

INGENIEURBIOLOGIE



**Universität für
Bodenkultur**

Department für
Bautechnik und
Naturgefahren

Institut für
Ingenieurbiologie und
Landschaftsbau



2017/2018

Unterrichtsbehelf zum Projekt PFLANZEN.BAU.WERKE.

Das vorliegende Unterrichtsmaterial wurde im Rahmen des Projekts „PFLANZEN.BAU.WERKE. Pflanzen, deren bautechnologischen Fähigkeiten und Einsatz in der ingenieurbiologischen Forschung & Praxis“, gefördert durch die FFG Netzwerk-Forschung-Schule 5. Ausschreibung Talente regional im Rahmen des Förderschwerpunkts Talente, erstellt und soll Lehrenden und SchülerInnen als Nachschlagewerk zu Pflegemaßnahmen von dienen.

Erstellt von: DI Alexandra Medl

1. Was ist Ingenieurbiologie?

Die Ingenieurbiologie beschäftigt sich mit Sicherungs- und Gestaltungsarbeiten unserer Umwelt durch lebende Baustoffe. Als Baumaterialien dienen für ingenieurbio­logische Bauwerke natürlich gewachsene Materialien (lebende Pflanzen und Pflanzenteile) aber auch Totmaterial, so genannte ‚technische Hilfsstoffe‘ (Steine, Holz, etc.). Ingenieurbio­logische Maßnahmen werden für Sicherungs- und Gestaltungsarbeiten insbesondere im Bereich des Wasser- und Erdbaus eingesetzt. Dort dienen sie unter anderem der Sicherung von Uferbereichen, Hängen, Böschungen, Gräben.

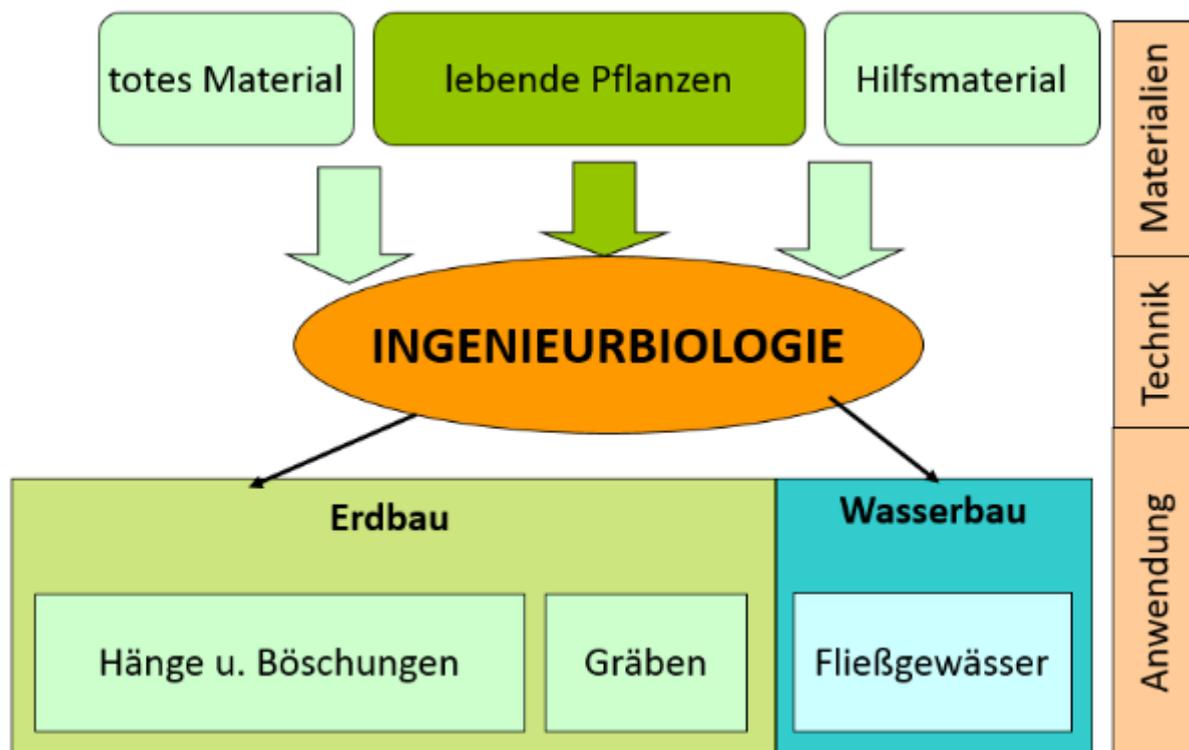


Abbildung 1: Übersichtsskizze Ingenieurbiologie

1.1. Wurzeln der Ingenieurbiologie

Die Geschichte der Ingenieurbiologie beginnt bereits zu Zeiten Leonardo da Vincis (1452-1519). Dieser hat schon damals die Bedeutung von Weiden für Ufersicherungsmaßnahmen erkannt und empfohlen, sie zu Stabilisierungszwecken in den Uferbereichen anzupflanzen. Unterlagen belegen, dass bereits zwischen 1770 und 1790 ingenieurbio­logische Bauverfahren im Wasserbau angewandt wurden. Im 19. Jahrhundert erfolgte der bewusste Einsatz von Pflanzen im Straßenbau, um so zu einer optischen und ökologischen Eingliederung von Straßen in die Landschaft beizutragen (SCHLÜTER, 1984).

Neben ihrem Einsatz für Stabilisierungs- und Revitalisierungszwecke im Naturraum können ingenieurbio­logische Maßnahmen nach wie vor auch für landschaftliche Gestaltungsmaßnahmen verwendet werden, um dadurch eine bessere Eingliederung von technischen Bauwerken in die Landschaft zu unterstützen.

AHA: Was bedeutet ‚Revitalisierung‘?

Der Begriff ‚Revitalisierung‘ kommt aus dem Lateinischen und heißt so viel wie ‚wieder beleben‘. In der Ingenieurbiologie bedeutet das die Wiederherstellung der ökologischen Funktion beispielsweise an Fließgewässern durch Rückführung in einen natürlichen Zustand. Ein bekanntes Beispiel dafür ist der Wienfluss, wo aus einem Teilstück des hart verbauten Flusses durch ingenieurbioologische Maßnahmen ein neuer Lebens- und Erholungsraum geschaffen wurde.

AHA: Wusstest du schon, dass...



