier comme une solution souple et alternative dans les domaines de la protection et de la prévention contre les crues et les glissements de terrain.

Mots-clés

Possibilités, limites, effets, dimensions et évolution des travaux de génie biologique

Direttiva quadro europea per l'ingegneria naturalistica – obiettivi e funzione

Riassunto

Le linee guida per l'ingegneria naturalistica, elaborate da tutte le associazioni professionali per l'ingegneria naturalistica in Europa, hanno lo scopo di comunicare i concetti base, le procedure e gli effetti positivi dei metodi lavorativi d'ingegneria naturalistica.

Sono da intendersi come supporto per gli obiettivi da raggiungere di diverse direttive quadro dell'Unione Europea, in primo luogo la direttiva quadro sulle acque, la direttiva quadro sulla protezione dalle inondazioni e la direttiva quadro sulla protezione del suolo. Inoltre servono da strumento per diffondere e standardizzare l'ingegneria naturalistica.

Accanto a soluzioni per lavori di terra e nelle costruzioni idrauliche, l'ingegneria naturalistica rappresenta uno dei metodi indiretti di prevenzione nella protezione contro le catastrofi. Nel frattempo viene anche riconosciuta a livello mondiale come soluzione «soft» o alternativa non-tradizionale a opere ingegneristiche classiche nella protezione contro le tempeste e contro le piene.

Parole chiave

Possibilità, limiti, effetti, stato attuale e sviluppo di lavori d'ingegneria naturalistica

Mit der Europäischen Richtlinie für Ingenieurbilogie wird für das Arbeiten mit Pflanzen zur Verhinderung von Erosion und damit zur Etablierung einer schützenden und stabilisierenden Pflanzendecke eine Herangehensweise vorgestellt, die sowohl Ersatz und als auch eine sinnvolle Ergänzung zu technischen Baumassnahmen ist. In der Richtlinie werden die Grundgedanken und Vorgehensweisen vertieft, die allen ingenieurbilogischen Lösungen zugrunde liegen und die europäisch und letztlich weltweit Anwendung finden können.

Ziel ist es zu zeigen, wie bei der Lösungsfindung Fachwissen der bautechnischen Disziplinen sowie biologische und landschaftsökologische Erkenntnisse zusammengeführt werden. Aus standortgerechten und möglichst gebietsheimischen Pflanzen und Pflanzenteilen werden dauerhafte Vegetationsbestände entwickelt, die bautechnische Aufgaben erfüllen können. Dabei haben ingenieurbilogische Lösungen neben dem Erosionsschutz und Massnahmen zum Ausgleich des Wasserhaushalts auch Auswirkungen auf das Kleinklima, die Biotopstruktur und das Landschaftsbild. Es werden somit die Wirkungen von Pflanzen und Pflanzenbeständen bei ingenieurbilogischen Massnahmen, die sich ökologisch, technisch, ästhetisch und wirtschaftlich zeigen können, aus verschiedenen Blickwinkeln beleuchtet. Natürlich gibt es Grenzen beim Einsatz des lebenden Baustoffes Pflanze. Diese und die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten werden in der Richtlinie dargelegt. Auch finden sich dort Gedanken zum Berufsverständnis von Ingenieurbilogern und über die Voraussetzungen für eine wirkungsvolle Anwendung der Ingenieurbilogie.

Ein wichtiger Teil der Richtlinie befasst sich mit den Grundsätzen der Bemessung von ingenieurbilogischen

Zwei Beispiele für erfolgreiche ingenieurbio-logische Arbeiten:



Abb. 1: Enz bei Pforzheim zehn Jahre nach der Renaturierung. Aufgrund der Stadtrandlage wurde die Ufersicherung mit verschiedenen ingenieurbio-logischen Arbeiten ausgeführt. Heute zeigen sich vielgestaltige Uferbereiche mit hoher Biodiversität.

Fig. 1 : Enz à Pforzheim dix ans après les travaux de renaturation. En raison de la situation en périphérie de la ville, les berges du cours d'eau ont été consolidés par différents travaux de génie biologique. Aujourd'hui, les zones riveraines présentent une grande biodiversité.



Abb. 2: Thyssen-Werks-gelände in Remscheid. Begrünung der offenen, staubbelasteten und leicht erosionsgefährdeten Abrissflächen in einem Wohngebiet mit artenreichem und mit verschiedenen biotechnischen Eigenschaften ausgestattetem Wildpflanzensaatgut.

Fig. 2 : L'usine Thyssen de Remscheid. Végétalisation des chantiers de démolition poussiéreux dans un quartier résidentiel avec une sélection de semences de plantes sauvages riche en espèces et dotée de diverses propriétés biotechnologiques.

Sicherungen und der Einbindung der ingenieurbio-logischen Bemessung in den Planungsprozess. Es geht darum, Einwirkungen und Widerstände auf die Vegetation einschätzen und entsprechende ingenieurbio-logische Lösungen entwickeln zu können. Dabei werden im Einzelnen Empfehlungen zu häufigen Anwendungsbereichen gegeben wie:

- Erosion auf Erdböschungen
- oberflächennahe Rutschungen auf Böschungen
- Grabenerosion auf Hängen und Böschungen
- Ufer und Vorländer an Fließgewässern
- Ufer an stehenden Gewässern
- Deiche und Dämme

- Küstenschutz
- Wind- und Emissionsschutz-pflanzungen
- Wasserhaushaltsregelung
- durch Feuer zerstörte Gebiete
- Pflanzen als Lawinenschutz

Zur Konkretisierung der ingenieurbio-logischen Vorgehensweise wird das siebensprachige (deutsch, englisch, französisch, italienisch, portugiesisch spanisch und russisch) Handbuch der Bautypen der Europäischen Föderation von 2007 zugrunde gelegt, das 2014 in einer erweiterten Auflage zusätzlich in Chinesisch und Koreanisch erschienen ist. In der Richtlinie werden die Entscheidungskriterien für die Bauweisenwahl benannt und eine Entscheidungsmatrix führt zur praktischen Umsetzung für die ingenieurbio-logische Massnahmenplanung hin.

Hinweise zur Pflege ingenieurbio-logischer Bauweisen und zur Durchführung der Erfolgskontrolle runden die Richtlinie ab, um Wirksamkeit, Funktion und die nachhaltige Entwicklung zu dokumentieren.

Die Richtlinie selbst wird zur Tagung «Ingenieurbio-logie – Neue Entwicklungen an Fließgewässern, Hängen und Böschungen» in Wien gedruckt in sechs Sprachen (deutsch, englisch, französisch, italienisch, portugiesisch und spanisch) vorliegen.

Kontaktadresse:

Prof. Dr. Eva Hacker
Institut für Umweltplanung
Lehr- und Forschungsgebiet
Ingenieurbio-logie
Leibniz Universität Hannover
Herrenhäuser Strasse 2
D-30419 Hannover
Tel.: (0049) 0511-762/2697
Fax: (0049) 0511-762/3791

Gesellschaft für Ingenieurbio-logie e.V.
Eynattener Str. 24 F
D-52064 Aachen
E-Mail: info@ingenieurbio-logie.com

Vom Almweg über die Autobahn bis zur Eisenbahn – PRAXISFIBEL zur landschaftsschonenden Hang- und Böschungssicherung an Verkehrswegen

Florin Florineth

Zusammenfassung

Eine Arbeitsgruppe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV) hat im Zeitraum von zwei Jahren eine umfangreiche Praxisfibel zur landschaftsschonenden Hang- und Böschungssicherung erarbeitet. Ziel war die Minimierung von Eingriffen in die Landschaft durch entsprechende Planung, Trassierung und Ausführung, durch landschaftsschonende und ökologische Sicherungsbauweisen und durch entsprechende Pflege- und Erhaltungsmaßnahmen.

***D'un sentier de montagne à une autoroute et un chemin de fer
GUIDE PRATIQUE pour la stabilisation de pente et talus en adéquation avec le paysage pour les voies de communication***

Résumé

Un groupe de travail de la Fédération autrichienne pour la gestion de l'eau et des déchets (ÖWAV) a développé en deux ans un guide pratique complet pour la stabilisation de pente et talus en adéquation avec le paysage. L'objectif

était de minimiser les interventions sur le paysage grâce à une planification, un tracé et une exécution appropriés, par des mesures de protection en adéquation avec le paysage et l'écologie ainsi que des mesures d'entretien et de conservation appropriées.

***Dal sentiero sull'alpe, passando per l'autostrada per arrivare fino alla ferrovia
ABC della pratica per assicurare pendii e scarpate lungo vie di comunicazione in sintonia con il paesaggio***

Riassunto

Un gruppo di lavoro della ÖWAV (n.d.t.: «associazione austriaca per l'economia delle acque e dei rifiuti») ha elaborato nello spazio di due anni un vasto abbecedario della pratica per l'assicurazione in sintonia con il paesaggio di pendii e scarpate. L'obiettivo era di ridurre gli interventi nel paesaggio grazie a pianificazione, tracciati e costruzione mirati, tramite modi di costruire ecologici e rispettosi del pa-

esaggio, e attraverso adeguate misure di cura e manutenzione.

Folgende Personen haben an der Erstellung dieser Praxisfibel mitgewirkt:

Leiter der Arbeitsgruppe:

o. Univ.-Prof. Dr. Florin Florineth
Fett hervorgehoben finden Sie jene Personen, die für die Koordination der einzelnen Kapitel zuständig waren:

Kapitel 1: Funktionen von Verkehrswegeböschungen
DI Dr. Rosemarie Stangl, BOKU Wien/Sigmund Freud Privat Universität Wien

DI Jakob Grohmann,
RaumUmwelt Planungs-GmbH
DI Elke Spindler, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Ass.-Prof. Dr. Peter Englmaier,
UNI Wien, Gruppe Gewässerökologie

Kapitel 2: Planung von Verkehrswegen

DI Nathalie Wergles, ÖBB Infrastruktur-AG
DI Alexander Wandl, LACON OEG
Ass.-Prof. Dr. Peter Englmaier,
UNI Wien, Gruppe Gewässerökologie



Abb. 1: Eine vielfältige Saatgutmischung bringt auch eine vielfältige Vegetation, Forstweg in Südtirol.
Fig. 1: Un mélange de semences diversifiées est aussi à l'origine d'une végétation variée, chemin forestier au Tyrol du Sud.



Abb. 2: Die Bepflanzung eines Hoferschliessungsweges über Gargazon, Südtirol, bindet diesen voll in das Landschaftsbild eines Laubwaldes ein.
Fig. 2: La plantation d'un chemin «Hoferschliessung» à Gargazon, Tyrol du Sud, est parfaitement liée au paysage d'une forêt de feuillus.



Abb. 3: Der wenig landschaftsschonende Bau der Strasse Mühlbach-Meransen, Südtirol, hat grosse Wunden hinterlassen und bedingte grosse Anstrengungen für die Begrünung und Bepflanzung der offenen Stellen.

Fig. 3: La route Muhlbach-Meransen dans le Tyrol du Sud, peu en adéquation avec le paysage, a laissé de grandes cicatrices et a causé de grands efforts pour l'ensemencement et la végétalisation des espaces ouverts.



Abb. 4: Die Strasse Mühlbach-Meransen nach 35 Jahren

Fig. 4: La route Muhlbach-Meransen 35 ans après.



Abb. 5: Eine Riefenpflanzung an der neuen ICE-Strecke Würzburg-Kassel, Deutschland.

Fig. 5: Une plantation en striée sur la nouvelle ligne ICE Würzburg-Kassel en Allemagne.

Kapitel 3: Trassierung und Bau von Verkehrswegen

**DI Nathalie Wergles,
ÖBB Infrastruktur-AG**

OR DI Christian Amberger, FTD f. WLIV,
Sektion W, NÖ, Bgld.

Ass.-Prof. Dr. Peter Englmaier,
UNI Wien, Gruppe Gewässerökologie
HR DI Dr. Gernot Fiebiger,
Fiebiger Consulting
HR DI Jörg Heumader
HR DI Erich Liehr

DI Dr. Rosemarie Stangl, BOKU Wien /
Sigmund Freud Privat Universität Wien
DI Alexander Wandl, LACON OEG
DI Dr. Gerhard Zach, Stadtbaudirektion
Wien, Geschäftsstelle Infrastruktur

Kapitel 4: Einbindung in das ökosystemare Gefüge und das Landschaftsbild

**DI Alexander Wandl,
LACON OEG**

Ass.-Prof. Dr. Peter Englmaier,
UNI Wien, Gruppe Gewässerökologie
DI Dr. Rosemarie Stangl, BOKU Wien /
Sigmund Freud Privat Universität Wien

Kapitel 5: Beispiele von ingenieurbiologischen Sicherungsmassnahmen an Verkehrswegeböschungen **o.Univ.-Prof. Dr. Florin Florineth, BOKU Wien**

DI Dr. Rosemarie Stangl, BOKU Wien

Kapitel 6: Pflege und Erhaltung von Wege-, Strassen- und Eisenbahnböschungen

**DI Dr. Rosemarie Stangl,
BOKU Wien**

DI Elke Spindler, Bundesministerium für
Verkehr, Innovation und Technologie
DI Jakob Grohmann,
RaumUmwelt Planungs-GmbH
DI Nathalie Wergles,
ÖBB Infrastruktur-AG

Die Praxisfibel umfasst 132 Seiten und wird den TeilnehmerInnen der Ingenieurbiologischen Tagung gratis übergeben. Ich wünsche allen viel Freude beim Lesen und Anwenden.

Kontaktadresse:

Univ.-Prof. Dr. Florin Florineth
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Ingenieurbiologie und
Landschaftsbau
A-1190 Wien, Peter-Jordan-Str. 82
Tel. +43 1 47654-7300
Fax -7349
E-Mail: iblb@boku.ac.at



Abb. 6: Bau eines Hangrostes zur Sicherung der steilen bergseitigen Böschung am Almweg nach Oberplanegg, Südtirol.
 Fig. 6: Construction d'un treillis en bois pour la stabilisation d'une pente végétalisée à Almweg après Oberplanegg dans le Tyrol du Sud.



Abb. 7: Der bepflanzte Hangrost nach 3 Jahren.
 Fig. 7: Le treillis en bois végétalisé 3 ans après.



Abb. 8: Der bepflanzte Hangrost nach 19 Jahren.
 Fig. 8: Le treillis en bois végétalisé 19 ans après.



Abb. 9: Eine einwandige Holzkrainerwand zur Sicherung der begrünten Böschung am Almweg nach Oberplanegg, Südtirol, nach 19 Jahren.
 Fig. 9: Un mur de caisson en bois simple pour la stabilisation d'une pente végétalisée à Almweg après Oberplanegg dans le Tyrol du Sud, 19 ans après.



Abb. 10: Sicherung der Talschüttung für den Bau der Brennerautobahn am Ahrnberg durch Buschlagenbau, eine Pionierleistung von Hugo Meinhard Schiechtl, 1962 (Foto Schiechtl).
 Fig. 10: Consolidation du remblai pour la construction de l'autoroute du Brenner par la mise en place de lit de plançons à Ahrnberg, une œuvre pionnière par Hugo Meinhard Schiechtl en 1962 (photo Schiechtl).



Abb. 11: Die Talschüttung und der Buschlagenbau soeben abgeschlossen, 1962 (Foto Schiechtl).
 Fig. 11: Le remblai de talus et le lit de plançons venant d'être terminés en 1962 (photo Schiechtl).



Abb. 12: Nach 1 Jahr, 1963 (Foto Schiechl).
 Fig. 12: 1 an après en 1963 (photo Schiechl).



Abb. 13: Nach 8 Jahren, 1970 (Foto Schiechl).
 Fig. 13: 8 ans après en 1970 (photo Schiechl).



Abb. 14: Nach 26 Jahren, 1988 (Foto Schütz).
 Fig. 14: 26 ans après en 1988 (photo Schütz).



Abb. 15: Nach 35 Jahren, 1997 (Foto Schütz).
 Fig. 15: 35 ans après en 1997 (photo Schütz).



Abb. 16: Sicherung einer steilen bergseitigen Böschung des Zufahrtsweges zur Gadria/Schlanders, Südtirol, mit Blocksteinen aus der Umgebung, natürlicher Bewuchs und Hydrosaat nach 30 Jahren.
 Fig. 16: Consolidation d'une pente raide sur la route d'accès à Gadria/Silandro, Tyrol du Sud, avec des pierres en bloc de la région, une végétation naturelle et un ensemencement hydraulique 30 ans après.



Abb. 17: Böschungssicherung mit Drahtsteinkörben, die durch eine Bepflanzung während des Baues besser in die Landschaft passen würden. Strasse von Burgeis nach Schlinig, Südtirol.
 Fig. 17: Stabilisation de versant avec des gabions, qui s'adapteraient mieux au paysage durant les travaux s'ils étaient végétalisés. Route de Burgeis à Schlinig, Tyrol de Sud.

Begrünung von Steilböschungen – Erfahrungen aus der Praxis und aktuelle Forschungsergebnisse

Dipl.-Ing. Michael Obriejetan

Zusammenfassung

Die nachhaltig erfolgreiche Begrünung von Steilböschungen und extremen Standorten ist als aktuelle und mitunter sehr komplexe Herausforderung für die Ingenieurbiologie zu sehen. Neben technischen Möglichkeiten zur Errichtung von quasi senkrechten Sicherungskonstruktionen (z. B. Lärmschutzsteilwälle aus Bewehrter Erde) bestehen auch für das Fachgebiet der Begrünung eine Reihe moderner Ansätze und Umsetzungsmöglichkeiten. Vielfach muss bei sehr steilen Böschungen auf Hilfsmaterialien zurückgegriffen werden, die das Anwachsen und die Entwicklung der Vegetation fördern und gleichzeitig auch die Schutzfunktion gegenüber Erosion sicherstellen bzw. dem Ausspülen von Bodenmaterial entgegenwirken. Hinsichtlich des Wirkungsgefüges zwischen Pflanzen, (schwierigen) Standortverhältnissen und Hilfsstoffen gibt es jedoch noch Unsicherheiten und Forschungsbedarf. Der vorliegende Beitrag enthält einen Überblick über Begrünungsmöglichkeiten an Steilböschungen, wobei sowohl die Anforderungen an Begrünungen als auch die praktische Umsetzung bzw. die Anwachspflege erläutert werden. Ergänzend zu den Erfahrungen aus der Praxis sind auch ausgewählte Ergebnisse einer aktuellen Forschungsreihe am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau bezüglich der Wirkung von Hilfsstoffen dargestellt.

Keywords

Begrünung, Steilböschung, Erosionsschutz, Hydrosaat, Hilfsstoffe

Végétalisation des pentes raides Expériences pratiques et résultats de la recherche actuelle

Résumé

Le succès durable d'une végétalisation des pentes raides et des sites extrêmes

est considéré comme un défi actuel et parfois très complexe du génie biologique. En plus des possibilités techniques pour la construction de protection quasi-verticale (par exemple murs antibruit en terre renforcé), un certain nombre d'approches modernes et des options de mise en œuvre existent dans le domaine de la végétalisation. Dans de nombreux cas en présence de pentes raides, des matières auxiliaires sont nécessaires afin de favoriser la croissance et le développement de la végétation, tout en assurant la protection contre l'érosion ou en empêchant le rinçage des matériaux du sol. Il subsiste néanmoins encore des incertitudes et des besoins de recherche quant à l'effet de la microstructure entre les plantes pour des emplacements difficiles et des matières auxiliaires. Cet article donne un aperçu des possibilités de végétalisation sur les pentes raides, dans lequel sont discutés à la fois les exigences de reverdissement et la mise en œuvre pratique, respectivement les soins de croissance. En plus des expériences pratiques, des résultats sélectionnés sur une récente recherche de l'Institut pour le génie biologique et l'aménagement du paysage, ainsi que l'effet des moyens auxiliaires sont présentés.

Mots-clés

Végétalisation, pentes raides, protection contre l'érosion, semis hydrauliques, matériel auxiliaire

Inverdimento di pendii ripidi Esempi concreti e attualità dalla ricerca

Riassunto

Ottenere un inverdimento duraturo di pendii ripidi e siti estremi rappresenta una sfida molto complessa e d'attualità per l'ingegneria naturalistica. Oltre alle possibilità tecniche di costruire opere di protezione quasi verticali (p. es. «muri»

di protezioni contro il rumore in terra armata), esistono anche per il campo dell'inverdimento una serie di tecniche moderne e possibilità di applicazione. Spesso, di fronte a pendii molto ripidi, è necessario ricorrere all'aiuto di materiali che aiutano l'attecchimento e lo sviluppo della vegetazione, e che allo stesso tempo assicurano il terreno dall'erosione ed evitano che il suolo venga dilavato. Dal punto di vista delle interazioni tra piante, condizioni locali difficili e materiale ausiliario ci sono ancora incertezze e bisogno di più ricerca. Il presente articolo presenta una panoramica sulle possibilità d'inverdimento di pendii ripidi e illustra al contempo le necessità d'inverdimento come anche la realizzazione pratica e la cura dell'attecchimento. In aggiunta agli esempi concreti presenta inoltre risultati selezionati da una serie di ricerche attualmente in corso all'Istituto per l'ingegneria naturalistica e per l'architettura paesaggistica in merito all'efficacia di materiale ausiliario e coadiuvanti.

