

Optimierung des Steckholzwachstums am Beispiel von *Salix humboldtiana* und *Phyllanthus sellowianus* in Südbrasilien

Diplomarbeit von

Marion Aschbacher

H419 - 0340582

Betreuer:

O. Univ. Prof. Dr. phil. Florin FLORINETH

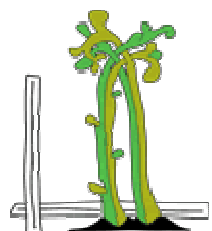
Univ. Ass. Dr. DI Hans Peter RAUCH

Dr. DI Fabricio J. SUTILI (Universidade Federal de Santa Maria - Südbrasilien)

Wien, März 2009



Universität für Bodenkultur, Wien
Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau



Danke...

An alle, die mir bei der Erstellung der Diplomarbeit geholfen haben:
den Professoren O. Univ. Prof. Dr. Florin Florineth, Univ. Ass. Dr. Hans Peter Rauch, Dr. Fabricio Sutili und Prof. Miguel Durlo und natürlich Birgit für die super Zusammenarbeit.

Zusammenfassung

Im Rahmen des seit Februar 2008 in Rio Grande do Sul laufenden Forschungsprojekts „Pflanzen für Ingenieurbauwerke: eine Analyse ausgewählter Kriterien für einen nachhaltigen Bodenschutz in Südbrasilien“ (eine Zusammenarbeit zwischen der Universität für Bodenkultur Wien und der Universidade Federal de Santa Maria), bot sich für uns die Gelegenheit in Santa Maria die praktischen Arbeiten für unsere Diplomarbeit durchzuführen. Es wurde die Steckholzentwicklung der Arten *Salix humboldtiana* und *Phyllanthus sellowianus* nach unterschiedlichen Einlagetechniken untersucht. Die Entwicklung von Sprossen und Wurzeln unter 5 unterschiedlichen Einlageverhältnissen (1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16) ergab unter den gegebenen Versuchsbedingungen nach 4 Monaten, dass die Stekhölzer von *Salix humboldtiana* sich am besten in den Einlageverhältnissen 1:2, 1:4 und 1:8 entwickelten. In den Einlageverhältnissen 1:1 und 1:16 wurden die meisten Ausfälle (Stekhölzer ohne Sprossentwicklung) festgestellt. Es gab zwischen den Einlageverhältnissen keine signifikanten Unterschiede; im Einlageverhältnis 1:8 wurden die meisten und längsten Wurzeln ausgebildet. Im Versuch zu den 3 unterschiedlichen Einlagewinkeln (10°, 45°, 90°) mit *Phyllanthus sellowianus* ergab die Auswertung der Daten nach 2 Monaten, dass ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in der Steckholzentwicklung bestehen. Der Versuch zu den Einlagewinkeln wurde in zwei unterschiedlichen Substraten, nämlich in Sand und in Wasser, durchgeführt. Im Winkel 10° zeigte sich im Sand die durchschnittlich größte Wurzellänge und das höchste mittlere Trockengewicht der Wurzeln. Im Versuch Wasser hingegen kristallisierte sich der Einlagewinkel 45° hinsichtlich oberirdischer sowie unterirdischer Biomasse als vergleichsweise bester heraus. Zudem wurde je nach Einlagewinkel eine unterschiedliche Verteilung der Wurzeln am Steckholz erwartet. Diese Hypothese konnte jedoch nur im Substrat Wasser bestätigt werden. Im Substrat Sand bildeten sich die Wurzeln in allen 3 Einlagewinkeln hauptsächlich an der Basis des Steckholzes aus.

Schlüsselworte: Ingenieurbiologie, Südbrasilien, Steckholzentwicklung, *Salix humboldtiana*,
Phyllanthus sellowianus

Abstract

Since February 2008 in Rio Grande do Sul the project “Plants for civil engineering structures: Analyses of selected criteria for sustainable soil protection in Southern Brazil” –a cooperation of the University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU), Vienna and the Universidade Federal de Santa Maria (UFSM - Southern Brazil)- is in progress. In context of this project the development of live stakes of the species *Salix humboldtiana* and *Phyllanthus sellowianus* was investigated. The development of shoots and roots was tested in 5 different proportions (1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16) and 3 different angles (10°, 45°, 90°). The analysis indicated that the live stakes of *Salix humboldtiana* showed the best biomass development in the proportions 1:2, 1:4 and 1:8. No significant differences were found between them, only the proportion 1:8 showed the most and longest root development. In the proportions 1:1 and 1:16 there were the most live stakes without shoot-development. The live stake's development of *Phyllanthus sellowianus* was investigated under 3 different angles and in 2 different substrates, in sand and water. The sand-experiment revealed no significant difference in the development of biomass between the different angles. The angle 10° showed in sand the best mean root length and dry weight of roots. In the water-experiment the angle of 45 ° showed the best average development of biomass. The distribution of roots on the live stakes was expected to depend on the angle. This hypothesis was only confirmed in the water-experiment. The sand-experiment to the angles indicated that roots developed in all 3 angles mainly at the base.

Keywords: Soil bio-engineering, Southern Brazil, live stake's development, *Salix humboldtiana*, *Phyllanthus sellowianus*

Resumo

Em nome do projeto de pesquisa “Plantas para engenharia: análise de critérios para uma proteção efetiva do solo no Sul do Brasil” (um trabalho conjunto entre a Universidade Federal de Santa Maria e a Universität für Bodenkultur Wien), que, desde fevereiro de 2008 desenvolve-se no Estado do Rio Grande do Sul / Brasil, tornou-se possível a realização, em Santa Maria, deste trabalho de diplomação.

O desenvolvimento de estacas (reprodução vegetativa) das espécies *Salix humboldtiana* e *Phyllanthus sellowianus* foi acompanhado sob diferentes técnicas de plantio. O desenvolvimento do sistema radicular e dos brotos em 5 diferentes proporções de plantio (1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16) foi avaliado após 4 meses do plantio, mostrando que as estacas de *Salix humboldtiana* tiveram um melhor desenvolvimento quando plantadas nas proporções de 1:2, 1:4 e 1:8. As proporções de 1:1 e 1:16 apresentaram o maior número de estacas sem brotos ou raízes. Entre as proporções de plantio testadas não houve uma diferença estatística significativa, no entanto, a proporção de 1:8 apresentou um maior número de raízes, bem como, raízes mais longas. No experimento onde foram testados 3 diferentes ângulos de plantio (10°, 45° e 90°) utilizou-se a espécie *Phyllanthus sellowianus* e os dados foram coletados após 2 meses do plantio. Da mesma maneira, não se verificou uma diferença significativa entre os ângulos de plantio. Os ângulos de plantio foram testados em dois substratos distintos: areia e água. O ângulo de 10° apresentou em média, em substrato arenoso, raízes mais longas e uma maior massa seca de raízes. Com substrato água foi o ângulo de 45° que apresentou, comparativamente, a maior capacidade de produzir biomassa, tanto de raízes como de brotos. Esperava-se para cada ângulo de plantio uma variação na distribuição das raízes ao longo da porção enterrada da estaca. Essa hipótese só pôde ser confirmada no experimento que usou água como substrato. Em areia todos os ângulos produziram predominantemente raízes na base das estacas.

Palavras-chave: Engenharia Natural, Bioengenharia de Solos, Sul do Brasil, desenvolvimento vegetativo, *Salix humboldtiana*, *Phyllanthus sellowianus*

Vorwort

Die Versuche zur vorliegenden Diplomarbeit wurden bei einem gemeinsamen Auslandsaufenthalt in Südbrasilien an der Universidade Federal de Santa Maria durchgeführt. Die Erhebung und Auswertung der Daten sowie die Niederschrift der einzelnen Kapitel erfolgten größtenteils gemeinsam. Um eine getrennte Beurteilung zu ermöglichen, wurden einzelne Kapitel einem Hauptautor zugeordnet; diese sind im Inhaltsverzeichnis gekennzeichnet. Die nicht gekennzeichneten einführenden und abschließenden Kapitel wurden gemeinsam verfasst.

Wien, März 2009

Marion Aschbacher

Birgit Müller

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
2. PFLANZENANATOMISCHE GRUNDLAGEN (MÜLLER)	3
2.1. Die Sprossachse	3
2.2. Die Wurzel	5
3. DIE BIOLOGISCH- TECHNISCHEN EIGENSCHAFTEN VON PFLANZEN	8
3.1. Biologische Eigenschaften und Fähigkeiten von Pflanzen (Müller)	9
3.1.1. Die Anpassungsfähigkeit	9
3.1.2. Die Regenerationsfähigkeit	9
3.1.3. Die Fähigkeit zur vegetativen Vermehrung	9
3.1.4. Die Fähigkeit zur Sprosswurzelbildung - Überschüttbarkeit	16
3.1.5. Die Fähigkeit zur Überstaubarkeit	16
3.1.6. Die Fähigkeit zur Rohbodenbesiedelung	16
3.2. Technische Eigenschaften von Pflanzen (Aschbacher)	17
3.2.1. Der Erosionsschutz	17
3.2.2. Die Bodendurchwurzelung (mechanische Anker- und Dübelwirkung)	18
3.2.3. Die Bodenentwässerung und Standsicherheit	18
3.2.4. Die Elastizität und Biegefestigkeit	19
3.2.5. Der Auszugwiderstand	20
3.2.6. Die Scherfestigkeit	21
4. PFLANZENMATERIAL (ASCHBACHER)	23
4.1. Artbeschreibung <i>Salix humboldtiana</i> (Humboldt-Weide)	23
4.2. Artbeschreibung <i>Phyllanthus sellowianus</i>	26
5. UNTERSUCHUNGSGEBIET (ASCHBACHER)	29
5.1. Lage	29
5.2. Klima	30
5.3. Geomorphologie und Geologie	32
5.4. Wasserläufe und deren Erosionsprobleme	33
5.5. Ursprüngliche und aktuelle Vegetation	34

6. VERSUCH EINLAGEVERHÄLTNIS IN SAND MIT SALIX HUMBOLDTIANA (MÜLLER)	37
6.1. Ziel	37
6.2. Material und Methodik	37
6.2.1. Pflanzmaterial	38
6.2.2. Versuchsaufbau	39
6.2.3. Instandhaltungsmaßnahmen des Versuches	41
6.2.4. Datenerhebung	41
6.3. Ergebnisse	45
6.3.1. Ergebnisse der Steckholzuntersuchung	48
6.3.2. Ergebnisse der Sprossentwicklung	48
6.3.3. Ergebnisse der Wurzelentwicklung	52
6.4. Diskussion und Interpretation	59
 7. VERSUCH EINLAGEWINKEL IN SAND MIT PHYLLANTHUS SELLOWIANUS (ASCHBACHER)	 64
7.1. Ziel	64
7.2. Material und Methodik	64
7.2.1. Pflanzmaterial	65
7.2.2. Versuchsaufbau	66
7.2.3. Instandhaltungsmaßnahmen des Versuches	69
7.2.4. Datenerhebung	69
7.3. Ergebnisse	72
7.3.1. Ergebnisse der Steckholzuntersuchung	75
7.3.2. Ergebnisse der Sprossentwicklung	75
7.3.3. Ergebnisse der Wurzelentwicklung	78
7.4. Diskussion und Interpretation	85
 8. VERSUCH EINLAGEWINKEL IN WASSER MIT PHYLLANTHUS SELLOWIANUS	 91
8.1. Ziel	91
8.2. Material und Methodik	91
8.2.1. Pflanzmaterial	92
8.2.2. Versuchsaufbau	92
8.2.3. Instandhaltungsmaßnahmen des Versuches	94
8.2.4. Datenerhebung	95
8.3. Ergebnisse	96
8.3.1. Ergebnisse der Spross- und Wurzelentwicklung von Phyllanthus sellowianus nach 1 Monat	98
8.3.2. Ergebnisse der Steckholzuntersuchung von Phyllanthus sellowianus nach 2 Monaten	99
8.3.3. Ergebnisse der Sprossentwicklung von Phyllanthus sellowianus nach 2 Monaten	100

8.3.4. Ergebnisse der Wurzelentwicklung von <i>Phyllanthus sellowianus</i> nach 2 Monaten	103
8.4. Diskussion und Vergleich der Ergebnisse	113
8.4.1. Vergleich der Sprossentwicklung in Sand und Wasser	113
8.4.2. Vergleich der Wurzelentwicklung in Sand und Wasser	116
9. SCHLUSSFOLGERUNG	122
10. ZUSÄTZLICHE ARBEIT IM RAHMEN DES PROJEKTES	124
10.1. Versuch Auszugwiderstand	124
10.1.1. Ziel	124
10.1.2. Material und Methodik	124
11. LITERATURVERZEICHNIS	131
12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	135
13 TABELLENVERZEICHNIS	145
14. ANHANG	147
14.1. Arbeitstagebuch	147
14.2. Tabellen Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i>	149
14.2.1. Tabelle zur Steckholzuntersuchung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i>)	149
14.2.2. Tabelle zur Sprossentwicklung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i>)	152
14.2.3. Tabelle zur Wurzelentwicklung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i>)	155
14.3. Tabellen Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i>	159
14.3.1. Tabelle zur Steckholzuntersuchung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i>)	159
14.3.2. Tabelle zur Sprossentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i>)	161
14.3.3. Tabelle zur Wurzelentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i>)	163
14.4. Tabellen Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i>	165
14.4.1. Tabelle zur Steckholzuntersuchung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i>)	165
14.4.2. Tabelle zur Sprossentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i>)	166
14.4.3. Tabelle zur Wurzelentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i>)	167
14.4.4. Tabelle zur Wurzelentwicklung in den unterschiedlichen Steckholzabschnitten (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i>)	168

1. Einleitung

Ingenieurbiologie ist eine bautechnische Fachdisziplin, die die Technik und Verwendung von Pflanzen für Sicherungsarbeiten beschreibt (FLORINETH 2008, S. 5). Kennzeichnend für ingenieurblogische Baumaßnahmen ist der Einsatz von lebendem Material.

In Europa, vor allem in Deutschland, werden ingenieurblogische Bauweisen zur Sicherung von Ufern, Hängen und Böschungen schon seit 150 Jahren angewandt (DURLO et al. 2005, S. 114). Nach dem 2. Weltkrieg wurden die Sicherungsarbeiten mit lebendem Material durch den Einsatz von Beton größtenteils verdrängt. Hugo Meinhard SCHIECHTL (1922 – 2002) hat in den 50er Jahren die Ingenieurblogie wieder aufleben lassen und durch Vorträge, Lehrveranstaltungen und unzählige Publikationen den Einsatz von Pflanzen bei Sicherungsbauweisen stark forciert (FLORINETH 2004, S. 11 – 12). Durch die Pflanzen ergibt sich eine erosionshemmende Wirkung, welche dauerhaft und nachhaltig stabilisierend wirkt.

In Südbrasilien ist die Ingenieurblogie erst wenig bekannt und erst im letzten Jahrzehnt werden ingenieurblogische Bauweisen vermehrt angewandt. Die lokalen Kleinbauern sehen in diesen Bauweisen eine Möglichkeit zur Sanierung von Uferabbrüchen, welche die Landnutzung erschweren (DURLO et al. 2004, S. 115).

Daher wird in den letzten Jahren vermehrt Grundlagenforschung betrieben, um geeignetes, heimisches Pflanzenmaterial für den Einsatz in der Ingenieurblogie zu finden. Fabricio J. SUTILI (2007) hat in seiner Dissertation „Ingenieurblogie an Fließgewässern in Südbrasilien“ bereits Grundlagenforschung hinsichtlich geeigneter Pflanzen in Südbrasilien durchgeführt. Laut seiner Forschungsergebnisse wurden vier der untersuchten Arten für geeignet empfunden: *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana*, *Phyllanthus sellowianus* und *Salix x rubens*. Auf SUTILIS Doktorarbeit aufbauend wird in der vorliegenden Diplomarbeit die Steckholzentwicklung zweier von ihm empfohlenen Pflanzen, nämlich *Salix humboldtiana* und *Phyllanthus sellowianus*, näher untersucht.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, das Steckholzwachstum in unterschiedlichen Einlageverhältnissen und Einlagewinkeln zu untersuchen. Die in der Fachliteratur empfohlenen Einlageverhältnisse und Einlagewinkel beruhen auf Erfahrungswerten. Anhand von Feldversuchen und einer statistischen Analyse sollen die Empfehlungen in der vorliegenden Arbeit überprüft werden. Am Beispiel von *Salix humboldtiana* wird getestet, in welchem Einlageverhältnis (1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16) die Steckhölzer die vergleichsweise beste Spross- und Wurzelentwicklung (Biomassenentwicklung) zeigen. Laut FLORINETH (2004, S. 28 – 29) sollte ein Steckholz mit einer Länge von 40 – 100 cm Länge 5 – 8 cm aus der Erde ragen. SCHIECHTL (2002, S. 56) gibt hingegen an, dass ein Steckholz nur wenig bis maximal zu einem Viertel aus der Erde ragen darf. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass das Einlageverhältnis Einfluss auf das Steckholzwachstum hat: Je größer das Volumen des Steckholzes über bzw. unter der Erde ist, desto mehr wird ober- bzw. unterirdische Biomasse ausgebildet. Am

Beispiel von *Phyllanthus sellowianus* wird getestet, in welchem Einlagewinkel (10°, 45°, 90°) die Steckhölzer die vergleichsweise beste Spross- und Wurzelentwicklung zeigen. FLORINETH (2004, S. 29) führt an, dass Steckhölzer sehr gut anwachsen, wenn sie nur leicht schräg in die Erde gesteckt werden. Die Hypothese zu diesem Versuch lautet, dass der Einlagewinkel Einfluss auf das Steckholzwachstum sowie auf die Verteilung der Sprosse und Wurzeln am Steckholz hat. Es wird erwartet, dass bei einem flacheren Winkel (10°) die Bewurzelung gleichmäßig am übererdeten Steckholzabschnitt einsetzt, wie auch FLORINETH (2004, S. 29) schreibt.

Die in dieser Diplomarbeit angewandte **Methodik** ist eine empirische Untersuchung, in der gezielt Versuche (in Sand und bei regelmäßiger Bewässerung) angelegt wurden. Die erhobenen Daten zur Spross- und Wurzelentwicklung (Biomassenentwicklung) bilden die Grundlage der anschließenden, statistischen Datenauswertung. Die Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf das Steckholzwachstum der Art *Salix humboldtiana* in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen und der Art *Phyllanthus sellowianus* in den unterschiedlichen Einlagewinkeln zu.

Als Biomasse wird im Allgemeinen das gesamte ober- und unterirdische, organische Material in einem Ökosystem bezeichnet (STANGL 2008, S. 159). Im Rahmen der folgenden Diplomarbeit wird als unterirdische Biomasse der Steckhölzer die gesamte Wurzelentwicklung gewertet und zur oberirdischen Biomasse der Steckhölzer werden alle Sprosse samt Blattmasse gezählt. Das Steckholz selbst wird nicht als neue Biomasse miteinbezogen.

2. Pflanzenanatomische Grundlagen

Da im Rahmen der Diplomarbeit mit Pflanzenmaterial gearbeitet wird, werden einleitend die pflanzenanatomischen Grundlagen, der morphologische Aufbau einer Pflanze sowie die Funktionen der Grundorgane erläutert. Der Aufbau der verschiedenen Pflanzenorgane wird beschrieben, um ein besseres Verständnis für ihre Funktionen zu erlangen.

Eine Pflanze wird morphologisch in drei Grundorgane unterteilt:

- Blatt,
- Sprossachse und
- Wurzel.

2.1. Die Sprossachse

Die Sprossachse stellt die Verbindung zwischen Blatt und Wurzel dar. Sie gewährleistet die Stoffleitung zwischen diesen beiden Grundorganen und kann zusätzlich Stoffe speichern. Auch Photosynthese kann von der Sprossachse betrieben werden. Außerdem sorgt sie für die oberirdische Stabilität der Pflanze (KÜCK 2002, S. 45).

Primärer Bau der Sprossachse

Betrachtet man eine Sprossachse im Längsschnitt, lässt sich diese in vier Abschnitte einteilen (siehe Abb. 1):

- der Vegetationskegel (Embryonalzone),
- die Determinationszone,
- die Differenzierungszone und
- der Bereich des sekundären Dickenwachstums.

Die Sprossachse entwickelt sich aus dem embryonalen Meristem des Vegetationskegels. In diesem Abschnitt sind die Zellen noch nicht ausdifferenziert. Nach dem Vegetationskegel schließt die Determinationszone an. Hier erfolgt die Umwandlung von morphologisch ähnlichen Zellen in Urmark, Restmeristem, Urrinde und Protoderm. Im Anschluss daran kommt die Differenzierungszone, hier werden die jungen Zellen zu ihrer funktionsfähigen Form ausgestaltet. Urmark und Urrinde werden zu

Mark- und Rindenparenchym. Aus dem Protoderm entwickelt sich die Sprossepidermis, das Restmeristem bildet einen Prokambiumring oder Prokambiumstränge, welche die Ausgangselemente für die Leitbündel sind. Diese sind die Transportleitungen der Pflanze, und dienen dem Stofftransport zwischen Blatt und Wurzel. Die Leitbündel bestehen aus Phloem und Xylemsträngen. Das Phloem ist für den Assimilattransport zwischen den Blättern und der Wurzel zuständig, das Xylem übernimmt die Wasser- und Nährstoffleitung (siehe Abb. 1) (KÜCK 2002, S. 46-58).

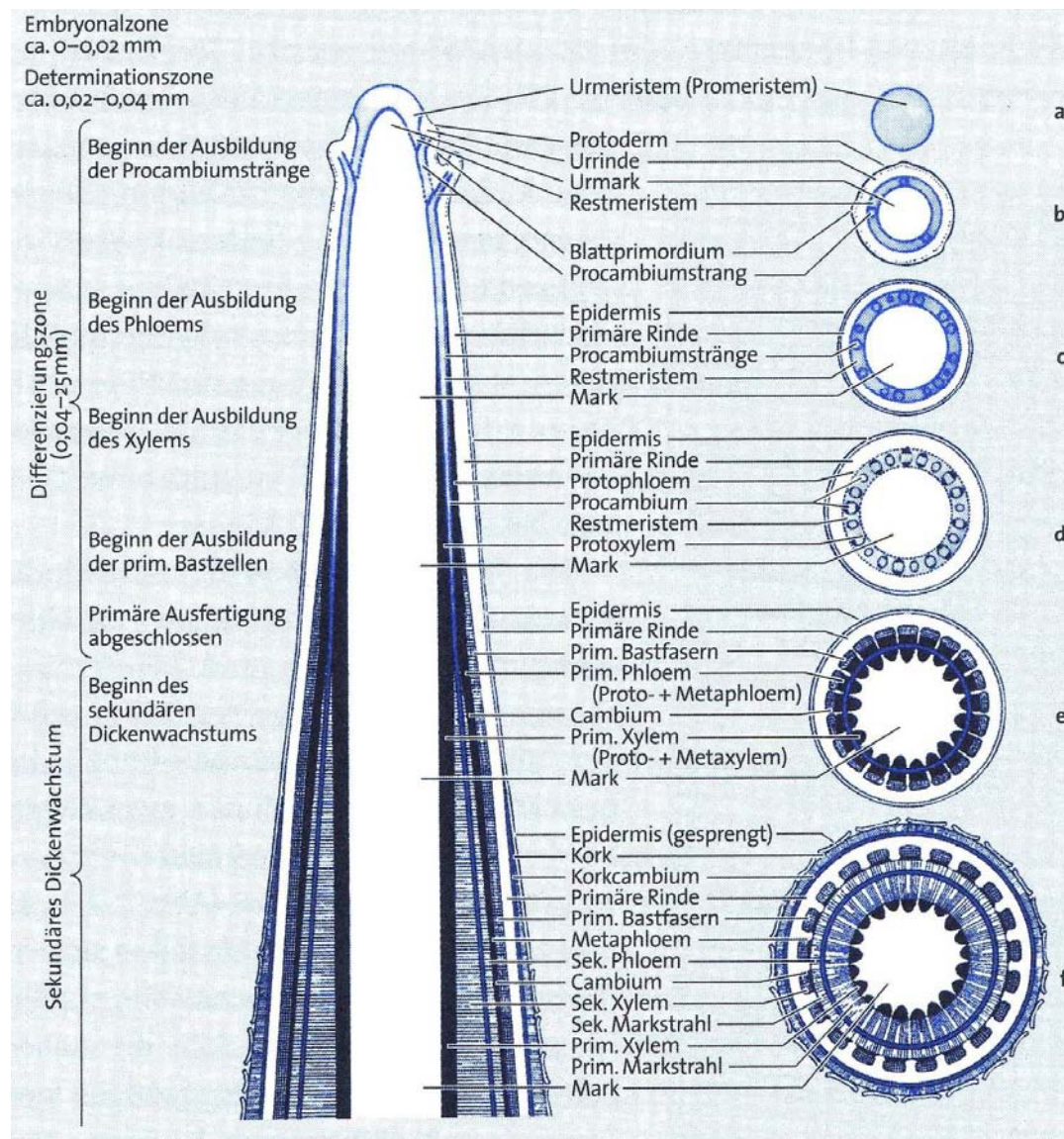


Abb. 1: Schematischer Längsschnitt und Querschnitte einer Sprossachse mit sekundärem Dickenwachstum (HESS 2004, S. 165)

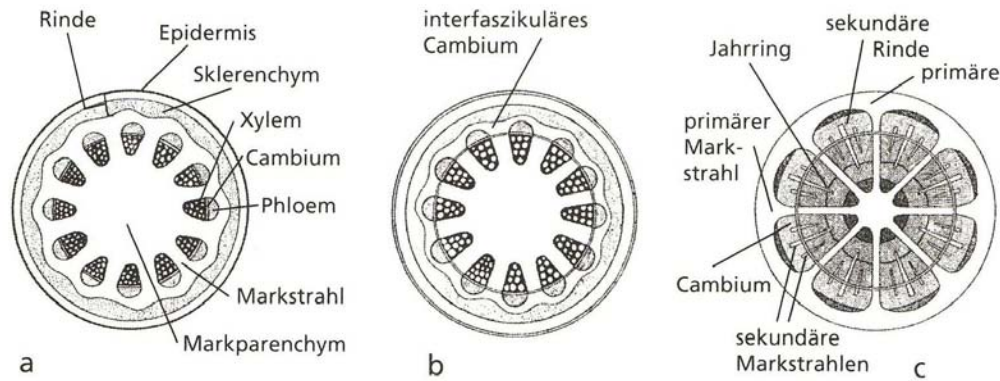


Abb. 2: Querschnitt durch die primäre Sprossachse eines einjährigen Sprosses a) vor und b) nach Einsetzen der Cambiumtätigkeit, c) dreijähriger Spross mit sekundärem Dickenwachstum (KULL 2000, S. 122)

Sekundärer Bau der Sprossachse (Dickenwachstum)

Das Kambium in den Leitbündeln wird faszikuläres Kambium genannt und führt beim sekundären Dickenwachstum die Zellteilungen durch. Nach außen werden die so gebildeten Tochterzellen zum sekundären Phloem oder Bast, nach innen werden sie zum sekundären Xylem oder Holz ausdifferenziert (siehe Abb. 2). Die Epidermis kann dem Dickenwachstum nicht standhalten und wird durch ein neues Abschlussgewebe, dem Periderm, ersetzt (KÜCK 2002, S. 58-64).

2.2. Die Wurzel

Die Wurzel dient der Verankerung im Boden und zur Versorgung der Pflanze mit Wasser und Nährsalzen. Außerdem ist die Wurzel ein Speicherorgan, sie speichert Reservestoffe wie Saccharose, Stärke oder Inulin. Die Wurzeln stützen aber nicht nur die Pflanze sondern sie verbinden und verkeilen, je nach dem wie tief die Wurzeln reichen, mehrere Bodenschichten miteinander (KÜCK 2002, S. 111-123).

Der primäre Bau der Wurzel

Die Wurzel ist aus Haut-, Grund- und Leitgewebe aufgebaut. Die Wurzelspitze wird durch die Wurzelhaube geschützt. Diese besteht aus einheitlichen Parenchymzellen und wird vom Apikalmeristem gebildet. Die Wurzelspitze hat ein einschichtiges Protoderm, welches nach einiger Zeit zur Rhizodermis ausdifferenziert wird (siehe Abb. 3). Auch die Wurzelhaare, die zur Oberflächenvergrößerung dienen, können von der Rhizodermis gebildet werden. Da die Wurzelhaare nur eine begrenzte Lebensdauer haben, wird nach deren Absterben ein weiteres Abschlussgewebe benötigt, die so genannte Exodermis.

Daran schließt die Wurzelrinde an. Die Endodermis ist die innere Zellschicht der Wurzelrinde und trennt die Wurzelrinde vom Zentralzylinder. Der Zentralzylinder enthält das Leitsystem, das radiär aufgebaut ist. Es beinhaltet die Leitbündel, welche aus Xylem- und Phloemstränge bestehen. Die Xylemstränge sind für Wasser- und Nährsalzleitung verantwortlich, die Phloemstränge übernehmen die Stoffleitung (JURZITZA 1987, S. 121-127).

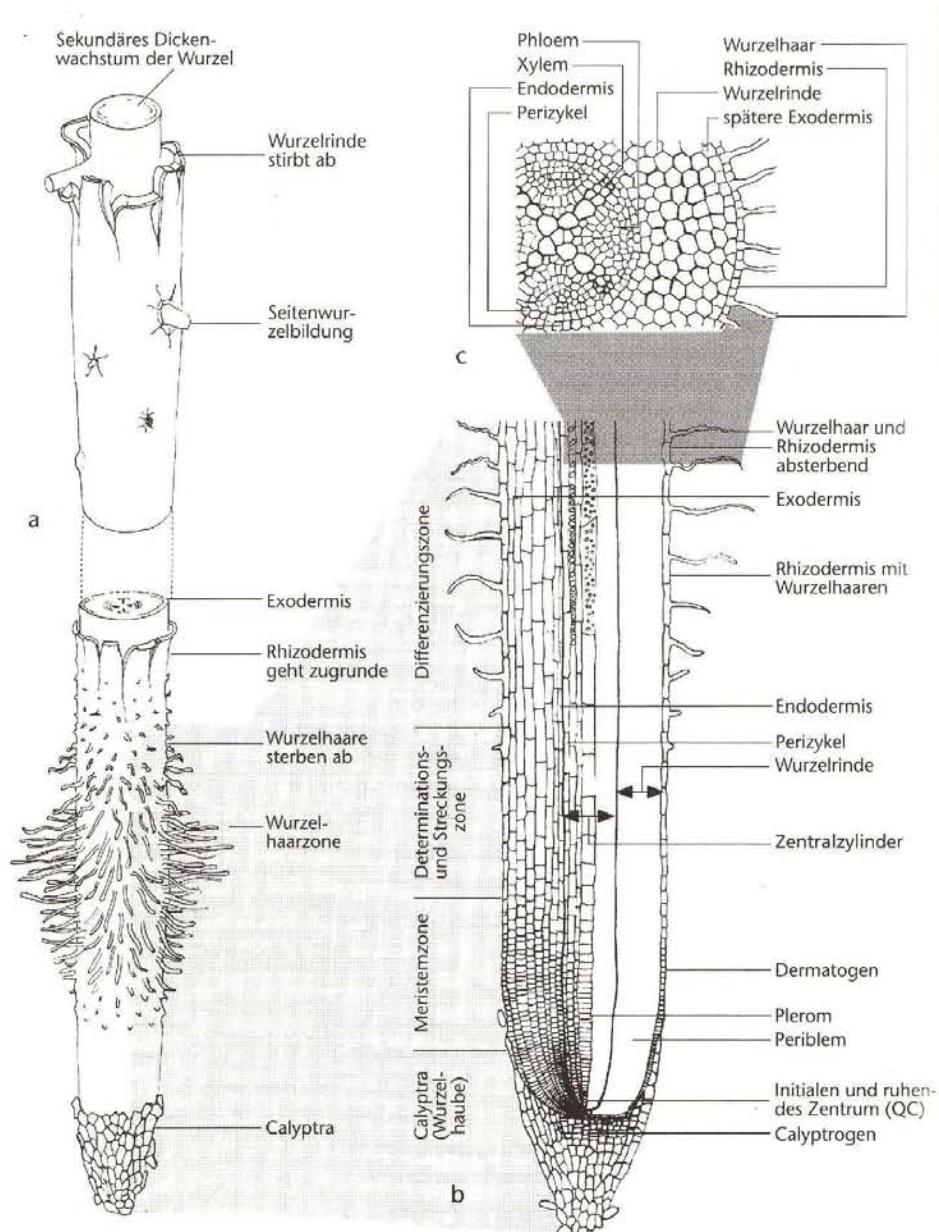


Abb.3: Längsschnitt und Querschnitt durch eine Wurzel und das sekundäre Dickenwachstum (KULL 2000, S. 150)

Das sekundäre Dickenwachstum der Wurzel

Das sekundäre Dickenwachstum fängt mit der Bildung eines Kambiums an. Im Parenchym, das Xylem und Phloem trennt, beginnen die ersten Teilungen. Dieser Prozess geht weiter bis zum Perikambium, dieses wird mit eingebunden und verbindet die Stränge miteinander. Der Querschnitt der Wurzel weist eine sternförmige Figur auf. Setzt in einem weiteren Schritt die Bildung von sekundärem Xylem ein, kommt es zur Holzproduktion, bei der Bildung von sekundärem Phloem spricht man vom Bast. Das sekundäre Dickenwachstum kann auch die Exodermis nicht mitmachen und wird in Folge von einem tertiären Abschlussgewebe, dem Periderm, ersetzt (siehe Abb. 3) (JURZITZA 1987, S. 127-130).

3. Die biologisch- technischen Eigenschaften von Pflanzen

Die biologisch-technischen Eigenschaften von Pflanzen sind wichtige Kenngrößen, um Rückschlüsse auf die Eignung der Pflanzen für den ingenieurb biologischen Einsatz zu ziehen.

Die verwendeten Pflanzen müssen folgende Ansprüche erfüllen:

- eine hohe Anpassungsfähigkeit,
- eine hohe Regenerationsfähigkeit,
- die Fähigkeit zur vegetativen Vermehrung,
- die Fähigkeit zur Sprosswurzelbildung – Überschüttbarkeit,
- die Fähigkeit zur Überstaubarkeit sowie
- die Fähigkeit zur Rohbodenbesiedelung besitzen,
- einen hohen Erosionsschutz,
- eine gute Bodendurchwurzelung (mechanische Anker- und Dübelwirkung) und
- eine hohe Bodenentwässerung und Standsicherheit bieten, sowie
- eine hohe Elastizität und Biegefestigkeit,
- einen hohen Auszugwiderstand und
- eine hohe Scherfestigkeit aufweisen.

Um kostengünstig Pflanzenmaterial beschaffen zu können, ist die Fähigkeit der vegetativen Vermehrung von besonderer Bedeutung. Die gewählten Arten sollten in Hinblick auf die Standortansprüche einen hohen Toleranzbereich aufweisen, anpassungsfähig sein sowie rasch Biomasse entwickeln. Durch eine schnelle Ausbildung eines dichten Wurzelsystems wird der Boden stabilisiert und gefestigt. Die Pflanzen leisten somit einen erheblichen Beitrag zum Erosionsschutz, da sie einerseits durch die oberirdischen Sprosse und Blätter die Prallwirkung des Niederschlages verringern und andererseits durch die Wurzeln zur Entwässerung des Bodens beitragen. Durch die Abnahme der Bodenfeuchte steigt die Kohäsion der Bodenpartikel, der Reibungswiderstand wird erhöht und die Scherfestigkeit und Standsicherheit von Böschungen, Hängen und Ufern wird verbessert (FLORINETH 2004, S. 15 - 17). Ebenso tragen die Wurzeln durch Wurzelabscheidungen zu einer stärkeren Aggregatbildung (BISCHOFER 2001, S. 15) und somit zu einer Stabilisierung des Bodengefüges bei.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegen mechanische Beanspruchung. Diese drückt sich durch einen hohen Auszugwiderstand und durch eine hohe Elastizität und Biegefestigkeit sowie Scherfestigkeit aus. Das gewählte Pflanzenmaterial muss einer

hohen Anzahl von Umwelteinflüssen standhalten können und fest im Boden verankert sein, um einen dauerhaften Schutz vor Bodenerosion zu gewährleisten.

3.1. Biologische Eigenschaften und Fähigkeiten von Pflanzen

Zu den biologischen Eigenschaften und Fähigkeiten von Pflanzen zählen:

- die Anpassungsfähigkeit,
- die Regenerationsfähigkeit,
- die Fähigkeit zur vegetativen Vermehrung,
- die Fähigkeit zur Sprosswurzelbildung – Überschüttbarkeit,
- die Fähigkeit zur Überstaubarkeit und
- die Fähigkeit der Rohbodenbesiedlung.

3.1.1. Die Anpassungsfähigkeit

Pflanzen sind in der Lage sich an die vorhandenen Umwelt- und Witterungsbedingungen anzupassen. Bei einigen Pflanzen zum Beispiel wachsen die Wurzeln bei Schnee- und Winddruck verstärkt in die Gegenrichtung.

Wurzeln wachsen in Richtung des Wassers und der Nährstoffe. Daher werden Böden, die gedüngt oder feucht sind, meistens weniger tief durchwurzelt als lockere und nährstoffarme Pionierstandorte.

Die Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) und die Silberweide (*Salix alba*) sind auf Grund ihrer Wurzeln, die in wasserdurchströmte Bodenhorizonte bzw. direkt ins Wasser reichen, sehr gut für Bepflanzungen im wassernahen Uferbereich geeignet (FLORINETH 2008, S. 21).

3.1.2. Die Regenerationsfähigkeit

Gehölze, vor allem Laubbölzer, sind in der Lage sich nach einem Schadensereignis (Hochwasser, Schneedruck, Steinschlag), bei dem sie geknickt oder gebrochen wurden, wieder zu erholen. Sie treiben an der Stammbasis von selbst wieder aus oder sie können durch einen Schnitt an der Basis („auf den Stock setzten“) verjüngt werden (FLORINETH 2008, S. 22).

3.1.3. Die Fähigkeit zur vegetativen Vermehrung

Zahlreiche Pflanzen besitzen die Fähigkeit sich nicht nur generativ-, sondern auch vegetativ- zu vermehren. Im Unterschied zur geschlechtlichen Vermehrung, wo durch Befruchtung genetisch einzigartige Individuen entstehen, basiert die vegetative Vermehrung wie jeder Wachstums- oder Regenerationsprozess ausschließlich auf mitotischer Zellteilung (LÜTTGE 2002, S. 257).