Abbildung 2: Revitalisierung des Wienflusses durch ingenieurbioologische Maßnahmen

...Weiden in Österreich heimische Laugehölze sind und mit insgesamt 32 vertretenen Arten die artenreichste Gehölzgattung darstellen? Sie kommen sowohl im Tiefland als auch in alpinen Hochregionen und in der mitteleuropäischen Kulturlandschaft vor. Erwähnenswert sind vor allem ihre Fähigkeiten zur Regeneration und Vermehrung. Weiden gehören zu den stockausschlagfähigen Gehölzen und können daher nach einer Fällung oder einem Rückschnitt neu austreiben. Man nennt das in der Fachsprache ‚auf den Stock setzen‘ oder ‚auf den Kopf setzen‘. Die beim Rückschnitt gewonnenen Weidenäste kann man vegetativ vermehren. Das bedeutet, dass sich ein abgeschnittener und in die Erde gesteckter Weidenast durch Wurzelbildung zu einer neuen, eigenständigen Pflanze entwickelt kann (HÖRANDL et al., 2012).



Abbildung 3: Purpurweide (*Salix purpurea*) – sehr gut geeignet zur Steckholzverwendung

Wieso eignen sich Weiden so gut als Baustoff?

Die Verwendung von Weiden hat eine Jahrtausende alte Tradition. Bereits die Römer haben zur Sicherung von Flussufern Weiden als Raubäume verwendet, die die Fließgeschwindigkeit verringern und damit zur Ufersicherung beitragen. Dabei haben sie beobachtet, dass die frisch geschnittenen Weidenäste wieder austrieben und einen neuen Uferbewuchs bildeten. Durch die besondere Elastizität eignen sich Weidenzweige zum Flechten von Körben, wofür besonders die Korb-Weide oder die Dotter-Weide verwendet wird. Zurzeit erfreuen sich vor allem in Kindergärten kegelförmig aus lebenden Weidenästen zusammengebaute Weidenhöhlen, so genannte Weidentipis, besonderer Beliebtheit. In der Ingenieurbiologie gilt die Weide aufgrund der genannten Eigenschaften als essentieller Baustoff und wird für fast alle ingenieurbiologischen Baumaßnahmen verwendet (HÖRANDL et al., 2012).



Abbildung 4: Weidenskulpturen aus Weidenfaschinen im Versuchsgarten der Universität für Bodenkultur.

Die Weide als nachwachsender Rohstoff

Durch das steigende Umweltbewusstsein der Bevölkerung und die erhöhte Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen ist die Weide in den letzten 30 Jahren zu einem heiß begehrten Baustoff geworden. Weiden sind leicht verfügbar (weil heimisch) und kostengünstig, wodurch an Geldmitteln sowohl öffentlicher Verwaltungen (für Revitalisierungsmaßnahmen) als auch von Privatpersonen (zum Bau von Weidentipis) gespart werden kann. Das schnelle Wachstum und die leichte vegetative Vermehrbarkeit machen die Weiden zu einem besonders wertvollen und nachwachsenden Baustoff (HÖRANDL et al., 2012).



Abbildung 5: Weiden als Ufervegetation an Fließgewässern (links die Passer in der Stadt Meran, rechts die Falschauer im Ultental - Südtirol)

1.2. Die Pflanze als Baustoff

Der wesentliche Unterschied zwischen der Ingenieurbiologie und einem Handwerk wie zum Beispiel der Tischlerei liegt im verwendeten Baustoff: die Ingenieurbiologie arbeitet mit lebenden Pflanzen, während das in der Tischlerei verwendete Holz zu den toten Baustoffen zählt. Lebende Baustoffe haben die Fähigkeit zu wachsen, sich zu entwickeln und erzogen werden zu können, wohingegen tote Baustoffe ihren Zustand weitestgehend beibehalten und keine großen Veränderungen mehr zu erwarten sind. Daher ist die gute Qualität und Pflege der für ingenieurbiologische Maßnahmen verwendeten Jungpflanzen essentiell für den weiteren und anhaltenden Erfolg eines Bauwerks.

Nachfolgend werden einige ausgewählte Eigenschaften von Pflanzen erläutert, die sie als Baustoffe auszeichnen und daher für den Gebrauch in der Ingenieurbiologie so wertvoll machen.

Erosionsschutz

Pflanzen schützen den Boden vor äußeren Einflüssen wie Wind und Niederschlag und verringern durch das Auffangen des Regenwassers gleichzeitig dessen Prallwirkung. Dadurch kann das Wasser langsam in den Boden versickern ohne oberflächliche Ausspülungen zu verursachen. Besonders an Flussufern bieten elastische Gehölze – wie beispielsweise die Weide durch Anlegen auf die Oberfläche einen wesentlichen Schutz vor Erosionserscheinungen.



Abbildung 6: Eine flexible Vegetation ist der beste Schutz gegen Ufererosion, vermindert die Fließgeschwindigkeit im Hochwasserfall und dient als Lebensraum für Wassertiere und -pflanzen (links die Liesing vor Breitenfurt und rechts der Mödlingbach im Stadtgebiet).

AHA: Was ist Erosion?

Erosion bedeutet Bodenverlust durch Wasser oder Wind. Bodenmaterial wird ausgeschwemmt oder verweht, wodurch es dort fehlt, wo es benötigt wird, dafür aber an anderer Stelle zu Ablagerungen führt. Besonders erosionsgefährdet sind Böden mit einer geringen Vegetationsdecke (hier fehlen die bodenstabilisierenden Wurzeln) und in steiler Lage.



Abbildung 7: Erosierte Uferbereiche durch unzureichende Ufervegetation. Eine Gräser-Kräuter-Vegetation bietet keinen ausreichenden Schutz vor Erosionserscheinungen (links die Lafnitz als Grenze zwischen Steiermark und Burgenland, rechts ein Fluss in Südschweden).

Elastizität und Bruchfestigkeit

Pflanzen in Uferbereichen führen zu einer lokalen Verringerung der Abflussgeschwindigkeit. Um den durch die Fließgeschwindigkeit entstehenden Kräften auch standhalten zu können und vom Wasser überströmt und niedergedrückt zu werden, müssen sie eine hohe Elastizität aufweisen. Gleichzeitig ist es wichtig, dass sie auch ausreichend bruchfest sind um den Wassermassen standhalten zu können.



Abbildung 8: Flutungsversuche am Wienfluss an biegesteifen (links) und flexiblen (rechts) Weiden: starre Gehölze stehen auch bei höheren Wasserständen aufrecht, flexible Gehölze legen sich nieder.

Bodendurchwurzelung

Das Wurzelsystem der Pflanzen stabilisiert zum einen die Pflanze selbst, zum anderen wird dadurch auch der Boden gefestigt. Um eine möglichst homogene Durchwurzelung und damit auch eine optimale Stabilisierung der Böden zu erreichen, ist es wichtig verschiedene Arten mit unterschiedlichen Wurzelsystemen miteinander zu kombinieren.