Parole chiave

Inverdimento, pendii ripidi, protezione contro l'erosione, idrosemia, materie ausiliarie

1. Einleitung

Durch den technischen Fortschritt der letzten Jahre, der die bauliche Umsetzung von immer steileren Sicherungskonstruktionen ermöglicht und die Entwicklung zahlreicher innovativer Begrünungshilfsstoffe bewirkte, stellt die Sicherung dieser Extremstandorte eine aktuelle ingenieurbiologische Herausforderung dar. Aufgrund der problematischen Standort- und Umweltbedingungen, die gemeinhin an steilen Böschungen vorherrschen (morphologisch, klimatisch, hydrogeologisch ...), bedarf es bei der Planung, Umsetzung und Pflege entsprechender Sicherungsmassnah-

men einer intensiven Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Standort bzw. den Möglichkeiten und Einsatzgrenzen ingenieurbioologischer Systeme.

Bei der Begrünung von derartigen Extremstandorten soll einerseits die sicherheitstechnische Funktion der Vegetation genutzt werden, andererseits spielen verstärkt auch naturschutzfachliche, ökonomische und ästhetische Funktionen und Anforderungen eine Rolle.

Durch die praktische Durchführung von Begrünungsmassnahmen an Steilböschungen und die gleichzeitige Forschung auf diesem Fachgebiet können entsprechende Begrünungsmassnahmen optimiert und die komplexen Zusammenhänge zwischen der lebenden Komponente (Vegetation) und technischen Hilfsmaterialien ergründet werden.

2. Anforderungen an Begrünungen

Je nach Anwendungszweck werden vielfältige Anforderungen an Begrünungen gestellt. Im Bereich von Infrastruktursystemen wie Autobahnen, Bahndämmen oder Lärmschutzsteilwällen ist insbesondere die rasche, kostengünstige und sichere Durchführung der Begrünungsmassnahmen als wesentliches Erfolgskriterium zu sehen. Das Erreichen der Begrünungsziele, die aus praktischer Sicht meist als Schutz vor oberflächennaher Erosion bzw. in der Erreichung

eines flächendeckenden und pflegeintensiven Bewuchses definiert sind, wird hierbei durch die Wahl einer dem Standort angepassten Begrünungsmethode bzw. die Verwendung entsprechender Begrünungsmaterialien sichergestellt. Dies setzt jedoch eine entsprechende Ausführungsplanung und ein adäquates Pflegemanagement zumindest während der ersten Vegetationsperioden voraus.

Um eine erfolgreiche und standortgerechte Begrünung zu erreichen, sind gemäss der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (ÖAG 2000, S. 12) u. a. folgende Kriterien zu beachten: Höhenlage, Exposition, Neigung, Niederschlagsverhältnisse, angrenzende Vegetation, Bodenbeschaffenheit, Funktion, Pflege und Folgenutzung.

3. Ansaatmethoden und Hilfsmaterialien

Für die Sicherung von mässig steilen Böschungen bis ca. 35° eignen sich prinzipiell die meisten Ansaatmethoden. An erosionsgefährdeten, sehr steilen bzw. schwierig zu begrünenden Standorten wie beispielsweise Reststoffdeponien oder Stützkonstruktionen aus «bewehrter Erde» werden vielfach technisch wirksame Hilfsstoffe eingesetzt. Die wesentlichen Vorteile bestehen einerseits in der sofortigen Wirkung als Erosionsschutz durch die Bodenbedeckung, andererseits werden das Aufkommen und Anwachsen der Jungpflanzen durch die

Schaffung mikroklimatisch günstiger Standortbedingungen gefördert. Neben dem Einsatz von klassischen Mulchmaterialien wie Stroh oder Heu gelten Geotextilprodukte aus Naturfasern wie Jute oder Kokos seit vielen Jahren als zuverlässige und wirksame Hilfsstoffe für Begrünungsmassnahmen. Abhängig von den zu erwartenden Belastungen am jeweiligen Standort und der geplanten Dauer der Funktionserfüllung können hierbei Gewebeprodukte, Fasermatten oder Spezialsysteme wie kunststoffverstärkte Erosionsschutzmatten, Geomatten aus Polypropylen-Wirragelege oder 3-D-Strukturgittersysteme aus Stahl zum Einsatz kommen.

Hinsichtlich der Begrünungstechnik erweist sich das Hydrosaat-Verfahren an steilen Flächen gegenüber anderen Methoden (Trockensaat, Mulchsaaten, Direktbegrünung) als vorteilhaft und wird bereits seit mehreren Jahrzehnten für ingenieurbioologische Sicherungsmassnahmen eingesetzt. Durch die Möglichkeit, mehrere Komponenten wie Erosionsschutzfasern, Saatgut, Düngemittel, Kleber, Mykorrhizapilze etc. in einem Arbeitsgang auf die zu begrünende Fläche aufzubringen und die Begrünungssuspension speziell auf die jeweiligen Standortverhältnisse abzustimmen, ergeben sich bei der Begrünung von Extremstandorten aus sicherungstechnischer bzw. ökonomischer Sicht deutliche Vorteile. Zudem sind gebrauchsfertig abgemischte Hydrosaatprodukte



Abb. 1: Erosionsschutzgewebe aus Kokosfasern (ca. 700 g/m²).

Fig. 1: Tissu de protection contre l'érosion en fibre de noix de coco (700g/m²).



Abb. 2: Erosionsschutzfasern aus Cellulose für Hydrosaat.

Fig. 2: Fibres de protection contre l'érosion en cellulose pour les semis hydrauliques.



Abb. 3: Mischen der Komponenten im Hydroseeder.
Fig. 3: Mélange des composants dans un hydroseeder.



Abb. 4: Begrünungsmischung kurz vor dem Auftragen.
Fig. 4: Mélange de végétalisation peu avant son application.



Abb. 5: Detail der Bewehrte-Erde-Konstruktion unmittelbar nach der Begrünung.
Fig. 5: Détail de la structure de terre renforcée immédiatement après la plantation.



Abb. 6: Anwuchsergebnis 7 Wochen nach der Ansaat.
Fig. 6: Résultat de croissance 7 semaines après le semis.

erhältlich, die aus eingefärbten Erosionsschutzfasern, Klebstoffen und Hilfsstoffen bestehen und als sog. Bonded-Fiber-Matrix (BFM) mit Wasser und Saatgut vermischt aufgetragen werden können. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen häufig verwendete Hilfsstoffe für Begrünungsmassnahmen an schwierigen Standorten:

4. Technische Ausführung und Anwuchspflege

Wie bereits erläutert, ist die die Technik der Hydrosaat (auch: Nassansaat, Anspritzbegrünung), aus Praxissicht, die aktuell am häufigsten verwendete Begrünungsmethode an Steilböschungen und lässt sich im Regelfall sehr gut mit Geotextilien kombinieren. Das Saatgut wird in einem speziellen Begrü-

nungsgerät (Hydroseeder) mit Wasser und diversen Hilfsstoffen vermischt und gleichmässig auf die zu begrünenden Flächen gespritzt. Die Suspension muss während des Begrünungsvorgangs durch ein Rührwerk im Hydroseeder ständig gut durchmischt werden, wobei das Saatgut am Schluss zur Mischung hinzugefügt wird.

Die Aufwandsmengen für eine Hydrosaat müssen an die jeweiligen Standortverhältnisse angepasst werden und können je nach Böschungsneigung, Bodenstruktur oder topographischen Verhältnissen starken Schwankungen unterliegen. Als grobe Richtwerte für die Begrünung von Steilwandsystemen können folgende Mengenangaben herangezogen werden:

- Wasser 1,5–2 l/m²
- standortgerechtes Saatgut 10–25 g/m²
- Erosionsschutzfasern, Cellulose, sehr kurzes Stroh, Grasfasern 50–150 g/m²
- organischer Dünger 50–100 g/m²
- Klebstoff 15–30 g/m²
- Kompost, Oberboden, Mykorrhizapilz-Präparat nach Anforderungen

Bei der Verwendung gebrauchsfertiger Hydrosaatmischungen wie BFM-Produkten sind hinsichtlich der Mengen die Herstellerinformationen zu beachten. Durchschnittliche Aufwandsmengen an extremen Standorten belaufen sich auf ca. 450 g/m². Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die wichtigsten



Abb. 7: Untersuchungen am Keimapparat zum Einfluss von Saatgutvorbehandlung.
 Fig. 7: Recherches à l'aide d'un germoir sur l'influence du prétraitement des semences.

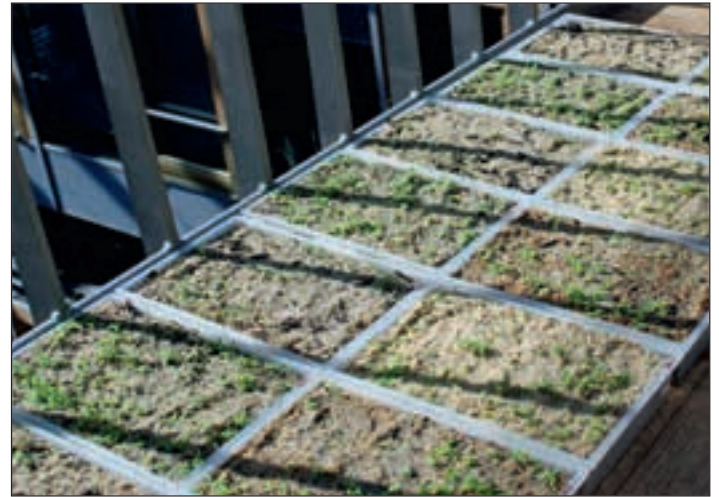


Abb. 8: Ansaattests zum Einfluss verschiedener Begrünungshilfsstoffe auf die Vegetationsentwicklung (Foto: Dopler, 2014).
 Fig. 8: Tests d'ensemencement sur l'influence de différents matériels auxiliaires de végétalisation pour le développement de la végétation (photo: Dopler, 2014).

Schritte bei der Begrünung eines Steilwalls in Bewehrte-Erde-Konstruktion:

Zur Bestandsentwicklung an Steilböschungen sind im Anschluss an die Begrünungsmassnahmen in der Regel Pflegemassnahmen erforderlich. Hierbei sind die Bewässerung im Initialstadium und evtl. notwendige Pflegeschnitte bei Aufkommen von unerwünschter Ruderalvegetation als wichtigste Massnahmen hervorzuheben. Viele unerwünschte Beikräuter bzw. Ruderalpflanzen sind einjährig und konkurrenzstark, jedoch meist wenig schnittverträglich und können durch einen (wiederholten) Reinigungsschnitt dauerhaft beseitigt werden. Bei lückiger Vegetationsentwicklung können zudem Nachsaaten für eine flächendeckende Vegetationsentwicklung notwendig sein.

5. Untersuchungen in Kleinversuchen

Im Rahmen einer aktuellen Versuchsreihe, durchgeführt am Institut für Ingenieurbio-logie und Landschaftsbau an der BOKU Wien, werden verschiedene Begrünungshilfsstoffe wie z. B. Geotextilien, Düngemittel, BFM, Kompost oder Mykorrhiza-Präparate hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Entwicklung von Jungpflanzen in Kleinversuchen untersucht. Ergänzend hierzu werden zudem verschiedene Arten der Vorbehandlung von Saatgut wie z. B. Hydropriming, Osmopriming oder Biopriming bzw. deren Einfluss auf die Keimfähigkeit und Entwicklungszeit ausgewählter Pflanzenarten erforscht.

Das Ziel der Untersuchungsreihe ist, den Einsatz unterschiedlicher Komponenten

bzw. Begrünungs- und Saatgutmischungen hinsichtlich der praktischen Anwendung quantitativ und somit ökonomisch zu optimieren und gleichzeitig eine optimale Entwicklung der Vegetation sicherzustellen. Für die Quantifizierung des Einflusses der Systeme bzw. Behandlungsarten wurden der Deckungsgrad der Vegetation, die Biomasseproduktion bzw. die Keimfähigkeit von Pflanzensamen und deren Entwicklung im Initialstadium erhoben.

5.1. Ausgewählte Ergebnisse zur Wirkung von Hilfsstoffen

Die Auswertungen der Untersuchungen zeigen, dass die Zugabe von Kompost bzw. Mykorrhiza-Präparaten gegenüber der reinen Ansaat ohne Hilfsstoffe einen deutlich positiven Effekt auf die Vegetationsentwicklung in einem frü-

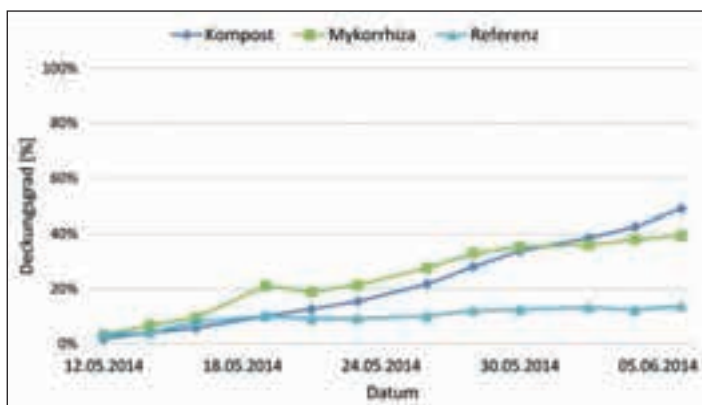


Abb. 9: Untersuchungen am Keimapparat zur Vorbehandlung von Saatgut.
 Fig. 9: Recherches à l'aide d'un germoir sur le prétraitement des semences.

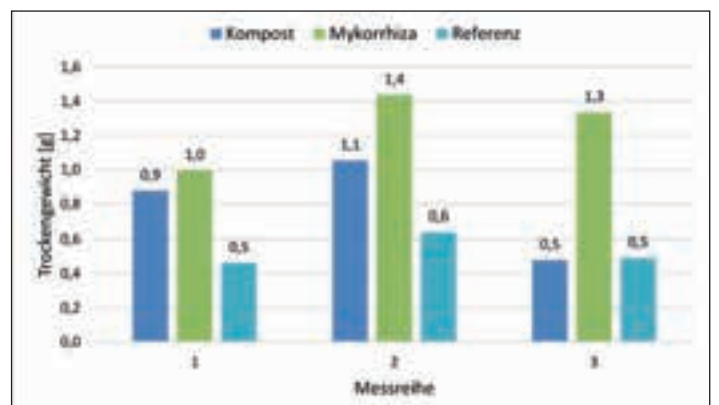


Abb. 10: Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Begrünungshilfsstoffe auf die Vegetationsentwicklung.
 Fig. 10: Recherches sur l'influence de différents matériels auxiliaires de végétalisation pour le développement de la végétation.

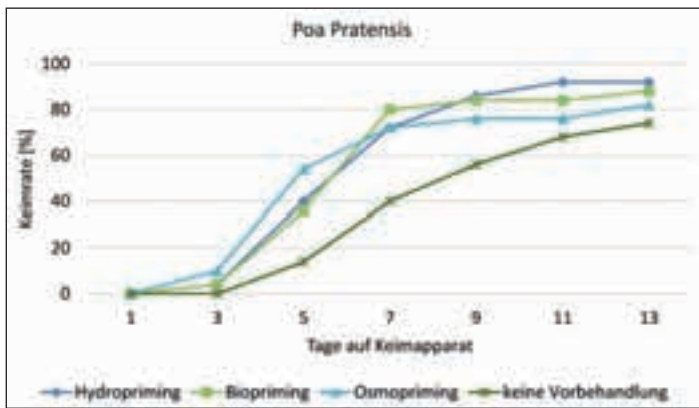


Abb. 11: Ergebnisse der Saatgutvorbehandlung bei Wiesen-Rispengras (*Poa pratensis* L.).

Fig. 11: Résultats du prétraitement des semences avec le pâturin des prés (*Poa pratensis* L.).

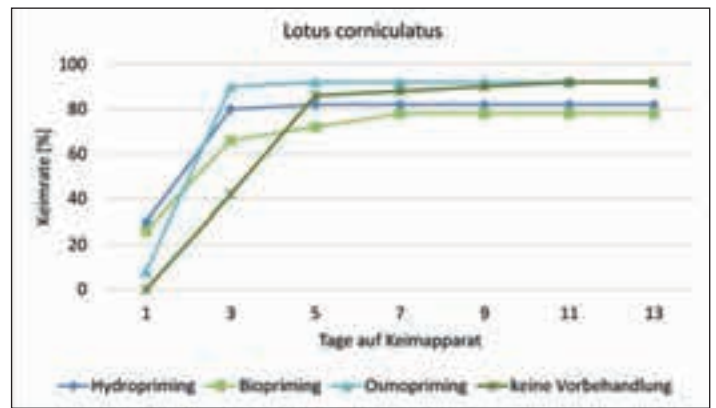


Abb. 12: Ergebnisse der Saatgutvorbehandlung bei Gew. Hornklee (*Lotus corniculatus* L.).

Fig. 12: Résultats du prétraitement des semences avec le lotier corniculé (*Lotus corniculatus* L.).

hen Stadium nach der Aussaat aufweist (Dopler, 2014). Bei der Betrachtung der mittleren Deckungswerte aus jeweils vier Versuchsbehältnissen zeigt sich nach einer Entwicklungszeit von 18 Tagen bei der Variante mit Mykorrhiza-Präparat ein Deckungswert von 35,3%, bei der Kompost-Variante ein Wert von 33,8% und bei den Referenzflächen ein Deckungsgrad von 12,4% (vgl. Abb. 9). Hinsichtlich der oberirdischen Biomasseproduktion weisen die Varianten mit Zugabe von Mykorrhiza in allen Wiederholungen die höchsten Biomassewerte (Trockengewicht) auf (vgl. Abb. 10).

5.2. Ausgewählte Ergebnisse zur Saatgutvorbehandlung

Die Ergebnisse zur Saatgutvorbehandlung zeigen einerseits ein erhöhtes Keimvermögen und andererseits eine reduzierte Keimdauer der untersuchten Samen, variieren jedoch hinsichtlich der untersuchten Pflanzenarten (Bolitschek, 2014). In den Abbildungen 11 und 12 sind die Daten der Keimversuche dargestellt und zeigen, dass die Saatgutvorbehandlung mit Hydro-, Bio- bzw. Osmopriming die Keimraten der Samen in einem frühen Stadium gegenüber den Varianten ohne Vorbehandlung erhöhen kann. Die früher einsetzende Keimung und das Hervorbringen einer grösseren Anzahl von gesunden Keimlingen durch Vorbehandlung von Saatgut sind aus ingenieurbioologischer Sicht als potenziell entscheidender Vorteil für eine erfolgreiche Umsetzung von Begrünungsmassnahmen zu sehen.

6. Schlussbemerkungen und Ausblick

Aufgrund der praktischen Erfahrungen bei der Begrünung von Steilböschungen bzw. der Ergebnisse aus den weiterführenden Untersuchungen in Kleinversuchen lässt sich zusammenfassend festhalten, dass sowohl der Einsatz von entsprechenden Begrünungstechniken als auch die Qualität der eingesetzten Materialien bzw. die fachgerechte Umsetzung und Pflege als wesentliche Erfolgskriterien zu sehen sind. Jedoch besteht hinsichtlich des erwarteten Zeitraums bis zur Ausbildung einer flächigen Vegetationsbedeckung und der Etablierung eines nachhaltig stabilen, standortgerechten Pflanzenbestands an Extremstandorten, die oft mehrere Vegetationsperioden in Anspruch nehmen kann, eine deutliche Diskrepanz.

Durch die kontinuierliche Erforschung der komplexen Zusammenhänge zwischen standörtlichen Gegebenheiten, Hilfsmaterialien und der Vegetation wird versucht, die Systemeigenschaften bzw. Komponenten hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit bzw. des Ressourceneinsatzes zu optimieren und den Begrünungserfolg nachhaltig sicherzustellen.

7. Literatur

Bolitschek, B. 2014. Versuche zur Saatgutvorbehandlung mit Hydro-, Osmo- und Biopriming. Bakk.-Arbeit, BOKU Wien.

Dopler, A. 2014. Der Einfluss von Bodenhilfsstoffen auf die Keimung und Entwicklung von Saatgut. Bakk.-Arbeit, BOKU Wien.

ÖAG – Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau 2000. Richtlinien für standortgerechte Begrünungen – ein Regelwerk im Interesse der Natur. BAL-Gumpenstein, Irdning.

Kontaktadresse:

Dipl.-Ing. Michael Obriejetan
 Universität für Bodenkultur Wien
 Institut für Ingenieurbioogie und Landschaftsbau
 Peter-Jordan-Strasse 82, 1190 Wien
 Tel.: +43 (0)1 / 47654-7322
 E-Mail: michael.obriejetan@boku.ac.at

Begrünung von senkrechten Spritzbetonmauern im Rahmen des Forschungsprojekts «GreenWall» in Tirol

Alexandra Medl

Zusammenfassung

Spritzbetonmauern beherbergen neben dem primären Zweck der Stabilitäts-sicherung an Verkehrsinfrastrukturen auch ein erhebliches Potenzial im Hinblick auf Landschaftsästhetik und mikroklimatische Aspekte. Im Rahmen des Forschungsprojekts «GreenWall» soll die Begrünung derartiger technischer Bauwerke untersucht werden, wobei die Bewertung von Systemaufbau und Wirkungskomplex aus Vegetationsentwicklung und Mikroklima im Fokus stehen. Die im Zuge der Forschung gewonnenen Ergebnisse sollen in weiterer Folge die Grundlage für die Erstellung von Bau-, Pflege- und Instandhaltungskonzepten bilden.

