# GEHÖLZSTRUKTUREN

# AN HOCHWASSERSCHUTZDÄMMEN

Entwicklung von Weidenbewuchs und Einfluss auf die Dammsicherheit

unter besonderer Berücksichtigung des Wurzelraumes

# WOODY PLANTS ON LEVEES

Development of willows and the impact on levee stability

with special focus on root space

MASTERARBEIT

LANDSCHAFTSPLANUNG UND LANDSCHAFTSARCHITEKTUR

Josef Schönleitner, Bakk.techn.

Betreuung: o.Univ.Prof.Dr. Florin Florineth
Dipl.-Ing. Walter Lammeranner

Wien, Mai 2013

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Department für Bautechnik und Naturgefahren

Universität für Bodenkultur Wien

## Inhaltsverzeichnis

Danksagung ..... 4
Zusammenfassung ..... 5
Abstract ..... 6
1 Einleitung ..... 7
2 Ziel und Fragestellung ..... 8
3 Grundlagen ..... 9
3.1 Hochwasserschutzdämme ..... 9
3.1.1 Dammbaustoffe ..... 9
3.1.2 Aufbau von Dämmen ..... 9
3.1.3 Dammkrone und Bermen ..... 10
3.1.4 Dammböschungen ..... 10
3.1.5 Dammsicherheit ..... 11
3.1.6 Dammpflege und Damm- Instandhaltung ..... 11
3.2 Bodenphysikalische Grundlagen ..... 12
3.2.1 Körnung ..... 12
3.2.2 Dichte ..... 13
3.2.3 Wassergehalt ..... 13
3.2.4 Durchsickerung ..... 14
3.3 Grundlagen der Wurzelentwicklung ..... 14
3.3.1 Wurzelarchitektur und räumliche Erschließung des Bodens ..... 15
3.3.2 Wurzelwachstum ..... 15
3.3.3 Einteilung der Wurzeln und Wurzelsysteme ..... 16
3.3.4 Einteilung der Skelettwurzeln nach der räumlichen Ausbreitung ..... 17
3.4 Wurzeldicke, Wurzelhaare, und Mykorrhiza-Hyphen in Beziehung zu Porenraum und Dichte des Bodens ..... 20
3.4.1 Wurzeldurchmesser ..... 20
3.4.2 Erschließung stark verdichteter Böden ..... 20
3.5 Abhängigkeitsfaktoren des Wurzelwachstums ..... 21
3.5.1 Wurzelwachstum – Lichtgenuss der Sprosse ..... 21
3.5.2 Jahresverlauf des Wurzelwachstums – Temperatur ..... 21
3.5.3 Wurzelwachstum – Bodenwasser ..... 22
3.5.4 Trockenheit ..... 23
3.5.5 Wachstumsregulatoren der Rhizosphäre ..... 23

3.5.6 Mikrobielle Diversität ... 23
3.5.7 Rhizobakterien ... 24
3.5.8 Mykorrhizapilze ... 24
3.6 Einfluss von Gehölzen auf Hochwasserschutzdämme ... 25
3.6.1 Negative Einwirkungen ... 25
3.6.2 Positive Einwirkungen ... 26
4 Aufbau der Versuchsanlage ... 28
4.1 Purpurweide- Salix purpurea ... 31
4.2 Weidenspreitlagen allgemein ... 31
4.2.1 Weidenspreitlage quer ... 32
4.2.2 Weidenspreitlage längs ... 32
5 Untersuchungsmethoden ... 33
5.1 Transektmethode und Dauerquadratmethode ... 34
5.1.1 Vorgangsweise Sektoren 3, 9, 11 ... 36
5.1.2 Vorgangsweise Sektor 13 ... 36
6 Auswertungsmethoden ... 39
6.1 Säulen- Diagramme zur Darstellung der Vegetationsentwicklung ... 39
6.2 Streudiagramme ... 39
6.3 Boxplots ... 39
7 Ergebnisse ... 41
7.1 Sektor 3, Weidenspreitlage quer ... 41
7.2 Sektor 9, Weidenspreitlage längs ... 49
7.3 Sektor 11, Weidenspreitlage quer ... 57
7.4 Sektor 13, Weidenspreitlage quer ... 65
7.4.1 Wurzel - Spross – Verhältnis ... 73
7.5 Durchsickerung ... 74
8 Diskussion und Vergleich der Ergebnisse ... 78
9 Resümee ... 83
10 Literaturverzeichnis ... 85

## Danksagung

Mein Dank geht an alle, die mir den Weg dieses Studium abzuschließen offen gehalten und ermöglicht haben: an alle Freunde und KollegInnen, die mich unterstützt und begleitet haben, sowie an meine Eltern. Der größte Dank gebührt den ebenso am Projekt beteiligten MitstreiterInnen des Institutes. Besonders erwähnen möchte ich Univ.Prof. Dr. Florin Florineth, der nicht nur zu dieser Zeit seine schützende Hand auch über mich hielt. Und natürlich vielen Dank an meinen Betreuer DI Walter Lammeranner, der immer zur Verfügung stand und mich fachlich bestens unterstützt hat.

## Zusammenfassung

Der Einfluss von Gehölzen auf Dämmen ist Thema dieser Masterarbeit. Speziell wurde die Entwicklung von Purpurweiden in Form von Weidenspreitlagen an einem Hochwasserschutz-Versuchsdamm in Deutsch-Wagram im Jahre 2011 untersucht. Die Auswirkungen von Weidenspreitlagen auf die Stabilität des Hochwasserschutzdammes und speziell die Durchwurzelung des Dammes werden in dieser Arbeit erläutert und unter anderem durch biologische und klimatologische Vorgänge und Gegebenheiten erklärt.

Typisch für den stark verdichteten Damm mit wenig Anteil an organischer Substanz ist die Wurzelmatten-Ausbildung der Fein- und Mittelwurzeln in der oberen ca. 35 cm dicken Schicht des Dammes. Nur wenige Wurzeln erreichen eine Tiefe von maximal 65 cm. Im Vergleich zum Jahr 2010 gehen die Durchwurzelung bzw. die Wurzelmassen zum ersten Mal seit Errichtung der Spreitlage zurück. – Der Einbau der Purpurweiden erfolgte in den Jahren 2007 und 2008.

Der oberirdische Teil der Weidenspreitlage weist je nach Einbauart und Lage der Sektoren sowie von links nach rechts und von unten nach oben unterschiedliche Ausprägungen auf.

Abhängig von der Dichte des Bewuchses, der Länge der Sprosse, den Blattflächen, sowie den Stammdurchmessern können Rückschlüsse über die Verwendung und die Stabilität des Dammes unter Einfluss von Hochwässern gewonnen werden.

## Abstract

The topic of this masterthesis is the influence of grove on dams. Especially the development of certain grove installation techniques at flood control dams in Deutsch-Wagram was observed in 2011. The consequences of willow shrubs on the stability of the flood control dams and especially the root penetration of the dam are exemplified in this work and are explained through biologically and climatologically processes and conditions.

Typical for this type of heavily compressed dam with a low percentage of organically substance is the root mat formation of the fine and middleroots on the upper, 35 cm thick layer of the dam. Only few roots reached a depth of a maximum of 65 cm in 2011. In contrast to the 2010 the root penetration, respectively the root mass, declined for the first time since the establishment of the site. The willows was planted in 2007 and 2008.

The above ground part of the cultivation displays different characteristics depending on the way of installation, position of the sectors and vertical sequence.

Conclusion on the usage and stability of the dam under influence of flood waters can be made depending on the root shoot ratio, the length of the scion, leaf areas and trunk diameters.

# 1 Einleitung

Von Hochwässern sind nicht nur Menschenleben direkt gefährdet. Die Nachwirkungen von Hochwässern können vielfältig sein. Vor dem Hintergrund der Begradigung vieler Flüsse und den damit verbundenen Siedlungstätigkeiten, sowie in Verbindung mit Landwirtschaft und Infrastruktur, gewinnen Schutzdämme immer mehr an Bedeutung.

Schutzdämme sind schon seit Jahrtausenden bekannt und werden immer wieder nach technischen und auch vegetationstechnischen Facetten neu diskutiert, um den Problemstellungen zeitgerecht zu werden.

In der Wasserwirtschaft werden Schadenspotenziale von Überschwemmungen und dergleichen errechnet und entgegenwirkende Maßnahmen gesetzt.
Ein Teil solcher Maßnahmen bezieht sich auch auf den Bau von Hochwasserschutzdämmen und deren Bewuchs. Neben dem ökologischen, identitätsgebenden, landschaftsgestalterischen Aspekt des Dammbewuchses stehen jedoch Dammsicherheit Dammpflege und Instandhaltung im Vordergrund. Die Ingenieurbiologie befasst sich mit Technik und Verwendung von lebendem Pflanzenmaterial für Sicherungsarbeiten und leistet somit einen Beitrag zur Begrünung von Dämmen und schlussendlich zu einer lebenswerten Umwelt.

Deshalb wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, dem Land Niederösterreich und dem Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur das Forschungsprojekt „Gehölzstrukturen an Dämmen“ ins Leben gerufen.

Diese Masterarbeit sieht sich als Teil einer Reihe von Untersuchungen zu Gehölzstrukturen an Dämmen und beschäftigt sich mit dem seit 2007 und 2008 bestehenden Weidenbewuchs des Versuchsgeländes in Deutsch-Wagram. Die Dokumentation der Entwicklung von Pururweiden auf dem Versuchsdämm ist Inhalt dieser Arbeit.

# 2 Ziel und Fragestellung

Ziel dieser Masterarbeit war die Entwicklung von Weidengehölzen in Form von Weidenspreitlagen am Versuchsdamm in Deutsch-Wagram zu beobachten. Der Einfluss von strauchförmigen Gehölzen auf die Standsicherheit, Pflege und Instandhaltung von Dämmen wurde durch oberirdische und unterirdische Parameter betrachtet, wobei viele Daten dem Versuchsdamm am Stallingerfeld (in Deutsch-Wagram) entnommen werden konnten. Der 2007 und 2008 gepflanzte Weidenbestand wurde hinsichtlich seiner Dichte und Größe untersucht. Dabei ergaben sich folgende Fragen:

1. Welchen Einfluss haben strauchförmige Gehölze auf die Standsicherheit von Dämmen?

2. Welchen Einfluss hat die Wurzel - Spross - Entwicklung auf die Gehölzverwendung?

3. Kann der Gehölzbestand durch Profilgrabungen im Wurzelwerk und oberirdische sowie unterirdische Biomasseuntersuchungen ausreichend dargestellt werden?

# 3 Grundlagen

## 3.1 Hochwasserschutzdämme

Es sind bereits seit einigen Jahrhunderten Anleitungen und Regelwerke zum Dammbau bekannt und so unterscheiden sich Dämme nicht nur aus der Entstehung eines Kulturkreises heraus, sondern auch hinsichtlich der verwendeten Materialien und deren Verarbeitung. Solche Regelwerke sind auch heute noch einem Entwicklungsprozess unterzogen, was schon die Schwierigkeit verdeutlicht, die richtigen Maßnahmen in Bezug auf Dammbau zu setzen. Die Anforderungen an den Damm müssen nach DVWK auch heute noch den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten angepasst werden.

Hochwasserschutzdeiche sind „Dämme aus Erd- und Baustoffen an Fließgewässern zum Schutz des Hinterlandes gegen Hochwasser, die im Gegensatz zu Stauhaltungsdämmen nur bei Hochwasser beansprucht werden“ (DIN 19712, 1997).
In dieser Arbeit wird für die Begriffe der verschiedenen Deiche, wie sie in Deutschland bezeichnet werden, das in Österreich üblicherweise verwendete Wort „Damm“ benutzt.

### 3.1.1 Dammbaustoffe

Am Versuchsdamm in Deutsch-Wagram findet vor allem mineralisches Material im kleineren Korngrößenbereich von Mittelkies bis Schluff und Ton Anwendung (20 mm bis 0,0063 mm). Diese Materialien unterstützen einen homogenen Dammkörper und gewährleisten eine zufriedenstellende Verdichtung. Beim Dammbau ist darauf zu achten, dass organisches Material je nach Funktion eingebaut wird und die Standsicherheit dadurch nicht negativ beeinflusst wird (HASELSTEINER, 2007).

### 3.1.2 Aufbau von Dämmen

Die Dammhöhe setzt sich laut DVWK 210 (1986) aus dem Bemessungshochwasserstand, der sich aus Hochwasserdaten, Niederschlags- und Abflussbeobachtungen errechnet und mit einem bestimmten Restrisiko behaftet ist, plus dem Freibord zusammen.
Der Freibord errechnet sich aus z. B.: dem Windstau, Wellenlauf, ggf. Eisstau und Zuschlägen. Zuschläge dienen auch dem Entgegenwirken von

Bemessungsungenauigkeiten. Der Freibord beschreibt den Abstand zwischen Bemessungshochwasserstand und Dammkrone (DVWK 210, 1986).

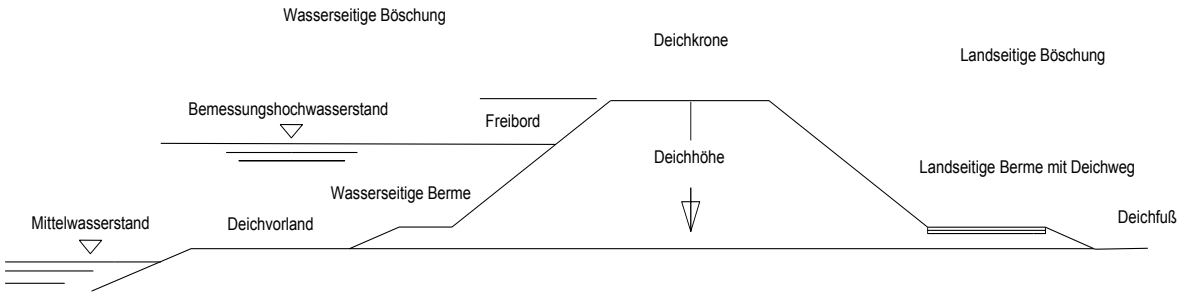



**Abbildung 1: Dammbauquerschnitt nach DVWK 210 (1986)**

### 3.1.3 Dammkrone und Bermen

Nach DVWK 210 (1986) soll die Dammkrone im Allgemeinen mindestens 3 m breit sein; bei Deichen unter zwei Meter Höhe kann die Kronenbreite auf zwei Meter eingeschränkt werden, wenn sie nicht befahren wird. Sie soll zur guten Entwässerung schwach gewölbt oder zur Wasserseite hin geneigt sein. Bermen können die Standsicherheit erhöhen und erleichtern die Pflege und Instandhaltung. Der Dammfuß an der Wasserseite muss bei Mittelwasser zugänglich sein.

### 3.1.4 Dammböschungen

Eine Neigung von 1:3 hat sich als ausreichend erwiesen. Bei steileren Böschungen können Bermen zusätzlich für Standsicherheit sorgen. Noch flachere Böschungen bieten einen guten Schutz gegen Wellengang und können aus landschaftsgestalterischer Sicht mit mehr Abwechslung gestaltet werden. Grundsätzlich muss ein Damm so bemessen sein, dass er der Bemessungsbelastung standhalten kann (DIN 19712, 1997).

### 3.1.5 Dammsicherheit

Faktoren, die die Standsicherheit eines Dammes beeinflussen, sind:

- Eigengewicht
- Wasserstände, mögliche Durchsickerung, Unterströmung des Dammes
- Porenwasserdruck
- Verkehrslasten
- Frost
- Bauzustände
- Verformungen und Setzungen
- Andere Faktoren: Gehölze, Wühltiertätigkeit, Hitze, starker Regen, Schnee, Wind und anthropogene Einflüsse

Der Damm kann über seine statistische- und hydraulische Sicherheit, sowie über seine Risssicherheit beurteilt werden (LESZCYNSKI, 2011).

Nach DÖSCHER (1999) gibt es verschiedene Gründe, warum ein Damm brechen kann:

- Verminderung der örtlichen Standsicherheit durch das Ausfließen von Wasser und Dammmaterial an der landseitigen Böschung
- Abrutschen des Erdkörpers entlang einer Gleitlinie
- Einbruch der Oberfläche nach vorausgegangener innerer Erosion
- Überströmung des Dammes

Die Versagenswahrscheinlichkeit zu einem Dammbruch (Überflutung des Hinterlandes) hängt auch stark davon ab, wie lange und wie hoch ein Damm eingestaut wurde und in welchem Zustand er zum Zeitpunkt des Einstaus war (HASELSTEINER und STROBL, 2005).

### 3.1.6 Dammpflege und Damm- Instandhaltung

Die Pflege und Wartung des Dammes entscheidet unter anderen über die Dammsicherheit. Der Zeitpunkt und die Kosten bestimmen hier wesentlich die Funktionsfähigkeit des Dammes. Die Art der Bepflanzung hat wesentlichen Einfluss auf den Pflegeaufwand und somit auf die Standsicherheit. Schäden sollen im Zuge der Dammverteidigung so schnell wie möglich behoben werden, wobei die Pflege und Instandhaltung des Dammes durch Gehölze erschwert werden kann, da großmaschinelle Einsätze teilweise unmöglich werden. Ebenso

können Deichverteidigung und Überwachungsarbeiten durch Gehölz verhindert oder behindert werden (HOLZAPFEL, 2008).

## 3.2 Bodenphysikalische Grundlagen

Vorgänge im Damminneren werden wesentlich vom Dammaufbau mitbestimmt. Deshalb soll auf diese Weise der Erosion, Kolmation als auch Suffusion vorgebeugt werden, um Dammsetzungen und Senkungen oder Dammbrüche zu verhindern. Diese Vorgänge können durch einen sachgemäßen Aufbau und durch folgende Eigenschaften des Dammes zum Teil unterbunden werden.

### 3.2.1 Körnung

Der Bodentyp hängt mit der Zusammensetzung bzw. der Größe der Körnung zusammen. Je nach Größe des Materials unterscheidet man, wie in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich, verschiedene Kornfraktionen.

| Kornfraktion - Hauptklassen | Symbole | Korngrößenbereich (mm) |
|---|---|---|
| **Grobkorn (Siebkorn)** | | |
| Blöcke, blockig | Y, y | > 200 |
| Steine, steinig | X, x | 63 - 200 |
| Kies, kiesig | G, g | 2 - 63 |
| Grobkies | gG, gg | 20 - 63 |
| Mittelkies | mG, mg | 6,3 - 20 |
| Feinkies | fG, fg | 2 - 6,3 |
| Sand, sandig | S, s | 0,063 - 2 |
| Grobsand | gS, gs | 0,63 - 2 |
| Mittelsand | mS, ms | 0,2 - 0,63 |
| Feinsand | fS, fs | 0,063 - 2 |
| **Feinkorn (Schlämmkorn)** | | |
| Schlufffraktion | U, u | 0,002 - 0,063 |
| Grobschluff | | 0,02 - 0,063 |
| Mittelschluff | | 0,0063 - 0,02 |
| Feinschluff | | 0,002 - 0,0063 |
| Tonfraktion | T, t | < 0,002 |

**Tabelle 1: Kornfraktionen (ÖNORM B 4401 T3)**

Die Korngrößenverteilung gibt die Massenanteile der im Boden vorhandenen Kornfraktionen an.

Um die Korngrößenverteilung herauszufinden, werden Sieb- oder Schlämmanalysen durchgeführt (SCHRÖDER, 1992). Hierbei werden die Masseanteile der Fraktionen in Häufigkeitsverteilungen bzw. in Sieblinien dargestellt. Eine enge Sieblinie würde einen relativ einkörnigen, homogenen Bodenaufbau kennzeichnen (HARTIG und HORN, 1992). Die Korngrößenverteilung ist Grundlage zur Klassifizierung der Bodenart.

### 3.2.2 Dichte

Die Feuchtdichte *(ρ)* eines Bodens wird durch das Verhältnis der Masse des Feuchtbodens $(m)$ zum Volumen $(V)$ beschrieben. Zur Bestimmung der Trockendichte wird die Trockenmasse *ρ(d)* herangezogen.

Für die Ermittlung der Bodendichte kann eine Stechzylindermethode zum Ziel führen. Hierbei wird ein rohrförmiger Zylinder in den Boden eingeschlagen, dieser vorsichtig ausgegraben, oben und unten abgeschnitten und ins Labor gebracht. Dort können die Feucht- sowie die Trockendichte berechnet werden.

$$\rho = \frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{V}} \left[\!\left[\frac{\boldsymbol{g}}{\boldsymbol{cm}}\right]\!\right] \qquad \rho(d) = \frac{\boldsymbol{m(d)}}{\boldsymbol{V}} \left[\!\left[\frac{\boldsymbol{g}}{\boldsymbol{cm}}\right]\!\right]$$

### 3.2.3 Wassergehalt

Als Wassergehalt $(w)$ bezeichnet man die im Porenraum vorhandene Wassermenge, bezogen auf die Trockenmasse einer Probe, welche im Trockenschrank hergestellt wird. Eine grobe Schätzung lässt sich bei Kenntnis von Feldkapazität, nutzbarer Feldkapazität und Totwasser aus der Bodenfeuchte ableiten (SCHLICHTING et. al., 1995). Die Dichte und der Porenanteil eines Bodens bestimmen den Wassergehalt.

$$w = \frac{\boldsymbol{m(w)}}{\boldsymbol{m(d)}} = \frac{\boldsymbol{m} - \boldsymbol{m(d)}}{\boldsymbol{m(d)}} [-]$$

$m(w) =$ Masse des Wassers [g]

$m$ = Masse der feuchten Probe [g]

$m(d)$= Trockenmasse der Probe [g]

### 3.2.4 Durchsickerung

Unter Durchlässigkeit im Allgemeinen versteht man die Fähigkeit eines porösen Materials, Flüssigkeiten und Gase durchzulassen. Sie wird durch den Durchlässigkeitsbeiwert $k$ ausgedrückt.

Eine einfache Methode zur Berechnung wird in folgender Formel nach DARCY angewandt. Hierbei entsteht ein Verhältniswert zwischen der Filtergeschwindigkeit $(v)$ und dem hydraulischen Gefälle $(i)$ bei gleichmäßiger, linearer Durchströmung eines wassergesättigten Bodens:

$$k = \frac{v}{i}$$

Für unseren Versuchsdamm mit einer Proktordichte von 97% wurde ein Durchlässigkeitsbeiwert von 8,5 * $10^{-7}$ festgestellt (HOLZAPFEL, 2008). Der Damm wird daher nach PREGL (1999) als mittel- bis gering durchlässig bezeichnet.

## 3.3 Grundlagen der Wurzelentwicklung

Nach KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002) hat die Wurzel folgende Aufgaben:

1. Aufnahme der vom Spross zeitweise im Überschuss gebildeten Assimilate
2. Ausscheidung von Stoffen zur Erschließung von Nährstoffen im Boden
3. Aufnahme von Wasser mit den darin gelösten Stoffen und deren Weiterleitung
4. Speicherung von Assimilaten und Wasser mit den darin gelösten Stoffen
5. Rückführung von Assimilaten in den Spross
6. Austausch von Luft, angereichert mit $CO_2$ oder $O_2$, mit dem Spross
7. Fallweise Assimilation
8. Verankerung der Pflanzen im Boden oder an festen Gegenständen im Luftraum
9. Symbiose mit Pilzen zur besseren Aufschließung von Stoffen aus dem Abfall der Pflanzen
10. Symbiose mit Bakterien zur Bindung von Luftstickstoff
11. Bildung von Wurzelknospen zur Erhaltung und Vermehrung der Pflanzen
12. Erschließung des Bodens bzw. des Luftraumes durch das Richtungswachstum der Wurzelspitzen

### 3.3.1 Wurzelarchitektur und räumliche Erschließung des Bodens

Die räumliche Erschließung des Wurzelwerkes hängt neben den Anforderungen der oberirdischen Pflanzenteile auch von der Gestalt (Morphologie) der Wurzelsysteme und vor allem vom Boden ab. Die Effizienz vieler Wurzelfunktionen wie Wasser- und Mineralstoffaufnahme, Transport, Verankerung im Boden ist eine Folge der oberirdischen und unterirdischen Gegebenheiten. Die Wurzeln reagieren also bezüglich ihrer Ausdehnung im Bodenraum in einer flexiblen Art und Weise.

Das Verzweigungspotential und die physiologischen Eigenschaften können Messgrößen für die qualitativen Möglichkeiten der Wurzel sein. Das Verzweigungspotential berücksichtigt sowohl die spezifische Länge als auch Verzweigungsmuster, Wurzeltiefe, Wurzelhaare und Wurzeldurchmesser (POLOMSKI und KUHN, 1998). Quantitative Aussagen ergeben sich etwa aus der Messung von Volumen, Fläche, Durchmesser, Gesamtgewicht oder Gesamtlänge.

### 3.3.2 Wurzelwachstum

Die Durchwurzelungsverhältnisse hängen nicht nur von den artspezifischen Vorlieben von Pflanzen und der Erschließung von Grob- und Mittelporen ab. Die Erreichbarkeit von Bodenhorizonten ist Grundlage für Nährstoffversorgung und ist wiederum abhängig von der Porosität in Beziehung zur Lagerungsdichte des Bodens.

Die Erschließung der Grobporen erfolgt nach dem Prinzip des kleinsten Widerstandes. Die Wurzeln können sich mit geringem Energieaufwand in das Erdreich vorarbeiten, wenn sie zwischen den Wurzeln und Aggregaten noch genügend Platz vorfinden.
„Auch Bioporen wie alte Wurzelkanäle und Wurmgänge oder horizontale und vertikale Klüfte, Spalten und Risse, bieten den Wurzeln Wachstumswege an. In diesem Fall ist die Bodenerschließung sehr unregelmäßig“ (HEWITT und DEXTER, 1984). Durch diese Hohlräume entsteht möglicherweise ein gewisses Mikro- und Mesoklima, welche das Pflanzenwachstum mitbestimmt. Da in diesen Hohlräumen keine Kapillarwirkung vorherrscht, werden diese erst durch ein Ereignis mit Substrat verfüllt und stehen somit den Wurzeln zur Ausbreitung zur Verfügung.
„Das Auftreten von mechanischen Hindernissen fordert von den Wurzeln einen erhöhten Energieaufwand, der durch Verlangsamung des Längenwachstums kompensiert wird“ (FRÖHLICH, 1978). Solche Wurzeln werden kürzer und dicker. Sind nur wenige Grobporen vorhanden, sucht die Wurzel den Weg durch die Mittelporen.

Durch eine gewisse Penetrationskraft können Engstellen durchsetzt und Aggregate durchbrochen werden.

Nach BLUME (1991) prägt die Art des Bodengefüges (Platten- Hüllen- Krümelgefüge) die Durchwurzelbarkeit des Bodens in großem Maße. Oft erschwert das Plattengefüge die Tiefenerschließung, während das Krümelgefüge gleichmäßig und intensiv durchwurzelt ist.

„In verdichteten Böden sind die Seitenwurzeln im Verhältnis zur Hauptwurzel stärker entwickelt. Ihr Wachstum ist in Folge der Verkürzung der Initialzone reduziert. Das gesamte Wurzelwerk ist oberflächlich ausgebreitet, stark verzweigt; die Wurzeln sind dicker und oft deformiert“ (KUTSCHERA und LICHTENEGGER, 2002).

### 3.3.3 Einteilung der Wurzeln und Wurzelsysteme

Können Wurzeln in einem optimalen Substrat heranwachsen, dann bilden sie artenspezifisch typische Skelettwurzeln aus. Skelettwurzeln und Feinwurzeln können nach KÖSTLER et. al., (1968) wie folgt unterschieden werden:

| | |
|---|---|
| Skelettwurzeln | Durchmesser größer als 2 mm |
| - Starkwurzeln | Durchmesser größer als 50 mm |
| - Derbwurzeln | Durchmesser 20 bis 50 mm |
| - Grobwurzeln | Durchmesser 5 bis 20 mm |
| - Schwachwurzeln | Durchmesser 2 bis 5 mm |
| | |
| Feinwurzeln | Durchmesser kleiner als 2 mm |
| - Langwurzeln | Durchmesser 1 bis 2 mm |
| - Kurzwurzeln | Durchmesser 0 bis 1 mm |

### 3.3.4 Einteilung der Skelettwurzeln nach der räumlichen Ausbreitung

In Abhängigkeit des Ortes der Verzweigung und der Wachstumsintensität der Seitenwurzeln im Verhältnis zur Hauptwurzel unterscheidet man verschiedene Verzweigungstypen.

Aus dem Perizykel heraus entstehen die Seitenwurzeln. Während sich die Hauptwurzel normalerweise geotrop fortbildet, wachsen Seitenwurzeln meist schräg oder horizontal in den Boden. An den Seitenwurzeln bilden sich feine, kurzlebige Wurzeln in Böden mit höherem Gehalt an Nährstoffen wie N, P und K aus. In besonders nährstoffreichen Bodenzonen oder in alten Wurzelkanälen können sich diese Feinwurzeln anhäufen und die Pflanze mit Nährstoffen versorgen.

Die spezifische Wurzellänge spiegelt die Veränderungen zwischen Dickenwachstum und räumlicher Wurzelausbreitung wieder und korreliert sowohl mit dem Alter der Pflanze als auch mit einigen Bodeneigenschaften wie z. B. Nährstoffgehalt, Temperatur und Feuchtigkeitsverhältnisse, ebenso mit Faktoren wie Bodendichte (FITTER, 1985).

In Bezug auf Sprosswurzelwachstum unterscheiden sich verschiedene Baumarten. Auslöser für die Bildung von Sprosswurzeln kann eine starke Erwärmung des Bodens, Sauerstoffmangel, erhöhte Bodenfeuchtigkeit als auch eine Trieb- oder Stammverletzung sein. Sie sind Abzweigungen der Sprossachse in der Nähe der Bodenoberfläche. Einige Arten neigen zur Adventivwurzelbildung (POLOMSKI und KUHN, 1998).

**Pfahlwurzeln**

Das Pfahlwurzelsystem ist durch eine stark ausgeprägte, zentral in den Boden führende Hauptwurzel gekennzeichnet. Diese kann sich mit zunehmendem Alter zurückbilden. „Ungünstige Standortbedingungen wie Bodenverdichtung, zu hoher Sekelettanteil im Boden, zu hoher Grundwasserstand, zu geringe Bodendurchlüftung oder Bodenerwärmung können die Ausbildung der Pfahlwurzel (Polwurzel) behindern“ (KUTSCHERA und LICHTENEGGER, 2002).

**Herzwurzeln**

Herzwurzeln stellen sich mit einer gleichmäßigen Ausbreitung unter dem Wurzelstock dar. Die Hauptseitenwurzeln werden früh ausgebildet und streben seitlich nach unten.
„Herzwurzelformen entstehen aus Pfahlwurzelformen junger Holzgewächse. Sie sind daher stets reifere Wurzelformen, bei denen die Polwurzel keine vorherrschende Stellung mehr einnimmt“ (KUTSCHERA und LICHTENEGGER, 2002).

**Flachwurzeln**

Flachwurzeln oder Senkwurzeln haben flache, horizontal stark ausgebildete Seitenwurzeln, von denen die vertikal wachsenden Senker ausgehen. „Herzwurzeln fehlen oder sind stark unterentwickelt“ (KUTSCHERA und LICHTENEGGER, 2002).