AHA: Was ist ein Wurzelsystem?

Jede Pflanze - egal ob Baum, Strauch, Gras oder Kraut – verfügt über Wurzeln, die der Verankerung im Boden dienen. Grundsätzlich ist die Ausprägung des Wurzelsystems pflanzenabhängig, aber so weit wie möglich an die Standort- oder Bodenbedingungen (nass, trocken, hart, weich...) angepasst. Bei Bäumen unterscheidet man grundsätzlich zwischen Tief-, Herz- und Flachwurzlern. Tiefwurzler (z.B. Tanne, Eiche) verfügen hauptsächlich über in die Tiefe gehende Hauptwurzeln, während sich die Hauptwurzeln der Herzwurzler (z.B. Buche) bereits weiter seitlich ausbreiten. Flachwurzeln befinden sich im Normalfall in den oberflächlichen Bereichen des Bodens. Ein bekannter Vertreter der Flachwurzler ist die Fichte.



Abbildung 9: Flachwurzelnende Nadelhölzer, wie beispielsweise Fichten, können keine labilen Hänge sichern.

Anpassungsfähigkeit

Pflanzen verfügen über die Fähigkeit sich an die vorherrschenden Witterungsbedingungen anzupassen. Ihre Wurzeln wachsen grundsätzlich in Richtung Wasser, Luft und Nährstoffe und reagieren bei Belastung (Schnee, Wind) mit Wurzelwachstum in die Gegenrichtung.



Abbildung 10: Anpassungsfähigkeit von Pflanzen an Umweltbedingungen.

Regenerationsfähigkeit

Gehölze haben die Fähigkeit, wenn sie geknickt oder abgebrochen werden, an der Stammbasis wieder neu auszutreiben und können gezielt durch einen Schnitt am Wurzelstock erneuert werden.



Abbildung 11: Links: Kopfschnitt von Pyramidenpappeln in Laas im Vinschgau, Südtirol. Mitte: Kopfschnitt nach einem Jahr. Rechts: Kopfschnitt nach 3 Jahren.

Überschüttbarkeit und Überstaubarkeit

Die Fähigkeit von Gehölzen an mit Erde überdeckten Stammabschnitten zusätzlich Wurzeln auszubilden, kommt den Pflanzen vor allem bei Verschlammungen durch Hochwässer oder an Steilhängen im Falle von Murabgängen zugute. Überstaubarkeit bedeutet, dass sich Pflanzen in unmittelbarer Nähe von Gewässern großen Wasserspiegelschwankungen – beispielsweise durch etagenförmige Wurzelsysteme – anpassen können.



Abbildung 12: Für das horizontale Einlegen von bewurzelten Laubhölzern in z.B. Krainerwänden braucht es die Fähigkeit zur Sprosswurzelbildung



Abbildung 13: Als Uferpflanze besitzt Schilf die Fähigkeit der Überstaubarkeit und verträgt dadurch starke Wasserspiegelschwankungen.

Fortpflanzung durch vegetative Vermehrung

Ein bekannter Weg der Pflanzen sich fortzupflanzen ist jener durch Samen (in der Ingenieurbiologie auch Saatgut genannt), die so genannte generative Vermehrung. Bei der vegetativen Vermehrung hingegen werden einzelne Pflanzenteile wie Äste, Zweige, Wurzelstücke oder Knospen durch Einlegen in die Erde zur Bewurzelung gebracht, wodurch neue, eigenständige Pflanzen

heranwachsen. Diese Fähigkeit macht sich die Ingenieurbiologie insbesondere bei der Anwendung von Steckhölzen oder Stecklingen zu Nutze. Besonders gut dafür geeignet sind alle Weidenarten, die Schwarzpappel oder der Liguster.



Abbildung 14: Weiden eignen sich gut zur Steckholzvermehrung (links), während der Kirschlorbeer nur als Steckling vermehrt werden kann.

AHA: Was ist ein Steckholz?

Als Steckholz bezeichnet man einen Astabschnitt, der in die Erde gesteckt wird, dort neue Wurzeln entwickelt und dadurch den Boden stabilisiert. Mit Hilfe von Steckhölzern sind besonders schnell Begrünungen von Böschungen oder Ufern möglich.



Abbildung 15: Zugespitzte Steckhölzer bereit zum Einsatz (links), Austrieb eines jungen Steckholzes nach 3 Monaten (rechts).

1.3. Ingenieurbiologische Bauweisen

Ingenieurbiologische Bauweisen können - je nach standörtlicher Gegebenheit - entweder als sinnvolle Ergänzung, aber auch als Ersatz von technischen Bauweisen zur Stabilisierung von Ufern und Böschungen verwendet werden. Folgende positive Eigenschaften sind den Bauwerken der Ingenieurbiologie zuzuschreiben (JANY und GEITZ, 2013):

- Erosionsgefährdete Bereiche der Landschaft werden bei Einbeziehung technischer, biologischer und landschaftsgestalterischer Funktionen dauerhaft gesichert.
- Das Wachstum und damit die fortschreitende Entwicklung einer Pflanze führen zu einer weiteren Verbesserung der Bodenstabilisierung und Erhöhung der Widerstandskraft der Pflanzen.
- Die Haltbarkeit der Lebendbauwerke wird durch die Anpassungsfähigkeit und das Selbstreparaturvermögen (Stichwort: Regenerationsfähigkeit) verlängert.
- Durch die Kombination mit Hilfsstoffen wie Naturfasertextilien oder Stahlnägeln kann das Einsatzgebiet der Bauweisen vergrößert und die Schutzwirkung unmittelbar nach Fertigstellung gewährleistet werden.
- Die Bauwerke können harmonisch in die Landschaft eingegliedert werden und schaffen gleichzeitig Lebensräume für Tiere und Pflanzen.
- Auf Grund der Verwendung nachwachsender Rohstoffe oftmals aus unmittelbarer Umgebung und einen meist geringeren Bedarf an Maschineneinsatz zeichnen sich ingenieurbio-logische Bauwerke durch eine besonders hohe Umweltverträglichkeit aus.