Keywords

Ingenieurbiologie, Spritzbetonmauer, Mikroklima, Vertikalbegrünung, Landschaftsästhetik,

Végétalisation de parois verticales en béton projeté dans le cadre du projet de recherche «GreenWall» au Tyrol

Résumé

Les parois verticales en béton projeté possèdent à côté de l'objectif princi-

pal de stabilité dans les infrastructures de transport également un potentiel considérable en termes d'esthétique du paysage et des aspects microclimatiques. Dans le cadre du projet de recherche «GreenWall» au Tyrol, la recherche se concentre sur la végétalisation de ces structures techniques, avec une attention particulière sur l'évaluation du système et l'exploitation du développement complexe de la végétation et du microclimat. Les résultats obtenus au cours de cette recherche doivent par la suite servir de base à la préparation des concepts de construction, de soins et d'entretien.

Mots-clés

Génie biologique, mur de béton projeté, microclimat, végétalisation verticale, esthétique du paysage

Inverdimento di muri in calcestruzzo spruzzato nell'ambito del progetto di ricerca «GreenWall» in Tirolo

Riassunto

Accanto alla funzione primaria di assicurare la stabilità dell'infrastruttura dei trasporti, i muri in calcestruzzo spruzzato hanno un notevole potenziale dal punto di vista del paesaggio e del

microclima. L'inverdimento di questo tipo di opere tecniche verrà esaminato nell'ambito del progetto di ricerca «GreenWall». Particolare attenzione sarà data alla costruzione dell'opera e all'interazione tra evoluzione della vegetazione e microclima sviluppatosi. In un secondo passo i risultati ottenuti durante la ricerca faranno da base di riferimento per lo sviluppo di linee guida per la posa, cura e manutenzione.

Parole chiave

Ingegneria naturalistica, muri in calcestruzzo spruzzato, microclima, inverdimento verticale, paesaggistica

1. Einleitung

Beim Projekt «GreenWall» geht es um die nachhaltige Begrünung von Spritzbetonmauern und die Quantifizierung der Leistungsfähigkeit von vertikalen Begrünungssystemen an diesen Extremstandorten, insbesondere hinsichtlich ihres biologischen und mikroklimatischen Potenzials.

Steilwälle in Form von Spritzbetonmauern werden entlang von Verkehrsinfrastrukturen errichtet, um den zur Gewährleistung einer ausreichenden Hangstabilität benötigten Platzbedarf möglichst gering zu halten.



Abb. 1: Spritzbetonmauern am Forschungsstandort in Steinach am Brenner, Tirol (Quelle: Florineth, 2013).

Fig. 1: Paroi en béton projeté sur le site de recherche à Steinach am Brenner, Tyrol (source: Florineth, 2013).



Abb. 2: Übersichtsfoto des Forschungsstandorts im Bereich Plon in Steinach am Brenner an der Brennerautobahn (Quelle: BBT-SE, 2011).

Fig. 2: Aperçu du site de recherche dans le secteur Plon à Steinach am Brenner sur l'autoroute du Brenner (source: BBT-SE, 2011).

Derartige Infrastrukturelemente beherbergen neben ihrer notwendigen technischen Funktionalität der Standsicherheit auch ein landschaftsästhetisches und mikroklimatisches Potenzial. Durch die Kombination der technischen Bauwerke mit biologischen Komponenten in Form einer vertikalen Begrünung kann dieses vorhandene Potenzial voll ausgeschöpft werden. «GreenWalls» sind durch ihre Eingliederung in die Landschaft eine Bereicherung des Landschaftsbildes und leisten einen nachhaltig positiven Beitrag zur Klimawandelanpassung. Die lokal extremen Klimabedingungen machen es im Hinblick auf eine Begrünung derartiger Mauern dabei zu einer Herausforderung, geeignete Vegetationsstrukturen zu initiieren und diese trotz starker Beanspruchung nachhaltig und kostenintensiv zu etablieren.

2. Zielsetzung

Das primäre Ziel des Forschungsprojekts, neben einer in einem angemessenen Zeitraum zu erreichenden Begrünung der Bauwerke durch eine nachhaltig stabile Vegetation, ist es, die sich durch die Begrünung ergebenden mikroklimatischen Parameter zu quantifizieren. Wesentliche Voraussetzung dafür ist eine im Detail abgestimmte Planung des Systemaufbaus hinsichtlich des Bodens, des Saatguts und des technischen Systems.

Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse über die mikroklimatische Leistungsfähigkeit einer «grünen Wand» sollen in weiterer Folge zur Erstellung von Bau-, Pflege- und Instandhaltungskonzepten dienen.

3. Forschungsstandort

Die Versuche werden im Auftrag der Brennerbasistunnel-Gesellschaft an Spritzbetonmauern in Tirol im Bereich Plon in Steinach am Brenner durchgeführt.

Auf der für die Forschung vorgesehenen Spritzbetonmauer werden zwei verschiedene Begrünungssysteme zur Anwendung kommen. Dabei wird zum einen ein Drahtnetz verwendet, welches als Wuchshilfe für Kletterpflanzen dienen wird, zum anderen wird ein 3-D-Stahlgittersystem eingesetzt, welches nach der Montage am Bauwerk mit Grob- und Feinmaterial verfüllt wird.

Insgesamt werden dabei drei verschiedene Sorten Grobmaterial getestet, unter anderem ein ziegelhaltiges Recycling-Hochbaumaterial. Bei den beiden anderen Materialien handelt es sich auf Wunsch der Brennerbasistunnel-Gesellschaft um Tunnelausbruchsmaterial (Quarzphyllit und Bündner Schiefer). Das Ziel dabei ist, festzustellen, ob eine Wiederverwertung des Ausbruchsmaterials möglich ist. Anschliessend erfolgt

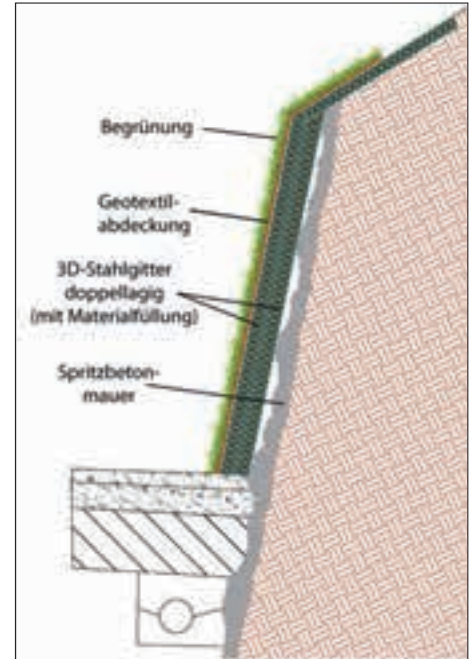


Abb. 3: Schematische Darstellung einer vertikalen Begrünung der Spritzbetonmauer durch das 3-D-Stahlgittersystem.

Fig. 3: Représentation schématique d'une végétalisation verticale de la paroi de béton projeté par le système de grille d'acier 3D.

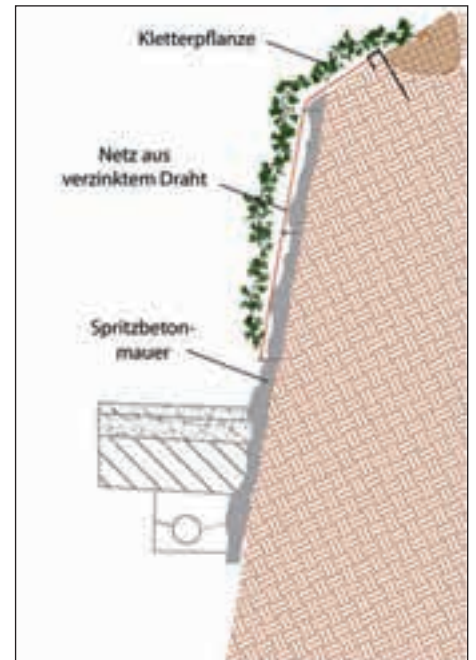


Abb. 4: Schematische Darstellung einer vertikalen Begrünung der Spritzbetonmauer durch Kletterpflanzen inkl. Drahtnetz als Wuchshilfe.

Fig. 4: Représentation schématique d'une végétalisation verticale de la paroi de béton projeté avec des plantes grimpantes, y compris treillis métallique comme aide à la croissance.

die Begrünung der Fläche durch das Aufbringen einer Hydrosaat, wobei beim Erstellen der Saatgutmischung grösster Wert auf eine möglichst hohe Biodiversität gelegt wird. Zusätzlich er-



Abb. 5: Verlegte Gitterpaneele des 3-D-Stahlgitters mit Befestigung (links) und bereits mit Bodenmaterial verfüllter Aufbau (rechts) (Quelle: Fa. KRISMER, 2010).
 Fig. 5: Panneaux décalés de treillis d'acier 3D avec fixation (à gauche) et structure du sol déjà remplies (à droite) (source: Fa. Krismer, 2010).



Abb. 6: Spritzbetonmauer im Ausgangszustand (links) und visualisiert nach einer Begrünung mit dem 3-D-Stahlgittersystem (rechts) (Quelle: Florineth, 2013; bearbeitet durch: Medl, 2013).
 Fig. 6: Paroi en béton projeté à l'état initial (à gauche) et visualisée après la végétalisation avec le système de grille en acier 3D (à droite) (source: Florineth, 2013; édité par: Medl, 2013).



Abb. 7: Spritzbetonmauer im Ausgangszustand (links) und visualisiert nach einer Begrünung mit Kletterpflanzen (rechts) (Quelle: Florineth, 2013; bearbeitet durch: Medl, 2013).
 Fig. 7: Paroi en béton projeté à l'état initial (à gauche) et visualisée après la végétalisation avec plantes grimpantes (à droite) (source: Florineth, 2013; édité par: Medl, 2013).

folgt eine Abdeckung der Flächen durch vier verschiedene Geotextilien, welche sich in Material und Textur voneinander unterscheiden.

Der Fokus der Forschung liegt dabei auf dem 3-D-Stahlgittersystem, die Drahtnetzvariante dient nur zum generellen Vergleich der mikroklimatischen Parameter zwischen den beiden Systemen und wird hinsichtlich der Materialauswahl nicht variiert.

4. Monitoring

Um Aussagen über die Entwicklung der Vegetationsstruktur auf Versuchsflächen mit unterschiedlichen Bodensubstraten, die Artenzusammensetzung der Vegetation sowie die mikroklimatischen Unterschiede zwischen einer «konventionellen» Spritzbetonmauer und einer

«grünen» Spritzbetonmauer treffen zu können, wird nach dem Bau der Versuchsflächen im Frühjahr 2015 ein umfassendes, über drei Jahre laufendes Monitoringprogramm durchgeführt.

Im Zuge dessen wird die Vegetationsentwicklung untersucht und mit Hilfe eines installierten Messsetups werden laufend relevante mikroklimatische und bodenphysikalische Parameter erhoben. Die Dokumentation der Vegetation erfolgt mittels Bonituraufnahmen, im Rahmen deren Vitalität und Anwuchs, Deckungsgrad, Artenzusammensetzung und Biomasse untersucht werden. Um Aussagen über die Veränderung des Mikroklimas zwischen begrünten und unbegrünten Spritzbetonmauern treffen zu können, werden durch die vor Ort installierte Messtechnik Niederschlag,

Windstärke, Strahlung, Lufttemperatur und -feuchtigkeit, Bodentemperatur und -feuchtigkeit, Abfluss, Wärmedurchfluss und Thermographie an begrünten Flächen und unbegrünten Referenzflächen gemessen. Dieselben Untersuchungen werden an einer mit dem Drahtnetzsystem begrünten Mauer durchgeführt.

Kontaktadresse:

DI Alexandra Medl
 Universität für Bodenkultur Wien
 Department für Bautechnik und Naturgefahren
 Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
 Peter-Jordan-Strasse 82, A-1190 Wien
 E-Mail: alexandra.medl@boku.ac.at



Auf die Wurzeln kommt es an...

Samen und Pflanzen für die Hangsicherung zusammengestellt nach Wurzelprofilen und Erosionsschutzwirkung.

Objektbesichtigung kostenlos
 Lieferung ganze Schweiz und EU



schutz filisur
 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

Geotechnische Massnahmen zur Sicherung von Deponieböschungen am Beispiel Rautenweg, Wien

Franz Aschauer, Hans-Peter Rauch, Karl Reiselhuber, Peter Brandstätter

Zusammenfassung

Ein interdisziplinäres Projektteam aus den Fachgebieten Ingenieurbiologie (BOKU, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau) und Geotechnik (Baugrund Wien Ingenieurgesellschaft mbH) hat in Zusammenarbeit mit der Deponie Rautenweg ein Konzept für die Rekultivierung der Böschungen und Bermen eines Deponiekörpers erarbeitet. Das Konzept basiert auf den Erkenntnissen aus der Errichtung und dem Monitoring mehrerer Versuchsböschungen (Länge bis zu 200 m, Höhe bis zu 10 m) auf der Deponie Rautenweg. Primäres geotechnisches Ziel war es, eine bei 1:1,5 geneigten Böschungen standsichere Rekultivierungsmischung mit einer Mächtigkeit von ca. 2 m (normal auf die Böschung gemessen, das bedeutet eine «horizontale» Mächtigkeit von ca. 3 m) zu entwickeln, den Einbau zu optimieren und dafür ein geotechnisches Qualitätssicherungssystem zu definieren. Die ingenieurbiologische Zielsetzung lag in der Entwicklung einer Böschungs- und Bermenbegrünung, die extensiv bewirtschaftet werden kann, nachhaltig die Böschung im oberflächennahen Bereich geotechnisch sichert und sich mit dem äusseren Erscheinungsbild in das umgebende Landschaftsbild einfügt.

In diesem Bericht wird die Erfordernis der Heranziehung von schluffigem, stark kiesigem Sand bis sandigen, stark schluffigen Kies als Rekultivierungsmaterial erläutert. Der lagenweise annähernd horizontale Einbau der Rekultivierung wird in Abhängigkeit von den teilweise eingeschränkten Platzverhältnissen, die aus der Anbindung der bestehenden Asche-Schlacke-Betonböschung resultieren, dargelegt und dabei werden effiziente Baugeräteinsätze betrachtet. Den Abschluss bildet das geotechnische Qualitätssicherungssystem aus Feld- und Laborversuchen zur Ermittlung der Homogenität, der Dichte, der Scherparameter und der Tragfähigkeit der Rekultivierungsmischung.

Keywords

Deponieranddammgestaltung, Rekultivierungsmischung, Einbauoptimierung, geotechnisches Qualitätssicherungssystem

Mesures géotechniques pour la consolidation des talus de décharge à l'exemple du Rautenweg, Vienne

Résumé

Une équipe de projet interdisciplinaire dans les domaines du génie biologique (BOKU, Université pour la culture des sols à Vienne) et géotechnique (Baugrund Wien Ingenieurgesellschaft mbH) a développé un concept pour la remise en état des pentes et des bermes d'une décharge Rautenweg. Le concept est basé sur les résultats de la mise en place et le suivi de plusieurs pentes expérimentales (longueur jusqu'à 200 m, hauteur jusqu'à 10 m) à la décharge de Rautenweg. L'objectif géotechnique principal était de développer un mélange sûr de remise en état pour une inclinaison de 1:1,5 avec une épaisseur d'environ 2 m (mesurée perpendiculairement à la pente, ce qui signifie une épaisseur «horizontale» d'environ 3 m), d'optimiser l'installation et de définir un système afin d'assurer la qualité géotechnique. L'objectif de génie biologique était le développement d'une végétalisation de pentes et de bermes pouvant être exploitée de manière extensive, protégeant durablement la pente et s'adaptant au paysage environnant.

Dans cet article, la nécessité de recourir au sable limoneux et fortement graveleux, ainsi qu'à du gravier fortement sablonneux et limoneux est expliquée. La situation sensiblement horizontale des restaurations des sols est présentée en fonction de l'espace limité résultant de l'intégration du remblai fait de cendre,

de crasse et de béton existant en considérant l'engagement d'équipement efficace. Il en résulte au final un système géotechnique d'assurance de la qualité issu des tests sur le terrain et en laboratoire pour déterminer l'homogénéité, la densité, les paramètres de cisaillement et la durabilité du mélange de restauration de la végétalisation.

Mots-clés

Consolidation des talus de décharge, mélange de restauration, optimisation équipée, système d'assurance de la qualité géotechnique

Metodi basati sulla geotecnica per assicurare pendii di discariche - l'esempio Rautenweg a Vienna

Riassunto

Un gruppo di progetto interdisciplinare composto da specialisti del campo dell'ingegneria naturalistica (BOKU, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau) e della geotecnica (Baugrund Wien Ingenieurgesellschaft mbH) ha sviluppato insieme ai responsabili della discarica Rautenweg un progetto per rinverdire versanti e berme di un corpo della discarica. Il concetto si basa su risultati ottenuti dalla costruzione e dal monitoring di diversi versanti di prova sulla discarica Rautenweg (lunghezze fino a 200 metri, fino a 10 metri di altezza). L'obiettivo primario dal punto di vista geotecnico era di ottenere una miscela di rinverdimento stabile, con uno spessore di circa 2 m per un versante con una pendenza di 1:1,5 (spessore misurato sul pendio, quindi con uno spessore «orizzontale» di ca. 3 m). Inoltre si voleva ottimizzare il processo di costruzione e definire un sistema di garanzia di qualità geotecnica. L'obiettivo dal lato dell'ingegneria naturalistica era di sviluppare un in-

verdimento per versanti e berme che possa essere sfruttato estensivamente, stabilizzi permanentemente il pendio nella zona superficiale e che s'integri nel paesaggio circostante.

In questo rapporto viene illustrata la necessità di utilizzare sabbia ghiaiosa fino a ghiaia sabbiosa finissime come materiale di ricoltivazione. Viene inoltre descritta la posa quasi orizzontale del materiale di ricoltivazione, la quale si effettua con l'uso di macchinari edili e dipende dallo spazio in parte limitato derivante dal collegamento al preesistente pendio in materiale misto di cenere, loppa e calcestruzzo. Infine viene presentato il sistema di garanzia di qualità geotecnica, composto da test sul posto e in laboratorio per determinare omogeneità, densità, parametri di taglio e forza portante della miscela usata per la ricoltivazione.

Parole chiave

Aspetto dei bordi di una discarica, miscela di ricoltivazione, ottimizzazione della costruzione, sistema di garanzia di qualità geotecnica

1. Einleitung

Die aus den stabilisierten Verbrennungsrückständen (dem sogenannten Asche-Schlacke-Betonkörper) bestehenden Randdämme der Deponie Rautenweg sollen mit einer Oberflächenabdeckung versehen werden, die der Deponieverordnung 2008 entspricht, möglichst dauerhaft begrünt ist und sich landschaftsästhetisch einfügt. Derzeit sind die Asche-Schlacke-Betonkörper mit einer temporären Oberflächenabdeckung – einer wenige Dezimeter starken Mutterbodenschicht – bedeckt.

Ein oberflächenparalleles Aufbringen einer standsicheren Rekultivierungsschicht ist bei Neigungen der Asche-Schlacke-Betonkörper von 1:1,5 nur mit umfangreichen Sondermassnahmen möglich. Bei diesen Neigungen besteht die Gefahr, dass durch den böschungparallelen lagenweisen Einbau böschungsparelle Gleitflächen – speziell zwischen der Rekultivierungsschicht und dem gering durchlässigen Asche-Schlacke-Betonkörper – vordefiniert werden.

Nachfolgend werden die geometrischen Randbedingungen einer für diese Deponie entwickelten Rekultivierungsmischung dargestellt, der Einbau detailliert beschrieben und ein geotechnisches Qualitätssicherungssystem abgeleitet. Es wird auch an Feldversuchen verdeutlicht, dass wirtschaftlich vertretbare Lösungen bei der nachhaltigen Sicherung von 1:1,5 geneigten Rekultivierungsschichten nur durch die Zusammenarbeit der Disziplinen Geotechnik und

niebaues dargestellt, daraus ergibt sich eine resultierende Neigung von 22°, die Neigung der einzelnen Randdämme beträgt an der Aussen- und Innenseite 1:1,5 (33,7°). Die Bermenbreite beträgt durchgehend 7 m, die Höhe der einzelnen Randdämme wird mit etwa 8 m und einer höhenmässigen Überschneidung von 2 m ausgeführt, d.h., die Höhendifferenz der einzelnen Bermen beträgt etwa 6 m.

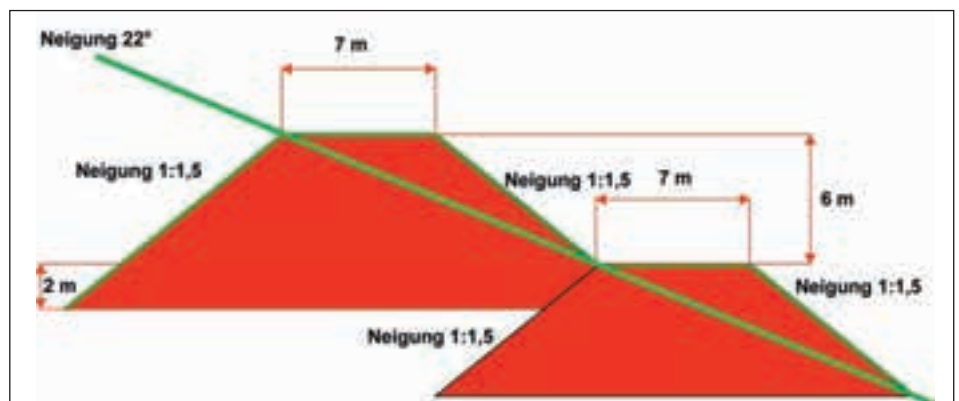


Abb. 1: Ausbildung der Randdammgeometrie bei einer resultierenden Neigung von 22°.
Fig. 1: Construction de la géométrie du talus avec une inclinaison de 22°.

