

## Ingenieurbiologische Bauweisen an Hochwasserschutzdeichen

Walter Lammeranner  
Ronald Haselsteiner

Ingenieurbiologische Bauweisen zählen z. B. bei der Stabilisierung von natürlichen Hängen und Böschungen zu den Regelbauweisen und haben sich in zahlreichen Anwendungen bewährt. Auch für die Anwendung an Hochwasserschutzdeichen könnten diese ingenieurbiologischen Bauweisen geeignet sein und die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit von Deichböschungen erhöhen. Nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik wird zurzeit eine dauerhafte, dichte und geschlossene Grasnarbe als bester Schutz für den Deichkörper gesehen (*DIN 19712/1997*). Gehölze, wie sie bei vielen ingenieurbiologischen Bauweisen zur Anwendung kommen, werden auf Hochwasserschutzdeichen aus verschiedensten Gründen, meist aber aufgrund von Bedenken im Hinblick auf die Standsicherheit, abgelehnt, beziehungsweise nur unter besonderen Bedingungen geduldet. Viele dieser Annahmen basieren auf Erfahrungswerten, welche mit schadhaften und deshalb unpassenden Gehölzstrukturen, wie großen Einzelbäumen und einzelnen Baumgruppen gemacht wurden. Das diesem Beitrag zugrunde liegende Forschungsprojekt befasst sich deshalb mit den Einflüssen von ingenieurbiologischen Bauweisen mit strauchförmigen Gehölzstrukturen auf Hochwasserschutzdeiche. Im Beitrag wird kurz die grundsätzliche Problematik von Gehölzen an und auf Hochwasserschutzdeichen diskutiert, die Einsatzmöglichkeiten ingenieurbiologischer Bauweisen an und auf Hochwasserschutzdeichen beleuchtet sowie die Ergebnisse der Forschungsarbeiten zur Sicherung von Deichen mit ausgewählten, ingenieurbiologischen Bauweisen an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU Wien) präsentiert.

Ingenieurbiologie, Bewuchs, Gehölze, Hochwasserschutz, Deich

### 1 Einleitung

Mit den Hochwasserereignissen der letzten Jahre und den aufgetretenen Schäden an Deichen sowie infolge von Deichbrüchen ist die Standsicherheit, die Dauerhaftigkeit, der Unterhalt und die Instandhaltung von Hochwasserschutzdeichen wieder verstärkt in den Brennpunkt des Interesses getreten. Neben dem Aufbau und der Geometrie werden die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit maßgeblich durch die Beschaffenheit des Bewuchses beeinflusst. Die Schutzwirkung der Vegetationsdecke ist hierbei maßgebend im

Hinblick auf den Erosionsschutz und den Schutz vor anderen Einwirkungen, wie z. B. Sonne, Regen, Tiere und Menschen.

## **2 Bewuchsformen und ingenieurbiologische Bauweisen**

Als bester Schutz für den Deichkörper wird eine dauerhafte, dichte und geschlossene Grasnarbe gesehen. Gehölze auf Hochwasserschutzdeichen werden abgelehnt, beziehungsweise nur unter besonderen Bedingungen geduldet. So steht in der *DIN 19712 (1997)*, die sich derzeit in Überarbeitung befindet, folgendes: *„Gehölze setzen sich aus Sträuchern und Bäumen zusammen. Auf Deichen dürfen sie nur unter besonderen Bedingungen geduldet werden. Gehölzbestände werden entweder durch Pflanzungen begründet, oder sie entwickeln sich über die natürlichen Sukzessionsstadien. Bei unterlassener Pflege können sie langfristig zu waldartigen Beständen aufwachsen, die auf Deichen grundsätzlich nicht zulässig sind“*.

Die Ablehnung von Gehölzen auf Hochwasserschutzdeichen wird vor allem mit folgenden möglichen Auswirkungen begründet (*HASELSTEINER und STROBL, 2004; DVWK 210, 1986*):

- Wurzeln erleichtern entlang ihrer Gänge die Wasserbewegung und erhöhen die Durchlässigkeit des durchwurzelten Bereichs.
- Abgestorbene Wurzeln hinterlassen Hohlräume im Deichkörper.
- Angreifende Kräfte (Wind, Wasser, Schnee) übertragen sich auf Wurzeln und lockern den Deichboden.
- Gehölze erschweren Deichüberwachung und Deichverteidigung, eventuelle Schäden werden nicht erkannt.
- Gehölze können das Aufkommen von (Wühl-)Tieren auf dem Deich verstärken.
- Die Beschattung durch Gehölze verhindert die Ausbildung einer geschlossenen Grasnarbe.
- Wurzeln von Gehölzen können Dräns beeinträchtigen.