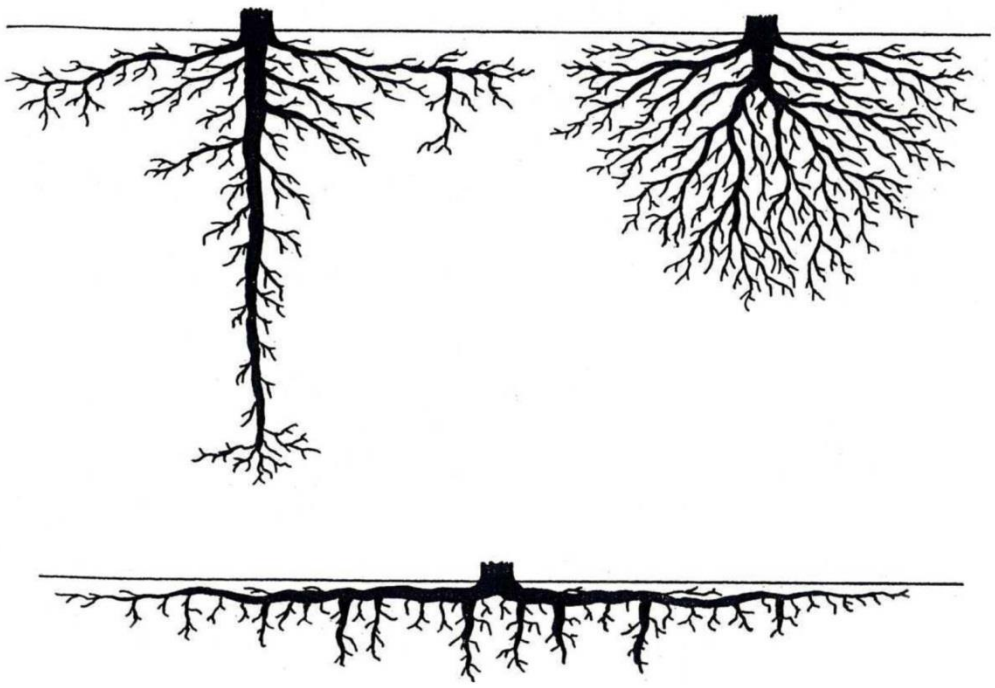


**Abbildung 2: Pfahlwurzeltyp (oben links), Herzwurzeltyp (oben (rechts) und Flachwurzeltyp (unten); (ROLOFF, 2008)**

Je nach Ausbreitungsmöglichkeiten können auch Wurzelformen wie die folgenden entstehen:

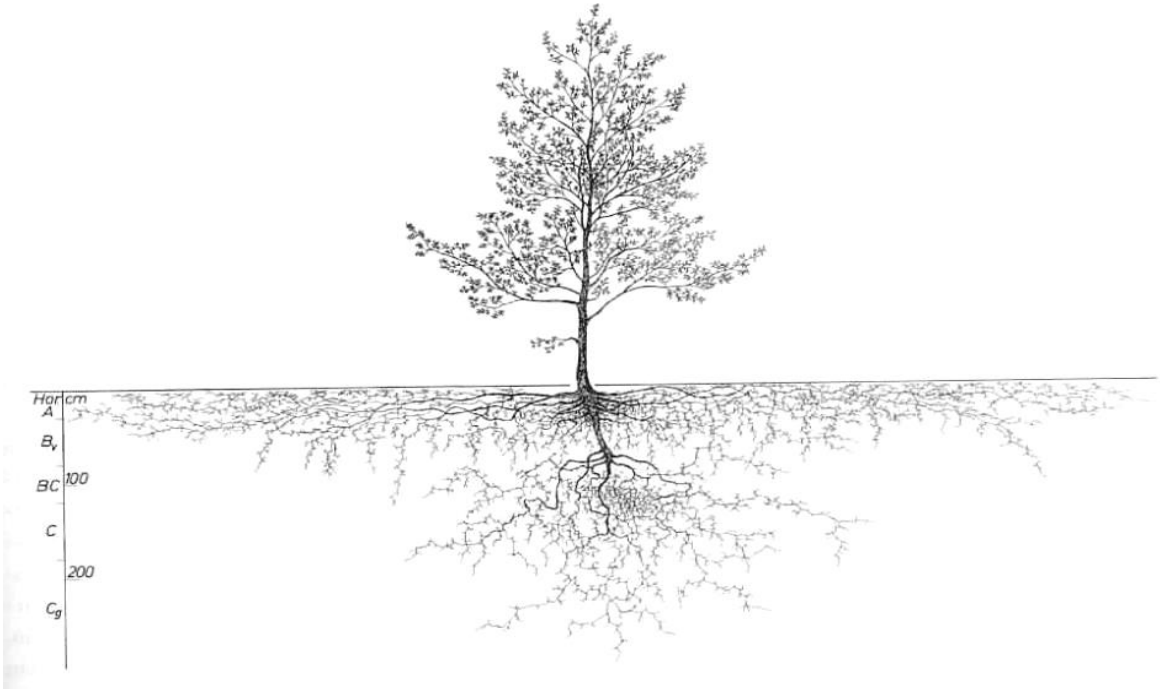



**Abbildung 3: Hantelförmiger Wurzeltyp (KUTSCHERA und LICHTENEGGER, 2002)**

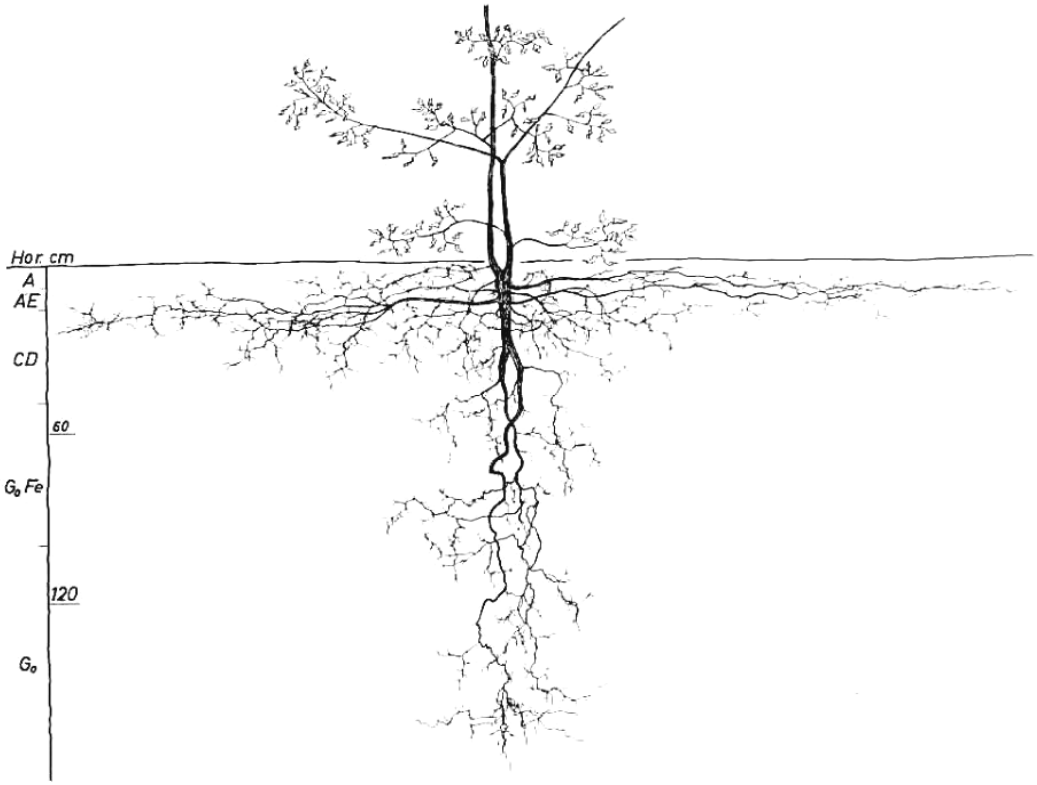



**Abbildung 4: T-förmiger Wurzeltyp (KUTSCHERA und LICHTENEGGER, 2002)**

## 3.4 Wurzeldicke, Wurzelhaare, und Mykorrhiza-Hyphen in Beziehung zu Porenraum und Dichte des Bodens

Feinporen werden von Wurzelhaaren und Mykorrhizen mit geringem Energieaufwand erschlossen und dienen dem Austausch von Wasser und Mineralstoffen zwischen Wurzel und Boden. „Der Wurzelhaarbesatz variiert auch innerhalb des Wurzelsystems. Wurzelhaarlängen- und Durchmesser nehmen mit höherer Verzweigungsordnung ab“ (POLOMSKI und KUHN, 1998).
Doch im Zusammenwirken fördern Wurzelhaare und Mykorrhizen die Stabilisierung der Bodenstruktur durch ihr weit verzweigtes Geflecht (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2010).

### 3.4.1 Wurzeldurchmesser

Die Erschließung des Bodens erfolgt durch eine ständige Neubildung der Feinwurzeln. Die Struktur des Porenraumes gibt die Möglichkeit der Ausbreitung der Wurzeln vor.
Das mehr oder weniger zusammenhängende Hohlraumsystem wird nach HARTGE (1985) eingeteilt. „In Bezug auf Wurzelorgane sind nur weite Grobporen mit Durchmessern größer als 50 µm Wurzeln zugänglich. Mittel- oder Mesoporen mit Durchmessern 0,2 - 50 µm können hingegen von Wurzelhaaren erschlossen werden. Feinporen kleiner als 0,2 µm enthalten weitgehend chemisch gebundenes, also nicht pflanzlich verfügbares Wasser, weshalb sie weder von Wurzelhaaren noch von Pilzhyphen aufgesucht werden“ (SCHEFFER und SCHACHTSCHNABEL, 2010).

### 3.4.2 Erschließung stark verdichteter Böden

In stark verdichteten Böden finden sich nur wenige Poren, welche von der Pflanze besiedelt werden können. Reicht die Penetrationskraft der Wurzeln nicht aus, vermindert dies das Längenwachstum der Wurzel oder führt generell zu einem Wachstumsstopp.

Ein weiteres Wachstumshemmnis bezüglich einer Bodenverdichtung sind Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes durch Stauwasser.

## 3.5 Abhängigkeitsfaktoren des Wurzelwachstums

Je stärker der arteigene Bildungstrieb ist, desto länger wird die für eine Art typische Durchwurzelung beibehalten (KRAUS, 1985). Die arteigene Wurzelform unterliegt einer umso größeren Abwandlung, je weiter die Pflanze an ihren ökologischen Grenzbereich gedrängt wird und je älter sie wird.

### 3.5.1 Wurzelwachstum – Lichtgenuss der Sprosse

Bei erhöhter Lichteinwirkung erzeugt der Spross einen erhöhten Assimilatüberschuss, der dem Wurzelwachstum zugutekommt (KUTSCHERA und LICHTENEGGER, 2002). Weniger Assimilate werden bei Beschattung angereichert und so wird das Wurzelwachstum gleichzeitig mit der Temperatur, die ebenfalls eine Rolle im Wachstum spielt, verringert. Infolge verringerter Kohlehydratproduktion bei Beschattung wird das Längenwachstum der Wurzel stärker gehemmt als das Sprosswachstum.

Die Reaktion der Pflanzen auf das Lichtangebot hängt auch von den natürlich vorgegebenen, pflanzeneigenen Vorlieben ab: Schattenpflanzen wurzeln flacher als lichtbedürftige Arten und Tiefwurzler gehören fast ausnahmslos zu den lichtbedürftigen Arten, was in Hinblick auf Trockenstress bzw. der Bereitstellung von Wasser Sinn macht. (POLOMSKI und KUHN, 1998). Der regelmäßige periodische Wechsel des Überwiegens von Sonnenein- und Wärmeausstrahlung am Boden führt zu regelmäßigen Temperaturschwankungen. Diese werden etwa durch eine hohe Lagerungsdichte vermindert. Wichtige Parameter hinsichtlich der Erwärmung des Bodens sind auch der Sonneneinstrahlwinkel und die Exposition (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2010).

### 3.5.2 Jahresverlauf des Wurzelwachstums – Temperatur

Der Anfang und das Ende der Vegetationsperiode werden maßgeblich von den Bodentemperaturen beeinflusst. Je nach Seehöhe, Kontinentalität, Tiefe der Wurzeln und Exposition können bestimmte Arten, je nach Wachstumsrhythmus, beginnen sich auszubreiten. „Eine Erwärmung wird auch durch die Verschiedenheit der Bodentextur und des Wassergehaltes im Boden bewirkt. Die Wärmeleitung ist umso größer, je feinkörniger und feuchter der Boden ist. Sie stellt somit einen wichtigen Regulator für den Tiefgang der Wurzeln dar. Bei tiefreichender Bodenerwärmung ist der Wurzeltiefgang wesentlich größer“ (KUTSCHERA und LICHTENEGGER, 2002).

Der Wärmehaushalt ist zudem von der Sonneneistrahlung und der Temperatur des Erdkörpers abhängig. Auswirkungen der Temperatur auf Wurzeln wurden auch von KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002) an Fichten der subalpinen Zone in Kärnten beobachtet. Wegen der nur kurzen Erwärmung während der Sommermonate wurde das Tiefenstreben der Fichten bald eingestellt. Die kurzen Senkwurzeln begannen sich im Alter zu verdicken und an ihren unteren Enden entstand eine quastenartige Anhäufung von kurzen, dünnen Wurzeln.

Die beste Jahreszeit für das Wurzelwachstum wäre von den Temperaturen her der Sommer. Doch wird zu dieser Zeit das Wachstum zugunsten des starken oberirdischen Wachstums eingeschränkt. Das betrifft vor allem die Entwicklung der Feinwurzeln. Das Ausmaß der Einschränkung hängt wesentlich vom Wasserangebot ab (KUTSCHERA und LICHTENEGGER, 2002).

### 3.5.3 Wurzelwachstum – Bodenwasser

Für die Versorgung durch Wasser spielen neben der Bodentextur auch klimatische und morphologische Gegebenheiten eine wichtige Rolle.

Wird ein Boden nach unten hin, etwa durch Niederschlag befeuchtet, wird dieser nach unten hin feuchter und auch kühler, wodurch die Seitenwurzeln in vielen Fällen stärker ausgeprägt werden. Im Gegensatz dazu wird in trockenen und warmen Gebieten der seitliche Verlauf der Durchwurzelung vermindert und die Tiefendurchwurzelung nimmt zu.

Die Wasseraufnahme erfolgt nur, solange auch genug Wasser vorhanden ist. Ist das nicht der Fall, schützt sich die Pflanze durch Abstoßen oder Verkorken von Wurzelteilen. Wenn wieder genug Wasser vorhanden ist, werden schnell wieder neue Feinwurzeln gebildet. Durch die Erhöhung der Bodenfeuchte wird auch die Mineralstoffaufnahme erleichtert.
Im Großen und Ganzen gibt es wie zuvor beschrieben viele Möglichkeiten für Pflanzen sich auf ihren Standort anzupassen.

### 3.5.4 Trockenheit

Infolge von Trockenheit sterben viele Wurzeln, vor allem Feinwurzeln relativ schnell ab. Im Normalfall führt dies zu keinerlei Problemen, denn nach einer erneuten Wasserverfügbarkeit bilden sich rasch neue Wurzeln. Dies gehört ebenso wie die morphologische Anpassung der Wurzelsysteme an die Herkunft des verfügbaren Wassers zu den wichtigen Mechanismen der Trockenresistenz und ist von Pflanze zu Pflanze unterschiedlich zu bewerten.
Das Ausmaß von Dürreschäden hängt zudem vom Zeitpunkt, der Dauer und Intensität der Trockenheit ab (POLOMSKI und KUHN, 1998).

### 3.5.5 Wachstumsregulatoren der Rhizosphäre

Die Rhizosphäre - das Erdvolumen, welches die Wurzel umschließt - wird chemisch, physikalisch und biologisch von der Wurzel beeinflusst. Sie ist Lebensbereich für die Fortpflanzung von Mikroorganismen. Diese sind maßgebend für die Gesundheit der Pflanzen.
In der Rhizosphäre kommt es zu einem ständigen Austausch zwischen Pflanze, Erde und der Boden-Mikrofauna.

### 3.5.6 Mikrobielle Diversität

Nach FIEDLER (2001) bildet die mikrobielle Biomasse die aktive Fraktion der organischen Bodensubstanz. Die trophischen Funktionen sind eng verknüpft mit der Mineralisation der organischen Bodensubstanz. Die mikrobielle Bodensubstanz wird durch Nährstoffangebot, Bodenfeuchte und Bodentemperatur beeinflusst. Mikroorganismen sind im Boden heterogen verteilt und treten geballt in verschiedenen Mikrohabitaten auf. Pilze bevorzugen relativ trockene und anaerobe Verhältnisse. Bodenbakterien tragen eine Oberflächenladung und werden daher wie abiotische Bodenpartikel angezogen oder abgestoßen. Sie haften an Tonteilchen und Aggregatoberflächen oder leben in Bodenaggregaten. Nur ein kleiner Teil schwimmt frei in der Bodenlösung. Die biologische Bodenaktivität ist ein entscheidender Faktor für den Nährstofffluss und damit für die Bodenfruchtbarkeit.

### 3.5.7 Rhizobakterien

Die Rhizosphäre ist reich an mikrobieller Aktivität und ist somit wichtig für biologische, ökologische Prozesse und für die Gesundheit der Pflanzen.
Abhängig von der Bodenart, der Pflanzenart und von äußeren Bedingungen haben sich evolutionär verschiedenste, spezialisierte Bakterien und Bakteriengemeinschaften entwickelt (MAHESHWARI, 2010).

Wachstumsunterstützende Rhizobakterien besiedeln die Wurzeln und produzieren schützende Regulatoren wie Hormone, regen Wurzelaktivitäten und Phosphoraufnahme an und fixieren Nitrate. Rhizobakterien haben viele Aufgaben, die in Abstimmung zueinander und auch zeitgleich ablaufen. Pflanzen und ihre Umgebung bieten also eine ökologische Nische für Bakterien (und auch für Pilze). Das heißt, ihr Vorkommen ist auch von den vorkommenden Pflanzenarten abhängig.

### 3.5.8 Mykorrhizapilze

Mykorrhizen sind symbiontische Assoziationen zwischen Bodenpilzen und Wurzeln.
„Über 95 % der Pflanzen sind mykorrhiziert“ (SMITH und READ 2010). Die Mykorrhizapilze sind wichtig für Mineralisationsprozesse und breiten sich vor allem in nährstoffreichen Substraten gut aus. So können Wurzelsysteme mit einem dichten Hyphennetz verbunden werden. Bei schwer abbaubaren organischen Substanzen wie etwa Lignin sind Mykorrhizen gefordert.

Mithilfe dieser Mykorrhizapilze kann die Wurzel unter geringen materiellen und energetischen Aufwand schnell neue Nährstoffressourcen erschließen (LAST et al., 1983).

## 3.6 Einfluss von Gehölzen auf Hochwasserschutzdämme

Die Ausbildung eines dichten oberflächennahen Wurzelgeflechts gilt als besonders standfest, wobei tiefere Wurzeln etwa die Verankerung im Boden stärken, zugleich aber den homogenen Aufbau des Dammes stören können. So zeigen viele positive Einwirkungen auch negative Eigenschaften und umgekehrt (HARTGE, 1985).

### 3.6.1 Negative Einwirkungen

Die Ausbildung und Entwicklung von Bewuchs hängt im Wesentlichen von den Standortbedingungen ab (DVWK 226, 1993). Wurzeln dienen als Verankerung und Versorgungsapparat der Pflanze und tragen somit wesentlich zum Wachstum bzw. zu den Wuchseigenschaften der oberirdischen Vegetation bei. Aus diesem Grund ist beim Dammbau mit Gehölzbewuchs mit gesteigertem Interesse darauf zu achten, welche Wuchsformen und Wuchsgemeinschaften sich am besten für die jeweilige Situation eignen.

Im folgenden Abschnitt werden positive und negative Einwirkungen des „Systems Damm – Pflanze“ behandelt:

**Wind**

Wind führt unweigerlich zu Erosion. An der Dammoberfläche liegen besonders viele leichte Sande oder leicht erodierbare Materialien. Gehölze haben hier den positiven Effekt, den Boden zu binden und bodennahe Windböen zu drosseln (COPPIN und RICHARDS, 1990). Dies hängt von der Wurzelform, der Wurzeltiefe und Dichte der Bewurzelung ab.

Die Tatsache, dass Dämme meist höher als das Umland liegen und dass sie von unkontrolliertem Bewuchs freigehalten werden sollen, vergrößert die Angriffsfläche des Windes auf das einzelne Gehölz. Durch Windböen werden Wurzeln bewegt und dadurch der Dammkörper in seinem homogenen Aufbau gestört. Entlang der Wurzel kann zudem Kontakterosion auftreten. „Das Vorkommen von Windwurf ist wahrscheinlicher, wenn der Damm durchsickert wurde“ (HASELSTEINER und STROBL, 2005).

**Beschattung**

Beschattung lässt den Unterwuchs unterschiedlich aufkommen und ausbilden. Diese Unterschiede führen zu einer ungleichmäßigen Bodendeckung oder Wurzelbildung und sind je nach Pflanze unterschiedlich zu beurteilen. Dichter Bewuchs kann auch das Aufkommen von Wühltieren fördern.

**Abgestorbene Wurzeln**

Abgestorbene Wurzeln können Hohlräume hinterlassen. Im Normalfall werden diese durch neue Wurzeln wieder ausgefüllt. Wenn nicht, bietet die abgestorbene Wurzel Angriffsraum für damminnere Erosion (HASELSTEINER und STROBL, 2005).

**Wühltiere**

Wühltiere können durch ihre Tätigkeit den Bewuchs in Bezug auf die Standfestigkeit des Dammes beeinträchtigen. Die Gänge werden zudem mit Wasser verfüllt, was die Sickerlinie beeinflusst und Eisbruch verursacht. Durch zusätzliche bauliche Maßnahmen können Wühltiere vom Damm ferngehalten werden.

### 3.6.2 Positive Einwirkungen

Die Verwendung von verschiedensten Pflanzen wird oft als positiv betrachtet, da die Hochwasserschutzdämme besser in das Landschaftsbild eingebunden werden und so identitätsstiftende Strukturen entstehen. Zusätzlich dient der Pflanzbestand in seinen verschiedenen Sukzessionsstadien als Lebensgrundlage für viele Tierarten.

**Scherfestigkeit**

Neben der Wurzelform, der Wurzeldichte- Tiefe- und Masse gelten auch die Erhöhung der Kapillarkohäsion und des inneren Reibungswinkels sowie die Aggregatbildung durch Wurzelausscheidungen bzw. Bodenaktivität als scherfestigkeitserhöhende Faktoren (FLORINETH, 2012).

**Elastizität und Biegevermögen**

Durch hohe Elastizität und hohes Biegevermögen werden die Pflanzen überströmt und niedergedrückt. Damit ist die Dammoberfläche vor Erosion durch das fließende Wasser geschützt.

**Wurzel-Verhältnis**

Pflanzengesellschaften, die sich ergänzen bzw. deren Wuchsform ein harmonisches Wurzelbild erreichen, gelten als standsicherer (POLOMSKI und KUHN, 1998).

**Bodenentwässerung**

Die Pflanze verdunstet Wasser und reduziert dadurch den Porenwasserdruck. Durch die Aufnahme von Wasser durch die Wurzeln wird der Boden verfestigt und stabilisiert (HASELSTEINER, 2007).

**Auszugwiderstand**

Den Auszugwiderstand beeinflussende Faktoren sind die Bodenbeschaffenheit, die Wuchsbedingungen (Wetter, Nährstoffe, …), die Pflanzenart und das Alter. Da die Schleppspannungen in der Regel geringer sind als der Auszugwiderstand, werden bei einer homogenen Durchwurzelung in seltenen Fällen Pflanzen ausgerissen (FLORINETH, 2004).

**Regenerations- und Stockausschlagfähigkeit**

Vor allem Laubhölzer haben, wenn sie verletzt bzw. geknickt werden, eine hohe Regenerationsfähigkeit. Der Stockschnitt verjüngt und verkleinert den Sprossdurchmesser, was sich wiederum auf die Elastizität positiv auswirkt (FLORINETH, 2004). Dies erhöht die Standsicherheit des Dammes und spart Kosten, weil kein neues Pflanzenmaterial gekauft wird.

**Anpassungsfähigkeit**

Pflanzen können sich den Witterungsbedingungen und Umweltbedingungen anpassen. Durch angepasste Wurzelbildung können z. B. für den Dammbau günstige Eigenschaften ausgenutzt werden.

**Überstaubarkeit**

Manche Pflanzenarten können einen gewissen Zeitraum unter Wasser verbringen, indem sie verschiedene Überlebensstrategien dazu entwickeln. Die Verwendung von Gehölzen am Damm richtet sich danach.

# 4 Aufbau der Versuchsanlage

In Zusammenarbeit mit der Abteilung für Wasserbau und Wasserwirtschaft des Landes Niederösterreich wurde die Versuchsanlage im Stallingerfeld (Deutsch-Wagram) geplant und errichtet. Das Areal der Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal war für die Errichtung des Versuchsdammes bestens geeignet. In dem damals nicht benützten Gelände, welches neben dem Marchfeldkanal liegt, wurden drei Dämme errichtet.

2007 wurden zwei nebeneinanderliegende Dämme mit einer Proktordichte von 97 % gebaut. Sie dienen zum einen zur Untersuchung der Überströmung und zum anderen zur Untersuchung der Durchsickerung. Der Zwischenraum ist mit einem Fassungsvermögen von 400 m³ dimensioniert (siehe Abb. 5).

Die Böschung, mit einer Steigung von 2:3, wurde am Fuß mit einer 1,5 m breiten Kiesdrainage versehen. Zur Erhöhung der Sicherheit gegen Dammbruch wurde unterhalb der 2,7 m hohen Dämme eine 30 cm dicke Lehmschicht eingebaut.

| **Durchsickerungsdamm** | **Überströmungsdamm** | **Ausgrabungsdamm** |
|---|---|---|
| Gebaut – 2007 | | Gebaut 2008 |
| Lageweise geschüttete und verdichtete Dämme mit einer Proktordichte von 97 % Untergrund und Böschung mit Hilfe von 30 cm dicker Lehmschicht abgedichtet | | |
| 4 Sektoren | 8 Sektoren | 1 Sektor |
| Standrohre mit Drucksonden zur Sickerlinienbeobachtung sowie Tensiometer | 4 Überströmungsmulden | Der Damm dient vor allem zur Untersuchung der unterirdischen Entwicklung der Pflanze |

**Tabelle 2: Aufbau der Versuchsanlage und Aufgabe der Dämme (siehe auch Abb. 5)**

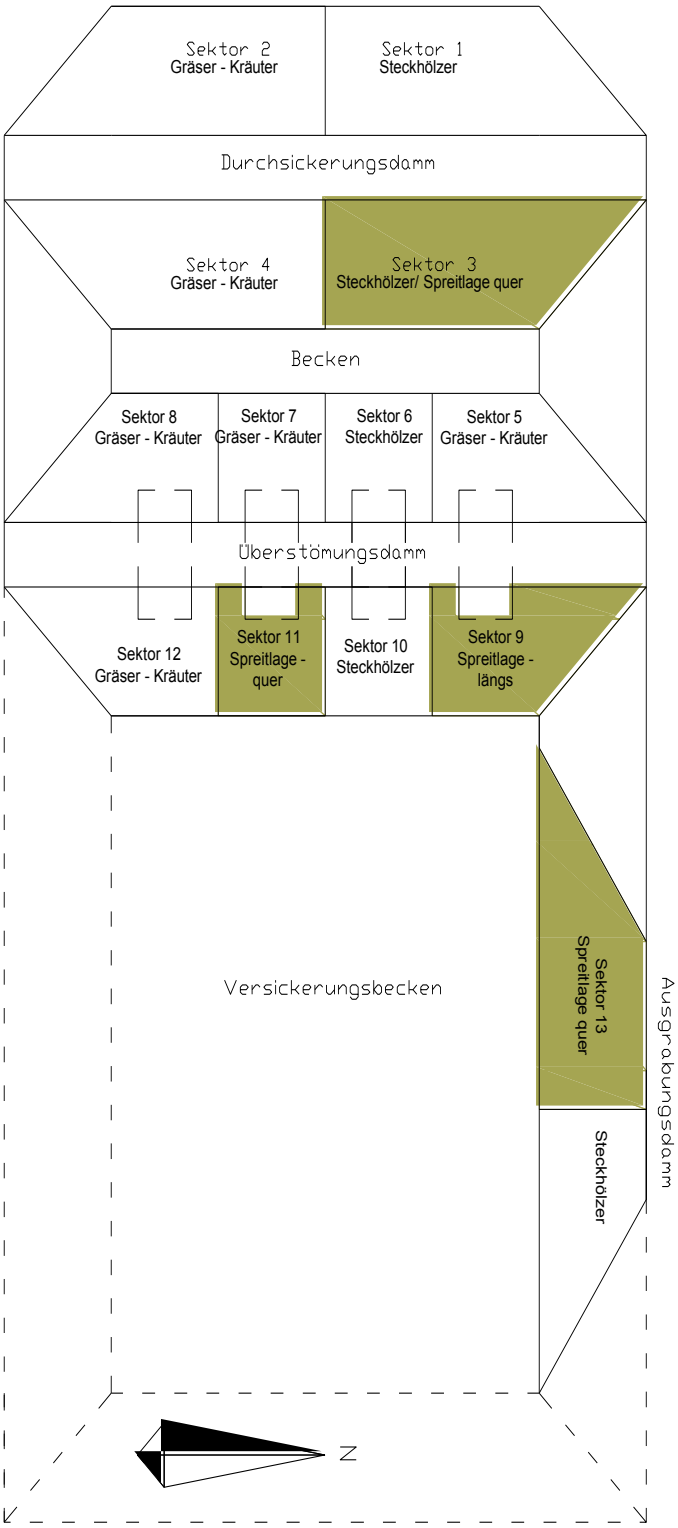



**Abbildung 5: Übersichtsskizze der Versuchsanlage in Deutsch-Wagram**

**Sektor 11/ 9:** Der Überströmungsdamm weist an der Krone 4 Überströmungsmulden auf, mit welchen das Verhalten der Vegetation bei Überströmung und eine mögliche Bodenerosion untersucht wird. Für diese Masterarbeit wurden die Dichte und die Größe des Bestandes gemessen.

**Abb. 6: Sektoren 9 und 11 (Deutsch-Wagram, 10.08.2011)**

**Abb. 7: Sektor 9 (Deutsch-Wagram, 25.08.2011)**

**Sektor 3**: Der Durchsickerungsdamm dient der Untersuchung der Temperatur, des Porenwasserdruckes und der Sickerwassermenge. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden die Dichte und die Größe des Bestandes gemessen.

**Abb. 8: Sektor 3 (Deutsch-Wagram, 10.08.2011)**

**Abb. 9: links - Sektor 3 (Deutsch-Wagram,10.08.2011)**

**Sektor 13:** Ein Jahr später – 2008 – wurde von der Bauweise her ein identischer Damm quer zu den bestehenden Dämmen errichtet. Dieser Damm dient zur Untersuchung der ober- und unterirdischen Biomasse.

**Abb. 10: Sektor 13 (Deutsch-Wagram, 29.04.2011)**

**Abb. 11: Sektor 13 (Deutsch-Wagram, 29.04.2011)**

## 4.1 Purpurweide- Salix purpurea

Salix purpurea ist eine Pionierpflanze mit vielen zur Initialpflanzung geeigneten Eigenschaften. Neben Vorzügen der Purpurweide wie Schadstoff- Salz- und Trockenheitsresistenz sowie die hervorragende vegetative Vermehrung zählen auch folgende:

- hält hohe Schleppspannungen sowie Zugspannungen aus
- verträgt Überstauungen länger als eine Woche
- zeigt eine hohe Elastizität und Biegefestigkeit
- weist ein starkes Durchwurzelungsvermögen und eine hohe Scherfestigkeit auf

## 4.2 Weidenspreitlagen allgemein

„Die Weidenspreitlage hält als flächige Bauweise von allen untersuchten ingenieurbiologischen Bauweisen die höchsten Belastungen aus. Der Einsatzbereich der Spreitlage ist universell, vor allem eignet sie sich zur Sicherung von Prallufern bzw. Ufern, die hohen hydraulischen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Weidenspreitlagen bieten sofort nach der Fertigstellung einen wirksamen Erosionsschutz. Durch das Aufwachsen vieler dünner Zweige, die deshalb lange elastisch bleiben, leicht niedergedrückt und überströmt werden, ist der Einfluss auf die Fließgeschwindigkeit und das Abflussvermögen einige Zeit gering - bei Gewährleistung eines sehr guten Uferschutzes“ (FLORINETH, 2004).