Ingenieurbilogie erzielt werden können. Die ingenieurbilogischen Aspekte dieser Feldversuche werden detailliert von Hörbinger et. al in diesem Heft betrachtet.

2. Ausgangssituation

Die Stadt Wien, Magistratsabteilung 48, betreibt im 22. Bezirk die Deponie Rautenweg. Diese wird zum Schutz des Grundwasserkörpers von einem vertikalen Dichtsystem (Umschliessung in Form zweier parallel laufender Dichtwände bis zum Grundwasserstauer) umschlossen. Der Deponiekörper ist durch eine Verstärkung der Aussenseiten mit sogenannten Randwällen aus Asche-Schlacke-Betonkörpern gekennzeichnet. Innerhalb dieser Randwälle befindet sich der Müllkörper, seit dem 1. Januar 2009 werden nur mehr die aufbereiteten Verbrennungsrückstände eingebaut.

2.1 Bisherige Randdammausbildung mit einer resultierenden Neigung von 22°

In Abbildung 1 ist die bisher gängige und genehmigte Ausführung des Depo-

Die gesamte Ostseite wurde bereits mit den sogenannten Asche-Schlacke-Betonkörpern bis auf eine Höhe von ca. 30 m über GOK mit der Geometrie in Abbildung 1 hergestellt.

2.2 Zukünftige prinzipielle Randdammausbildung mit einer resultierenden Neigung von 25,5°

Der Asche-Schlacke-Betonkörper wird derzeit an der Deponieaussenseite (Süd-, West- und Nordseite) neu errichtet und entlang des bestehenden Müllkörpers, der eine Neigung von ca. 1:3 aufweist, hochgezogen. Vor dem Hintergrund einer optimalen Pflege der Bepflanzung der Deponieböschung, der Verringerung der Erosion und in Hinblick auf die Nachsorge wurden unterschiedliche Geometrien der Deponieoberfläche diskutiert. Eine resultierende Deponieböschungsneigung von 25,5° stellt einen optimalen Kompromiss zwischen erforderlichen Pflegemassnahmen, Bepflanzung, Erosionsschutz und Volumenvergrößerung dar. Eine weitere Vergrößerung der resultierenden

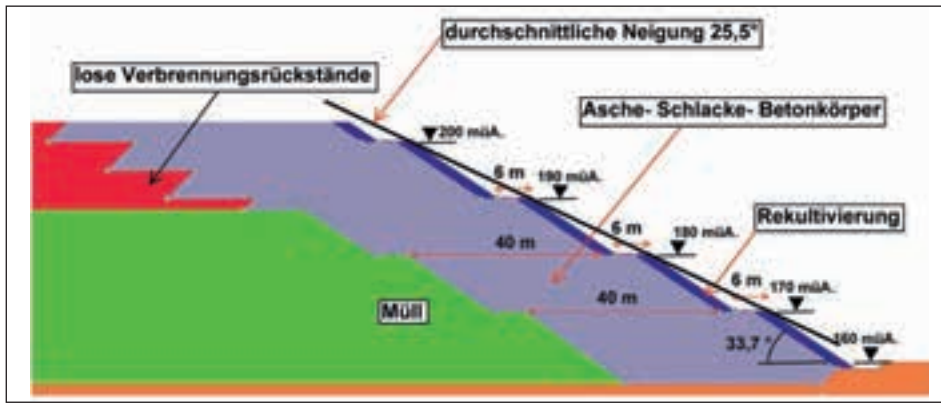


Abb. 2: Prinzipielle Ausbildung der Randdammgeometrie bei einer mittleren Neigung von 25,5°.
 Fig. 2: Configuration schématique de la géométrie du talus avec une inclinaison moyenne de 25,5°.

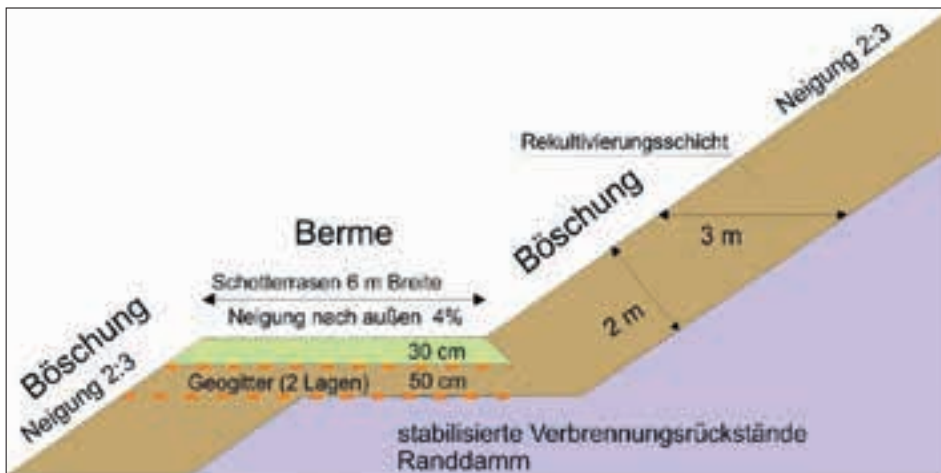


Abb. 3: Regelaufbau der Böschungen und Berme.
 Fig. 3: Construction des remblais et des bermes.

Neigung würde zwar einen weiteren Volumengewinn bedeuten, allerdings ergäben sich dadurch vermehrt Schwierigkeiten hinsichtlich der Stand- und Erosionssicherheit der Rekultivierungsschicht sowie der Pflege der Bepflanzung. In zahlreichen Diskussionen zwischen Deponieleitung, Deponieplanung und Geotechniker wurde basierend auf einer Vielzahl von Standsicherheits- und Verformungsberechnungen eine resultierende Neigung von 25,5° als optimale Variante für den künftigen Deponiebau erachtet. Diese Oberflächengestaltung wurde vor kurzem von der Behörde bescheidmässig bewilligt. Eine Neigung von 25,5° resultiert bei einem vertikalen Bermenabstand von 10 m, die Bermenbreite beträgt 6 m (siehe prinzipiellen Verlauf in Abb. 2). An der Aussenseite der Deponie weisen die einzelnen Randdämme eine Neigung von 1:1,5 (= 33,7°) auf.

3. Gestaltung der Randdämme

Bei der 2012 bescheidmässig bewilligten Oberflächenabdeckung an den Böschungen (Abb. 3) handelt es sich nicht um einen Regelaufbau nach Deponieverordnung 2008, sondern um eine alternative Oberflächenabdeckung. Sie wurde in drei Versuchsböschungen eingehend untersucht. In Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur (Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau) und dem Ingenieurbüro Baugrund Wien wurden in den Jahren 2012 und 2013 jeweils ca. 100 lange Versuchsböschungen fertiggestellt, derzeit laufen die Arbeiten für eine neuerliche ca. 200 m lange Versuchsböschung. Abbildung 3 gibt einen Überblick über den Regelaufbau der bescheidmässig bewilligten Böschung.

3.1 Böschung

Auf dem Asche-Schlacke-Betonkörper befindet sich eine ca. 2 m (ca. 3 m ho-

orizontal gemessen) mächtige Rekultivierungsschicht. Die Rekultivierungsschicht wird lagenweise in 40-cm-Lagen (gemessen im unverdichteten Zustand) hergestellt und anschliessend ordnungsgemäss verdichtet, da bei einer Böschungneigung von 1:1,5 entsprechend hohe Scherparameter erforderlich sind. Der äussere Bereich (ca. 0,5 m) der Rekultivierungsschicht soll nicht verdichtet werden und nur mit der Baggerschaufel angedrückt werden, um den Pflanzen genügend Wurzelebenraum zur Verfügung zu stellen. In diesem Bereich spielen ingenieurbiologische Zusatzmassnahmen (böschungsstabilisierende Wirkung der Pflanzen ...) eine besondere Rolle, da die Standsicherheit in diesem obersten, ca. 0,5 m mächtigen Bereich geotechnisch nicht nachgewiesen werden kann. Speziell der oberflächennahe Bereich der Rekultivierungsschicht wirkt als Wasserhaushaltsschicht entsprechend der Deponieverordnung 2008.

3.2 Berme

Auf den Bermen wird eine 30 cm mächtige Schotterterrasenschicht angeordnet. Im Vergleich zu konventionellen Tragsschichten bietet eine Schotterterrasenschicht eine begrünte Oberflächenbefestigung und eine verminderte Staubbentwicklung. Der Schotterterasen liegt auf zwei Lagen Rekultivierungsschicht à 25 cm, wobei zwischen dem Schotterterasen und der oberen Rekultivierungsschicht sowie zwischen der unteren Rekultivierungsschicht und dem Asche-Schlacke-Betonkörper jeweils eine Lage hochzugfestes Geogitter platziert wird. Die Geogitterlagen dienen dazu, die unterschiedlichen Steifigkeiten bzw. Festigkeiten von Asche-Schlacke-Betonkörper und Rekultivierungsschicht auszugleichen, d.h. unterschiedliche Setzungen zu vergleichmässigen.

4. Herstellung der Randdämme

Grundsätzlich gilt es bei der Randdammneugestaltung in Abhängigkeit der Platzverhältnisse drei Fälle zu unterscheiden. Kennzeichnendes Kriterium ist der Abstand des Böschungsfusses zur inneren Dichtwand der vertikalen Deponieabdichtung bzw. der Abstand der

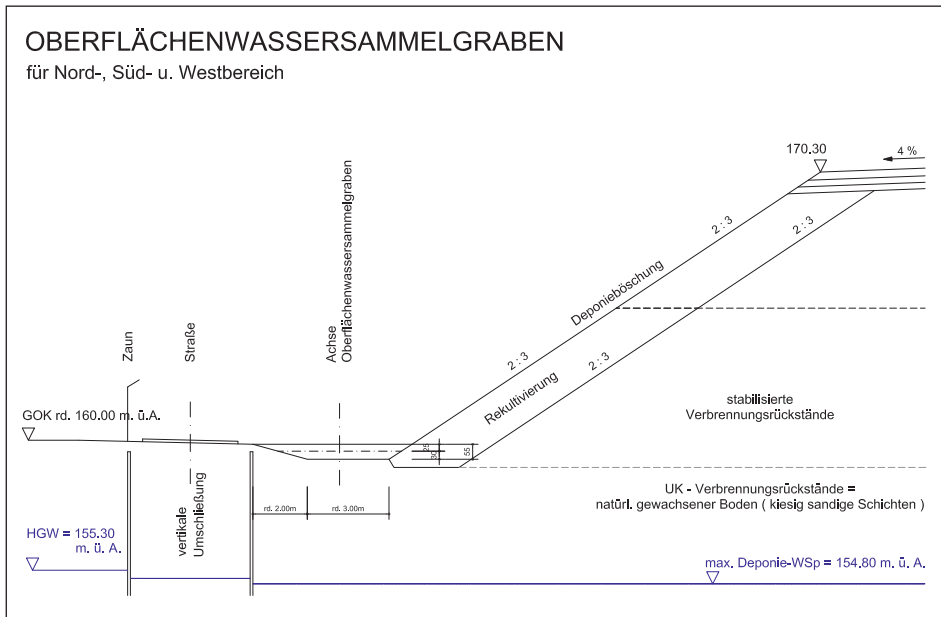


Abb. 4: Projektierter Böschungsausbau im Bereich der vertikalen Deponieumschließung (Gollob, 2013).

Fig. 4: Projection de la construction de la pente dans le domaine de la décharge (Gollob, 2013).

herzustellenden Rekultivierungsschicht zum bestehenden Asche-Schlacke-Betonkörper. In umfangreichen 2-D- und 3-D-Verformungsanalysen wurde untersucht, wie nahe der Deponiekörper an die innere Dichtwand herangerückt werden kann, ohne dass die Dichtwände eine zusätzliche Krümmung, die sich auf die Dichtwirkung negativ auswirken könnte, erfahren. Diese geotechnischen Simulationsberechnungen zeigen, dass der Deponiekörper bis auf 5 m zur inneren Dichtwand herangerückt werden kann, das bedeutet, dass der Asche-Schlacke-Betonkörper bis auf 8 m herangeführt werden kann, die restlichen 3 m bildet die Rekultivierungsschicht (Abb. 4).

4.1 Fall A: Einbau der Rekultivierungsschicht direkt an den bestehenden Asche-Schlacke-Betonkörper

Der bereits bestehende 1:1,5 geneigte Asche-Schlacke-Betonkörper reicht bis ca. 8 m zur inneren Schmalwand heran, d. h., es muss nur mehr die 3 m (horizontal gemessen) mächtige Rekultivierungsschicht aufgebracht werden (Abb. 4 und 5). Dieser Fall trifft für den Grossteil der Nord- und teilweise für die Südböschung bis zur bereits hergestellten ersten Berme (Höhe tlw. 6 m ü. GOK, tlw. 10 m ü. GOK) zu. Im Zuge des Aufbringens der neuen Rekultivierungsschicht wird zuerst die



Abb. 5: Rekultivierungsschicht direkt auf den bestehenden Asche-Schlacke-Betonkörper (Fall A).

Fig. 5: Couche de restauration directement sur le remblai fait de cendre, de crasse et de béton existant (Fall A).

bestehende wenige Dezimeter mächtige Mutterbodenschicht auf dem Asche-Schlacke-Betonkörper entfernt und anschliessend der Asche-Schlacke-Betonkörper mit einem Bagger treppenartig angeschnitten, sodass sich jede Schüttlage der Rekultivierungsschicht mit dem Asche-Schlacke-Betonkörper verzahnt (Abb. 5). Durch diese Arbeitsweise wird ein voller Schubverbund zwischen den unterschiedlichen mineralischen Böden erzielt.

Dieser Fall A wurde in den Versuchsboisungen 2012 und 2013 eingehend untersucht. Das mittels LKW antransportierte Rekultivierungsmaterial wird durch einen Kompaktbagger (Gewicht 8 t) mit Böschungslöffel (Breite 1,5 m), der auf der geschütteten und noch nicht verdichteten Schüttlage fährt, verteilt und anschliessend mit einem Walzenzug (Bandagenbreite 2,20 m) ordnungsgemäss verdichtet.

4.2 Fall B: gleichzeitiger Einbau von Rekultivierungsschicht und Asche-Schlacke-Betonkörper unter beengten Platzverhältnissen

Die Oberfläche des Asche-Schlacke-Betonkörpers liegt mehr als 8 m von der inneren Schmalwand entfernt, d. h., es muss zusätzlich zur Rekultivierungsschicht noch ein «Asche-Schlacke-Betonkörper neu» unter «beengten» Verhältnissen hergestellt werden (Abb. 6 und 7).

Dieser Fall trifft für den Grossteil der Nord- und teilweise für die Südböschung ab der ersten bereits fertiggestellten Berme zu. Auf der Nordseite ist dieser Fall jedoch auch schon teilweise unter der ersten Berme anzutreffen, da der jetzt bestehende Böschungsfuss aus Asche-Schlacke-Beton mehr als 8 m von der inneren Dichtwand entfernt ist und noch näher zur inneren Dichtwand herangeführt wird, um eine Volumenmaximierung erzielen zu können.

Der Fall B erfordert eine geotechnisch abgestimmte Schüttfolge. Zuerst muss die Rekultivierungsschicht hergestellt werden und anschliessend der Zwickel zum bestehenden Asche-Schlacke-Betonkörper mit «Asche-Schlacke-Beton neu» verfüllt werden. Diese Schüttfolge

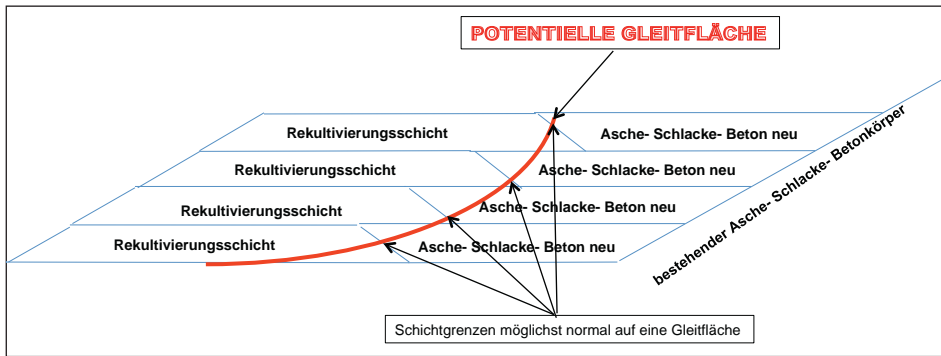


Abb. 6: Ausbildungsdetail: Rekultivierung und «Asche-Schlacke-Beton neu».
 Fig. 6: Détail de la construction: restauration et «nouveau remblai de cendre, de crasse et de béton».



Abb. 7: Einbringen von Rekultivierungsschicht und «Asche-Schlacke-Betonkörper neu» vor den bestehenden Asche-Schlacke-Betonkörper.
 Fig. 7: Pose de la couche de restauration et «nouveau remblai de cendre, de crasse et de béton» devant le remblai existant.



Abb. 8: Kettenbobcat zur Herstellung der Rekultivierungsschicht und «Asche-Schlacke-Betonkörper neu».
 Fig. 8: Bobcat chenillé pour la préparation de la couche de restauration et «nouveau remblai de cendre, de crasse et de béton».

ist erforderlich, da die Schichtgrenzen zwischen der Rekultivierungsschicht und dem Asche-Schlacke-Betonkörper möglichst normal auf einen evtl. vorstellbaren Gleitkörper ausgebildet sein sollen (siehe Skizze in Abb. 6). Durch diese Arbeitsweise werden durch den vollen Schubverbund wesentlich höhere Standsicherheitsreserven mobilisiert, als wenn zuerst der Asche-Schlacke-Betonkörper und dann die Rekultivierungsschicht geschüttet werden würde, da eine volle Verzahnung erreicht wird. Zudem muss, um auch im Randbereich des Asche-Schlacke-Betonkörpers eine ausreichende Verdichtung zu erzielen, ein vorauseilender Aufbau des Rekultivierungsmaterials an der Aussenseite erfolgen, damit der Asche-Schlacke-Betonkörper bei der Verdichtung nicht zur Böschungsaussenseite ausweichen kann. Die Rekultivierungsschicht bildet bei den Verdichtungsarbeiten des Asche-Schlacke-Betonkörpers eine Art Widerlager.

Arbeitstechnisch schwierig herzustellen ist der Asche-Schlacke-Betonkörper («Asche-Schlacke-Beton neu» in Abb. 6 bzw. Abb. 7) hinter der Rekultivierungsschicht, denn die horizontale Mächtigkeit beträgt nur wenige Meter. Für diese Aufgabe wurde ein Kettenbobcat (siehe Abb. 8) eingesetzt, da sich mit diesem Arbeitsgerät in diesem Zwickelbereich eine wesentlich höhere Arbeitsleistung erzielen lässt als mit dem im Fall A herangezogenen Kompaktbagger. Im Fall B ist ein Kettenbobcat auch für die Planierung der Rekultivierungsschicht einsetzbar.

4.3 Fall C: Einbau von Rekultivierungsschicht und Asche-Schlacke-Betonkörper ohne beengte Platzverhältnisse

Dieser Fall unterscheidet sich vom Fall B in der Art, dass der bestehende Asche-Schlacke-Betonkörper mehr als 20 m von der inneren Dichtwand entfernt ist und dessen Verstärkung in Richtung innere Dichtwand nicht unter «beengten» Verhältnissen mit kompakten Baugeräten erfolgen muss.

Kennzeichnend ist der Fall C auch für jene Bereiche ab der ersten Berme an

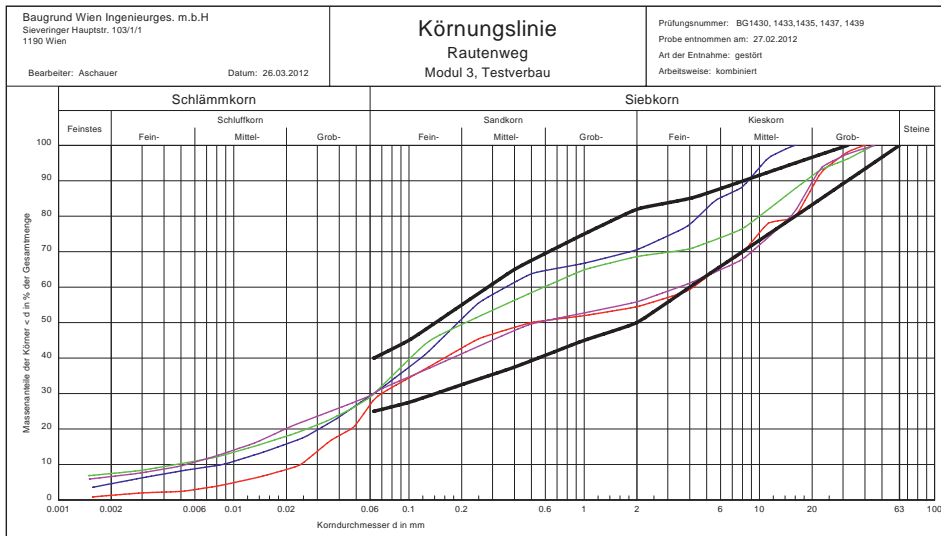


Abb. 9: Kornverteilungsband der Rekultivierungsschicht mit Ober- und Untergrenze.
 Fig. 9: Bande de distribution des grains de la couche de restauration avec limites supérieures et inférieures.

der Nord- und Südböschung, wo die projektierte Deponieaussenböschung mehr als 20 m von der bestehenden Deponieböschung entfernt ist, bzw. für die Böschungsgestaltung oberhalb des jetzt bestehenden Deponieschüttkörpers.