Die Ingenieurbiologie macht sich die Fähigkeit der Pflanzen, sich vegetativ vermehren zu können, zu Nutze, um Ufer und Böschungen zu sichern. So werden beispielsweise Steckhölzer eingesetzt, die sich durch diese Fähigkeit zu eigenständigen Pflanzen entwickeln und den Boden durch die Ausbildung von Wurzeln festigen.

Vegetative Vermehrung tritt in der Natur auf, wird aber in der Pflanzenzucht sowie in der Ingenieurbiologie künstlich eingesetzt.

Es gibt unterschiedliche Formen der vegetativen Vermehrung:

- die autovegetative und
- die xenovegetative Vermehrung.

Bei der **xenovegetativen Vermehrung** oder auch Veredelung wird ein Pflanzenteil (Edelreis) einer Sorte, die vermehrt werden soll, auf eine geeignete Unterlage übertragen (BÄRTELS 1985, S. 230).

Bei der **autovegetativen Vermehrung** werden von einer geeigneten Mutterpflanze Pflanzenteile abgetrennt und zu einer neuen Pflanze regeneriert (KRÜSSMANN 1997, S. 382-383). Diese Pflanzen besitzen die Fähigkeit proventive oder adventive Spross- oder Wurzelanlagen auszubilden (FLORINETH 2008, S. 24). Die Tochterpflanze ist somit ein Klon der Mutterpflanze, das heißt, sie sind genetisch idente Pflanzen.

Dies ist wichtig zur Vermehrung von Ziergehölzen und Obstsorten, denn damit können Merkmale wie Blüte, Frucht und Habitus weitergegeben werden und die Sortenreinheit bleibt erhalten. Außerdem kann diese Vermehrungsmethode eine Zeitersparnis gegenüber der generativen Vermehrung bedeuten (KRÜSSMANN 1997, S. 382-383).

In der Ingenieurbiologie wird ebenfalls die autovegetative Vermehrung angewandt, um kostengünstig geeignetes Pflanzenmaterial zu beschaffen. Meistens werden Spross- oder Wurzelteile für die Vermehrung verwendet, die durch unterschiedliche Methoden wie:

- durch Steckhölzer
- durch Stecklinge
- durch Wurzelstecklinge
- durch Rhizomstecklinge
- durch Brutknospen
- durch Ableger und Absenker
- durch Abrisse (Anhäufeln) oder
- durch Teilung

zu einer Pflanze gezogen werden (FLORINETH 2004, S. 28 – 34).

Diese Pflanzen haben die Fähigkeit, proventive oder adventive Spross- oder Wurzelanlagen auszubilden.

Proventive Spross- oder Wurzelanlagen bilden sich aus so genannten schlafenden Augen oder proventiven Meristemen. Diese werden in den Achseln oder Blattanlagen bereits im Knospenstadium im Vegetationskegel vorgeformt, verharren jedoch während der weiteren Entwicklung der Pflanze in einem Ruhezustand. Es ist eine Verbindung mit dem Leitgewebe gegeben (FLORINETH 2004, S. 28).

Adventive Spross- oder Wurzelanlagen entstehen nach einem bestimmten Reiz aus dem Kambium oder nach Verletzungen aus dem Wurzelkallus. Es wird also zwischen „Wundwurzeln“ und „morphologischen Wurzeln“ unterschieden. Sie sind in der Regel nicht oder nicht durchgehend mit dem Leitgewebe verbunden (FLORINETH 2004, S. 28).

Damit Pflanzen proventive oder adventive Sprosse bzw. Wurzeln ausbilden können, muss meristematisches Gewebe, das noch funktionell undifferenzierte und teilungsfähige Zellen besitzt, vorhanden sein (NULTSCH 2001, S. 246).

Um einen Überblick über die unterschiedlichen Vermehrungsmethoden zu geben erfolgt im Anschluss eine Kurzbeschreibung zu jeder Methode. Für diese Forschungsarbeit wurde jedoch ausschließlich die Steckholzvermehrung verwendet.

Steckholzvermehrung

Ein Steckholz ist ein 3-8 cm starker und 40-100 cm langer, unbelaubter und bereits verholzter Laubgehölztrieb. Meist werden 1- bis 2-jährige Triebe verwendet (FLORINETH 2004, S. 28 – 29). Handelt es sich um ein Steckholz mit mehr als 100 cm Länge, spricht man von einer Setzstange (FLORINETH 2005, S. 21). Durch Einschlagen in den Boden kommt es zur autovegetativen Vermehrung. Das Steckholz bildet Sprosse und Wurzeln aus und entwickelt sich zu einer eigenständigen Pflanze.

Wahl der Mutterpflanze Die Wahl der Mutterpflanze ist ausschlaggebend für den Vermehrungserfolg. Pflanzenteile junger Pflanzen bewurzeln besser und leichter, als jene von älteren Mutterpflanzen. Mutterpflanzen, welche der Vermehrung dienen, können durch einen jährlichen Rückschnitt in einer ewigen Jugendphase gehalten werden. Weiden gelten in der Regel als leicht bewurzelbar und sind somit bestens zur Steckholzvermehrung geeignet.

Der Schnittzeitpunkt: Bei den Weiden ist der optimale Schnittzeitpunkt während der Vegetationsruhe. Nur *Salix caprea* bildet eine Ausnahme, diese Weidenart sollte gleich nach der Blüte geschnitten werden (FLORINETH 2004, S. 28 – 29). Nach Möglichkeit sollten die gewonnenen Steckhölzer noch am selben Tag gesteckt werden.

Beim Stecken muss darauf geachtet werden, dass in die richtige Richtung gesteckt wird, also das basale Ende in die Erde (KRÜSSMANN 1997, S. 403-405).

Als sehr gut geeignete heimische Pflanzen zur Steckholzvermehrung gibt FLORINETH (2004, S. 30) alle Weidenarten (*Salix species*), die Schwarzpappel (*Populus nigra*), die deutsche Tamariske (*Myricaria germanica*), den Liguster (*Ligustrum vulgare*) und den Goldregen (*Laburnum anagyroides* und *alpinum*) an, als exotische Arten die sehr gut Steckholzvermehrbar sind nennt FLORINETH (2004, S. 30) den Bocksdom (*Lycium barbarum*), die Tamariske (*Tamarix gallica*, *articulata*, *africana*, *parviflora*), den Strauchklee (*Medicago arborea*), die Forsythie (*Forsythia suspensa* und *viridissima*) und den Oleander (*Nerium oleander*).

Vermehrung durch Stecklinge

Stecklinge sind Pflanzenteile, die in der Vegetationsperiode von der Mutterpflanze abgetrennt und zur Bewurzelung gebracht werden. Aus diesen Pflanzenteilen entwickeln sich selbstständige Pflanzen. Als Stecklinge können beblätterte Triebe, Triebstücke, Knospen oder Blätter verwendet werden (BÄRTELS 1985, S. 206). Als Steckling können alle Pflanzen vermehrt werden, die als Steckholz vermehrbar sind sowie viele spross-wurzelbildenden Gehölze in Baumschulen, des weitem Schilf und Strandhafer. Ein Steckling ist im Unterschied zum Steckholz fast nie verholzt und die Vermehrung im Freien ist kaum möglich, sie werden in einem Glashaus oder Folientunnel gezogen (FLORINETH 2004, S. 30 -31).

Vermehrung durch Wurzelstecklinge

Mit dieser Methode können ausschließlich Gehölze vermehrt werden, welche die Fähigkeit besitzen, aus Adventivknospen an Wurzeln neue Sprosse und Wurzeln hervorzubringen. Zuerst wird die Mutterpflanze im Herbst ausgegraben, es werden Wurzeln, die ungefähr fingerstark sind, ausgewählt und von der Mutterwurzel abgetrennt. Über Winter werden sie aufbewahrt und im Laufe des Winters werden diese Wurzelstücke dann nochmals in fingergroße Stücke geteilt und in eine sandig-humose Erde eingelegt, wobei sie ungefähr 1-2 cm mit der Erde überdeckt werden (siehe Abb. 4). Bei entsprechender Größe können die Jungpflanzen dann ins Freie gesetzt werden (KAWOLLEK 1987, S. 48).

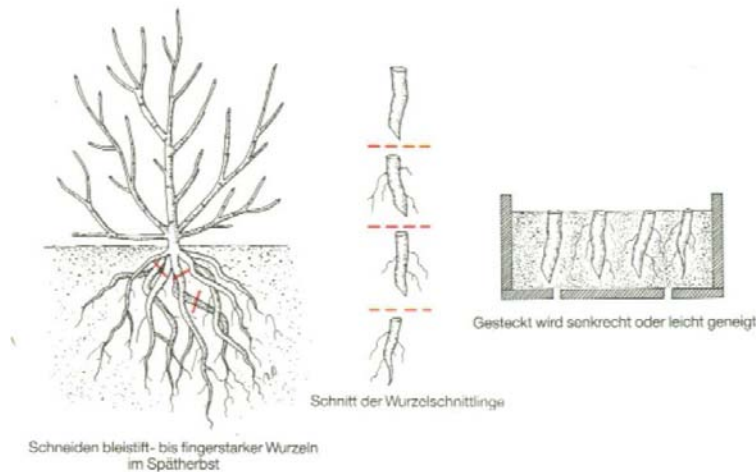


Abb.4: Vegetative Vermehrung durch Wurzelschnittlinge (KAWOLLEK 1987, S. 48)

Vermehrung durch Rhizomstecklinge

Ein Rhizomsteckling ist ein waagrechter Ausläufer (siehe Abb. 5), der aus mindestens zwei Knospen besteht. Er wird manuell oder maschinell gewonnen und in 2 – 3 cm Tiefe waagrecht verlegt. Die meisten Pflanzen die als Rhizomsteckling vermehrbar sind werden in der Baumschule gezogen, nur das Schilfstraußgras (*Agrostis schraderiana*) ist sehr gut für das Ausbringen im Freiland geeignet (FLORINETH 2004, S. 31 – 32).

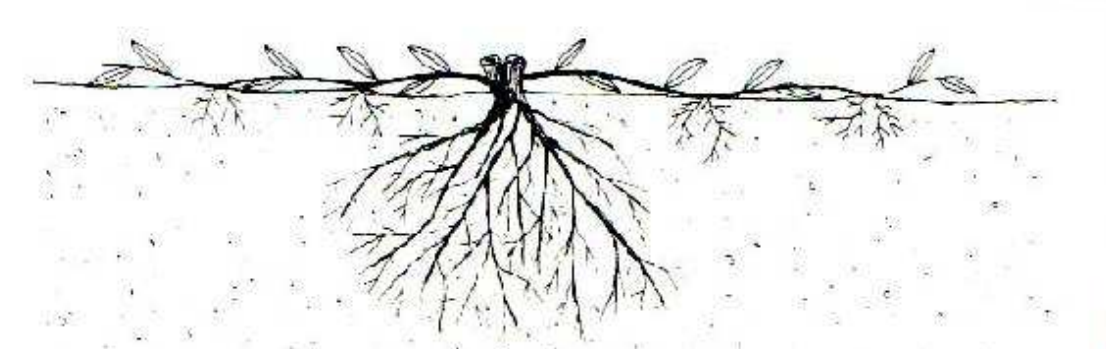


Abb. 5: Vegetative Vermehrung durch Rhizomstecklinge (FLORINETH 2004, S. 32)

Vermehrung durch Brutknospen

Manche Pflanzen sind in der Lage Achselknospen (Axillärknospen) in so genannte Brutknospen umzubilden (siehe Abb. 6). Diese Brutknospen werden abgeworfen, wurzeln am Boden und regenerieren sich zu einer neuen Pflanze. (STRASBURGER et al. 2002, S. 169). Durch Brutknospen können die lebend gebärende Alpenrispe (*Poa alpina* ssp. *vivipara*), die Knollenrispe (*Poa bulbosa*), der lebend gebärende Knöterich (*Polygonum viviparum*) und die Knöllchen tragende Zahnwurz (*Dentaria bulbifera*) vermehrt werden (FLORINETH 2004, S. 32).

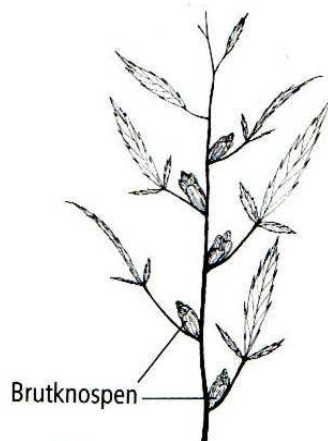


Abb. 6: Vegetative Vermehrung durch Brutknospen (FLORINETH 2004, S. 32)

Vermehrung durch Absenker und Ableger

Diese Methoden sind im Grunde sehr ähnlich. Bei beiden Vermehrungsmethoden muss ein Mutterpflanzenquartier vorhanden sein. Beim Absenken wird der Trieb bogenförmig in die Erde gelegt (siehe Abb. 7), wobei durch jeden Absenker ausschließlich eine Jungpflanze gezogen wird. Wird die Mutterpflanze durch Ableger vermehrt, wird der Trieb flach in eine vorher gegrabene Rille gelegt. Erst wenn die jungen Triebe einige Zentimeter hoch gewachsen sind, werden die Rillen mit Erdmaterial aufgefüllt. Bei dieser Methode erzielt man mehrere Jungpflanzen (BÄRTELS 1985, S. 199-201).

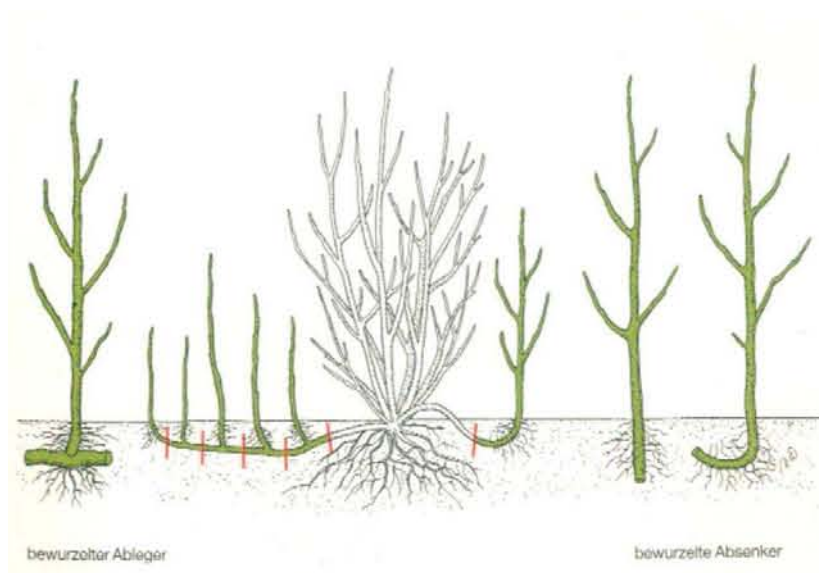


Abb. 7: Vegetative Vermehrung durch Ableger und Absenker (KAWOLLEK 1987, S. 35)

Vermehrung durch Abrisse (Anhäufeln)

Bei dieser Vermehrungsmethode werden die jungen Triebe der Mutterpflanze schrittweise mit einem Sand-Erde-Gemisch überhäuft. Wenn die Wurzelbildung erfolgreich einsetzt, werden nach einer gewissen Zeit die Triebe von der Mutterpflanze getrennt (siehe Abb. 8). Bei dieser Methode ist natürlich ein Mutterpflanzenquartier erforderlich, weiters muss der Boden locker und feinkrümelig sein (BÄRTELS 1985, S. 185, 197).

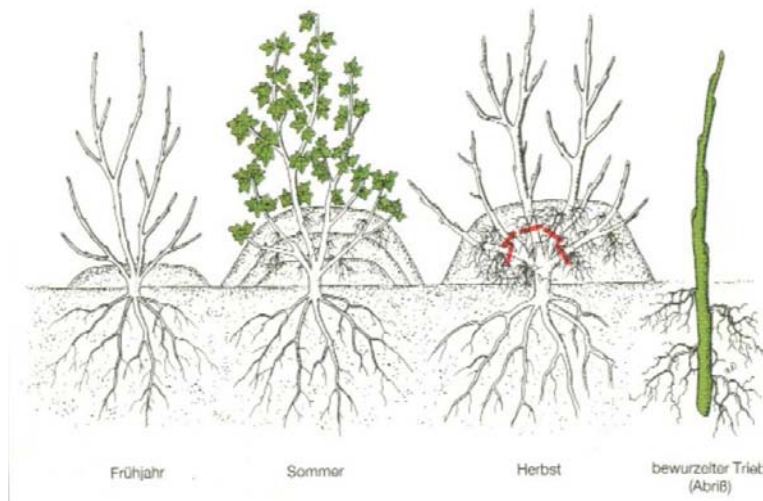


Abb. 8: Vegetative Vermehrung durch Anhäufeln (KAWOLLEK 1987, S. 34)

Vermehrung durch Teilung

Für diese Vermehrungsart sind vor allem horstbildende Gräser und einige Kräuter geeignet. Es werden dabei von der Mutterpflanze Einzeltriebe oder Triebbüschel abgebrochen (siehe Abb. 9) und dann in Töpfe oder Saatplatten verpflanzt (FLORINETH 2004, S. 33).

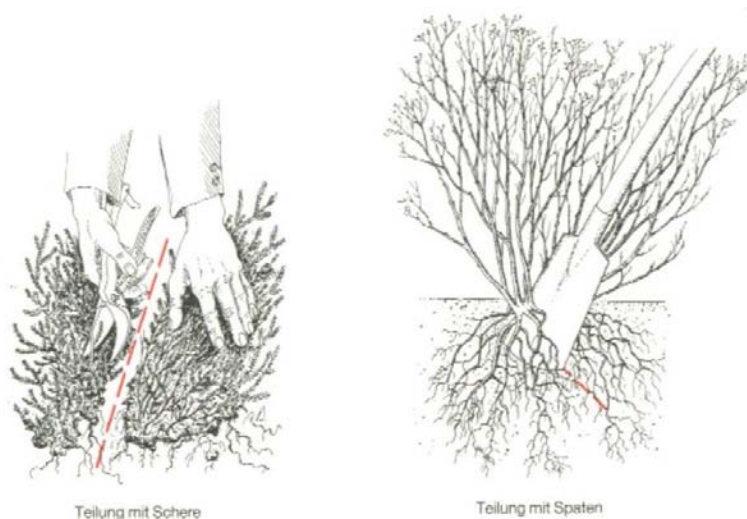


Abb. 9: Vegetative Vermehrung durch Teilung (KAWOLLEK 1987, S. 34)

3.1.4. Die Fähigkeit zur Sprosswurzelbildung - Überschüttbarkeit

Einige Gehölze besitzen die Fähigkeit, zusätzlich zum bereits vorhandenen Wurzelsystem am überschütteten Stammabschnitt so genannte Sprosswurzeln auszubilden. Diese Fähigkeit der Gehölze, beim Überschütten ganzer Pflanzen, proventive oder adventive Wurzelanlagen auszubilden, ist wichtig für die häufig verwendete horizontale Einlage bei verschiedenen ingenieurb biologischen Baumaßnahmen (FLORINETH 2004, S. 35).

3.1.5. Die Fähigkeit zur Überstaubarkeit

Überflutungen sind in Ufernähe ein periodisch auftretendes Ereignis von unterschiedlicher Dauer. Die Vegetation solcher Standorte muss in der Lage sein diese Ereignisse zu ertragen (SCHIECHTL 1994, S. 23). Längere Überstauungen können nur wenig Gehölzarten aushalten, dazu zählen zum Beispiel einige Weidenarten (*Salix alba*, *fragilis*, *rubens*, *cinerea*, *pentandra*), die Silberpappel (*Populus alba*), die Schwarzerle (*Alnus glutinosa*), und die Quirllesche (*Fraxinus angustifolia*) (GERSTGRASER 1998, S. 43). Diese Pflanzenarten der Auen sind mit verschiedenen Strategien ausgestattet, die ein Überleben an einem solchen Standort erst ermöglichen. Weiden und Pappeln zeigen folgende Eigenschaften: nach Verwundungen oder bei längeren Überstauungen bilden sie Adventivwurzeln aus, sie haben die Fähigkeit mit Hilfe von Wasserwurzeln die Sauerstoffversorgung zu gewährleisten, sie sind sehr schnellwüchsig, sie bilden schwimm- und flugfähige Samen aus und sie sind hinsichtlich der Nährstoffversorgung anspruchslos. Röhrichte hingegen überleben indem sie schnell Rhizome entwickeln, an den niederliegenden Sprossen bewurzeln oder ein etagenförmiges Wurzelsystem je nach Wasserstand und Überschüttung aufweisen (HACKER 1997, S 77).

3.1.6. Die Fähigkeit zur Rohbodenbesiedelung

Da die angrenzenden Flächen an Fließgewässern einer ständigen Dynamik ausgeliefert sind, findet man dort häufig Rohböden vor. An solchen Standorten können sich nur Pflanzen ansiedeln, welche in der Lage sind schnell und effektiv Rohböden zu besiedeln. Diese Pflanzen sind vorwiegend Pionierarten. Sie sind die Erstbesiedler dieser vegetationslosen Flächen und ermöglichen den folgenden Sukzessionsstadien eine Ansiedlung, indem sie günstigere Bedingungen schaffen (SCHIECHTL 1992, S. 17). Pionierarten sind in der Regel widerstandsfähige und genügsame Arten mit einer breiten ökologischen Amplitude (SCHIECHTL 2002, S. 19).

3.2. Technische Eigenschaften von Pflanzen

Zu den technischen Eigenschaften von Pflanzen zählen laut FLORINETH (2004):

- der Erosionsschutz,
- die Bodendurchwurzelung (mechanische Anker- und Dübelwirkung),
- die Bodenentwässerung und Standsicherheit,
- die Elastizität und Biegefestigkeit,
- der Auszugwiderstand und
- die Scherfestigkeit.

Die unterschiedlichen technischen Eigenschaften der Pflanzen werden in Folge näher erläutert.

Im Rahmen der Forschungsarbeiten in Südbrasilien wurde jedoch während unseres Aufenthaltes nur ein Versuch zum Auszugwiderstand angelegt (siehe Kap. 10).

3.2.1. Der Erosionsschutz

Pflanzen bedecken offene Bodenoberflächen und schützen den Boden vor Erosion, indem sie die direkte Prallwirkung des Niederschlages verringern, mit ihren Blättern den Niederschlag auffangen (Interzeption) und ihn langsam in den Boden einsickern lassen (Infiltration). Die Menge des Wassers, das den Boden erreicht, sowie die lokale Intensität des Niederschlages werden durch Pflanzen herabgesetzt (MORGAN et al. 1995, S. 11). Zudem erhöhen Pflanzen die Fähigkeit des Bodens Wasser aufzunehmen, wodurch der Oberflächenabfluss verringert wird. An bodennackten Erosionsgräben und -flächen werden nach Untersuchungen von FLORINETH innerhalb einer Vegetationsperiode 300-1300 g/m² Boden abgetragen. In sehr steilem Gelände kann an einem einzigen Tag mit etwa 60 mm Niederschlag mit Hagel rund 500 g/m² Boden abgetragen werden. Durch Vegetation wird der Bodenabtrag deutlich verringert. So wurde auf begrünten Flächen nach dem 3. Jahr ein Bodenabtrag von 25-140 g/m² festgestellt. In natürlichen alpinen Rasengesellschaften wurde keine Bodenerosion beobachtet (FLORINETH 2008, S. 9).

Auch entlang von Fließgewässern schützen Pflanzen vor Erosion. Die Vegetation beeinflusst die Strömung und Fließgeschwindigkeit und somit den Bodenabtrag (RAUCH 2005, S. 40). Durch Bewuchs wird die Bodenerosion entlang der Ufer verringert: Bei elastischen Gehölzen, indem sie sich bei Überströmung an den Boden anlegen und ihn so mit ihren Blättern vor Erosion schützen. Bei einem sehr dichten und starren Bestand, indem dieser durchströmt und die Fließgeschwindigkeit stark herabgesetzt wird.

3.2.2. Die Bodendurchwurzelung (mechanische Anker- und Dübelwirkung)

Pflanzen verankern und stützen mit ihren Wurzeln sich selbst und stabilisieren den Boden (BISCHOFER 2001, S. 16). Laut FLORINETH (2008, S.12) haben dicke, starre Wurzeln eine gute Dübelfunktion, elastische und reißfeste Wurzeln wirken wie ein Anker.

Die mechanische bodenstabilisierende Wirkung der Pflanzen steht in engem Zusammenhang mit der von der Pflanzenart abhängigen Wurzelmorphologie. Man unterscheidet bei Gräsern und Kräutern Intensiv- und Extensivwurzler. Laut MORGAN et al. (1995) können sie den Boden bis in eine Tiefe von 0,75 – 1,5 m festigen. Bei den Gehölzen hingegen unterscheidet man Tief- und Flachwurzler. Ihre bodenstabilisierende Wirkung reicht je nach Art in bis zu 3 m Tiefe. Wichtig für eine gute Bodenstabilisierung ist eine homogene Durchwurzelung des Bodens, d.h. eine Abwechslung von Intensiv- und Extensivwurzlern sowie Tief- und Flachwurzlern (FLORINETH 2008, S.12).

3.2.3. Die Bodenentwässerung und Standsicherheit

Neben der im vorigen Kapitel beschriebenen armierenden, mechanischen Wirkung der Wurzeln, hat die Vegetation auch Auswirkungen auf den Wasserhaushalt (MORGAN et al. 1995, S. 7). So entziehen Pflanzen mit ihren Wurzeln dem Boden Wasser. Durch diese Entwässerung des Bodens, wird der Zusammenhalt der Bodenpartikel (Kohäsion) stark erhöht und der Porenwasserdruck verringert. Gleichzeitig nimmt das Gewicht des Bodens durch den Entzug von Wasser ab und die wirksamen Schubkräfte des Bodens sind dadurch geringer. Die Standsicherheit und Scherfestigkeit von Böschungen wird erhöht (FLORINETH 2008, S. 17).

Die Bodenentwässerung hängt von der Verdunstungsleistung (Evapotranspiration) der verschiedenen Pflanzenbestände ab; so haben laut LARCHER (1995, S. 294) Waldbestände generell eine höhere Verdunstungsleistung als Wiesen und Weiden, abhängig von der gesamten Blattoberfläche und der Blattmasse. Am höchsten ist die Verdunstungsleistung demnach in tropischen Regenwäldern mit 1000 – 1500 l/m² und Jahr (LARCHER 1995, S. 293). Im Vergleich dazu hat laut FLORINETH (2008, S. 17) eine Buche mit einer Höhe von 20 m und einem Kronendurchmesser von 12 m bei 150 Sonnentagen im Jahr eine Verdunstungsleistung von 530-600 l/m² und Jahr. Je höher die Verdunstungsleistung eines Pflanzenbestandes ist, umso höher ist die Entwässerung des Bodens.

Versuche von KATZENBACH und WERNER (2005) haben gezeigt, dass die Standsicherheit an einem alten Eisenbahndamm durch Vegetation um das Doppelte zugenommen hat. Dies ist auf die erhöhte Kohäsion der Bodenpartikel zurückzuführen. Durch Wurzelausscheidungen und Mykorrhizapilze werden Bodenaggregate gebildet und das Bodengefüge gestärkt. Zudem wird durch die Vegetation das Bodenleben und somit die biologische Tätigkeit gefördert. Höhere Bodenlebewesen wie beispielsweise Regenwürmer steigern durch Bioturbation die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens. Sie machen den Boden wasser- und luftdurchlässiger (FLORINETH 2008, S. 18). In Folge der dadurch verbesserten Infiltration von Wasser bei Regen werden auch der Oberflächenabfluss und die damit verbundene Erosion verringert (MORGAN 1995, S.37).

3.2.4. Die Elastizität und Biegefestigkeit

Die biotechnische Eigenschaft **Elastizität und Biegefestigkeit** der Pflanzen spielt im Flussbau eine große Rolle (NIEDERSCHICK 2007, S. 80). Um das Ufer vor Erosion zu schützen, ist es wichtig, dass die Pflanzen elastisch und biegsam sind und sich flach auf den Boden legen können (GERSTGRASER 2000, S. 46). Einzelne starre Pflanzen verursachen Turbulenzen, die die Erosion ankurbeln und die Stabilität der Ufer somit beeinträchtigen würden.

Um die Eignung von Pflanzen zum Einsatz in der Ingenieurbiologie beurteilen zu können, wird die Biegefestigkeit β und der Biege-Elastizitätsmodul E nach DIN 52 186 im Labor ermittelt. Aus diesen beiden Werten kann schließlich die Durchbiegung f und das Bruchmoment errechnet werden (WEITZER et al. 1998, S. 8).

Die **Biegefestigkeit** β ist laut DIN 52 186 als die bis zum Bruch der Probe größte auftretende rechnerische Biegespannung σ definiert. Sie wird in N/mm^2 angegeben und mit folgender Formel berechnet.

$$\text{Biegefestigkeit } \beta = \frac{\text{max. Biegemoment } M}{\text{Widerstandsmoment } W}$$

Der **Biege-Elastizitätsmodul** E gibt an, wie viel Kraft aufgewandt werden muss um die Probe zu deformieren. Die Verformung ist stets elasto - plastisch, d.h. das Material verändert sich zunächst elastisch (reversibel) und schließlich nach dem Ende des sogenannten Hook'schen Bereichs plastisch bis es zum Bruch kommt. Der E-Modul beschreibt die Verformbarkeit der Pflanze im elastischen Bereich. Er wird in kN/mm^2 angegeben (FLORINETH 2004, S. 19).

$$\text{Elastizitäts - Modul } E = \frac{\text{Spannung } \sigma}{\text{Dehnung } \varepsilon}$$

Die Elastizität der Pflanzen hängt von der Art ab. Innerhalb einer Art aber spielt der Stammdurchmesser eine wichtige Rolle; je größer der Durchmesser ist, desto geringer ist der E-Modul (WEITZER et al. 1998, S. 45). Es ist daher bei ingenieurb biologischen Ufersicherungen von großer Bedeutung durch Pflegeeingriffe die Elastizität der Pflanzen möglichst hoch zu halten, z.B. durch einen Stockschnitt (FLORINETH 2004, S. 19).

Nach Untersuchungen von WEITZER et al. (1998, S. 45) sinkt der E-Modul bei allen getesteten Ufergehölzen bei Durchmessern >40 mm deutlich, d.h. Gehölze mit einem Stammdurchmesser >40 mm haben nur eine sehr geringe Durchbiegung, sind dafür aber stärker belastbar. Denn laut GERSTGRASER (2000, S. 46) nimmt zwar die Elastizität der Pflanzen mit dem Durchmesser ab, der Bruchmoment nimmt aber mit dem Durchmesser zu.

3.2.5. Der Auszugswiderstand

Der **Auszugswiderstand** entspricht der maximalen Kraft, die aufgewandt werden muss, um eine Pflanze aus dem Bodengefüge zu reißen. Das im Boden verankerte Wurzelsystem festigt und stabilisiert den Boden. Greift an den oberirdischen Pflanzenteilen eine Kraft an, die versucht die Pflanzen aus dem Boden zu ziehen, bringen die Wurzeln dieser Zugkraft einen bestimmten Widerstand entgegen. Diesen Widerstand nennt man Auszugswiderstand. Er ist ein Maß für die Stabilität der Boden-Wurzel-Matrix und wird in kN angegeben (FLORINETH 2004, S. 20).

Ist die an den oberirdischen Pflanzenteilen angreifende Zugkraft stärker als die Widerstandskraft der Pflanzen, kommt es zum Versagen. Es werden zwei unterschiedliche Prozesse des Versagens unterschieden (siehe Abb. 10):

- Tragfähigkeitsversagen: es kommt zum Bruch der Wurzeln
- Stabilitätsversagen: die gesamte Pflanze wird ausgerissen

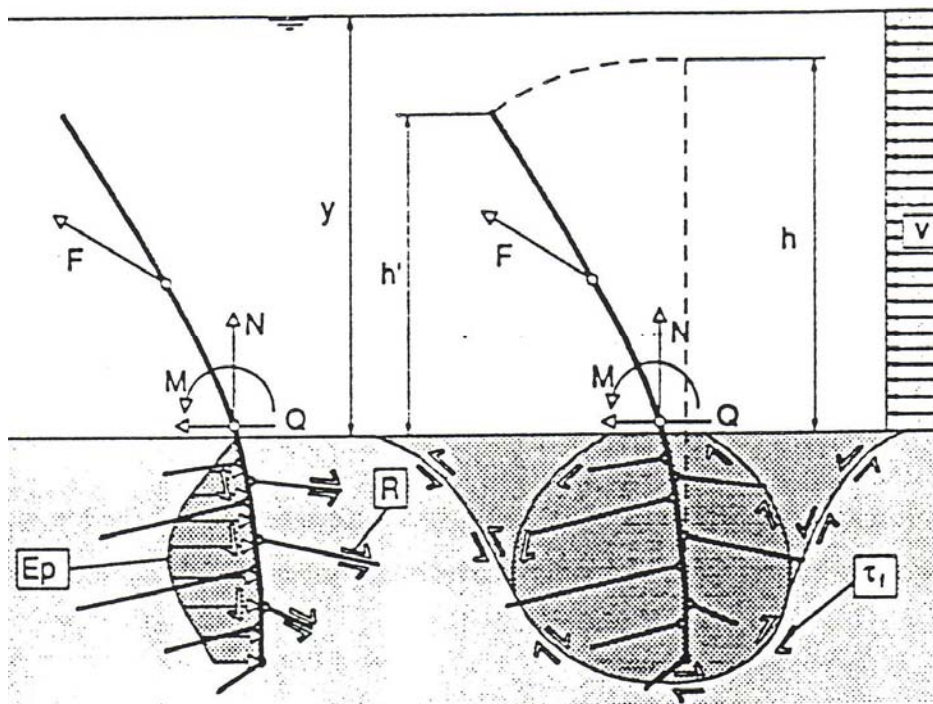


Abb.10: Versagensmechanismen: Tragfähigkeitsversagen (links), Stabilitätsversagen (rechts) (OPLATKA 1995, S. 6)

Die Beurteilung der Versagensmechanismen ist schwer. Häufig handelt es sich um eine Kombination beider Prozesse (OPLATKA 1995, S. 6).

Der Auszugswiderstand ist ein sehr komplexer Faktor, der von vielen Parametern abhängt: einerseits von pflanzenspezifischen Kennwerten, wie Alter, Durchmesser, Höhe usw. andererseits von den

Standortbedingungen wie Bodensubstrat, Licht, Wasser- und Nährstoffgehalt, usw. (FLORINETH 2004, S. 21).

Die Widerstandskraft der Pflanzen ist größer, wenn eine optimale Wasser- und Nährstoffversorgung gewährleistet ist, da sich die Pflanze dann besser entwickeln kann (WEITZER et al. 1998, S. 39). Optimale Wuchsbedingungen bedingen die Ausbildung eines gesunden stark verzweigten Wurzelsystems, das den Boden festigt und den Auszugwiderstand erhöht. Durch eine gute Durchwurzelung des Bodens wird die Verbundfestigkeit zwischen Boden und Pflanzen gesteigert und somit die Uferstabilität vergrößert (FLORINETH 2004, S. 23).

Problematisch bei der Messung des Auszugwiderstandes ist laut WEITZER et al. (1998, S. 8), dass es sich um künstliche Versuche ohne das entsprechende Hochwasser handelt, bei denen die Auswirkungen möglicher Erosionsprozesse, die an Ufern auftreten, nicht miteinbezogen werden. Das Wasser spült häufig Boden aus. Die Verbundfestigkeit zwischen Pflanze und Boden wird dadurch deutlich verringert. Der bei Versuchen gemessene Auszugwiderstand (ohne die natürliche Erosion) ist laut Untersuchungen von OPLATKA (1998, S. 138) um das fünf- bis zehnfache höher als die gemessene Kraft des Wassers. Dies muss bei der Auswertung der Messdaten beachtet werden.

Bei ingenieurb biologischen Ufersicherungen ist es wichtig, die Erosion möglichst gering zu halten. Es werden daher Ufergehölze benötigt, die ein weit verzweigtes und dichtes Wurzelsystem aufweisen, das nur schwer ausgespült wird und die erodierende Wirkung des Wassers verringert. Denn FLORINETH (2004, S. 19) gibt an, dass das Versagen einer Pflanze in Folge von Erosion um Vieles höher ist als ausgezogen zu werden.

3.2.6. Die Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit entspricht dem maximalen Seitendruck, der bei einer Flächenauflast von 20 kN/m^2 auf den Boden einwirkt und wird in kN/m^2 angegeben. Sie ist ein wichtiger Parameter, um Aussagen über die Stabilität von Böschungen und Hängen treffen zu können und dient als Grundlage für Stabilitätsberechnungen (FLORINETH 2008, S. 19). Physikalisch setzt sich die Scherfestigkeit laut TOBIAS (1991, S. 48) aus der Reibung zwischen den Bodenpartikeln und der Kohäsion des Materials zusammen. Die Kohäsion der Bodenteilchen wird durch die Pflanzenwurzeln erhöht. Vor allem die Feinwurzeln (1 bis 20 mm) erhöhen die Scherfestigkeit des Bodens (MORGAN et al. 1995, S. 35).

Untersuchungen von TOBIAS (1991) haben ergeben, dass durchwurzelte Böden eine um bis zu 55% höhere Scherfestigkeit haben als nicht durchwurzelte Böden. Der Winkel der inneren Reibung des Bodens wird von den Wurzeln nicht beeinflusst, sondern die Vergrößerung der Scherfestigkeit ist allein auf den Anstieg der Kohäsion zurückzuführen (TOBIAS 1991, S. 58). Die Erhöhung der Kohäsion ergibt sich einerseits durch die Wurzelausscheidungen bzw. die damit in Zusammenhang stehende Aktivität der Bodenorganismen, die die Aggregatbildung fördern. Andererseits ist sie eine Folge der Bodenentwässerung durch die Wurzeln, abhängig von der Evapotranspiration der unterschiedlichen Pflanzen. Die Vergrößerung der Scherfestigkeit durch Vegetation steht demnach in engem Zusammenhang mit der Artzusammensetzung des Pflanzenbestandes. So gelten

Rotschwingel, Wiesenschwingel und Leguminosen als bodenfestigende Arten. Wird bei einem Böschungsbruch die Scherfestigkeit von Wurzeln überwunden, brechen sie ab oder werden ausgerissen (siehe Abb. 11 u. 12: SCHUPPENER 2003, S. 56).