Es sollte eine Abdeckung der Weiden von 80% der Fläche gewährleistet sein (SCHIECHTL und STERN, 1992). Die Weidenspreitlagen können somit hohe Schleppspannungen und hohe Zugspannungen aufnehmen.

### 4.2.1 Weidenspreitlage quer

Beim Bau der Weidenspreitlage quer werden Weidenäste (Salix purpurea) quer zur Böschung und eng aneinander liegend aufgelegt. Die Weidenäste sollen so lange wie möglich sein, werden überlappend aufgelegt und mit Draht an Pflöcken nieder gebunden. Weiters wird die Fläche mit einer drei bis vier Zentimeter dicken Humusschicht überdeckt.

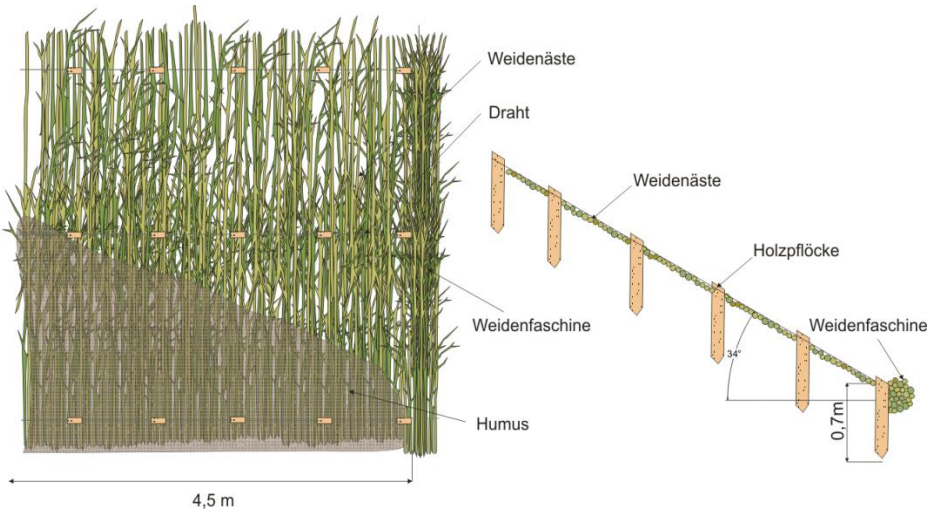



**Abbildung 12: Prinzipskizze Weidenspreitlage quer, Grundriss und Schnitt (RAJIC 2009), Versuchsdämme Deutsch-Wagram, 2011**

### 4.2.2 Weidenspreitlage längs

Im Falle der Weidenspreitlage längs wird ebenso vorgegangen, nur dass die Weidenäste längs zur Böschungsneigung, ebenso mit einer Überlappung von ca. 30 cm angelegt werden.

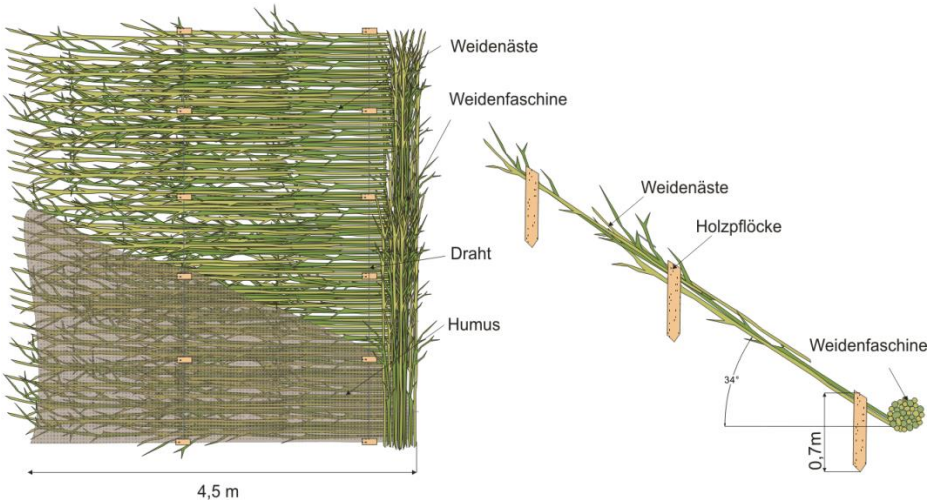



**Abbildung 13: Prinzipskizze Weidenspreitlage längs, Grundriss und Schnitt (RAJIC 2009), Versuchsdämme Deutsch-Wagram, 2011**

# 5 Untersuchungsmethoden

Die Weiden wurden 2011 im September und Oktober anhand verschiedener Parameter am Versuchsgelände in Deutsch Wagram untersucht. Neben den Aufzeichnungen und Messungen anderer in diesem Projekt stattfindender Diplom- und Bakkalaureatsarbeiten an Lysimetern und Wetterstationen werden außerdem Messungen durch Sonden zur Erhebung der Sickerlinie und durch Sensoren zur Erhebung des Wasserstandes am Damm vorgenommen.

Der Bestand wurde nach seiner Dichte, Größe, Flexibilität und Belaubung untersucht. Es gibt also Daten über die Anzahl der auf einer bestimmten Fläche wachsenden Individuen, deren Längen [cm], Durchmesser [mm] und Gewicht [g].
Dadurch können Aussagen über die Bodendeckung der Einbauweisen, über Verdunstung und über die besonderen Fähigkeiten der Weiden einer Überstauung standzuhalten, sowie den Dammkörper unter verschiedenen Umständen vor Schäden zu schützen, getroffen werden.

Besondere Aufmerksamkeit erhalten hier die unterirdischen Parameter wie Durchwurzelungsintensität, Durchwurzelungsrichtung und Anteil an Grob- und Feinwurzeln. Dadurch werden die für den Damm und seine Vegetation maßgebenden Faktoren wie Durchsickerung und Durchwurzelungstiefe sowie der Aufbau der Durchwurzelung bewertet.

| Sektor 3 | Sektor 9 | Sektor 11 | Sektor 13 |
|---|---|---|---|
| Sprosslänge<br>Sprossdurchmesser<br>Sprossanzahl | Sprosslänge<br>Sprossdurchmesser<br>Sprossanzahl | Sprosslänge<br>Sprossdurchmesser<br>Sprossanzahl | Sprosslänge<br>Sprossdurchmesser<br>Sprossanzahl |
| Stammmasse (10 % Anteil d. Gesamtzahl)<br>Blattmasse (10 % Anteil d. Gesamtzahl)<br>Blattoberfläche (10 % Anteil d. Gesamtzahl) | | | Stammmasse<br>Blattmasse |
| | | | Wurzelmasse - nach: Durchmesserklassen/ Durchwurzelungstiefe |

**Tabelle 3: Aufnahmeparameter der Weiden an den Versuchsdämmen in Deutsch-Wagram, 2011**

## 5.1 Transektmethode und Dauerquadratmethode

Laut TRAXLER (1997) wird eine solche Versuchsfläche wie folgt definiert: „Räumlich zusammenhängender, dauerhaft festgelegter, in der Regel markierter Ausschnitt einer Photozönose, auf dem der Zustand der Vegetation (Bsp.: Artmächtigkeiten, Biomasse, Strukturmerkmale usw.) mit identischer Methode wiederholt erfasst wird.“
Die Dauerquadrate werden für unser Projekt als Plots bezeichnet.

Die folgenden Abbildungen skizzieren die bearbeiteten Sektoren mit den vertikal aneinandergereihten Plots 1 bis 4 oder 1 bis 5 im Ausmaß von 1 m² oder 0,5 m². Die vertikale Zusammenfassung einer solchen Reihe wird als Column (C) bezeichnet. Als Zeile (horizontal) wird die Zusammenfassung der Plots derselben Nummerierung eines Sektors benannt.

**Sektor 3: Weidenspreitlage quer:**

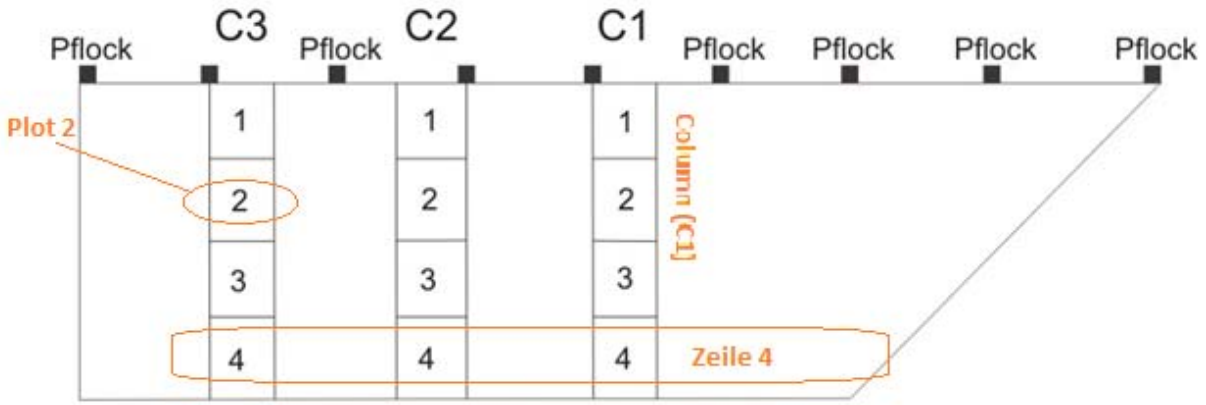



**Abbildung 14: Sektor 3, Columns C3 – C1, Zeile 1 – 4, Plots 1 - 4, Versuchsanlage Deutsch-Wagram, 2011**

**Sektor 9: Weidenspreitlage längs:**

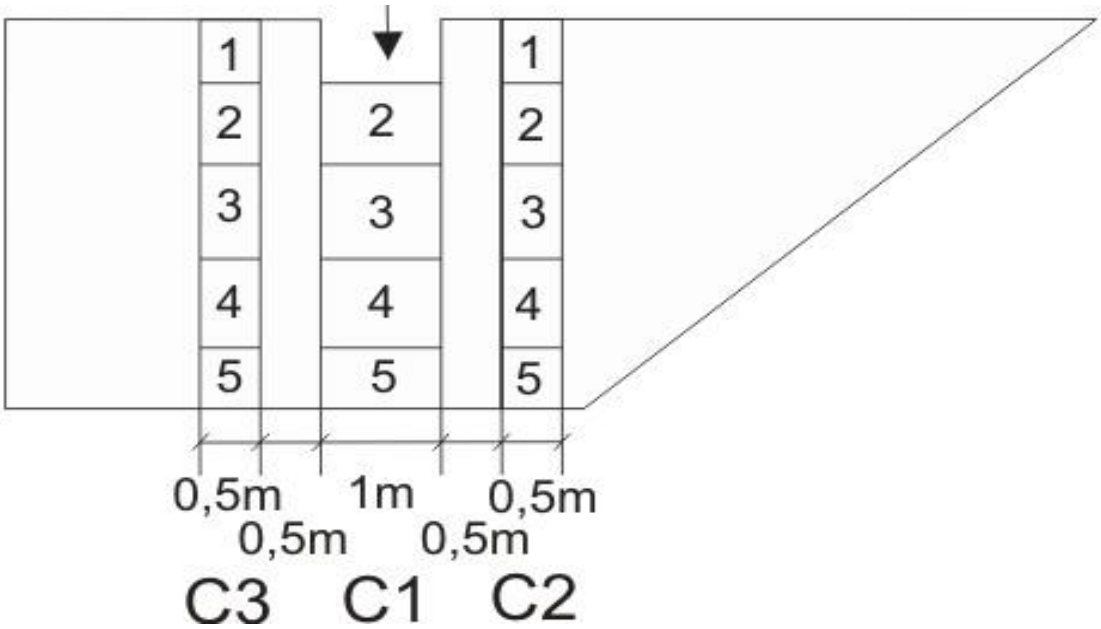



**Abbildung 15: Sektor 9, Columns C3 – C1, Zeile 1 – 5, Plots 1 - 5, Versuchsanlage Deutsch-Wagram, 2011**

**Sektor 11: Weidenspreitlage quer**

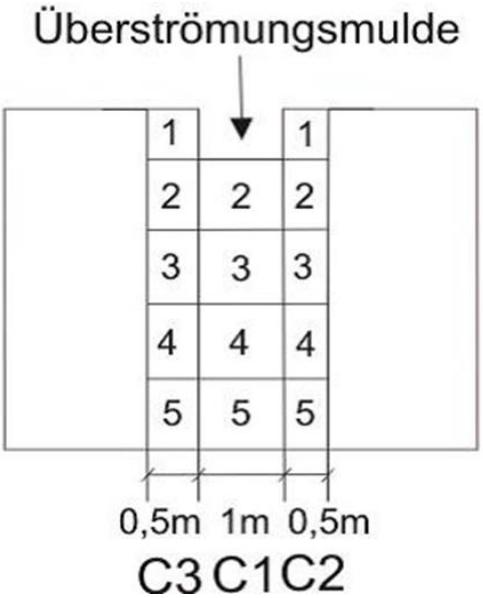



**Abbildung 16: Sektor 11, Columns C3 – C1, Zeile 1 – 5, Plots 1 - 5, Versuchsanlage Deutsch-Wagram, 2011**

**Sektor 13: Weidenspreitlage quer:**

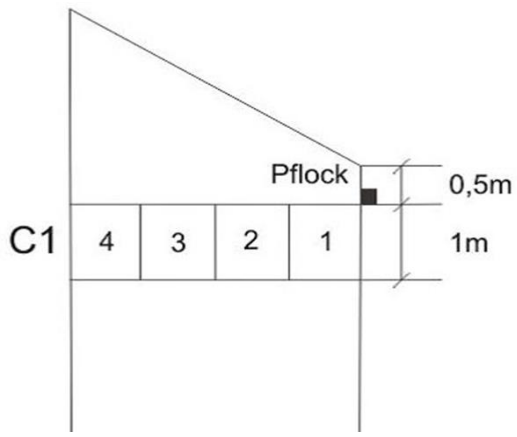



**Abbildung 17: Sektor 13, Column C1, Plots 1 - 4, Versuchsanlage Deutsch-Wagram, 2011**

### 5.1.1 Vorgangsweise Sektoren 3, 9, 11

Im August 2011 wurde mit der Aufnahme der Sektoren 3, 9 und 11 begonnen. Dazu wurden an denselben Stellen wie in den Jahren zuvor die Plots abgesteckt und die darin wachsenden Sprosse gezählt, sowie ihre Durchmesser und ihre Längen vermessen.

Danach wurde ein 10-prozentiger Anteil der Sprosse aus den nach Durchmesserklassen von 2 mm eingeteilten Sprossen an einer anderen Stelle des Sektors entnommen.

Zurück am Institut wurden die Blätter von den Ästen getrennt, beides getrocknet und gewogen. Zuvor konnte durch eine stichprobenartige Entnahme der Blätter aus den verschiedenen Plots mithilfe eines Scanners die Blattfläche bestimmt werden.

### 5.1.2 Vorgangsweise Sektor 13

Im Oktober 2011 wurde ein weiterer Teil des Sektors abgemessen, abgesteckt und in vier Plots zu je 1 x 1 Meter eingeteilt. Interessant für uns ist wie jedes Jahr der Vergleich der ober- und unterirdischen Biomasse sowie die Art der Durchwurzelung. Es wurden also die Sprosse der 4 Plots abgetrennt und dann Sprosslängen und Sprossdurchmesser abgelesen. Weiters wurde das Trockengewicht der Stämme und Blätter nach Plot und Durchmesserklasse ermittelt (siehe Abb. 18 und 19).

**Abbildung 18: Blätter vor der Trocknung (Wien, 04.10.2011)**

**Abbildung 19: Äste vor der Trocknung (Wien, 04.10.2011)**

Der nächste Schritt waren die Profilausgrabungen. Am Rande der bereits abgesteckten Plots wurde ein Profil in den Damm gegraben. In diesem Fall etwa 80 cm, sodass die Tiefe der vorkommenden Wurzeln erkannt wird.

**Abbildung 20: Abgeerntet und profiliert, Sektor 13 (Versuchsdamm Deutsch-Wagram, 02.10.2011)**

**Abbildung 21: Bodenprofil mit Spreitlage, Sektor 13 (Versuchsdamm Deutsch-Wagram, 02.10.2011)**

**Abbildung 22: Vier abgeerntete Plots , Sektor 13 (Versuchsdamm Deutsch-Wagram, 02.10.2011)**

**Abbildung 23: Ausgeschwemmte Wurzeln, Sektor 13 (Versuchsdamm Deutsch-Wagram, 03.10.2011)**

Das Wurzelmaterial wurde nach Wien gebracht, von den Astlagen getrennt, dann Plot für Plot ausgewaschen, gesäubert, gesiebt und so für die Biomasseerhebung - eingeteilt nach Durchmesserklassen – vorbereitet.

**Abbildung 24: Profilgrabung mit Feinwurzelmatte, Sektor 13 (Versuchsdamm Deutsch-Wagram, 02.10.2011)**

**Abbildung 25: Wurzelkasse 0 bis 2 mm, getrocknet (Wien, 24.10.2011)**

# 6 Auswertungsmethoden

## 6.1 Säulen- Diagramme zur Darstellung der Vegetationsentwicklung

Hier werden die Sprossdurchmesser, die Sprosslängen sowie die Anzahl der Sprosse pro Quadratmeter in Verbindung gebracht. Die Darstellung der Aufnahme-Reihen in Plots, Zeilen und Columns, geben weitere Aufschlüsse zur Vegetationsentwicklung. Die ober- und unterirdischen Pflanzenmassen werden auf dem gleichen Wege verglichen.

## 6.2 Streudiagramme

Das Streudiagramm ist eine zweidimensionale Graphik, die zwei Datenreihen in Verbindung bringt. Die Abhängigkeitsstruktur solcher Datenreihen wird in einem Koordinatensystem ausgedrückt.

## 6.3 Boxplots

Der Boxplot ist eine grafische Darstellung, mit der man sich einen guten Überblick über die Verteilung von Daten verschaffen kann. Deshalb werden alle Werte der sogenannten Fünf-Punkte-Zusammenfassung, die aus Median, den zwei Quartilen und den beiden Extremwerten besteht, in einem Datenstrang dargestellt.
Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 Prozent der Daten liegen. Sie wird durch das obere und das untere Quartil begrenzt, und die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand.
Werte, die mehr als das 1,5- fache vom oberen Ende der Box entfernt sind, werden einzeln als Punkte eingetragen und als Ausreißer benannt. Des Weiteren wird der Median als Dreieck in der Box eingezeichnet. Dieser teilt das gesamte Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50 % Prozent der Daten liegen (INSTITUT FÜR BIOMETRIE UND KLINISCHE FORSCHUNG, s.a.).

| Kennwert | Beschreibung | Lage im Boxplot |
|---|---|---|
| Minimum [min] | Kleinster Datenwert des Datensatzes | Ende eines Whiskers oder entferntester Ausreißer |
| Unteres Quartil [q1] | Die kleinsten 25 % der Datenwerte sind kleiner oder gleich diesem Kennwert | Beginn der Box |
| Median [med] | Die kleinsten 50 % der Datenwerte sind kleiner oder gleich diesem Kennwert | Dreieck innerhalb der Box |
| Oberes Quartil [q3] | Die kleinsten 75 % der Datenwerte sind kleiner oder gleich diesem Kennwert | Ende der Box |
| Maximum [max] | Größter Datenwert des Datensatzes | Ende eines Whiskers oder entferntester Ausreißer |
| Interquartilsabstand | Wertebereich, in dem sich die mittleren 50 % der Daten befinden. (Liegt zwischen dem 0,25- und dem 0,75-Quartil.) | Ausdehnung der Box |

**Tabelle 4: Beschreibung der Kennwerte eines Boxplots (INSTITUT FÜR BIOMETRIE UND KLINISCHE FORSCHUNG, s.a.)**

# 7 Ergebnisse

## 7.1 Sektor 3, Weidenspreitlage quer

Die 2008 eingebaute Weidenspreitlage quer ersetzte eine im Jahr zuvor misslungene Steckholzpflanzung. Der Sektor ist ostexponiert.

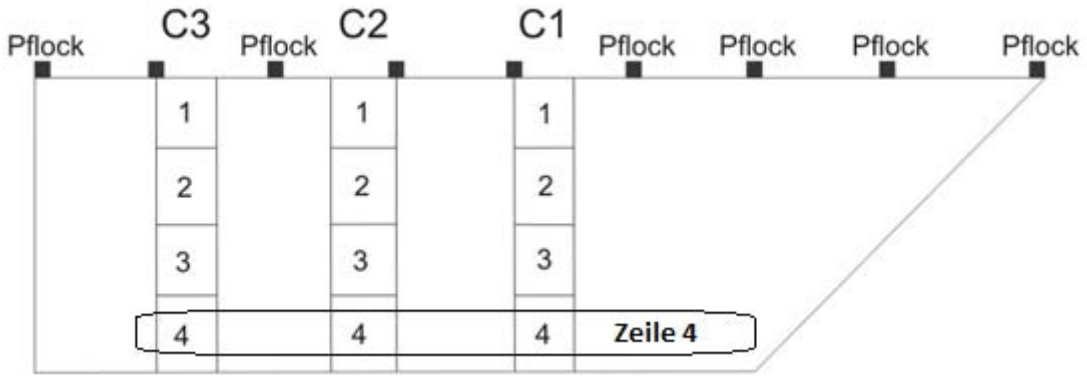



**Abbildung 26: Sektor 3, 3,5 jährige Weidenspreitlage quer, Deutsch-Wagram, 9/2011**

| Sektor 3 | Zeile 1 | Durchmesser | Länge | Column 1 | Durchmesser | Länge |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Minima** | | 1 | 16 | | 3,00 | 57 |
| **Mittelwert** | n= 69 | 9,18 | 131 | n=42 | 12,75 | 151 |
| **Maxima** | | 24,24 | 255 | | 49,00 | 240 |
| | **Zeile 2** | | | **Column 2** | | |
| **Minima** | | 3,41 | 13 | | 6,50 | 16 |
| **Mittelwert** | n=71 | 9,05 | 121 | n=79 | 6,91 | 137 |
| **Maxima** | | 25,13 | 270 | | 7,21 | 251 |
| | **Zeile 3** | | | **Column 3** | | |
| **Minima** | | 2,48 | 18 | | 2,48 | 13 |
| **Mittelwert** | n=57 | 10,22 | 148 | n=104 | 7,90 | 124 |
| **Maxima** | | 25 | 251 | | 25,13 | 270 |
| | **Zeile 4** | | | | | |
| **Minima** | | 3 | 29 | | | |
| **Mittelwert** | n=28 | 10,6 | 144 | | | |
| **Maxima** | | 20 | 240 | | | |
| **Gesamt** | **n=225** | | | | | |

**Tabelle 5: Minima, Mittelwerte und Maxima der aufgenommenen Fläche am Sektor 3, Durchmesser [mm], Länge [cm], Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Die Stückzahlen der Transekte stellen sich nach ihrer horizontalen Aneinanderreihung (Zeile), sowie ihrer vertikalen Aneinanderreihung (Column) als heterogen dar.

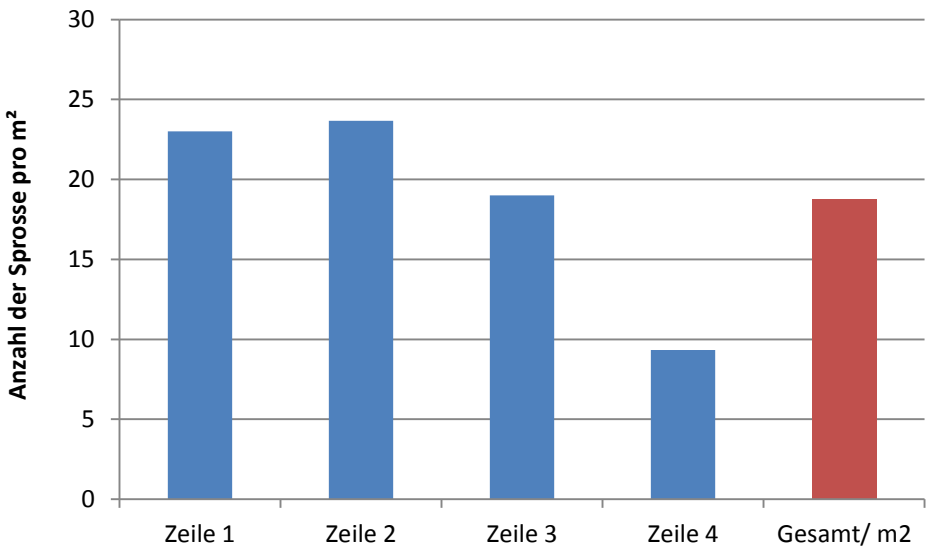



**Abbildung 27: Sektor 3, Anzahl der Sprosse pro m² in den Zeilen 1 – 4, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Die Anzahl der Sprosse wird ab Zeile 3 (horizontale Aneinanderreihung der Plots) weniger.

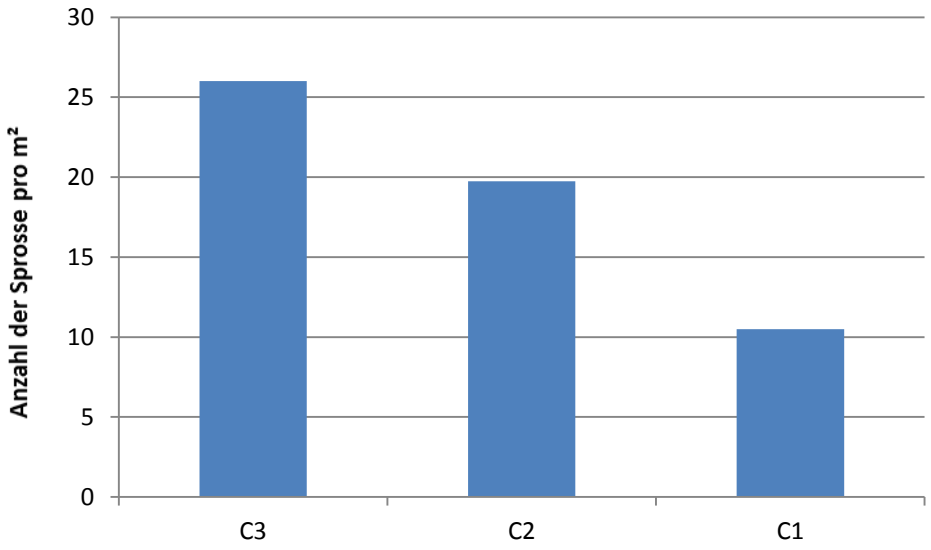



**Abbildung 28: Sektor 3, Anzahl der Sprosse pro m² in den Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Das Diagramm zeigt eine Verminderung der Anzahl an Sprossen nach Norden.

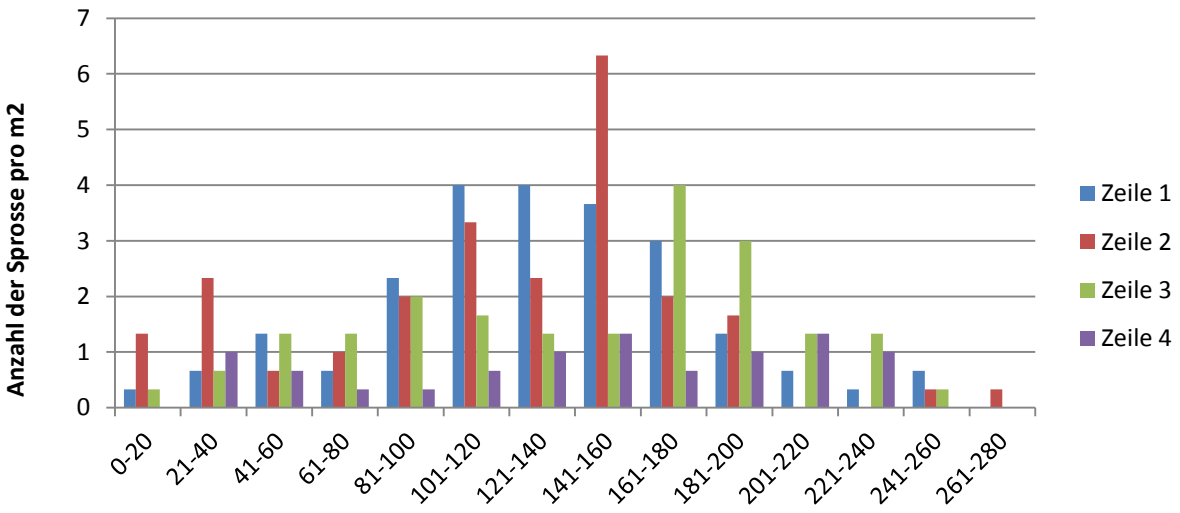



**Abbildung 29: Sektor 3, Anzahl der Sprosse pro m² in den Zeilen 1 bis 4 nach Längenklassen [x-Achse, cm], Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Die größte Anzahl an Sprossen befindet sich im Bereich von 81 – 200 cm Länge. Die meisten Sprosse pro m² in diesem Bereich befinden sich in der Zeile 2, gefolgt von Zeile 1 und Zeile 3. Das Vorkommen in Zeile 4 weist von den Längen her Individuen aus beinahe allen Klassen auf, ähnlich wie in Zeile 1.

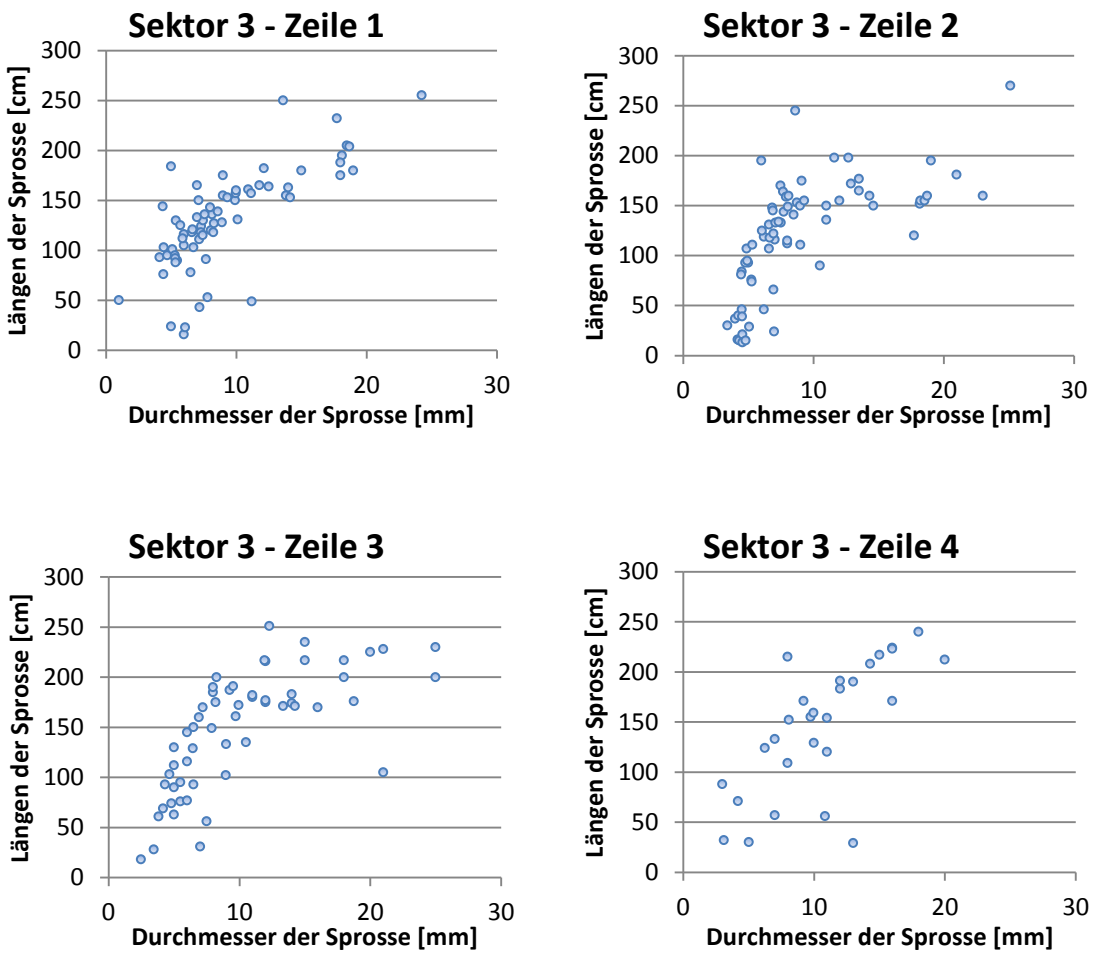



**Abbildung 30 a-d: Sektor 3, Streudiagramme – Sprosslänge zu Sprossdurchmesser der Zeilen 1 - 4, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Der Zusammenhang zwischen Sprosslänge und Sprossdurchmesser ist im relativ linearen Aufbau der Streudiagramme ersichtlich. Die Durchmesser der Weiden in Zeile 4 sind im Mittel etwas höher (siehe Tab. 5).