5. Zusammensetzung des Rekultivierungsmaterials

Als Material für die Rekultivierungsschicht wird in erster Linie bereits auf der Deponie Rautenweg vorhandenes Bodenaushubmaterial herangezogen. Die Verwendung des bereits vor Ort vorhandenen Bodenaushubmaterials bedingt durch den Entfall von Transporten zum Deponiestandort positive Umwelteffekte. Geotechnisch betrachtet sind für die Herstellung der Rekultivierungsschicht sandige, schluffige Kiese bis stark kiesige, schluffige Sande heranzuziehen, deren Reibungswinkel bei ordnungsgemäßer Verdichtung hinreichend weit über dem Böschungswinkel von $33,6^\circ$ (1:1,5) liegt. Dazu wurde ein erforderliches Kornverteilungsband definiert (Abb. 9).

Sämtliches Bodenaushubmaterial, das für die Rekultivierungsschicht herangezogen wird, wird mittels einer mobilen Siebanlage in der Weise aufbereitet, dass Korngrößen über 45 mm und nicht mineralische Stoffe (PVC ...) ausgesiebt werden. Bei der Beschickung der Siebanlage wird darauf geachtet, dass der aufbereitete Boden dem Kornverteilungsband ent-

spricht. Dazu werden im Rahmen einer Eigenüberwachung ständig visuelle und manuelle Beurteilungen durchgeführt. Entspricht das auf der Deponie vorhandene Bodenaushubmaterial nicht dem dargestellten Kornverteilungsband, so wird entsprechend qualitatives Bodenaushubmaterial extern beschafft. Ebenso muss dieses für die Rekultivierungsschicht herangezogene Bodenaushubmaterial mittels Nachweisen den geotechnischen und chemischen Anforderungen, wie bereits in diesem Kapitel beschrieben, entsprechen.

6. Geotechnische Begleitung der Herstellung der Rekultivierungsschicht

Die Herstellung der einzelnen Schüttlagen wird zur Qualitätssicherung baubegleitend mittels folgender Feld- und Laborversuche überwacht, nachfolgende Parameter und zugehörige Grenzwerte wurden aus den Erkenntnissen bei Bau und Monitoring der drei durchgeführten Versuchsböschungen abgeleitet:

- Kornverteilungsanalysen zur Beurteilung der Homogenität und Zusammensetzung des Schüttmaterials
- Proctorversuche (w_{Pr} , p_{Pr}) zur Beurteilung der maximal möglichen Verdichtung
- Bestimmung von Trockendichte (P_d) und Wassergehalt (w), um den Verdichtungserfolg beurteilen zu können.

- Grossrahmenscherversuche zur Beurteilung der Scherfestigkeit
- statische (E_{v1} , E_{v2}) und dynamische (E_{vd}) Lastplattenversuche zur Beurteilung der Tragfähigkeit

In Anlehnung an die RVS 08.03.04 Erdarbeiten werden für die lagenweise Errichtung der Böschung (Rekultivierungsschicht) folgende Mindestanforderungen an die Verdichtung gestellt, sie wurden bei allen Versuchsböschungen übertroffen und besitzen zukünftig für die gesamte Randwallgestaltung Gültigkeit:

- relative Dichte $D_{Pr} > 97,0\%$ bzw.
- relative Dichte D_{Pr} in der obersten Schüttlage (= Aufstandsfläche des Schotterrasens) $> 98,0\%$
- Scherparameter: $c > 1,0 \text{ kN/m}^2$, $\phi > 35,0^\circ$
- $E_{v1} > 15 \text{ MN/m}^2$ bzw. $E_{v1} > 35 \text{ MN/m}^2$ (Verhältniswert $E_{v2}/E_{v1} < 2,5$) für die oberste Schüttlage
- $E_{vd} > 18 \text{ MN/m}^2$ bzw. $E_{vd} > 38 \text{ MN/m}^2$ für die oberste Schüttlage

Nachfolgenden Mindestprüfumfang gilt es bei der Herstellung der Rekultivierungsschicht zukünftig einzuhalten:

- 1 Kornverteilung alle 2000 m³
- 1 Proctorversuch alle 2000 m³
- 1 Trockendichte alle 2000 m³
- 1 Grossrahmenscherversuch alle 4000 m³

Zusätzlich für die oberste Schüttlage (= Aufstandsfläche des Schotterrasens):

- 1 stat. Lastplattenversuch alle 250 lfm
- 1 Proctorversuch alle 250 lfm
- 1 Trockendichte alle 250 lfm

Im Rahmen der Eigenüberwachung während der Bauphase werden die o.g. Versuche zusätzlich um eine tägliche durchzuführende Kornverteilung ($\geq 0,06 \text{ mm}$) ergänzt.

7. Literaturverzeichnis

Aschauer, F., Florineth, F., Rauch, H-P. & Pietha, U. 2013. Entsorgungssicherheit – Deponie Rautenweg, div. Gutachten.
 Gollob, M. 2013. Entsorgungssicherheit – Deponie Rautenweg, Oberflächenwassersammelgraben, Gutachten.
 Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (BOKU) & Baugrund Wien 2013. Sicherung und Begrünung einer

zukünftigen Rekultivierungsschicht der Deponie Rautenweg, Gutachten. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (DVO 2008).

Kontaktadressen:

Franz Aschauer
Baugrund Wien Ingenieurgesellschaft mbH
Sieveringer Strasse 103/5/1
1190 Wien
dr.aschauer@baugrund.eu.com

Hans-Peter Rauch
Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
Universität für Bodenkultur,
Peter-Jordan-Strasse 82/III
1190 Wien
hp.rauch@boku.ac.at

Karl Reiselhuber, Peter Brandstätter
Magistratsabteilung 48,
Deponieleitung Rautenweg
Rautenweg 83
1220 Wien
karl.reiselhuber@wien.gv.at,
peter.brandstaetter.pb1@wien.gv.at

Nr.1

Hydrosaat
St. Ursen
Tel. 026 322 45 25
www.hydrosaat.ch

- **Ansaat**
von Strassen- und Bahnböschungen, Felspartien, Skipisten, Kies- und Schotterhalten und nichthumusierten Flächen
- **Dachbegrünungen**
mit Xeroflor®-Sedummatten für Dächer, Böschungen, Garten- und Rasenabschlüsse, Verkehrsinseln, Trottoirs
- **Ecotex®-Erosionsschutz**
mit Geotextilien, natürlich und biologisch abbaubar
- **Ingenieurbiologische Bauweisen**
Stützkonstruktionen zur Stabilisierung von Uferzonen und Böschungen



Ingenieurbiologische Massnahmen zur Sicherung von Deponieböschungen am Rautenweg

Stephan Hörbinger, Hans Peter Rauch

Zusammenfassung

Auf der Deponie Rautenweg im 22. Wiener Gemeindebezirk wurden in den Jahren 2012 und 2013 ausgewählte ingenieurbiologische Bautechniken in Feldversuchen getestet. Ziel ist es, eine flächendeckende Vegetationsdecke auf einer alternativen Oberflächenabdeckung sowie eine Stabilisierung der steilen Böschungen zu erreichen. Begleitend wurden umfangreiche geotechnische Untersuchungen durchgeführt. Es wurden standortgerechte Pflanzen (Gräser, Kräuter und Sträucher) in Hinblick auf Oberflächenschutz sowie auf Landschaftselemente verwendet und deren vegetationsdynamische Entwicklungsprozesse kontinuierlich beobachtet und dokumentiert. Ausserdem wurden verschiedene Substratmischungen getestet, um die Zusammensetzung der Rekultivierungsschicht für die Begrünung zu optimieren. In den Feldversuchen wurden drei Saatgutmischungen mit unterschiedlichen Gräser-Kräuter-Verhältnissen sowie verschiedene Begrünungsmethoden angewandt. Die besten Ergebnisse wurden mit jener Variante erzielt, bei der eine Saatgutmischung mit einem Gräser-Kräuter-Verhältnis von 65/35, eine Strohecksaat und eine Substratschicht ohne Kompostanteil kombiniert wurden. Im Bereich ohne Beimischung von Kompost konnte ein geringeres Aufkommen von Beikräutern (Gänsefuss, Besen-Radmelde) festgestellt werden. Es zeigte sich, dass Pflegearbeiten in den ersten Jahren notwendig sind, um den verwendeten Saatgutmischungen im Vergleich zu den Ruderalarten Konkurrenzskraft zu verleihen. In der zweiten Vegetationsperiode zeigte sich die Versuchsböschung 2012 in einem vegetationstechnisch äusserst zufriedenstellenden Zustand. Die im ersten Jahr massiv auftretenden Beikräuter spielten in der zweiten Vegetationsperiode keine Rolle mehr. Die angewandten Hydrosaatvarianten ergaben hinsichtlich Oberflächenerosion keine Unterschiede.

Keywords

Begrünungsmethoden, alternative Oberflächenabdeckung, Vegetationsentwicklung

Mesures de génie biologique pour la consolidation des talus de décharge au Rautenweg

Résumé

A la décharge du Rautenweg dans le 22^e district de Vienne, une sélection de techniques de construction du génie biologique a été testée sur le terrain en 2012 et 2013. Le but était d'obtenir une couverture complète de la végétation sur une surface alternative et une stabilisation de pentes raides. De vastes études géotechniques d'accompagnement ont été réalisées. Des plantes adaptées à la station (graminées, herbes et arbustes) ont été utilisées afin de protéger la surface, tout comme éléments de paysage. Leurs processus de développement végétatif ont été surveillés et documentés en permanence. En outre, divers mélanges de substrats ont été testés dans le but d'optimiser la composition de la couche de restauration de la végétalisation. Trois mélanges de semences avec des rapports graminées/herbes différents et diverses méthodes de plantation ont été utilisés sur le terrain. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les variantes combinant un mélange de semences avec un rapport graminée/herbe de 65/35, de la paille et une couche de substrat sans compost. Dans les tests sans addition de compost, on a pu détecter un moindre volume des mauvaises herbes (*chénopode*, *bassia scoparia*). On a constaté que le travail d'entretien dans les premières années est nécessaire afin que les mélanges de semences utilisés puissent concurrencer les espèces rudérales. Lors de la deuxième période de végétation, les

pentens sur lesquelles les essais ont été menés en 2012 ont fait preuve d'un état très satisfaisant sur le plan de la technique de végétation. Les mauvaises herbes massives de la première année avaient disparu durant la deuxième période de végétation. Les variantes de semences hydrauliques appliquées ne donnaient pas de différences quant à l'érosion de surface.

Mots-clés

Méthodes de végétalisation, couverture de surface alternative, développement de la végétation

Misure d'ingegneria naturalistica per assicurare i pendii della discarica Rautenweg

Riassunto

Nel 2012 e 2013, sulla discarica Rautenweg (22° circoscrizione di Vienna) sono state testate in loco delle tecniche di costruzione d'ingegneria naturalistica selezionate. L'obiettivo è di ottenere una copertura vegetale completa su una copertura superficiale alternativa del terreno e allo stesso tempo di stabilizzare i ripidi pendii. In contemporanea sono state eseguite analisi approfondite di tipo geotecnico. Per proteggere la superficie e tener conto del paesaggio sono state utilizzate piante locali (graminacee, erbe, arbusti). Il loro sviluppo dinamico-vegetativo è stato osservato e documentato durante tutto il periodo considerato. Inoltre sono state testate diverse miscele per il substrato da utilizzare in modo da ottimizzare la composizione dello strato di ricoltivazione che sarà poi inverdito. Nei test sul posto sono stati testati tre miscele di sementi con diversi rapporti tra graminacee e erbe e sono state utilizzate diverse tecniche d'inverdimento. I migliori risultati sono stati ottenuti combinando il miscu-

glio di sementi con un rapporto graminacee/erbe di 65/35, una semina con coltre protettiva e utilizzando un substrato senza compost. Nell'area senza aggiunta di compost è stata constatata una ridotta presenza di altre erbacce (*chenopodio*, *atreplice*). È stato dimostrato che nei primi anni è necessario curare l'inverdimento per permettere ai miscugli di sementi di vincere la concorrenza di specie ruderali. Durante il secondo periodo vegetativo, il pendio di prova 2012 si trovava in uno stadio vegetativo particolarmente soddisfacente. Nel secondo periodo vegetativo, le erbacce che erano molto infestanti nel primo anno, non giocavano più un ruolo degno di attenzione. Le varianti seminate per idrosemina non hanno mostrato differenze dal punto di vista dell'erosione del suolo.

Parole chiave

Tecniche d'inverdimento, copertura alternativa del terreno, sviluppo della vegetazione

1. Einleitung

Die steilen Flanken der Deponie Rautenweg werden aus Verbrennungsrückständen (Aschen und Schlacken) mit Zugabe von Zement und Wasser aufgebaut. Auf den verfestigten Asche-Schlacke-Beton wird anschliessend eine Rekultivierungsschicht als alternative Oberflächenabdeckung (Erdaushubmaterial) aufgetragen, die eine Neigung von 2:3 hat (Aschauer et al., 2015). Aufgrund der Steilheit müssen geotechnische und ingenieurbio-logische Zusatzmassnahmen getroffen werden, damit die Standsicherheit der Böschungen langfristig sichergestellt werden kann. Der äussere Bereich der Rekultivierungsschicht kann aus bautechnischen Gründen nicht verdichtet werden, wodurch keine geotechnische Standsicherheit gegeben ist. Daher ist die böschungsstabilisierende Wirkung einer Vegetationsdecke für diesen Bereich von besonderer Bedeutung. Die Herausforderung einer Begrünung dieser Böschungen besteht auf Grund der Steilheit, des Substrats, der auftretenden erosiven Prozesse, der hohen Oberflächentemperaturen und von Wind sowie der

damit verbundenen Trockenheit. In einem interdisziplinären Projektteam aus den Fachgebieten der Geotechnik und der Ingenieurbiologie wurden im Jahr 2012 verschiedenste Untersuchungen und Feldversuche durchgeführt. In diesem Beitrag werden die Herausforderungen der Initiierung einer geschlossenen Vegetationsdecke auf dem Standort, alternative Oberflächenabdeckung, verschiedene Begrünungsmethoden sowie die Vegetationsentwicklung erläutert. Dazu werden die Arbeiten aus dem Jahr 2012 und die Ergebnisse des Vegetationsmonitorings nach der Fertigstellung sowie aus dem Folgejahr 2013 vorgestellt.

2. Methodik und Zielsetzung

Auf einer Länge von ca. 60 m wurden verschiedene Begrünungsmethoden mit unterschiedlichen Saatgutmischungen angewandt. In Kombination mit den verschiedenen Substraten wurden dabei die Vor- und Nachteile der Begrünungsmethoden sowie die ideale Zusammensetzung der Saatgutmischungen für den Standort untersucht. Ziel ist es, eine Begrünung zu erreichen, die extensiv bewirtschaftet werden kann und auf Langlebigkeit ausgerichtet ist. Die Saatgutmischung wurde auf die am Begrünungsstandort vorherrschenden Verhältnisse abgestimmt. Generell erfolgte die Begrünung über die Verwendung einer artenreichen und

standortgerechten Saatgutmischung mit dem Ziel, eine pflegeextensive, artenreiche und langfristig stabile Wiesenvegetation zu etablieren. Durch einen dicht wachsenden, vitalen Gräser-Kräuter-Bestand kann der oberflächlichen Erosion entgegengewirkt und die Böschungstabilität erhöht werden. Neben den begleitenden geotechnischen Untersuchungen wurden unterschiedliche Voruntersuchungen durchgeführt:

- bodenchemische Analysen
 - Kressetest
 - Keimfähigkeitsprüfung des für die Begrünung verwendeten Saatguts
- Drei Saatgutmischungen mit unterschiedlichem Gräser-Kräuter-Verhältnis wurden für den Standort getestet:
- Saatgutmischung 1 [G/K, 78/22] (Gräser-Kräuter-Verhältnis), Saatgutmischung 2 [G/K, 90/10] und Saatgutmischung 3 [G/K, 65/35]
- Zur Begrünung steiler Hänge werden sehr häufig Hilfsmittel verwendet, welche das Saatgut auf der Böschung halten bzw. dessen Keimung erleichtern. Zur Ermittlung einer geeigneten Begrünungsmethode wurden vier verschiedene Saatgutmethoden getestet:
- Trockensaat, Hydrosaat, Trockensaat mit Kokosgewebe und Mulchsaat mit Jutenetz-Strohdecksaat

In die Böschung wurden drei unterschiedliche Substratmischungen einge-

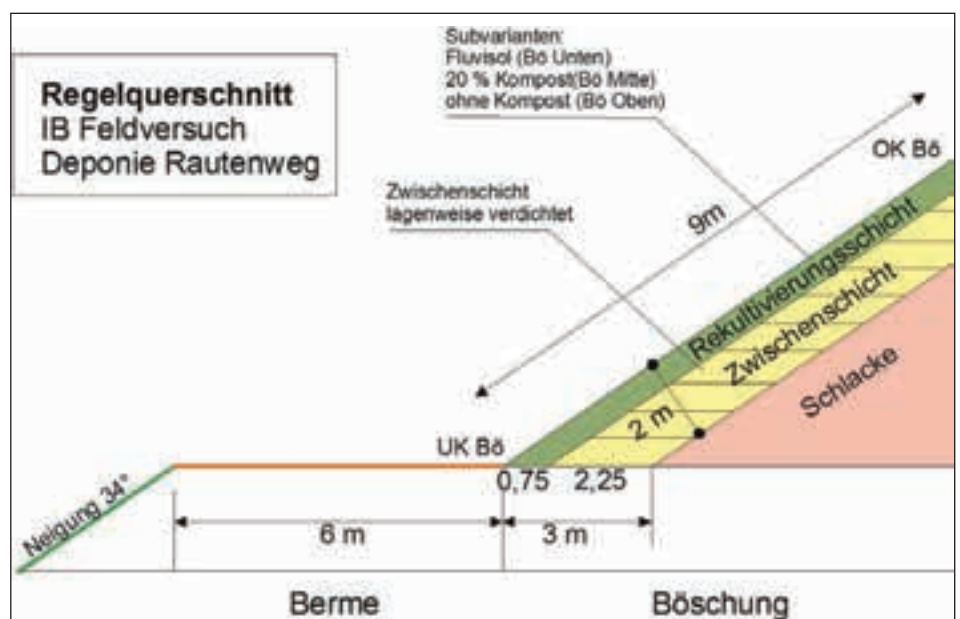


Abb. 1: Regelquerschnitt der Böschung mit den verschiedenen Substratvarianten, Deponie Rautenweg 2012.

Fig. 1: Coupe normale transversale de la pente avec différents types de substrats, décharge du Rautenweg en 2012.

baut, um die Rekultivierungsschicht auf die Anforderungen der Vegetation anpassen zu können:

- Das Material der Zwischenschicht (schluffiger, stark kiesiger Sand bis sandiger, stark schluffiger Kies)
- mit 20 Vol.-% Fluvisol (unterer Böschungsbereich)
- mit 20 Vol.-% Kompost (mittlerer Böschungsbereich)
- ohne Beigaben (oberer Böschungsbereich)

Abbildung 1 zeigt einen Regelquerschnitt der Deponieböschung und die Anordnung der Substratvarianten (siehe Abb. 1).

Ein umfangreiches Vegetationsmonitoring wurde in zwei Vegetationsperioden (2012, 2013) durchgeführt. Dabei wurden drei Methoden angewandt:

- Bonitur, dreimal je Vegetationsperiode (untersuchte Parameter: Gesamtdeckungsgrad, Gräser-Kräuter-Verhältnis und Wuchshöhe der Pflanzengesellschaft)
- detaillierte Vegetationsaufnahme am Ende der Vegetationsperiode nach Braun-Blanquet, 1964
- Change Analysis; graphische Darstellung und Auswertung der Oberflächenabdeckung nach Macleod und Congalton, 1998

3. Klimatische Bedingungen

Der Standort Rautenweg ist dem pan-nonischen Klimaraum zuzuordnen. Die

Jahresniederschläge liegen im Pannikum bei knapp mehr als 500 mm/Jahr. Für die Temperatur bedeutet dies einen relativ kurzen Frühling, einen heißen Sommer (Sommermittel um 21 °C), einen trockenen Herbst sowie einen kalten Winter. Die Jahresmitteltemperatur liegt bei 11,6 °C (Jansky, 2008). Im Frühjahr 2012 traten während der Bauphase im März hohe Temperaturen auf (max. > 20 °C), die dann im April und Mai wieder unter 0 °C fielen. Morgendliche Temperaturen um –2 °C und –3 °C führten am 18. Mai 2012 in der Region zu erheblichen Frostschäden (siehe Abb. 2).