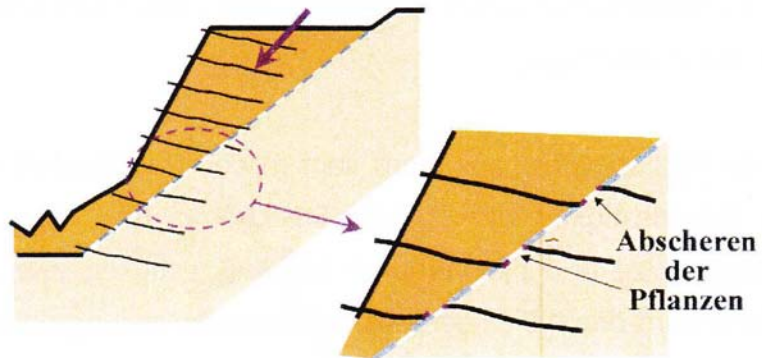


Abb. 11: Böschungsbruch, bei dem die Pflanzen reißen (SCHUPPENER 2003, S. 56)

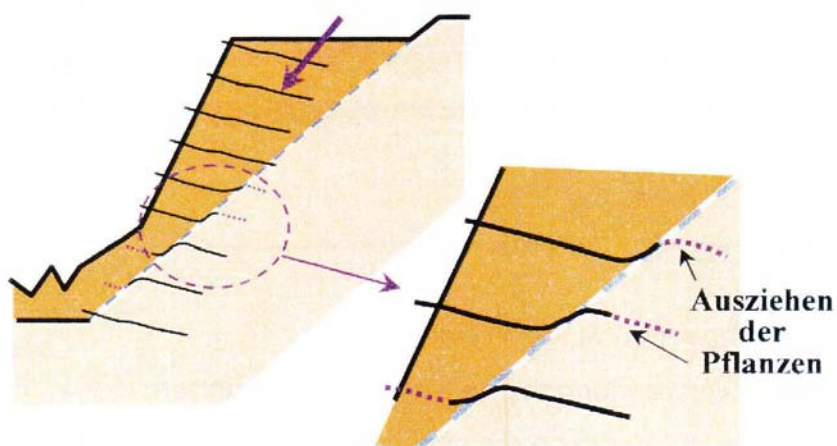


Abb. 12: Böschungsbruch, bei dem die Pflanzen aus dem Boden gezogen werden (SCHUPPENER 2003, S. 56)

4. Pflanzenmaterial

Nachdem die biologisch – technischen Eigenschaften von Pflanzen erläutert wurden, die in der Ingenieurbiologie eine Rolle spielen, wird anschließend das Pflanzenmaterial vorgestellt, mit dem in den Versuchen gearbeitet wurde. Die verwendeten Arten waren *Salix humboldtiana* und *Phyllanthus sellowianus*.

4.1. Artbeschreibung *Salix humboldtiana* (Humboldt-Weide)

In folgendem Kapitel wird die Art *Salix humboldtiana* hinsichtlich systematischer Stellung, Vorkommen, Standortansprüchen, Morphologie, Vermehrung und Verwendung beschrieben.

Systematische Stellung

Familie: Salicaceae (Weidengewächse)

Gattung: Weiden

Art: *Salix humboldtiana* (Humboldt-Weide)

Allgemeine Bezeichnung: salso, salgueiro, salseiro, chorão, eirana

Vorkommen

Die Familie der Weidengewächse umfasst etwa 450 Arten und kommt vor allem auf der nördlichen Hemisphäre vor, vorwiegend entlang von Flüssen und Kanälen. Nur wenige Arten sind in den Tropen und der südlichen Hemisphäre heimisch ([http://de.wikipedia.org/wiki/Weiden_\(Botanik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Weiden_(Botanik)), 14.04.2008). So ist beispielsweise *Salix humboldtiana*, Humboldt-Weide, die einzige *Salix*-Art mit einem natürlichen Vorkommen in Südbrasilien (ALTREITER et al. 2004, S. 36). Sie zählt zu den charakteristischsten Arten im Bundesland Rio Grande do Sul, unserem Untersuchungsgebiet, und kommt sowohl in der



Abb.13: *Salix humboldtiana* am Ufer des Rio Vacacaí – mirim (Santa Maria, Sept. 2008)

Tiefebene, der Depressão Central als auch auf dem Hochland, dem Planalto vor. Ihr Gesamtareal erstreckt sich von Mexiko bis Argentinien und Chile. Aufgrund ihrer weiten geographischen Verbreitung erhielt diese Weidenart zahlreiche lokale Bezeichnungen, wie salso, salgueiro, salseiro, chorão, eirana (SUTILI 2007, S. 38)

Standortansprüche

Salix humboldtiana ist die charakteristische Art der alluvialen Waldgesellschaft (Floresta estacional decidual alluvial), die in Rio Grande do Sul sehr häufig anzutreffen ist. Dies bedeutet, dass diese Weidenart auf regelmäßig überfluteten Standorten vorkommt, wo das Wasser nur langsam versickert. Man findet sie sowohl auf Flächen, die mehrere Monate von fließendem Wasser überschwemmt sind, als auch auf gut drainierten Böden, solange der Grundwasserspiegel nicht zu tief liegt oder gleichmäßig über das Jahr verteilt ausreichend Niederschläge fallen.

Aufgrund dieser hohen ökologischen Toleranz hinsichtlich des Wasserhaushaltes, lässt sich *Salix humboldtiana* als einen selektiven Hygrophyten bezeichnen.

Sie ist ein Pionierbaum, der sehr lichtbedürftig ist (SUTILI 2007, S. 38-39).

Morphologie

Salix humboldtiana ist ein sommergrüner mittelgroßer Baum mit einer breiten lichten Krone und einem dichten Wurzelsystem. Er erreicht eine Höhe von 14-20 m und hat einen maximalen Stammdurchmesser von 90 cm (ALTREITER et al. 2004, S. 37). Die schlanken, aufwärts gerichteten Stämmchen sind in ihrer Morphologie an die Uferstandorte angepasst; sie können gerade, schief oder gekrümmt sein (siehe Abb. 13). Der Stamm hat eine dicke grau-braune Rinde mit tiefen Längsrissen, die sich in Schuppen ablöst.

Die wechselständig angeordneten Blätter sind einfach lanzettlich mit einer spitzen Blattbasis und einem spitzen Blattende (siehe Abb. 14). Sie sind kurz gestielt (4-6 mm), etwa 15 cm lang und bis zu 1,5 cm breit. Sie besitzen einen gezähnten Blattrand, einen hervorstehenden Mittelnerv und sind unbehaart. Zu Beginn des Frühjahrs sind sie hellgrün, im Sommer dunkelgrün und im Herbst vor dem Blattfall gelb.



Abb.14: Blätter und Rinde der *Salix humboldtiana* (Santa Maria, Sept. 2008)

Die nektarreichen Blüten sind getrenntgeschlechtlich; männliche und weibliche Blüten befinden sich auf einem Baum, an den Astenden der jungen Äste. Sie sind zu herabhängenden Kätzchen vereint (SUTILI 2007, S. 38).

Die Früchte sind oval bis oval-elliptische dunkelbraune Kapseln, die aus zwei Klappen bestehen und zahlreiche sehr kleine spindelförmige Samen bergen. Die Kapsel ist etwa 4-5 mm lang mit einem Durchmesser von etwa 2 mm (ALTREITER et al. 2004, S. 38).

Vermehrung

Weiden vermehren sich im Allgemeinen meist generativ über Samen. Die Samen von *Salix humboldtiana* sind sehr klein und besitzen ein Büschel feiner seidig weißer Haare. Sie befinden sich im Inneren der kapselförmigen Frucht. Sobald die beiden Klappen der Kapsel aufspringen werden die Samen über den Wind verbreitet und können so mehrere hundert Meter transportiert werden. An extrem feuchten Böden beginnt der Samen schließlich zu keimen und wächst.

Kennzeichnend für die Art *Salix humboldtiana* ist das kurze Keimvermögen und die geringe Haltbarkeit der Samen: bis etwa 2 Wochen nach Reife (ALTREITER et al. 2004, S. 40).

Salix humboldtiana lässt sich nach SUTILI 2007 leicht über Steckhölzer vermehren, wobei der beste Zeitpunkt zur Steckholzvermehrung im brasilianischen Winter, von Mai bis September ist. Der Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana* wurde daher im Mai angelegt.

Verwendung

Generell sind baumartige Weiden schnellwachsend und daher kurzlebig. Aufgrund dieser Tatsache ist das leichte, helle Holz von *Salix humboldtiana* nur von geringer Haltbarkeit und kann nicht als Wertholz verwendet werden. Es wird daher lediglich im Innenbau eingesetzt, sowie bei der Herstellung von Papier und zur Erzeugung von Kisten genutzt.

Die Verwendung zu forstlichen Zwecken ist begrenzt, da es an waldbaulichen Kenntnissen mangelt (SUTILI 2007, S. 39).

Die Eignung dieser Weidenart zum Einsatz bei ingenieurb biologischen Bauwerken ist ebenfalls nicht ganz klar. Ihr Steckholzwachstum soll im Zuge des Projekts erforscht werden.

Ihre Größe kann auch von Vorteil sein. So werden zum Beispiel die Stämme laut SUTILI (2007, S. 86) wegen ihres beachtlichen Durchmessers von durchschnittlich 50-70 cm als günstiges Baumaterial bei unterschiedlichen flussbaulichen Maßnahmen bezeichnet.

4.2. Artbeschreibung *Phyllanthus sellowianus*

Systematische Stellung

Familie: Euphorbiaceae (Wolfsmilchgewächse)

Gattung: *Phyllanthus*

Art: *Phyllanthus sellowianus*

Allgemeine Bezeichnung: Sarandi, Sarandi branco

Vorkommen

Die Familie der Euphorbiaceae umfasst circa 300 Gattungen und 7 300 Arten. Diese Familie ist auf der ganzen Welt verbreitet. Überwiegend kommt sie in tropischen Regionen vor, ihre Hauptverbreitungsgebiete befinden sich in Afrika und Amerika. In Südamerika gibt es etwa 65 Gattungen, wobei die Arten hauptsächlich strauch- oder baumartig sind (MARCHIORI 2000, S. 138 ff).

Phyllanthus sellowianus ist in Südbrasilien, Uruguay und im Nordosten Argentiniens heimisch. Sie kommt hauptsächlich entlang von Flussufern vor (SUTILI, 2007, S. 31). Diese Art bildet gemeinsam mit den Arten *Sebastiania schottiana*, *Terminalia australis* und *Calliandra seloi* die so genannte „Sarandi-Vegetation“ (ALTREITER et al. 2004, S. 32).

Standortansprüche

Am häufigsten ist *Phyllanthus sellowianus* an Ufern großer Wasserläufe, wie dem Rio Jacui, zu finden. Die rheophile Art ist an extreme Standortbedingungen, wie Trockenheit und Nässe sehr gut angepasst. Sie ist eine lichtbedürftige Art, die als selektiv hygrophytisch bis xerophytisch beschrieben wird (DURLO et al. 2005, S. 81).

Morphologie

Phyllanthus sellowianus ist ein 2 bis 3 m hoher, unbehaarter Strauch (CABRERA 1953, S. 286). Der Habitus gleicht dem der *Sebastiania schottiana*, die im Auszugsversuch in Vale Veneto verwendet wurde (siehe Abb. 15).



Abb.15: Habitus von *Phyllanthus sellowianus* und *Sebastiania schottiana* (SUTILI 2007, S. 31)

Die Äste sind lang, schmal und stark verzweigt. Sie haben die Eigenschaft sehr kräftig aber dennoch biegsam zu sein. Die Art ist daher optimal an starke Strömungen angepasst und festigt auch bei Hochwasser die Ufer.

Die Blätter sind wechselständig, ganzrandig, elliptisch – lanzettlich und haben einen kurzen Blattstiel: 1,5 – 2 mm (CABRERA 1953, S. 286). Sie erreichen eine Länge von 3 bis 4 cm, haben eine deutlich ausgeprägte Nervatur und sind auf der Unterseite blass.



Abb. 16: Blätter und Blüten von *Phyllanthus sellowianus* (Santa Maria, Sept. 2008)

Die Blüten sind eingeschlechtlich, zahlreich und in den Blattachsen zu Büscheln angeordnet (siehe Abb. 16). Der Name *Phyllanthus* bedeutet Blattblüte (griech.: phyllos – Blatt, anthos – Blüte) und ist auf diese Eigenschaft zurückzuführen, dass die Blüten in den Blattachsen sitzen (ALTREITER 2004, S. 31).

Die Früchte sind runde Kapseln, mit einem Durchmesser von 2,5 mm. Die darin enthaltenen Samen sind glatt und etwa 1 mm groß.

Verwendung

Das Holz der *Phyllanthus sellowianus* wird auf Grund des geringen Stammdurchmessers nicht kommerziell verwendet (siehe Abb. 17).

Die Art ist aber sehr gut als Erosionsschutz von Ufern geeignet, da sie nach bisherigem Wissensstand schnell Wurzeln bildet, ihr Habitus aber klein bleibt und die Äste ihre Flexibilität lange beibehalten. Die biologischen Eigenschaften und somit die Eignung für den Einsatz dieser Art in der Ingenieurbiologie wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit erforscht.



Abb. 17: *Phyllanthus sellowianus* (Santa Maria, Sept. 2008)

Da die Entwicklung der Pflanzen stark mit den Standortbedingungen verknüpft ist, wird im nachfolgenden Kapitel das Untersuchungsgebiet Südbrasilien bzw. Rio Grande do Sul als natürliches Verbreitungsgebiet dieser beiden Arten vorgestellt. Bei den angelegten Versuchen zur Bestimmung der Steckholzentwicklung wurden zwar künstliche Bodenverhältnisse (Sand, Wasser) geschaffen, der Einfluss des Klimas spielte jedoch eine entscheidende Rolle im Hinblick auf die Ausbildung von Sprossen und Wurzeln.

5. Untersuchungsgebiet

In folgendem Kapitel wird das Untersuchungsgebiet näher beschrieben, in welchem die Feldversuche angelegt waren. Es soll ein Eindruck vermittelt werden, unter welchen klimatischen Bedingungen die Versuche zur Steckholzentwicklung stattgefunden haben, sowie aufgezeigt werden welche die Probleme sind, mit denen die Kleinbauern zu kämpfen haben und warum Ingenieurbiologie und Grundlagenforschung hierzu in Südbrasilien von großer Bedeutung ist. Es wird auf die geologischen und geomorphologischen Gegebenheiten eingegangen, um ein besseres Verständnis für die Erosionsproblematiken zu geben, die durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung vor allem entlang der Wasserläufe entstehen. Durch diese anthropogene Nutzung hat sich auch das Erscheinungsbild der natürlichen Vegetation gewandelt. Abschließend wird daher die potentiell natürliche Vegetation im Unterschied zur heutigen Vegetation dargestellt.

5.1. Lage

Rio Grande do Sul, in dem das Untersuchungsgebiet liegt, ist der südlichste Bundesstaat Brasiliens. Er grenzt somit im Westen an Argentinien, im Süden an Uruguay und im Osten an den Atlantik (siehe Abb. 18). Einschließlich der Binnengewässer weist Rio Grande do Sul eine Größe von etwa 282.000 km² auf; das sind nur etwa 3% der Fläche Brasiliens. Es wohnen jedoch 6% der gesamten Bevölkerung in diesem Bundesstaat, dessen Hauptstadt Porto Alegre ist (http://de.wikipedia.org/wiki/Rio_Grande_do_Sul, 21.08.2008).



Abb. 18: Lage von Rio Grande do Sul
(http://www.fenac.com.br/fimec2008/download/mapa_rigrandedosul.gif,
21.08.2008)

5.2. Klima

Sowohl hinsichtlich Klima als auch hinsichtlich Geomorphologie und Landnutzung unterscheidet sich Südbrasilien –dazu zählen die drei Bundesstaaten Paraná, Santa Catarina und Rio Grande do Sul– deutlich von den übrigen brasilianischen Regionen. So herrscht im Großteil Brasiliens tropisches Klima mit geringen jahreszeitlichen Schwankungen, während im Süden gemäßigteres subtropisches Klima anzufinden ist (MÜLLER 1984, S. 16). Rio Grande do Sul liegt in der Zone der warmgemäßigten Regenklimate (ALTREITER et al. 2004, S. 18) und steht unter dem Einfluss südpolarer Luftmassen (SUTILI 2007, S. 13).

Die Niederschläge sind über das gesamte Jahr gleichmäßig verteilt. Es gibt keinen trockenen Monat. Der Jahresniederschlag misst etwa 1300 mm. Das monatliche Mittel liegt bei über 100 mm (MÜLLER 1984, S. 16).

Wie aus Abb.19 ersichtlich sind die Monate Februar, Mai, November und Dezember regenärmer, während die Monate März, Juni, Juli, September und Oktober sehr regenintensiv sind. In den

heißeren Monaten (November bis Februar) kann es zeitweise auch zu Wasserknappheit kommen (DURLO et al. 2005, S. 156)

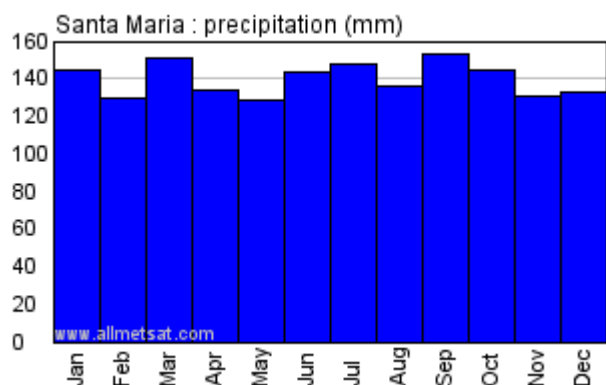
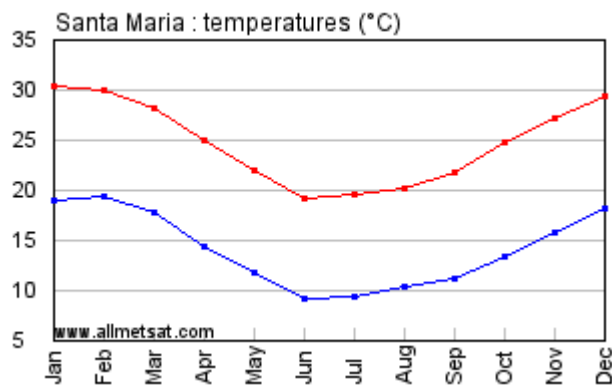


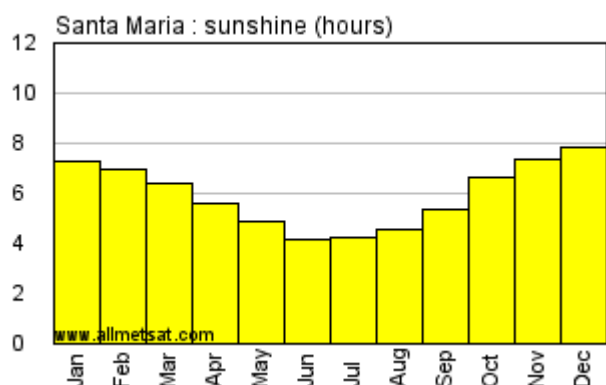
Abb. 19: Mittlerer monatlicher Niederschlag (mm) in Santa Maria (<http://en.allmetsat.com/climate/uruguay.php?code=83936>, 05.12.2008)



Monatlicher Durchschnitt der Minimal- und
Maximaltemperaturen pro Tag

°C

Abb. 20: Monatliches Temperaturmittel (°C) in Santa Maria (<http://en.allmetsat.com/climate/uruguay.php?code=83936>, 05.12.2008)



Monatlicher Durchschnitt der
Sonnenstunden pro Tag

Abb. 21: Mittlere monatliche Sonnenstunden (h) in Santa Maria (<http://en.allmetsat.com/climate/uruguay.php?code=83936>, 05.12.2008)

Die Jahresmitteltemperatur in Rio Grande do Sul beträgt rund 19°C. Es lässt sich jedoch ein deutlicher Jahresgang mit einem Temperaturunterschied von 10°C feststellen (siehe Abb. 20). Die mittlere Temperatur der wärmsten Monate liegt bei etwa 24°C, das Mittel der kältesten Monate bei 14°C (ALTREITER et al. 2004, S. 18). Durchschnittlich gibt es jährlich 15 Tage Frost (SUTILI 2007, S. 13).

Man unterscheidet vier Jahreszeiten. Im Sommer (Dezember bis März) sind die Temperaturen deutlich höher als im Winter. Die durchschnittlich höchsten Tagestemperaturen liegen in den Sommermonaten bei 30°C, in den Wintermonaten (Juni bis September) liegen die durchschnittlichen maximalen Tagestemperaturen bei 20°C. Auch die Sonnenstunden nehmen im Sommer deutlich zu, sie steigen von täglich durchschnittlich 4 Stunden im Winter auf täglich durchschnittlich 8 Stunden (siehe Abb. 21).

In den Jahren des „El Niño“ herrscht eine völlig andere Wettersituation. In diesen Jahren kommt es durch die Erwärmung des Humboldtstromes vor der Küste Südamerikas zu sehr starken Regenfällen und Überschwemmungen (http://de.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o, 21.08.2008). Dieses Phänomen tritt etwa alle 5 Jahre auf. Das Jahr 2008, in dem die Versuche zur Optimierung des Steckholzwachstums am Beispiel von *Salix humboldtiana* und *Phyllanthus sellowianus* an der Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) durchgeführt wurden, war ein solches Jahr des „El Niño“. In solchen Jahren liegt der jährliche Niederschlag bei etwa 2500 mm. In den regenreichsten Monaten werden mehr als 400 mm gemessen (DURLO et. al 2005, S. 156).

5.3. Geomorphologie und Geologie

Der südliche Teil Brasiliens mit den drei Bundesstaaten Paraná, Santa Catarina und Rio Grande do Sul liegt auf einem riesigen Hochplateau (Topo), das im Süden und Osten zur Zentraldepression (Depressão Central) hin abbricht (ALTREITER et al. 2004, S.8). Dieses Erscheinungsbild Südbrasilens wurde durch die vulkanische Aktivität im Mesozoikum vor 130 Mio. Jahren geformt.

Alle drei Bundesländer bis hin zur Zentraldepression in Rio Grande do Sul sind von einer mächtigen Lavadecke bedeckt (ALTRETER et al. 2004, S. 14), die in den treppenförmig abfallenden Steilhängen des Gebirgszuges der Serra Geral endet (SUTILI 2007, S. 14).

Rio Grande do Sul, der Bundesstaat, in dem das Untersuchungsgebiet liegt, ist demnach durch folgende geomorphologische Ausformungen gekennzeichnet (siehe Abb. 22):

- das Hochplateau (Topo) im Norden
- die abrupt abfallenden Felswände und Abhänge (Rebordo) der Serra Geral zur Zentraldepression hin und
- die Zentraldepression (Depressão Central) im Süden.

Die Zentraldepression mit ihrem leicht welligen Relief und sandigem Gestein steht im Gegensatz zur stark zerfurchten Landschaft der Serra Geral. „Coxilhas“ (runde Hügel) und alluviale Ebenen mit geringen Höhenunterschieden prägen den Süden der Landschaft (ALTREITER et al. 2004, S. 8).

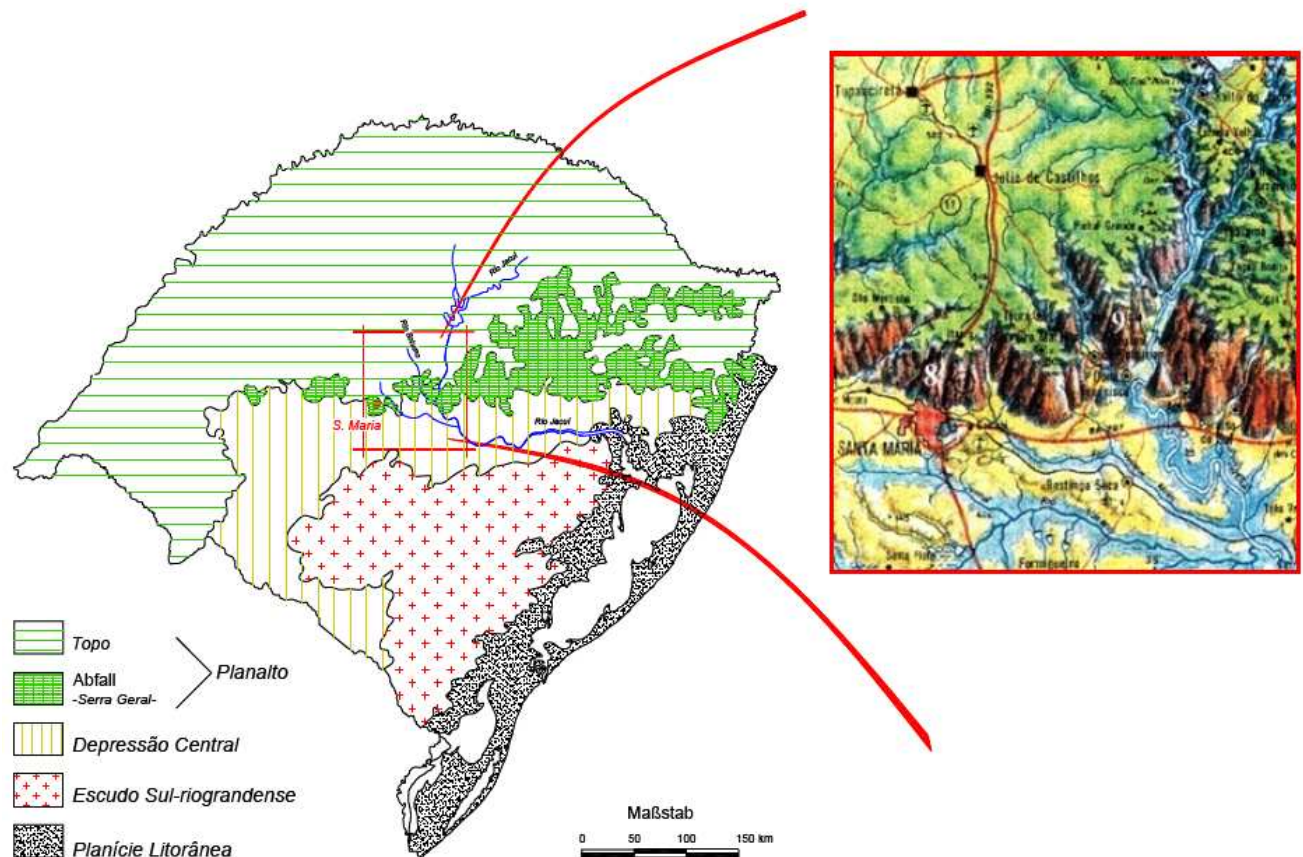


Abb. 22: geomorphologische Karte von Rio Grande do Sul (SUTILI 2007, S. 15)

5.4. Wasserläufe und deren Erosionsprobleme

Der Hauptwasserlauf der Region ist der Rio Jacuí (siehe Abb. 22). Er entspringt in der Hochebene und erreicht über die Steilhänge die Zentraldepression, d.h. zwischen Ursprung und Unterlauf des Flusses besteht ein Höhenunterschied von über 400 m (SUTILI 2007, S. 14).

Über die Steilhänge gewinnen jene Wasserläufe, die in der Hochebene entspringen, an Volumen und Kraft und verursachen schließlich große Erosionsprobleme in der Zentraldepression. Diese werden verstärkt durch die große Erodierbarkeit der sandigen Flusssedimente in der Tiefebene.

Je näher die Flüsse zur Mündung kommen, umso größer werden die Erosionsprobleme. Dies betrifft auch kleinere und mittlere Wasserläufe, die die Vorberge des Südabfalls der Serra Geral entwässern. Sie entspringen größtenteils in kaum mehr als 400 m ü.d.M.

Die Erosionsprobleme sind dort am größten, wo die landwirtschaftliche Kultivierung und Viehhaltung bis ans Ufer reicht. Die Ufer bzw. angrenzenden Flächen weisen häufig gar keine oder nur eine sehr geringe Vegetationsdecke auf, die die Ufer stabilisieren könnten. Im Rahmen des Projektes „Pflanzen für Ingenieurbauwerke: eine Analyse ausgewählter Kriterien für einen nachhaltigen Bodenschutz in Südbrasilien“ wird nach einer dauerhaften und nachhaltigen Lösung der genannten Probleme gesucht. Denn die bisherige Verwendung von hochstämmigem Bambus (siehe Abb. 23 u. 24) zur Uferstabilisierung ist nur eine momentane und kurzfristige Problemlösung. Der Bambus kann bei Wind leicht herausgerissen werden, was die Böschung destabilisiert und die Erosion fördert (SUTILI 2007, S. 23).



Abb. 23 u. 24: hochstämmiger Bambus zur Ufersicherung (Vale Veneto, Sept. 2008)

5.5. Ursprüngliche und aktuelle Vegetation

Der Süden Brasiliens war jahrhundertlang nicht erschlossen und unbesiedelt. Erst ab der Mitte des 19. Jahrhunderts setzte eine stärkere Besiedelung ein. Die kaiserliche Regierung förderte die Einwanderung von selbständigen Ackerbauern aus Europa, vor allem Italienern und Deutschen

(MÜLLER 1984, S. 125ff). Bis zu diesem Zeitraum der verstärkten europäischen Kolonisation blieb das natürliche Pflanzenkleid Südbrasilien erhalten.

Die potentiell natürliche Vegetation (siehe Abb. 25) bestand aus

- den „Campos“ und Höheng campos (etwa 60% der Fläche) und
- unterschiedlichen subtropischen Waldgesellschaften (etwa 40% der Fläche).

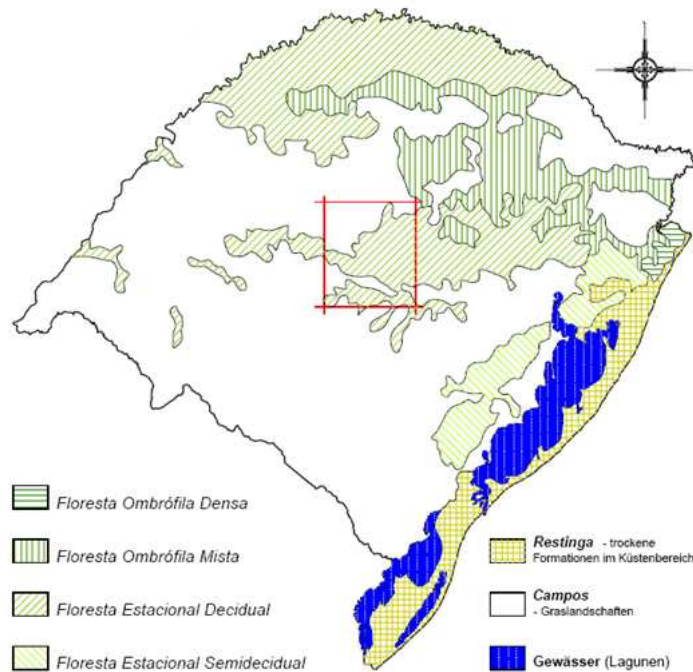


Abb. 25: Potentiell natürliche Vegetation in Rio Grande do Sul (SUTILI 2007, S. 18)

Die „Campos“ sind weite Graslandschaften. Sie erstreckten sich vor allem im Süden und Westen und schlossen direkt an die uruguayische und argentinische Pampa an. Auf der Hochebene (Topo) spricht man von Höheng campos (ALTREITER et al. 2004, S. 19).

Die starke europäische Kolonisation im 19. Jahrhundert beeinflusst die Kultur, Mentalität und Wirtschaft Südbrasilien. Es wird vermehrt Ackerbau betrieben (MÜLLER 1984, S. 127). Der Großteil der alluvialen Waldvegetation wird stufenweise beseitigt und durch Reiskultur und Weiden ersetzt, die bis an die Ufer der Wasserläufe heranreichen. Die Ufersäume entlang von Flüssen und Bächen werden am stärksten beeinflusst. Auf häufig überschwemmten Flächen mit geringer Wasserversickerung sind nur mehr sehr lichte Waldbestände, die teilweise von *Salix humboldtiana* – dem Untersuchungsmaterial im ersten Versuch – dominiert sind. Auf seltener überschwemmten Flächen, wo der Boden wasserdurchlässiger ist, sind die Bestände dichter. In der Unterschicht findet

man hier vermehrt die als „sarandis“ bezeichneten Bäumchen, zu denen auch *Phyllanthus sellowianus* –das Untersuchungsmaterial im zweiten Versuch- zählt (SUTILI 2007, S. 19).

Das gemäßigte Klima in Südbrasilien und die fruchtbaren vulkanischen Böden begünstigen die Landwirtschaft (MÜLLER 1984, S. 125). Die Region ist hauptsächlich durch kleine Betriebe, bäuerliche Familienbetriebe geprägt. 90% der Bauern besitzen weniger als 50 ha (SUTILI 2007, S. 20).

Vor allem an den Mittel- und Unterhängen wurde eine intensive Entwaldung betrieben, um die Flächen landwirtschaftlich zu nutzen. Nur noch auf den Hanglagen, die zu steil für eine landwirtschaftliche Nutzung sind, gibt es Reste der potentiell natürlichen Vegetation. Diese Waldreste haben jedoch stark an Artenreichtum eingebüßt.

Auf flachen Grundstücken werden heute vor allem Wechselkulturen wie Tabak, Soja, Mais usw. angebaut. Charakteristisch für Südbrasilien sind Polykulturen. Zur Aufforstung werden Dauerkulturen verwendet, beispielsweise Zitrusfrüchte und Eukalyptus.

Nachdem nun ein Überblick über das Untersuchungsgebiet gegeben wurde und darüber, warum Ingenieurbiologie in Südbrasilien von Bedeutung ist, folgt im Anschluss die Darstellung der vorgenommenen Versuche.

6. Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*

In folgendem Kapitel werden die Ziele, das Material und die Methodik des Versuches beschrieben, sowie die Ergebnisse dargestellt und diskutiert.

6.1. Ziel

Wie bereits in der Einleitung erläutert, soll der Wissensstand über geeignetes heimisches Pflanzenmaterial für den ingenieurb biologischen Einsatz in Südbrasilien erweitert werden. Die Arbeitsziele des in Folge beschriebenen Versuches waren daher:

1. Untersuchung der Steckholzentwicklung der Art *Salix humboldtiana*
2. Vergleich der Steckholzentwicklung in 5 unterschiedlichen Einlageverhältnissen
3. Steckholzwachstum über die Wintermonate.

In diesem Versuch war es von Interesse zu ermitteln, in welchem Einlageverhältnis die Steckhölzer von *Salix humboldtiana* eine bessere Biomassenentwicklung zeigen. Zudem wurde getestet, ob die Steckhölzer der Art *Salix humboldtiana* den Winter überdauern und in welchem Einlageverhältnis sie die besseren Überlebenschancen zeigen. Diese Beobachtungen sind für die Verwendung von *Salix humboldtiana* als Steckholz in der Ingenieurb iologie von großer Bedeutung. Sie geben Aufschluss darüber, zu welcher Jahreszeit ingenieurb iologische Sicherungs- und Strukturmaßnahmen mit Steckhölzern am besten durchgeführt werden.

6.2. Material und Methodik

Im Versuchsgarten der Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) wurde am 3. Mai 2008 der erste Versuch angelegt und nach einem Zeitraum von 4 Monaten Daten erhoben. In folgendem Kapitel wird die Methodik näher erläutert. Es wird beschrieben wie das Pflanzmaterial beschafft und der Versuch aufgebaut wurden, welche Instandhaltungsmaßnahmen notwendig waren und wie welche Daten erhoben wurden.

6.2.1. Pflanzmaterial

In diesem Versuch wird mit der in Kapitel 4.1. beschriebenen Art *Salix humboldtiana* gearbeitet. Das vegetative Material dieser Weidenart wurde von zwei Bäumen am Ufer des Guarda-Mor, im Dorf Guarda-Mor, der Gemeinde Faxinal do Soturno in Rio Grande do Sul gesammelt.

Die Steckhölzer hatten eine Länge von 50 cm und einen mittleren Durchmesser von 24 mm.

Um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten wurden Steckhölzer mit einem Durchmesser von 20 bis 30 mm verwendet. Beim Einlegen der Steckhölzer wurde darauf geachtet, die unterschiedlichen Durchmesser gleichmäßig auf die verschiedenen Einlageverhältnisse zu verteilen, wie aus Abb. 26 hervorgeht.

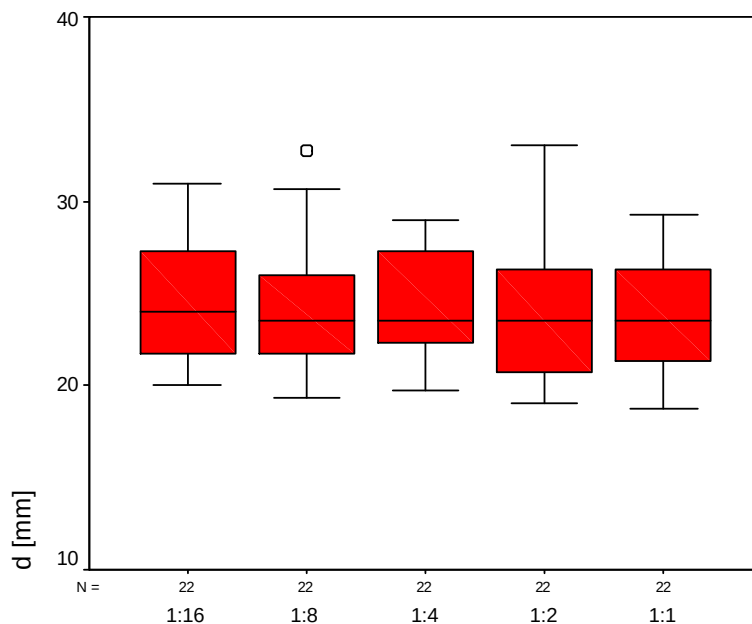


Abb. 26: Verteilung der Durchmesser der Steckhölzer (d) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

- Um den mittleren Durchmesser eines jeden Steckholzes zu berechnen, wurde das arithmetische Mittel von den Durchmessern an Basis, Mitte und Spitze gebildet.
- Steckhölzer mit Schäden wie Verletzungen der Rinde, Pilzinfektionen oder zu starken Verkrümmungen wurden nicht verwendet.
- Die Steckhölzer wurden vor Ort gebündelt, in Plastiksäcken verpackt und zur Versuchsfläche transportiert.

6.2.2. Versuchsaufbau

Der Versuch wurde im Versuchsgarten der UFSM (Universidade Federal de Santa Maria) angelegt. Der Bereich wurde so gewählt, dass die Fläche ganztägig durch Laubbäume beschattet ist und somit die täglichen Temperaturschwankungen geringer gehalten werden. Die Bäume schützen die Steckhölzer zudem vor der direkten Prallwirkung der Niederschläge.

Für den Versuch wurde eine Holzkonstruktion in Form eines Rechteckes gebaut. Die Kiste mit den Maßen 4,7 m mal 2,1 m und einer Höhe von 0,6 m wurde mit einer Plastikplane ausgekleidet (siehe Abb. 27). In diese wurden dann kleine Löcher eingeschnitten um so eine Drainagewirkung zu erzielen.