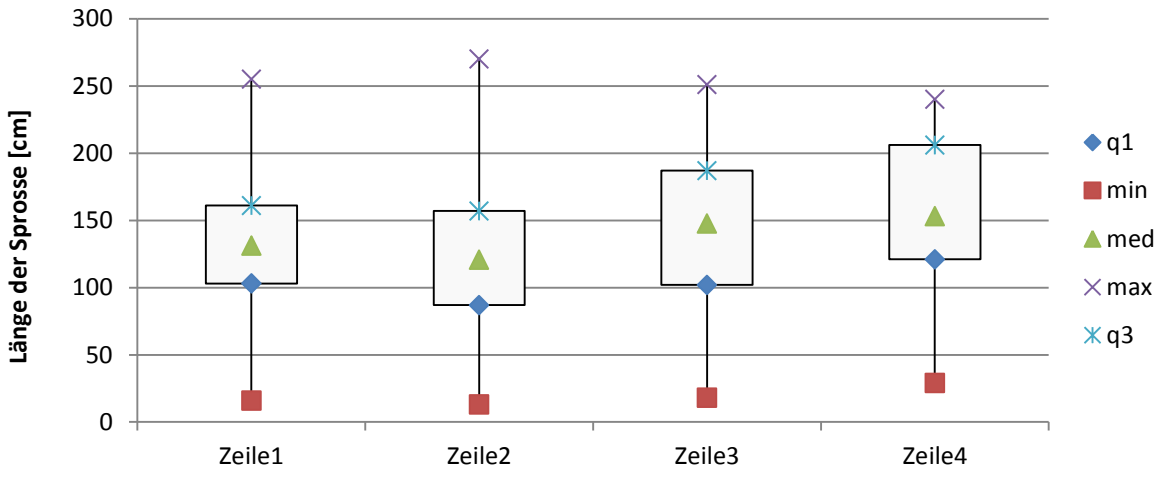



**Abbildung 31: Sektor 3, Grafische Darstellung der Verteilung der Sprosslängen der Zeilen 1 bis 4, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

Die Bandbreite der Sprosslängen wird nach unten hin kleiner. Die Mediane in den Zeilen sind sich ähnlich, sind aber in den unteren beiden Zeilen etwas größer. Der Interquartilsabstand ist in den Zeilen 3 und 4 höher.

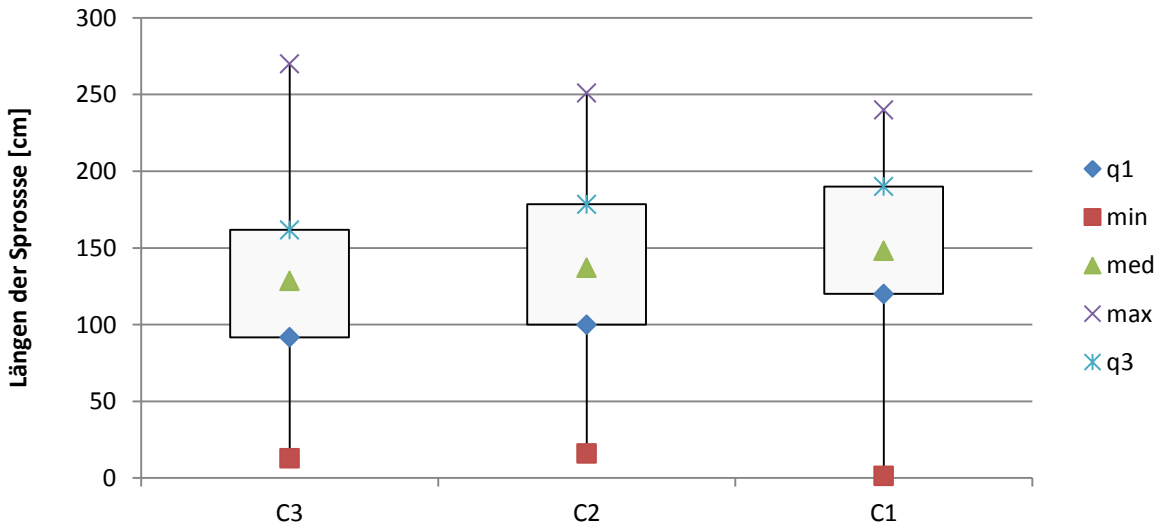



**Abbildung 32: Sektor 3, Grafische Darstellung der Verteilung der Sprosslängen der Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

Der längste Spross befindet sich in C3. Die mittleren 50 % der Sprosslängen sind in C1 am längsten ausgebildet. Der Median in C1 liegt bei 151 cm und liegt somit im Vergleich am höchsten. Insgesamt stellt sich die Verteilung relativ einheitlich dar.

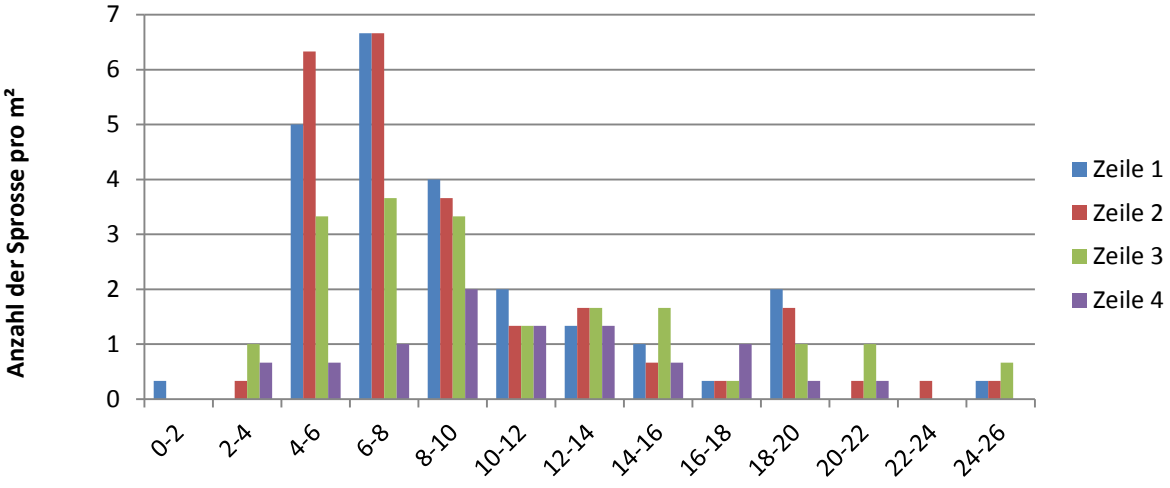



**Abbildung 32: Sektor 3, Anzahl der Sprosse pro m² in den Zeilen 1 bis 4 nach Durchmesserklassen, X-Achse [mm], Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Die Zeilen 1 und 2 zeigen einen ähnlichen Aufbau des Sprossdurchmessers. Zeile 3 hat in den kleineren Durchmesserklassen weniger Individuen als die Zeilen 1 und 2. Im größeren Durchmesserbereich übertrifft die Zeile 3 die oberen Zeilen an Individuen. In Zeile 4 ist zu sehen, dass in den kleinsten, sowie in den größeren Durchmesserbereichen nur wenige Sprosse zu finden waren.

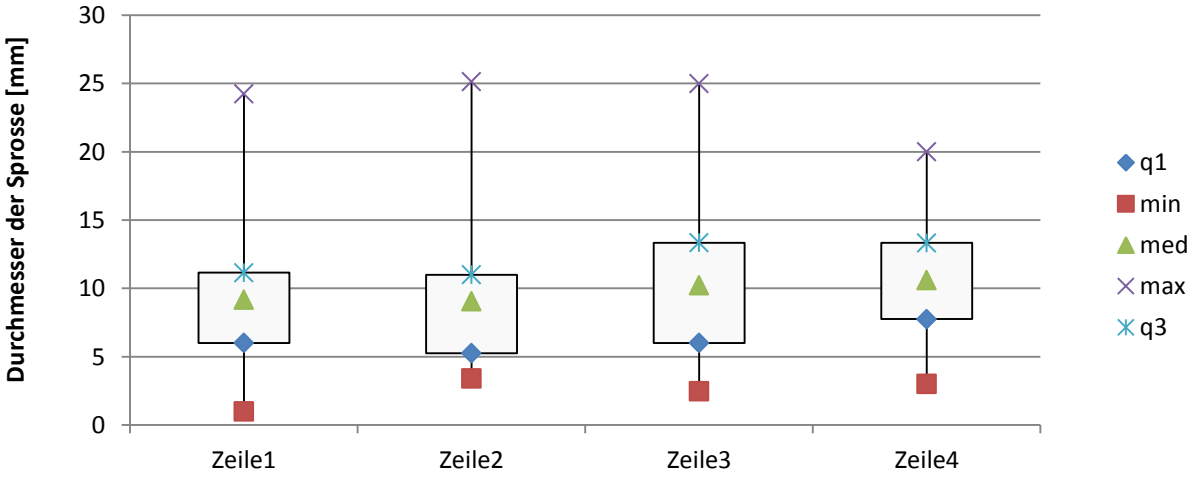



**Abbildung 33: Sektor 3, Grafische Darstellung der Verteilung der Sprossdurchmesser der Zeilen 1 bis 4, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

Die Durchmesser im Bereich des Interquartilabstandes werden in Zeile 3 und 4 verhältnismäßig größer. In den Zeilen 1 und 2 liegen auch die Mediane etwas niedriger.

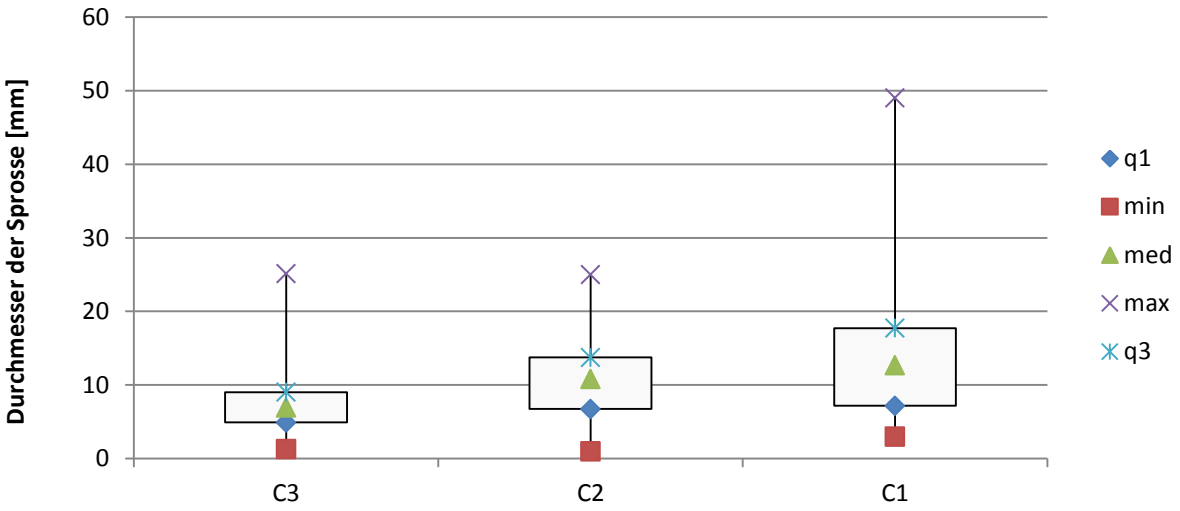



**Abbildung 35: Sektor 3, Grafische Darstellung der Verteilung der Sprossdurchmesser der Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

Die Mediane der Durchmesser steigen von links nach rechts (von C3 bis C1) leicht an. C2 erscheint gegenüber den anderen Säulen im gleichmäßigeren Aufbau, während C1 die deutlich höchste Bandbreite an Durchmessern zeigt.

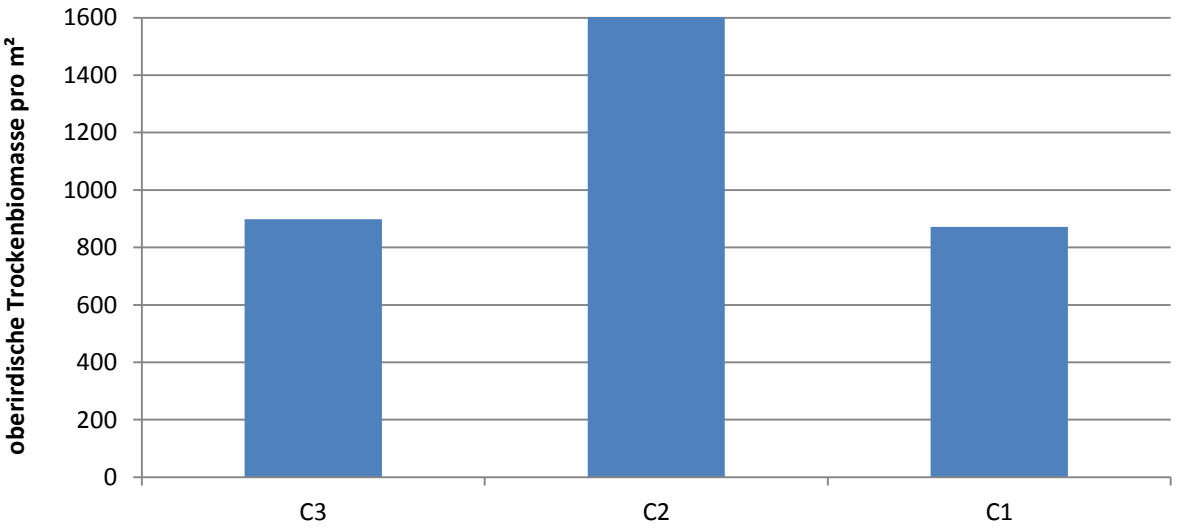



**Abbildung 36: Sektor 3, oberirdische Trockenbiomasse pro m² in den Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Im mittleren Column (C2) ist die oberirdische Trockenbiomasse pro m² fast doppelt so hoch als in den umliegenden Columns.

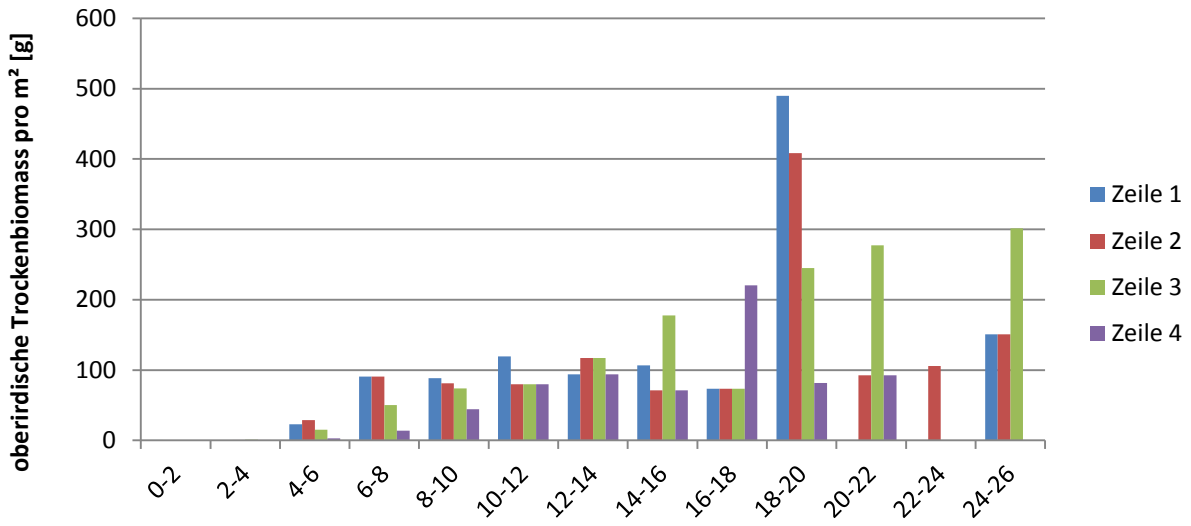



**Abbildung 37: Sektor 3, Verteilung der oberirdischen Trockenbiomasse pro m² in den Zeilen 1 -4, nach Durchmesserklassen [mm] , Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Die oberirdische Trockenbiomasse ist im Bereich von 18 bis 20 mm Durchmesser am größten. Die Biomasse in Zeile 3 steigt mit den Durchmesserklassen.

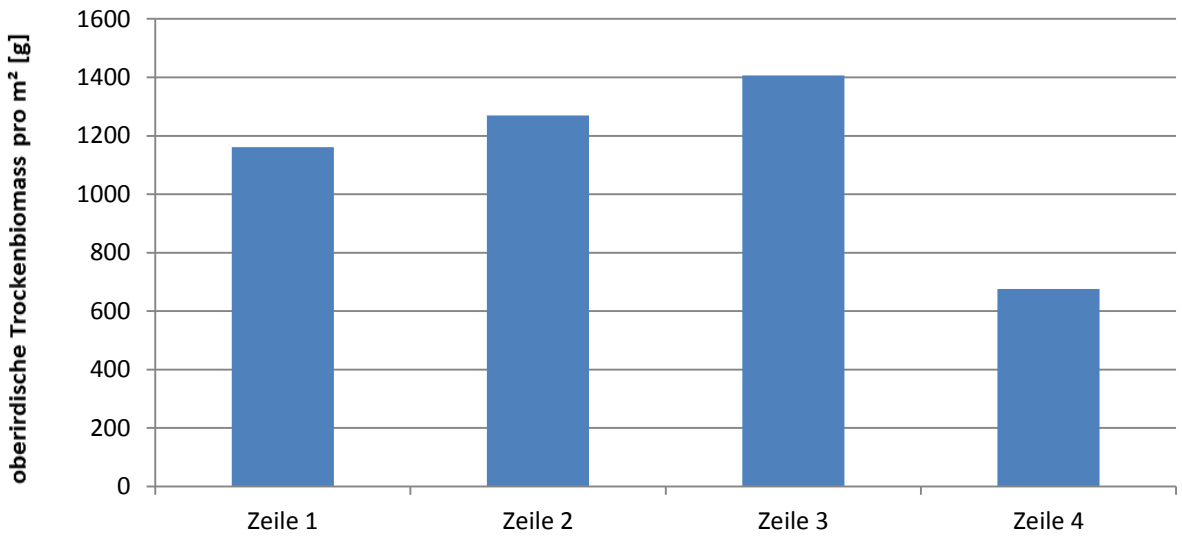



**Abbildung 38: Sektor 3, Verteilung der oberirdischen Trockenbiomasse pro m² in den Zeilen 1 – 4, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Obwohl die Anzahl der Sprosse in der 3. Zeile die zweitkleinste ist (siehe Abb. 27), ist die oberirdische Biomasse in diesem Bereich am höchsten. Zeile 4 zeigt die deutlich geringste Trockenbiomasse.

## 7.2 Sektor 9, Weidenspreitlage längs

Dieser Sektor wurde 2007 bepflanzt und durch starke Regenfälle im Bereich der Überflutungsmulden kurz nach der Errichtung beschädigt. Durch Ausbesserungsarbeiten im folgenden Frühjahr konnte wieder eine befriedigende Situation mit guten Austriebs- und Zuwachsraten erzielt werden.

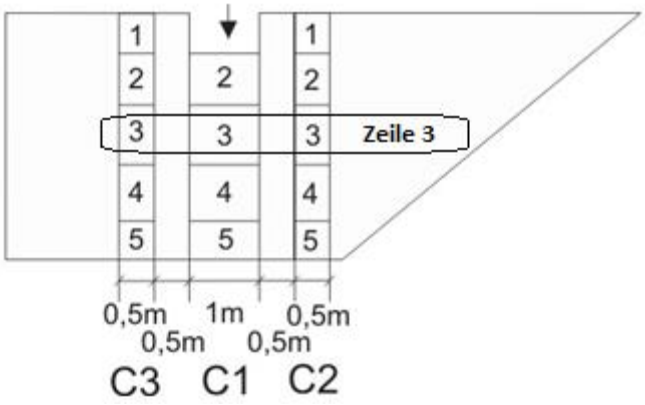



**Abbildung 39: 4,5 jährige Weidenspreitlage längs, Versuchsdamm Deutsch-Wagram, 9/2011**

| Sektor 9 | Zeile 1 | Durchmesser | Länge | Column 1 | Durchmesser | Länge |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Minima** | | 6 | 60 | | 1,09 | 19 |
| **Mittelwert** | n= 10 | 11,72 | 136,55 | n=43 | 11,44 | 178,2 |
| **Maxima** | | 20 | 200 | | 23,73 | 315 |
| | **Zeile 2** | | | **Column 2** | | |
| **Minima** | | 3,26 | 60 | | 0,37 | 63 |
| **Mittelwert** | n=31 | 8,57 | 141,7 | n=45 | 8,30 | 143,22 |
| **Maxima** | | 16,22 | 220 | | 20,00 | 290 |
| | **Zeile 3** | | | **Column 3** | | |
| **Minima** | | 1,66 | 50 | | 4,00 | 50 |
| **Mittelwert** | n=22 | 8,33 | 150,3 | n=44 | 10,43 | 158 |
| **Maxima** | | 20,43 | 315 | | 21,00 | 310 |
| | **Zeile 4** | | | | | |
| **Minima** | | 0,37 | 55 | | | |
| **Mittelwert** | n=30 | 8,82 | 146,77 | | | |
| **Maxima** | | 21,08 | 270 | | | |
| | **Zeile 5** | | | | | |
| **Minima** | | 1,09 | 19 | | | |
| **Mittelwert** | n=39 | 12,17 | 190,76 | | | |
| **Maxima** | | 23,73 | 310 | | | |
| **Gesamt** | **n=132** | | | | | |

**Tabelle 6: Minima, Mittelwerte und Maxima der aufgenommenen Fläche am Sektor 9, Durchmesser [mm], Länge [cm], Deutsch-Wagram 9/ 2011**

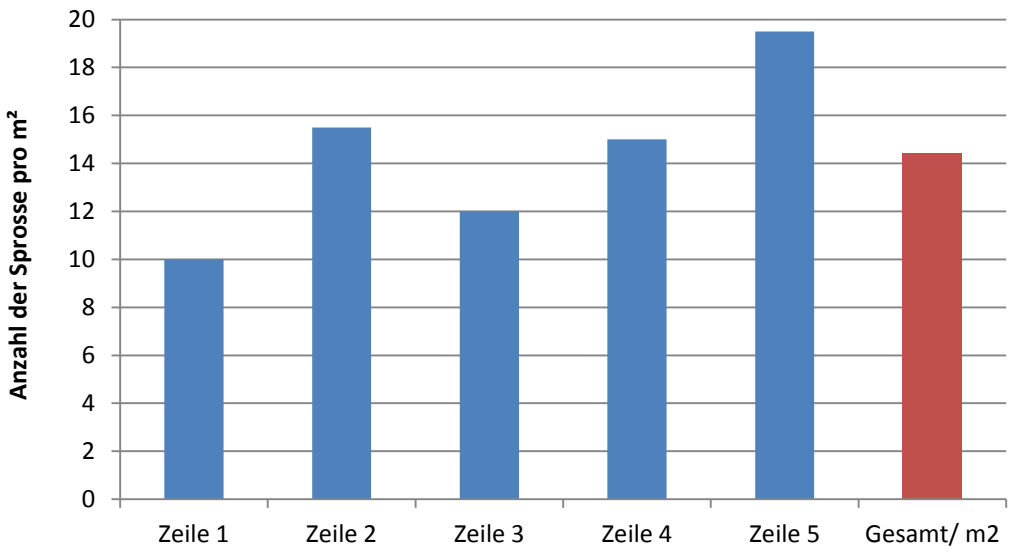



**Abbildung 40: Sektor 9, Anzahl der Sprosse pro m² in den Zeilen 1- 5, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Die Anzahl der Sprosse pro m² steigt ab Zeile 3 wieder an und ist in Zeile 1 am kleinsten.

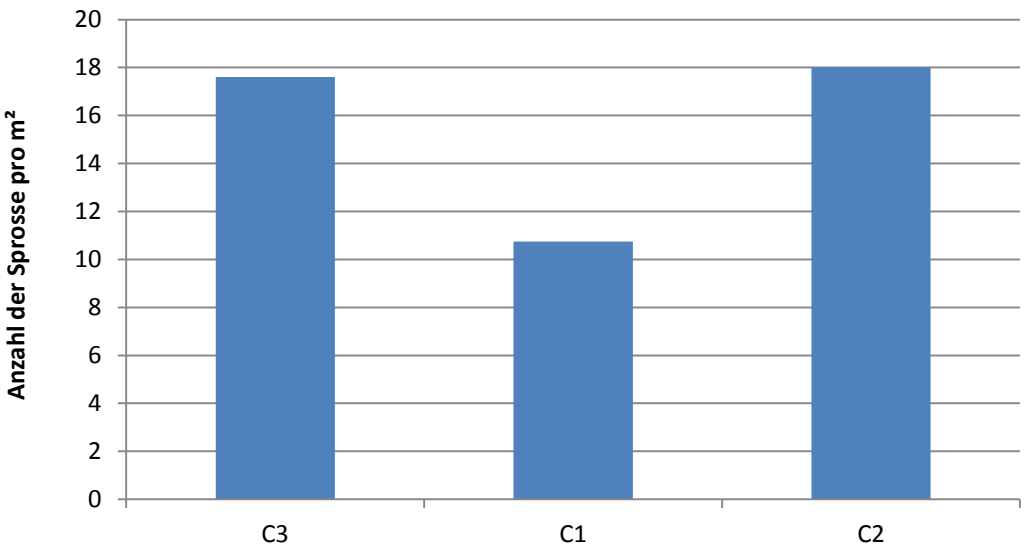



**Abbildung 41: Sektor 9, Anzahl der Sprosse pro m² in den Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Im linken und im rechten Teil (C3 und C2) des Sektors finden sich fast doppelt so viele Sprosse pro m² wie im mittleren Teil.

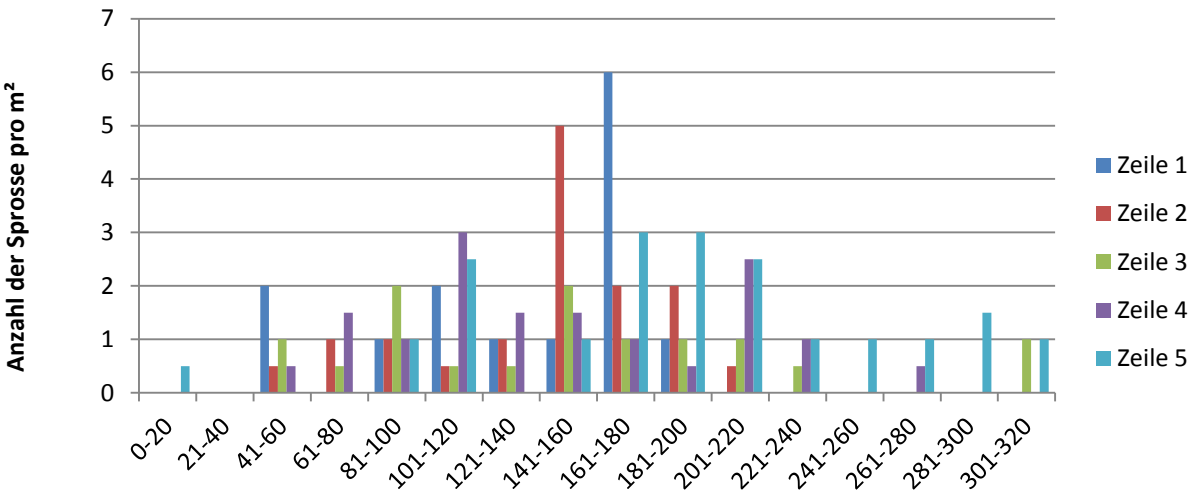



**Abbildung 42: Sektor 9, Anzahl der Sprosse pro m² der Zeilen 1 bis 5 nach Längenklassen, x-Achse [cm], Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Ähnlich wie in Zeile 1, hat die Zeile 2 die wenigsten Individuen im kleinen sowie im großen Längenklassenbereich. Die Zeilen 3 und 4 gestalten sich ähnlich, wobei das Vorkommen und die Anzahl der langen Sprosse pro m² bis in Zeile 5 ansteigt.

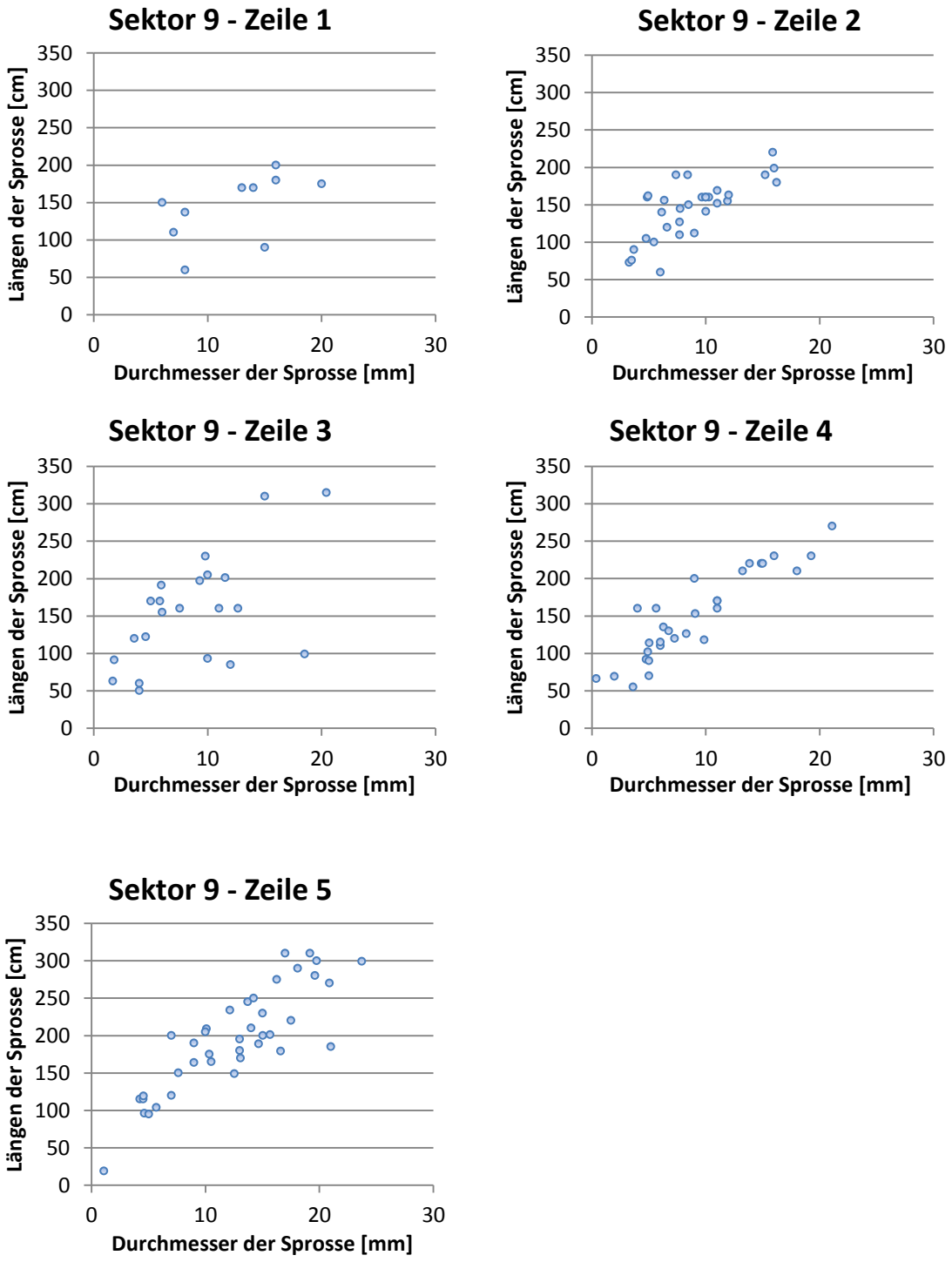



**Abbildung 43 a-e: Sektor 9, Streudiagramme – Sprosslänge zu Sprossdurchmesser der Zeilen 1- 5, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Die Streudiagramme zwischen Durchmessern und Längen zeigen einen recht linearen Zusammenhang.