4. Ergebnisse der Voruntersuchungen

Der Kresstest, der als Bioindikator angewandt wurde, zeigte, dass der verwendete Kompost die geringste Biomasse, Sprosslänge und Keimrate aufwies. Die Substratmischung der Zwischenschicht mit 20 Vol.-% Kompost wie auch das reine Fluvisol erwiesen sich als jene Varianten mit der höchsten Biomasseproduktion.

Eine bodenchemische Analyse zeigte ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen dem Kompost und den restlichen Substraten. Der Kompost wies im Gegensatz zu den anderen Materialien eine starke Konzentration an Stickstoff sowie Kohlenstoff auf. Stark erhöhte Konzentrationen an Stickstoff sowie Kohlenstoff

haben einen wachstumshemmenden Einfluss auf die Pflanzenentwicklung. Die Ergebnisse des C/N-Verhältnisses zeigten, dass in allen untersuchten Substraten ausreichend pflanzenverfügbarer Stickstoff zu Verfügung stand. Die pH-Wert-Messungen ergaben einen sehr hohen pH-Wert, der stark in den basischen Bereich reichte. Sehr hohe pH-Werte vermindern die Verfügbarkeit an Pflanzennährstoffen. Den höchsten pH-Wert hatte der Kompost, was darauf zurückzuführen ist, dass dieser in sehr frischem Zustand geliefert wurde.

Die Keimfähigkeitsanalyse wies generell ein sehr heterogenes Ergebnis auf. Einige wenige Arten zeigten schon bei der Erstauszählung eine Keimfähigkeitsrate von über 70%, bei anderen wiederum konnte beinahe keine Keimung festgestellt werden.

Vegetationsentwicklung der Versuchsböschung 2012:

Nach der Vorbereitung der Flächen wurden die Begrünungsarbeiten am 22. März 2012 durchgeführt. Die Vegetationsentwicklung wird anhand der Ergebnisse der Vegetationsaufnahmen aus dem Jahr 2012 näher beschrieben. Bei der ersten Bonitur am 21. Mai 2012 wies die Saatgutmischung 2, die den geringsten Kräuteranteil [G/K, 90/10] hatte, den geringsten Deckungsgrad auf (siehe Abb. 4).

Es gab auch eindeutige Unterschiede bei den verschiedenen Substratmischungen. Die Substratschicht mit 20% Kompost war jene Fläche mit der geringsten Deckung. Der Deckungsgrad war zu diesem Zeitpunkt auf allen Versuchsflächen noch gering. Bei der zweiten Bonitur am 21. Juni, drei Monate nach der Ansaat der Flächen, zeigte sich, dass das eigentlich ausgebrachte Saatgut auf der Substratmischung ohne Kompostzugabe und der Substratschicht mit 20% Fluvisol nicht mehr zu sehen war. Dominantes und flächenhaftes Auftreten der annuellen Arten von Gänsefuß (*Chenopodium*) und Besen-Radmelde (*Bassia scoparia*) dominierte die Vegetationsbedeckung. Der weiße Gänsefuß bevorzugt nährstoffreiche Erde und ist eine typische Art auf Ruderalstandorten. Das dominante und flächenhafte Vorkommen

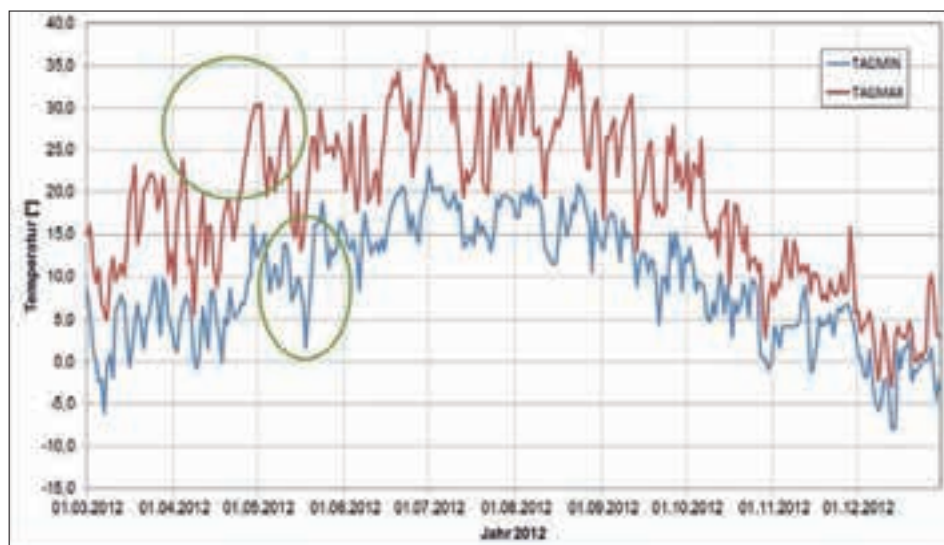


Abb. 2: Temperaturdaten (max./min.) vom 1.3.2012 bis 31.12.2012 Rautenweg; Datenquelle Deponie Rautenweg.

Fig. 2: Données de température (max/min) du 1.3.2012 au 31.12.2012 au Rautenweg; source des données décharge du Rautenweg.



Abb. 3: Böschung am 21.6.2012 (links), im Bereich der Böschungsmitte (der Abschnitt mit 20% Kompost) kaum Vegetationsaufkommen. Böschung am 4.7.2012 (rechts) nach der Entfernung der nicht erwünschten Pflanzen, Deponie Rautenweg.

Fig. 3: Versant le 21.6.2012 (à gauche), il y a peu de végétation au centre de la pente (section avec 20% de compost). Versant le 4.7.2012 (à droite) après le prélèvement des plantes indésirables, décharge du Rautenweg.

war auf jene Flächen konzentriert, auf denen Zwischenschichtmaterial mit dem sehr nährstoffhaltigen Fluvisol vermischt wurde. Die Besen-Radmelde, eine für den Standort typische Art, bildete vor allem auf den Flächen mit reinem Material der Zwischenschicht dichte Bestände. Sie war auf allen Flächen dominant und für die Hauptdeckung verantwortlich. Die zurückgebliebene Vegetationsentwicklung auf der Fläche mit 20% Kompost ist auf die Verwendung von zu frischem Kompost zurückzuführen. Möglicherweise war der frische Kompost der Grund, dass manche Samen nicht keimten. Es konnten sich in diesem Abschnitt auch keine typischen annuellen Pflanzenarten (Gänsefuss und Besen-Radmelde) entwickeln. Unmittelbar nach der zweiten Bonitur wurden

Pflegemassnahmen durchgeführt, um die annuellen dominierenden Pflanzenarten vor der Samenreife zu schneiden. Ausserdem sollten mit dem Pflegeschnitt die Wuchsbedingungen der aufgebrauchten Saatgutarten verbessert werden (siehe Abb. 3).

Nach dem Pflegeschnitt wurde beschlossen, eine Nachsaat mittels einer Hydrosaat durchzuführen, um offene Bodenstellen zu schliessen. Als Saatgut wurde die ursprüngliche Mischung wie im Frühjahr verwendet. Wenn man nun den Gesamtdeckungsgrad der einzelnen Saatgutmischungen von der ersten und letzten Bonitur am 2. Oktober betrachtet, ist zu erkennen, dass es einen Anstieg der Deckungsgrade von 28% bei Saatgutmischung eins (G/K, 78/22), 26% bei der zweiten Mi-



Abb. 4: Vergleich der Gesamtdeckungsgrade anhand der Boniturergebnisse der Saatgutmischungen vom 21.5.2012 und 2.10.2012, Deponie Rautenweg.

Fig. 4: Comparaison des degrés de couverture sur la base des résultats Bonitur des mélanges de semences du 21.5.2012 et 2.10.2012, décharge du Rautenweg.

schung (G/K, 90/10) und 32% bei der dritten Saatgutmischung (G/K, 65/35) gab. Das Gräser-Kräuter-Verhältnis spielt auch beim Gesamtdeckungsgrad eine wesentliche Rolle. Obwohl der Unterschied nicht gross ist, ist es doch eindeutig, dass bei den Versuchsflächen mit der dritten Saatgutmischung der höchste Anteil an Vegetation zu zählen ist (siehe Abb. 4).

Die besten Ergebnisse wurden auf der Jutenetz-Strohdecksaat erzielt, hier dürfte die Mulchschicht für bessere Keimbedingungen gesorgt haben. Im Oktober lag der Deckungsgrad der Strohdecksaat mit einem Wert von 79% wesentlich höher als bei der Trockensaat mit 34%. Die Substratmischungen ohne Beigaben schnitten mit 61% am besten ab. Im Vergleich dazu wies die mit 20% Fluvisol vermengte Substratmischung mit 35% den geringsten Deckungsgrad auf.

Vegetationsentwicklung in der zweiten Vegetationsperiode und Begrünungserfolge:

Beim Vergleich des Gesamtdeckungsgrades zum Zeitpunkt 5.2012 und 6.2013 lässt sich ein starker Anstieg des Gesamtdeckungsgrades im zweiten Jahr (2013) erkennen. War die Vegetation im ersten Jahr noch in der Entwicklungsphase, so ist sie im darauffolgenden bereits stark vertreten. Während am Anfang der Vegetationsperiode des Jahres 2012 noch alle drei Saatgutmischungen in etwa den gleichen Deckungsgrad aufwiesen, zeigte zu Beginn des Jahres 2013 die Saatgutmischung 3 mit durchschnittlich 96,3% die beste Entwicklung. Im Vergleich lag der Deckungsgrad von Saatgutmischung 1 bei 82,1% und von Saatgutmischung 2 bei 81,3%. Der Anteil der Gräser ging im Vergleich zu den Kräutern bei allen drei Saatgutmischungen zurück. Im Juli 2013 gab es eine Dürreperiode, die auch zu einer Veränderung der Vegetationsbedeckung führte. Bei der zweiten Bonitur am 19. August 2013 zeigte Saatgutmischung 3 noch den höchsten Gesamtdeckungsgrad, wobei die Unterschiede zu den anderen Saatgutmischungen gering waren. Der leicht höhere Gesamtdeckungsgrad der Saatgutmischung 3 lässt sich durch



Abb. 5: Vegetationsentwicklung im Mai 2013 der Versuchsböschung 2012 mit ersichtlich ausgewogenem Gräser-Kräuter-Anteil, Deponie Rautenweg.
 Fig. 5: Développement de la végétation en mai 2013 de la pente sur lequel les essais ont été effectués en 2012 avec une part graminée/herbe équilibrée visible.

einen höheren Kräuteranteil am Gesamtdeckungsgrad erklären. Bei der letzten Bonitur am 4. Oktober 2013 zeigte sich, dass sich die Böschungsvegetation nach der Dürreperiode wieder gut erholt hatte. Bei allen drei Saatgutmischungen konnte eine erneute Verdichtung der Vegetation beobachtet werden. Allerdings erholten sich die Pflanzen bei der ursprünglich deckungsstärksten Saatgutmischung 3 (88,3%) in Bezug auf die

Deckung nicht mehr so gut, wie es bei jenen der Saatgutzusammensetzung 1 (92,1%) sowie 2 (95,4%) der Fall war. Die Erhöhung des Gesamtdeckungsgrades von ca. 50% (2012) auf über 88% (2013) spiegelt das sehr gute Erscheinungsbild der Böschungsvegetation wider (Abb. 5).

Beim Vergleich des Gräser-Kräuter-Anteils konnte festgestellt werden, dass

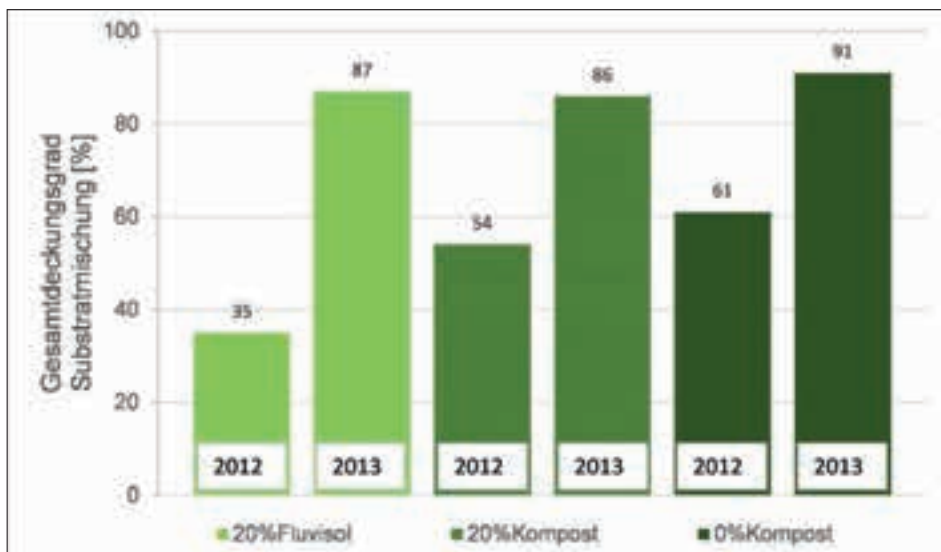


Abb. 6: Der Gesamtdeckungsgrad in % der Substratmischungen im Oktober 2012 und 2013, Deponie Rautenweg.
 Fig. 6: Degré de couverture totale en % des mélanges de substrat en octobre 2012 et 2013; décharge du Rautenweg.

sich besonders bei der Saatgutmischungen 3 die Dominanz der Kräuter in der zweiten Vegetationsperiode stark zurückentwickelt hatte. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Gräser eine Trockenperiode im Juli 2013 kurzfristig besser überstanden haben. Bei der Gegenüberstellung der Entwicklung der vier Ansaatmethoden ist deutlich erkennbar, dass sich diese im ersten Projektjahr deutlich, im zweiten Jahr nicht mehr sehr stark unterschieden. Auch beim Vergleich der Entwicklung des Gesamtdeckungsgrades auf den verschiedenen Substratmischungen zeigt sich ein ähnliches Bild (Abb. 6).

Insgesamt die besten Ergebnisse wurden mit jener Variante erzielt, bei der die Saatgutmischung 3 [G/K, 65/35], eine Strohecksaat und eine Substratschicht ohne Kompostanteil kombiniert wurden.

5. Diskussion

Der Aufbau der Böschungen auf der Deponie Rautenweg ist so dimensioniert, dass von den Bermen aus maschinell gepflegt werden kann. Als Begrüntechnik hat sich aus logistischer Sicht die Hydrosaat als geeignet gezeigt. Von den Bermen aus können die steilen Böschungen schnell begrünt werden und müssen dabei nicht betreten werden. Von den getesteten Ansaatmethoden wurden mit der Strohecksaat die besten Ergebnisse erzielt. Im Bereich ohne Beimischung von Kompost konnte ein geringeres Aufkommen von Beikräutern festgestellt werden. Der verwendete Kompost war zu frisch und ist massgeblich dafür verantwortlich, dass im Mittelsektor die Vegetationsentwicklung zurückblieb (auch keine Unkräuter). Bei der Verwendung von Kompost sollte auf dessen Reife geachtet oder als Alternative auf den Kompost verzichtet werden. Ein mögliches Fehlen von organischem Bodenmaterial kann möglicherweise durch Zugabe von organischem Dünger ausgeglichen werden. Eine Bewässerung ist in den ersten Monaten unbedingt notwendig. Nach der Keimung und mit zunehmendem Deckungsgrad soll die Bewässerung sukzessive zurückgenommen werden,

um die trockenresistenten Arten zu fördern. Pflegearbeiten sind in den ersten Jahren notwendig, um den verwendeten Saatgutmischungen im Vergleich zu den Ruderalarten Konkurrenzkräften zu verleihen. Das Problem einer grossen Beikräuteranzahl liegt darin, dass diese sehr dominant sind und das Aufkommen der gewünschten Vegetation stören. Die Pflegearbeiten sollten unbedingt vor der Reife der annuellen Pflanzenarten durchgeführt werden und das Mähgut von den Flächen entfernt werden. Um auch Lichtkeimern die Möglichkeit zu geben, sich entwickeln zu können, ist es von Vorteil, die hohen Beikräuter schon früh abzumähen.

6. Literatur

- Aschauer, F.; Brandstätter, P.; Rauch, H.P.; Reiselhuber, K. 2015. Geotechnische Massnahmen zur Sicherung von Deponieböschungen am Beispiel Rauteuweg, Wien. Zeitschrift Ingenieurbiologie – Génie biologique, 2015.
- Aschauer, F.; Lammeranner, W.; Obriejetan, M.; Rauch, H.P.; Weissteiner, C. 2013. Sicherung und Begrünung einer zukünftigen Rekultivierungsschicht der Deponie RAUTENWEG. Endbericht 2013. Universität für Bodenkultur, Wien.
- Aschauer, F.; Lammeranner, W.; Rauch, H.P.; Sokopp, M.; Weissteiner, C. 2014. Bau, Begrünung und Monitoring von Böschungsflächen auf der Deponie RAUTENWEG. Endbericht 2014. Universität für Bodenkultur, Wien.
- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie; Grundzüge der Vegetationskunde (3. Aufl.). Springer, Wien.
- Jansky, G., 2008. Rekultivierung einer Böschung aus verfestigter Müllverbrennungsschlacke durch eine Obstbaumpflanzung; Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien, 2008.
- Macleod, R.D.; Congalton, R.G., 1998: A quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring Ealgrass from remotely sensed data. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 21: 207–216.

Kontaktadressen:

Stephan Hörbinger
E-Mail: stephan.hoerbinger@boku.ac.at
Hans Peter Rauch
E-Mail: hp.rauch@boku.ac.at
Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB)
Peter-Jordan-Strasse 82/III
1190 Wien

Gehölzwurzeln als Schadensverursacher asphaltierter Wegebeläge an Donau-Treppelwegen

DI Clemens Weissteiner, Ing. Christoph Konzel

Zusammenfassung

Schäden an Wegebelägen von Rad-, Geh- und Erhaltungswegen werden oft durch das Einwachsen von Gehölzwurzeln in Wegeaufbauten ausgelöst. Die Erhaltungs- und Sanierungsmassnahmen aufgrund dieser Schäden verursachen hohe finanzielle Kosten für die Erhalter der betreffenden Wege. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes sollen die Rahmenbedingungen und Ursachen für das Einwachsen der Wurzeln in Wegeaufbauten entlang der Donau-Treppelwege untersucht werden. Die Geländeaufnahmen zeigten ein hohes Schadenspotenzial von Pioniergehölzen, im Speziellen von Pappeln. Untersuchungen im Rahmen von Wegsanierungen zeigten, dass Gehölzwurzeln bei einem standardmässigen Wegeaufbau im Übergangsbereich von Trag- und Deckschicht einwurzeln und durch das sekundäre Dickenwachstum die Asphaltbeläge anheben bzw. aufbrechen. Im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes sollen verschieden gestaltete Wegeaufbauten untersucht werden, welche ein Einwachsen der Gehölze verhindern bzw. vermeiden sollen.

Keywords

Asphaltschäden, Gehölzwurzeln, Wegeaufbauten

Racines ligneuses comme responsables des dommages de la couverture en asphalte sur les chemins de halage du Danube

Résumé

Les dommages sur les revêtements des pistes cyclables, chemins piétonniers et sentiers récréatifs sont souvent dûs à la croissance des racines ligneuses sous la structure de ces chemins. Les mesures d'entretien et de restauration en raison de ces dommages entraînent des

coûts financiers élevés. Dans ce projet de recherche, les conditions-cadres et les causes de la croissance des racines dans de telles structures sont étudiées sur les chemins de halage du Danube. Le relevé topographique a montré un potentiel de dommages élevé d'espèces pionnières, en particulier des peupliers. Les recherches dans l'assainissement de chemins standards ont montré que les racines des plantes ligneuses se forment dans l'espace entre la couche portante et la couche de couverture. Dans une phase de croissance secondaire, les racines se crochent sur les revêtements en asphalte et les brisent. Ultérieurement, différentes structures et formations de chemins seront étudiées, avec pour objectif de prévenir ou d'éviter un enracinement de la végétation ligneuse sur les chemins.

Mots-clés

Dégâts d'asphalte, racines ligneuses, structures de chemins

Danni causati da radici di alberi al manto asfaltato delle strade d'alaggio lungo il Danubio

Riassunto

Spesso le radici degli alberi crescono attraverso la superficie di piste ciclabili, cammini pedestri e ricreativi causando danni al manto asfaltato. La manutenzione e le misure di risanamento derivanti da questi danni causano importanti spese a chi è responsabile del mantenimento delle rispettive strade. Nell'ambito del presente progetto di ricerca saranno analizzate le condizioni che favoriscono e causano la crescita di radici attraverso il manto di vie asfaltate delle strade d'alaggio lungo il Danubio. Le rilevazioni sul terreno hanno mostrato che piante pioniere, in particolare pioppi, hanno un alto potenziale di causare danni. Ricerche

condotte durante la riparazione di vie asfaltate hanno mostrato che, laddove i passaggi sono costruiti in modo tradizionale, le radici penetrano nella zona di transizione tra lo strato portante e il manto superficiale. In seguito, durante la loro crescita, l'ispessimento delle radici solleva e rompe il manto asfaltato. Il seguito del progetto di ricerca prevede l'analisi di altri modi di costruire vie asfaltate, con l'obiettivo di evitare o ridurre il radicamento nell'opera.