Abb. 27: Holzkonstruktion mit Plane (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria / UFSM, Mai 2008)



Abb. 28: Positionierung der Steckhölzer (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria / UFSM, Mai 2008)

Nach Fertigstellung wurde die Holzkiste mit nährstoffarmen Substrat (Sand) gefüllt und die Steckhölzer positioniert (siehe Abb. 28).

Anschließend wurden die Steckhölzer in den Einlageverhältnissen 1:1, 1:2, 1:4, 1:8 und 1:16 (Details siehe Tabelle 1) eingelegt.

Einlageverhältnis	Anteil des Steckholzes [cm]	
	Unter dem Sand	Über dem Sand
1:1	25,0	25,0
1:2	33,3	16,7
1:4	40,0	10,0
1:8	44,5	5,5
1:16	47,1	2,9

Tab. 1: Einlageverhältnisse der Steckhölzer mit dem ober- und unterirdischen Anteil (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

Insgesamt wurden 110 Steckhölzer eingelegt, je 22 in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (siehe Abb. 29 u. 30).

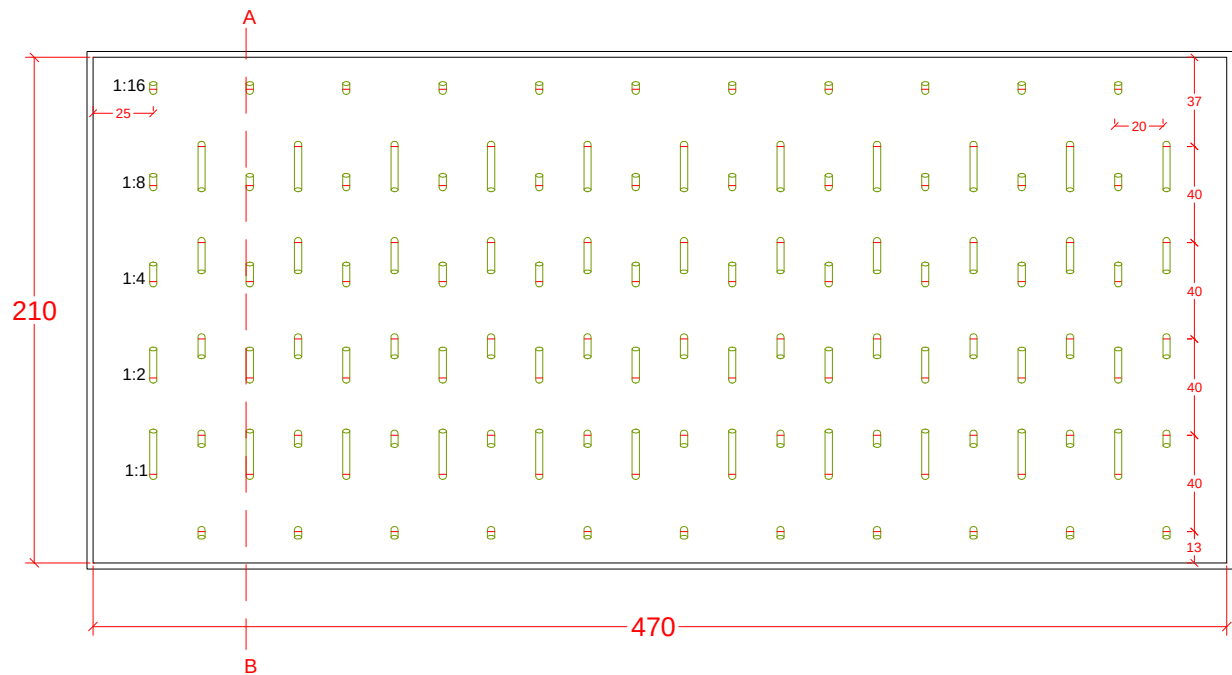


Abb. 29: Anzahl, Positionierung und Dimensionen der Steckhölzer (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

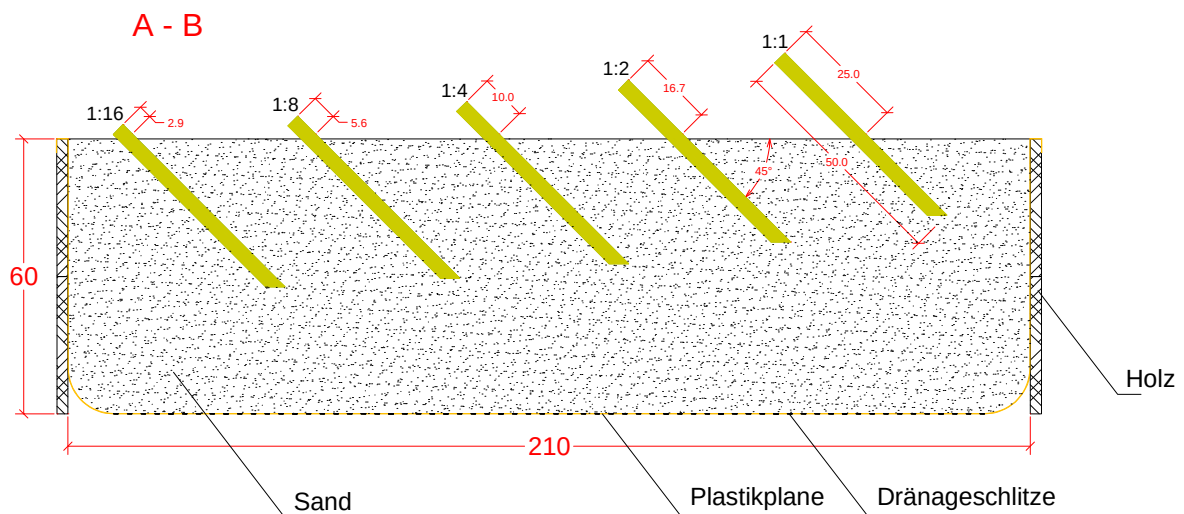


Abb. 30: Schnitt A – B durch die Holzkonstruktion (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

Der gewählte Einlagewinkel betrug 45° . Um die Steckhölzer im richtigen Winkel einzulegen, wurde ein Holzdreieck zu Hilfe genommen (siehe Abb. 31).

Jedes Steckholz wurde mit einer Plastikplakette gekennzeichnet, um die spätere Auswertung zu vereinfachen. Allerdings wurde die Beschriftung mit der Zeit abgewaschen und musste erneuert werden.



Abb. 31: Einlegen der Steckhölzer in 45° (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria / UFSM, Mai 2008)



Abb. 32: Versuch nach Fertigstellung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria / UFSM, Mai 2008)

6.2.3. Instandhaltungsmaßnahmen des Versuches

- Nach Einlegen der Steckhölzer wurde die Versuchsfläche gegossen, um eine permanente Feuchtigkeit zu gewährleisten.
- Während der vier Monate, in denen die Steckhölzer anwuchsen, wurde die Feuchtigkeit regelmäßig kontrolliert. Das Gießen war nur selten notwendig, aufgrund der häufigen Niederschläge.
- Um eine Verfälschung der Ergebnisse zu vermeiden, wurden Maßnahmen angewandt, um die Pflanzen fressenden Ameisen fernzuhalten. Der Bereich um die Holzkonstruktion wurde mit dem Ameisenpestizid K-Otrine besprüht, zudem wurde die Außenseite des Pflanztroges mit einer klebrigen Paste bestrichen, damit die Ameisen nicht zu den Pflanzen gelangen (siehe Abb. 32).
- Das Unkraut, das über diese klebrige Beschichtung hinauswuchs, wurde entfernt.

6.2.4. Datenerhebung

Nach drei Monaten wurden die ersten Daten der Steckhölzer –die vertrocknete Spitze– aufgenommen. Aufgrund der kalten Wetterverhältnisse begann erst im August die Sprossbildung. Alle 110 Steckhölzer schienen anzuwachsen, zu diesem Zeitpunkt wurde noch kein Ausfall festgestellt.

Nach vier Monaten, Anfang September 2008, wurden Daten zu den Steckhölzern, zu den Sprossen sowie zu den Wurzeln gesammelt.

Folgendes Organigramm (siehe Abb. 33) zeigt, welche Daten gesammelt und welche Berechnungen anschließend vorgenommen wurden.

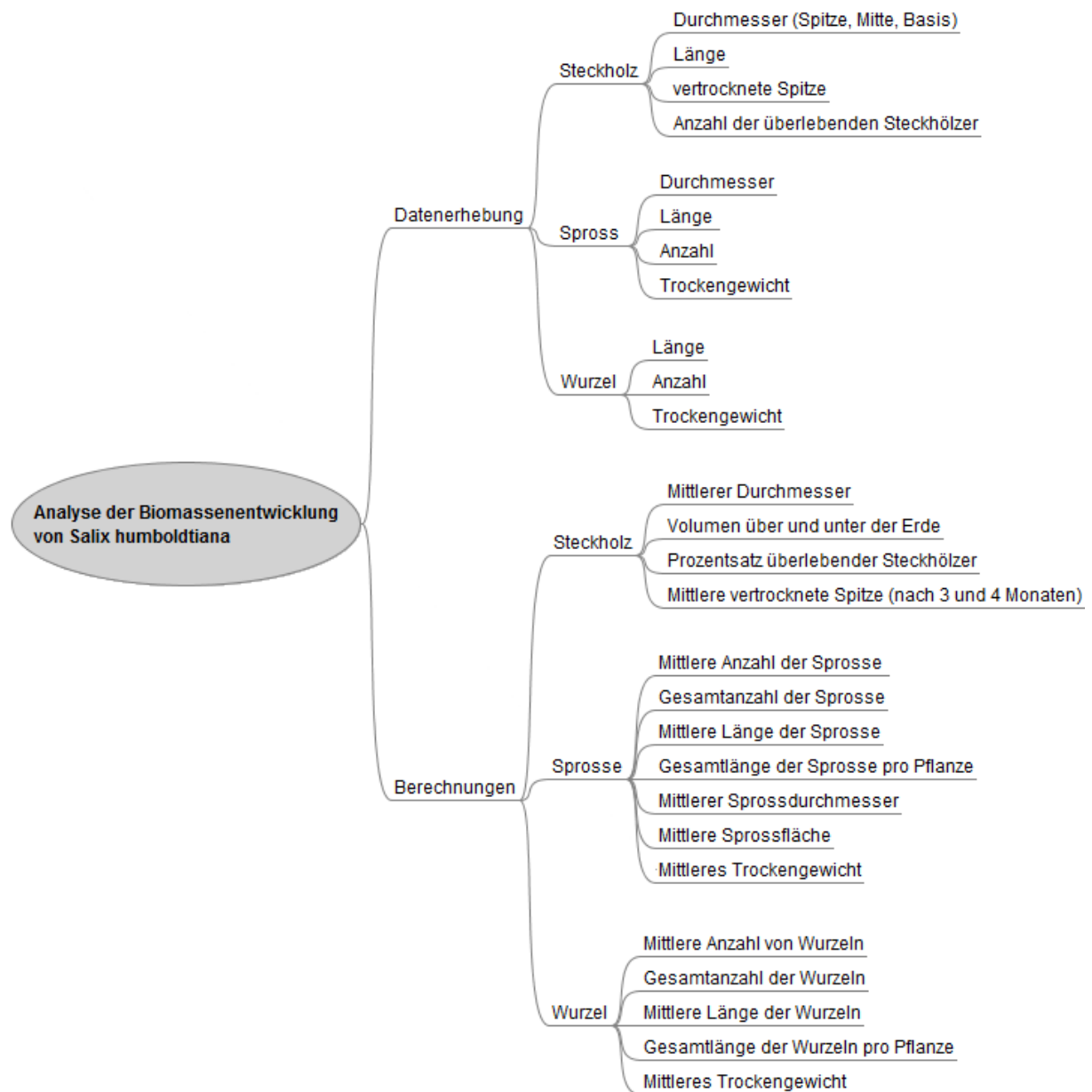


Abb. 33: Organigramm zur Methodik, Datenerhebung und Berechnungen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

Daten der Steckhölzer

Gemessen wurden:

- Durchmesser des Steckholzes an Spitze, Mitte und Basis (mm)
- Länge des Steckholzes (cm)
- Vertrocknete Spitze pro Steckholz (mm)
- Anzahl der überlebenden Steckhölzer

Daten der Sprosse

Am 10. September 2008 wurden die Sprosse der 110 Steckhölzer geschnitten und in nummerierte Papiertüten gegeben (siehe Abb. 34 u. 35), um anschließend folgende Parameter zu erheben:

- Durchmesser der Sprosse (mm)
- Länge der Sprosse (cm)
- Anzahl der Sprosse pro Steckholz
- Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz (g)



Abb. 34: Schneiden der Sprosse (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008)



Abb. 35: Gesammelte Sprosse (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008)

Die Länge der Sprosse wurde mit einem Lineal millimetergenau gemessen (siehe Abb. 36). Die Durchmesser wurden mit Hilfe einer digitalen Schublehre der Marke Electronic digital Caliper (Messbereich 0 – 150 mm; Genauigkeit 0 – 0,2 mm; Messgeschwindigkeit 1,5 m/sec) aufgenommen. Um die Trockenmasse bestimmen zu können, wurden die Sprosse und die Wurzeln in den Papiertüten in einen Trockenofen gegeben (siehe Abb. 37). Dort wurden sie drei Tage lang bei 60°C getrocknet. Anschließend wurde das Trockengewicht mittels einer Präzisionswaage mit Graphik - Display der brasilianischen Marke Marte (Maximallast 5000 g; Minimallast 0,25 g; Auflösung 0,01/0,1 g) gewogen (siehe Abb. 38).

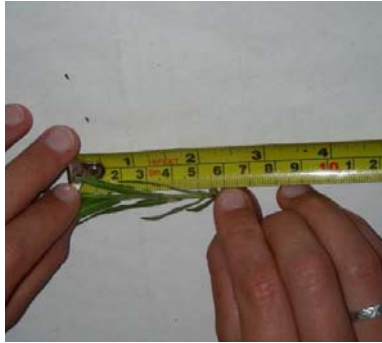


Abb. 36: Messen der Sprosslänge
(Versuch Einlageverhältnis in
Sand mit *Salix humboldtiana*,
Santa Maria / UFSM, Sept.
2008)



Abb. 37: Trocknen der Sprosse und
Wurzeln im Trockenofen
(Versuch Einlageverhältnis
in Sand mit *Salix*
humboldtiana, Santa Maria
/ UFSM, Dez. 2008)



Abb. 38: Messen des Trockengewichts der
Wurzeln (Versuch
Einlageverhältnis in Sand mit *Salix*
humboldtiana, Santa Maria /
UFSM, Sept. 2008)

Bei der Datenerhebung der Sprosse ergab sich das Problem, dass nicht alle Sprosse voll ausgebildet waren. Die Blätter dieser sehr jungen Sprosse waren noch sehr dicht zusammengedrängt; es waren noch keine eindeutigen Internodien erkennbar. Diese Sprosse, die gerade erst auszutreiben begannen, wurden in der Datenerhebung als Knospen bezeichnet. Sie scheinen daher in den Berechnungen der Anzahl, Längen und Durchmesser der Sprosse nicht auf, sondern wurden ausschließlich beim Trockengewicht berücksichtigt.

Daten der Wurzeln

Im Zeitraum vom 15. – 17. September 2008 wurden die Wurzeln der 110 Steckhölzer, mit Hilfe eines Wasserstrahls von geringem Druck, ausgewaschen (siehe Abb. 39). Bei dieser Methode ist ein vorsichtiges Vorgehen unbedingt notwendig; trotzdem ist es nicht zu vermeiden, dass einige Wurzeln abbrechen.

Bei einigen Steckhölzern wuchsen die Wurzeln durch die Drainageschlitze aus der Holzkiste hinaus und waren tief im Boden verankert. Diese Wurzeln wurden an der Stelle, wo sie aus der Holzkonstruktion hinauswuchsen, abgeschnitten.

Gleich vor Ort wurden folgende Daten erhoben (siehe Abb. 40):

- Anzahl der Primärwurzeln pro Steckholz
- Länge der Primärwurzeln (cm).

Des Weiteren wurde das Trockengewicht der Wurzeln pro Steckholz (g) gemessen.



Abb. 39: Auswaschen der Steckhölzer (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008)



Abb. 40: Messarbeiten vor Ort (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008)

6.3. Ergebnisse

Um die Steckholzentwicklung der Art *Salix humboldtiana* zu untersuchen (Arbeitsziel 1) und sie in den 5 unterschiedlichen Einlageverhältnissen vergleichen zu können (Arbeitsziel 2), wurden wie bereits in der Abb. 33 ersichtlich, folgende Berechnungen durchgeführt:

Berechnungen mit den Daten der Steckhölzer:

- Mittlerer Durchmesser (mm)
- Volumen des Steckholzes über und unter der Erde (cm³)

Die genannten Variablen wurden wie folgt berechnet:

Mittlerer Durchmesser des Steckholzes: dieser wird ermittelt, indem man die Durchmesser von Basis, Mitte und Spitze addiert und anschließend durch die Anzahl dividiert.

Volumen des Steckholzes über und unter der Erde: Diese Variable wird berechnet, unter der Annahme, dass ein Steckholz nahezu zylinderförmig ist, mit der Formel der Volumenberechnung eines Zylinders: $V = r^2 \cdot \pi \cdot h$. h ist der Anteil des Steckholzes der sich entweder über oder unter der Erde befindet.

Der mittlere Durchmesser gibt an, dass die unterschiedlichen Durchmesser gleich auf die Proportionen verteilt waren und somit ein aussagekräftiges Ergebnis gewährleistet ist (siehe Abb. 23).

Das Volumen der Steckhölzer ober bzw. unter der Erde wurde berechnet, um die unterschiedlichen Einlageverhältnisse miteinander vergleichen zu können und um feststellen zu können, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Volumen über bzw. unter der Erde und der ober- bzw. unterirdischen Biomassenentwicklung gibt.

Die erhobenen Daten zur Anzahl der überlebenden Steckhölzer sowie zum Anteil der vertrockneten Spitze pro Steckholz lassen Rückschlüsse auf das Steckholzwachstum über die Wintermonate zu. Die Ergebnisse hierzu werden daher später bei der Abhandlung zu Arbeitsziel 3 dargestellt.

Berechnungen mit den Daten der Sprosse:

- Mittlere Anzahl der Sprosse pro Steckholz
- Gesamtanzahl der Sprosse pro Einlageverhältnis
- Mittlere Länge der Sprosse pro Steckholz (cm)
- Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz (cm)
- Mittlerer Sprossdurchmesser pro Steckholz (mm)
- Mittleres Trockengewicht pro Steckholz (g)

Um diese Variablen berechnen zu können, wurde wie folgt vorgegangen:

Mittlere Anzahl der Sprosse pro Steckholz: es wird die Summe der Anzahl der Sprosse in einem Einlageverhältnis gebildet und durch die Anzahl der Steckhölzer in diesem Einlageverhältnis dividiert.

Gesamtanzahl der Sprosse pro Einlageverhältnis: Dabei wurden alle Sprosse der einzelnen Steckhölzer in einem Einlageverhältnis summiert.

Mittlere Länge der Sprosse pro Steckholz: Es wird die Summe aller Sprosslängen in einem Einlageverhältnis gebildet und durch die Anzahl der Sprosse in diesem Einlageverhältnis geteilt.

Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz: diese berechnet man durch die Summe der Längen der Sprosse pro Steckholz.

Mittlerer Durchmesser der Sprosse pro Steckholz: um diesen zu ermitteln wird die Summe aller Sprossdurchmesser pro Einlageverhältnis gebildet und durch die Anzahl der Steckhölzer dividiert.

Mittleres Trockengewicht pro Steckholz: Die Summe der erhobenen Trockengewichte der Sprosse aller Steckhölzer in einem Einlageverhältnis wird durch die Anzahl der Steckhölzer in diesem Einlageverhältnis dividiert.

Die genannten Variablen geben Aufschluss über die oberirdische Biomassenentwicklung in den unterschiedlichen Einlageverhältnis und lassen einen Vergleich zwischen den fünf Einlageverhältnissen zu.

Berechnungen mit den Daten der Wurzeln:

- Mittlere Anzahl von Wurzeln pro Steckholz
- Gesamtanzahl der Wurzeln pro Einlageverhältnis
- Mittlere Länge der Wurzeln pro Steckholz (cm)
- Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholz (cm)
- Mittleres Trockengewicht pro Steckholz (g)

Die Variablen zu den Wurzeln wurden durch folgende Formeln berechnet:

Mittlere Anzahl der Wurzeln pro Steckholz: erhält man, indem man die Gesamtzahl aller Wurzeln pro Steckholz in einem Einlageverhältnis durch die Anzahl der Steckhölzer dividiert.

Gesamtanzahl der Wurzeln pro Einlageverhältnis: Dabei wurden alle Wurzeln der einzelnen Steckhölzer in einem Einlageverhältnis summiert.

Mittlere Länge der Wurzeln pro Steckholz, berechnet man aus der Summe der Längen aller Wurzeln in einem Einlageverhältnis, dividiert durch die Anzahl aller Wurzeln.

Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholz: diese berechnet man durch die Summe der Längen der Wurzeln pro Steckholz.

Mittleres Trockengewicht pro Steckholz: Die Summe der erhobenen Trockengewichte der Wurzeln aller Steckhölzer in einem Einlageverhältnis wird durch die Anzahl der Steckhölzer in diesem Einlageverhältnis dividiert.

Die genannten Variablen lassen Rückschlüsse auf die unterirdische Biomassenentwicklung in den unterschiedlichen fünf Einlageverhältnissen zu und ermöglichen einen Vergleich zwischen den Einlageverhältnissen.

Die angeführten Mittelwerte und die dazugehörigen Standardabweichungen wurden mit dem Statistik - Programm SPSS berechnet. In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse dieser Berechnungen aufgelistet. Da die Gesamtanzahl der Sprosse und Wurzeln keine Mittelwerte sondern reine Summenbildungen sind, sind diese nicht in der Tabelle enthalten. Sie wurden im Rechenprogramm Excel ermittelt.

6.3.1. Ergebnisse der Steckholzuntersuchung

In Tabelle 2 ist der mittlere Durchmesser der Steckhölzer sowie das durchschnittliche Volumen über und unter der Erde in den einzelnen Einlageverhältnissen und insgesamt abzulesen. Zu jedem Mittelwert wurde auch die Standardabweichung (SD) berechnet.

x/y		Mittlerer Durchmesser (mm)	Volumen des Steckholzes ÜBER der Erde (cm³)	Volumen des Steckholzes UNTER der Erde (cm³)
1:1	Mittelwert	24,17	116,8171	116,8171
	N	22	22	22
	SD	3,382	33,18459	33,18459
1:2	Mittelwert	24,15	78,1034	155,7390
	N	22	22	22
	SD	3,572	23,76575	47,38919
1:4	Mittelwert	24,17	46,5340	186,1362
	N	22	22	22
	SD	2,977	11,56897	46,27588
1:8	Mittelwert	24,36	26,2463	212,3561
	N	22	22	22
	SD	3,831	8,48840	68,67886
1:16	Mittelwert	23,83	13,1265	213,1931
	N	22	22	22
	SD	2,947	3,18900	51,79377
alle	Mittelwert	24,14	56,1655	176,8483
	N	110	110	110
	SD	3,301	42,13646	61,95778

Tab. 2: Ergebnisse der Steckholzuntersuchung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008); N=Anzahl, SD=Standardabweichung

Aus dieser Tabelle kann abgelesen werden, dass alle Steckhölzer im Mittel den gleichen Durchmesser aufweisen. Je nach Einlageverhältnis ändert sich das Volumen des Steckholzes über und unter der Erde. Im Einlageverhältnis 1:1 befindet sich das geringste Volumen unter der Erde, im Einlageverhältnis 1:16 das größte.

6.3.2. Ergebnisse der Sprossentwicklung

Die Gesamtanzahl der Sprosse wurde wie bereits erwähnt mit dem Rechenprogramm Excel ermittelt. Dabei ergab sich für die Proportion 1:1 eine Gesamtanzahl von 339 Sprossen, für die Proportion 1:2 eine Anzahl von 292 Sprossen, in der Proportion 1:4 ließen sich insgesamt 302 Sprosse zählen, in der Proportion 1:8 wurden 211 Sprosse gesammelt und in der Proportion 1:16 waren es 132 Sprosse.

Die nachstehende Tabelle 3 zeigt die mittlere Anzahl der Sprosse, die mittlere Länge der Sprosse, die Gesamtlänge der Sprosse pro Pflanze, den mittleren Sprossdurchmesser sowie das durchschnittliche Trockengewicht der Sprosse. Zu jedem Mittelwert wird die Standardabweichung (SD) angegeben.

x/y		Mittlere Anzahl der Sprosse	Mittlere Länge der Sprosse (cm)	Gesamtlänge der Sprosse pro Pflanze (cm)	Mittlerer Sprossdurchmesser (mm)	Mittleres Trockengewicht der Sprosse (g)
1:1	Mittelwert	15,41	5,470	100,71	1,7155	1,962
	N	22	22	22	22	22
	SD	10,266	4,5700	77,183	,89096	1,4929
1:2	Mittelwert	13,27	6,644	102,36	1,9318	2,001
	N	22	22	22	22	22
	SD	9,392	6,3676	89,189	,88067	1,6477
1:4	Mittelwert	13,73	6,970	105,50	2,0800	2,201
	N	22	22	22	22	22
	SD	8,049	4,6677	83,083	,70489	1,5248
1:8	Mittelwert	9,59	9,580	94,03	2,7305	2,004
	N	22	22	22	22	22
	SD	5,603	4,1046	51,767	,98867	1,0176
1:16	Mittelwert	6,00	7,383	45,66	2,5382	1,353
	N	22	22	22	22	22
	SD	5,864	6,0076	39,186	1,39715	,9853
alle	Mittelwert	11,60	7,209	89,65	2,1992	1,904
	N	110	110	110	110	110
	SD	8,603	5,2971	72,971	1,05222	1,3677

Tab. 3: Ergebnisse der Sprossentwicklung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008); N=Anzahl, SD=Standardabweichung

Vergleicht man die Gesamtanzahl und die Mittelwerte aus der Tabelle in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen miteinander, lassen sich klare Tendenzen feststellen, die in den nachfolgenden Abbildungen veranschaulicht sind (siehe Abb. 41 - 44).

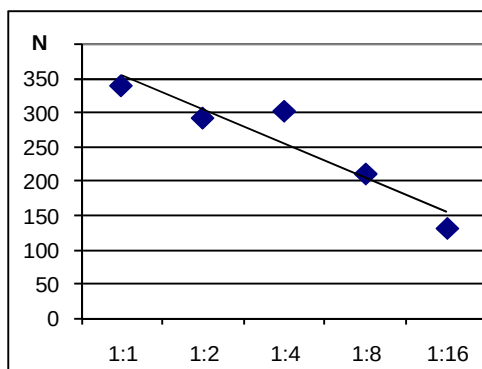


Abb. 41: Gesamtanzahl der Sprosse (N) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

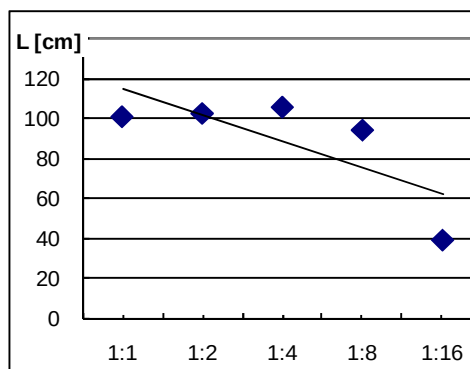


Abb. 42: Mittlere Gesamtlänge der Sprosse (L) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

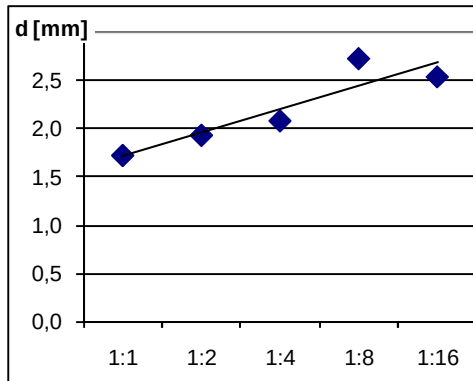


Abb. 43: Mittlerer Sprossdurchmesser (d) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

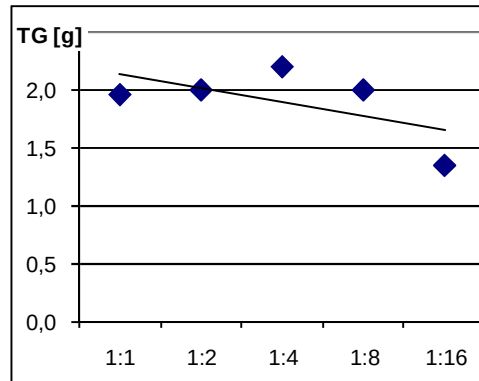


Abb. 44: Mittleres Trockengewicht der Sprosse (TG) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

Aus diesen Abbildungen geht deutlich hervor, dass hinsichtlich des mittleren Sprossdurchmessers (d) ein Anstieg der Mittelwerte von dem Einlageverhältnis 1:1 hin zum Einlageverhältnis 1:16 gegeben ist. Hinsichtlich der Gesamtanzahl der Sprosse (N), der mittleren Gesamtlänge der Sprosse (L) und dem mittleren Trockengewicht der Sprosse (TG) ist eine absteigende Tendenz von dem Einlageverhältnis 1:1 bis zum Einlageverhältnis 1:16 ersichtlich. Es fällt auf, dass hinsichtlich dieser drei letztgenannten Variablen (N, L, TG) das Einlageverhältnis 1:16 deutlich die niedrigsten Werte im Vergleich zu den anderen aufzeigt.

Aus den nachstehenden Boxplots zur Anzahl, Gesamtlänge und Trockengewicht der Sprosse (siehe Abb. 45 - 47) ist ebenfalls abzulesen, dass die Proportion 1:16 in der oberirdischen Biomassenentwicklung im Vergleich zu den anderen Proportionen herausfällt.

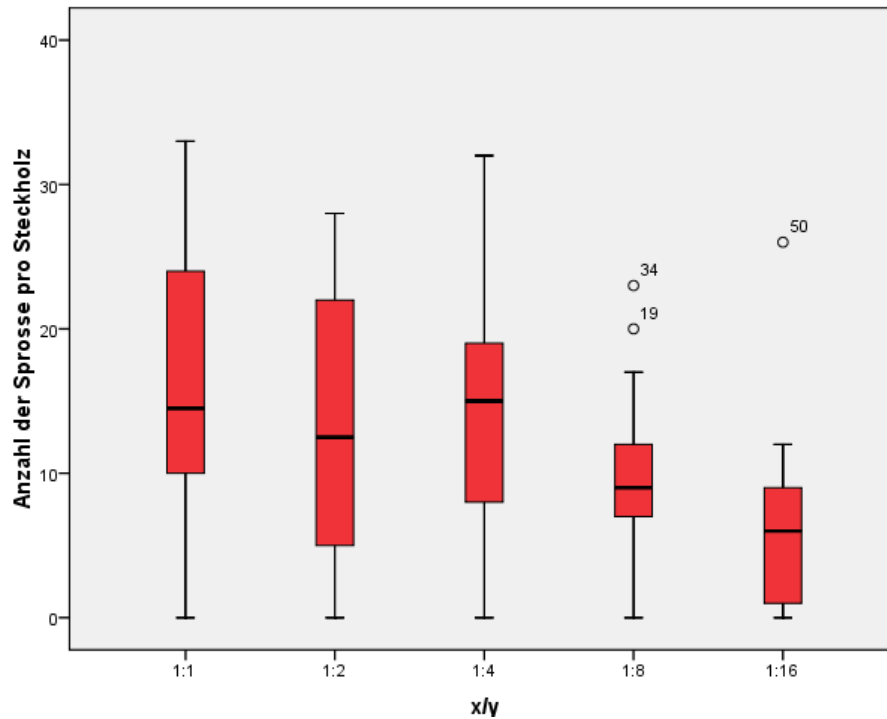


Abb. 45: Boxplot zur Gesamtanzahl der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

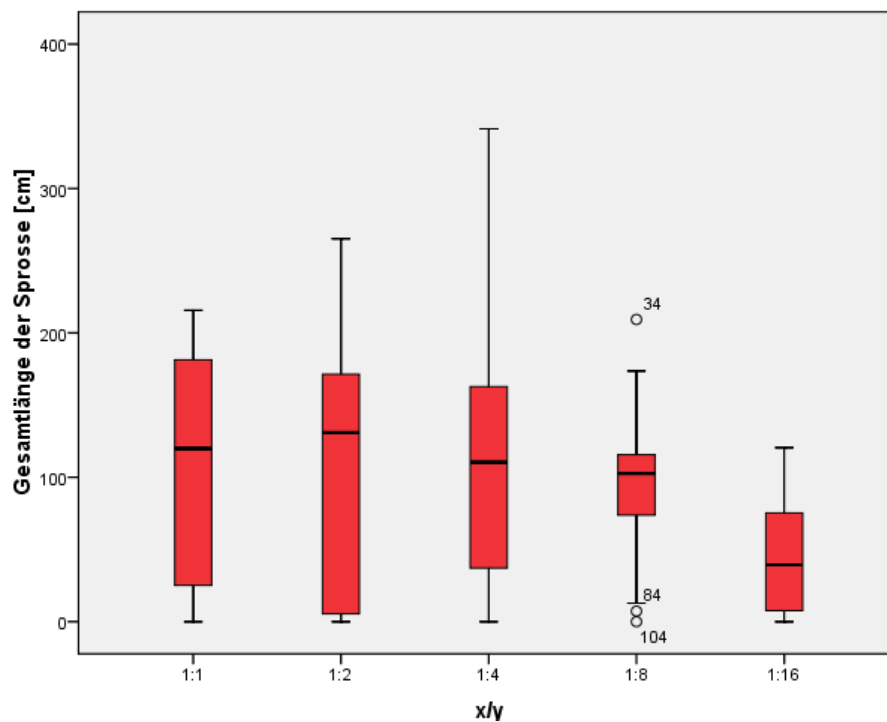


Abb. 46: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

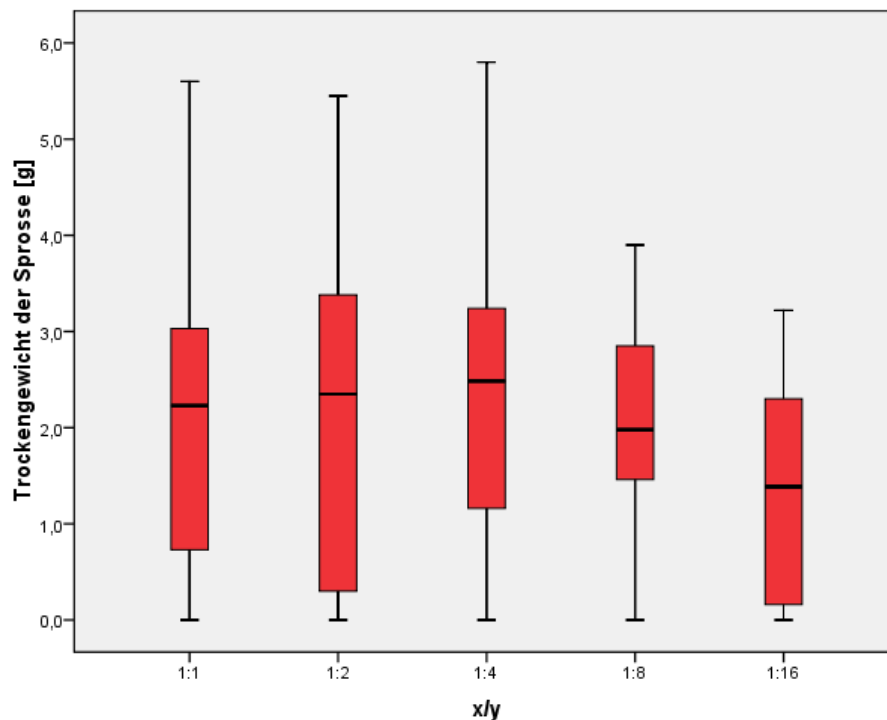


Abb. 47: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

Das Einlageverhältnis 1:16 zeigt sowohl in der Gesamtanzahl als auch in der Gesamtlänge und dem mittleren Trockengewicht der Sprosse die niedrigsten Werte.

Um statistisch zu testen, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Einlageverhältnissen gibt, sollte eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt werden. Die Voraussetzungen, um eine ANOVA durchzuführen, sind Varianzhomogenität und Normalverteilung. Die Varianzhomogenität wurde mittels Levene – Test und die Normalverteilung mittels Kolmogorov – Smirnov – Test überprüft (KÖHLER 2002, S. 150). Da der Levene – Test ergab, dass die Varianzhomogenität nicht gegeben ist, durfte keine ANOVA durchgeführt werden. Stattdessen wurden die Mittelwerte mittels Welch – Test verglichen, der angewandt wird, wenn die Varianzen inhomogen sind (CLAUß 1999, S. 223). Dieser hat ergeben, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Einlageverhältnissen gibt.

6.3.3. Ergebnisse der Wurzelentwicklung

Die Gesamtanzahl der Wurzeln wurde wie die Sprosse mit dem Rechenprogramm Excel ermittelt. Dabei ergab sich für das Einlageverhältnis 1:1 eine Gesamtanzahl von 134 Wurzeln, für das Einlageverhältnis 1:2 wurde eine Anzahl von 213 Wurzeln gezählt, im Einlageverhältnis 1:4 waren es insgesamt 216 Wurzeln, im Einlageverhältnis 1:8 wurden 352 Wurzeln gesammelt und im Einlageverhältnis 1:16 waren es 188 Wurzeln.

In der folgenden Tabelle 4 sind die errechneten Werte zur mittleren Anzahl der Wurzeln, der mittleren Länge der Wurzeln, der mittleren Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholz sowie zum mittleren Trockengewicht der Wurzeln ersichtlich. Zu allen Mittelwerten wird zusätzlich die Standardabweichung (SD) angegeben.

x/y		Mittlere Anzahl der Wurzeln	Mittlere Länge der Wurzeln (cm)	Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholz (cm)	Mittleres Trockengewicht der Wurzeln (g)
1:1	Mittelwert	6,50	20,7346	119,80	,713
	N	22	22	22	22
	SD	6,116	20,28063	100,054	,5575
1:2	Mittelwert	9,68	23,4448	187,32	1,078
	N	22	22	22	22
	SD	11,540	19,78684	235,282	,8639
1:4	Mittelwert	9,82	20,9488	187,73	,996
	N	22	22	22	22
	SD	6,084	17,14558	140,281	,6401
1:8	Mittelwert	16,00	19,2086	281,91	1,083
	N	22	22	22	22
	SD	15,590	10,32633	302,819	,6175
1:16	Mittelwert	8,55	17,6108	124,59	,726
	N	22	22	22	22
	SD	7,806	19,97467	106,845	,4909
alle	Mittelwert	10,11	20,3895	180,27	,919
	N	110	110	110	110
	SD	10,428	17,67861	199,303	,6560

Tab. 4: Ergebnisse der Wurzelentwicklung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008); N=Anzahl, SD=Standardabweichung

Vergleicht man die Gesamtanzahl und die Mittelwerte aus der Tabelle 4 in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen miteinander, lässt sich feststellen, dass das Einlageverhältnis 1:8 überall den höchsten Wert aufweist. Dies ist auch in den nachfolgenden Abbildungen veranschaulicht (siehe Abb. 48 – 50).