Viele dieser Annahmen basieren aber oft auf Erfahrungswerten, welche mit problematischen und unpassenden Gehölzstrukturen, wie großen Einzelbäumen und einzelnen Baumgruppen gemacht wurden. Aufgrund der Langwierigkeit und der Abhängigkeit von spezifischen Standortbedingungen sind die wissenschaftlichen Untersuchungen und Erkenntnisse auf diesem Gebiet rar.

Die geeigneten Bewuchsformen auf Deichen sind maßgebend von den Rahmenbedingungen abhängig. Aufgelassene Deiche oder Deiche mit eingeschränkter Hochwasserschutzwirkung haben weniger Anforderungen bzgl. der Standsicherheit und können eher mit Gehölzen bewachsen sein.

Im Vergleich zur Bewehrung der obersten Bodenschicht durch eine Grasnarbe ist die Bewehrung des Deichkörpers durch einen Gehölzbestand ungleich höher und wirkungsvoller. Hinzu kommt, dass der oberirdische durchlässige Bestand aus Stämmen und Zweigen die Strömungsgeschwindigkeit und den Wellenschlag des Hochwassers im Vergleich zur Grasnarbe erheblich verringert und damit den Angriff von Wellen und Strömung auf den Deich stark abmildert. Dies spricht für dichten Strauchbewuchs auf der wasserseitigen Böschung. Elastische Gehölzbestände, wie die genannten Sträucher, werden bei Hochwasser überströmt, sie biegen sich und legen sich am Boden an und schützen diesen vor Erosion. Die Fließgeschwindigkeit, Durchflussfläche und damit der Wasserabfluss werden nur geringfügig verringert (*FLORINETH, 2004; RAUCH, 2005*). Die hydraulischen Verhältnisse und der Einfluss von Bewuchsformen sind bei der Bestimmung der Abflusskapazität des Abflussquerschnitts zu berücksichtigen.

Vorteile könnten sich auch hinsichtlich der Pflege der Vegetation ergeben. Die konventionelle Begrünung mit Gräsern und Kräutern erfordert eine regelmäßige Mahd (mindestens ein- oder zweimal im Jahr) der Deichoberflächen. Langsam wachsende Gehölze hingegen benötigen seltenere Pflegemaßnahmen, so je nach Pflanzenart und Standortverhältnissen etwa alle 6 bis 10 Jahre. Gehölze können je nach Stärke in der Vegetationsruhe mit einem glatten, schrägen Schnitt so nah wie möglich über der Bodenoberfläche „auf Stock gesetzt“ werden. Diese Verjüngung kann als abschnittsweiser Kahlschlag durchgeführt werden, um den gesamten Abschnitt wieder gleichmäßig aufwachsen zu lassen.

Ein oft geäußertes Einwand ist, dass beim Absterben der Wurzeln Hohlräume entstehen würden. Nach *PFLUG und STÄHR (1999)* entstehen aber beim Absterben der Wurzeln keine Hohlräume im Sinne dieses Wortes, sondern nach dem Vermodern mit Humus gefüllte Räume. Die vermodernenden Wurzeln eines gefällten Einzelbaums können zwar nach und nach das Eindringen von Sickerwasser in den Deich bei Hochwasser erleichtern, aber wie sie des Weiteren ausführen: „*Im geschlossenen Waldbestand werden diese Räume durch eine neue Wurzelgeneration meist rasch aufgesucht und durchwachsen. Die Stabilität des Deiches wird durch das Absterben von Wurzeln nicht beeinträchtigt, zumal er dicht mit lebendem Wurzelwerk durchsetzt ist.*“ Aspekte der Dauerhaftigkeit und der Erosionsstabilität bei Durchsickerung des Deichkörpers wurden jedoch nicht diskutiert und so kann dennoch nicht

ausgeschlossen werden, dass die Erosionsanfälligkeit des Deichkörpers bzw. Deichmaterials durch verrottende und abgestorbene Wurzeln maßgebend erhöht wird. Dass durchwurzelter Boden eine höhere Durchlässigkeit aufweist, wurde in zahlreichen Untersuchungen bereits nachgewiesen (*DVWK 226, 1993*).