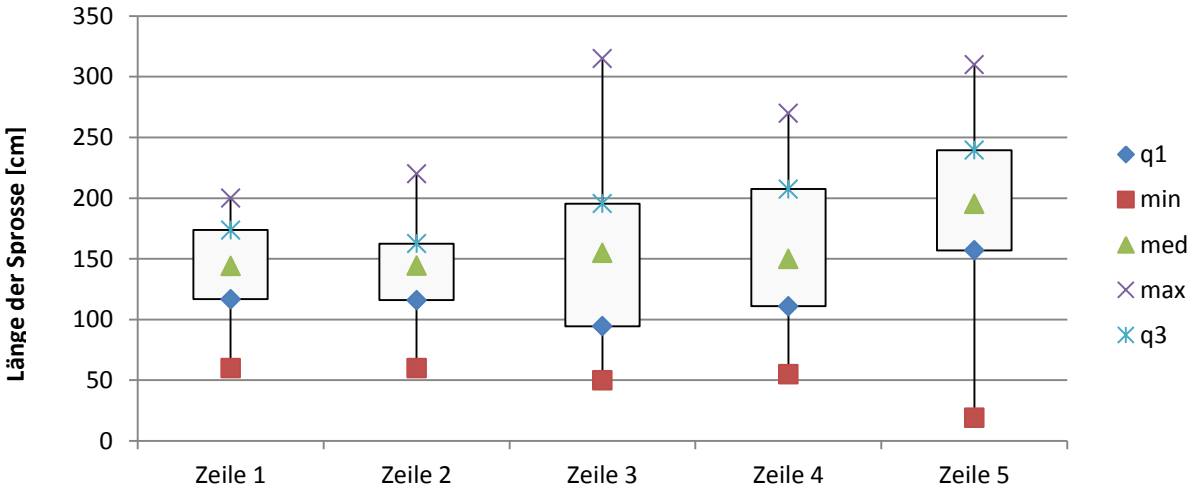



**Abbildung 44: Sektor 9, Graphische Darstellung der Verteilung der Sprosslängen der Zeilen 1 bis 5, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

Das größte Spektrum an Längen zeigt sich wieder in der Zeile 5. Hier liegt der Median am höchsten. Die Mediane der Zeilen 1 bis 4 liegen etwa gleichauf. Die mittleren 50 % der Sprosslängen zeigen von Zeile 1 und 2 zu Zeile 3 und 4 unterschiede.

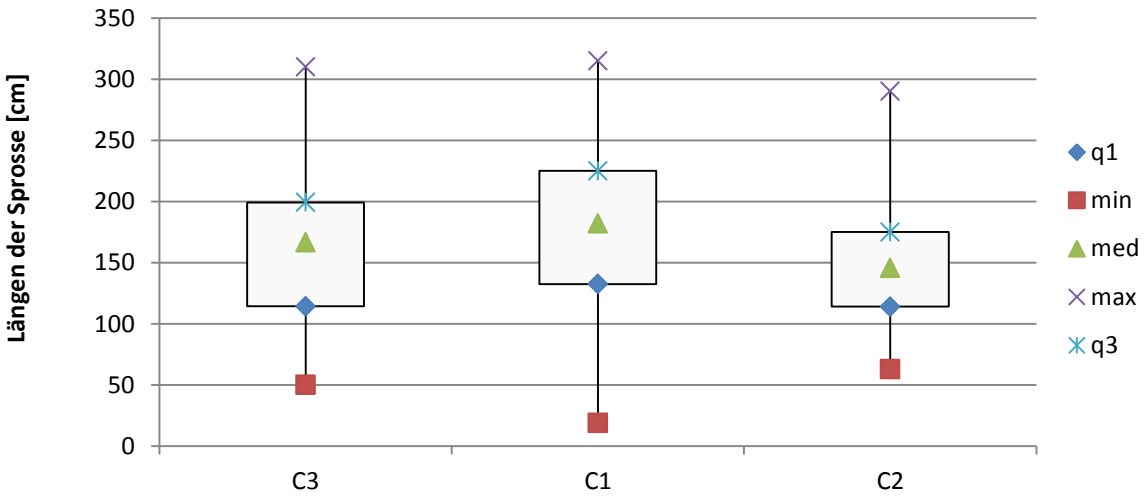



**Abbildung 45: Sektor 9, Graphische Darstellung der Verteilung der Sprosslängen der Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

Viele längere Sprosse im Mittelteil stehen etwas weniger langen Sprossen besonders in C2 gegenüber.

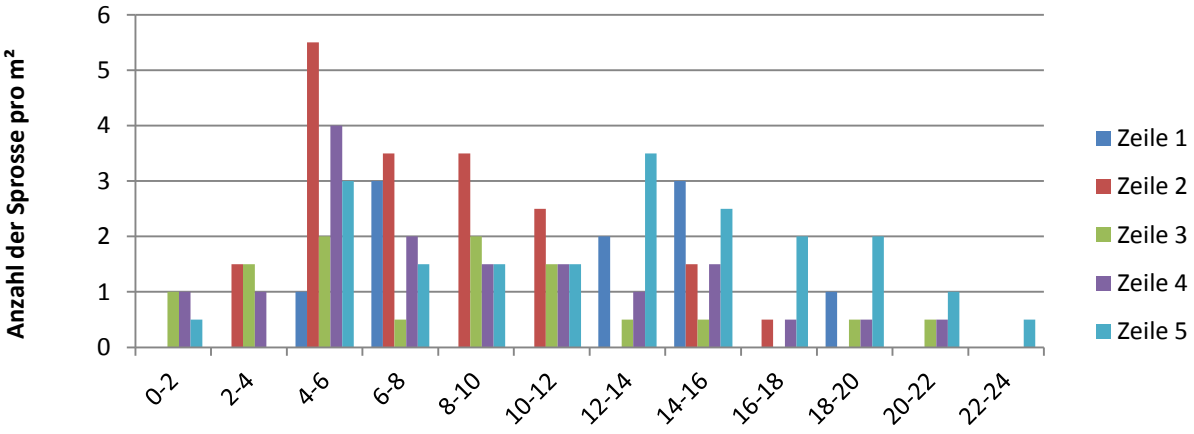



**Abbildung 46: Sektor 9, Anzahl der Sprosse pro m² der Zeilen 1 bis 5, nach Durchmesserklassen, X-Achse [mm], Deutsch-Wagram 9/ 2011**

In den unteren Zeilen steigt die Anzahl an langen Sprossen und somit auch deren Durchmesser (siehe Abb.43 a – e). In Zeile 1 findet man wenige Sprosse in den unteren und in den oberen Durchmesserklassen. Die meisten Individuen befinden sich im Bereich von 4 - 16 mm Durchmesser. Hier in diesem Bereich dominiert die Zeile 2 an der Individuenanzahl.

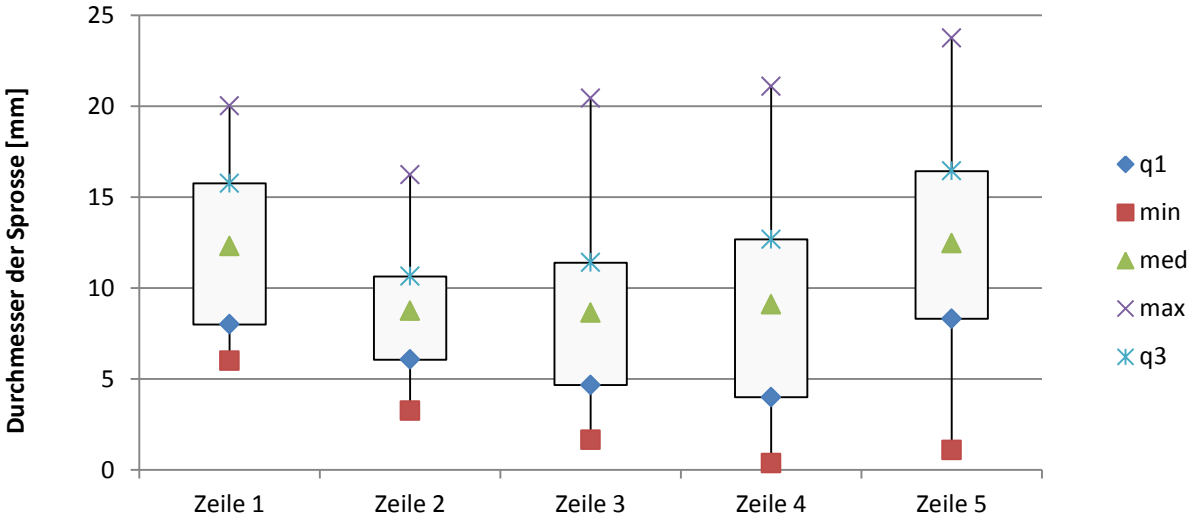



**Abbildung 47: Sektor 9, Graphische Darstellung der Verteilung der Sprossdurchmesser der Zeilen 1 bis 5, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

In Zeile 5 liegt das breiteste Spektrum an Durchmessern, gefolgt von Zeile 4 und 3. Die Zeile 2 hat die mittleren 50 % der Sprosse in einem relativ schmalen Bereich von etwa 6 bis 11 mm Durchmesser. Die Mediane zeigen eine deutliche „U-Form“.

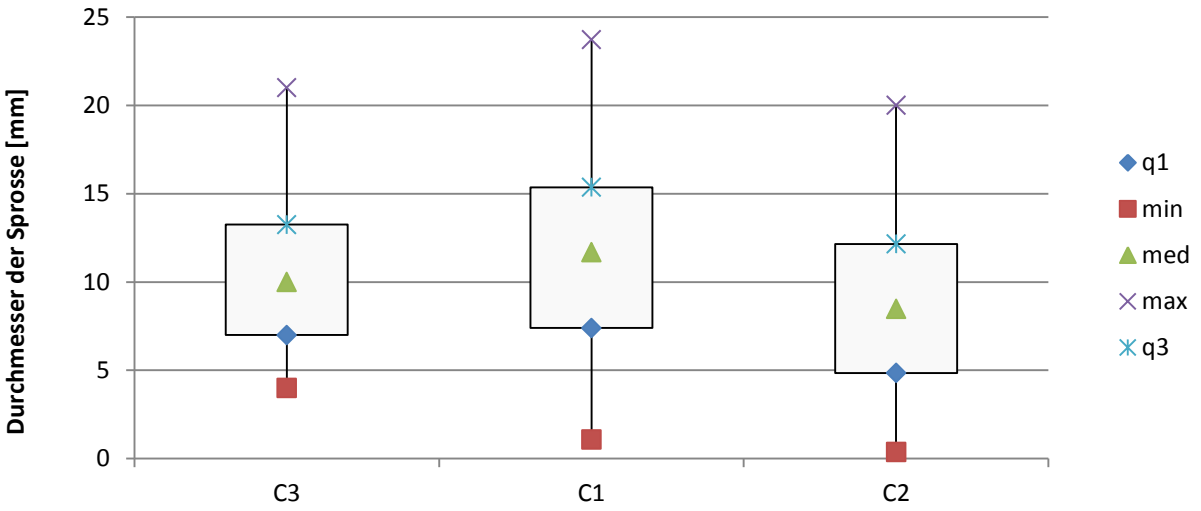



**Abbildung 48: Sektor9, Graphische Darstellung der Verteilung der Sprossdurchmesser der Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

Die Mittelwerte befinden sich relativ genau in der Mitte des Interquartilabstandes.

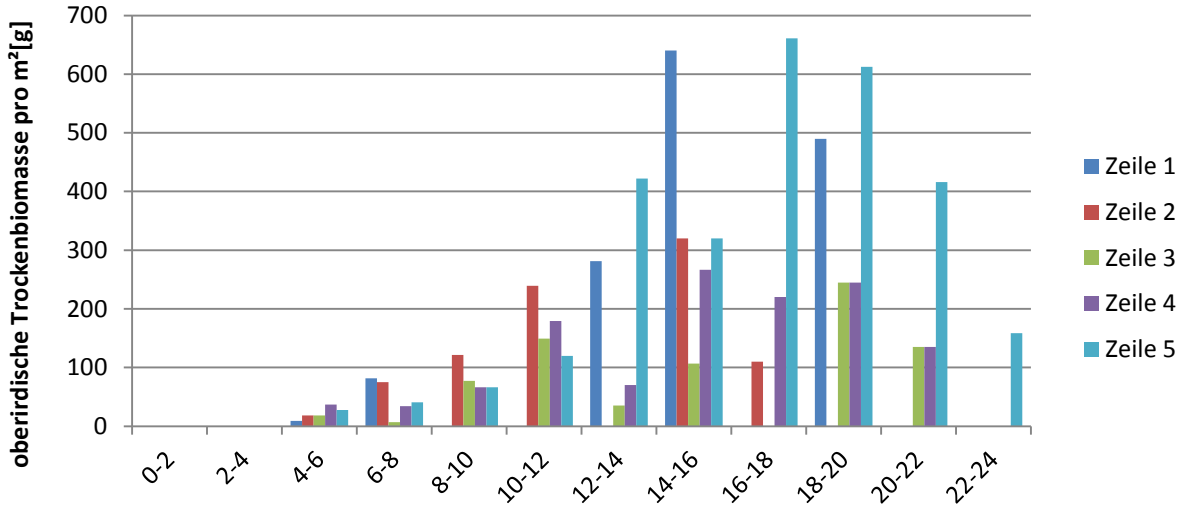



**Abbildung 49: Sektor 3, Verteilung der oberirdischen Trockenbiomasse pro m² in den Zeilen 1 -4, nach Durchmesserklassen [mm], Deutsch-Wagram 9/ 2011**

In den unteren Zeilen steigt die oberirdische Trockenbiomasse. Die hohen Durchmesserklassen sind ebenso in den unteren 3 Zeilen, vor allem in Zeile 5 zu finden. Zeile 3 hat eine geringere oberirdische Biomasse als die Zeilen 1 und 2. Zeile 1 weist die höchste Biomasse im Bereich von 14 - 16 mm Durchmesser auf.

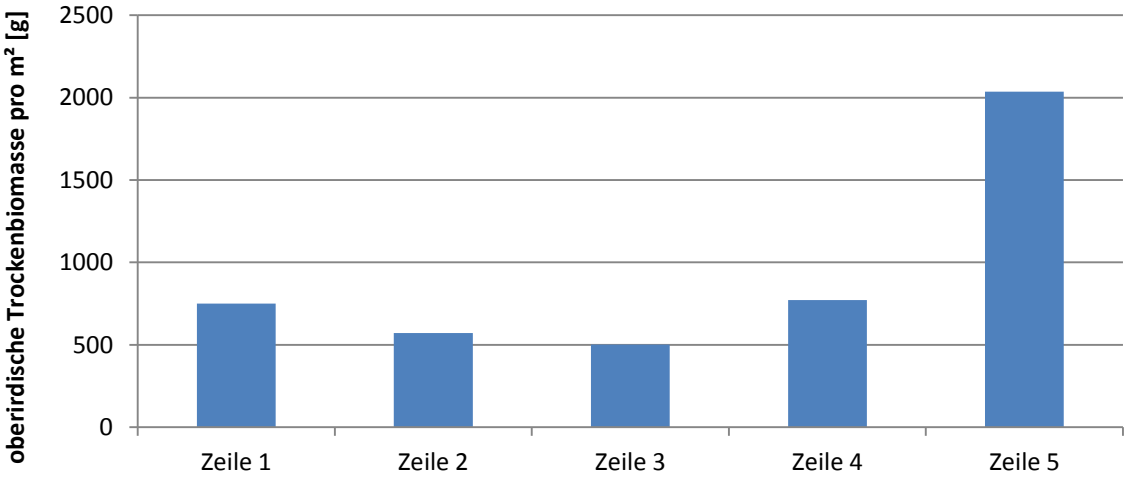



**Abbildung 50: Sektor 9, Verteilung der oberirdischen Trockenbiomasse pro m² in den Zeilen 1 - 5, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Die Unterschiede der Zeilen 1 – 4 sind nur gering. In der Zeile 5 ist die oberirdische Trockenbiomasse fast so hoch wie in den anderen Zeilen zusammen.

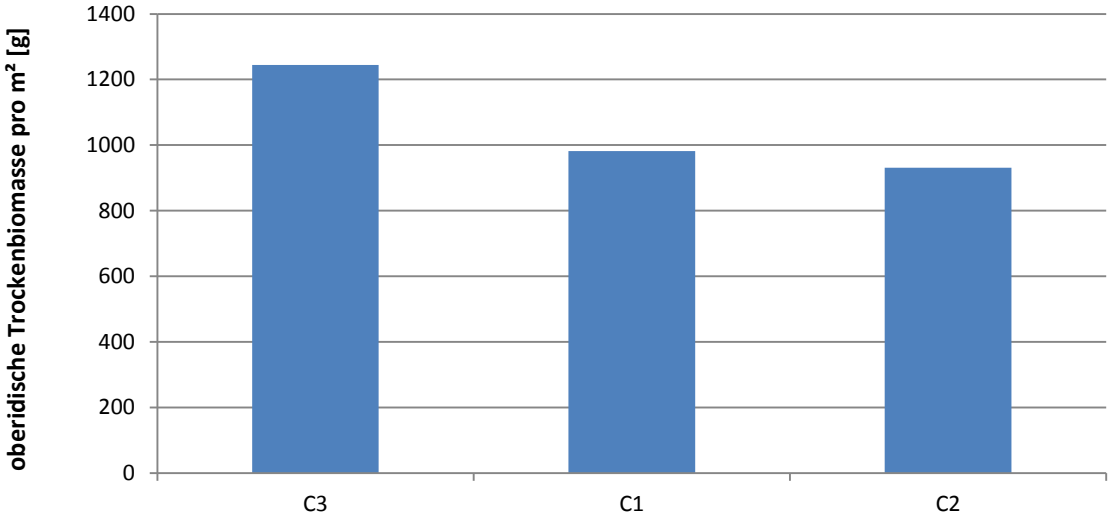



**Abbildung 51: Sektor9, Verteilung der oberirdischen Trockenbiomasse pro m² in den Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Nach Norden hin wird die oberirdische Trockenbiomasse pro m² etwas kleiner.

## 7.3 Sektor 11, Weidenspreitlage quer

An diesem ebenso ostexponierten Dammabschnitt wurden als Fußsicherung nachträglich Weidenfaschinen eingesetzt. Diese könnten die Vegetationsentwicklung beeinflusst haben.

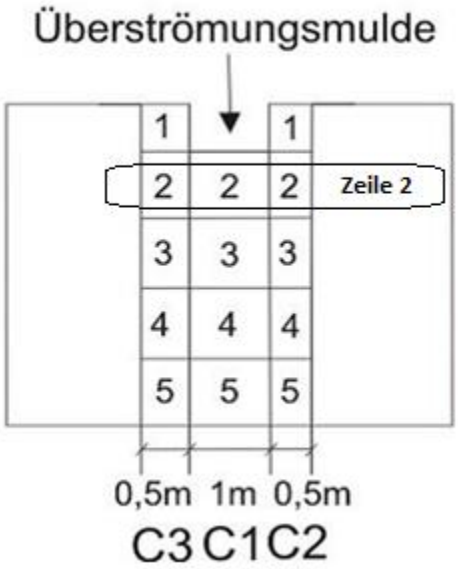



**Abbildung 52: 4,5 jährige Weidenspreitlage quer, Versuchsdamm Deutsch-Wagram, 9/2011**

| Sektor 11 | Zeile 1 | Durchmesser | Länge | Column 1 | Durchmesser | Länge |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Minima** | | 2,2 | 30 | | 3,38 | 76 |
| **Mittelwert** | n= 41 | 7,54 | 133,3 | n=70 | 9,96 | 175 |
| **Maxima** | | 22,51 | 234 | | 21,90 | 320 |
| | **Zeile 2** | | | **Column 2** | | |
| **Minima** | | 3,38 | 64 | | 1,39 | 10,00 |
| **Mittelwert** | n=61 | 8,32 | 155,76 | n=117 | 8,45 | 148,82 |
| **Maxima** | | 18,57 | 301 | | 28,42 | 318,00 |
| | **Zeile 3** | | | **Column 3** | | |
| **Minima** | | 1,22 | 22,7 | | 4,00 | 2,70 |
| **Mittelwert** | n=46 | 10,38 | 181,5 | n=62 | 10,43 | 172,72 |
| **Maxima** | | 25,84 | 320 | | 21,00 | 364,00 |
| | **Zeile 4** | | | | | |
| **Minima** | | 3,76 | 18 | | | |
| **Mittelwert** | n=47 | 10,2 | 168,6 | | | |
| **Maxima** | | 28,42 | 217 | | | |
| | **Zeile 5** | | | | | |
| **Minima** | | 1,39 | 10 | | | |
| **Mittelwert** | n=54 | 9,42 | 159,58 | | | |
| **Maxima** | | 20,9 | 364 | | | |
| **Gesamt** | **n=249** | | | | | |

**Tabelle 7: Minima, Mittelwerte und Maxima der aufgenommenen Fläche am Sektor 11, Durchmesser [mm], Länge [cm], Deutsch-Wagram 9/ 2011**

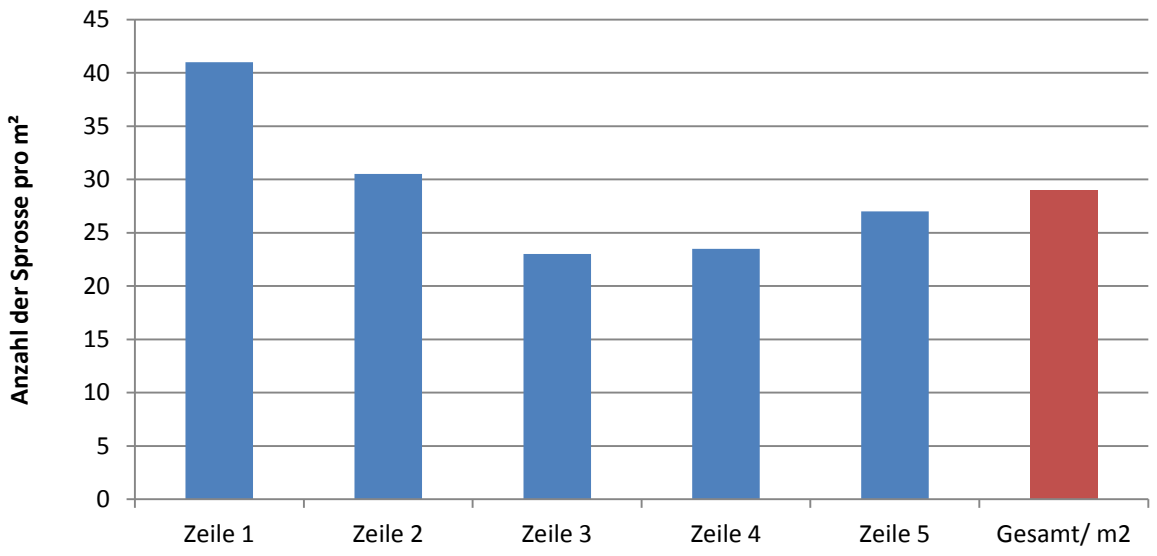



**Abbildung 53: Sektor 11, Anzahl der Sprosse pro m² in den Zeilen 1 - 5, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Zeile 1 weist die höchste Anzahl an Sprossen auf, bis zur Zeile 3 sinkt diese Anzahl und steigt bis in Zeile 5 wieder an.

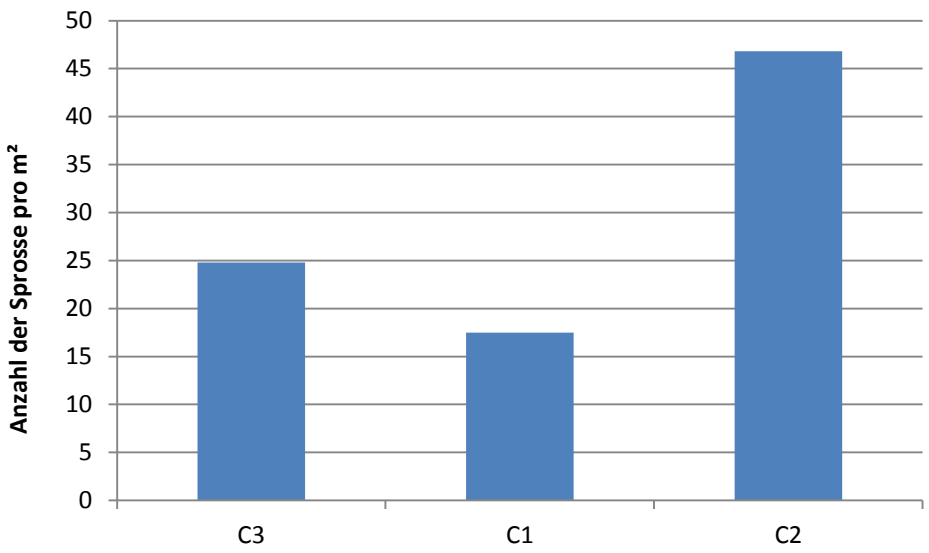



**Abbildung 54: Sektor 11, Anzahl der Sprosse pro m² in den Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Von der Vorderansicht des Dammes aus befinden sich rechts die meisten Sprosse und in der mittleren Column die wenigsten.

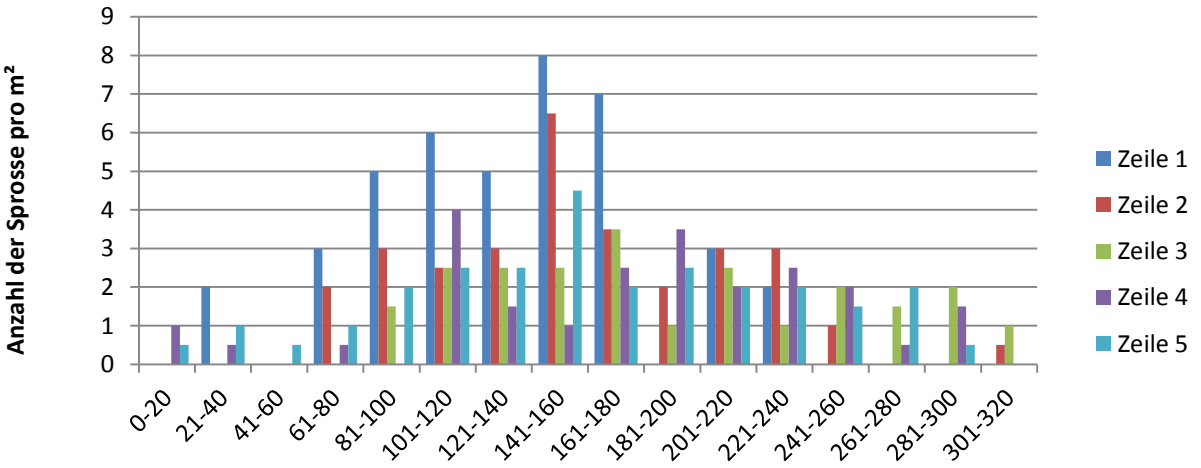
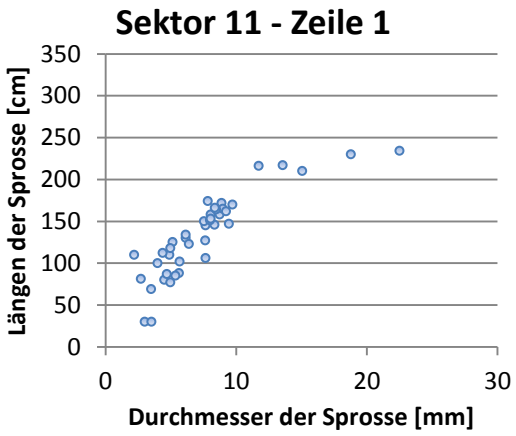
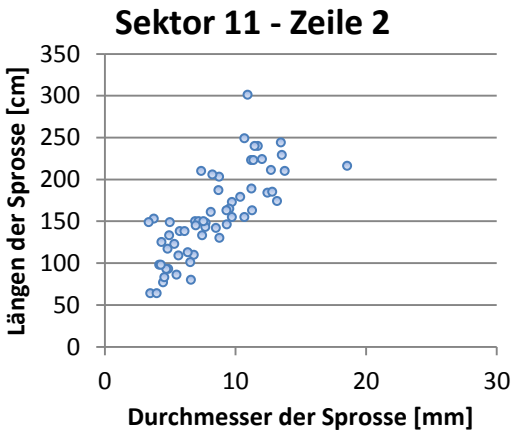


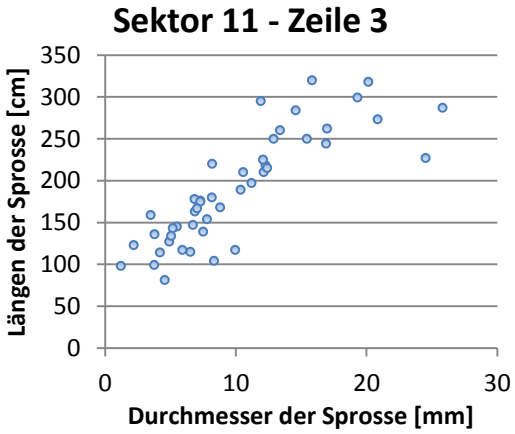

**Abbildung 55: Sektor 11, Anzahl der Sprosse pro m² der Zeilen 1 bis 5 nach Längenklassen, x-Achse [cm], Deutsch-Wagram 9/ 2011**

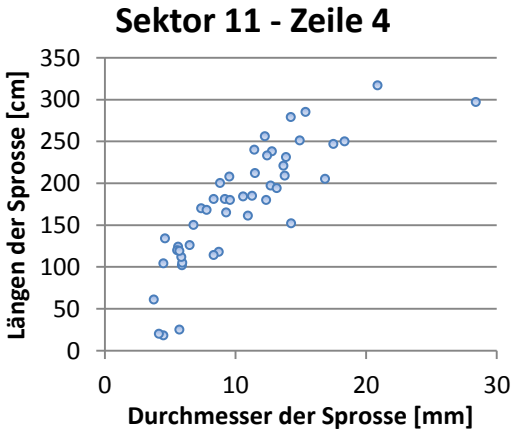
Bis zu einer Länge von etwa 180 cm überragt die Anzahl der Sprosse pro m² der Zeile 1 die Zeile 2. Ab ca. 200 cm Länge dreht sich das Bild. Zeile 1 enthält keine Sprosse, die größer sind als 240 cm und kleiner als 61 cm. – Ähnlich wie Zeile 2.