1.4. Ausgewählte Beispiele ingenieurbio-logischer Bauwerke

Weidenspreitlage

Bei der Weidenspreitlage handelt es sich um ein ingenieurbio-logisches Längsbauwerk, zu dessen Errichtung Weidenäste eng nebeneinander quer zur Fließrichtung auf der Böschung aufgelegt und fixiert werden. Die Befestigung erfolgt dabei dicht an der Böschungsoberfläche durch eingeschlagene Holzpflocke und daran befestigte Spanndrähte oder Kokosschnüre (alternativ dazu können auch Holzstangen verwendet werden). Wichtig dabei ist zu beachten, dass die basalen (dicken, unteren) Enden der Weidenäste ins Wasser reichen, um eine ausreichende Wasserversorgung gewährleisten zu können. Am Fuß wird die Weidenspreitlage mittels Steinblöcken, Faschinen oder Holzkrainerwänden gesichert und vor Wasserangriff geschützt. Zuletzt werden die Weidenäste mit sandigem Kies (3-4 cm) abgedeckt. Der optimale Zeitpunkt für den Bau einer Weidenspreitlage ist der Spätherbst oder das zeitige Frühjahr.

Ein besonderer Vorteil von Weidenspreitlagen ist ihre bereits unmittelbar nach dem Einbau vorhandene Schutzwirkung. Die Weidenäste decken die Bodenoberfläche sofort nach dem Einlegen ab und schützen damit effektiv vor Erosion durch Wellenschlag.



Abbildung 16: Bau einer Weidenspreitlage. Befestigung der quer zur Fließrichtung aufgelegten Weidenäste mittels in die Böschung eingeschlagener Holzpilote und Draht



Abbildung 17: Weidenspreitlage 6 Monate nach dem Einbau. Deutlich erkennbar ist auch die zur Sicherung des Böschungfußes errichtete Blocksteinschlichtung

Steckholz

Bei Steckhölzern handelt es sich um lebende, während der Vegetationsruhe geschnittene, 3-8 cm starke und 40-100 cm lange Astabschnitte, welche in Wuchsrichtung in die Böschung eingeschlagen werden. Die Bodenstabilisierung erfolgt nach Wurzelentwicklung, durch den hohen Wasserbedarf der Weiden wirken Steckhölzer außerdem entwässernd (JANY und GEITZ, 2013). Zur Steckholzvermehrung besonders gut geeignete Gehölze sind alle Weidenarten, Schwarzpappel, Liguster, Deutsche Tamariske und Goldregen.

Steckhölzer werden zur Stabilisierung von Böschungen sowie zur zusätzlichen Befestigung ingenieurbiologischer Bauwerke verwendet.



Abbildung 18: Für Begrünungszwecke in die Böschung eingeschlagene Weidensteckhölzer

Weidenfaschine

Bei Faschinen handelt es sich um Bündel von ausschlagfähigen Ästen, welche in Abständen von einem Meter mit Draht zusammengebunden werden, der Durchmesser beträgt 30-40 cm. Weidenfaschinen werden mit den Astspitzen in Fließrichtung verlegt, in Abständen von 1,5 m mit Holzpflocken befestigt und ebenso wie die Weidenspreitlagen im Anschluss 3-4 cm hoch mit sandigem Kies abgedeckt.

Faschinen werden zur Sicherung des Böschungsfußes oder von durchgehend flachen Uferböschungen verwendet.



Abbildung 19: Transport einer Weidenfaschine



Abbildung 20: An Holzpflocken verankerte Weidenfaschine



Abbildung 21: Weidenfaschine 6 Monate nach Einbau.

Uferkrienerwand

Bei Uferkrienerwänden handelt es sich um zur Ufersicherung eingesetzte Längsbauwerke. Ihre Ausführung erfolgt ein- oder doppelwandig, wobei 18-25 cm starke Rundhölzer kastenförmig übereinander und mit querliegenden Hölzern vernagelt werden. Während der Verfüllung mit sandigem Kies werden Weidenfaschinen eingelegt, welche im Anschluss leicht zu überdecken sind.

Die Krienerwand hat eine Lebensdauer von ca. 20 – 35 Jahren und schützt die Pflanzen insbesondere in der Anwuchsphase. Danach wird die Stabilisierungsfunktion von den Pflanzen übernommen.



Abbildung 22: Bau einer doppelwandigen Uferkrienerwand



Abbildung 23: Detail einer doppelwandigen Uferkrienerwand aus Lärchenholz mit eingelegten Weidenfaschinen

2. Grünraummanagement – Pflege von Gehölzen in Stadt und Land

Grundsätzlich werden unter der Pflege von Bäumen und Sträuchern alle Maßnahmen zu deren Erhaltung verstanden. Die Baumpflege umfasst Baumkontrolle, Bodenpflege, Baum- und Strauchschnitt sowie Baumsanierung.

Dass Vegetationsflächen im Stadtgebiet aufgrund diverser äußerer Einflüsse gepflegt werden müssen erscheint klar, dass jedoch auch die Ufervegetation eine gewisse Pflege benötigt, ist wohl den wenigsten bewusst. Nachdem ingenieurbioologische Bauweisen anfänglich und unmittelbar nach deren Umsetzung erst eine geringe Schutzfunktion aufweisen, sind bis zum Eintritt der vollen Funktionsfähigkeit erste Pflegemaßnahmen erforderlich. Sowohl die Grünraumpflege in Stadtgebieten als auch die Pflege ingenieurbioologischer Bauwerke umfasst laut ÖNORM L1120 folgende Pflegeschritte:

Die Anwuchspflege vereint all jene Pflegearbeiten, welche vom Zeitpunkt der Ansaat bzw. der Bepflanzung bis zur Übernahme (Abnahme) erforderlich sind. Ziel ist es eine ungestörte Weiterentwicklung zu sichern. Folgende Maßnahmen sind der Anwuchspflege zuzurechnen: Erziehungsschnitt, Ausmähen, Bewässern, Düngen.

Die Entwicklungspflege erstreckt sich über den gesamten Gewährleistungszeitraum, welcher für Pflanzarbeiten meist einen Zeitraum von 3 Jahren vorsieht und folgende Maßnahmen umfasst: Düngung, Bewässerung, Ausmähen, Pflanzloch-Säuberung, Pflanzloch-Abdeckung, Nachbesserung der Baumstützung, Nachpflanzung.

Die Erhaltungspflege ist erforderlich um die Funktion von Vegetationsbeständen dauerhaft zu erhalten. Im Fall von ingenieurbioologischen Maßnahmen bedeutet das die Umsetzung der folgenden Maßnahmen: Stockschnitt, Einzelstammentnahme, streckenweise Verjüngung, Kopfschnitt, Aufasten, Mahd, etc.