Weiden sind besonders für den Einsatz zur Sicherung von Böschungen und Hängen an Gewässern geeignet, da sie Adventivwurzeln bilden. Durch einen periodischen Schnitt können sie strauchartig gehalten und immer wieder verjüngt werden. Sie sind also stockausschlagfähig. Durch ihre Elastizität sind sie selbst extremen Beanspruchungen, wie sie bei einem Hochwasser auftreten, gewachsen. Sie können mehrere Tage gänzlich unter Wasser stehen, ohne einen Schaden zu erleiden. Teilweise Überflutungen ertragen sie einige Wochen lang. Werden sie beschädigt, verfügen sie über ein ausgezeichnetes Regenerationsvermögen. Weiden haben eine Lebensdauer von 60 Jahren im Bestand, bei ständiger Verjüngung durch einen Schnitt an der Basis („auf Stock setzen“) und richtiger Pflanzenwahl überdauern sie bis zu 100 Jahre (*SCHIECHTL und STERN, 2002*).

Die ingenieurbiologischen Bauweisen zur Sicherung von Böschungen und Hängen sind in zahlreichen Büchern und Arbeiten beschrieben, wie z. B. in *JOHANNSON und HACKER (2009)*, *FLORINETH (2004)*, *PFLUG und HACKER (1985)* und *PATT ET AL. (1998)*.

Eine sehr gut zur Bepflanzung von Deichen geeignete ingenieurbiologische Bauweise mit Gehölzen stellt die Weidenspreitlage dar, wie sie auch in zwei verschiedenen Formen beim vorliegenden Forschungsvorhaben zum Einsatz kam. Sie bietet als flächige Bauweise bereits unmittelbar nach Errichtung einen oberflächlichen Schutz und entwickelt rasch einen dichten Bestand an dünnen Weidensprossen.

Als weitere ingenieurbiologische Bauweisen mit Gehölzen für den Einsatz an Deichen können genannt werden:

- Steckholzpflanzungen
- Pflanzung von bewurzelten Gehölzen

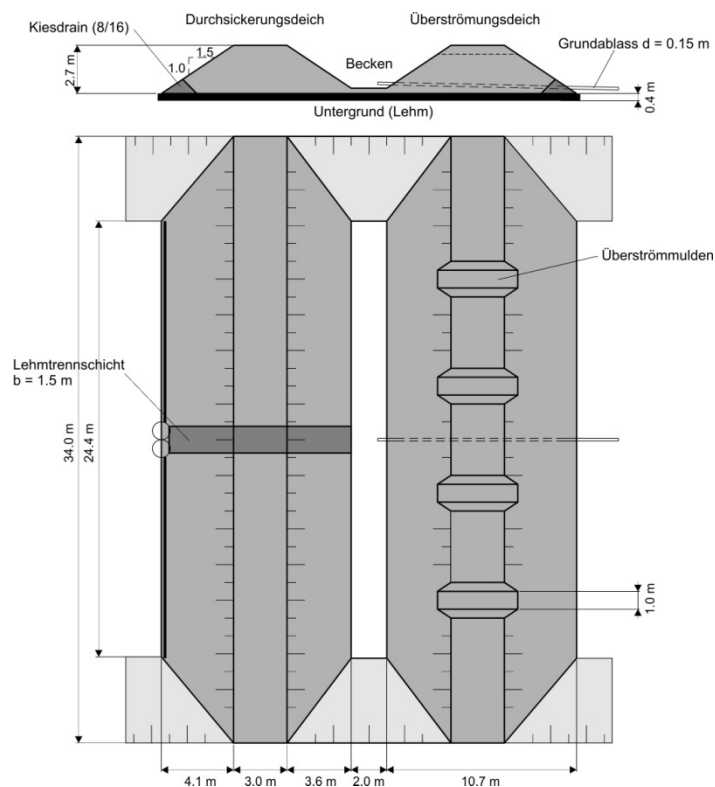
Beide Bauweisen bieten aber als punktuelle Bauweisen, nur einen bedingten Schutz für den Deichkörper. Sie können entweder an Deichen angewandt werden, welche bereits eine Vegetationsdecke (Gräser-Kräuter-Narbe) besitzen oder müssten in Kombination mit einer Gräser-Kräuter-Begrünung erfolgen. Beide Male stellt sich aber das Problem der Pflege, da das notwendige Mähen der Gräser-Kräuter-Narbe, mit einer Schädigung der jungen Weidensprosse einhergehen würde oder aber sehr aufwendig ist.