Parole chiave

Danni del manto asfaltato, radici di alberi, costruire vie asfaltate

1. Motivation und Problemstellung

Als Erhalter und Verwalter eines rund 330 km langen Wegenetzes an asphaltierten Uferbegleit- bzw. Treppelwegen (davon ca. 260 km Radwege) entstehen der via donau – Österreichische Wasserstrassen-Gesellschaft mbH durch das Einwurzeln von Gehölzvegetation in Wegeaufbauten enorme Schäden. Zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit der Radwege muss jährlich ein grosser finanzieller Aufwand für Instandhaltungsmassnahmen der Treppelwege seitens der via donau geleistet werden. Mittels visueller Inspektion werden beschädigte Bereiche detektiert und anschliessend, nach Analyse des Schadensausmasses und der Dringlichkeit, entsprechende Sanierungsmassnahmen gesetzt.

Die Schadensursache ist neben Setzungsschäden und Netzzissen vor allem Gehölzwurzeln zuzuschreiben, die ihre Versorgungsfunktion für die Pflanze erfüllen, indem sie sich im anstehenden Boden ausbreiten. Das Wachstum von Gehölzwurzeln beschränkt sich nicht nur auf Böschungen, Ufer- und Dammbereiche, sondern erstreckt sich auch unter die angrenzenden Wegebeläge. Wegebau-

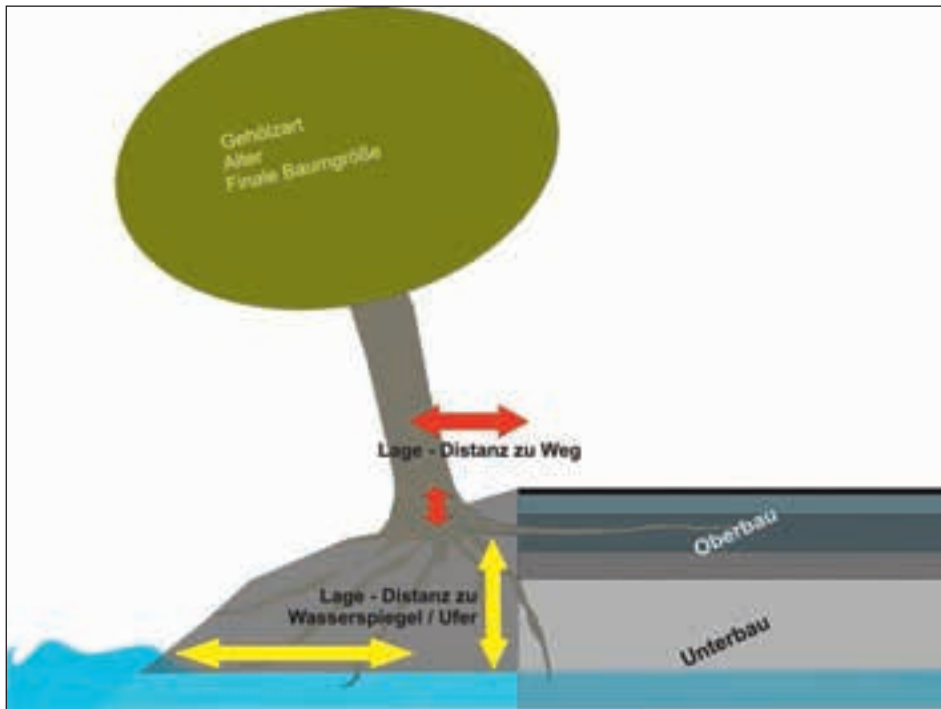


Abb. 1: Systemskizze – Gehölzwurzeln als Schadensverursacher an asphaltierten Wegebelägen.
Fig. 1: Esquisse du système – les racines ligneuses responsables des dommages de la couverture en asphalte des chemins.

schichten können ideale Bedingungen für ein Wurzelwachstum bieten und laden auch bei Vorhandensein von genügend durchwurzelbarem Raum nahehergehende Gehölze zur Durchwurzelung von Wegeaufbauten ein und verursachen in Folge Schäden an den Wegebelägen. Abbildung 1 zeigt eine Systemskizze der Problemstellung und der massgeblichen Rahmenbedingungen.

Im Zuge eines von via donau initiierten und finanzierten Forschungsprojektes am Institut für Ingenieurbio-logie und Landschaftsbau (Universität für Bodenkultur, Wien) sollen in einem ersten Schritt die Rahmenbedingungen, Ursachen und Mechanismen der Ausbreitung von Gehölzwurzeln in Wegeaufbauten und der zum Schaden führenden Prozesse untersucht werden. In einem zweiten Schritt werden Ansätze getestet, welche zur Reduzierung oder Vermeidung der Schäden an Wegebelägen führen sollen. Nachfolgend wird ein Überblick über den Stand der Forschung gegeben, es werden Ergebnisse der ersten Projektphase präsentiert sowie ein Ausblick zu weiterführenden Untersuchungen gegeben.

2. Grundlagen und Stand der Forschung

Gehölzwurzeln dienen als Versorgungsbahnen für Wasser und Mineralstoffe, spielen eine wichtige Rolle bei der Kohlenhydratspeicherung sowie Hormonsignalisierung und verankern Gehölze im Boden (Kozłowski und Pallardy, 1997). Damit diese Funktionen erfolgreich erfüllt werden können, müssen Wurzeln in der Lage sein, den anstehenden Boden bzw. das umgebende Substrat zu erkunden. Wurzeln haben die Fähigkeit, sich auf die jeweiligen Standortbedingungen einzustellen und sich Veränderungen in einem gewissen Rahmen anzupassen (Balder, 1998). Die Standortbedingungen können das Erscheinungsbild der Wurzeln stark charakterisieren (Kutschera und Lichtenegger, 2002). Die wichtigsten Faktoren sind dabei Bodentemperatur, Bodenfeuchtigkeit, Bodenluft, Nährstoffverhältnisse, Schadstoffeinträge, Poren- und Skelettanteile. Als Reaktion auf die Eigenschaften des anstehenden Bodens können sich Wurzeln unterschiedlich ausrichten, sich bestimmten Bereichen zu- bzw. abwenden oder ihre Wachstumsgeschwindigkeit anpassen (Doussan et al., 2003).

Das Wachstum von Gehölzwurzeln entlang von Strassen und Wegen beschränkt sich nicht nur auf Pflanzstreifen, Pflanzgruben oder Böschungen, sondern erstreckt sich auch unter die angrenzenden Wegebeläge. Insbesondere bei Geh- und Radwegen verursacht das Wurzelwachstum Schäden und führt zu Stolperfallen für Fussgänger und birgt Gefahren für Radfahrer (Reichwein, 2002). Wegebauschichten bieten des Öfteren ideale Bedingungen für ein Wurzelwachstum und laden auch bei Vorhandensein von durchwurzelbarem Raum nahehergehende Gehölze zur Durchwurzelung dieser Bereiche ein (Reichwein, 2002). Durch Gehölzwurzeln verursachte Asphalt-schäden treten meistens an kleineren Strassen wie Erhaltungsstrassen, Geh- und Radwegen auf, am häufigsten bei Strassen mit sehr dünnen Asphaltbelägen (Kopinga, 1994). Viele Wegebauschichten weisen auch nach Verdichtung eine geeignete Bodendichte bzw. das Vorhandensein von Grobporen auf. Typische Orte des Wurzelwachstums sind Pflasterbettungen, hohlraumreiche Tragschichten, Fugen in Baukörpern und Grenzzonen mit geringem Eindringwiderstand (Reichwein, 2002). Wurzeln können ausserdem aufgrund des auftretenden Kondensationswassers an der Unterseite der Asphalt-schicht angelockt werden. Kopinga (1994) zeigt in seinen Untersuchungen, dass der Feuchtigkeitsgehalt direkt unter der Asphalt-schicht konstant hoch ist. Gehölzwurzeln können einen maximalen Eindringwiderstand von ca. 3 Mpa überwinden, Untersuchungen im Bankettbereich und in den Tragschichten lassen erkennen, dass der Bankettbereich sehr leicht durchwurzelbar (Eindringwiderstand < 3 Mpa) ist, die Tragschichten jedoch nicht (> 3 Mpa) (Kopinga, 1994). Zudem bietet der Schichtenübergang zwischen Tragschicht und Asphalt-schicht bei standardmässiger Verdichtung der Tragschichten die einzige Eindringmöglichkeit für Gehölzwurzeln (Streckenbach et al., 2008).

Kopinga (1994) beschreibt die typischen Asphalt-schäden als eine aufge-wölbte bzw. aufgebrochene Schadens-

struktur, die sich entweder meist rechtwinklig zum Strassenverlauf erstreckt oder konzentrisch vom Stamm ausgeht. Wenn die Schadensstrukturen bereits aufgebrochen sind, kann davon ausgegangen werden, dass die schadensauslösenden Wurzeln bereits eine gewisse Länge und einen Minimaldurchmesser von 2,5 cm erreicht haben. Im Normalfall bilden die Wurzeln unter der Asphaltdecke eher wenige Seitenwurzeln aus. Sobald die andere Seite des Wegebelaes erreicht ist, fächert sich die Wurzelstruktur wieder auf (Kopinga, 1994). Das Wachstum der Wurzeln unterhalb des Wegebelaes bleibt vorerst von aussen nicht erkennbar, erst nach dem Einsetzen des sekundären Dickenwachstums und der damit verbundenen Zunahme des Wurzelradius wird die Asphaltdeckschicht nach oben geschoben, aufgewölbt bzw. aufgebrochen. Weitere typische Schadbilder können punktuelle Anhebungen des Strassenbelages darstellen. Dies ist entweder auf Verletzungen bzw. externen Druck auf die Wurzel zurückzuführen oder auf Wurzelbrut bei frisch geschnittenen spross-austriebsfähigen Gehölzen (Kopinga, 1994). Sehr oft treten solche Schäden bei Pappeln und anderen Pioniergehölzen auf. Für eine weiterführende Literaturstudie wird auf Costello und Jones (2003) verwiesen.

3. Methodik

Die von via donau zu erhaltenden Treppelwege entlang der Donau erstrecken sich vom nordwestlichen Oberösterreich bis hin zum Südosten von Niederösterreich. Dabei durchfließt die Donau verschiedene Landschaften, welche klein-klimatisch unterschiedlich ausgeprägt sind. Im Rahmen der Untersuchungen im ersten Versuchsjahr wurden der Gehölzbestand sowie die massgebenden Faktoren, die das Wurzelwachstum der Gehölze beeinflussen können, untersucht. Die Aufnahmen unterschieden sich in Geländeaufnahmen sowie begleitende Untersuchungen von Sanierungsmassnahmen. Im Rahmen der Geländekartierung wurde eine Gehölzaufnahme mit Geländebeschreibung und Asphaltchadensaufnahme an 42 Standorten mit unterschiedlich vielen

Untersuchungsbereichen (mind. 1 bis max. 10) pro Standort vorgenommen. In einem zweiten Schritt wurde an fünf ausgewählten Standorten, wo Sanierungsmassnahmen der Wegeaufbauten geplant waren, das Wurzelwachstum in den Wegeaufbauten untersucht. Im Folgenden werden die detaillierten Schritte während der Geländekartierungen und der begleitenden Untersuchungen zu den Sanierungsmassnahmen erläutert.

3.1 Geländekartierung

via donau erhebt einmal jährlich den Zustand der Treppelwege visuell und charakterisiert diesen abhängig von den Schadbildern in verschiedene Zustandsklassen. Die aufgenommenen

Wien. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die bearbeiteten Standorte. Die Standorte erstrecken sich von Roning (Bereich Kraftwerk Jochenstein), Flusskilometer 2203,6, bis Tuttendörfel, Flusskilometer 1940,7, und decken damit die verschiedenen Landschaftstypen und klimatischen Bedingungen ab. Abhängig von der Vielfalt der Standorte und der Schadensfrequenz wurden unterschiedlich viele Untersuchungsbereiche am jeweiligen Standort aufgenommen. Es wurden insgesamt 117 Bereiche, davon 91 mit Schäden und 26 ohne Schäden, untersucht. An den jeweiligen Untersuchungsbereichen wurden auf einer Lauflänge von 10–15 m folgende Parameter aufgenommen:

Gehölzart	Orientierung zum Weg
Gehölzhöhe [m]	Neigung Stamm [°]
Kronenansatz [m]	Bankbreite (l./r.) [cm]
Brusthöhendurchmesser [cm]	Zusickerung von Wasser (l./r.)
Kronendurchmesser [m]	Asphalttextur
Stammanzahl [-]	Höhe des Asphaltaufbruchs bzw. der Aufwölbung [cm]

Daten werden digital verortet und stehen im Erhaltungs-Management-System (EMS), einer GIS-basierten Anwendung, via donau als Entscheidungshilfe für nötige Sanierungsmassnahmen zur Verfügung. Das 5-stufige Bewertungssystem reicht von ungenügend bis sehr gut. Aufbauend auf dieser Schadensklassifikation wurden 42 Standorte ausgewählt, an denen die Geländekartierungen möglichst das ganze Spektrum an massgebenden Faktoren abdecken können. Berücksichtigt wurden dabei EMS-Schadensklasse, Geländeform, Oberwasser- oder Unterwasserbereich von Staustufen und die räumliche Erstreckung von Oberösterreich bis kurz vor

Neben diesen Parametern, die teils pro Baum, teils integral für den Bereich aufgenommen wurden, wurden ein Lageplan und ein Schnitt des Bereiches angefertigt, aus dem die Position der Bäume, des Weges und des Wassers zueinander ausgelesen werden können.

3.2 Begleitende Untersuchungen zu Wegsanierungsmassnahmen

Jährlich werden Teilabschnitte der Treppelwege, welche sich in einem verkehrstechnisch unzufriedenstellenden Zustand befinden, saniert. Sanierungsmassnahmen können von Asphaltfräsung, Austausch der Asphaltdeck-

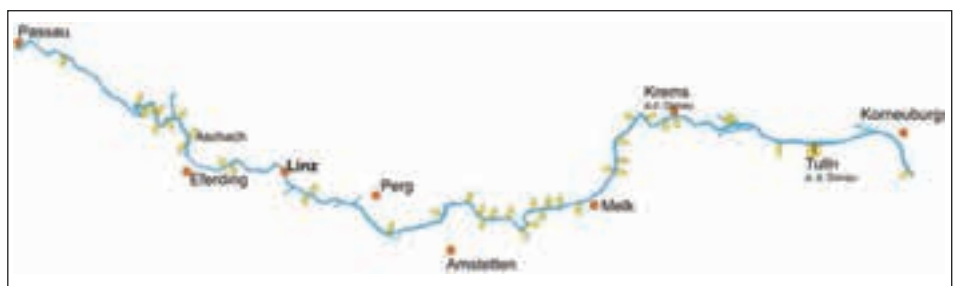


Abb. 2: Lageübersicht der 42 untersuchten Standorte (gelbe Symbole).
Fig. 2: Aperçu de la situation des 42 emplacements étudiés (symboles jaunes).

schicht, Austausch der Deck- und oberen Tragschicht bis hin zu einem kompletten Bodenaustausch (Unterbau, Oberbau und Deckschicht) bei nicht vorhandener Tragfähigkeit des Untergrundes reichen. Die Auswahl der Massnahmen wird in Abhängigkeit des Wegzustandes und des dementsprechend wirtschaftlich günstigsten Prinzips getroffen.

Im Rahmen der Sanierungen der Treppelwege kann die Situation, welche unter dem Asphalt vorherrscht, untersucht werden. Interessant dabei sind der Aufbau des Ober- bzw. Unterbaus der Weganlage, die Sieblinie der verwendeten Materialien, die Verdichtung des Oberbaus und die vertikale Einwuchshöhe der Wurzeln sowie deren Alter und Durchmesser. Die begleitenden Untersuchungen zu den Sanierungsmassnahmen wurden im Herbst 2014 an fünf unterschiedlich langen Treppelwegbereichen durchgeführt. Dabei wurden

aufgenommene Gehölzvegetation dargestellt. Aus Lesbarkeitsgründen wurden die vorkommenden Arten in Gattungen gruppiert. Robinien, Pappeln, Erlen und Weiden dominieren den Bestand. Alle dominierenden Arten werden zur Gruppe der Pioniergehölze gezählt, welche die Eigenschaft haben, in jungen Jahren grosse Zuwächse in kurzer Zeit zu verzeichnen. Diese Zuwächse finden ober- wie unterirdisch im gleichen Ausmass statt. Im Vergleich zum gesamten Gehölzbestand (Abb. 3A) dominiert in den Bereichen mit Schäden auf der betreffenden Schadensseite (Abb. 3B) eindeutig die Pappel die vorkommenden Gehölze. Sie wird in der Literatur in Bezug auf Schäden von Wegebauwerken als Gehölz mit besonders grossem Schadenspotenzial hervorgehoben (Kopinga, 1994). Die Robinie zeigt durch ihren invasiven Charakter auch starke Dominanz und ist ebenfalls für ihr aggressives Wachstum bekannt.

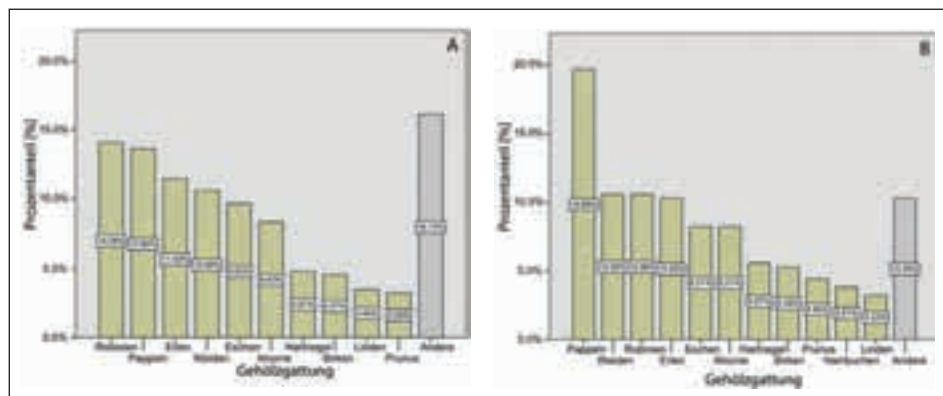


Abb. 3: Übersicht über die vorkommenden Gehölzgattungen entlang der aufgenommenen Bereiche (A). Gehölzvegetation, welche an Bereichen mit Schadstellen auf der entsprechenden Schadensseite vorkommt (B).

Fig. 3: Vue d'ensemble des espèces ligneuses qui se retrouvent le long des domaines observés (A). Végétation ligneuse responsable des dégâts apparaissant sur les zones endommagées (B).

punktuell Bereiche mit starken Wurzelschäden ausgewählt und beim Entfernen des Banketts Wurzelproben zur Altersbestimmung und Substratproben entnommen sowie der Wegeaufbau und die Position/Höhe der Wurzeleinwüchse festgehalten.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die entlang der Donau-Treppelwege vorkommende Gehölzvegetation erstreckt sich von natürlicher Auvegetation über Energiewaldpflanzungen hin zu Einzelpflanzungen. In Abbildung 3 wird die

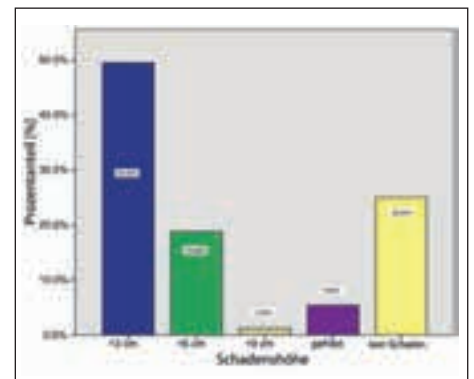


Abb. 4: Prozentuelle Verteilung der aufgenommenen Bereiche in Schadensklassen nach Schadenshöhe.

Fig. 4: Répartition en pourcentage des zones répertoriées en classes de dommages selon l'ampleur des dégâts.

Die aufgetretenen Schäden wurden nach ihrer Schadensintensität in verschiedene Schadensklassen eingeteilt, welche durch die hervorgerufene Höhe der Aufwölbung bzw. des Aufbruchs bemessen wurden (Abb. 4). Von den untersuchten Bereichen wiesen fast 50% eine Schadenshöhe von kleiner 3 cm auf, 19% wiesen eine Schadenshöhe von 3–6 cm auf. An 5,4% der Bereiche konnte keine Schadenshöhe erhoben werden, da in diesen Bereichen Asphaltabfräsungen vorgenommen wurden. Der Anteil von Schäden, die von wasserseitig stehenden Bäumen ausgelöst wurden, war leicht grösser im Vergleich zu landseitig stehenden Bäumen.

Bei einer Gegenüberstellung der vorkommenden Vegetation mit der Schadensklassifizierung wird das hohe Schadenspotenzial der Pappel hervorgehoben (Abb. 5). Sie kommt in Summe am häufigsten an Bereichen mit Schäden

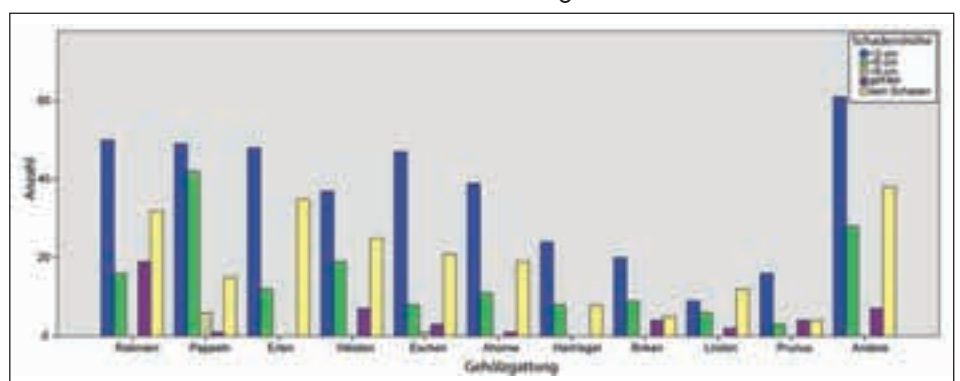


Abb. 5: Zusammenhang von Schadensintensität mit den am Standortbereich vorkommenden Gehölzgattungen.