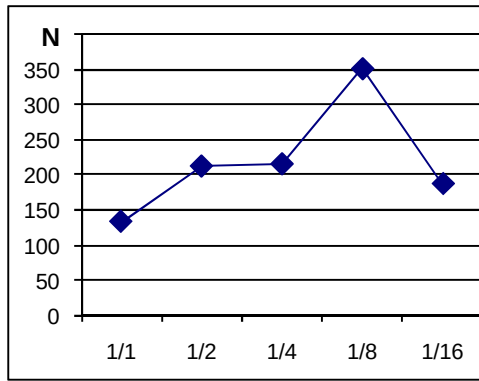


Abb. 48: Gesamtanzahl der Wurzeln (N) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

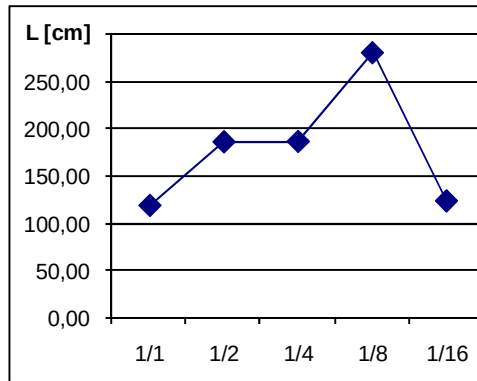


Abb. 49: Mittlere Gesamtlänge der Wurzeln (L) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

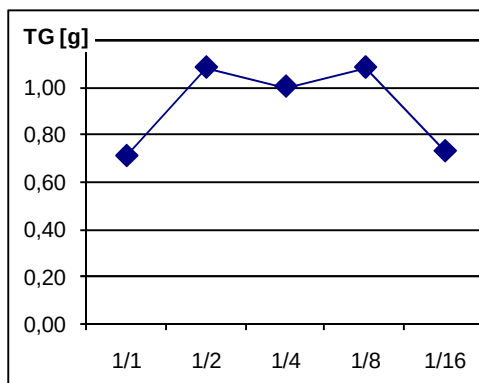


Abb. 50: Mittleres Trockengewicht der Wurzeln (TG) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

In diesen Parametern unterscheidet sich das Einlageverhältnis 1:8 wesentlich vom Einlageverhältnis 1:1, in der die niedrigsten Werte berechnet wurden.

Aus den nachstehenden Boxplots (siehe Abb. 51 – 53) geht hervor, dass der Mittelwert der Anzahl der Wurzeln und der Gesamtlänge der Wurzeln im Einlageverhältnis 1:8 stark durch Ausreißer beeinflusst ist. In diesem Einlageverhältnis sind die Werte am meisten gestreut. Der Median unterscheidet sich in allen 5 Einlageverhältnissen nur geringfügig.

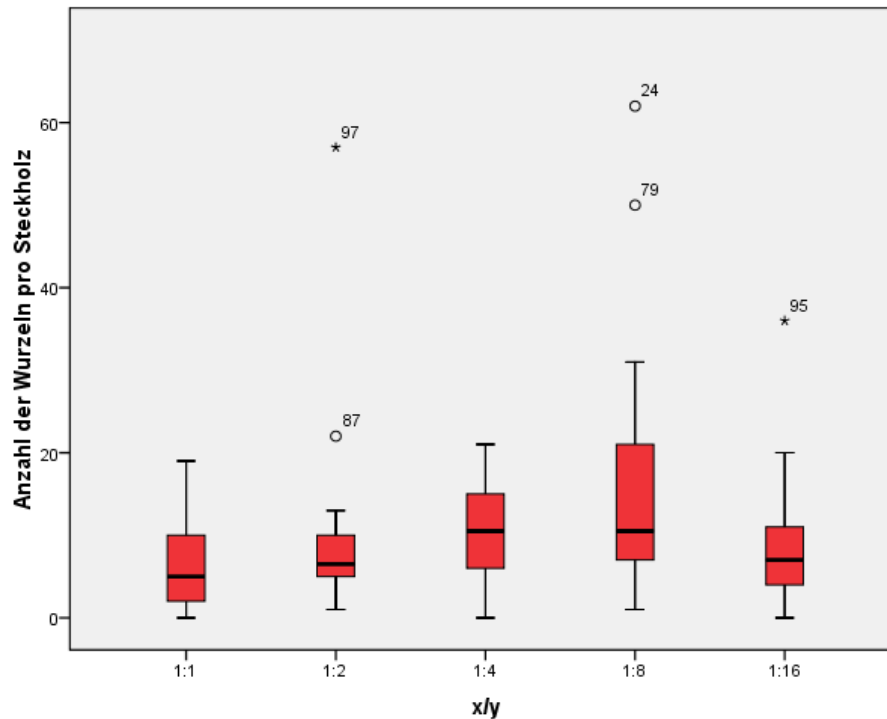


Abb. 51: Boxplot zur Gesamtanzahl der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

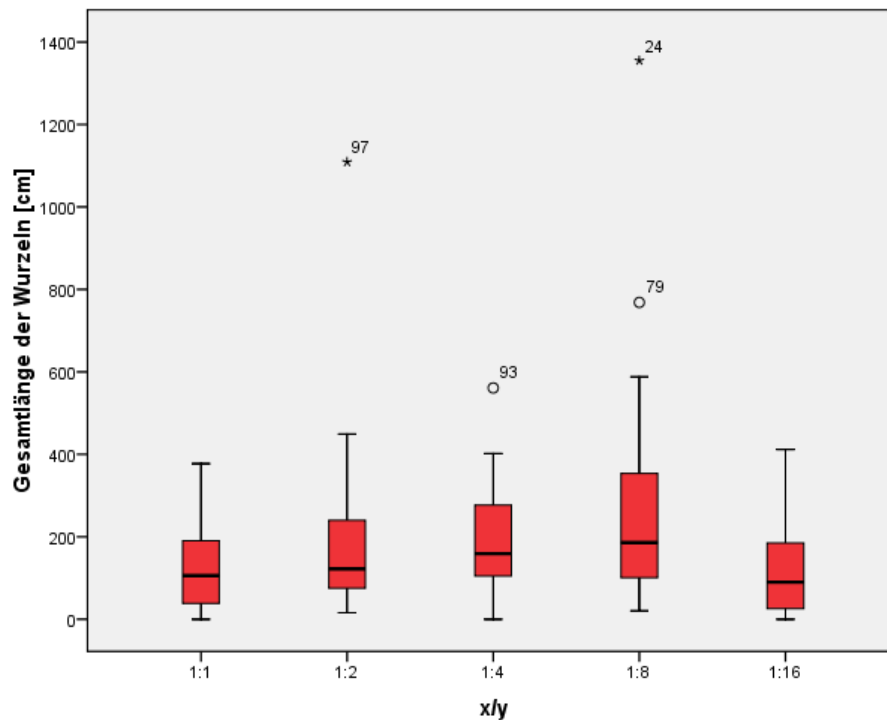


Abb. 52: Boxplot zur Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

Das Einlageverhältnis 1:8 zeigt sowohl in der Gesamtanzahl als auch in der Gesamtlänge der Wurzeln die höchsten Werte. Die Einlageverhältnisse unterscheiden sich jedoch laut Welch – Test nicht

signifikant voneinander. Dies ist auf die beiden Ausreißer (Steckholz Nr. 24 u. 79) zurückzuführen, die den Mittelwert beeinflussen.

In Bezug auf das Trockengewicht der Wurzeln gibt es ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen den Einlageverhältnissen. Das Einlageverhältnis 1:8 weist wiederum das vergleichsweise höchste mittlere Trockengewicht auf. Dass in diesem Einlageverhältnis die höchsten Werte gemessen wurden, geht auch aus dem nachstehenden Boxplot (siehe Abb. 48) hervor, der Median ist jedoch in allen fünf Einlageverhältnissen annähernd gleich; nur im Einlageverhältnis 1:16 liegt er vergleichsweise tiefer.

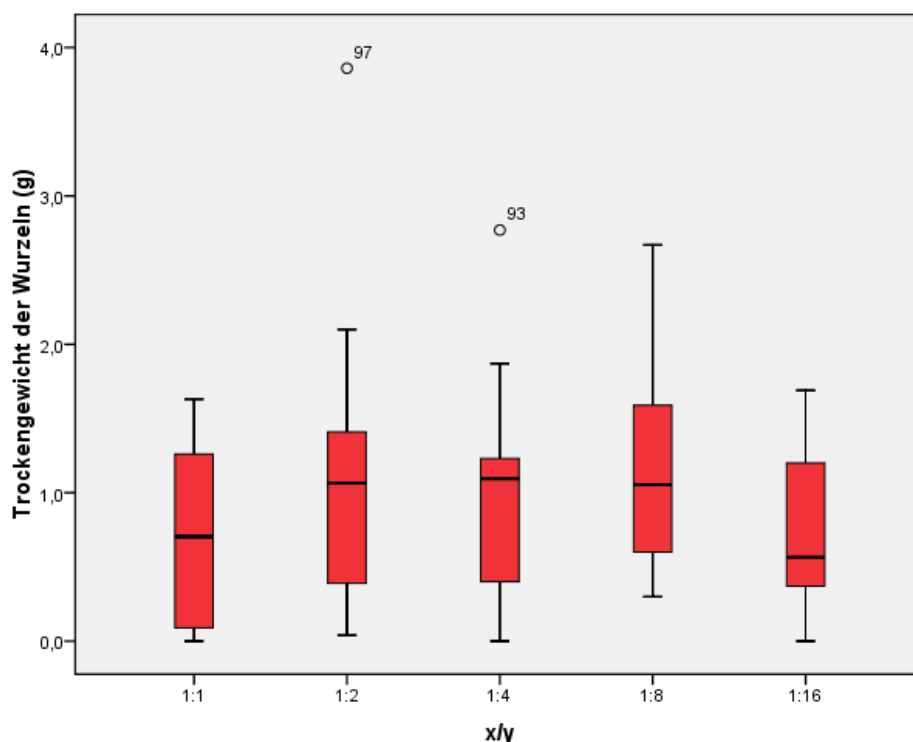


Abb. 53: Boxplot zum Trockengewicht der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

Im selben Versuch wurde auch getestet, wie sich die Steckhölzer über die Wintermonate entwickeln und wie viele überdauern (Arbeitsziel 3).

Berechnungen, die darüber Aufschluss geben sind:

- Prozentsatz der überlebenden Steckhölzer (%)
- Mittlere vertrocknete Spitze pro Einlageverhältnis (nach 3 und 4 Monaten) (mm)

Der **Prozentsatz der überlebenden Steckhölzer** wurde berechnet, indem die Anzahl der überlebenden Steckhölzer pro Einlageverhältnis zum Grundwert (22 eingeschlagene Steckhölzer) ins Verhältnis gesetzt wird.

Die **mittlere Länge der vertrockneten Spitze pro Einlageverhältnis** errechnet sich durch die Summe der Längen der vertrockneten Spitze des jeweiligen Einlageverhältnisses, durch die Anzahl der Steckhölzer in dem Einlageverhältnis.

In der nachstehenden Tabelle 5 sind die durchschnittliche vertrocknete Spitze nach 3 und 4 Monaten sowie die Anzahl und der Prozentsatz der überlebenden Steckhölzer aufgelistet.

x/y		vertrocknete Spitze 3 Mon. (mm)	vertrocknete Spitze 4 Mon. (mm)		Lebende Steckhölzer nach 4 Mon.
1:1	Mittelwert	17,73	43,82	N (überlebend)	18
	N	22	22	N (alle)	22
	SD	10,584	45,943	%	82
1:2	Mittelwert	16,36	20,95	N (überlebend)	19
	N	22	22	N (alle)	22
	SD	10,064	11,320	%	86
1:4	Mittelwert	9,86	14,41	N (überlebend)	20
	N	22	22	N (alle)	22
	SD	6,065	9,287	%	91
1:8	Mittelwert	6,36	12,00	N (überlebend)	21
	N	22	22	N (alle)	22
	SD	4,573	6,399	%	95
1:16	Mittelwert	8,18	15,36	N (überlebend)	18
	N	22	22	N (alle)	22
	SD	10,680	15,035	%	82
Alle	Mittelwert	11,70	21,31	N (überlebend)	96
	N	110	110	N (alle)	110
	SD	9,738	25,217	%	87

Tab. 5: Ergebnisse der Steckholzuntersuchung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008); N=Anzahl, SD=Standardabweichung, %=Prozentsatz

In allen 5 Einlageverhältnissen gab es nach 4 Monaten Ausfälle. Als lebende Steckhölzer werden im dargestellten Versuch all jene Steckhölzer bezeichnet, die Sprosse ausgebildet haben.

Im Einlageverhältnis 1:8 haben alle bis auf 1 Steckholz Sprosse entwickelt, d.h. es gibt in diesem Versuch eine Überlebensrate von 95%. Die meisten Ausfälle gibt es in den Einlageverhältnissen 1:1

und 1:16, 4 von 22 Steckhölzern haben oberirdisch keine Biomasse produziert, d.h. 82% der Steckhölzer haben in diesen beiden Einlageverhältnissen den Winter überstanden.

In allen Einlageverhältnissen sind die Steckhölzer an der Spitze vertrocknet; das Einlageverhältnis 1:8 zeigt jedoch im Vergleich zu den anderen gewählten Einlageverhältnissen die geringste mittlere vertrocknete Spitze, sowohl nach 3 als auch nach 4 Monaten. Die Daten zu den vertrockneten Spitzen sind im nachstehenden Boxplot (siehe Abb. 54) veranschaulicht.

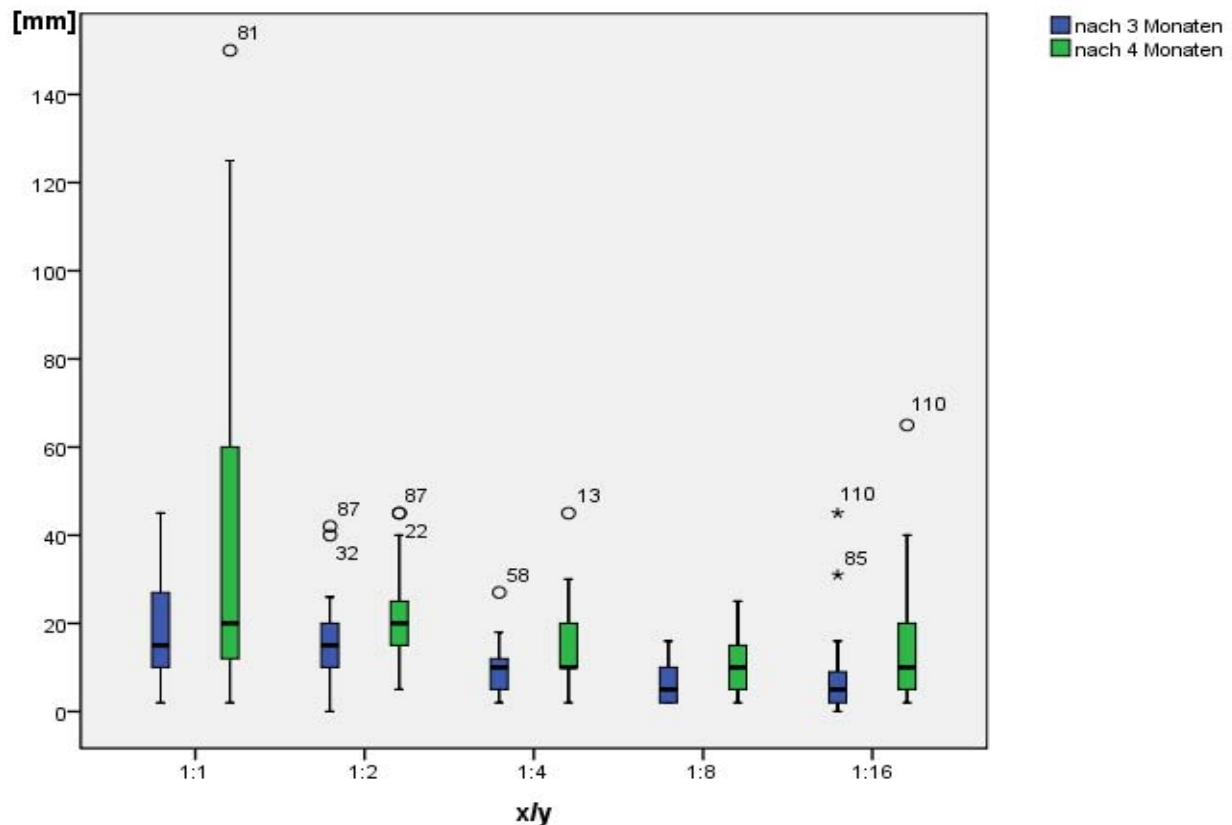


Abb. 54: Boxplot der vertrockneten Spitze nach 3 und 4 Monaten (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

In diesem Boxplot ist ersichtlich, dass im Einlageverhältnis 1:1 die gemessenen Werte zur vertrockneten Spitze am weitesten gestreut sind. Der Mittelwert liegt in diesem Einlageverhältnis höher als in den anderen Einlageverhältnissen. In diesem Einlageverhältnis wurde auch die längste vertrocknete Spitze gemessen; das Steckholz Nr. 81 wies nach 4 Monaten eine vertrocknete Spitze von 15 cm auf. Bei einer Länge von 25 cm über der Erde bedeutet dies, dass bei diesem Steckholz mehr als die Hälfte vertrocknet war. Die geringste mittlere vertrocknete Spitze sowie die geringste Streuung der Daten finden sich im Einlageverhältnis 1:8.

6.4. Diskussion und Interpretation

Die Ergebnisse des Versuchs Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana* haben gezeigt, dass die Steckhölzer dieser Art sich innerhalb von 4 Monaten gut entwickelten (Arbeitsziel 1). Obwohl dieser Versuch nicht in der Vegetationsperiode angelegt war, haben sich in allen Einlageverhältnissen zahlreiche und entsprechend lange Sprosse und Wurzeln ausgebildet. Die in der Einleitung genannte Hypothese, dass das Einlageverhältnis Einfluss auf das Steckholzwachstum hat, wurde nur teilweise bestätigt. Es wurde erwartet, dass je größer das oberirdische Volumen des Steckholzes ist umso mehr wird oberirdische Biomasse ausgebildet. Das Einlageverhältnis 1:8 und 1:16 wiesen eine geringere Sprossentwicklung als die Einlageverhältnisse 1:1, 1:2 und 1:4 auf. Im Einlageverhältnis 1:1 wurde die höchste Gesamtanzahl an Sprossen gezählt, die größte Gesamtlänge an Sprossen sowie das höchste mittlere Spross-Trockengewicht wurden aber im Einlageverhältnis 1:4 ermittelt. Die Ergebnisse zur Sprossentwicklung bestätigen somit, dass es einen tendenziellen Anstieg der oberirdischen Biomassenentwicklung gibt, je höher der oberirdische Steckholzanteil ist. Die Vermutung, dass die unterirdische Biomassenentwicklung mit dem unterirdischen Steckholzanteil ansteigt, wurde ebenfalls teilweise bestätigt. In der Gesamtlänge der Wurzeln, der mittleren Länge der Wurzeln und in der Anzahl der Wurzeln ist ein Anstieg der Mittelwerte von dem Einlageverhältnis 1:1 bis 1:8 feststellbar, was die Hypothese bestätigen würde. Das Einlageverhältnis 1:16 fällt jedoch heraus. In diesem Einlageverhältnis war die Spross- und Wurzelentwicklung eingeschränkt. Diese Ergebnisse sind auch aus den nachfolgenden Boxplots (siehe Abb. 55 – 57) ersichtlich, in denen Sprosse und Wurzeln gegenübergestellt werden.

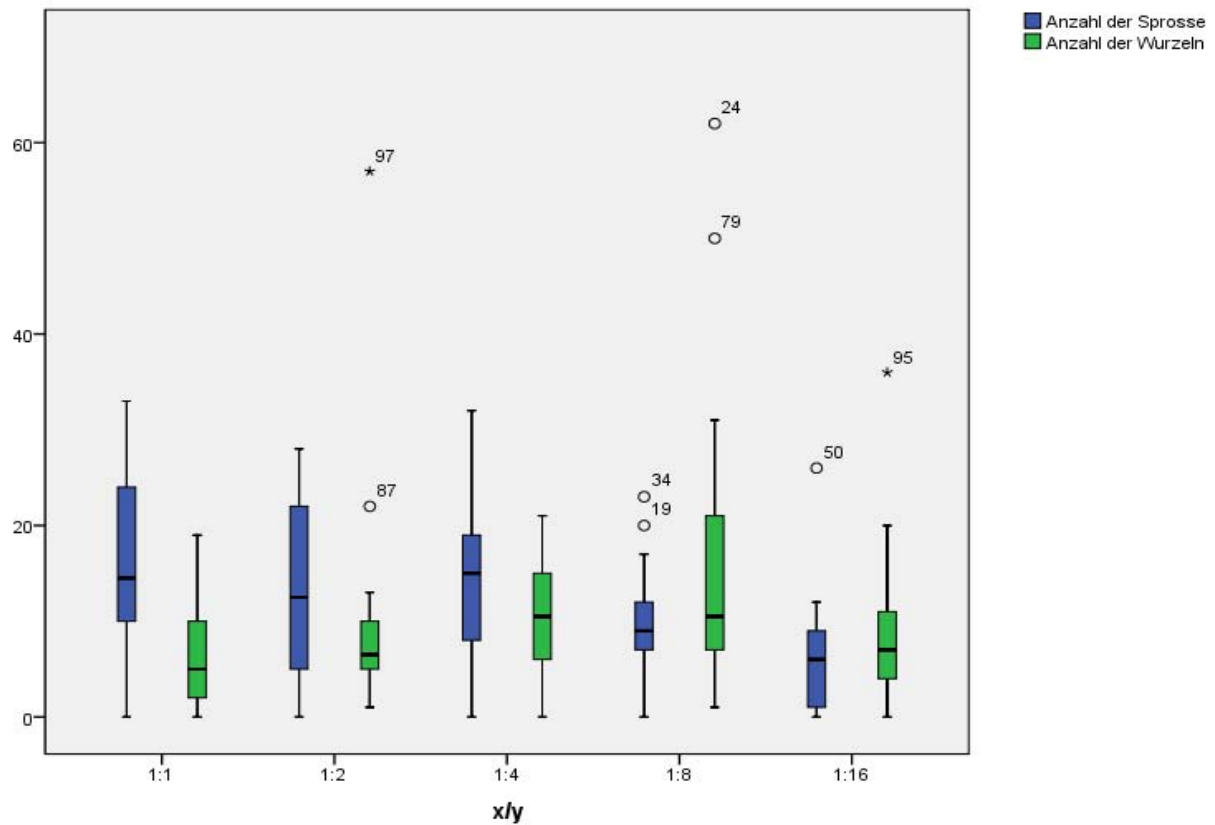


Abb. 55: Gegenüberstellung der Anzahl von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

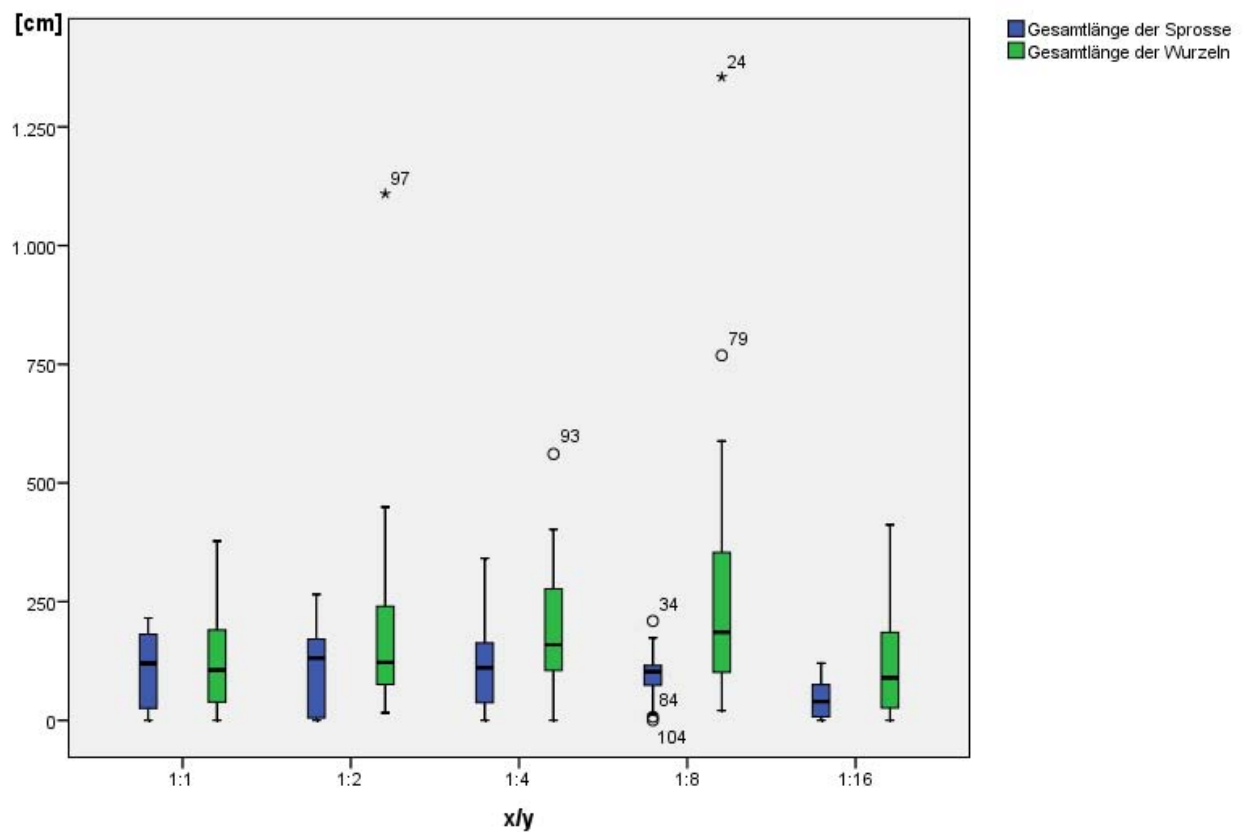


Abb. 56: Gegenüberstellung der Gesamtlängen von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

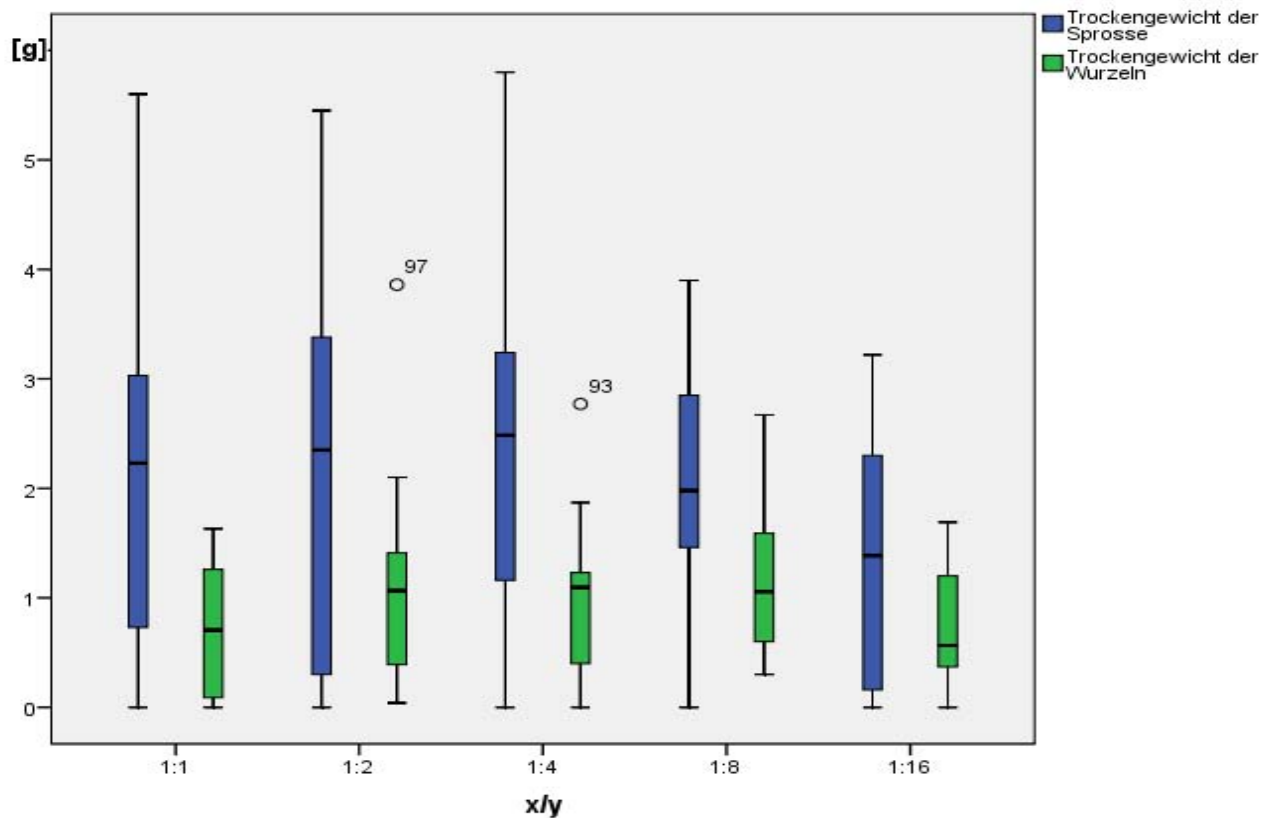


Abb. 57: Gegenüberstellung des Trockengewichts von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria 2008)

Der Vergleich der Steckholzentwicklung in den 5 Einlageverhältnissen (Arbeitsziel 2) hat ergeben, dass es bei der Art *Salix humboldtiana* keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Spross- bzw. Wurzelentwicklung je nach Einlageverhältnis in Sand gibt. Bei der Erhebung der Daten fiel auf, dass der Anteil an kurzen Wurzeln (0,5 – 1 cm) in allen 5 Einlageverhältnissen sehr hoch war. Die Wurzeln bildeten sich bei fast allen Steckhölzern nur an der Basis aus und waren nur in vereinzelten Fällen über das Steckholz verteilt (siehe Abb. 58).



Abb. 58: Wurzelverteilung an den Steckhölzern (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008)

Die geringste ober- und unterirdische Biomassenentwicklung zeigten jene Steckhölzer, die im Einlageverhältnis 1:16 eingesetzt wurden. Ragt nur 1/17 des Steckholzes aus der Erde ist die Entwicklung der Steckhölzer demnach eingeschränkt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass auf diesen knapp 3 cm des Steckholzes über der Erde kaum Sprosse ausgebildet werden können. Auf Grund der dadurch fehlenden Assimilatlieferung ist auch das Wurzelwachstum gering. Bei der Analyse der Daten ließ sich feststellen, dass das Verhältnis von kurzen und langen Wurzeln in der Proportion 1:8 am ausgewogensten ist. Das Wurzelsystem scheint in dieser Proportion dichter und gut verzweigt zu sein. Der Anteil langer Wurzeln (>40 cm) war höher als in den anderen Proportionen. Die Steckhölzer waren demnach stärker im Boden verankert. Für die Sicherung von Ufern und einen guten Erosionsschutz ist ein dichtes Wurzelsystem, das gut im Boden verankert ist, sehr wichtig. Auch die Entwicklung von oberirdischer Biomasse ist in der Ingenieurbiologie von Bedeutung. Denn die oberirdischen Pflanzenteile bieten Erosionsschutz, indem sie einerseits die direkte Prallwirkung des Niederschlags vermindern und andererseits durch ihre Elastizität die Ufer schützen, indem sie sich an den Boden anlegen.

Arbeitsziel 3 war es festzustellen, wie das Steckholzwachstum dieser Art über die Wintermonate aussieht. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass sich auch in den kalten Monaten Sprosse und Wurzeln entwickeln konnten. Im Einlageverhältnis 1:8 zeigten sich die wenigsten Ausfälle, lediglich 1 Steckholz

bildete keine Sprosse aus. Auch die vertrocknete Spitze war in diesem Einlageverhältnis sowohl nach 3 als auch nach 4 Monaten am geringsten. Daraus wird geschlossen, dass in diesem Einlageverhältnis unter den gegebenen Versuchsbedingungen im Vergleich zu den anderen Einlageverhältnissen die Pflanze am besten mit Nährstoffen und Wasser versorgt wird. Auf den 44,5 cm unter der Erde mit einem durchschnittlichen Volumen von 212 cm³ konnte sich ein ausgewogenes Wurzelsystem entwickeln.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Einlageverhältnisse 1:1 und 1:16 die schlechtesten Ergebnisse zeigten. In diesen beiden Einlageverhältnissen wurden die meisten Ausfälle festgestellt. In dem Einlageverhältnis 1:1 ist der Anteil der vertrockneten Spitze auffällig hoch und die unterirdische Biomassenentwicklung vergleichsweise gering. Die oberirdische Biomassenentwicklung hingegen zeigt in diesem Einlageverhältnis sehr gute Ergebnisse.

Der Vergleich des Steckholzwachstums in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen ergab, dass es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Spross- und Wurzelentwicklung gab. Hinsichtlich der oberirdischen Biomassenentwicklung zeigen jene Einlageverhältnisse die besseren Ergebnisse, die einen höheren Anteil des Steckholzes über der Erde haben. Das Einlageverhältnis 1:8 lieferte hinsichtlich der unterirdischen Biomassenentwicklung etwas bessere Ergebnisse (höhere Mittelwerte). Befanden sich 8 von 9 Teilen des Steckholzes unter der Erde, konnten sich laut der Versuchsergebnisse, die Wurzeln am Besten entwickeln. Die Wachstumsbedingungen waren auch für die Sprosse in diesem Einlageverhältnis gut, da der oberirdische Anteil groß genug war um Sprosse hervorzubringen, aber kurz genug damit die Spitze nicht zu stark vertrocknet.

Auf Grund dieser Ergebnisse werden die Stekhölzer im Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus* im Einlageverhältnis 1:8 eingepflanzt.

7. Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*

In diesem Kapitel werden die Ziele, das Material und die Methodik des Versuches beschrieben und anschließend die Ergebnisse dargestellt und diskutiert.

7.1. Ziel

Wie bereits in der Einleitung erläutert, soll auch hier der Wissensstand über geeignetes heimisches Pflanzenmaterial für den ingenieurb biologischen Einsatz in Südbrasilien erweitert werden. Die Arbeitsziele des in Folge beschriebenen Versuches waren daher:

1. Untersuchung der Steckholzentwicklung der Art *Phyllanthus sellowianus*
2. Vergleich der Steckholzentwicklung in 3 unterschiedlichen Einlagewinkeln
3. Vergleich der unterirdischen Biomassenentwicklung innerhalb von drei unterschiedlichen Steckholzabschnitten

In diesem Versuch war es von Interesse zu ermitteln, in welchem Einlagewinkel die Steckhölzer die bessere Biomassenentwicklung zeigen. Auf Grund der Ergebnisse des ersten Versuches, in dem die Steckholzentwicklung der *Salix humboldtiana* im Hinblick auf 5 unterschiedliche Einlageverhältnisse untersucht wurde, wurden in diesem Versuch die Steckhölzer alle im Einlageverhältnis 1:8 eingeschlagen.

7.2. Material und Methodik

Am 8. Oktober 2008 wurde im Versuchsgarten der Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) ein zweiter Versuch in Sand, mit einer anderen Art (*Phyllanthus sellowianus*), angelegt. Nach zwei Monaten –am 8. Dezember 2008- wurden die ersten Daten erhoben. In folgendem Kapitel wird die Methodik beschrieben. Es wird erläutert, wie das Pflanzenmaterial beschafft und wie der Versuch aufgebaut wurde; weiters wird darauf eingegangen, welche Instandhaltungsmaßnahmen notwendig waren und welche Daten genau erhoben wurden.

7.2.1. Pflanzmaterial

Das Pflanzmaterial von *Phyllanthus sellowianus* (Artbeschreibung siehe Kapitel 4.2.) wurde am Ufer des Rio Guarda Mor und des Arroio im Nordosten von Santa Maria geschnitten.

Insgesamt wurden 75 Steckhölzer gepflanzt. 54 von diesen stammen vom Ufer des Rio Guarda Mor, im Dorf Guarda Mor, in der Gemeinde Faxinal do Soturno. Das Pflanzmaterial wurde aus einer Krainerwand, welche im Jahr 2002 angelegt wurde, entnommen. Die übrigen 21 Steckhölzer (im Lageplan mit einem „x“ gekennzeichnet) wurden in der Gemeinde Arroio Grande aus einem wild wachsenden Ufersaum des Flusses Arroio geschnitten. Die verwendeten Steckhölzer hatten eine Länge von 50 cm und einen mittleren Durchmesser von 20 mm. Es wurden Steckhölzer mit einem Durchmesser von 14 bis 33 mm verwendet. Die Steckhölzer wurden so auf die unterschiedlichen Einlagewinkel verteilt, dass der mittlere Durchmesser in allen Winkeln derselbe war (siehe Abb. 59).