### 3 Forschungsvorhaben

#### Allgemeines

Die Forschungsarbeiten an der BOKU Wien konzentrieren sich im Wesentlichen auf die Untersuchung des Einflusses von Gehölzstrukturen auf die Durchsickerung von Deichen, die Überströmung von Deichen sowie auf den Wasserhaushalt von Deichen.

Dazu wurde 2007 eine Versuchsanlage mit zwei naturmaßstäblichen Deichen in Deutsch-Wagram (Niederösterreich) errichtet. Diese Anlage wurde 2008 durch einen dritten Deich für Wurzeluntersuchungen ergänzt und 2009 durch eine Lysimeter-ähnliche Versuchsanordnung erweitert, welche den Einfluss von Gehölzen auf den Wasserhaushalt näher untersucht. Die Kernanlage besteht aus zwei parallelen Deichen die ein Becken bilden, welches mit Wasser gefüllt werden kann. Ein Deich (im Folgenden kurz „Durchsickerungsdeich“ genannt) ist mit Pegelrohren und Porenwasserdruckgebern ausgerüstet und dient der Untersuchung der Durchsickerung des Deiches. Der zweite Deich (nachfolgend „Überströmungsdeich“ genannt) besitzt vier 1 m breite Überströmungsmulden, die einzeln überströmt werden können, um den Einfluss der Gehölzstrukturen bei Überströmung zu untersuchen. Eine schematische Darstellung der Versuchsanlage ist in Abbildung 1 dargestellt.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung der Versuchsanlage

2008 wurde diese Anlage durch einen dritten Versuchsdeich zur Untersuchung der Wurzelentwicklung und -ausbreitung erweitert. Dieser Deich dient auch Ausgrabungen und der Bestimmung der Wurzelparameter. Dabei werden neben den oberirdischen Pflanzenparametern auch unterirdische Parameter wie Durchwurzelungstiefe, Wurzeldurchmesser und Wurzelmasse bestimmt.

Im Jahr 2009 wurden schließlich Lysimeter-ähnliche Versuche begonnen, um den Einfluss von Weidenpflanzungen als ingenieurbioologische Bauweise auf den Wasserhaushalt des angrenzenden Bodens zu untersuchen.

### Deichaufbau

Die Versuchsdämme wurden als homogene Deiche geschüttet. Das Deichmaterial besteht aus einem Kies-Schluff-Gemisch. Die Neigung der Böschungen beträgt  $V:H = 2:3$ , die Kronenbreite 3 m. Die Deiche sind 2,7 m hoch und stehen auf einer 0,3 m dicken Untergrundsicht, die aus Lehm besteht. Aus den landseitigen Böschungen beider Dämme wurde ein Kiesdrän (8/16 mm) eingebaut. Die zu erreichende Einbaudichte wurde mit 97% der Proctordichte festgelegt, was einer Trockenrohddichte ( $\rho_D$ ) von  $1,968 \text{ g/cm}^3$  entspricht. Der Durchlässigkeitsversuch bei dieser Einbaudichte ergab einen Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_{10}$ ) von  $k = 8,5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ . Der Aufbau des Versuchsdeiches für die Wurzeluntersuchungen ist gleich und unterscheidet sich nur durch die Neigung der Deichböschung ( $V:H = 1:2$ ).

### Angewendete ingenieurbioologische Bauweisen

Bei den Versuchsdeichen kamen als ingenieurbioologische Bauweise Weidenspreitlagen zur Anwendung. Die Weidenspreitlage ist eine flächige Bauweise, welche vor allem im Flussbau als Uferschutzmaßnahme zur Anwendung kommt. Bei der konventionellen Weidenspreitlage werden die mehrere Meter langen Weidenäste längs zur Böschung aufgelegt, sodass sich die dicken Äste im Wasser befinden. An den Versuchsdämmen kam auch eine abgeänderte Form der Weidenspreitlage zur Anwendung, bei der die Weidenäste quer zur Böschung aufgelegt wurden. In weiterer Folge wird die konventionelle Form als „Weidenspreitlage–längs“, die andere als „Weidenspreitlage–quer“ bezeichnet. Das verwendete Weidenmaterial aus der Purpur-Weide (*Salix purpurea* L.), eine strauchförmige und bezüglich ihrer Standortsansprüche sehr anpassungsfähige Weidenart zur Anwendung. Dabei wurden die 2–4 m langen Weidenäste längs bzw. quer zur Böschung aufgelegt, wobei darauf geachtet wurde, dass die Weidenäste einen möglichst guten Bodenkontakt aufweisen. Zur Befestigung wurden in Abständen von 1–2 m Pflöcke eingeschlagen und die Äste mit Spanndraht an die Deichoberfläche gedrückt. Abschließend wurde die Spreitlage mit einer 2–3 cm dicken Humusschicht bedeckt.