Diese ersten beiden Zeilen weisen im Bereich von 60 - 180 cm die höchsten Individuenzahlen auf. Die Zeilen 4 und 5 sind sich ähnlich, während Zeile 3 im Bereich von 80 - 320 cm eine recht konstante Aufteilung an Sprossen pro m² zeigt und im kleinen Bereich bis 60 cm nicht vorhanden ist.



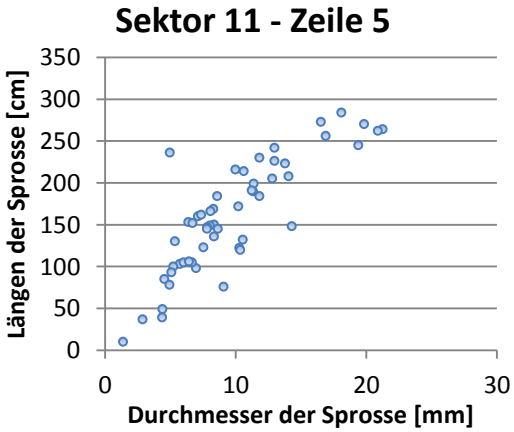




**Abbildung 56 a-e: Sektor11, Streudiagramme – Sprosslänge zu Sprossdurchmesser der Zeilen 1 - 5, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Es zeigt sich wieder ein relativ linearer Verlauf im Zusammenhang von Sprossdurchmesser und Sprosslänge. Der Mittelwert der Durchmesser ist in Zeile 1 am kleinsten (siehe Tab. 7).

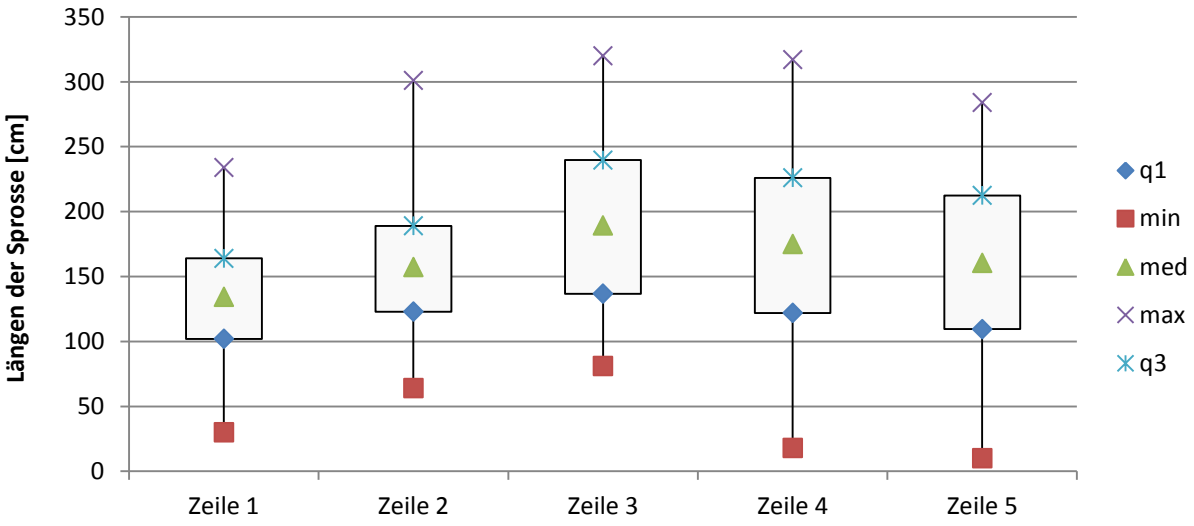



**Abbildung 57: Sektor 11, Graphische Darstellung der Verteilung der Sprosslängen der Zeilen 1 bis 5, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

Die Mediane liegen zentral in der Box. Die mittleren 50% der Sprosslängen verteilen sich in den Zeilen 3 bis 5 in einem relativ breiten Bereich. Die durchschnittlich kleinsten Sprosse befinden sich am oberen Damm in den Zeilen 1 und 2.

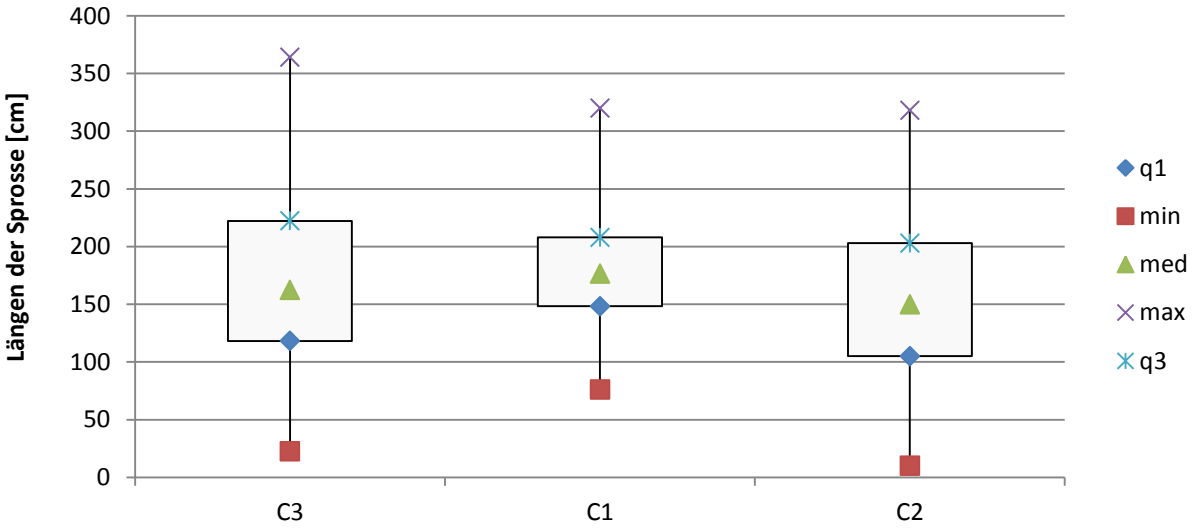



**Abbildung 58: Sektor 11, Graphische Darstellung der Verteilung der Sprosslängen der Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

Eine eher kompakte Column 1 steht den umliegenden Columns mit höheren Bandbreiten der Längenverteilung gegenüber.

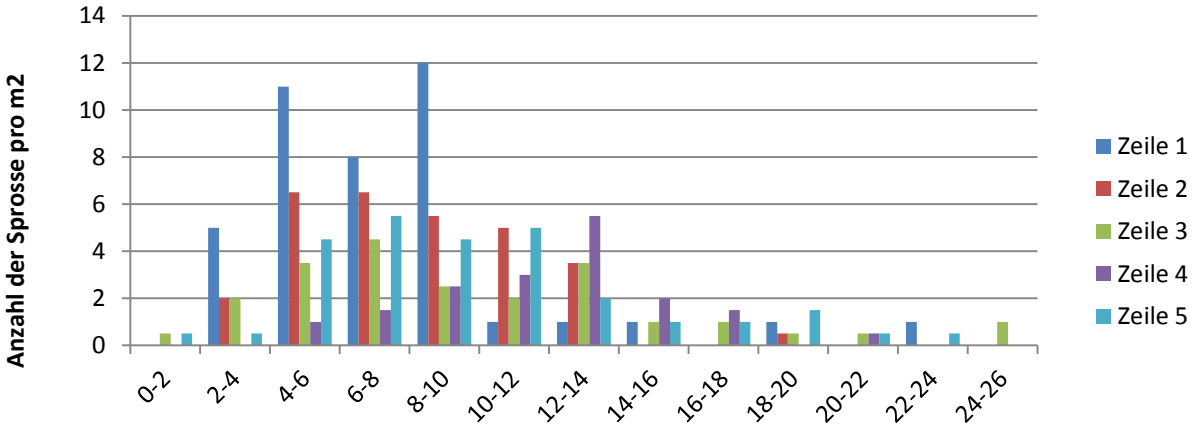



**Abbildung 59: Sektor 11, Anzahl der Sprosse pro m² der Zeilen 1 bis 5 nach Durchmesserklassen, x-Achse [mm], Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Die meisten Individuen weist der Bereich von 4 - 14 mm Durchmesser auf. Die Zeile 1 überragt die 2. Zeile an Sprossen pro m² bis zu 10 mm Durchmesser und doch sind in der Zeile 2 nur Sprosse mit Durchmessern bis zu 14 mm vorhanden – mit einem Ausreißer. Zeile 4 hat keine Sprosse im kleinen Durchmesserbereich bis 4 mm sowie im hohen Durchmesserbereich.

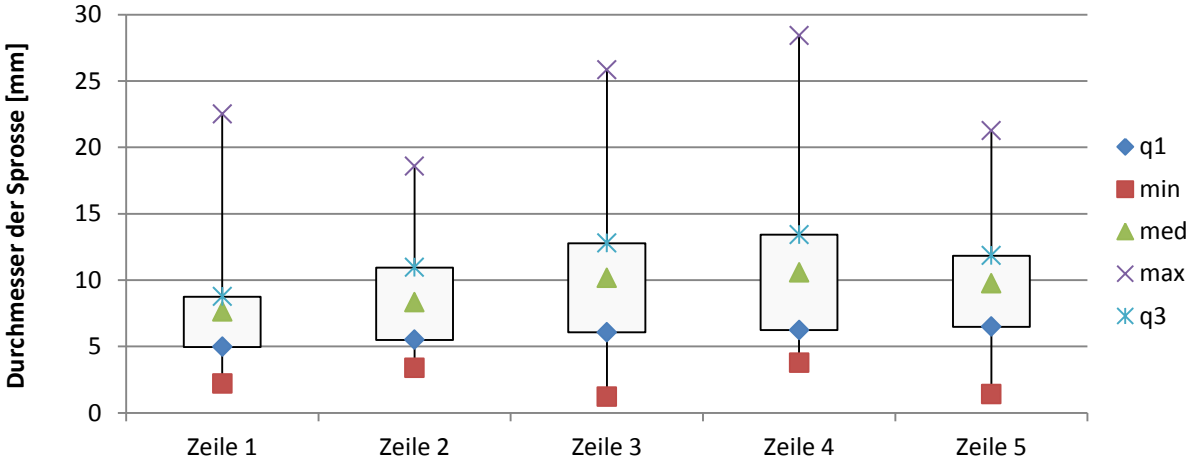



**Abbildung 60: Sektor 11, Graphische Darstellung der Verteilung der Sprossdurchmesser der Zeilen 1 bis 5, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

In Zeile 3 und 4 sind die Mediane und die Bandbreite der Durchmesser am höchsten. Die Zeile 5 zeigt einen höheren Median und einige kleinere und größere Durchmesser als die 2. Zeile. Zeile 1 hat gegenüber der Zeile 2 einen kleineren Median, jedoch auch wenige Sprosse mit höheren und auch kleineren Durchmessern.

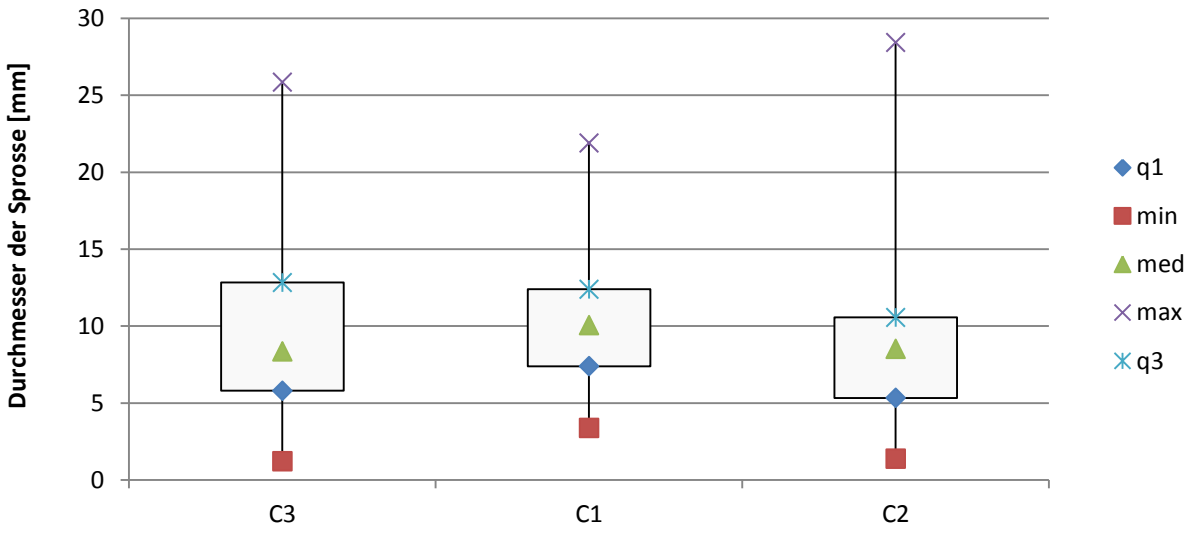



**Abbildung 61: Sektor 11, Graphische Darstellung der Verteilung der Sprossdurchmesser der Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

**q1 = unteres Quartil, min = Minimum, med = Median, max = Maximum, q3 = oberes Quartil**

Die Mediane der Columns liegen relativ eng zusammen. Die mittlere Column ist nach den Sprossdurchmessern die kompakteste.

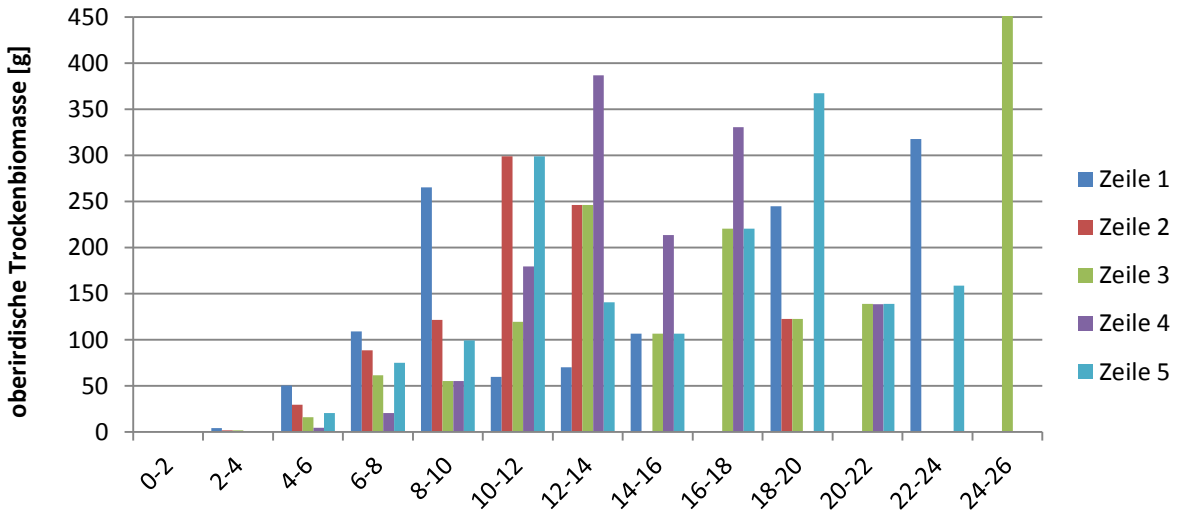



**Abbildung 62: Sektor 11, Verteilung der oberirdischen Trockenbiomasse pro m² der Zeilen 1 – 5, nach Durchmesserklassen, x-Achse [mm], Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Im größeren Durchmesserbereich der Zeile 2 sind kaum Sprosse vorhanden (siehe Abb. 59). Ein einziger Spross mit einem Durchmesser von 24 – 26 mm wiegt getrocknet 450 Gramm.

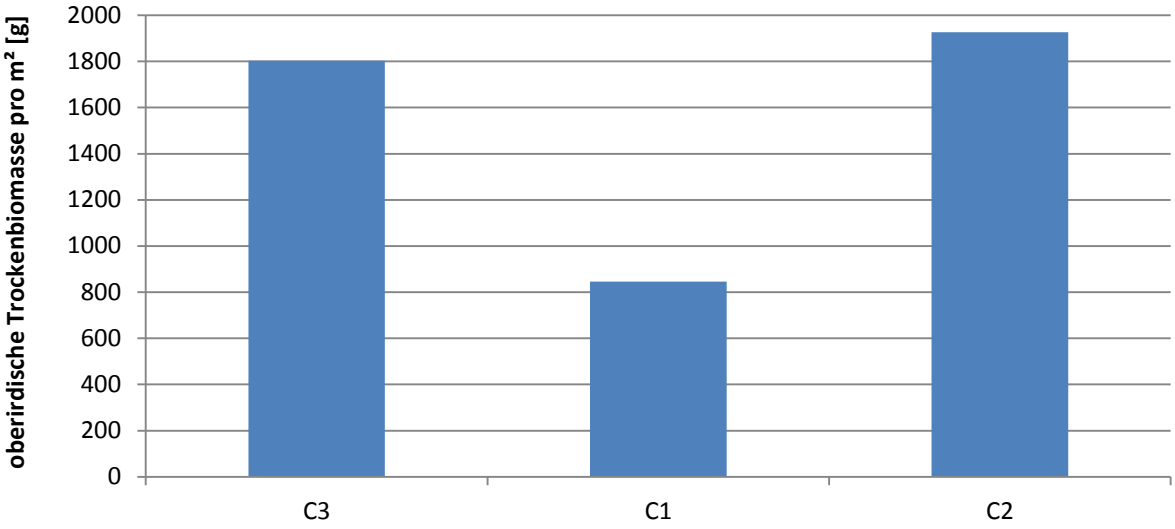



**Abbildung 63: Sektor 11, oberirdische Trockenbiomasse pro m² in den Columns C3 – C1, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Die mittlere Säule (C1) zeigt deutlich weniger oberirdische Trockenbiomasse pro m².

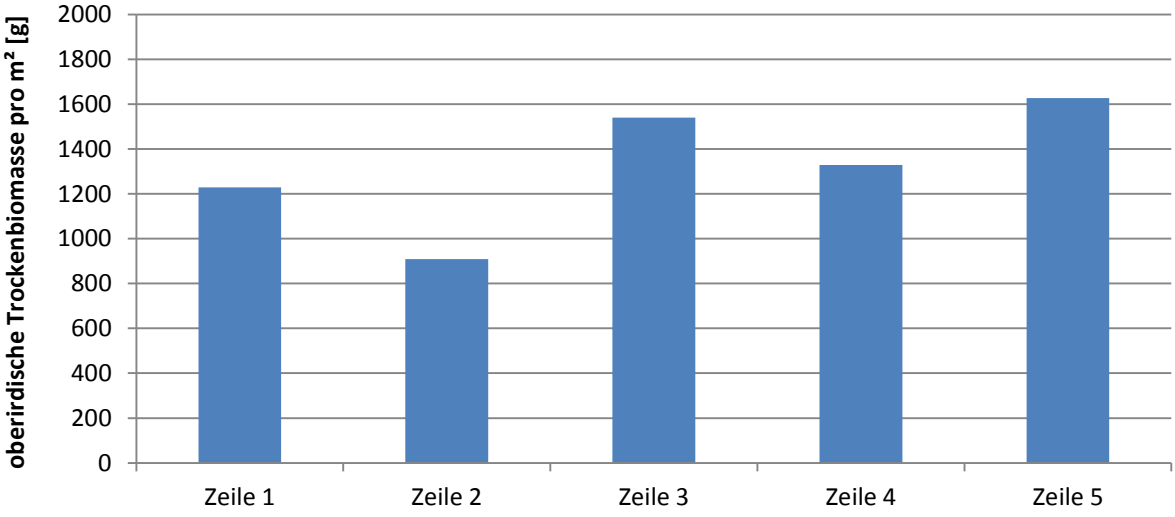



**Abbildung 64: Sektor 11, Verteilung der oberirdischen Trockenbiomasse pro m² in den Zeilen 1 - 5, Deutsch-Wagram 9/ 2011**

Die unteren 3 Zeilen zeigen höhere Biomassen als die Zeile 1 und vor allem Zeile 2. Das hängt mit den in den Zeilen vorkommenden Sprossen mit großen Durchmessern, also hoher Biomasse zusammen.

## 7.4 Sektor 13, Weidenspreitlage quer

Die Bepflanzung des südexponierten Dammes erfolgte im Jahr 2008. Auf dem Sektor wird jedes Jahr ein Streifen zur Untersuchung des ober- und unterirdischen Bewuchses abgegraben.

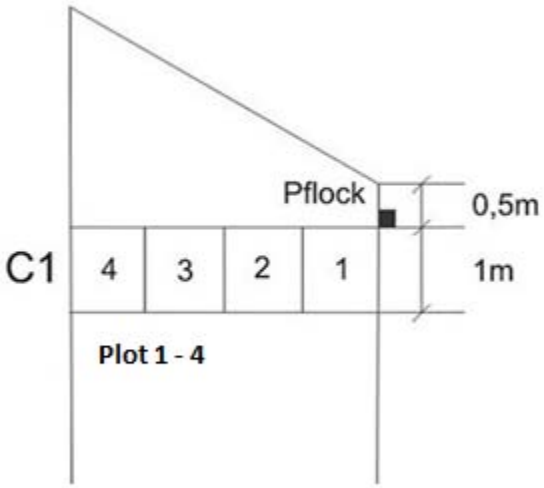



**Abbildung 65: 3,5 jährige Weidenspreitlage quer, Versuchsdamm Deutsch-Wagram, 10/2011**

| Sektor 13 | Plot 1 | Durchmesser | Länge | Column 1 | Durchmesser | Länge |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Minima | n= 50 | 1,22 | 133 | n=235 | 0,83 | 7 |
| Mittelwert | | 5,58 | 64,1 | | 5,76 | 84,06 |
| Maxima | | 11,98 | 126 | | 15,97 | 234 |
| | Plot 2 | | | | | |
| Minima | n=35 | 0,83 | 13 | | | |
| Mittelwert | | 4,55 | 121 | | | |
| Maxima | | 9,6 | 126 | | | |
| | Plot 3 | | | | | |
| Minima | | 1,78 | 12 | | | |
| Mittelwert | n=75 | 5,56 | 86,08 | | | |
| Maxima | | 13,12 | 188 | | | |
| | Plot 4 | | | | | |
| Minima | | 0,92 | 13 | | | |
| Mittelwert | n=75 | 6,48 | 106,03 | | | |
| Maxima | | 15,97 | 234 | | | |
| Gesamt | n=235 | | | | | |

**Tabelle 8: : Minima, Mittelwerte und Maxima der aufgenommenen Fläche am Sektor 13, Durchmesser [mm], Länge [cm], Deutsch-Wagram 10/ 2011**

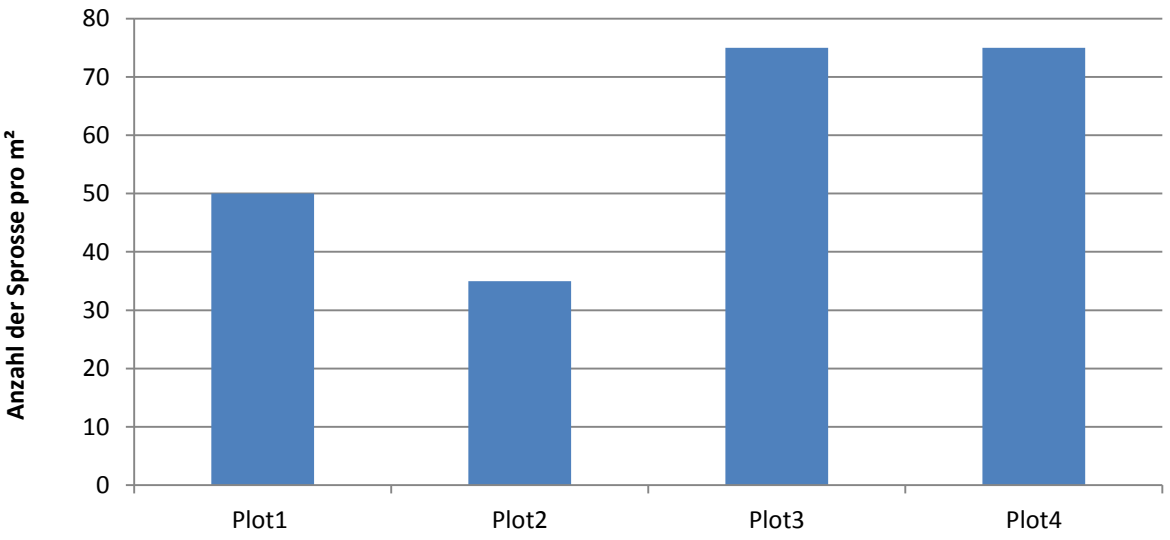



**Abbildung 66: Sektor 13, Anzahl der Sprosse pro m² in den Plots 1 - 4, Deutsch-Wagram 10/ 2011**

Im Plot 2 befinden sich auffällig wenige Sprosse. Der untere Teil dagegen weist mit jeweils 75 Sprossen eine beträchtliche Menge auf.

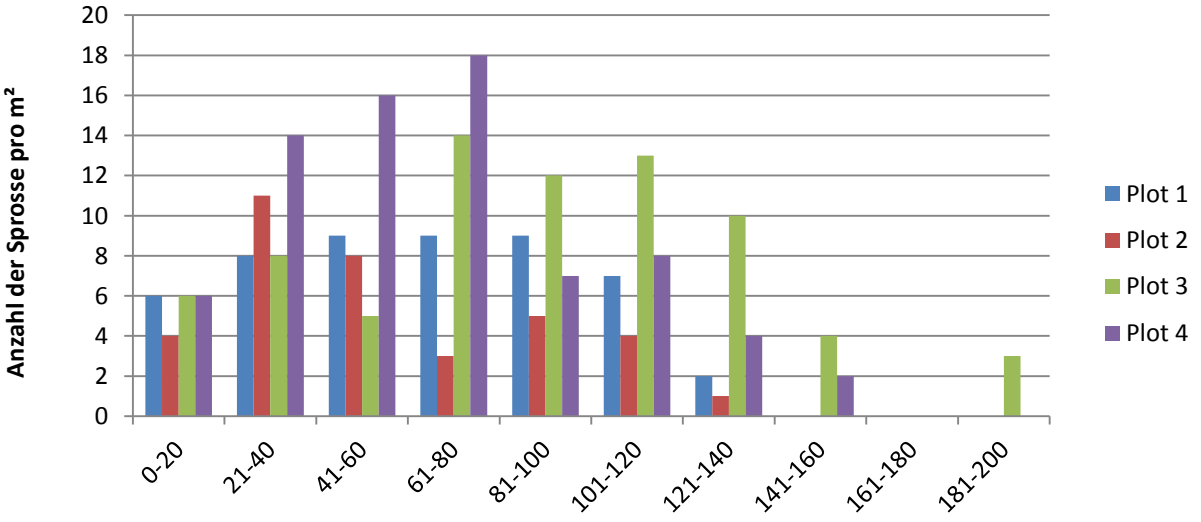



**Abbildung 67: Sektor 11, Anzahl der Sprosse pro m² der Plots 1 – 4, nach Längenklassen, x-Achse [cm], Deutsch-Wagram 10/ 2011**

Es dominiert die Anzahl der Sprosse des 4. Plots von 21 - 80 cm. Ab 80 cm dominiert Plot 3. Die Weidenspreitlage des 2. Plots ist am schlechtesten ausgebildet und Plot 1 stellt sich nach der Anzahl der Sprosse nach Längenklassen bis 120 cm relativ gleichmäßig dar.

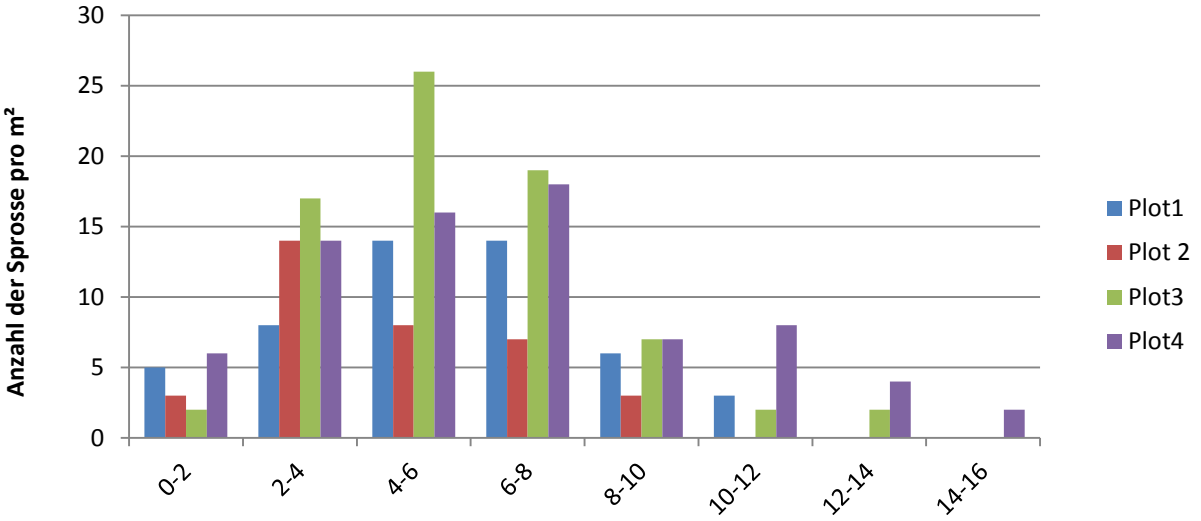



**Abbildung 68: Sektor 13, Anzahl der Sprosse pro m² der Plots 1 – 4, nach Durchmesserklassen, x-Achse [mm], Deutsch-Wagram 10/ 2011**

Die Durchmesserklassifizierung der Weiden in ihren Plots ähnelt den Längenklassen sehr. Der Unterschied liegt hauptsächlich in den größeren Durchmessern ab 10 mm des Plots 4 gegenüber dem Plot 3.

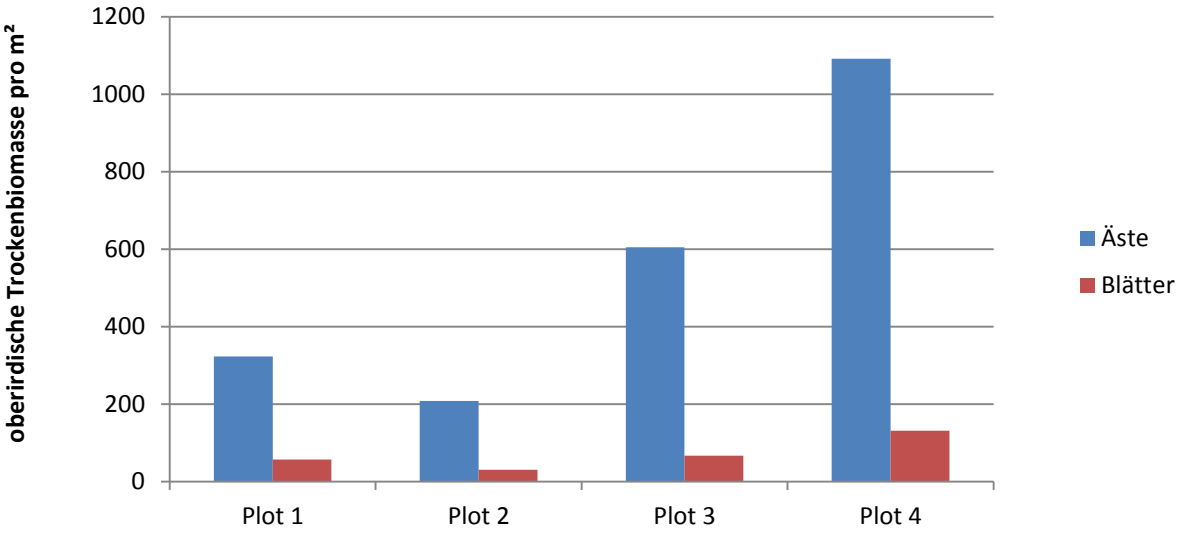



**Abbildung 69: Sektor13, Gegenüberstellung der trockenen Blatt- bzw. Sprossbiomasse der Plots 1- 4, Deutsch-Wagram 10/ 2011**

Es zeigen sich große Unterschiede der Biomassen von Plot 1 – 4. Plot 2 hat die geringste Trockenbiomasse der Äste und Blätter - gefolgt von Plot 1. Die Sprosse des 4. Plots wiegen fast das Doppelte von Plot 3.