AHA: **Erd- und Pflanzarbeiten** sind Dienstleistungen, die von ausführenden Unternehmen (Auftragnehmer) umgesetzt werden. Als Auftraggeber hat man ein Recht auf mangelfreie Ware (Gewährleistung). Entsteht im Zeitraum der Gewährleistung ein Schaden am Produkt (in dem Fall an der Pflanze), muss der Auftragnehmer diesen auf eigene Kosten beheben.

2.1. Pflegemaßnahmen im Uferbereich

Ziel aller Pflegemaßnahmen in der Ingenieurbiologie ist die Etablierung von artenreichen, mehrschichtigen Pflanzenbeständen und die Vermeidung von Monokulturen.

Ufergehölze sind je nach Stärke und Biegefestigkeit mit einem glatten schrägen Schnitt 5- 10 cm über der Bodenoberfläche zur Zeit der Vegetationsruhe auf den Stock zu setzen.

AHA: **Auf den Stock setzen** = schneiden von Gehölzen unmittelbar über dem Boden. Die Gehölze treiben später wieder aus.



Abbildung 24: 15-jährige Weidenspreitlage - vor (links) und nach (rechts) dem Stockschnitt

Bei Gehölzpflanzungen an Uferböschungen in klimatisch extremen Lagen oder zu extremen Jahreszeiten empfiehlt es sich Mulchschichten als Verdunstungs- und Wärme- bzw. Kälteschutz aus organischen Materialien aufzutragen. Die Mulchschichten sollen zwischen 10 und 15 cm hoch aufgelegt werden. Am gebräuchlichsten ist die Verwendung von Heu, Stroh, Häckselgut und Rindenmulch.



Abbildung 25: Pflanzung von Laubgehölzen mit Strohabdeckung (links) und 4 Jahre danach (rechts).

2.2. Pflegemaßnahmen im Stadtgebiet

Vegetationsflächen in Stadtgebieten sorgen für verbesserte Umweltbedingungen, Abwechslung und Wohlbefinden und haben die Fähigkeit durch Durchwurzelung Bodenschichten zu stabilisieren (wichtig etwa an Straßenböschungen etc.). Bei der Pflanzung von Bäumen und Sträuchern in städtischen Bereichen gilt es bestimmte Abstände einzuhalten. So sollten es zwischen Bäumen 4 – 10 m, zwischen Sträuchern 0,50 – 2 m, von Gebäuden mindesten eine halbe Kronenbreite und von der Fahrbahn 1 m sein. Das Lichtraumprofil an Straßen sieht eine Höhe von 4,50 m vor, bei hängenden Ästen muss bis zu 6 m hoch aufgeastet werden.

AHA: Das **Lichtraumprofil** definiert den die Fahrbahn umgrenzenden ‚lichten Raum‘, welcher von Gegenständen freizuhalten ist.

Für eine Anwendung im Stadtgebiet geeignete Gehölzarten

Wichtige Kriterien für die Artenauswahl sind die ober- und unterirdische Wuchsform, die zukünftige Höhe und Breite, der Standort, die Funktion und der Nutzen, den die Pflanze zu erfüllen hat. Sommergrüne Laubbölder sind abwechslungsreicher (Jahreszeiten) als immergrüne Nadelbäume. Unabhängig von der Pflanzenart können Bäume und Sträucher in verschiedenen Größen und mit unterschiedlichem Alter gesetzt werden. Als Grundsatz gilt: je kleiner die Pflanze, desto besser wächst sie an.

Im Stadtbereich (z.B. für Parkplätze, Baumalleen, etc.) sollte darauf geachtet werden, dass tiefwurzelnde und schadstoffresistente Bäume gepflanzt werden. Beispiele dafür sind: Feldahorn, Linde, Platane, Zürgelbaum, Gleditschie, Schnurbaum, Blasenescbe u.a.m.

Baumpflanzung

Bei der Pflanzung von Bäumen und Sträuchern ist auf ein ausreichend großes Pflanzloch zu achten (Bäume: 1,00 x 1,00 x 0,80 m; Sträucher: 0,50 x 0,50 x 0,50 m). Die Größe der luft- und wasserdurchlässigen Baumscheibe im Siedlungsbereich sollte der Größe des Baumes entsprechend 6 – 16 m² betragen, die Breite des Baumstreifens 2,5 – 4,5 m.

Sofern nicht genügend Platz für den Aushub einer Pflanzgrube ist, muss der Boden unterhalb des Pflanzloches gelockert, belüftet und notfalls gedüngt werden. Bei unzureichender Bodenqualität ist dieser außerdem durch ein verdichtungsstabiles, wasserspeicherndes und –durchlässiges Bodensubstrat zu ersetzen.



Abbildung 26: Eine ausreichend große Baumscheibe (links) ist Grundvoraussetzung für ein entsprechendes Baumwachstum. Kleine Pflanzgruben (rechts) sind für Sträucher geeignet, nicht aber für Bäume.

Beim Einsetzen der Pflanze ist darauf zu achten, dass ein Eindecken mit Erde locker und nur bis zum Wurzelhals stattfindet. Bei nachträglicher Verdichtungsgefahr ist ein zusätzliches Belüften durch Einbau einer Ringleitung empfehlenswert. Zur ersten Bewässerung (= Einschlämmen) ist ein Gießrand oder eine Gießmulde mit einer Wasserkapazität von 10 Litern bei Sträuchern bzw. 30 – 50 Litern bei Bäumen zu errichten. Ein anschließender Erziehungsschnitt an der gesetzten Pflanze ist eine wichtige Voraussetzung für die zukünftige Wuchsform der Pflanze. Als Grundsatz gilt dabei: besser weniger, dafür aber starke Äste.

Baumstützung

Grundsätzlich gilt, dass Holzpfähle mindestens 30 – 40 cm vom Stamm entfernt senkrecht eingeschlagen werden, um Reibungsschäden zu vermeiden. Das Bindematerial muss breit und elastisch sein. Der Wurzelbereich darf sich bei Windstößen nicht bewegen, damit die nachwachsenden Feinwurzeln nicht abgerissen werden. Der Stamm hingegen soll beweglich bleiben, damit ein gutes Wurzelwachstum erfolgt und genügend Druck- und Zugholz im Stamm ausgebildet werden.

Gute Stützmöglichkeiten sind:

- 2-Pfahlstützung oder Kurzpfahlstützung
- 3-Pfahlstützung (auch Stuttgarter Methode genannt) bei stärkerem Wind oder größeren Belastungen
- 4-Pfahlstützung auf Parkplätzen
- Wurzelballenstützung



Abbildung 27: Gute Zweipfahlstützung (links), den Stamm beschädigende Kreuzpfahlstützung (rechts)



Abbildung 28: Vierpfahlstützung (links), Wurzelballenstützung (rechts)

Abzulehnen sind stammnahe oder –berührende Stützmethoden wie Einpfahlstützung, Schrägpfahlstützung oder Stangenschere.