## Durchsickerungsversuche

Im Rahmen von Durchsickerungsversuchen wird in das Becken der Versuchsanlage Wasser gepumpt. Mithilfe von Pegelrohren und darin eingebauten Porenwasserdruckgebern wird dabei die Durchsickerungsfront in Abhängigkeit der Vegetation gemessen. Dabei soll untersucht werden ob das Wurzelwachstum der Gehölze einen Einfluss auf die Durchsickerung hat (siehe Abbildungen 2 und 3).



**Abbildung 2:** Becken im eingestauten Zustand während eines Durchsickerungsversuches (Deutsch-Wagram, 18.06.2008)



**Abbildung 3:** Mit Gräser-Kräuter-Vegetation beplanter Bereich während eines Durchsickerungsversuches (Deutsch-Wagram, 19.06.2008)

## Überströmversuche

Die Überströmbereiche wurden bislang mit einer maximalen Belastung von 40 l/s m über eine Stunde belastet. Dabei wurden sowohl die Bereiche mit der Gräser-Kräuter-Begrünung (Abbildung 4) als auch die Bereiche mit den beiden Weidenspreitlagen (Abbildung 5) überströmt.



**Abbildung 4:** Überströmung der Gräser-Kräuter-Begrünung (Deutsch-Wagram, 19.06.2008).



**Abbildung 5:** Überströmung der Weidenspreitlage-längs (Deutsch-Wagram, 19.06.2008).

## Lysimeter-ähnliche Versuche

Die Lysimeter-ähnliche Versuchsanordnung (siehe Abbildungen 6 und 7) wurde zur Untersuchung des Einflusses der ingenieurbiologischen Bauweisen auf den Wasserhaushalt errichtet und besteht aus drei zylinderförmigen Behältern (220 l Tonnen). In diese wurde das gleiche Bodenmaterial mit derselben Verdichtung wie bei den Versuchsdeichen eingebaut. Davon wurde einer mit Gehölzen (Weidenspreitlage) bepflanzt und ein anderer mit Gräser-Kräuter-Begrünung begrünt entsprechend den Vegetationsformen auf den Deichböschungen. Als Nullvariante blieb ein weiterer Behälter vegetationslos. Diese Behälter sind mit jeweils zwei Bodenfeuchtigkeitssensoren und vier Tensiometern in verschiedenen Tiefen ausgestattet und stehen auf Waagen, um die Massenbilanz ermitteln zu können. Zusätzlich wird die Durchsickerung mit Kippmessern aufgezeichnet und die meteorologischen Parameter (Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Strahlung) erfasst. Zur Durchführung von Wurzeluntersuchungen und Scherversuchen über einen Zeitraum von drei Jahren wurden noch 17 weitere Behälter ohne Messinstrumentierung aufgestellt.



**Abbildung 6:** Lysimeter-ähnliche Versuchsanordnung (Deutsch-Wagram, 18.08.2009).



**Abbildung 7:** Weidenvegetation 3 Monate nach Bepflanzung (Deutsch-Wagram, 22.09.2009).

## 4 Ergebnisse und Resümee

Die sowohl oberirdischen als auch unterirdischen Vegetationsuntersuchungen dokumentieren die Entwicklung der ingenieurbiologischen Bauweisen. So bieten die Weidenspreitlagen durch ihre dicht aufgelegten und niedergebundenen Weidenäste bereits unmittelbar nach Errichtung einen Schutz für die Dechoberfläche. Sie zeigten ein schnelles und dichtes Sprosswachstum sowie eine gute Wurzelentwicklung (dichtes Wurzelvlies).



Bei den ersten Durchsickerungsversuchen (2008 und 2009 bzw. in der ersten und zweiten Vegetationsperiode) konnten keine Unterschiede in Abhängigkeit des Bewuchses festgestellt werden. In den nächsten Jahren wird sich zeigen, ob das zunehmende Wurzelwachstum der Gehölze einen Einfluss auf die Durchsickerung hat.