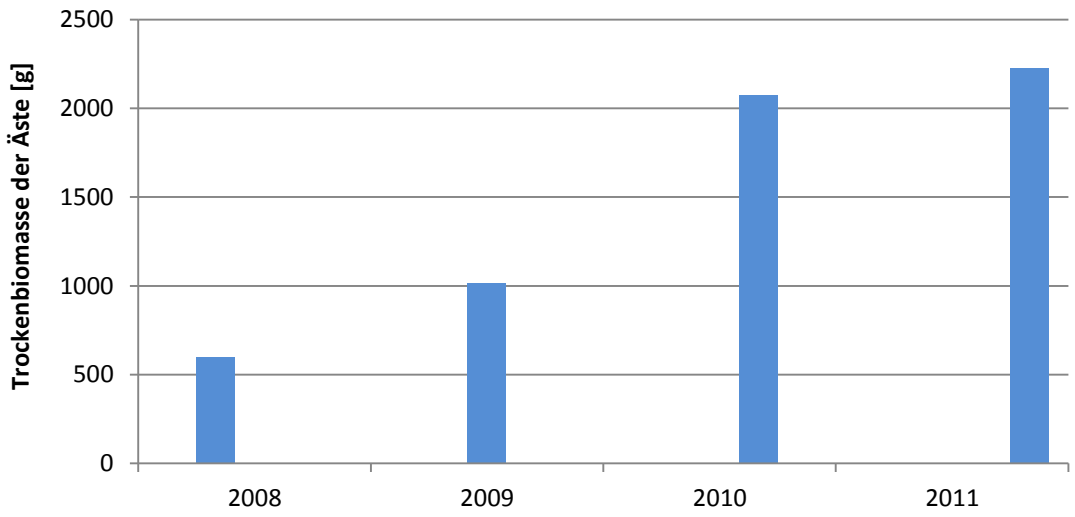



**Abbildung 70: Sektor 13, Entwicklung der Biomasse der Äste, Deutsch-Wagram 2008 - 2011**

Im Vergleich der Jahre 2008 - 2011 ist ein stetiger Anstieg der Biomasse der Äste zu sehen, jedoch gab es 2011 nur einen geringen Zuwachs der Biomasse.

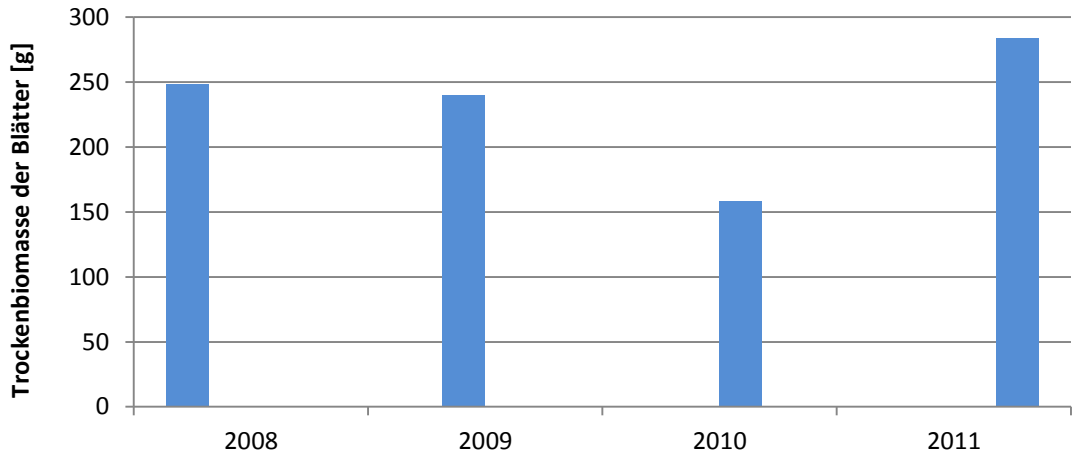



**Abbildung 41: Sektor 13, Entwicklung der Biomasse der trockenen Blätter, Deutsch-Wagram 2008 - 2011**

Von 2008 auf 2009 gab es bereits eine geringe Verminderung der Blattmasse. Nach deutlicher Verringerung der Blattmasse im Jahr 2010 kann für 2011 ein signifikanter Zuwachs verzeichnet werden.

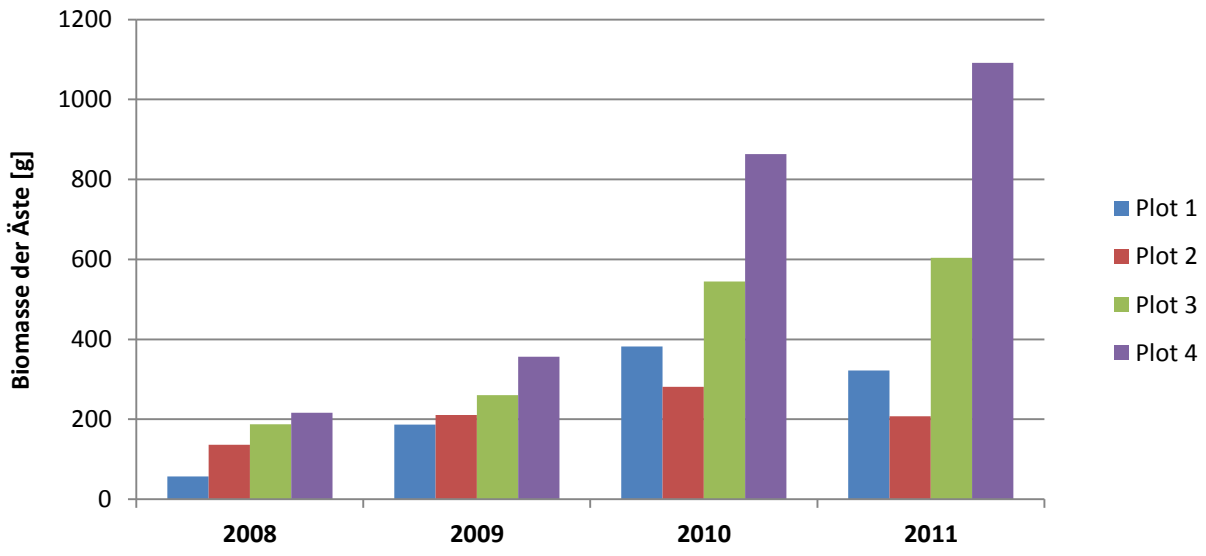



**Abbildung 72: Sektor 13, Entwicklung der Biomasse der Äste der Plots 1 – 4, Deutsch-Wagram 2008 - 2011**

Es zeigt sich ein über die Jahre kontinuierlicher Zuwachs der Biomasse. In den Plots 1 und 2 des Jahres 2011 gibt es jedoch einen Rückgang.

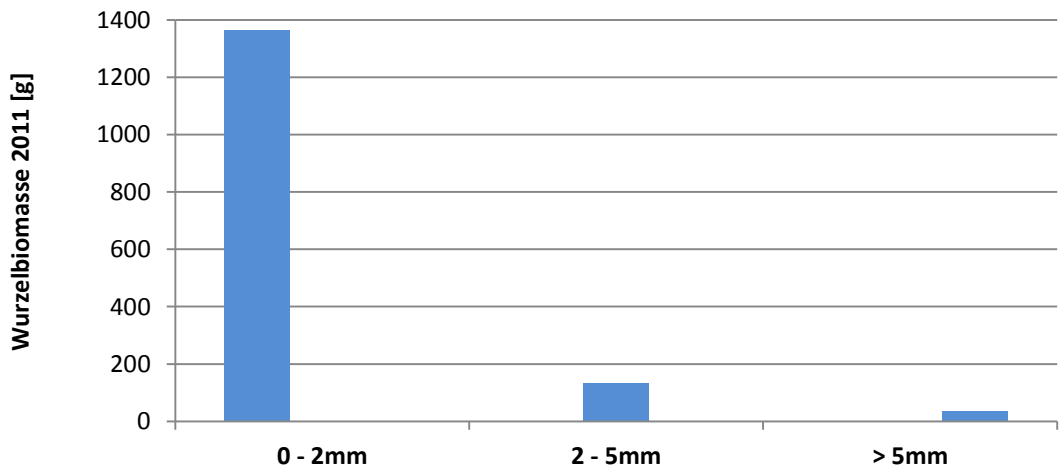



**Abbildung 73: Sektor 13, Gegenüberstellung der Wurzelbiomassen nach Durchmesserklassen [mm], Deutsch-Wagram 10/ 2011**

Ein hoher Anteil an Feinwurzeln (0 – 2 mm) können 2011 den mittleren (2 – 5 mm) und den Grobwurzeln (> 5 mm) gegenübergestellt werden.

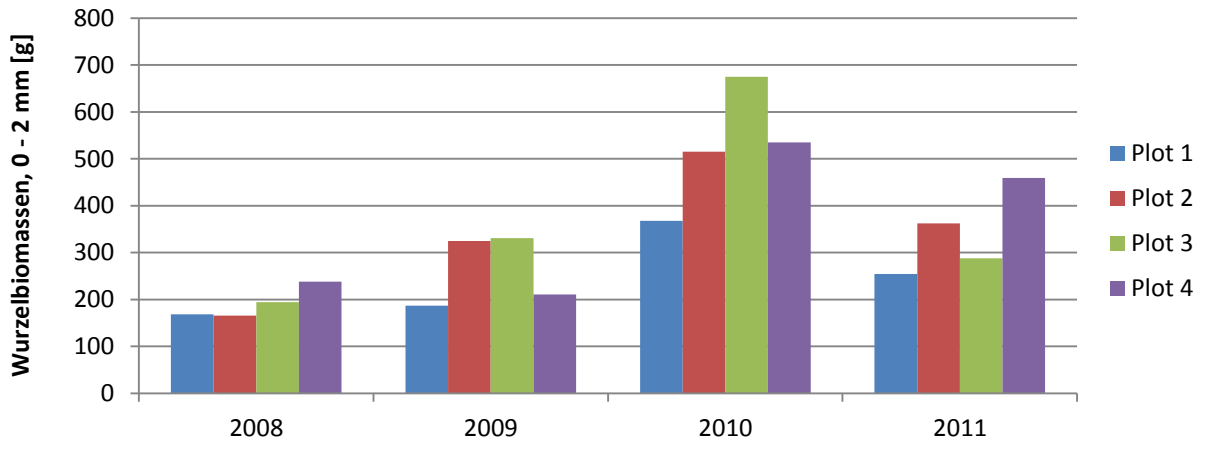



**Abbildung 74: Sektor 13, Entwicklung der Wurzelbiomasse von 0 - 2 mm Durchmesser der Plots 1- 4, Deutsch-Wagram 2008 - 2011**

Das Wurzelgewicht im Durchmesserbereich von 0 - 2 mm stieg von 2009 auf 2010 deutlich an. – Besonders in Plot 3. Im Jahr 2011 gingen die Wurzelbiomassen in allen Plots zurück. Am deutlichsten ist der Rückgang in Plot 3 zu beobachten.

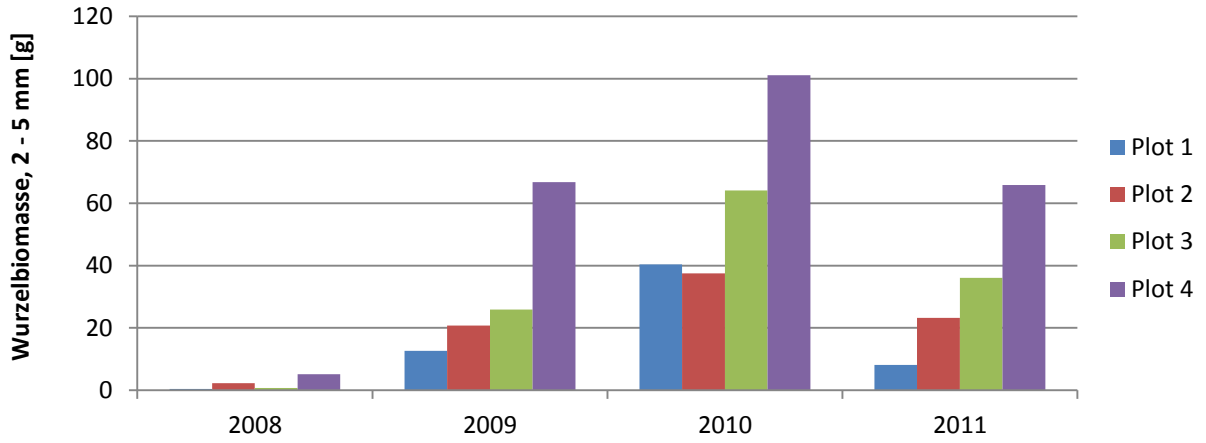



**Abbildung 75: Sektor 13, Entwicklung der Wurzelbiomasse von 2 - 5 mm Durchmesser der Plots 1 – 4, Deutsch-Wagram 2008 - 2011**

Die Biomasse der Wurzeldurchmesserklasse von 2 - 5 mm stieg seit 2008 in allen Plots kontinuierlich an. 2011 fällt die Massenbilanz des Sektors etwa auf den Stand von 2009 zurück. Die Plots 1, 2 und 3 verzeichnen 2011 die drastischsten Einbußen. 2011 gibt es eine relativ gleichmäßige Steigerung der Wurzelbiomassen von Plot 1 bis Plot 4 (von oben nach unten).

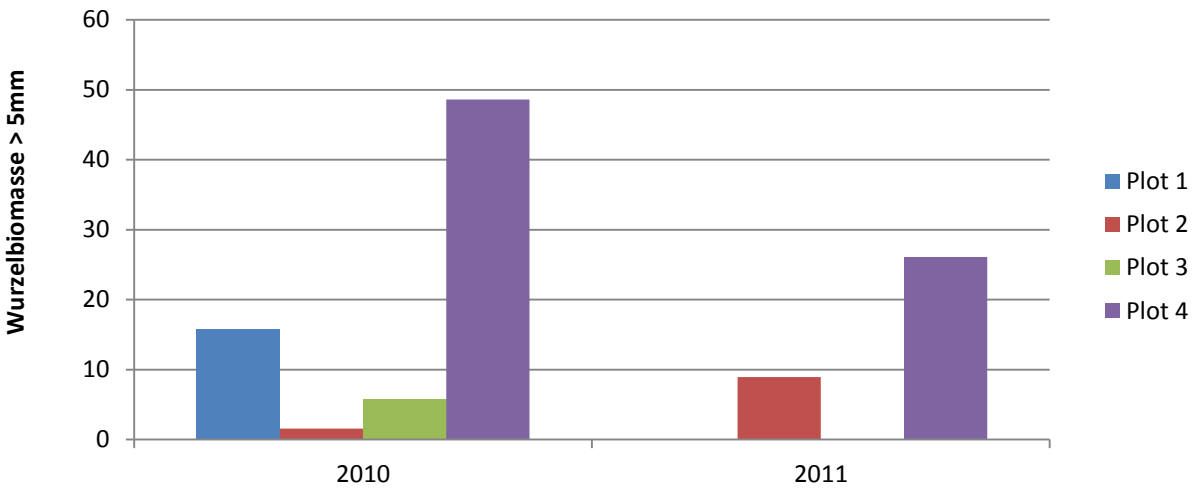



**Abbildung 76: Sektor 13, Entwicklung der Wurzelbiomasse >5 mm Durchmesser der Plots 1 – 4, Deutsch-Wagram 10/ 2011**

Im Jahr 2011 ist ein deutlicher Rückgang der Wurzelbiomassen > 5 mm Durchmesser zu sehen. Im Bereich der Plots 1 und 3 sind keine Wurzeldurchmesser dieses Bereiches zu finden.

Die nächsten beiden Diagramme verdeutlichen nochmals die Entwicklung der Weiden über die Jahre 2008 bis 2011 und besonders den Rückgang der Wurzelmassen von 2011.

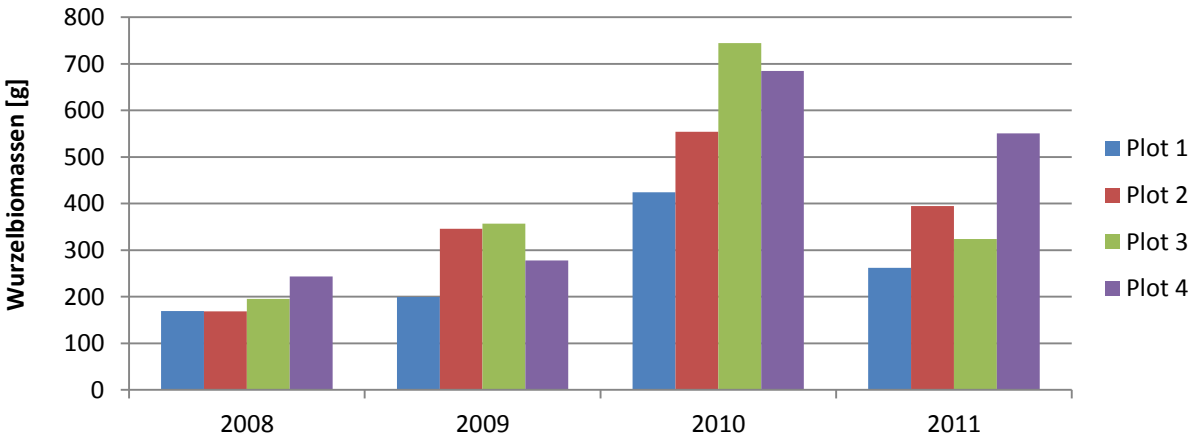



**Abbildung 77: Sektor 13, Entwicklung der Wurzelbiomassen der Plots 1 – 4, Deutsch-Wagram 2008 – 2011**

Die Wurzelmassen des Plot 4 im Jahr 2009 sind etwas geringer ausgeprägt als die der Plots 2 und 3. 2010 verzeichnen alle vier Plots einen Zuwachs. Im fogenden Jahr 2011 lässt sich eine verringerte Wurzelmasse nachweisen. Der oberirdisch lückenhaft bewachsene Plot 2 zeigt den zweithöchsten Wert.

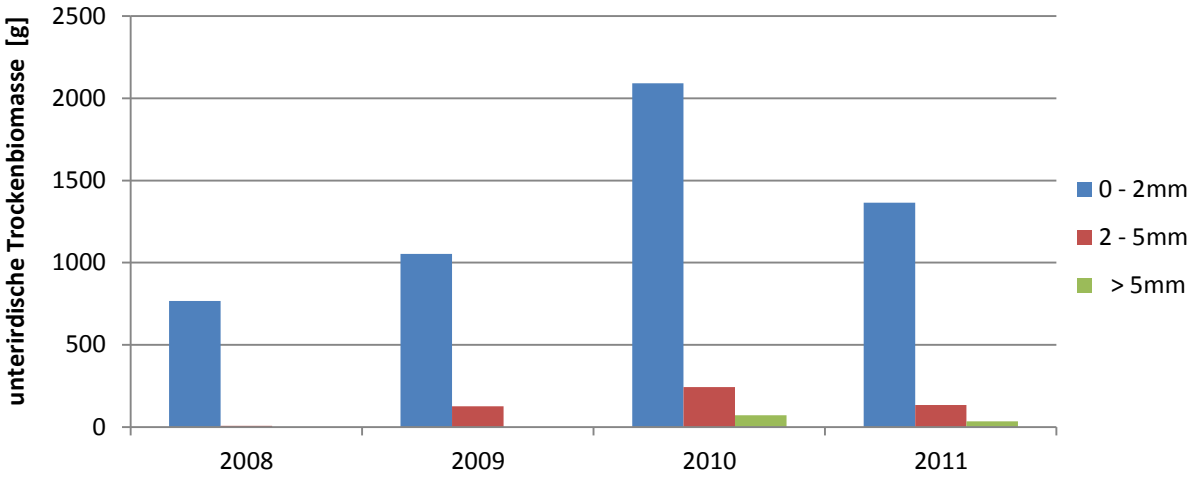



**Abbildung 78: Sektor 13, Entwicklung der Wurzelbiomassen nach Durchmesserklassen [mm], Deutsch-Wagram 10/ 2011**

2008 und 2009 sind noch keine Wurzeln mit Durchmessern > 5 mm vorhanden. Die unterirdische Trockenbiomasse steigt bis 2010 an und ist 2011 rückläufig. Die Durchmesserklasse 0 – 2 mm dominiert in allen 4 Vegetationsperioden.

### 7.4.1 Wurzel - Spross – Verhältnis

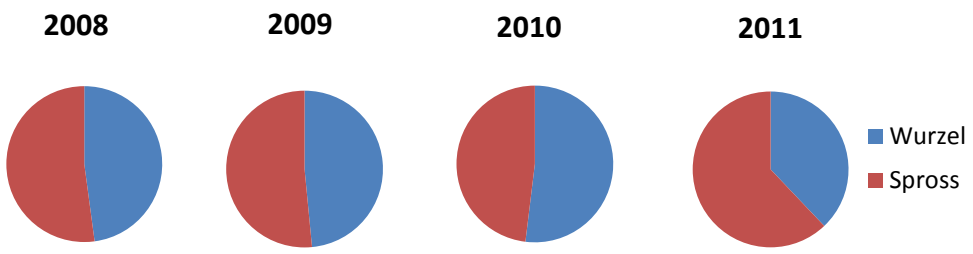



**Abbildung 79: Sektor 13, Entwicklung des Wurzel – Spross –Verhältnises, Deutsch-Wagram 2008 bis 2011**

Von Bedeutung ist der Vergleich der unterirdischen und oberirdischen Trockenbiomasse, die im Wurzel – Spross – Verhältnis augedrückt wird. In der ersten Vegetationsperiode 2008 betrug das Wurzel – Spross – Verhältnis am Sektor 0,92. Im Jahr 2009 lag das Verhältnis bei 0,94, ein Jahr später (2010) bei 1,1 und in der Vegetationsperiode 2011 betrug das Verhältnis 0,6. Das bedeutet für 2011 einen deutlichen Rückgang der Wurzelmassen, während diese Verhältniszahl in den Jahren 2008 bis 2010 annähernd gleich blieb.

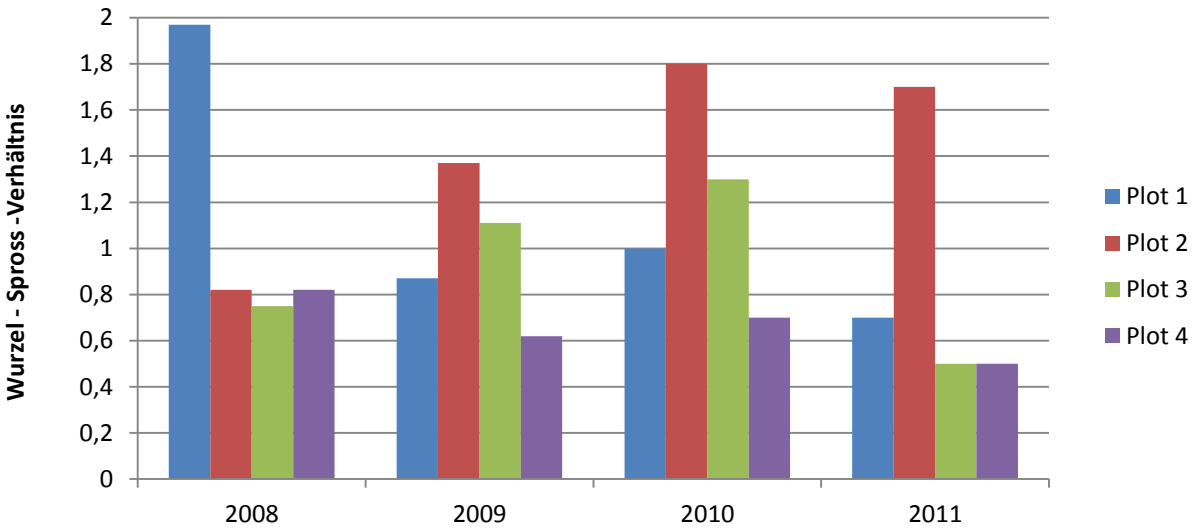



**Abbildung 80: Sektor 13, Entwicklung des Wurzel – Spross – Verhältnises aller 4 Vegetationsperioden der Plots 1 – 4, Deutsch-Wagram 2008 - 2011**

Seit der 2. Vegetationsperiode zeigt sich in Plot 2 ein sehr viel höheres Wurzel – Spross – Verhältnis. In den Jahren 2009 und 2010 ist die oberirdische Trockenbiomasse des 3. Plots ebenso gut ausgeprägt. Plot 4 zeigt ein vergleichsweise geringes Wurzel – Spross - Verhältnis. Dies gilt ebenso für den Plot 3 im Jahre 2011.

## 7.5 Durchsickerung

Das folgende Kapitel zeigt den Einfluss der Vegetation auf die Durchsickerung. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden auch Pegelstände während des Einstaus erhoben. In den folgenden Abbildungen 82 bis 85 sind die Versuche von 1. Oktober bis 12. November 2011 dargestellt.

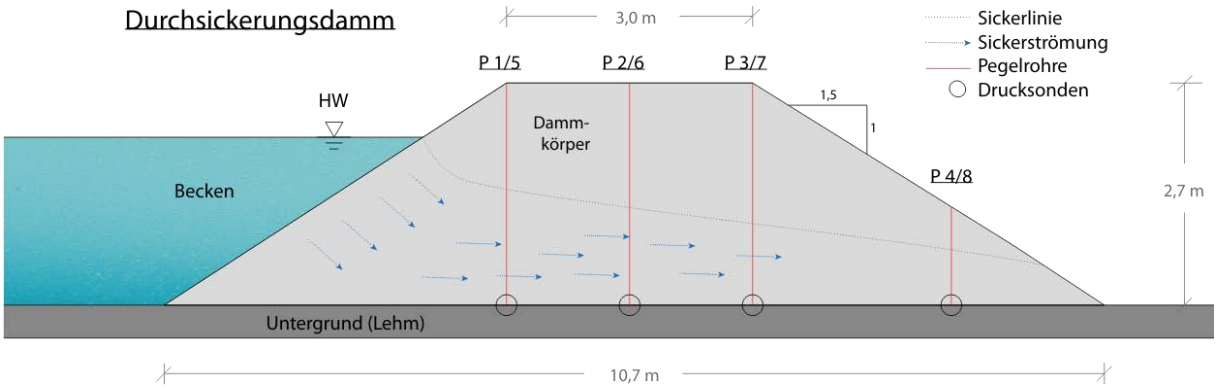



**Abbildung 81: Anordnung der 4 Pegelrohre in den beiden Messprofilen und schematische Darstellung des Prinzips der Durchsickerungsversuche, Durchsickerungsdamm, Deutsch-Wagram, 10 – 11/ 2011 nach LAMMERANNER und FLORINETH, 2013**

Die Sickerlinie wird für die Dauer des Einstaus an jeweils 4 Positionen von 2 Messprofilen im Damm mittels Drucksonden und Pegelrohren (Gehölzbewuchs 1 – 4 und Gräser – Kräuterbewuchs 1 – 4) gemessen.

Der Einstau des Beckens erfolgte am 1. Oktober 2011 und endete nach 43 Tagen. Die y-Achse beschreibt die Meereshöhe über Null [m] und die x-Achse zeigt die Dauer des Einstaus in Tagen. Der Wasserstand im Becken ist blau und die Sickerlinie des Gehölzbewuchses des Sektors 3 (wasserseitig) hin zu Sektor 1 (Weidensteckhölzer, landseitig) ist grün dargestellt. Die Durchsickerungswerte des Gräser – Kräuterbewuchses entlang des Messprofiles durch die Sektoren 4 und 2 sind in Orange dargestellt.