Abbildung 29: Schrägpfahlstützung (links), Stangenschere (rechts)

Unbedingt zu achten ist auf eine gute Bindetechnik, die sich bei Setzungen dehnt, geringe Stammbewegungen zulässt und nach einiger Zeit verrottet. Gut geeignet ist beispielsweise eine Kokosschnur, sie verrottet nach ca. 3 Jahren und verursacht keine Folgeschäden. Auch breite Leinenbänder eignen sich sehr gut für die Baumbindung, Kunststoffbänder müssen aufgrund des Dickenwachstums des Stammes einmal jährlich gelockert werden. Dünne Kunststoffbänder schnüren den Stamm ein mit oft tödlichen Folgen für den Baum. Bei der Auswahl des Bindematerials muss eine eventuell mangelhafte Pflege unbedingt einkalkuliert werden.

Bodenschutz

Um Bodenverdichtung und die Verschmutzung des Bodensubstrats zu verhindern, können unterschiedliche Schutzmaßnahmen ergriffen werden:

- Abdeckung der Baumscheiben oder des Baumstreifens

Als Schutz gegen Austrocknung und das Aufkommen von Unkräutern ist es ratsam Baumscheibe oder Baumstreifen mit Rindenmulch, Häckselgut, Kies, Heu oder Stroh abzudecken.

- **Baumscheibenbewuchs**
Eine Bepflanzung von Baumscheiben hat sich bewährt, weil dadurch ein Betreten oder Befahren der Baumscheibe verhindert wird. Auch Hunde werden davon abgehalten ihr Geschäft in der Baumscheibe oder am Baumstamm zu verrichten. Von Gräsern oder Gräser-Kräuter-Beständen ist abzusehen, da diese regelmäßig gemäht werden müssen, wodurch bei Unachtsamkeit häufig Mähschäden im Stammbereich entstehen.
- **Hochbeet (Hochbord)**
Randsteine dienen als Schutz vor Salz- und Schmutzwassereintrag und als Schutz vor mechanischer Beschädigung durch Autos
- **Baumroste (Bodenroste)**
aus Gusseisen bieten in Fußgängerzonen oder auf Gehsteigen einen wirksamen Schutz gegen Bodenverdichtung



Abbildung 30: Mit Häckselgut abgedeckte Baumscheibe (links) und bepflanzte Baumscheibe (rechts)

Stammschutz

Stammschutzmaßnahmen werden ergriffen um den Baumstamm vor mechanischen und klimatischen Einflüssen zu schützen. Eingesetzt werden können dabei Stammschutzgitter als Schutz vor Stammschäden in Fußgängerzonen, aber auch Schilfmatten oder ein Quarzsand-Anstrich zur Vermeidung von Sonnenbrandnekrosen und Frostrissen.



Abbildung 31: Weißer Stämmenstrich (Quarzsand mit Klebemittel, links), Stammschutzgitter (Mitte) und Schilfrohmatten (rechts) als Stammschutz.

3. Lebewesen Pflanze

Das Thema Nachhaltigkeit gewinnt in unserer Gesellschaft immer mehr an Bedeutung. Nachhaltig leben bedeutet so zu wirtschaften, dass unsere Zukunft lebenswert bleibt. Ressourcenschonend. Langfristig.

Einen wesentlichen Bestandteil des Nachhaltigkeitsgedankens bildet der Schutz von Lebewesen. Die meisten Menschen verbinden das sofort mit dem Thema ‚Tiere‘, viele vergessen dabei allerdings, dass auch Pflanzen Lebewesen sind. Sehr wichtige sogar: sie bilden die Grundlagen unserer Existenz. Ohne Pflanzen gäbe es weder Sauerstoff, noch Nahrung auf unserem Planeten. Ohne Pflanzen gäbe es kein Leben.

Genau wie Tiere sind Pflanzen Lebewesen, die sich selbst ernähren, wachsen, auf Reize reagieren und sich fortpflanzen. Während all die aufgezählten Vorgänge bei den Tieren offensichtlich sind, muss man sich mit Pflanzen genauer auseinandersetzen um zu verstehen, wie sie funktionieren.

3.1. Der Tagesablauf einer Pflanze

Genau wie wir Menschen haben auch Pflanzen geregelte Tagesabläufe. Eine Lehre, die sich damit ganz genau auseinandersetzt, ist die so genannte Chronobiologie. Sie untersucht die zeitliche Organisation von biologischen Systemen und beobachtet wiederkehrende Prozesse. Man könnte auch sagen: die Chronobiologie beschäftigt sich mit der ‚inneren Uhr‘ von Organismen.

Bei Pflanzen wird das zum Beispiel durch die Blühzeit verdeutlicht. Im Tagesverlauf öffnet und schließt sich die Blüte einer Pflanze um im geöffneten Zustand bestäubt zu werden. Durch

unterschiedliche Blühzeiten wird gewährleistet, dass sowohl für tag- (z.B. Bienen) als auch für nachtaktive Bestäuber (z.B. Nachtfalter) immer genug Pollen und Nektar zur Verfügung stehen, wodurch Futterkonkurrenzen vermieden werden können.

Der erste, dem aufgefallen ist, dass das Öffnen und Schließen der Blüten artspezifisch ist, war der schwedische Naturforscher Carl von Linné (1707 - 1778). Er entdeckte, dass bestimmte Blumen ihre Blüten jeden Tag zu den gleichen Zeiten geöffnet hatten und konstruierte mit diesem Wissen eine Pflanzenuhr, auf welcher sich die Uhrzeit auf fast fünf Minuten genau ablesen ließ.

VIDEO: Pflanzen im Zeitraffer - folgende Videos illustrieren den Tagesablauf von Pflanzen auf sehr schöne Weise.

https://www.youtube.com/watch?v=BCRYXIDQ_-w

<https://www.youtube.com/watch?v=b5EQSoPUG2s>

Ein wesentlicher Faktor, welcher den Tagesrhythmus einer Pflanze bestimmt ist das Licht.