Die Weidenspreitlagen hielten der Belastung von 40 l/s m über eine Stunde ohne Schäden stand. In Zukunft sind größere Wassermengen und längere Überströmversuche geplant. Weidenspreitlagen sind wohl nicht als alleiniger Schutz bei Überströmung geeignet. Trotzdem können diese Versuche wertvolle Ergebnisse hinsichtlich dieser Bauweise und deren Überströmung liefern.

Erste Ergebnisse der Lysimeter-ähnlichen Versuche zeigten in der ersten Vegetationsperiode deutlich erhöhte Evapotranspirationsraten und Saugspannungen, sowie eine deutlich verringerte Durchsickerung in den gehölzbewachsenen Behältern. Dies ist auf das raschere, anfängliche Wachstum der Weidenspreitlagen zurückzuführen. Hier sind die weiteren Ergebnisse abzuwarten. Die durchgeführten Untersuchungen sind auch für die Auswahl und Wirkung von Vegetationsdecken an Deponien von Interesse.

Bei Deichen können flexible Gehölze, wie Sträucher, auf der wasserseitigen Böschung ein wichtiges Erosionsschutzelement darstellen, wenn die Fließgeschwindigkeiten entsprechend reduziert werden.

Generell bleibt es jedoch der Beurteilung der spezifischen Standort- und Randbedingungen belassen, welche Bewuchsformen auf Hochwasserschutz die optimale Wirkung entfalten, Hier sind jedoch nicht nur technische Aspekte sondern eine Vielzahl von weiteren Gesichtspunkten zu berücksichtigen, sodass von vorneherein nicht „nur“ eine geschlossene Grasnarbe in Frage kommen kann.

## 5 Literatur

- DIN 19712, 1997: Flussdeiche. Deutsches Institut für Normung e.V.
- Florineth, F. (2004): Pflanzen statt Beton - Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik, Patzer Verlag, Berlin-Hannover 2004
- Haselsteiner, R.; Strobl, Th. (2004): Zum Einfluss von Bewuchs und Hohlräumen auf die Durchsickerung von Deichbauten; Lebensraum Fluss - Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie; Beiträge zum Symposium vom 16. - 19. Juni 2004 in Wallgau (Oberbayern); Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Berichtsheft Nr. 101; Band 2, S. 92 - 100; Juni 2004

- Johannsen, R.; Hacker, E. (2009): Ingenieurbiologische Verfahren zur Böschungssicherung. In: Grundbau-Taschenbuch Teil 2: Geotechnische Verfahren, Hrsg. Karl Josef Witt, S. 835 – 919, Ernst & Sohn, Berlin 2009
- Patt, H.; Jürging, P.; Kraus, W. (1998): Naturnaher Wasserbau – Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. Springer-Verlag, Heidelberg Berlin 1998
- Pflug, Wolfram; Hacker, Eva (1985): Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen. Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e. V., SEPIA Verlag Aachen, 1985
- Pflug, W. und Stähr, E. (1999): Wald auf und an Flussdeichen. In: Ingenieurbiologie. Flussdeiche und Flusssdämme. Bewuchs und Standsicherheit. [S. 297-321], Pflug, W. und Hacker, E. (Hrsg.), Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie, Aachen 1999
- Rauch, H. P. (2005): Hydraulischer Einfluss von Gehölzstrukturen am Beispiel der ingenieurbiologischen Versuchsstrecke am Wienfluss. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien, Wien 2005
- Schiechtl, H. M., Stern, R., (2002): Naturnaher Wasserbau – Anleitung für ingenieurbiologische Bauweisen. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin 2002

Autoren:

Dipl.-Ing. Walter Lammeranner

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner

Institut für  
Ingenieurbiologie und Landschaftsbau  
Universität für Bodenkultur, Wien  
Peter Jordan-Straße 82  
A-1190 Wien

FICHTNER GmbH & Co. KG  
Büyükdere Cad. Polat Han No: 87/5  
34387 Mecidiyeköy - Sisli  
Istanbul, Turkey

Tel.: +43 (0)1 47654-7315

Tel.: +90 212 2171767

Fax: +43 (0)1 47654-7349

Fax: +90 212 2178124

E-Mail: [walter.lammeranner@boku.ac.at](mailto:walter.lammeranner@boku.ac.at)

E-Mail: [Ronald.Haselsteiner@fichtner.de](mailto:Ronald.Haselsteiner@fichtner.de)