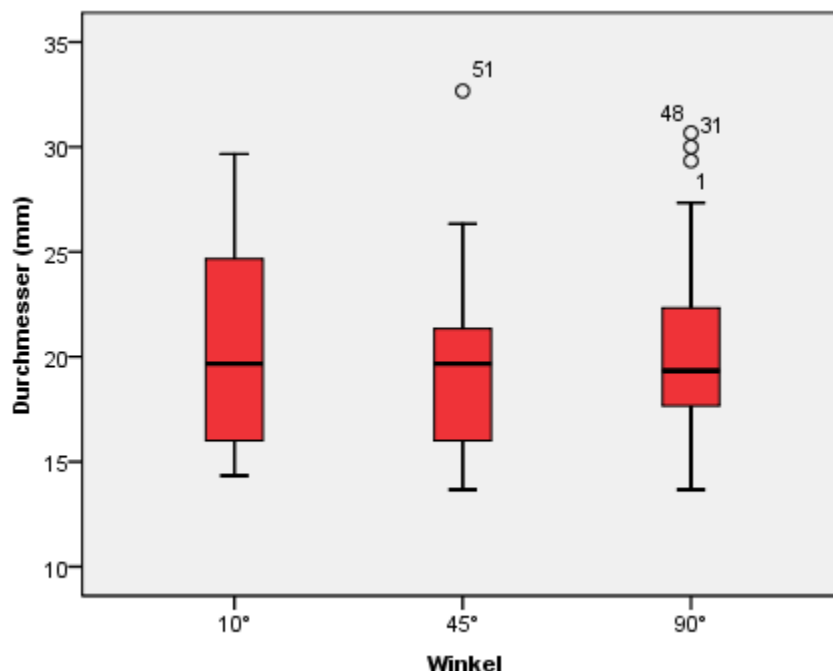


Abb. 59: Verteilung der Durchmesser der Steckhölzer in unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

- Der mittlere Durchmesser eines jeden Steckholzes wurde gleich berechnet wie bei Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana* (siehe S. 38).
- Es wurde vermieden Steckhölzer mit Schäden wie Verletzungen der Rinde, Pilzinfektionen oder zu starken Verkrümmungen zu verwenden.
- Die Steckhölzer wurden vor Ort gebündelt, in Plastiksäcken verpackt und zur Versuchsfläche transportiert, um sie dort möglichst schnell einzulegen (siehe Abb. 60 u. 61).



Abb. 60: *Phyllanthus sellowianus* am Ufer des Guarda Mor (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Guarda Mor, Sept. 2008)



Abb. 61: Verpacken der Steckhölzer in Plastiksäcken (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Guarda Mor, Sept. 2008)

7.2.2. Versuchsaufbau

Zur Anlegung des Versuches wurde dieselbe Holzkonstruktion wie beim ersten Versuch verwendet.

Dazu wurde diese wieder zusammengebaut, an den Seiten mit Stützen aus Holz verstärkt und erneut mit dem schon zuvor verwendeten, nährstofffreien Substrat (Sand) befüllt (siehe Abb. 62 u. 63).



Abb. 62: Stützelemente der Holzkonstruktion (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)



Abb. 63: Wiederbefüllen der Holzkonstruktion (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)

Auch in dieser Jahreszeit wurde der Bereich, in dem der Versuch angelegt war, ganztägig durch die Laubbäume beschattet, und die Steckhölzer waren durch das Blätterdach vor der direkten Prallwirkung des Niederschlages geschützt (siehe Abb. 64).



Abb. 64: Lage der Holzkonstruktion (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Dez. 2008)



Abb. 65: Einschlagen der Steckhölzer (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)

Die Steckhölzer wurden in den Einlagewinkeln 10° , 45° und 90° eingeschlagen (siehe Abb. 65). Insgesamt wurden 75 Steckhölzer gesetzt, je 25 pro Einlagewinkel. Wie aus dem Plan (siehe Abb. 66 u. 67) hervorgeht, wurden insgesamt 15 Reihen – 5 Reihen pro Winkel – im Abstand von 30 cm angelegt. Pro Reihe wurden 5 Steckhölzer im selben Einlagewinkel gesetzt. Um den Wurzeln genügend Platz zu geben, um sich zu entwickeln, wurden die Steckhölzer versetzt eingelegt.

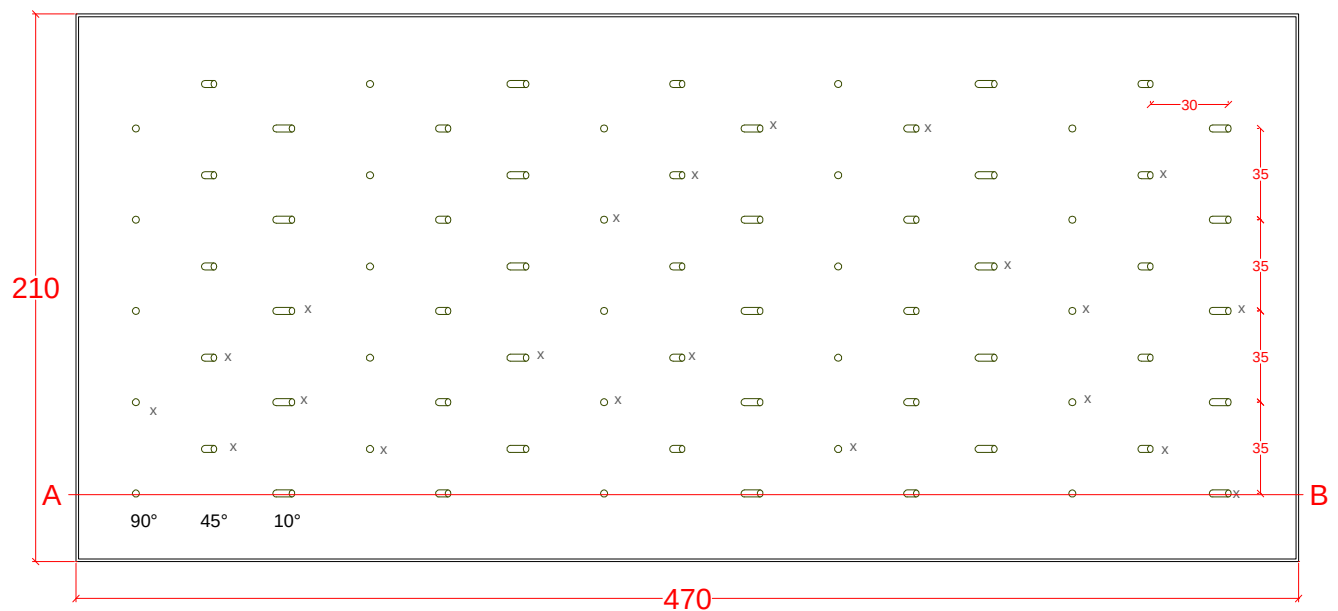


Abb. 66: Anzahl und Positionierung der Steckhölzer; mit „x“ gekennzeichnet: Steckhölzer aus einem wild wachsenden Ufersaum des Flusses Arroio (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

A - B

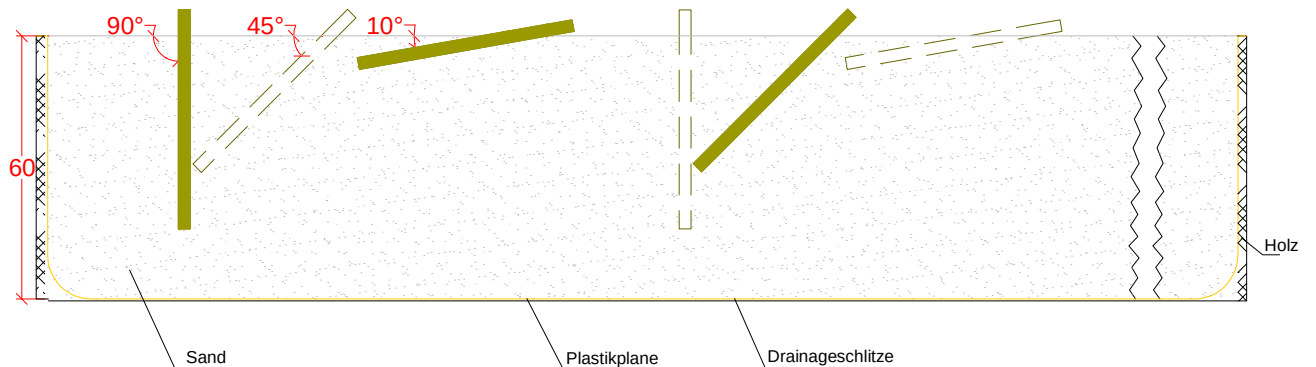


Abb. 67: Schnitt A – B durch die Holzkonstruktion (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Das gewählte Einlageverhältnis war 1:8. Bei einer Steckholzlänge von 50 cm bedeutet dies, dass 44 cm unter der Erde und 6 cm über der Erde sind.

Um die Steckhölzer im richtigen Winkel einzuschlagen wurden Holzdreiecke zur Hilfe genommen (siehe Abb. 68 u. 69).



Abb. 68: Holzdreieck für die Einlagewinkel 45 und 90° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)



Abb. 69: Holzdreieck für den Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)

Es wurde je eine Reihe mit 90°, 45° und 10° angelegt, diese Sequenz wurde 5 mal wiederholt (siehe Abb. 70 u. 71).

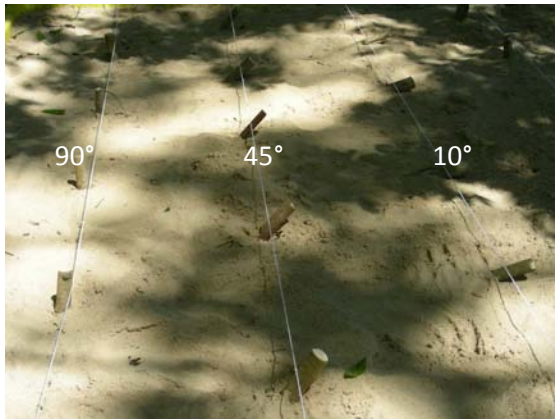


Abb. 70: Eingelegte Steckhölzer (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)



Abb. 71: Nach Fertigstellung des Versuches (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)

7.2.3. Instandhaltungsmaßnahmen des Versuches

Um ein ungestörtes Wachstum der Steckhölzer zu gewährleisten, wurden die gleichen Instandhaltungsmaßnahmen wie bei Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humbosdtiana* (siehe S. 41) angewandt. Wichtig war es, die Feuchtigkeit zu kontrollieren und die Versuchsfläche regelmäßig zu gießen, sowie die Pflanzen fressenden Ameisen fern zu halten. Auf Grund der warmen Jahreszeit war es notwendig den Versuch täglich (von Montag bis Freitag) zu bewässern.

7.2.4. Datenerhebung

Nach 2 Monaten, Anfang Dezember 2008, wurden Daten zu den Steckhölzern, zu den Sprossen sowie zu den Wurzeln gesammelt.

Folgendes Organigramm (siehe Abb. 72) zeigt, welche Daten gesammelt wurden und welche Berechnungen anschließend vorgenommen wurden.

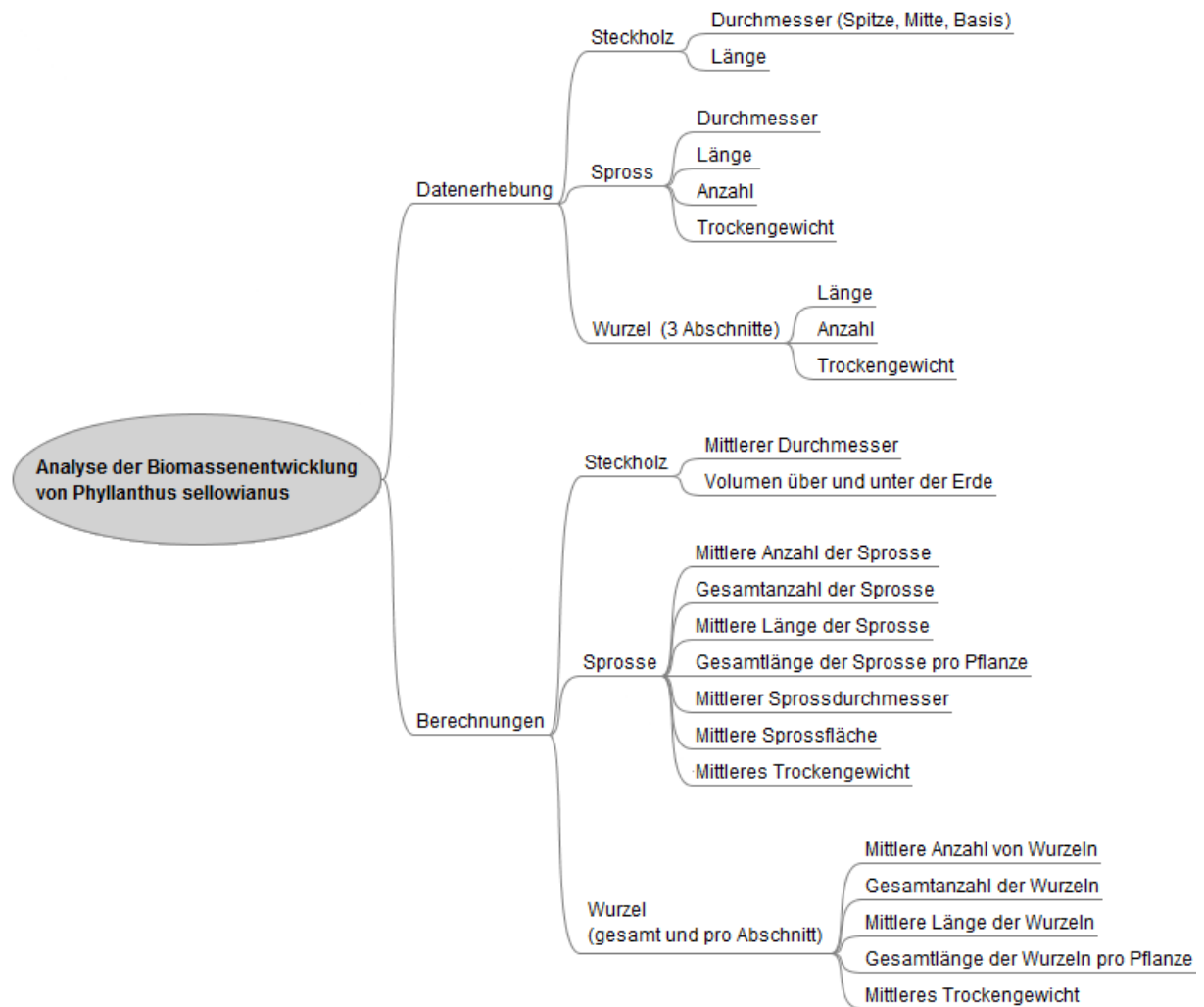


Abb. 72: Organigramm zur Methodik, Datenerhebung und den Berechnungen (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)

Daten der Steckhölzer

Gemessen wurden:

- Durchmesser des Steckholzes an Spitze, Mitte und Basis (mm)
- Länge des Steckholzes (cm)

Daten der Sprosse

Am 8. Dezember 2008 wurden wie bei Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana* die Sprosse der 75 Steckhölzer geschnitten und in nummerierte Papiertüten gegeben, um anschließend folgende Parameter zu erheben:

- Durchmesser der Sprosse (mm)
- Länge der Sprosse (cm)
- Anzahl der Sprosse pro Steckholz
- Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz (g)

Die Länge der Sprosse wurde mit einem Lineal auf einen halben Zentimeter genau gemessen. Die Durchmesser wurden mit Hilfe derselben digitalen Schublehre der Marke Electronic digital Caliper (techn. Angaben siehe S. 43) aufgenommen (siehe Abb. 73). Das Trockengewicht wurde mittels einer Präzisionswaage mit Graphik - Display der brasilianischen Marke Marte (techn. Angaben siehe S. 43) gewogen (siehe Abb. 74).



Abb. 73: Digitale Schublehre (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Sep. 2008)



Abb. 74: Messen des Trockengewichts (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Sep. 2008)

Daten der Wurzeln

Im Zeitraum vom 09. – 10. Dezember 2008 wurden die Wurzeln der 75 Steckhölzer, mit Hilfe eines Wasserstrahls von geringem Druck, ausgewaschen (siehe Abb. 75 u. 76).

Gleich vor Ort wurden folgende Daten erhoben:

- Anzahl der Primärwurzeln pro Steckholz
- Länge der Primärwurzeln (cm)

Anschließend wurden im Labor des Institutes für Forstwirtschaft (Engenharia Florestal) der UFSM folgende Daten gemessen:

- Trockengewicht der Wurzeln pro Steckholz (g).



Abb. 75 u. 76: Auswaschen der Steckhölzer (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM Dez. 2008)

7.3. Ergebnisse

Um die Steckholzentwicklung der Art *Phyllanthus sellowianus* zu untersuchen (Arbeitsziel 1) und sie in den 3 unterschiedlichen Einlagewinkeln vergleichen zu können (Arbeitsziel 2), wurden wie bereits in der Abb. 72 ersichtlich, folgende Berechnungen durchgeführt:

Berechnungen mit den Daten der Steckhölzer:

- Mittlerer Durchmesser (mm)
- Volumen des Steckholzes über und unter der Erde (cm³)

Die genannten Variablen wurden wie bereits in Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana* beschrieben (siehe S. 45), berechnet.

Der mittlere Durchmesser gibt an, dass die unterschiedlichen Durchmesser gleich auf die Winkel verteilt waren und somit ein repräsentatives Ergebnis gewährleistet ist (siehe Abb. 59).

Da vegetatives Material der Art *Phyllanthus sellowianus* schwer zu beschaffen ist, weil das Holz forstwirtschaftlich keinen Wert hat, wurden Steckhölzer mit sehr unterschiedlichen Durchmessern verwendet. Die Differenz zwischen dem Steckholz mit dem kleinsten Durchmesser und dem Steckholz mit dem größten Durchmesser betrug 19 mm. Um festzustellen, ob die Dicke des Steckholzes Auswirkungen auf die Biomassenentwicklung hat, wurde das Volumen ober und unter der Erde berechnet, und in Bezug zur Anzahl, zur Gesamtlänge und zum Trockengewicht der Sprosse bzw. der Wurzeln gesetzt.

Berechnungen mit den Daten der Sprosse:

- Mittlere Anzahl der Sprosse pro Steckholz
- Gesamtanzahl der Sprosse pro Einlagewinkel
- Mittlere Länge der Sprosse pro Steckholz (cm)
- Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz (cm)
- Mittlerer Sprossdurchmesser pro Steckholz (mm)
- Mittleres Trockengewicht pro Steckholz (g)

Die Berechnung dieser Variablen ist identisch mit denen in Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana* (siehe S. 46).

Die genannten Variablen geben Aufschluss über die oberirdische Biomassenentwicklung in den unterschiedlichen Einlagewinkeln und ermöglichen einen Vergleich.

Berechnungen mit den Daten der Wurzeln:

- Mittlere Anzahl von Wurzeln pro Steckholz
- Gesamtanzahl der Wurzeln pro Einlagewinkel
- Mittlere Länge der Wurzeln pro Steckholz (cm)
- Gesamtlänge der Wurzel pro Steckholz (cm)
- Mittleres Trockengewicht pro Steckholz (g)

Die Variablen zu den Wurzeln wurden mit den in Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana* aufgelisteten Formeln berechnet (siehe S. 47)

Die genannten Variablen lassen Rückschlüsse auf die unterirdische Biomassenentwicklung in den unterschiedlichen 3 Einlagewinkeln zu und ermöglichen einen Vergleich zwischen den Winkeln.

Da erwartet wurde, dass die Verteilung der Wurzeln über das Steckholz je nach Einlagewinkel eine andere ist, wurde der unterirdische Teil der Steckhölzer in 3 Abschnitte unterteilt. Bei der Datenerhebung zeigte sich jedoch, dass die Wurzeln fast ausschließlich an der Basis ausgebildet wurden (siehe Abb. 77). Deshalb wurden in diesem Versuch keine Berechnungen zu den Abschnitten vorgenommen. Das im Vorhinein definierte Arbeitsziel 3 fiel somit in der Datenauswertung weg.



Abb. 77: Steckhölzer der ersten 3 Reihen; 5 pro Reihe und Einlagewinkel (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria, Dez. 2008)

Die Mittelwerte und die dazugehörigen Standardabweichungen wurden mit dem Statistik - Programm SPSS berechnet. In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse dieser Berechnungen aufgelistet. Da die Gesamtanzahl der Sprosse und Wurzeln keine Mittelwerte sondern reine Summenbildungen sind, sind diese nicht in der Tabelle enthalten. Sie wurden im Rechenprogramm Excel ermittelt.

7.3.1. Ergebnisse der Steckholzuntersuchung

In Tabelle 6 ist der mittlere Durchmesser der Steckhölzer sowie das durchschnittliche Volumen über und unter der Erde in den einzelnen Winkel und insgesamt abzulesen. Zu jedem Mittelwert wurde auch die Standardabweichung (SD) berechnet.

Einlagewinkel		Mittlerer Durchmesser (mm)	Volumen des Steckholzes ÜBER der Erde (cm³)	Volumen des Steckholzes UNTER der Erde (cm³)
10°	Mittelwert	20,4800	190,8996	1544,5511
	N	25	25	25
	SD	4,84107	90,05707	728,64359
45°	Mittelwert	19,4000	171,0501	1383,9510
	N	25	25	25
	SD	4,52053	84,99482	687,68537
90°	Mittelwert	20,6533	193,6392	1566,7173
	N	25	25	25
	SD	4,75558	92,51976	748,56896
Alle	Mittelwert	20,1778	185,1963	1498,4065
	N	75	75	75
	SD	4,67706	88,61253	716,95593

Tab. 6: Ergebnisse der Steckholzuntersuchung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008); N=Anzahl, SD=Standardabweichung

Aus dieser Tabelle kann abgelesen werden, dass alle Steckhölzer im Mittel den gleichen Durchmesser, sowie ein ähnliches ober- und unterirdisches Volumen aufwiesen.

7.3.2. Ergebnisse der Sprossentwicklung

Die Gesamtanzahl der Sprosse wurde, wie bereits erwähnt, mit dem Rechenprogramm Excel ermittelt. Dabei ergab sich für den Einlagewinkel 10° eine Gesamtanzahl von 63 Sprossen, für den Winkel 45° eine Anzahl von 66 Sprossen, im Einlagewinkel 90° wurden 73 Sprosse gesammelt.

Die nachstehende Tabelle 7 zeigt die mittlere Anzahl der Sprosse, die mittlere Länge der Sprosse, die Gesamtlänge der Sprosse pro Pflanze, den mittleren Sprossdurchmesser sowie das durchschnittliche Trockengewicht der Sprosse. Zu jedem Mittelwert wird die Standardabweichung (SD) angegeben.

Einlagewinkel		Mittlere Anzahl der Sprosse	Mittlere Länge der Sprosse (cm)	Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz (cm)	Mittlerer Sprossdurchmesser (mm)	Mittleres Trockengewicht der Sprosse (g)
10°	Mittelwert	2,52	19,4033	49,8400	6,6804	1,3932
	N	25	25	25	25	25
	SD	1,295	11,51822	32,74291	3,30577	,94133
45°	Mittelwert	2,64	20,9583	57,5200	7,3352	1,7496
	N	25	25	25	25	25
	SD	1,186	14,20323	39,47639	3,97040	1,35094
90°	Mittelwert	2,92	20,4760	54,1800	7,5616	1,7012
	N	25	25	25	25	25
	SD	1,115	14,83316	36,23013	2,96226	1,31827
alle	Mittelwert	2,69	20,2792	53,8467	7,1924	1,6147
	N	75	75	75	75	75
	SD	1,197	13,42539	35,90076	3,41239	1,21168

Tab. 7: Ergebnisse der Sprossentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008); N=Anzahl, SD=Standardabweichung

Wie aus der oben angeführten Tab. 7 ersichtlich, gibt es in allen berechneten Variablen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Einlagewinkeln. Im Einlagewinkel 90° wurden vergleichsweise die meisten Sprosse gezählt. Wie die mittlere Länge und die Gesamtlänge zeigen, waren diese Sprosse jedoch verhältnismäßig kürzer. Im Winkel 45° wurden die höchste mittlere Länge sowie die höchste Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz berechnet. Die nachfolgenden Boxplots zur Anzahl, Gesamtlänge und Trockengewicht der Sprosse (siehe Abb. 78 - 80) zeigen ebenfalls, dass kaum Unterschiede zwischen den Einlagewinkeln feststellbar sind. Nur der Winkel 90° zeigt hinsichtlich der Anzahl der Sprosse etwas bessere Ergebnisse, der Einlagewinkel 10° weicht bezüglich der Gesamtlänge und des Trockengewichts unwesentlich ab.

Um statistisch zu überprüfen, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Einlagewinkeln hinsichtlich der Sprossentwicklung gibt, wurde für diesen Versuch eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Denn der Kolmogorov – Smirnov – Test bzw. der Levene – Test ergab, dass die Daten normalverteilt bzw. varianzhomogen sind und somit die Voraussetzungen zur Durchführung einer ANOVA erfüllt sind. Die ANOVA bestätigte, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Einlagewinkeln bestehen.

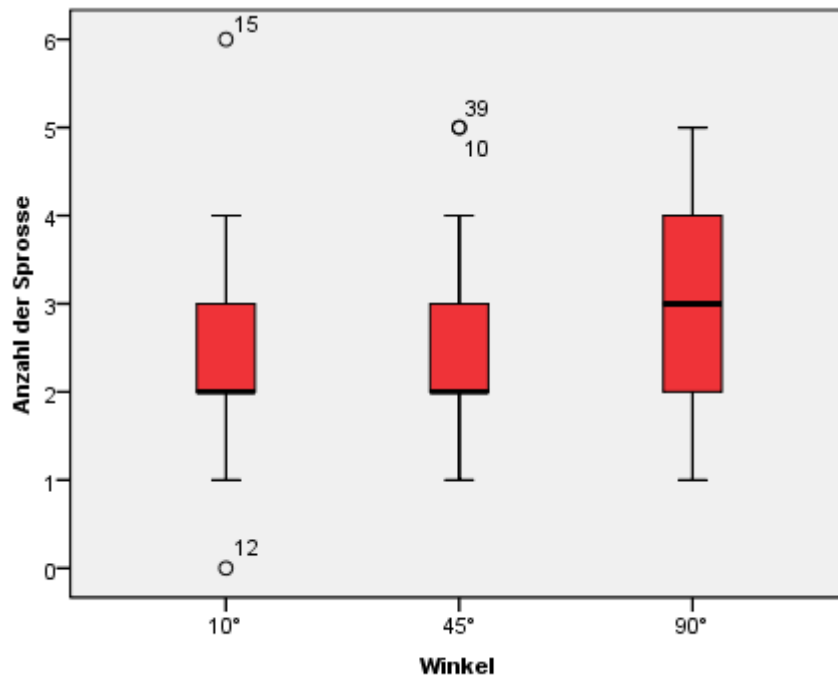


Abb. 78: Boxplot zur Gesamtanzahl der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)

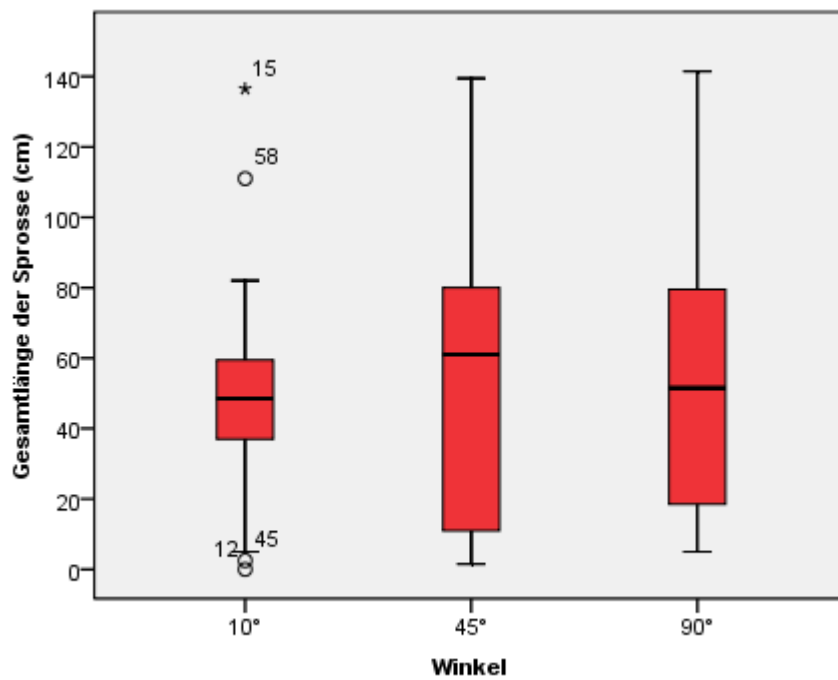


Abb. 79: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)

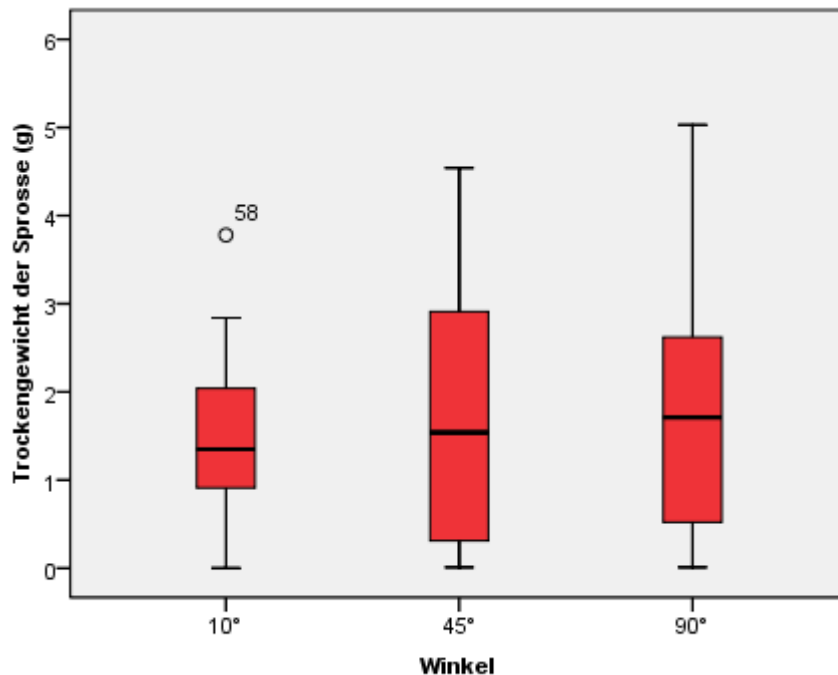


Abb. 80: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

7.3.3. Ergebnisse der Wurzelentwicklung

Die Gesamtanzahl der Wurzeln wurde wie die Sprosse mit dem Rechenprogramm Excel ermittelt. Dabei ergab sich für den Einlagewinkel 10° eine Gesamtanzahl von 353 Wurzeln, für den Winkel 45° wurde eine Anzahl von 410 Wurzeln gezählt und im Einlagewinkel 90° waren es 339 Wurzeln. Insgesamt haben 14 der 75 Steckhölzer keine Wurzeln ausgebildet, das heißt 19% der Steckhölzer entwickelten keine Wurzeln. Im Einlagewinkel 10° waren es 4 von 25, das entspricht 16%, von den 25 Steckhölzern, die im Winkel 45° eingeschlagen wurden, waren 7 ohne Wurzeln, was einen Prozentsatz von 28 ergibt und im Einlagewinkel 90° zeigten 3 Steckhölzer keine Wurzelbildung, somit waren in diesem Einlagewinkel 12% ohne Wurzeln.

In der nachfolgenden Tabelle 8 sind die berechneten Werte zur mittleren Anzahl der Wurzeln, der mittleren Länge der Wurzeln, der mittleren Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholz sowie zum mittleren Trockengewicht der Wurzeln aufgelistet. Zu allen Mittelwerten wird zusätzlich die Standardabweichung (SD) angegeben.

Winkel		Mittlere Anzahl der Wurzeln	Mittlere Länge der Wurzeln (cm)	Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholz (cm)	Mittleres Trockengewicht der Wurzeln (g)
10°	Mittelwert	14,12	8,8256	116,4800	,3452
	N	25	25	25	25
	SD	23,073	8,47247	179,21167	,34281
45°	Mittelwert	16,40	3,7781	74,7200	,2796
	N	25	25	25	25
	SD	16,447	3,69883	73,76992	,27481
90°	Mittelwert	13,56	2,8730	42,6000	,2672
	N	25	25	25	25
	SD	10,928	2,95418	56,01711	,23744
alle	Mittelwert	14,69	5,1589	77,9333	,2973
	N	75	75	75	75
	SD	17,339	6,12373	118,85360	,28649

Tab. 8: Ergebnisse der Wurzelentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008); N=Anzahl, SD=Standardabweichung

Vergleicht man die Gesamtanzahl und den Mittelwerte des Trockengewichts der Wurzeln aus der Tabelle in den unterschiedlichen Einlagewinkeln miteinander, lassen sich Tendenzen feststellen, die in den nachfolgenden Abbildungen veranschaulicht sind. Die Gesamtanzahl zeigt, dass sich im Winkel 45° die meisten Wurzeln entwickelt haben (siehe Abb. 81 - 83).

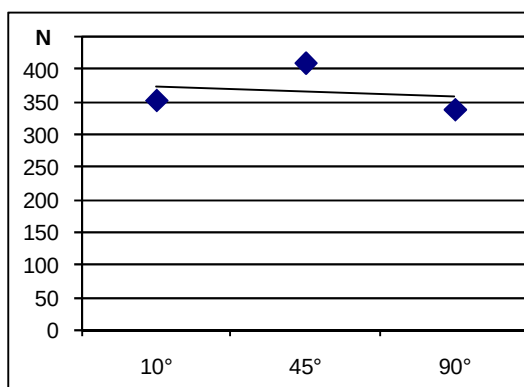


Abb. 81: Gesamtanzahl der Wurzeln (N) in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

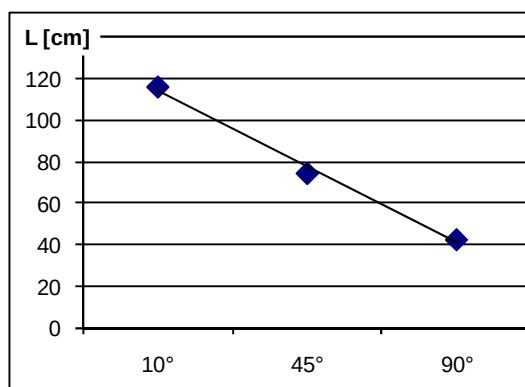


Abb. 82: Mittlere Gesamtlänge der Wurzeln (L) in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

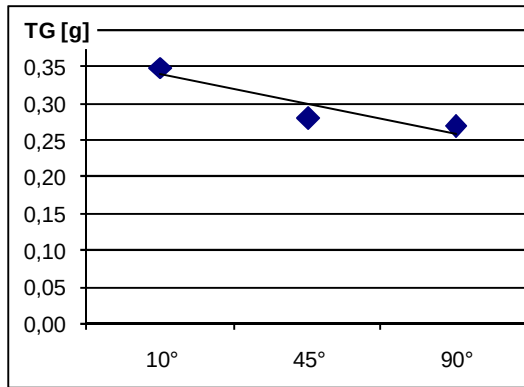


Abb. 83: Mittleres Trockengewicht der Wurzeln (TG) in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Aus diesen Abbildungen geht hervor, dass hinsichtlich der mittleren Gesamtlänge im Einlagewinkel 10° die längsten Wurzeln entstanden sind. Es ist ein deutlicher Abfall der mittleren Wurzellänge vom Einlagewinkel 10° zum Einlagewinkel 90° feststellbar. Im Winkel 45° wurden zwar am meisten Wurzeln gezählt, wie aber aus der Abbildung zur mittleren Gesamtlänge hervorgeht, waren diese verhältnismäßig kürzer (siehe Abb. 84). Im Einlagewinkel 90° wurden nahezu gleich viele Wurzeln ausgebildet wie im Winkel 10°, doch auch diese waren, wie aus der Abbildung zur mittleren Gesamtlänge der Wurzeln hervorgeht, deutlich kürzer. Wie Abb. 85 zeigt, waren die Wurzeln im Einlagewinkel 90° an der Basis konzentriert, sehr kurz und büschelig. Der Einlagewinkel 10° hatte zwar vergleichsweise weniger Wurzeln, diese waren aber länger als in den zwei Winkeln, und wie das Trockengewicht zeigt, auch besser verzweigt (siehe Abb. 86). Aus dem ermittelten Trockengewicht lässt sich ablesen, dass sich im Einlagewinkel 10° eine bessere unterirdische Biomassenentwicklung zeigte.



Abb. 84: Wurzelentwicklung bei Einlagewinkel 90° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria, Dez. 2008)



Abb. 85: Wurzelentwicklung bei Einlagewinkel 45° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria, Dez. 2008)



Abb. 86: Wurzelentwicklung bei Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria, Dez. 2008)

Aus den Berechnungen der Mittelwerte ging hervor, dass der Einlagewinkel 10° die vergleichsweise besseren Ergebnisse lieferte. Wie aber aus den nachstehenden Boxplots (siehe Abb. 87 - 89) ersichtlich ist, gab es zwischen den Einlagewinkeln keine signifikanten Unterschiede bezüglich der unterirdischen Biomassenentwicklung. Um dies statistisch zu bestätigen wurden die Variablen wiederum mittels Kolmogorov – Smirnov – Test auf Normalverteilung und mittels Levene – Test auf Varianzhomogenität geprüft. Hinsichtlich Anzahl und Trockengewicht der Wurzeln wurden diese Voraussetzungen einer ANOVA erfüllt und folglich dieses statistische Verfahren zum Vergleich der Mittelwerte angewandt. Dieses ergab, dass es sowohl hinsichtlich Anzahl als auch hinsichtlich Trockengewicht keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Einlagewinkeln gibt. Die Werte der Wurzellängen wiesen laut Levene –Test keine Varianzhomogenität auf. Sie wurden daher mittels des Welch – Tests auf signifikante Unterschiede zwischen den Einlagewinkeln geprüft. Auch dieser ergab, dass es keine signifikanten Unterschiede gibt.