Fig. 5: Relation entre l'intensité des dégâts avec la présence des espèces ligneuses à un emplacement donné.

vor und ist fast alleinig für Schäden mit einer Höhe von 6–9 cm verantwortlich. Im Gegenzug ist die Anzahl jener Bereiche, an denen Pappeln vorkommen und kein Schaden auftritt, relativ klein.

Ebenfalls starkes Schadenspotenzial zeigen Robinien, Erlen, Weiden und Eschen. Diese Gattungen kommen jedoch im Unterschied zur Pappel auch an vielen Bereichen vor, an denen kein Schaden auftritt. Generell sollte berücksichtigt werden, dass es sich hierbei um eine Momentaufnahme handelt, da im Laufe von Sanierungsmassnahmen Schäden von anderen Standortbereichen nicht mehr ersichtlich sind. Nur an wenigen Standortbereichen ist eine eindeutige Zuweisung des für den Schaden verantwortlichen Gehölzindividuums möglich gewesen. Im Allgemeinen kann jedoch festgehalten werden, dass besonders die Pappel und auch die Robinie in den untersuchten Bereichen vermehrt für Schäden verantwortlich waren. Unabhängig davon zeigen alle anderen Baumarten auch ein gewisses Schadenspotenzial und sind deshalb nicht zu vernachlässigen. Die unterschiedlich vertikale Position der Gehölze zum Weg bzw. die Geländeform lieferten keine eindeutigen Hinweise darauf, dass diese für eine Schadensbildung beeinflussend waren.

Die begleitenden Untersuchungen zu den Sanierungsmassnahmen zeigten in vier von fünf Bereichen immer dieselben Schadensmechanismen. Die Gehölzwurzeln drangen zwischen Asphaltdeckschicht und oberer Tragschicht in den Wegeaufbau ein und verursachten durch das anschliessende Dickenwachstum eine Aufwölbung bzw. einen Auf-

bruch der Asphaltdecke (Abb. 6). Die zum Schaden führenden Wurzeln hatten einen Durchmesser von 1,5–12 cm.

An einem Standort hingegen waren keine Gehölzwurzeln zwischen Tragschicht und Deckschicht vorhanden (Abb. 7). Der Schaden an der Asphaltdecke wurde von einer ca. 12 cm starken Wurzel ausgelöst, die in einer Tiefe von 50 cm die Tragschicht durchwachsen hat. Die Wurzel ist dabei von einer oberflächennahen Schicht senkrecht, direkt am Wegaufbau (im Bankett), in die Tiefe gewurzelt, bevor sie in den Wegaufbau eingedrungen ist. Dieser Schadensmechanismus ist mit grosser Wahrscheinlichkeit auf das verwendete Material zum Aufbau der Wegeschichten zurückzuführen. Dieses bestand aus Rundkorn mit einem hohen Anteil an Grobsand. Die Verdichtung und damit der Eindringwiderstand war im oberen Bereich grösser. Zudem kann bei sandigem Material das sich auf der Unterseite der Asphaltdecke bildende Kondenswasser besser abfliessen.

5. Conclusio und Ausblick

Die ersten Ergebnisse des Forschungsprojektes unterstreichen das Schadenspotenzial von Pioniergehölzen. Schnell wachsende Baumarten bedingen früher und häufiger Asphalt Schäden im Vergleich zu langsam wachsenden Bäumen derselben Grösse (Barker, 1983; Day, 1991; McPherson und Pepper, 1995). Prinzipiell gilt jedoch, dass sich Wurzeln aus ihrem natürlichen Wachstum heraus im Bereich bis 0,6 m Tiefe im Boden auszubreiten versuchen (Randrup et al., 2003) und demnach alle Gehölzarten ein gewisses Schadenspotenzial haben. Die Untersuchungen im Zuge von Sanierungsmassnahmen haben gezeigt, dass bei einem standardmässigen Aufbau der Wegeschichten in der Regel der Übergang zwischen Asphaltdecke und Tragschichten von Gehölzen durchwurzelt wird. In der Literatur erwähnte Versuche mit Wurzelschutzfolien weisen darauf hin, dass diese mechanische Barrieren von den Wurzeln über- oder unterwandert werden (Kopinga, 1994). Der Erfolg von Wurzelschutzfräsen bzw. Wurzeltrennschneiden ist noch wenig



Abb. 7: Untypisches Schadbild: Gehölzwurzel durchwächst die Tragschicht in einer Tiefe von 50 cm.
Fig. 7: Dommage peu commun: racines ligneuses se développant à travers la couche portante de base à une profondeur de 50 cm.



Abb. 6: Einwüchse der zum Schaden führenden Gehölzwurzeln zwischen Asphaltdeckschicht und oberer Tragschicht.
Fig. 6: Croissance des végétaux ligneux menant à des dommages entre la surface de l'asphalte et la couche portante supérieure.

untersucht worden und hängt stark von der Frequenz der Eingriffe ab (Kopinga, 1994). Dabei ist jedoch zu beachten, dass es an den Schnittstellen zu vermehrtem Wurzelwachstum kommt, welches besonders bei Pioniergehölzen stark ausgeprägt ist. Starke Reaktionen im Wurzelwachstum ist auch beim «Auf den Stock»-Setzen von Pioniergehölzen (im Speziellen Pappeln) zu erwarten, da diese vermehrt mit Wurzel ausbrut

reagieren. In diesem Fall sind Begleitmassnahmen wie Wurzelstockfräsung, Mulchung und Entfernung von frischen Sprossen empfehlenswert. In den nächsten Schritten des Forschungsprojektes sollen in der Literatur erwähnte modifizierte Wegeschichtenaufbauten erprobt werden (Costello und Jones, 2003; Streckenbach et al., 2008). Kopinga (1994) fand bei seinen Versuchen, dass die Verwendung von grobem Schotter den Wegeaufbau bis zu zehn Jahre fast wurzelfrei halten kann. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird im Rahmen von Kleinversuchen und Naturversuchen der Erfolg von unterschiedlichen Wegeaufbauten getestet. Technische Anforderungen an den Wegebau, bautechnische Machbarkeit und finanzieller Aufwand der Aufbauten werden hierbei den Erfolgen in der Schadensverhinderung gegenübergestellt und führen zu einer optimalen Problemlösung.

6. Danksagung

Dieses Projekt wird dankenswerterweise von via donau – Österreichische Wasserstrassen-Gesellschaft mbH gefördert.

7. Literaturverzeichnis

Balder, H. (1998): Die Wurzel der Stadtbäume: Ein Handbuch zum vorbeugenden und nachsorgendem Wurzelschutz. Parey, Berlin.

Barker, P.A. (1983): Some urban trees of California: Maintenance problems and genetic improvement possibilities. In METRIA: 4. Proceedings of the Fourth Biennial Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance (H.D. Gerhold, ed.), pp. 47–54. The Pennsyl-

vania State University, School of Forest Resources.

Costello, L.R., and K.S. Jones (2003): Reducing infrastructure damage by tree roots: A compendium of strategies. International Society of Arboriculture, Chassett, CA. 119 pp.

Day, R.W. (1991): Damage of structures due to tree roots. *Journal of Performance of Constructed Facilities* 5, 200–207.

Doussan, C.; Pagès, L.; Pierret, A. (2003): Soil exploration and resource acquisition by plant roots: An architectural and modelling point of view. *Agronomie* 23, 419–431.

Kopinga, J. (1994): Aspects of the damage to asphalt road pavings caused by roots. In Watson, G., and D. Neely (Eds.). *The Landscape Below Ground. Proceedings of an International Workshop on Tree Root Development in Urban Soils.* International Society of Arboriculture, Champaign, IL. pp. 165–178.

Kozłowski, T., Pallardy, S. (1997): *Physiology of Woody Plants.* 2nd edition. Academic Press, San Diego, CA.

Kutschera, L. und Lichtenegger, E. (2002): *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher / Anatomie: Lore Kutschera; Morphologie: Erwin Lichtenegger.* – Graz (u.a.): Stocker, 2002. 604 S. (Wurzelatlas-Reihe; 6).

McPherson, E.G. and Peper, P.J. (1995): Infrastructure repair costs associated with street trees in 15 cities. In *Trees and Building Sites.* In Proceedings of an International Workshop on Trees and Buildings (G.W. Watson and D.

Neely eds.), pp. 49–64. International Society of Arboriculture, Savoy, Ill, USA.

Randrup, T.B., McPherson, E.G.; Costello, L.R. (2003): A review of tree root conflicts with sidewalks, curbs, and roads. *Urban Ecosystems* 5: 209–225.

Reichwein, S. (2002): *Baumwurzeln unter Verkehrsflächen – Untersuchungen zu Schäden an Verkehrsflächen durch Baumwurzeln und Ansätze zur Schadensbehebung und Schadensvermeidung.* Beiträge zur räumlichen Planung, Heft 66. Hannover.

Streckenbach, M., Stützel, T., Bosseler, B. (2008): *Schäden durch Wurzeln von Gehölzen.* Tagungsband der 19. Österreichischen Baumpflegetagung 2008, Wien.

Kontaktadressen:

DI Clemens Weissteiner
Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
Universität für Bodenkultur Wien
Peter-Jordan-Strasse 82, 1190 Wien
E-Mail:
clemens.weissteiner@boku.ac.at
Tel.: 01 47654 7305

Ing. Christoph Konzel
via donau – Österreichische Wasserstrassen-Gesellschaft mbH
Servicecenter Oberes Donautal
Ritzbergerstrasse 38,
4082 Aschach/Austria
E-Mail: christoph.konzel@viadonau.org



Mitgliederversammlung und
Exkursion des Vereins für
Ingenieurbiologie und
Verleihung Gewässerpreis
Schweiz 2015

Assemblée des membres et
excursion de l'Association
pour le génie biologique et
remise du Prix suisse des
cours d'eau 2015

Assemblea dei membri ed
escursione dell'Associazione
per l'ingegneria naturalistica
e assegnazione del Premio
svizzero dei corsi d'acqua
2015

21.05.2015
Aarberg CH

sekretariat@ingenieurbiologie.ch



Universität für Bodenkultur Wien

Ausschreibung der Stelle
einer Universitätsprofessorin / eines Universitätsprofessors für
Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

An der Universität für Bodenkultur Wien ist ab 1.10.2015 die Stelle einer Universitätsprofessorin / eines Universitätsprofessors für „Ingenieurbiologie und Landschaftsbau“ zu besetzen. Die Stelle wird gemäß § 98 UG 2002 in Form eines zeitlich unbefristeten vertraglichen Dienstverhältnisses besetzt.

ARBEITSGEBIETE

Die Professur Ingenieurbiologie und Landschaftsbau umfasst drei Schwerpunkte.

Diese sind: (1) die naturnahe Bautechnik mit der Verwendung von Pflanzen als Baustoff an Fließgewässern, Hängen und Böschungen unter Berücksichtigung technischer und ökologischer Aspekte; (2) die Technik der Verwendung von Pflanzen für die Begrünung von Infrastrukturflächen, Freiräumen und Bauwerken im Siedlungsraum zur Erzielung ökologischer und klimatischer Wirkungen; (3) die Technik und Verwendung von Materialien und Werkstoffen zur Herstellung und Pflege von Baukonstruktionen in der Landschaftsarchitektur und Landschaftsgestaltung.

Die Fachgebiete sind Bestandteil der technischen Kernkompetenzen der Universität für Bodenkultur Wien und bieten ingenieurwissenschaftliche Grundlagen für Forschung und Lehre in den Kompetenzfeldern *Lebensraum und Landschaft, Wasser – Atmosphäre – Umwelt, Nachwachsende Rohstoffe und Ressourceneffiziente Technologien*.

In der Forschung ist die Verwendung des Baustoffs Pflanze und anderer ressourcenschonender Baumaterialien und ihrer zeitlichen und räumlichen Wirkung von besonderer Bedeutung. Im Sinne der Universität für Bodenkultur Wien als Lebensuniversität wird besonderer Wert auf eine nachhaltige Bautechnik gelegt mit Berücksichtigung technischer, ökologischer und sozio-ökonomischer Aspekte.

In die Lehre sind die Studienrichtungen der Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur, Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Forstwirtschaft sowie weiterer Studien an der Universität für Bodenkultur Wien zu bedienen. Die Lehre hat in allen Stufen (Bachelor, Master, Doktorat) zu erfolgen. Die Stelleninhaberin / der Stelleninhaber vermittelt den Studierenden die Fächer der Ingenieurbiologie, Vegetationstechnik und Bautechnik im Landschaftsbau im Rahmen der oben genannten Kompetenzfelder der Universität für Bodenkultur Wien.

ANFORDERUNGSPROFIL

- Habilitation im Bereich der thematischen Ausrichtung der Professur oder gleichwertige Qualifikation
- Didaktische Fähigkeiten und Nachweis erfolgreicher Lehre – auch in der Anleitung und Betreuung des wissenschaftlichen Nachwuchses
- Erfahrung in der Einwerbung und Abwicklung von Forschungsprojekten
- Wissenschaftliche Publikationstätigkeit
- Einschlägige praktische Erfahrungen sowohl in der Planung als auch in der Umsetzung von Projekten in den oben genannten Schwerpunkten der Professur werden erwartet
- Abhaltung von Lehrveranstaltungen in deutscher und englischer Sprache
- Fähigkeit zur Kooperation in Lehre und Forschung (auch international) sowie zum interdisziplinären Dialog
- Management- und Führungskompetenz, Kommunikations- und Teamfähigkeit sowie Mitwirkung in der Öffentlichkeitsarbeit
- Mitwirkung an der Entwicklung und Selbstverwaltung der Universität für Bodenkultur Wien mit Einbindung in einschlägige Schwerpunkt- und Kooperationsprogramme ebenso wie die Bereitschaft zur Übernahme universitärer Funktionen
- Mitwirkung in nationalen und internationalen Fachgremien und Institutionen

Ihre Bewerbung richten Sie bitte in elektronischer Form (pdf) und in 6-facher Ausfertigung bis spätestens **20. Februar 2015** (Datum des Poststempels) an den Rektor der Universität für Bodenkultur Wien, Peter-Jordan-Straße 70, 1190 Wien, rektorat@boku.ac.at.

Folgende Unterlagen schließen Sie bitte Ihrer Bewerbung bei:

- Lebenslauf mit ausführlicher Darstellung der Berufs-, Lehr- und Forschungstätigkeit
- Verzeichnis der Publikationen (referiert / nicht referiert), Vorträge und Projekte
- Kopien von 5 Publikationen neueren Datums, die von Ihnen als besonders wichtig erachtet werden
- Konzept zur Ausrichtung von Forschung und Lehre; Darstellung von geplanten fachlichen Schwerpunkten
- Kurze Begründung, warum Sie der Ansicht sind, für diese Stelle besonders geeignet zu sein (max. 1 Seite A4)

Mit der Abgabe der Bewerbung erklären Sie sich einverstanden, dass im Rahmen des Auswahlverfahrens eine Personalberatung hinzugezogen werden kann.

Die Universität für Bodenkultur Wien strebt eine Erhöhung des Frauenanteils in ihrem Personalstand an und lädt daher facheinschlägig qualifizierte Wissenschaftlerinnen ausdrücklich zur Bewerbung ein. Bei gleicher Qualifikation werden Frauen vorrangig aufgenommen, sofern nicht in der Person eines Mitbewerbers liegende Gründe überwiegen.

Das Arbeitsverhältnis ist in die Verwendungsgruppe A1 des Kollektivvertrages für die Arbeitnehmer/innen der Universitäten eingereiht. Eine Überzahlung des kollektivvertraglichen monatlichen Mindestentgelts (€ 4.697,80 14x jährlich) ist vorgesehen.

Weitere Informationen zu dieser Ausschreibung sowie über die Universität für Bodenkultur Wien bzw. das Department können dem Web entnommen werden: www.boku.ac.at/professuren-ausschreibungen.html www.baunat.boku.ac.at

Der Rektor

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Dr.h.c.mult. Martin H. Gerzabek

Editorial	2
Fachbeiträge	
Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka	4
Messung und Modellierung der Wassertemperatur an den Flüssen Lafnitz und Pinka	11
Einfluss der Wassertemperatur auf die Habitatpräferenz von Fischen in mittelgrossen Flüssen	15
Der Einfluss der Wassertemperatur auf die benthische Evertebratenzönose in mittelgrossen Fliessgewässern am Beispiel der Flüsse Lafnitz und Pinka (Burgenland, Steiermark) in Österreich	22
Veränderung ausgewählter Wasserqualitätsparameter durch Querbauwerke in kleinen Fliessgewässern	29
Revitalisierungsmassnahmen im Kanton Zürich, Schweiz	37
Ingenieurbioologische Versuchsstrecke am Schifffahrtsgewässer Rhein bei Worms, Deutschland	40
Revitalisierungs- und Umbaumassnahmen am Mödlingbach im Stadtgebiet von Mödling	45
Ingenieurbioologische Massnahmen an Wildbächen – Anwendungsbeispiele der Wildbach- und Lawinerverbauung (WLV)	51
Europäische Richtlinie für Ingenieurbioologie – Ziel und Zweck	56
Vom Almweg über die Autobahn bis zur Eisenbahn – Praxisfibel zur landschaftsschonenden Hang- und Böschungssicherung an Verkehrswegen	58
Begrünung von Steilböschungen – Erfahrungen aus der Praxis und aktuelle Forschungsergebnisse	62
Begrünung von senkrechten Spritzbetonmauern im Rahmen des Forschungsprojekts «GreenWall» in Tirol	67
Geotechnische Massnahmen zur Sicherung von Deponieböschungen am Beispiel Rautenweg, Wien	71
Ingenieurbioologische Massnahmen zur Sicherung von Deponieböschungen am Rautenweg	78
Gehölzwurzeln als Schadensverursacher asphaltierter Wegebögel an Donau-Treppelwegen	84



INGENIEURBIOLOGIE
GÉNIE BIOLOGIQUE
INGEGNERIA NATURALISTICA
INSCHENIERA BIOLOGICA

Verein für Ingenieurbioologie
Association pour le génie biologique

ZHAW
 Zürcher Hochschule für
 Angewandte Wissenschaften
 Sekretariat, Andrea Grimmer
 Grüental, Postfach 335, CH-8820 Wädenswil
 Tel. +41 58 934 55 31



Europäische Föderation für Ingenieurbioologie
Federazione Europea per l'Ingegneria Naturalistica
European Federation for Soil Bioengineering
Federation Europeenne pour le Génie Biologique
Federacion Europea de Ingenieria del Paisaje

Dipl.-Ing. Rolf Studer
 Verein für Ingenieurbioologie in der Schweiz
 Route du Coteau 63, CH-1752 Villars-sur-Glâne
 Tel: +41 26 401 02 45
 Mail: rolfaugust.studer@gmail.com
<http://www.ingenieurbioologie.ch>

Inserate

Inseratentarif für Mitteilungsblatt / Tarif d'insertion dans le bulletin

Der vorliegende Tarif ist gültig für eine Ausgabennummer.
 Le présent tarif comprend l'insertion pour une parution.

1 Seite	Fr. 750.–	2/3 Seite	Fr. 550.–	1/2 Seite	Fr. 400.–
1/3 Seite	Fr. 300.–	1/4 Seite	Fr. 250.–	1/8 Seite	Fr. 150.–
Separate Werbebeilage beim Versand:		1 A4-Seite	Fr. 1000.–		
		jede weitere A4-Seite	Fr. 300.–		

Inseratenannahme: Roland Scheibli, Baudirektion Kanton Zürich, ALN, Abteilung Landwirtschaft, Walcheplatz 2, Postfach, 8090 Zürich, Tel.: +41 43 259 27 64, Fax: +41 43 259 51 48, E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch

Link auf der Internetseite des Vereins / Liaison internet sur la page web de l'association: Fr. 750.– pro Jahr / par an
 Oder bei Inseraten im Mitteilungsblatt im Wert von mindestens Fr. 750.– pro Jahr
 Contre publication d'encarts publicitaires dans le journal Génie Biologique pour Fr. 750.– par an au moins

Redaktionsschluss / Délai rédactionnel

Heft:	Redaktionsschluss:	Thema:	Erscheint:	Redaktion:
Nr. 2/15	28. Februar 2015	Pionierarbeit zur Ökologisierung der Wasserkraft	Mai 2015	Margrith Göldi Hofbauer
Nr. 3/15	noch offen	Umsetzung der Gewässerschutzverordnung	noch offen	Röbi Bänziger

Fachbeiträge sind gemäss den redaktionellen Richtlinien zu verfassen und bis zum Redaktionsschluss an Roland Scheibli, Gossweiler Ingenieure AG, Neuhofstrasse 34, Postfach, 8600 Dübendorf 1, Tel.: + 41 44 802 77 11, Fax: +41 44 802 77 00, E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch, einzureichen.