3.2. Warum brauchen Pflanzen Licht?

DIE Pflanze, die wohl jedes Kind kennt, ist die Sonnenblume. Wie der Name schon sagt, hat die Sonne einen wesentlichen Einfluss auf den Tagesablauf der Sonnenblume. Wie jede Pflanze, braucht auch die Sonnenblume Licht zum Wachsen. Ein spezieller Mechanismus ermöglicht es der Sonnenblume ihre Triebe über den gesamten Tagesverlauf so auszurichten, dass sie immer möglichst viel Sonnenlicht aufnehmen kann. Wie das funktioniert? Durch spezielle Pflanzenhormone wird das Wachstum der Sonnenblume gesteuert. Diese Hormone sorgen dafür, dass der Stängel der Sonnenblume auf einer Seite schneller wächst als auf der anderen. Dadurch kommt es zu einer Drehbewegung und die Pflanze erhält immer die größtmögliche Menge an Licht und Energie. Dies ist allerdings nur bei jungen Pflanzen der Fall. Ältere Pflanzen neigen sich dauerhaft gegen Osten, wo die Sonne aufgeht. Dadurch werden die Blüten der Sonnenblume bereits in der Morgensonne erwärmt, wodurch sie für Bestäuber attraktiver werden und sich die Fortpflanzungschancen deutlich erhöhen.

VIDEO: Sonnenblumen drehen sich nach dem Licht – die nachfolgenden Videos erleichtern das Verständnis für die Vorgänge in der Sonnenblume.

<https://www.youtube.com/watch?v=lwl0tGzr4S8>

<https://www.youtube.com/watch?v=GCRNHdGXTi4>

Licht gilt grundsätzlich – und nicht nur für die Sonnenblumen – als wichtige Energiequelle für Pflanzen. Ohne Licht gibt es keine Photosynthese und damit auch kein Pflanzenwachstum. Durch das in den Blättern enthaltene Chlorophyll – welches das Licht grün reflektiert und damit auch für die grüne Farbe der Blätter verantwortlich ist – wird die Energie des Sonnenlichts eingefangen und die Photosynthese gestartet. Dabei werden mit Hilfe der Lichtenergie aus Wasser und Kohlendioxid Glucose (Zucker) und Sauerstoff produziert. Den Zucker benötigt die Pflanze für ihr weiteres Wachstum. Mit dem Sauerstoff kann die Pflanze nichts mehr anfangen, er wird daher an die Umgebung abgegeben.

Formel zur Photosynthese:

Wasser + Kohlendioxid + Licht = Sauerstoff + Glucose (Zucker)

3.3. Warum brauchen Pflanzen Wasser?

Dass Wasser ein wesentlicher Bestandteil der Photosynthese ist, haben wir bereits gelernt. Doch wie gelangt das Wasser nun in die Pflanze?

Aufgenommen wird das Wasser im Boden von der Wurzel, genauer gesagt von den Wurzelhaaren auf der Wurzeloberfläche. Wenn man Boden, Pflanze und Atmosphäre als Gesamtsystem betrachtet, dann befindet sich die größte Wassermenge im Boden. Die Pflanze bildet in diesem System sozusagen die Verbindung zwischen dem Boden und der Atmosphäre: das Wasser wird aus dem Boden aufgenommen und an die Atmosphäre abgegeben. Wie das genau funktioniert, sehen wir uns jetzt an.

Der Transport des Wassers durch den Stängel der Pflanze erfolgt in lang gestreckten Gefäßen, im so genannten Xylem. Das Xylem reicht bis in die Blattspitzen und versorgt auf diesem Weg die gesamte Pflanze mit Wasser.

VIDEO: Wie trinken Bäume – ein Beitrag von Terra X zum Wassertransport in Bäumen.

<https://www.youtube.com/watch?v=0PBZlpD5VMI>

Um die komplexen Vorgänge im ‚Lebewesen Pflanze‘ besser verstehen zu können, veranschaulichen wir das Thema nun im Anschluss durch Durchführung einiger Experimente.

Experiment 1: Der Kapillareffekt

Mit diesem Experiment schauen wir uns die Funktionsweise des Kapillareffekts genauer an. Alles was wir dafür brauchen, sind folgenden Materialien:

- 2 Gläser
- Wasser
- Küchenpapier

Wir füllen ein Glas mit Wasser und rollen das Küchenpapier so zusammen, dass eine Röhre entsteht. Diese hängen wir mit dem einen Ende ins mit Wasser gefüllte Glas, während das andere Ende ins leere Glas gehängt wird. Wir werden sehen: langsam saugt sich das Küchenpapier so stark mit Wasser an, dass es beginnt ins leere Glas zu tropfen.

Erklärung: Das Küchenpapier besteht aus eng aneinander liegenden Pflanzenfasern, zwischen welchen trotzdem kleine Hohlräume zurückbleiben. Sind diese Hohlräume langgestreckt wirken sie wie kleine Kanäle, wie beispielsweise das Xylem in der Pflanze. Solche Hohlräume nennt man Kapillaren. Kommt eine dieser Kapillaren mit Wasser in Berührung, kommt es zum so genannten Kapillareffekt und das Wasser steigt auf.

Experiment 2: Wassertransport in der Pflanze

Um den Wassertransport in der Pflanze sichtbar zu machen, werden wir eine Pflanze einfärben. Dafür brauchen wir:

- 1 Glas
- 1 Pflanze mit weiße Blüte (sehr gut funktioniert das Gänseblümchen)

- Tinte
- Wasser

Wir färben unser Wasser im Glas mit der Tinte so ein, dass es einen satten Farbton aufweist. Unsere Pflanze befreien wir von allen grünen Blättern und kürzen den Stängel so ein, dass die Pflanze gerade gut im Glas stehen kann. Danach stellen wir die Pflanze ins gefärbte Wasser und warten – im Optimalfall einen ganzen Tag – bis sich unsere weiße Blüte färbt.

Warum tut sie das?

Das Wasser fließt durch den Stängel bis in die Blüte der Pflanze um sie mit ausreichend Flüssigkeit und Nährstoffen zu versorgen. Durch die zugesetzte Farbe wird sichtbar gemacht, wie das Wasser durch die Xylem-Stränge fließt (evtl. Stängel aufschneiden) und nach einiger Zeit auch in der Blüte ankommt.

4. Die Pflanze und ihre Wurzeln

Bei der Ingenieurbiologie handelt es sich um eine technisch-biologische Fachdisziplin, welche die Eigenschaften von Pflanzen zur Sicherung von Bauwerken und Nutzungen verwendet und dabei gleichzeitig eine ästhetische Aufwertung des Landschaftsbildes darstellt. Pflanzen und Pflanzenteile werden in der Ingenieurbiologie als lebende Baustoffe so eingesetzt, dass ihre Entwicklung in engem Zusammenhang mit Boden und Gestein eine dauerhafte Sicherung gegen Erosion bietet (EFIB, 2015).