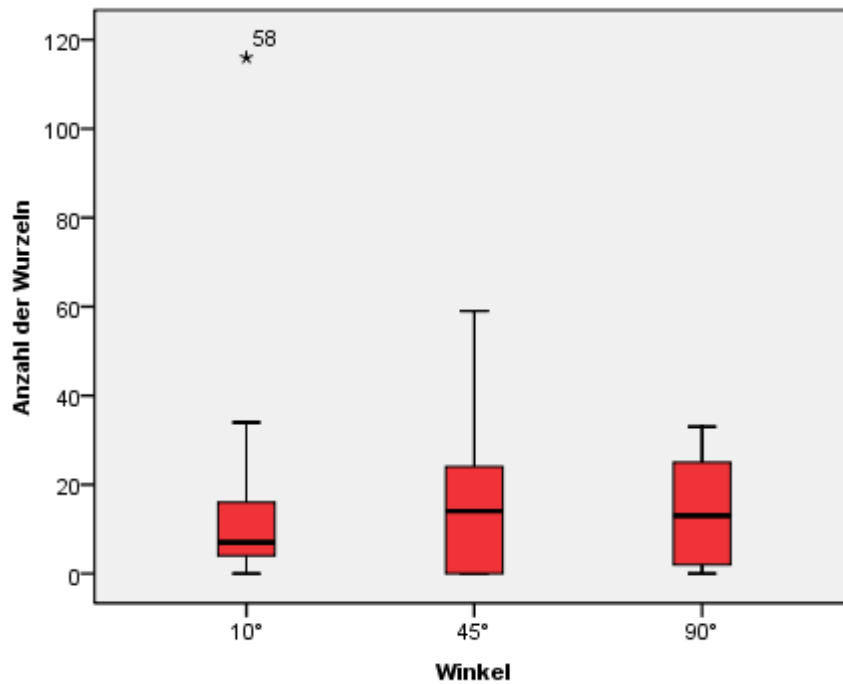


Abb. 87: Boxplot zur Gesamtanzahl der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

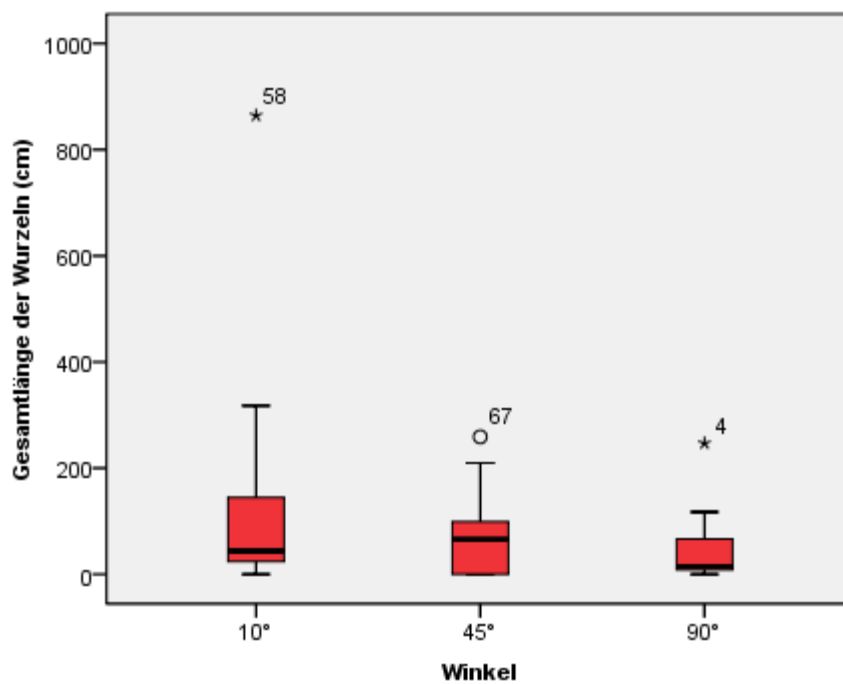


Abb. 88: Boxplot zur Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

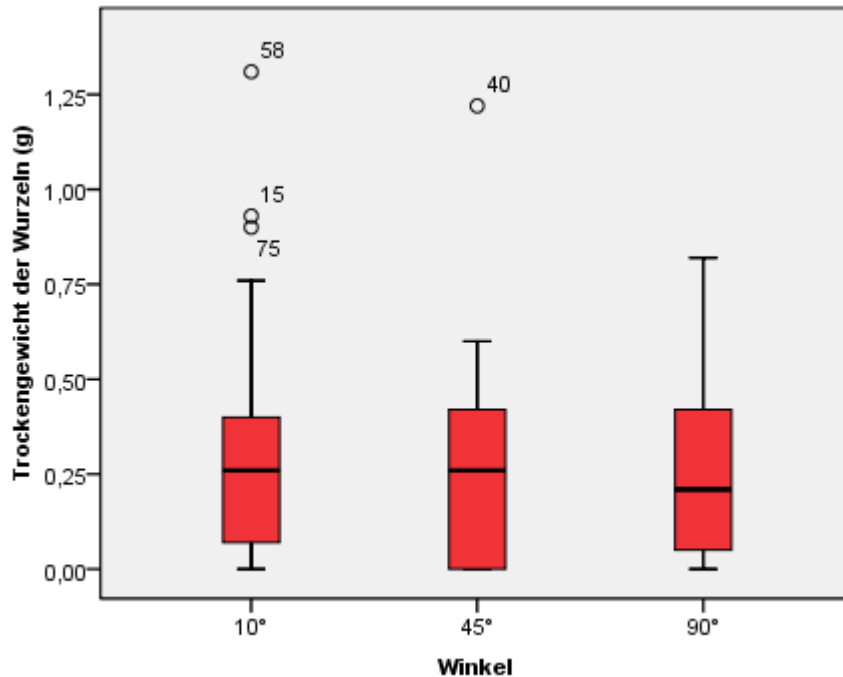


Abb. 89: Boxplot zum Trockengewicht der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)

Wie in Kapitel 7.2.1. zum Pflanzenmaterial erwähnt, waren 21 Steckhölzer aus einem wild wachsenden Ufersaum des Flusses Arroio geschnitten worden. Diese wurden vor dem Einlegen gekennzeichnet, um eventuelle Abweichungen in der Biomassenentwicklung feststellen zu können. Eine Überprüfung der Daten zeigte, dass es in der Spross- bzw. Wurzelentwicklung keine Unterschiede je nach Herkunftsort des Pflanzenmaterials gab (siehe Tab. 9 - 11).

Anmerkung		Mittlerer Durchmesser (cm)	Volumen des Steckholzes über der Erde (cm) ³	Volumen des Steckholzes unter der Erde (cm) ³
1	Mittelwert	20,0309	185,6071	1501,7303
	N	54	54	54
	SD	5,38313	102,31454	827,81766
2 („x“)	Mittelwert	20,5556	184,1399	1489,8594
	N	21	21	21
	SD	1,98420	36,20134	292,90173
alle	Mittelwert	20,1778	185,1963	1498,4065
	N	75	75	75
	SD	4,67706	88,61253	716,95593

Tab. 9: Ergebnisse der Steckholzuntersuchung zu den 21 und 54 Steckhölzern im Vergleich (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008) N=Anzahl, SD=Standardabweichung

Anmerkung		Mittlere Anzahl der Sprosse	Mittlere Länge der Sprosse (cm)	Gesamtlänge der Sprosse pro Pflanze (cm)	Mittlerer Sprossdurchmesser (mm)	Mittleres Trockengewicht der Sprosse (g)
1	Mittelwert	2,69	21,8918	57,9074	7,0970	1,6280
	N	54	54	54	54	54
	SD	1,179	12,76420	35,72709	3,13313	1,11073
2 („x“)	Mittelwert	2,71	16,1325	43,4048	7,4376	1,5805
	N	21	21	21	21	21
	SD	1,271	14,49364	35,03235	4,12101	1,47009
alle	Mittelwert	2,69	20,2792	53,8467	7,1924	1,6147
	N	75	75	75	75	75
	SD	1,197	13,42539	35,90076	3,41239	1,21168

Tab. 10: Ergebnisse der Sprossentwicklung der 21 und 54 Steckhölzer im Vergleich (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008) N=Anzahl, SD=Standardabweichung

Anmerkung		Mittlere Anzahl Wurzeln	Mittlere Länge der Wurzeln (cm)	Gesamtlänge der Wurzeln pro Pflanze (cm)	Mittleres Trockengewicht der Wurzeln (g)
1	Mittelwert	12,94	5,2611	65,8333	,3202
	N	54	54	54	54
	SD	10,156	6,15048	69,32552	,28113
2 („x“)	Mittelwert	19,19	4,8961	109,0476	,2386
	N	21	21	21	21
	SD	28,453	6,19711	195,24106	,29869
alle	Mittelwert	14,69	5,1589	77,9333	,2973
	N	75	75	75	75
	SD	17,339	6,12373	118,85360	,28649

Tab. 11: Ergebnisse der Wurzelentwicklung der 21 und 54 Steckhölzer im Vergleich (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008) N=Anzahl, SD=Standardabweichung

Die Tabellen zeigen, dass sich die mit „x“ gekennzeichneten Steckhölzer, die aus dem wild wachsenden Ufersaum geschnitten wurden (N=21) ähnlich entwickelten wie die 54 Steckhölzer, die aus der Krainerwand gewonnen worden waren.

7.4. Diskussion und Interpretation

In der Ingenieurbiologie wird jenes Pflanzenmaterial als geeignet bezeichnet, das schnell Wurzeln und Sprosse ausbildet. Der Versuch hat gezeigt, dass die Steckhölzer der Art *Phyllanthus sellowianus* innerhalb von zwei Monaten eine gute Biomassenentwicklung aufwiesen (Arbeitsziel 1). Bereits Fabricio J. SUTILI (2007) Grundlagenforschung hat das Ergebnis geliefert, dass diese heimische Art geeignet für den ingenieurb biologischen Einsatz ist. In der vorliegenden Forschungsarbeit konnte bestätigt werden, dass diese Art ein gutes Steckholzwachstum zeigt.

Da das Pflanzenmaterial schwer zu beschaffen war, gab es eine große Differenz zwischen den minimalen und den maximalen Durchmessern der Steckhölzer. Es war von Interesse festzustellen, ob dieser Parameter Auswirkungen auf die Steckholzentwicklung hat. Das oberirdische Volumen des Steckholzes wurde daher in Korrelation zur berechneten Gesamtanzahl, der mittleren Gesamtlänge und dem mittleren Trockengewicht der Sprosse gesetzt. Das unterirdische Volumen wurde mit der Gesamtanzahl, der mittleren Gesamtlänge und dem mittleren Trockengewicht der Wurzeln miteinander in Zusammenhang gestellt. Alle Korrelationen ergaben, dass der Durchmesser der Steckhölzer sich in diesem Versuch nicht auf die Biomassenentwicklung auswirkt.

Arbeitsziel 2 war es die Steckholzentwicklung in 3 Einlagewinkeln miteinander zu vergleichen. Bereits in der Einleitung wurde die Hypothese aufgestellt, dass der Einlagewinkel der Steckhölzer Einfluss auf das Steckholzwachstum und die Biomassenentwicklung (Ausbildung von Sprossen und Wurzeln) hat. Der Vergleich zwischen den Einlagewinkeln hinsichtlich der Anzahl, der Gesamtlänge und dem Trockengewicht der Sprosse und Wurzeln zeigte jedoch, dass keine wesentlichen Unterschiede gegeben sind. Dies geht auch aus den folgenden Boxplots hervor, die die Spross- und Wurzelentwicklung einander gegenüberstellen.

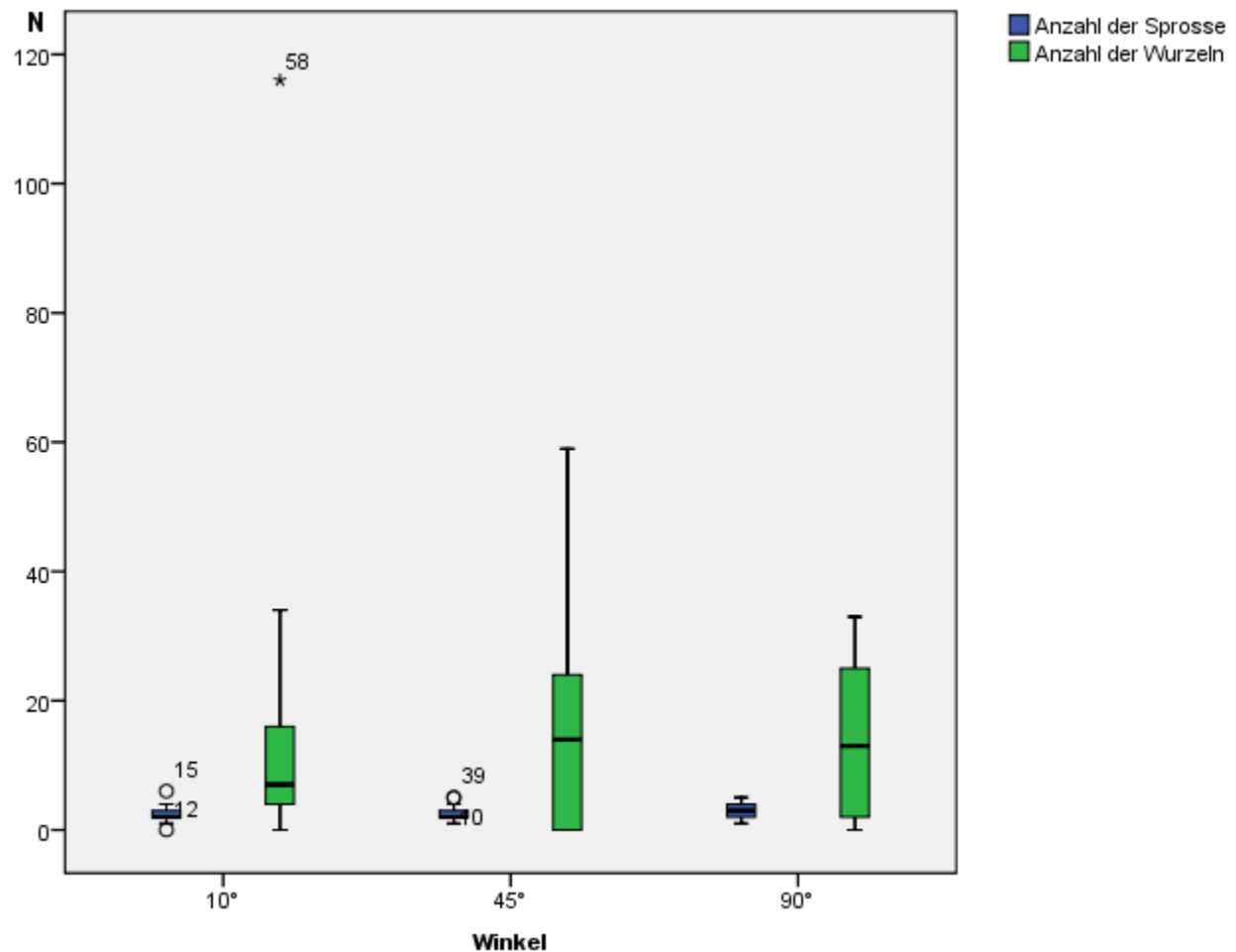


Abb. 90: Gegenüberstellung der Anzahl von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Bei der Gegenüberstellung der Anzahl von Sprossen und Wurzeln (siehe Abb. 90) fällt auf, dass in allen Einlagewinkeln sehr wenig Sprosse ausgebildet wurden. Die höchste Anzahl an Sprossen waren 6 im Winkel 10°. Die Sprosse waren aber, wie man aus der Gegenüberstellung des Trockengewichts (siehe Abb. 92) und den Berechnungen zu den Sprossdurchmessern ablesen kann, schön entwickelt. Der maximal gemessene Sprossdurchmesser war 6,93 mm im Einlagewinkel 10°.

Bei den Wurzeln verhält sich dies genau gegensätzlich – höhere Anzahl, weniger Trockengewicht. Die maximale Wurzelanzahl wurde im Einlagewinkel 10° mit einer Anzahl von 116 Wurzeln gezählt. Das Trockengewicht der Wurzeln ist im Vergleich zur Anzahl gering. Dieses Ergebnis ist auf die sehr hohe Blattmasse und auf die überwiegend geringen Längen der Wurzeln zurückzuführen. Die Gegenüberstellung der Gesamtlängen von Sprossen und Wurzeln (siehe Abb. 91) zeigt, dass die Steckhölzer in allen 3 Einlagewinkeln eine ähnliche Entwicklung zeigten.

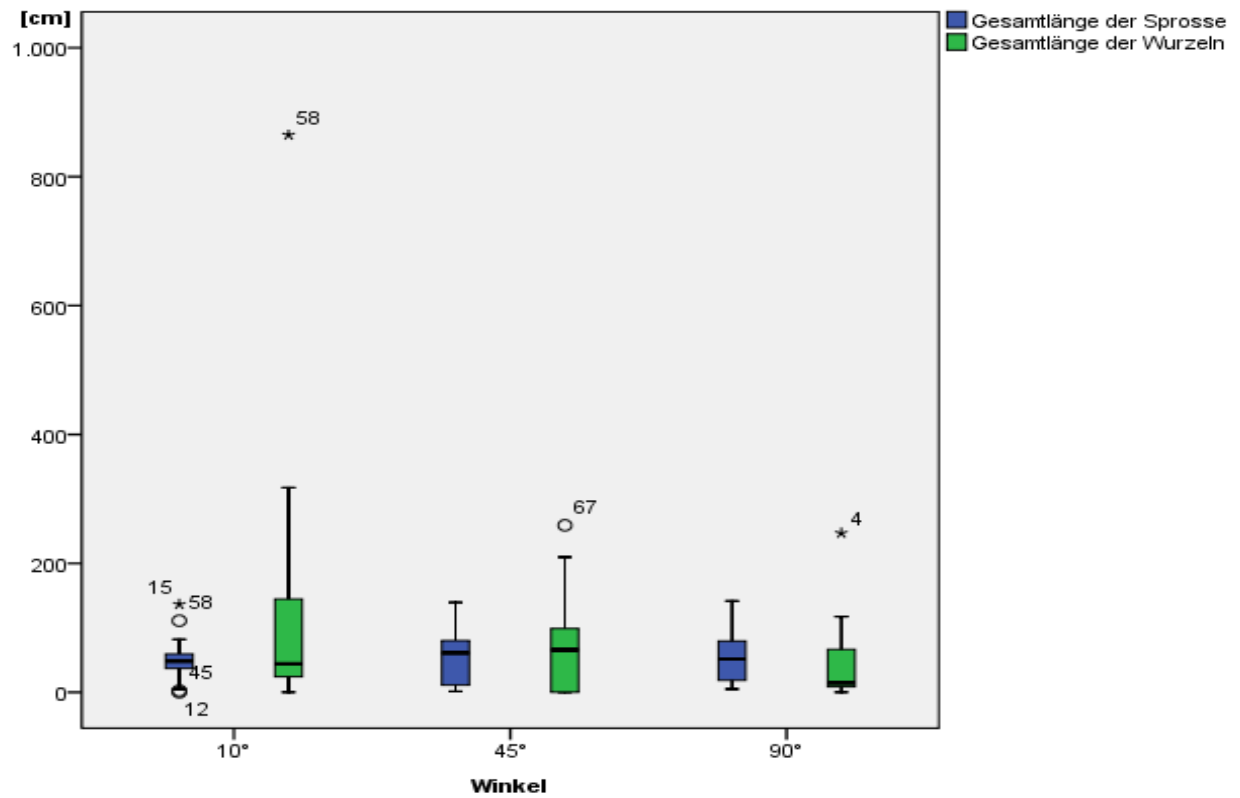


Abb. 91: Gegenüberstellung der Gesamtlängen von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

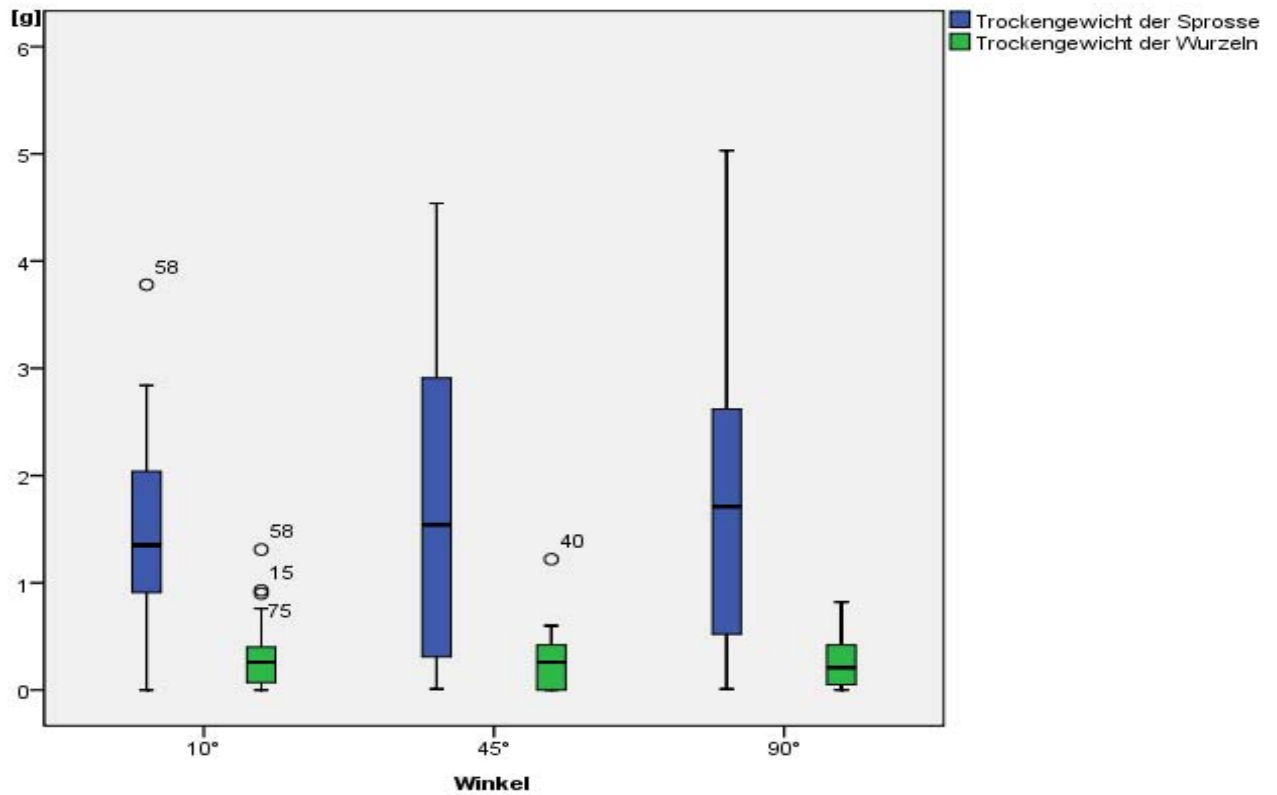


Abb. 92: Gegenüberstellung des Trockengewichts von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Die Boxplots sowie die ANOVA bzw. der Welch -Test widerlegen somit die Hypothese, dass der Einlagewinkel der Steckhölzer Einfluss auf die Biomassenentwicklung der Steckhölzer hat.

Die in der Einleitung aufgestellte Hypothese, dass der Einlagewinkel der Steckhölzer Einfluss auf die Verteilung der Sprosse und Wurzeln am Steckholz hat, wurde hingegen zumindest teilweise bestätigt. Die gleichmäßigste Verteilung der Sprosse wurde im Winkel 90° erwartet, die gleichmäßigste Verteilung der Wurzeln im Winkel 10° . Die Annahmen bezüglich der Sprossausbildung wurden aufgestellt, da der Einlagewinkel 90° am meisten Oberfläche zum Austreiben der Sprosse bietet. Im Winkel 10° und 45° können sich die Sprosse aufgrund des flacheren Einlagewinkels nur an der dem Sand abgewandten Seite des Steckholzes ausbilden. Die Annahme hinsichtlich der Wurzelentwicklung wurde getroffen, da vermutet wurde, dass die Nährstoffe je nach Einlagewinkel unterschiedlich im Steckholz verteilt sind. Bei einem flacheren Einlagewinkel wurde eine gleichmäßigere Verteilung der Nährstoffe und somit eine gleichmäßigere Verteilung der Wurzeln erwartet.

Hinsichtlich der Sprossbildung konnte die Hypothese bestätigt werden. Wie Abb. 93 zeigt, waren die Sprosse im Winkel 90° am gesamten oberirdischen Teil des Steckholzes verteilt. In den Einlagewinkeln 10° und 45° wurden nur an der dem Sand abgewandten Seite Sprosse ausgebildet (siehe Abb. 94 u. 95).



Abb. 93: Sprossausbildung im Einlagewinkel 90°
(Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Nov. 2008)



Abb. 94: Sprossausbildung im Einlagewinkel 45°
(Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Nov. 2008)



Abb. 95: Sprossausbildung im Einlagewinkel 10°
(Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Nov. 2008)

Hinsichtlich der Wurzelbildung konnte die Hypothese nicht bestätigt werden. Die Wurzeln waren, wie bereits erläutert, größtenteils nur an der Basis ausgebildet (siehe Abb. 96 - 98).



Abb. 96: Wurzelbildung im Einlagewinkel 90°
(Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Nov. 2008)



Abb. 97: Wurzelbildung im Einlagewinkel 45°
(Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Nov. 2008)



Abb. 98: Wurzelbildung im Einlagewinkel 10°
(Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Nov. 2008)

Dass sich die Wurzelverteilung je nach Einlagewinkel nicht verändert, lässt den Rückschluss zu, dass der Einlagewinkel bei der Art *Phyllanthus sellowianus* keinen Einfluss auf die Nährstoffverteilung hat. Daher bildeten sich nur an der Basis (Abschnitt 1) Wurzeln aus. Die mittlere Gesamtlänge und das mittlere Trockengewicht zeigten jedoch, dass im Einlagewinkel 10° die längsten und dichtesten Wurzeln entstanden sind. Dies lässt darauf schließen, dass im Winkel 10° dennoch eine vergleichsweise bessere Biomassenentwicklung erreicht wurde und die Steckhölzer besser anwuchsen. Im Winkel 45° wurde mit 410 Wurzeln zwar die höchste Gesamtanzahl gezählt, da es aber in diesem Einlagewinkel sehr viele Steckhölzer ohne Wurzelentwicklung gab (28%), sind die mittlere Gesamtlänge sowie das mittlere Trockengewicht vergleichsweise geringer.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Einlagewinkel 10° in diesem Versuch eine bessere unterirdische Biomassenentwicklung aufwies. Es konnte sich laut der Ergebnisse zur Wurzelentwicklung rasch ein dicht verzweigtes Wurzelsystem ausbilden. Dies ist gemeinsam mit einer ausgewogenen Sprossentwicklung ein wichtiges Kriterium bei ingenieurb biologischen Maßnahmen, um die Bodenerosion möglichst schnell zu verringern. Im Einlagewinkel 10° wurden hinsichtlich der Sprossentwicklung zwar die vergleichsweise geringsten Mittelwerte errechnet, es waren aber mittels statistischer Tests keine signifikanten Unterschiede zwischen den Einlagewinkeln feststellbar. Der Einlagewinkel 10° zeigte demnach keine signifikant schlechtere Sprossentwicklung. Auf Grund der Versuchsergebnisse hinsichtlich des Wurzelwachstums, sind Steckhölzer der Art *Phyllanthus sellowianus* demnach bei ingenieurb biologischen Bauweisen vorzugsweise im Einlagewinkel 10° einzusetzen. In diesem Winkel haben nur 16% der Steckhölzer gar keine Wurzeln ausgebildet. Jene, die unterirdische Biomasse entwickelt haben, bildeten Wurzeln von der durchschnittlich größten Länge und dem höchsten mittleren Trockengewicht aus.

Dieses Ergebnis deckt sich auch mit der Empfehlung laut FLORINETH (2004, S. 29), die Steckhölzer leicht schräg in die Erde einzulegen.

8. Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*

In folgendem Kapitel werden die Ziele, das Material und die Methodik des Versuches beschrieben, sowie die Ergebnisse dargestellt, mit dem Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus* verglichen und diskutiert.

8.1. Ziel

Mit dem Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus* wurden dieselben Ziele wie bei Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus* verfolgt. Die Steckhölzer wurden ebenfalls in 3 unterschiedlichen Einlagewinkeln eingelegt, diesmal jedoch anstatt im Substrat Sand im Substrat Wasser.

Das Arbeitsziel des in Folge beschriebenen Versuchs war:

1. Steckholzentwicklung der Art *Phyllanthus sellowianus* in Wasser zum Vergleich der Steckholzentwicklung derselben Art in Sand

Auch bei diesem Versuch wurde getestet welcher Einlagewinkel das vergleichsweise beste Steckholzwachstum zeigt. Es war von Interesse die Ergebnisse der Versuche zu den Einlagewinkeln in Sand mit denen in Wasser zu vergleichen. Es wurde erwartet, dass die Biomassenentwicklung der Steckhölzer der Art *Phyllanthus sellowianus* in Wasser eine ähnliche aber raschere wie in Sand ist.

8.2. Material und Methodik

Der Versuch wurde im Versuchsgarten der Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) durchgeführt. Er wurde am 9. Oktober 2008 angelegt. Nach 2 Monaten wurden die Daten erhoben. In folgendem Kapitel wird die Methodik erläutert. Es wird beschrieben, wie das Pflanzenmaterial beschafft und der Versuch aufgebaut wurde. Im Anschluss wird darauf eingegangen, welche Instandhaltungsmaßnahmen notwendig waren und welche Daten erhoben wurden, um die Versuche miteinander vergleichen zu können.

8.2.1. Pflanzmaterial

Für diesen Versuch wurden Steckhölzer der Art *Phyllanthus sellowianus* verwendet. Diese wurden am Ufer des Rio Guarda Mor, im Dorf Guarda Mor, in der Gemeinde Faxinal do Soturno, aus einer Krainerwand entnommen. Insgesamt wurden 45 Steckhölzer mit einer Länge von 33 cm geschnitten. Der mittlere Durchmesser der Steckhölzer beträgt in etwa 12 mm. Es wurden Steckhölzer von 10 mm bis 15 mm verwendet. Um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten, wurden die unterschiedlichen Durchmesser so auf die Winkel verteilt, dass in allen 3 Winkeln ein mittlerer Durchmesser von 12 mm gegeben war (siehe Abb. 99).

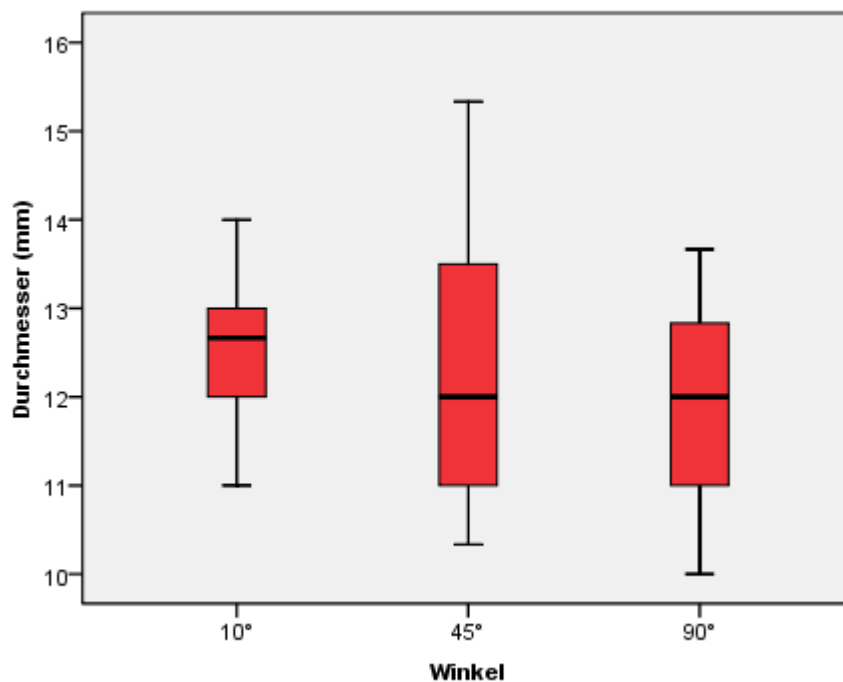


Abb. 99: Verteilung der Durchmesser der Steckhölzer in unterschiedlichen Winkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Es wurden nur geeignete Steckhölzer verwendet. Steckhölzer, die beschädigt oder verkrümmt waren, wurden nicht genommen. Das vegetative Material wurde vor Ort gebündelt und in Plastiksäcken verpackt, in denen sie dann zur Versuchsfläche transportiert wurden.

8.2.2. Versuchsaufbau

Zur Anlegung des Versuches wurden 3 Betonbecken mit den Maßen 64x34x84,5 cm verwendet (siehe Abb. 100).

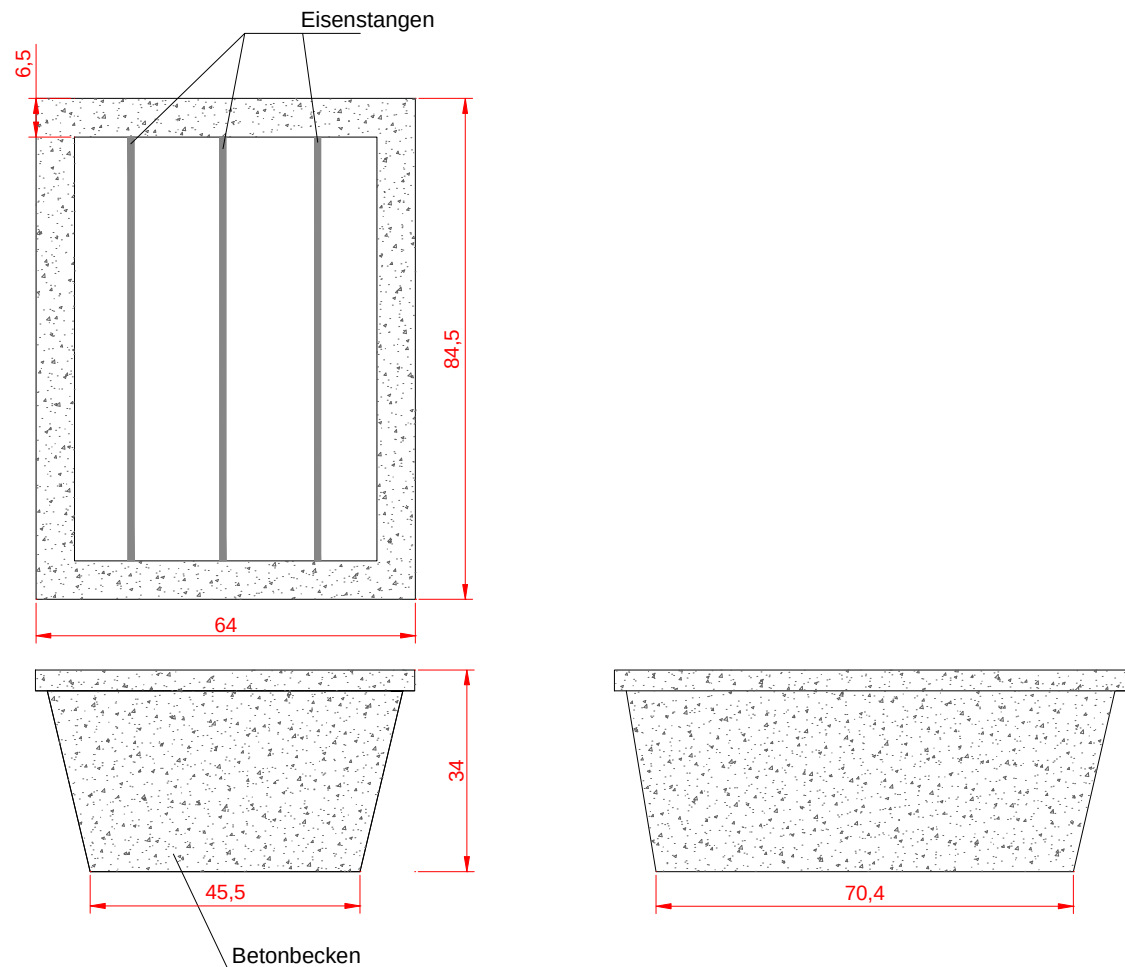


Abb. 100: Maße eines Betonbeckens (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Die Becken wurden innen mit blauer, wasserdichter Farbe ausgemalt, um zu verhindern, dass über die Betonwände Wasser ausläuft (siehe Abb. 101).



Abb. 101: Ausmalen des Betonbeckens (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)



Abb. 102: Befestigen der Steckhölzer von *Phyllanthus sellowianus* (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)

Um die Steckhölzer in den Winkeln 10°, 45° und 90° einzulegen, wurden Löcher in die Wände gebohrt und Eisenstangen eingebaut.

Insgesamt wurden 45 Steckhölzer, 15 pro Winkel eingelegt. In jedem Betonbecken wurde ein anderer Winkel eingelegt. Die Steckhölzer waren 25 cm im Wasser und 8 cm ragten heraus, dies entspricht in etwa einer Proportion 1:3. Sie wurden im Abstand von etwa 9 cm, versetzt, mit Bändern an den Eisenstangen befestigt (siehe Abb. 102). Anschließend wurden die Becken mit Wasser gefüllt.

Die Betonbecken wurden nebeneinander im „Gewächshaus“ - eine Konstruktion aus Stahlstangen und einem schwarzen Netz - des „vivero“ (Versuchsgarten) der UFSM aufgestellt (siehe Abb. 103). Dieses ist den ganzen Tag der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt; die Betonbecken sind vor der Sonne nur durch das schwarze Netz geschützt. Um den Teil der Steckhölzer der im Wasser war nicht der direkten Sonne auszusetzen, wurden sie mit Holzbrettern, die mit Holzschutzmittel imprägniert wurden, abgedeckt (siehe Abb. 104).



Abb. 103: Anordnung der Betonbecken (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)



Abb. 104: Betonbecken mit Holzabdeckung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)

8.2.3. Instandhaltungsmaßnahmen des Versuches

- Der Wasserstand in den Becken musste regelmäßig kontrolliert werden und bei Bedarf wurde Wasser nachgefüllt.
- Wenn das Wasser verunreinigt war, wurde es durch frisches Wasser ersetzt.

8.2.4. Datenerhebung

Nach 1 Monat wurden erstmals Daten von den Sprossen und Wurzeln des Wasserversuchs erhoben. Dies war möglich, da das Medium Wasser auch Wurzelbeobachtungen zulässt.

Die erhobenen Daten waren:

- Anzahl der Sprosse pro Steckholz
- Länge der Sprosse pro Steckholz(cm)
- Anzahl der Wurzeln pro Steckholz

Nach 2 Monaten, Anfang Dezember 2008, wurden weitere Daten zu den Steckhölzern, zu den Sprossen sowie zu den Wurzeln gesammelt. Um einen Vergleich zwischen dem Versuch Einlagewinkel in Wasser und dem Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus* ziehen zu können wurden dieselben Daten erhoben.

Daten der Steckhölzer

Gemessen wurden:

- Durchmesser des Steckholzes an Spitze, Mitte und Basis (mm)
- Länge des Steckholzes (cm)

Daten der Sprosse

Am 9.Dezember 2008 wurden wie bei Versuch Sand Winkel die Sprosse der 45 Steckhölzer geschnitten und in nummerierte Papiertüten gegeben, um anschließend folgende Parameter zu erheben:

- Durchmesser der Sprosse pro Steckholz (mm)
- Länge der Sprosse pro Steckholz (cm)
- Anzahl der Sprosse pro Steckholz
- Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz (g)

Die Länge der Sprosse wurde mit einem Lineal auf halbe Zentimeter genau gemessen. Die Durchmesser wurden mit Hilfe derselben digitalen Schublehre der Marke Electronic digital Caliper (techn. Angaben siehe S. 43) aufgenommen. Das Trockengewicht wurde mittels einer Präzisionswaage mit Graphik - Display der brasilianischen Marke Marte (techn. Angaben siehe S. 43) gewogen.