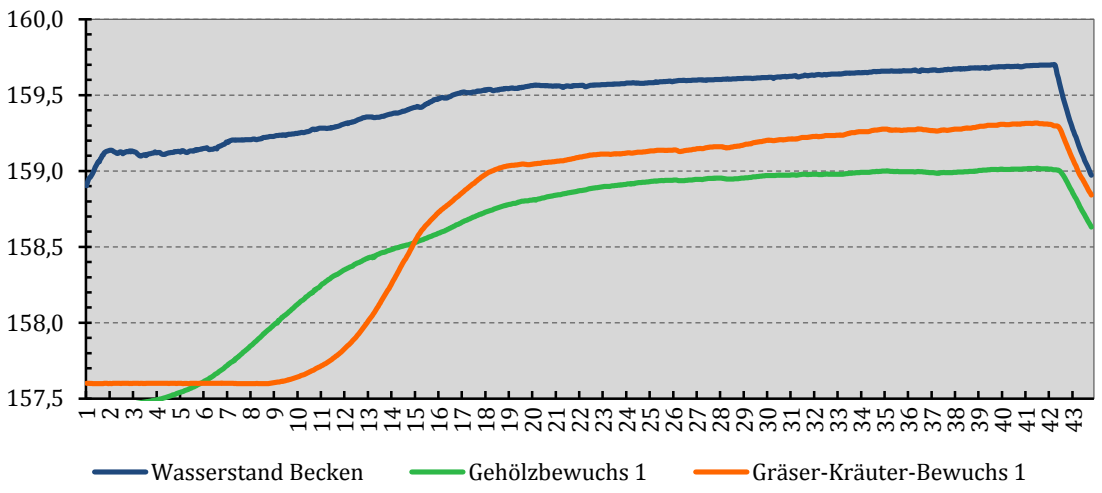



**Abbildung 82: Messpunkte 1, Gehölzbewuchs und Gräser – Kräuterbewuchs am Durchsickerungsdamm, tageweiser Wasserstand und Durchfeuchtungshöhe [m. ü. Adria] am Versuchsdamm in Deutsch-Wagram, 1. Oktober bis 12. November 2011, nach LAMMERANNER und FLORINETH, 2013**

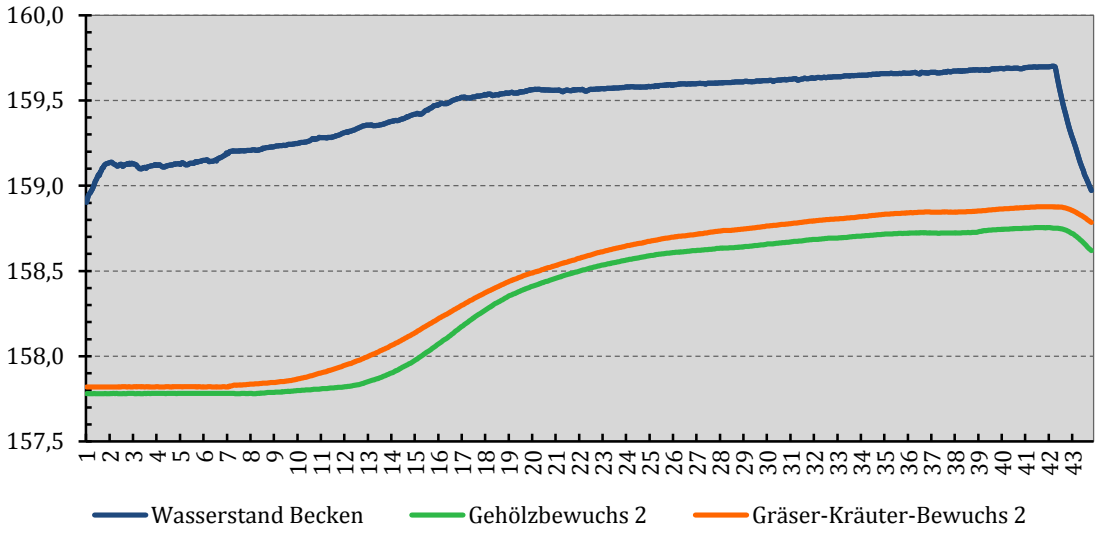



**Abbildung 83: Messpunkte 2, Gehölzbewuchs und Gräser – Kräuterbewuchs am Durchsickerungsdamm, Tageweiser Wasserstand und Durchfeuchtungshöhe [m. ü. Adria] am Versuchsdamm in Deutsch-Wagram, 1. Oktober bis 12. November 2011, nach LAMMERANNER und FLORINETH, 2013**

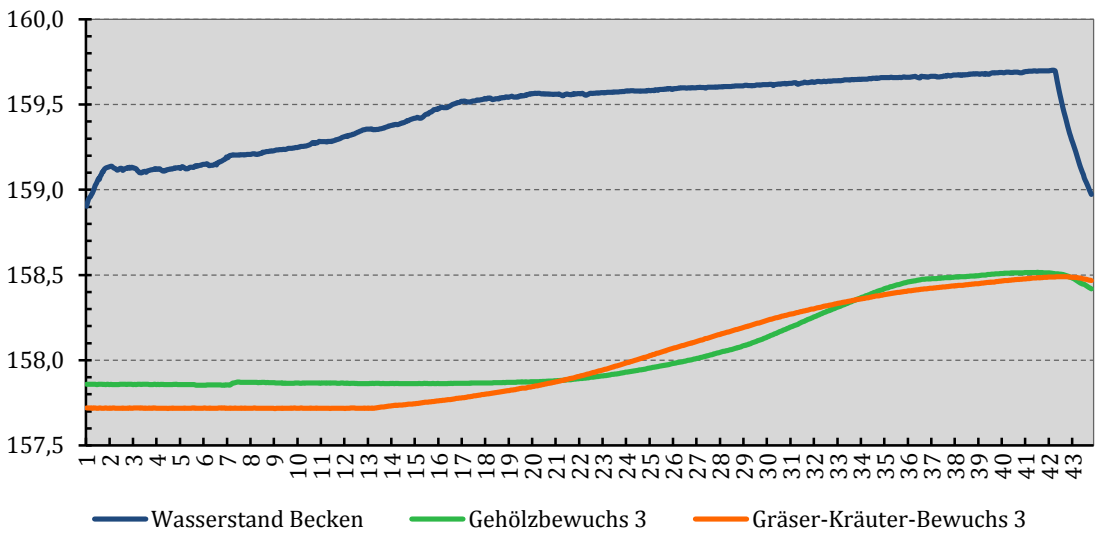



**Abbildung 84: Messpunkte 3, Gehölzbewuchs und Gräser – Kräuterbewuchs am Durchsickerungsdamm, Tageweiser Wasserstand und Durchfeuchtungshöhe [m. ü. Adria] am Versuchsdamm in Deutsch-Wagram, 1. Oktober bis 12. November 2011, nach LAMMERANNER und FLORINETH, 2013**

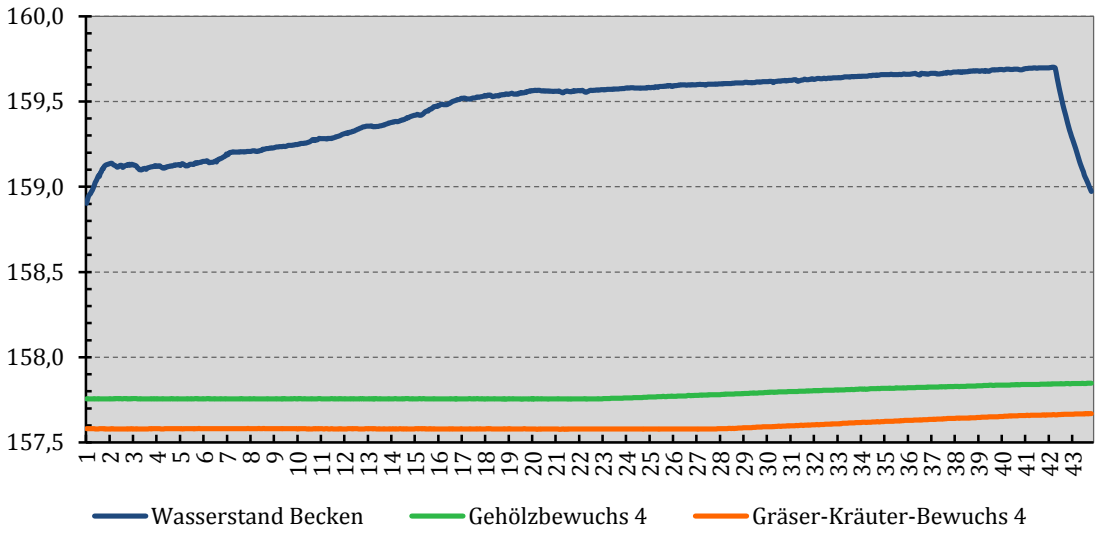



**Abbildung 85: Messpunkte 4, Gehölzbewuchs und Gräser – Kräuterbewuchs am Durchsickerungsdamm, Tageweiser Wasserstand und Durchfeuchtungshöhe [m. ü. Adria] am Versuchsdamm in Deutsch-Wagram, 1. Oktober bis 12. November 2011, nach LAMMERANNER und FLORINETH, 2013**

Die wasserseitige Böschung (Sektor 3 und 4) ist mit einer Weidenspreitlage quer und einer Gräser – Kräutermischung bepflanzt. Am Tag 4 des Einstaus schlägt die erste Sonde (Gehölzbewuchs 1) an der wasserseitigen Böschungskante an. Ab einer Durchfeuchtungshöhe von etwa 0,6 Meter am Tag 10 verflacht sich die Kurve wieder und

steigt bis zu Tag 34 noch leicht bis auf 1,5 Meter an. Ab diesem Zeitpunkt bleibt die Durchfeuchtung auf einem sehr konstanten Niveau. Die Gräser – Kräutermischung hat von Beginn des Einstaus bis zu Tag 9 eine Durchsickerungshöhe von 10 cm und übersteigt dann am Tag 14/ 15 die Marke des Gehölzbewuchses und bleibt ab Tag 18 um ca. 25 cm darüber.
In der Kronenmitte wird an den „Messpegeln 2“ sichtbar, dass die Durchfeuchtungshöhe erst an Tag 15 auf den Stand von 0,5 Meter steigt. Ab Einstautag 22 steigert sie sich von 1 Meter auf etwa 1,3 Meter.
Die Kurve „Gehölzbewuchs 3“ zeigt eine weitere Abflachung der Sickerlinie in Richtung der landseitigen Böschungskante. Der Gräser – Kräuterbewuchs verhält sich an den Messpunkten 2 und 3 sehr ähnlich wie der Gehölzbewuchs.
Am Messpunkt 4 ist eine konstant zwischen 25 cm und 40 cm bleibende Durchfeuchtungshöhe des Gehölzbewuchses zu sehen. Der Gräser – Kräuterbewuchs liegt relativ beständig um 20 cm unter den Werten des Gehölzbewuchses.

# 8 Diskussion und Vergleich der Ergebnisse

Nach den bisherigen Erkenntnissen aus dem Versuchsgelände in Deutsch-Wagram hat sich die Bepflanzung mit Steckhölzern durch die geringere Bodendeckung als schwächer gegenüber der Weidenspreitlagen-Einbauweise erwiesen. Die Weidenspreitlagen quer haben sich gegenüber der Längseinbauweise wegen des geringeren Bodenabtrags durch Witterung und Überflutungsversuche als bessere Bauweise durchgesetzt.

Der Einstauversuch von Oktober bis November 2011 zeigt, dass eine Durchfeuchtung am ersten Messpunkt an der wasserseitigen Böschungskante erst am Tag 4 des Einstaus für den Gehölzbewuchs zu verzeichnen ist. Der Pegel des Gräser - Kräuterbewuchses steigt erst 5 Tage später. Der Grund ist unklar. Eine mögliche Ursache stellen unter Umständen die unterschiedlichen Vorfeuchteverhältnisse dar. Die Sickerlinie beider Bewuchsformen steigt dann an und hält sich ab der Mitte der Einstaudauer relativ konstant auf etwa 1,5 Meter und knapp darüber. An den 2. Messpegeln der Kronenmitte folgt wiederum ab der Mitte der Einstaudauer ein nur noch leichter Anstieg von 1 Meter auf etwa 1,4 Meter. Je weiter von der wasserseitigen Böschung entfernt, desto später steigt die Durchfeuchtung im Damm. Die Messpunkte 3 reagieren wieder leicht verzögert. An den Messpunkten 2, 3 und 4 wird schon ab dem ersten Tag des Einstaus ein Pegel zwischen 0,1 und 0,4 Meter nachgewiesen. An den Messpunkten 4 ist kaum noch etwas von einem Einstau zu bemerken. Sie zeigen nach über der Hälfte der Einstaudauer nur eine geringe Erhöhung um etwa 10 cm auf 20 cm bzw. 40 cm für den Gehölzbewuchs bzw. für den Gräser – Kräuterbewuchs.
Die Unterschiede der Sickerlinie am Gräser – Kräuterbewuchs zum Gehölzbewuchs (Weidenspreitlage quer) sind gering und eine negative Beeinflussung des Dammes durch den Gehölzbewuchs konnte nicht festgestellt werden.

Wie sich bereits nach den Aufnahmen 2010 herausstellte, entwickelten sich die Weidensprosse in den Sektoren 3, 9, 11 und 13 zu einem inhomogeneren Bestand. Der in den Jahren zuvor noch recht gleichmäßige Bestand verändert sich bezüglich seiner Dichte und der Wuchsform der Weidensprosse. Es sind Unterschiede im Aufbau des Weidenbewuchses der Sektoren von oben nach unten und auch von links nach rechts zu beobachten. Deshalb wurden die meisten Daten dieser Arbeit in horizontalen Zeilen und der Vertikale nach in Columns dargestellt.

**Sektor 3**

In Sektor 3 gibt es eine Verminderung der Sprossanzahl in nördlicher Richtung: In Column 3 befinden sich 104 Sprosse, in Column 2 79 Sprosse und in Column 1 sind es nur 42. Möglicherweise eine Folge der Bepflanzung. Diese beschattet den nördlichen Abschnitt der untersuchten Fläche. Zudem wird der untere Teil (Zeile 3 und 4) durch die gegenüberliegende Dammböschung aus östlicher sowie nordöstlicher Richtung beschattet. Die Zeile 4 ist nur mit wenigen Sprossen bestockt. Diese ist dafür mit den durchschnittlich dicksten Exemplaren ausgestattet. In den oberen Zeilen finden sich wenige, dafür längere Exemplare, weil sie Wind und Trockenheit und weniger Konkurrenzdruck bezüglich Lichteinwirkung ausgesetzt sind. Die inneren Plots der Zeilen 2 und 3 zeigen mehr Sprosse mit mittleren Längen. Diese Beobachtungen decken sich mit den in den Zeilen gemessenen Durchmessern.

Die oberirdische Trockenbiomasse nimmt nach unten hin zu (mit Ausnahme der untersten Zeile). Obwohl die Anzahl der Sprosse pro m² in der 3. Zeile als die zweitkleinste herausstellt, ist die oberirdische Trockenbiomasse in diesem Bereich am höchsten.

**Sektor 13**

Der südexponierte Sektor 13 leidet unter Trockenstress, was auch auf den stark verdichteten Aufbau und die durch Walzen horizontal-plattenförmige Verdichtung des Dammes zurück zu führen ist. Außerdem überlappen sich die Weidenspreitlagen an deren Enden, was auch zu geringeren Austriebsraten führen kann. Dies ist zusammen mit den nicht besonders gut angewachsenen und austreibenden Weidenspreitlagen der Grund für den geringen Deckungsgrad in Plot 2. In den unteren beiden Plots zeigt sich die Weidenspreitlage mit einem dichten Bewuchs. Plot 3 hat mehr Sprosse aus dem mittleren Durchmesserbereich als Plot 4, welcher aber die größten Durchmesser aufweist. Die oberirdische Trockenbiomasse ist in Plot 4 am höchsten.

Im Vergleich der Jahre 2008 – 2011 ist ein stetiger Anstieg der Biomasse der Äste zu sehen, jedoch gab es 2011 nur einen geringen Zuwachs der oberirdischen Biomasse des Sektors, was wahrscheinlich auf die außergewöhnlich trockenen Monate August und September zurückführen ist (BERGAUER, 2013). Gegenüber 2010 ist nur die Biomasse der Äste in den Plots 3 und 4 verhältnismäßig gering gestiegen, während die Plots 1 und 2 einen Rückgang verzeichnen.

Die Biomasse der Blätter ist seit Beginn der Aufnahmen (2008) zum ersten Mal gestiegen. Dies ist als Ausgleichsreaktion der Verringerung der Wurzelmassen aufgrund von Trockenheit zu sehen, hängt aber auch mit den unterschiedlichen Erntezeitpunkten und dem damit unterschiedlichen Blattfall zusammen.

Die Wurzelbiomasse nimmt 2011 von Plot 1 weg bis Plot 4 sukzessive zu. Eine Folge der Trockenheit und der plattenförmigen Verdichtung des Dammes, die die Wurzeln entlang der Oberfläche in die nachfolgenden Plots nach unten wachsen lassen.
Im Jahr 2011 wurde deutlich weniger Biomasse der klassifizierten Wurzeln von 0 - 2 mm, von 2 - 5 mm und > 5 mm Durchmessern gegenüber 2010 in den Plots erhoben. In den ersten beiden Plots, deren Wurzelbiomasse sich für die Durchmesser von 2 - 5 mm im Jahr zuvor (2010) etwa verdoppelten, gingen die Wurzelbiomassen wieder etwa auf den Stand von 2009 zurück.
Die Wurzelmasse der Klasse > 5 mm scheint ebenso wegen Trockenheit abgenommen zu haben. Insgesamt konnte ein sehr hoher Anteil an Feinwurzeln gegenüber den mittleren- und den Grobwurzeln festgestellt werden.
Der Rückgang der Wurzelmasse von 2011 zeigt sich auch im Wurzel – Spross – Verhältnis. Die sehr niederschlagsarmen und sonnenreichen Monate August und September 2011 verringerten die Wurzelmasse und als Ausgleichsreaktion, um die unterirdische Funktion der Weidenspreitlagen und der Pflanzen als Ganzes aufrecht zu erhalten, gab es einen im Verhältnis zur Wurzelbiomasse großen Zuwachs der oberirdischen Biomasse der Äste und auch der Blätter. Der Jahresvergleich der Durchwurzelung ist aufgrund des jährlichen Abtrages am Sektor 13 als schwierig zu bewerten, weil die Bedingungen an verschiedenen Stellen des Sektors nicht absolut dieselben sind.

Die maximale Durchwurzelungstiefe hat 65 cm nicht überschritten, was ebenfalls einen Rückgang gegenüber dem Vorjahr bedeutet.

**Vergleich Sektor 3 und 13**

Im Vergleich des ostexponierten Sektors 3 mit dem südexponierten Sektor 13, die beide 2008 mit einer Weidenspreitlage quer bepflanzt wurden, sieht man, wie stark die außergewöhnlich trockenen Monate August und September des Jahres 2011 das Wachstum der Weiden beeinflusst. Der südexponierte Sektor 13 zeigt einen Anstieg der Sprosszahlen von oben nach unten. In Plot 4 finden wir die längsten Weidensprosse mit der größten Trockenbiomasse. Die besseren Wasserverhältnisse sowie die bessere windgeschützte Lage in den unteren Plots zeigt Wirkung. Auch über die unterirdischen Trockenbiomassewerte lässt sich eine starke Beeinflussung des Weidenbewuchses durch Trockenheit nachvollziehen.

Durch die Ostexposition des Sektor 3 und die oben beschriebene Beschattung ist umgekehrt zu Sektor 13 die Anzahl der Sprosse pro m² in den beiden oberen Zeilen höher. Der mittlere Durchmesser der Sprosse steigt im Gegensatz zu Sektor 13 mit fallender Anzahl an Sprossen pro m² in den Zeilen bzw. in den Plots. Die Trockenbiomasse der 4. Zeile des Sektors 3 ist die geringste. Die höchsten Trockenbiomassewerte zeigen der Mittelteil (Zeile 2 und 3 sowie der mittlere Column), aber auch Zeile 1. Der mittlere Teil (Sektor 3) ist somit gegenüber Sektor 13 sehr ausgeglichen. In Bezug auf die Trockenbiomasse der Blätter ist zu berücksichtigen, dass die Ernte an beiden Sektoren sowie im Jahresvergleich an unterschiedlichen Zeitpunkten stattfand und deshalb ein Vergleich als eher schwierig zu interpretieren ist.

**Vergleich Sektor 9 und 11**

Die beiden nebeneinanderliegenden und ostexponierten Sektoren 9 und 11 sind sich trotz unterschiedlicher Bauweise relativ ähnlich. Beide befinden sich 2011 in der fünften Vegetationsperiode. Der 2007 im Bereich der Flutungsmulden beschädigte Sektor 9, eine Weidenspreitlage längs, weist einen weniger dichten Bestand auf. Die Anzahl der Sprosse (n = 10) der Zeile 1 ist im Verhältnis zu Sektor 11, der Weidenspreitlage quer, (n = 41) gering. Weniger Sprosse stehen einer recht gut ausgebildeten Zeile 1 auch im Bezug zur oberirdischen Biomasse des Sektors 11 gegenüber. In den mittleren Zeilen 3 und 4 wurde eine geringere Anzahl an Sprossen gegenüber den umliegenden Zeilen in beiden Sektoren festgestellt. Im Durchschnitt sind die Sprosse der Zeilen 3 und 4 etwas länger als in Zeile 1 und 2, eine Folge von Konkurrenz. In Zeile 5 sind die Weidensprosse des Sektors 9 am längsten. Die kürzeren Sprosse in den oberen Zeilen haben im Verhältnis zur Länge etwas höhere Durchmesser. In den Zeilen von Sektor 11 steigen die Durchmesser mit den Längen.

Die Anzahl der Sprosse pro m² des mittleren Columns ist in beiden Sektoren geringer als in den umliegenden Columns. Dies ist auch auf die Überflutungsmulden und der folgenden Beeinträchtigung des Wachstums nach Dammflutungsversuchen zurückzuführen.
Im Sektor 11 ist die von der Böschungsunterkante aus gesehen linke Seite (C3) in Bezug auf die Anzahl der Sprosse pro m² gegenüber der rechten Seite (C2) recht schlecht ausgebildet. Die oberirdische Trockenbiomasse dieses Bereiches stellt sich jedoch als normal bzw. gut entwickelt dar, was eine Folge der nahen Lehmtrennschicht zwischen Sektor 11 und 12 sein kann, denn der Lehm speichert Wasser, was den Weidenspreitlagen zugutekommt. Die Trockenbiomasse des Sektors 9 wird ähnlich wie am Sektor 3 durch die Lage quer, in diesen Fall zu Sektor 13, beeinflusst. Die Beschattung von Osten her und die Beschattung von Süden durch den Weidenbewuchs selbst spielt eine Rolle.

# 9 Resümee

Der Einfluss der Weidenspreitlagen und der besonderen Eigenschaften der Weiden für die Standsicherheit von Dämmen sowie für die Ökologie, das Landschaftsbild und die wirtschaftlichen Faktoren lässt sich durch diese Arbeit nur bedingt beschreiben.
Da für diese Untersuchungen mit der Verwendung von nur einer Weidenart – Salix purpurea – auf einem stark verdichteten Damm ohne Oberboden gearbeitet wurde, kann man von speziellen Bedingungen sprechen. Herkömmliche Dämme unterscheiden sich schon im Aufbau durch einen humosen Oberboden. Über unsere Spreitlagen wurde lediglich eine nur wenige Zentimeter mächtige Humusschicht zur Abdeckung und Anwurzelung der Weidenspreitlagen aufgetragen. Somit konnte die Entwicklung der Bepflanzung in diesen sehr homogenen und pflanzwidrigen Bedingungen nicht mit anderen Dämmen mit humosem Oberboden verglichen werden.

Nach dem 43 tägigen Einstauversuch zur Untersuchung der Durchsickerung von 2011 konnten keine Schäden am Damm, am Gräser - Kräuterbewuchs und am Weidenbewuchs der Sektoren 4 und 2 sowie 3 und 1 festgestellt werden. Der Gräser – Kräuterbewuchs zeigt zu Beginn des Einstaus an Messpegel 1 Unterschiede zum Gehölzbewuchs, da hier sofort eine wenn auch nur geringe Durchfeuchtung festgestellt wurde. Die Sickerlinie beider Messprofile bleibt auch nach 43 Tagen des Einstaus nahe der landseitigen Böschung sehr niedrig. Daher gibt es auch keine Schäden an der landseitigen Böschung. Die Durchsickerungsversuche zeigen nur geringfügige, nicht aussagekräftige Unterschiede der Sickerlinienhöhen.

Die Untersuchungen im Jahr 2011 und die der letzten Jahre zeigen in Bezug auf die oberflächennahe und unterirdische Dammstabilität die erwünschten Resultate. Der geringe Anteil an dicken, sowie mittleren Wurzeln steht besonders 2011 einer dichten, homogenen Feinwurzel-Matte, die etwa in eine Tiefe bis 35 cm reicht, gegenüber. Dadurch lassen sich sehr gute Eigenschaften zur schnellen Entwässerung des Dammes und zur langsamen Durchsickerung, besonders zu Beginn des Einstaus ableiten. Die Weidenspreitlagen bieten einen guten Schutz vor Oberflächenerosion. Die Feinwurzel-Matte mit den vielen elastischen Weidensprossen bietet bei Überströmung einen dauerhaften Schutz und zeigt – wegen der noch geringen Sprossdurchmesser – auch im Jahr 2011 keine Notwendigkeit zum Rückschnitt. Der dichte Bewuchs gibt Schutz vor Rissen etwa durch Trockenheit und extremen Temperaturunterschieden.
Bei den Wurzelgrabungen und Profilgrabungen konnten keine inneren und äußeren Erosionsschäden des Dammes festgestellt werden, obgleich die Durchwurzelungstiefe zurückging. Es wurden keine Hohlräume beobachtet.

Der Bau von stark verdichteten Dämmen mit kaum organischen Substanzen an der Oberfläche und damit wenig biologischer Aktivität in Verbindung mit den Weidenspreitlagen quer und auch längs scheinen eine vernünftige Lösung für viele künftige Wasserschutzbauten und Sicherungsarbeiten zu sein. Im Zusammenwirken dieser Wurzel - Bodenmatrix und den Weidensprossen kann von einem guten oberflächennahen Schutz und der Dammstruktur gesprochen werden.

Es sind in jedem Fall weitere Untersuchungen rund um das Thema Weidenbewuchs in Deutsch-Wagram und an Hochwasserschutzdämmen generell notwendig, denn die Komplexität der beteiligten Prozesse verlangt schon in den Grundlagen nach intensiver Auseinandersetzung. Selbst die Literaturrecherche gestaltete sich als schwierig. Sie bezieht sich eher auf einen bereits bestehenden und gemischten Bewuchs von Bäumen und kaum auf strauchförmige Gehölze an Dämmen. Hier gibt es sicherlich noch Bedarf an Forschung, um die wohl eher einseitigen literarischen Darstellungen zu ergänzen. Im Zuge dieses Projektes werden weitere Untersuchungen stattfinden und somit einige der gewonnenen Erkenntnisse bestätigt werden, um die Brauchbarkeit eines solchen Weidenbewuchses an Dämmen - unter verschiedensten Ausgangssituationen - zu bewerten.

# 10 Literaturverzeichnis

**Regelwerke**

DIN 19712 (1997): Flussdeiche; Deutsches Institut für Normungen e. V. (DIN)

DVWK Merkblatt 210 (1986): Flussdeiche; Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK), Verlag Paul Paray, Hamburg, Berlin

DVWK Merkblatt 226 (1993): Landschaftsökologische Gesichtspunkte an Flussdeichen; e. V. (DVWK), Verlag Paul Paray, Hamburg, Berlin

BLA (Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft) (1984): Hinweise zur standortgemäßen Bepflanzung von Flussdeichen, Stauhaltungsdämmen und Vorländern; Merkblatt Nr. 5.1/1, München (PDF)

ÖNORM 4401 (1980): Erd- und Grundbau; Erkundung durch Schürfung und Bohrungen sowie Entnahme von Proben

**Benützte Literatur**

BERGAUER (2013): Klimadaten, Wetterstation Deutsch-Wagram; http://www.bergauer.priv.at/toni/dwklima.htm, (16.04.2013)

BLUME (1991): Handbuch des Bodenschutzes, Bodenökologie und – belastung, vorbeugende und abwehrende Schutzmassnahmen; Landsberg, Ecomed

COPPIN N. J., RICHARDS I. G. (1990): Use of vegetation in Civil Engineering; CIRIA, London

DÖSCHER H. D. (1999): Die Standsicherheit von Flussdeichen und Dämmen unter Berücksichtigung der Vegetationsdecke; In: Ingenieurbiologie Flussdeiche und Flussdämme – Bewuchs und Standsicherheit; S. 73-83; HACKER E., PFLUG W., (Hrsg.); Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingeneurbiologie, Achen

FIEDLER H. J. (2001): Böden und Bodenfunktionen in Ökosystemen, Landschaft und Ballungsgebieten; Expert Verlag 2001, 71272 Renningen, S. 275
http://books.google.at/books?id=grwn4CvMS70C&pg=PA275&lpg=PA275&dq=mikrobielle+diversit%C3%A4t+boden&source=bl&ots=OKqkxMHPxf&sig=l__7zXbR-AS-Pd_zveP7akwf-Z4&hl=de&sa=X&ei=vJ7MUKCyHozdsgaf_4GgDA&ved=0CHoQ6AEwCTgK#v=onepage&q=mikrobielle%20diversit%C3%A4t%20boden&f, (12.11.2011)

FITTER A. H. (1985): Functional significance of root morphology and root system architecture; In: FITTER A.H., ATKINSON D., READ D.J.: Ecological interaction in soil; Oxford, Blackwell Scientiffic Publications, S. 87 - 106

FLORINETH F. (2004): Pflanzen statt Beton – Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik; Patzer Verlag, Berlin, Hannover

FLORINETH F. (2012): Pflanzen statt Beton - Sichern und Gestalten mit Pflanzen;
Patzer Verlag, Berlin, Hannover, 2. Auflage

HARTGE K. H. (1985): Wechselbeziehung zwischen Pflanze und Boden bzw. Lockergestein unter besonderer Berücksichtigung der Standortverhältnisse auf neu entstandenen Böschungen; In: Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen; Jahrbuch der Gesellschaft für Ingenieurbiologie 2/85; Sepia Verlag, Aachen

HARTIG K. H., HORN R. (1999): Einführung in die Bodenphysik; Ferdinand Enk Verlag, Stuttgard

HARTIG K. H., HORN R. (1992): Die physikalische Untersuchung von Böden; Ferdinand Enk Verlag, Stuttgart

HASELSTEINER R. (2007): Hochwasserschutzdeiche an Fließgewässern und ihre Durchsickerung; Dissertation; Technische Universität München;
http://www.drhaselsteiner.de/papers/Haselsteiner_paper022_diss.pdf (13.09.2012)

HASELSTEINER R. (2007): Hochwasserschutzdeiche an Fließgewässern und ihre Durchsickerung; Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft – TU München (PDF)

HASELSTEINER R., STROBL Th. (2005): Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Deichsanierung, Endbericht Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft; Technische Universität München

HASELSTEINER R., STROBL Th. (2005): Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Deichsanierung; Endbericht, Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft; Technische Universität München; http://www.dr-haselsteiner.de/reports/Report001.pdf (30.09.2012)

HEWITT J. S., DEXTER A. R. (1984): The behavior of roots encountering cracks in soil; Waite Agricultural Research Institute; University of Adelaide; Glen Osmond, South Australia 5064

HOLZAPFEL G. (2008): Gehölzstrukturen an Hochwasserschutzdämmen unter besonderer Berücksichtigung der Überströmung; Diplomarbeit am Institut für Ingenieursbiologie und Landschaftsbau, BOKU Wien

INSTITUT FÜR BIOMETRIE UND KLINISCHE FORSCHUNG (s.a.): Boxplot; http://jumbo.uni-muenster.de/index.php?id=24 (12.04.2012)

KRAUS C. (1985): Untersuchungen über die Bewurzelung der Kulturpflanzen in physiologischer und kultureller Beziehung; W. Agrikulturphysik 18, S. 113 - 166

KÖSTLER J. N., BRÜCKNER E., BIBELREITER H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume, Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa; Parey Verlag, Hamburg

KUTSCHERA L., LICHTENEGGER E. (2002): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher; Leopold Stocker Verlag, Graz, Stuttgart

LAMMERANNER W., FLORINETH F. (2013): Endbericht Gehölzstrukturen an Dämmen und Deichen Phase 3, Forschungsbericht, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur, Wien

LAST F. T., MASON P. A. (1983): Fine roots and sheathing mycorrhizas – their formation, function and dynamic; Institute of Terrestrial Ecology; Bush Estate, Penicuik, Midlothian, EH26 OQB, Scotland

LESZCYNSKI J., (2011): Gehölzstrukturen an Hochwasserschutzdämmen unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung von Weidengehölzen an Hochwasserschutzdämmen; Diplomarbeit am Institut für Ingenieursbiologie und Landschaftsbau, BOKU Wien

MAHESHWARI D. K. (2010): Plant Growth and Health Promoting Bacteria; Springer Verlag, Berlin

POLOMSKI J., KUHN N. (1998): Wurzelsysteme; Paul Haupt Verlag, Bern, Stuttgart, Wien

PREGL O. (1999a): Handbuch der Geotechnik Band 9 – Wasser im Untergrund; Eigenverlag Universität für Bodenkultur, Wien

RAJIC F. (2009): Gehölzstrukturen an Hochwasserschutzdämmen unter besonderer Berücksichtigung der Vegetationsentwicklung am Überströmungsdamm in Deutsch-Wagram (NÖ); Univ. für Bodenkultur, Wien

ROLOFF, A. (2008): Baumpflege, Baumbiologische Grundlagen und Anwendung;
Ulmer Verlag, Stuttgart

SMITH S. E., READ D.J. (2010): Mycorrhizal Symbiosis; Academic Press, New York

SCHEFFER, F., SCHACHTSCHNABEL, P. et al. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde;
Spektrum, Akademischer Verlag Heidelberg, 16. Auflage

SCHICHTING E., BLUME H. P., STAHR K. (1995): Bodenkundliches Praktikum, Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler; Blackwell Wissenschaftsverlag Berlin/ Wien, 2. Auflage

SCHIECHTL H. M., STERN R. (1992): Handbuch für naturnahen Erdbau; Österreichischer Agrarverlag, Wien

SCHRÖDER, D. (1992): Bodenkunde in Stichworten; Stuttgard: Bornträger, Berlin, 2. Auflage

TRAXLER A. (1997): Handbuch des vegetationsökologischen Monitorings - Methoden, Praxis, angewandte Projekte, Teil A: Methoden; Umweltbundesamt (Federal Environment Agency), Wien