Bereits die alten Römer wussten die Vorzüge der Ingenieurbiologie zu schätzen und reparierten Uferabbrüche mit Raubäumen. Auch Leonardo da Vinci hat die wesentliche Rolle der Pflanzenwurzeln im Zuge von Uferstabilisierungsmaßnahmen bereits richtig erkannt:

„Die Wurzeln der Weiden lassen die Böschungen der Kanäle nicht zerfallen und die Zweige der Weiden, die in der Querrichtung, also auf die Breite der Böschungen gesetzt und später unten beschnitten werden, werden jedes Jahr dicker und so bekommst Du ein lebendiges Ufer aus einem Stück“ (SCHLÜTER, 1984).

Ingenieurbiologische Baumaßnahmen entfalten ihre Wirkung – im Gegensatz zu konventionellen Bauwerken aus Stahl, Beton o.ä. – erst im Laufe der Zeit mit fortschreitendem Wachstum und voranschreitender Entwicklung. Aus diesem Grund ist es wichtig sich bewusst zu machen, dass die Fertigstellung der Bauarbeiten an einer ingenieurbiologischen Baumaßnahme keineswegs mit der Fertigstellung des Bauwerks gleichzusetzen ist. In der Lebensphase unmittelbar nach Fertigstellung eines ingenieurbiologischen Bauwerks werden stabilisierende Wirkungen primär durch den Einsatz von Hilfsstoffen (Holzpiloten, Stahlnägel, Geotextilien, etc.) erreicht und allmählich von der Vegetation übernommen. Es ist daher von außerordentlicher Wichtigkeit bereits von Anfang an die Pflanzenentwicklung beeinflussende Faktoren (Umgebungstemperatur, Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit, Strahlungseinflüsse, Bodensubstrat, etc.) zu berücksichtigen um bestmögliche Wachstumsbedingungen für die Pflanzen zu schaffen.

In der Ingenieurbiologie finden insbesondere Pflanzen Verwendung, die mit ihrem Wurzelwerk den Boden festigen und stabilisieren sowie mit ihren Trieben und Blättern eine schützende Vegetationsdecke bilden. Dadurch bilden sie einen wirkungsvollen Schutz vor Oberflächenerosion.

4.1. Die Wurzel

Wurzeln sind die unterirdischen Organe der Pflanzen und haben die Aufgabe den Pflanzenkörper im Boden zu verankern, Wasser und Nährstoffe aufzunehmen und Reservestoffe zu speichern (MÜLLNER, 2016; LÜTTGE & KLUGE, 2012). Feine Wurzelhärchen vergrößern die Oberfläche der Wurzel und ermöglichen so eine verbesserte Wasser- und Nährstoffaufnahme. Ein spezielles, die Wurzel umgebendes Gewebe (Hypodermis, Exodermis) dient zur Vermeidung einer unerwünschten Wasserabgabe (DORRIGHI, 2016; KÜCK & WOLFF 2009). Um Vitalität, Wachstum und Standsicherheit der Pflanze ausreichend gewährleisten zu können, müssen Wurzeln in der Lage sein, den anstehenden Boden zu erkunden (MÜLLNER, 2016; BALDER, 1998). Am stärksten beeinflusst werden Wurzeln von den Faktoren Bodentemperatur, Bodenfeuchte, Bodenluft, Nährstoffverhältnisse und Schadstoffeinträge sowie Poren- und Skelettanteile. Endogene und exogene Einflüsse wie Wind, Schnee oder Erosion beeinflussen das Wurzelwachstum zusätzlich und führen zur Bildung unterschiedlicher Wurzelsysteme (MÜLLNER, 2016; BALDER, 1998).

4.2. Wurzelforschung

Die Wirkungsweisen ingenieurbiologischer Maßnahmen bauen auf eine wesentliche Funktion lebender Pflanzen: der Verankerung und Stabilisierung des Bodens durch deren Wurzeln. Pflanzenwurzeln können demnach als das wichtigste Instrument der Ingenieurbiologie angesehen werden. Dementsprechend wichtig ist es, möglichst viel über das Verhalten und die Eigenschaften von Wurzeln im Boden zu wissen. Ein wichtiges Thema in diesem Zusammenhang ist daher die Wurzelforschung (PFLEGER, 2014).

Zur Erforschung von Pflanzenwurzeln und deren Architektur häufig verwendete Instrumente sind Rhizoboxen. Sie weisen eine transparente Front auf und können daher auch als Wurzelfenster bezeichnet werden. Der Vorteil dieser Rhizoboxen ist, dass sie mobil sind und Untersuchungen unter Laborbedingungen möglich machen. Wachstumsprozesse, Entwicklungen der Wurzelverteilung unter bestimmten Einflüssen, Wurzeldichten und Wurzelwachstum können über einen längeren Zeitraum erforscht werden, ohne die Wurzeln beschädigen zu müssen (DORRIGHI, 2016).

Referenzen

BALDER, H. (1998). Die Wurzeln der Stadtbäume. Ein Handbuch zum vorbeugenden und nachsorgenden Wurzelschutz. Parey Buchverlag, Berlin.

DORRIGHI, P. (2016). Die Bewurzelung von Steckhölzern der Purpur-Weide (*Salix purpurea*) in Abhängigkeit unterschiedlicher Bodenkorngrößen. Masterarbeit. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur, Wien.

HÖRANDL, E., FLORINETH, F., HADACEK, F. (2012). Weiden in Österreich und angrenzenden Gebieten, 2. Aufl., Eigenverlag des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Wien.

JANY, A., GEITZ, P. (2013). Ingenieurbiologische Bauweisen an Fließgewässern, Teil 1 Leitfaden für die Praxis, WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH, Karlsruhe.

KÜCK U., WOLFF G. (2009). Botanisches Grundpraktikum. 2. überarbeitete und aktualisierte Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. S. 45.

LÜTTGE, U., KLUGE, M. (2012). Botanik: Die einführende Biologie der Pflanzen. 7. Auflage, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

MÜLLNER, M. (2016). Gehölzwurzeln als Schadensverursacher von asphaltierten Wegebelägen. Das Eindringen von Wurzeln in Wegebelägen mit Kantkorn unterschiedlicher Korngrößenverteilung. Masterarbeit. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur, Wien.

PFLEGER, J. (2014). Verwendung von Rhizotronen zur Beobachtung der Wurzelarchitektur von Weidensteckhölzern. Aufnahme- und Auswertungsmethoden von Rhizotronbildern. Masterarbeit. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur, Wien.

SCHLÜTER, U. (1984). Zur Geschichte der Ingenieurbiologie. *Landschaft + Stadt* 16, 2-9.