Daten der Wurzeln

Am 10. Dezember 2008 wurden folgende Daten der Wurzeln erhoben:

- Anzahl der Primärwurzeln pro Steckholz
- Anzahl der Primärwurzeln pro Steckholzabschnitt
- Länge der Primärwurzeln pro Steckholz(cm)
- Länge der Primärwurzeln pro Steckholzabschnitt (cm)
- Trockengewicht der Wurzeln pro Steckholz (g)
- Trockengewicht der Wurzeln pro Steckholzabschnitt (g)

8.3. Ergebnisse

Um die Steckholzentwicklung der Art *Phyllanthus sellowianus* in Wasser mit der Steckholzentwicklung in Sand zu vergleichen (Arbeitsziel), wurden folgende Berechnungen vorgenommen:

Berechnungen mit den Daten der Steckhölzer:

- Mittlerer Durchmesser (mm)
- Volumen des Steckholzes über und unter Wasser (cm³)

Die genannten Variablen wurden wie bereits in Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana* (siehe S. 45) beschrieben, berechnet.

Der mittlere Durchmesser gibt an, dass die unterschiedlichen Durchmesser gleich auf die Einlagewinkel verteilt waren und somit ein repräsentatives Ergebnis gewährleistet ist (siehe Abb. 99).

Um festzustellen, ob die Dicke des Steckholzes Auswirkungen auf die Biomassenentwicklung hat, wurde das Volumen ober und unter dem Wasser berechnet, und in Bezug zur Anzahl, zur Gesamtlänge und zum Trockengewicht der Sprosse bzw. der Wurzeln gesetzt.

Berechnungen mit den Daten der Sprosse:

- Mittlere Anzahl der Sprosse pro Steckholz
- Gesamtanzahl der Sprosse pro Einlagewinkel
- Mittlere Länge der Sprosse pro Steckholz (cm)
- Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz (cm)
- Mittlerer Sprossdurchmesser pro Steckholz (mm)
- Mittleres Spross-Trockengewicht pro Steckholz (g)

Die Berechnung dieser Variablen, ist identisch mit denen in Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana* (siehe S. 46).

Die genannten Variablen geben Aufschluss über die oberirdische Biomassenentwicklung in den unterschiedlichen Einlagewinkeln und ermöglichen einen Vergleich.

Berechnungen mit den Daten der Wurzeln:

- Mittlere Anzahl von Wurzeln pro Steckholz
- Mittlere Anzahl von Wurzeln pro Steckholzabschnitt
- Gesamtanzahl der Wurzeln pro Steckholz
- Gesamtanzahl der Wurzeln pro Steckholzabschnitt
- Prozentsatz der Wurzeln pro Steckholzabschnitt (%)
- Mittlere Länge der Wurzeln pro Steckholz (cm)
- Mittlere Länge der Wurzeln pro Steckholzabschnitt (cm)
- Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholz (cm)
- Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholzabschnitt (cm)
- Mittleres Wurzel-Trockengewicht pro Steckholz (g)
- Mittleres Wurzel-Trockengewicht pro Steckholzabschnitt (g)

Die Variablen zu den Wurzeln wurden mit den in Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana* aufgelisteten Formeln berechnet (siehe S. 47).

Der **Prozentsatz der Wurzeln pro Steckholzabschnitt** wurde berechnet, indem die Anzahl der Wurzeln in einem Abschnitt zum Grundwert (Gesamtanzahl aller Wurzeln in diesem Einlagewinkel) ins Verhältnis gesetzt wird.

Die genannten Variablen lassen Rückschlüsse auf die unterirdische Biomassenentwicklung in den unterschiedlichen 3 Einlagewinkeln zu und ermöglichen einen Vergleich zwischen den Winkeln.

Da erwartet wurde, dass die Verteilung der Wurzeln über das Steckholz je nach Einlagewinkel eine andere ist, wurde der unterirdische Teil der Steckhölzer in 3 Abschnitte unterteilt.

Die Mittelwerte und die dazugehörigen Standardabweichungen wurden mit dem Statistik - Programm SPSS berechnet. In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse dieser Berechnungen aufgelistet. Da die Gesamtanzahl der Sprosse und Wurzeln keine Mittelwerte sondern reine Summenbildungen sind, sind diese nicht in der Tabelle enthalten. Sie wurden im Rechenprogramm Excel ermittelt.

8.3.1. Ergebnisse der Spross- und Wurzelentwicklung von *Phyllanthus sellowianus* nach 1 Monat

Mit den Daten, die nach einem Monat erhoben wurden, wurden die mittlere Anzahl der Sprosse und Wurzeln und die Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz errechnet sowie die Gesamtanzahl der Sprosse und Wurzeln gezählt (siehe Tab. 12). Da die Sprosse der Art *Phyllanthus sellowianus* nach 1 Monat noch sehr kurz waren, wurde die mittlere Länge nicht berechnet.

Einlagewinkel		Gesamtlänge der Sprosse (cm)	Mittlere Anzahl der Sprosse	Mittlere Anzahl der Wurzeln	Gesamtanzahl der Sprosse	Gesamtanzahl der Wurzeln
10°	Mittelwert	8,9667	4,07	1,07	61	16
	N	15	15	15		
	SD	7,15259	1,486	2,374		
45°	Mittelwert	18,7000	3,67	8,60	55	129
	N	15	15	15		
	SD	7,65273	,976	11,568		
90°	Mittelwert	26,5000	3,47	10,20	52	153
	N	15	15	15		
	SD	11,93135	1,060	8,334		
alle	Mittelwert	18,0556	3,73	6,62	168	298
	N	45	45	45		
	SD	11,52479	1,195	9,094		

Tab. 12: Ergebnisse der Spross- und Wurzelentwicklung nach 1 Monat (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008); N=Gesamtanzahl, SD=Standardabweichung

Aus der Tabelle 12 ist ablesbar, dass sich im Einlagewinkel 10° nach einem Monat die meisten Sprosse entwickelt hatten. Diese waren jedoch, wie die Gesamtlänge zeigt, sehr kurz. Die längsten Sprosse wurden im Winkel 90° gemessen. In diesem Einlagewinkel wurden auch am meisten Wurzeln ausgebildet (siehe Abb. 105 - 107).

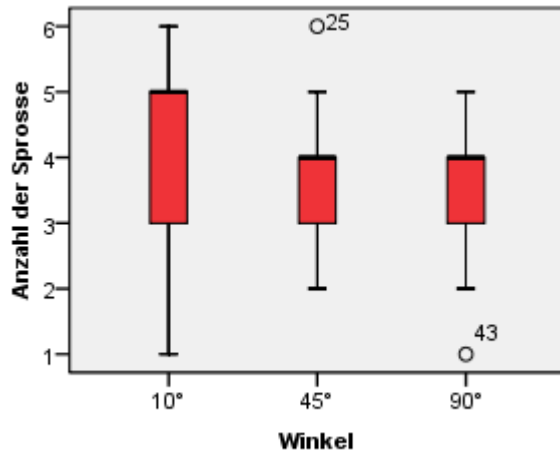


Abb. 105: Boxplot zur Anzahl von Sprossen nach 1 Monat (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

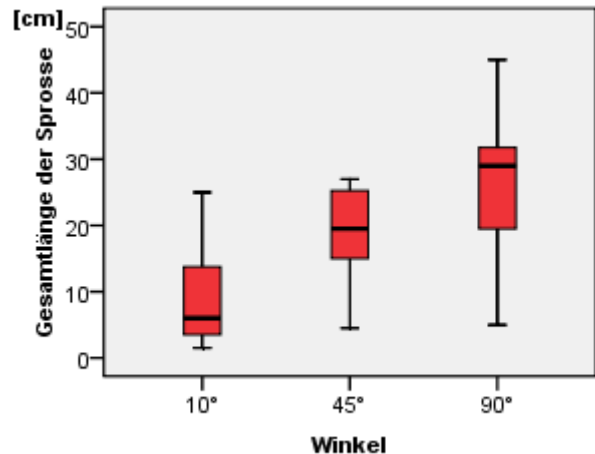


Abb. 106: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse nach 1 Monat (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

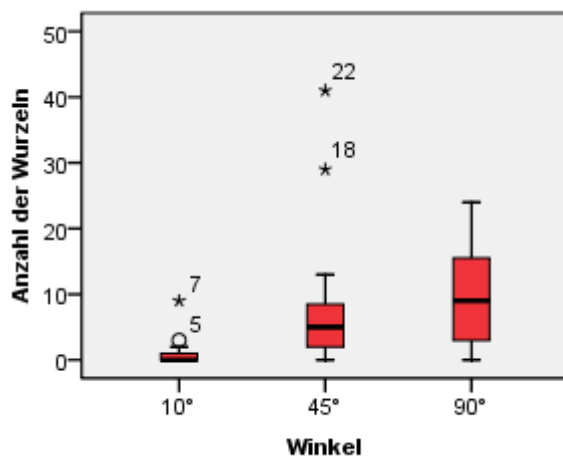


Abb. 107: Boxplot zur Anzahl von Wurzeln 1 Monat (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

8.3.2. Ergebnisse der Steckholzuntersuchung von *Phyllanthus sellowianus* nach 2 Monaten

In Tabelle 13 ist der mittlere Durchmesser der Steckhölzer sowie das durchschnittliche Volumen über und unter der Erde in den einzelnen Einlagewinkeln und insgesamt abzulesen. Zu jedem Mittelwert wurde auch die Standardabweichung (SD) berechnet.

Einlagewinkel		Mittlerer Durchmesser (mm)	Volumen des Steckholzes ÜBER dem Wasser (cm ³)	Volumen des Steckholzes UNTER dem Wasser (cm ³)
10°	Mittelwert	12,49	98,3714	307,4107
	N	15	15	15
	SD	,795	12,43457	38,85803
45°	Mittelwert	12,16	94,1128	294,1025
	N	15	15	15
	SD	1,474	23,36349	73,01089
90°	Mittelwert	11,93	90,2684	282,0888
	N	15	15	15
	SD	1,163	17,14166	53,56768
alle	Mittelwert	12,19	94,2509	294,5340
	N	45	45	45
	SD	1,173	18,09895	56,55922

Tab. 13: Ergebnisse der Steckholzuntersuchung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008) N=Gesamtanzahl, SD=Standardabweichung

Aus dieser Tabelle kann abgelesen werden, dass alle Steckhölzer im Mittel den gleichen Durchmesser, sowie ein ähnliches ober- und unterirdisches Volumen aufwiesen.

8.3.3. Ergebnisse der Sprossentwicklung von *Phyllanthus sellowianus* nach 2 Monaten

Die Berechnungen mit den Daten zu den Sprossen nach 2 Monaten sind in Folge dargestellt.

Die Gesamtanzahl der Sprosse wurde wie bereits erwähnt mit dem Rechenprogramm Excel ermittelt. Dabei ergab sich für den Winkel 10° eine Gesamtanzahl von 55 Sprossen, für den Winkel 45° eine Anzahl von 43 Sprossen, im Winkel 90° wurden 43 Sprosse gesammelt.

Die nachstehende Tabelle 14 zeigt die mittlere Anzahl der Sprosse, die mittlere Länge der Sprosse, die Gesamtlänge der Sprosse pro Pflanze, den mittleren Sprossdurchmesser sowie das durchschnittliche Trockengewicht der Sprosse. Zu jedem Mittelwert wird die Standardabweichung (SD) angegeben.

Einlagewinkel		Mittlere Anzahl der Sprosse	Mittlere Länge der Sprosse (cm)	Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz (cm)	Mittlerer Sprossdurchmesser (mm)	Mittleres Trockengewicht der Sprosse (g)
10°	Mittelwert	3,67	11,3889	40,6667	6,4820	,4007
	N	15	15	15	15	15
	SD	1,113	4,79339	16,36270	1,71349	,11380
45°	Mittelwert	2,87	18,7417	52,7000	6,1713	,6967
	N	15	15	15	15	15
	SD	,834	6,24153	17,84337	1,55680	,38644
90°	Mittelwert	2,87	17,4472	49,2333	5,5213	,4767
	N	15	15	15	15	15
	SD	,834	6,71966	18,53459	1,89294	,21330
alle	Mittelwert	3,13	15,8593	47,5333	6,0582	,5247
	N	45	45	45	45	45
	SD	,991	6,67667	17,94322	1,73474	,28675

Tab. 14: Ergebnisse der Sprossentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008) N=Gesamtanzahl, SD=Standardabweichung

Die höchste Gesamtanzahl an Sprossen wurde im Einlagewinkel 10° gezählt. Die mittlere Sprosslänge, die Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz, der mittlere Sprossdurchmesser und das mittlere Spross - Trockengewicht wiesen im Substrat Wasser die höchsten Werte im Einlagewinkel 45° auf. Dies geht auch aus den nachstehenden Boxplots hervor (siehe Abb. 108 - 110).

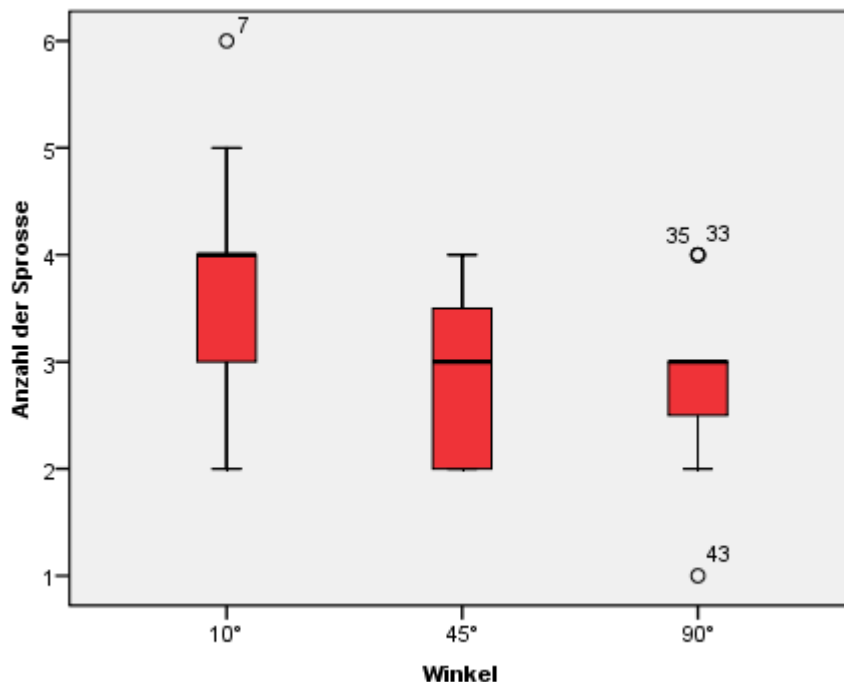


Abb. 108: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

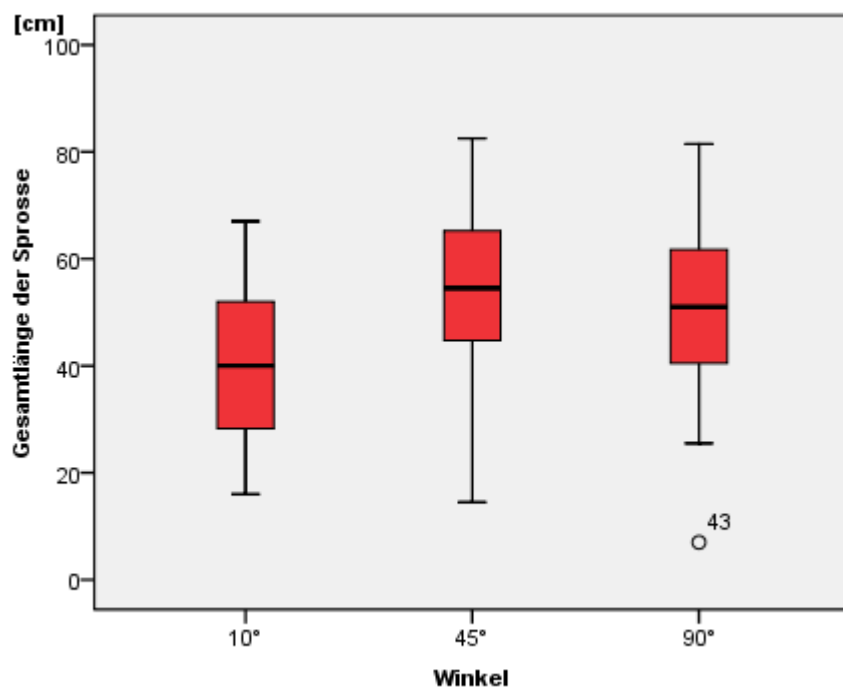


Abb. 109: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

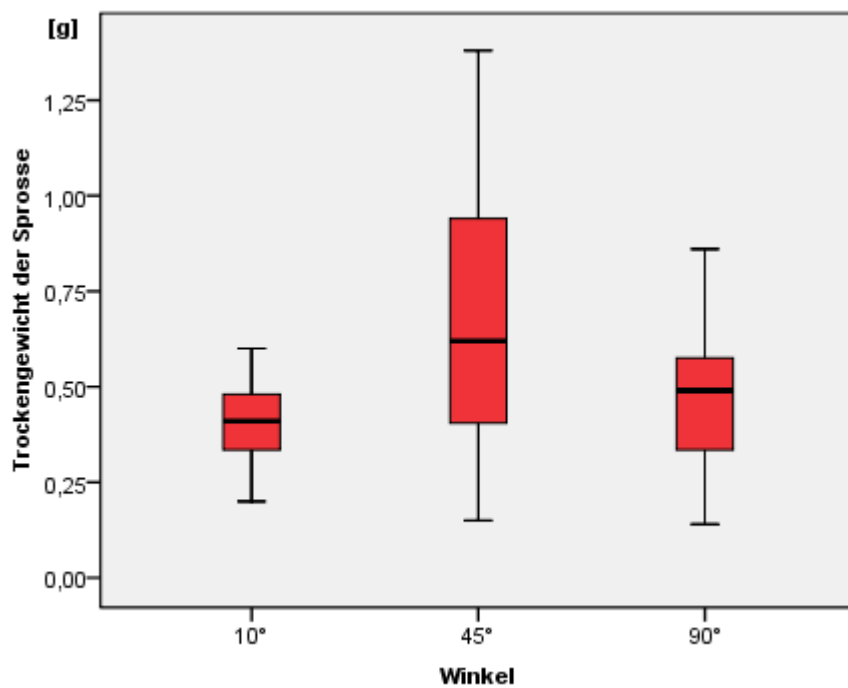


Abb. 110: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

8.3.4. Ergebnisse der Wurzelentwicklung von *Phyllanthus sellowianus* nach 2 Monaten

Die Berechnungen mit den Daten zu den Wurzeln nach 2 Monaten sind in Folge dargestellt.

Die Gesamtanzahl der Wurzeln wurde wie die Sprosse mit dem Rechenprogramm Excel ermittelt. Dabei ergab sich für den Winkel 10° eine Gesamtanzahl von 283 Wurzeln, für den Winkel 45° wurde eine Anzahl von 576 Wurzeln gezählt und im Winkel 90° waren es 431 Wurzeln.

In der nachfolgenden Tabelle 15 sind die berechneten Werte zur mittleren Anzahl der Wurzeln, der mittleren Länge der Wurzeln, der mittleren Gesamtlänge der Wurzeln pro Pflanze sowie zum mittleren Trockengewicht der Wurzeln aufgelistet. Zu allen Mittelwerten wird zusätzlich die Standardabweichung (SD) angegeben.

Einlagewinkel		Mittlere Anzahl der Wurzeln	Mittlere Länge der Wurzeln (cm)	Gesamtlänge der Wurzeln pro Pflanze (cm)	Mittleres Trockengewicht der Wurzeln (g)
10°	Mittelwert	18,8667	4,3360	100,1000	,0873
	N	15	15	15	15
	SD	12,80550	2,35445	92,05592	,08916
45°	Mittelwert	38,4000	8,3198	323,1333	,1960
	N	15	15	15	15
	SD	18,82172	2,55773	183,07166	,13569
90°	Mittelwert	28,7333	7,4846	236,2667	,1527
	N	15	15	15	15
	SD	10,28499	2,92729	115,65726	,10813
alle	Mittelwert	28,6667	6,7135	219,8333	,1453
	N	45	45	45	45
	SD	16,23548	3,09536	161,96808	,11895

Tab. 15: Ergebnisse der Berechnungen zu den Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008) N=Gesamtanzahl, SD=Standardabweichung

Die oben angeführte Tab. 15 zeigt, dass hinsichtlich aller berechneten Parameter der Einlagewinkel 45° die vergleichsweise höchsten Ergebnisse aufweist. Dies geht auch aus den nachstehenden Boxplots hervor (siehe Abb. 111 - 113).

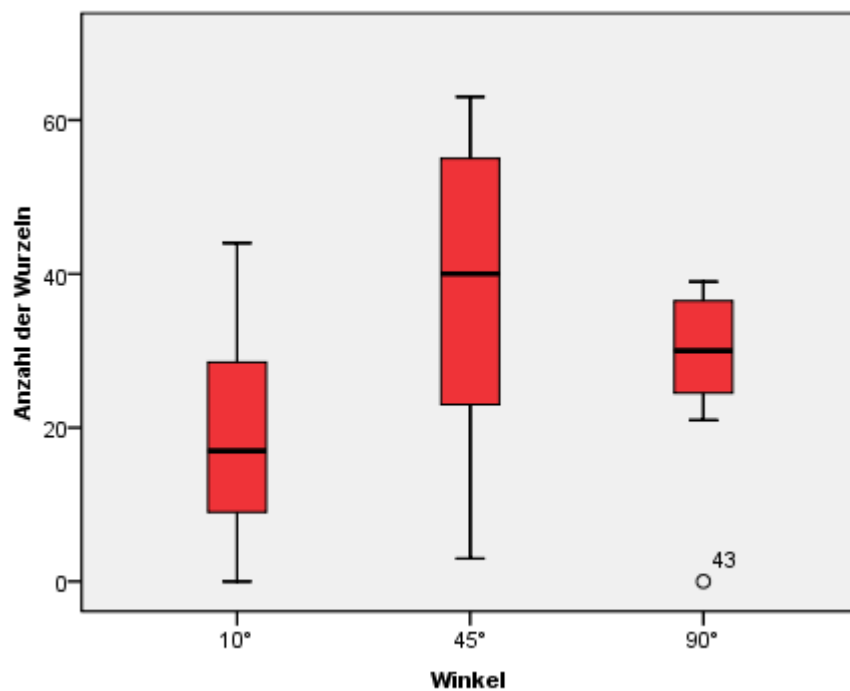


Abb. 111: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

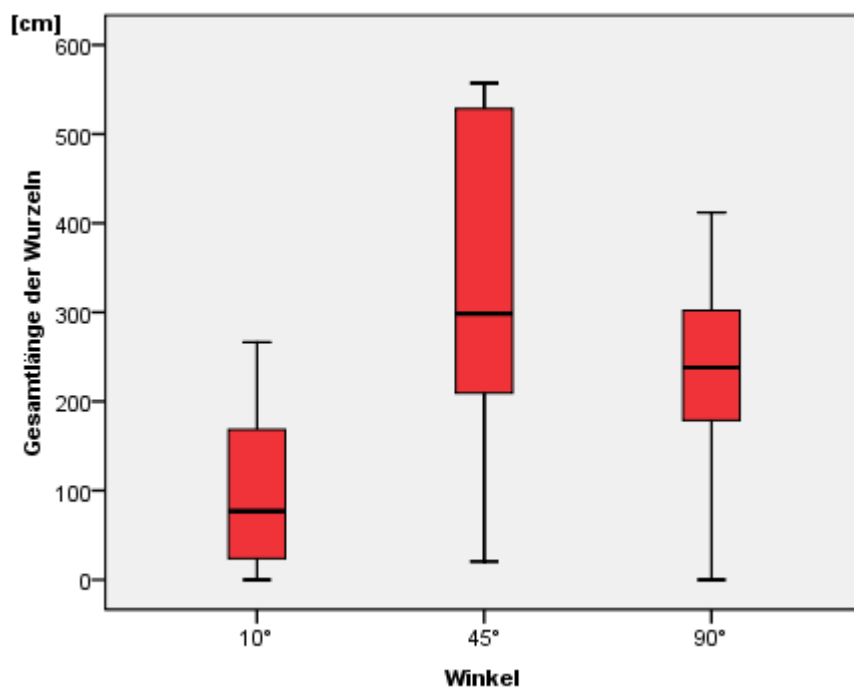


Abb. 112: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

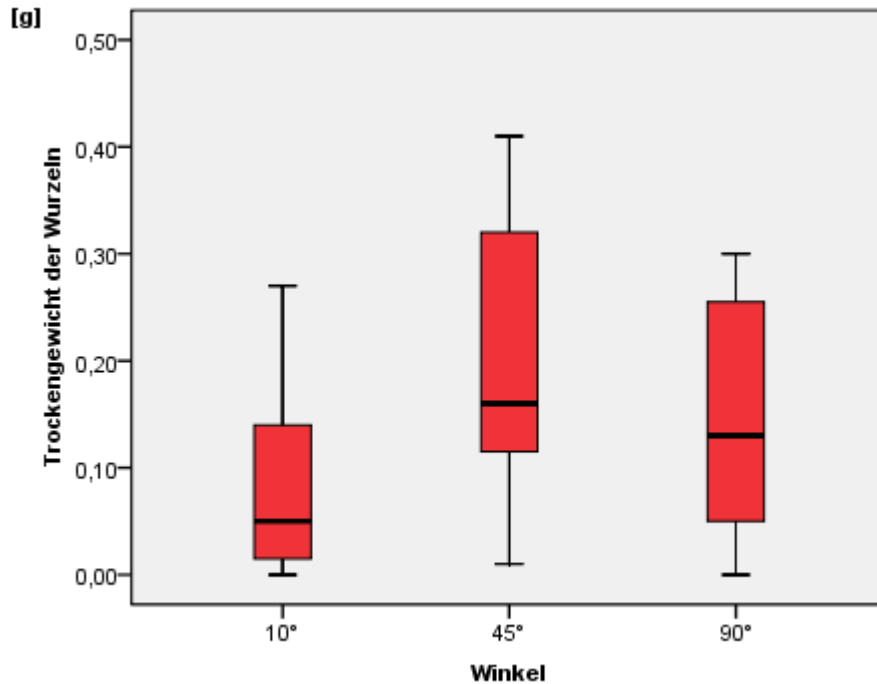


Abb. 113: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Aus den Boxplots ist ersichtlich, dass der Einlagewinkel 45° eine höhere unterirdische Biomassenentwicklung zeigt als die Einlagewinkel 10° und 90°.

Hinsichtlich der Verteilung der Wurzeln am Steckholz gab es in Wasser deutliche Unterschiede zwischen den Einlagewinkeln, die in Folge dargestellt sind.

- Im Einlagewinkel 10° waren die meisten Wurzeln im Abschnitt 1 (an der Basis) konzentriert. Die Wurzeln in diesem Abschnitt waren viel verzweigter und dichter ausgebildet, als die wenigen Wurzeln in den anderen Abschnitten (siehe Abb. 114).
- Im Einlagewinkel 45° wurden sehr viel mehr Wurzeln gezählt, diese befanden sich ebenfalls größtenteils in Abschnitt 1 (siehe Abb. 115). Es konnte ein kontinuierlicher Abfall der Wurzelanzahl von Abschnitt 1 bis Abschnitt 3 festgestellt werden. In Abschnitt 2 haben sich verhältnismäßig viele Wurzeln entwickelt, nämlich in absoluten Zahlen gesehen, mehr als im Winkel 10° im Abschnitt 1.
- Im Einlagewinkel 90° wurden in den Abschnitten 1 und 3 annähernd gleich viele Wurzeln gezählt. In diesem Winkel war der Großteil der Wurzeln in Abschnitt 2 konzentriert (siehe Abb. 116). In absoluten Zahlen gesehen, waren es jedoch weniger Wurzeln als im Einlagewinkel 45° im Abschnitt 2. In Abschnitt 3 haben sich im Einlagewinkel 90° vergleichsweise die meisten Wurzeln entwickelt.



Abb. 114: Wurzelentwicklung in den unterschiedlichen Steckholzabschnitten im Winkel 10° (Santa Maria / UFSM, Dez. 2008)

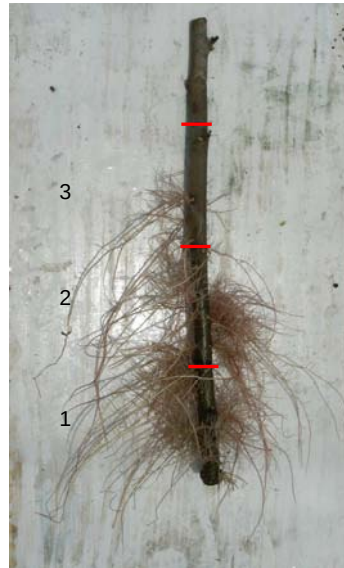


Abb. 115: Wurzelentwicklung in den unterschiedlichen Steckholzabschnitten im Winkel 45° (Santa Maria / UFSM, Dez. 2008)

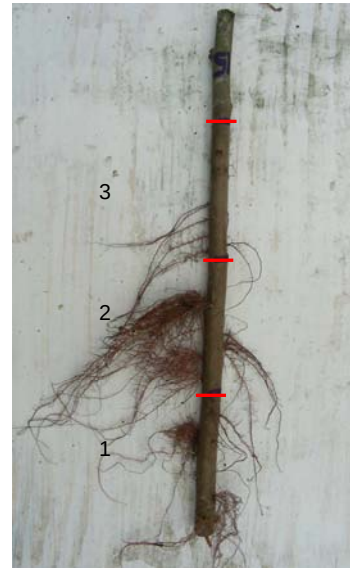


Abb. 116: Wurzelentwicklung in den unterschiedlichen Steckholzabschnitten im Winkel 90° (Santa Maria / UFSM, Dez. 2008)

Auch der in Folge aufgelistete, berechnete Prozentsatz zur Wurzelanzahl in den unterschiedlichen Abschnitten (siehe Tab 16) sowie die folgenden Boxplots (siehe Abb. 124 - 126) verdeutlichen dies.

		Abschnitte		
Einlagewinkel		1	2	3
10°	Grundwert	283	283	283
	N	185	53	45
	%	65	19	16
45°	Grundwert	576	576	576
	N	328	200	48
	%	57	35	8
90°	Grundwert	431	431	431
	N	125	195	111
	%	29	45	26

Tab. 16: Anzahl und Prozentsatz der Wurzeln pro Abschnitt (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)
N=Gesamtanzahl, %=Prozentsatz

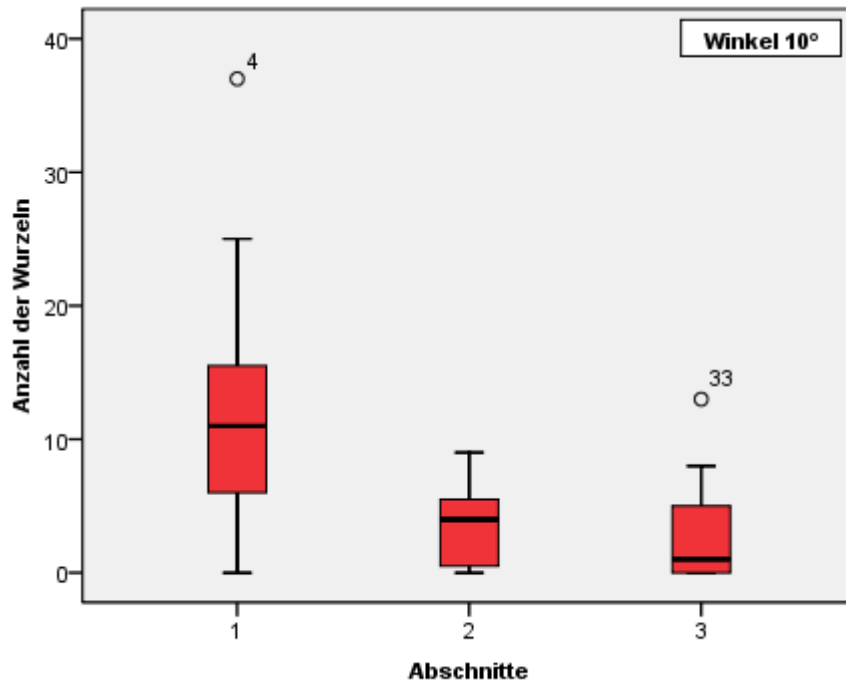


Abb. 117: Boxplot zur Anzahl der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

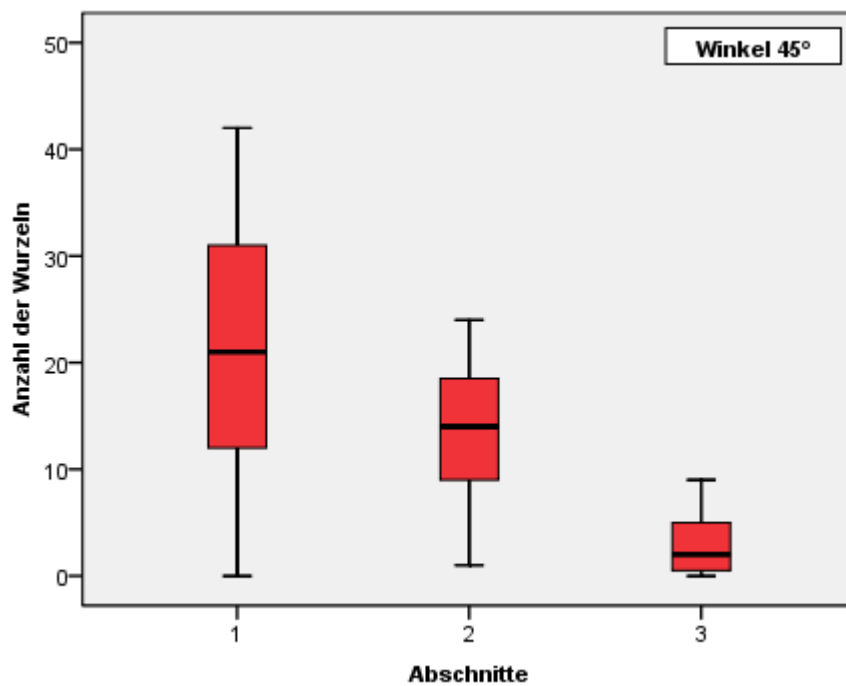


Abb. 118: Boxplots zur Anzahl der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 45° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

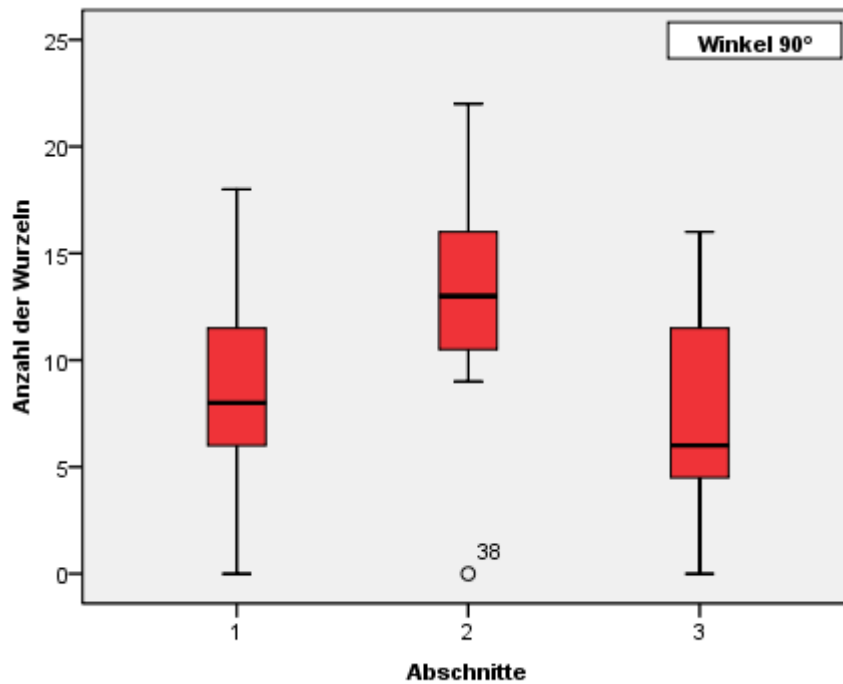


Abb. 119: Boxplots zur Anzahl der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 90°
(Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Die Anzahl der Wurzeln pro Abschnitt wirkt sich auch auf die Gesamtlänge der Wurzeln pro Abschnitt aus. Im Einlagewinkel 10° ist somit auch hinsichtlich der Gesamtlänge alles in Abschnitt 1 konzentriert. Beim Einlagewinkel 45° wurde in Abschnitt 3 die kürzeste Gesamtlänge errechnet und im Einlagewinkel 90° wurde in Abschnitt 1, wo die geringste Anzahl an Wurzeln gezählt wurde, auch die geringste Gesamtlänge berechnet (siehe Abb. 120 - 122).

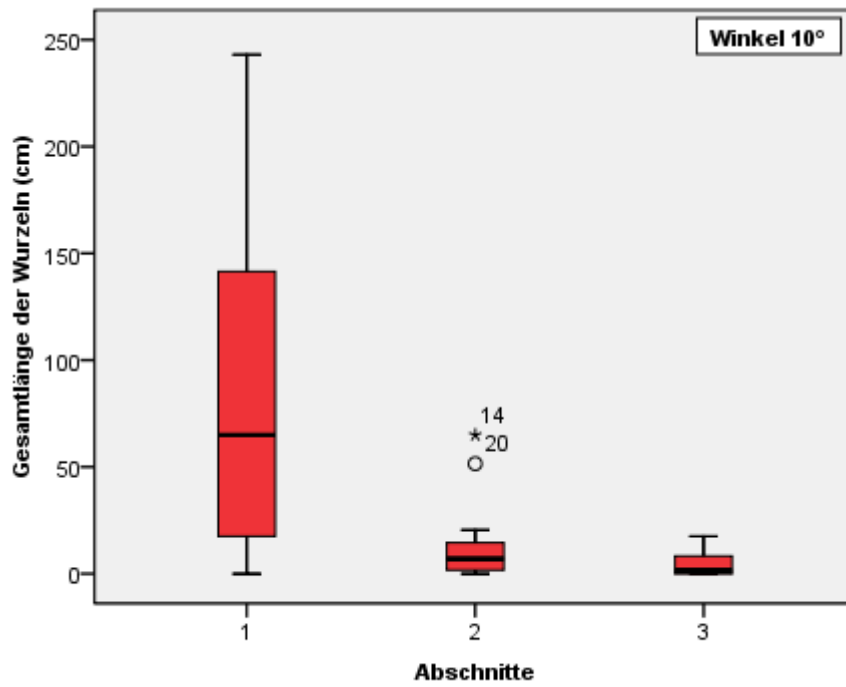


Abb. 120: Boxplot zur Gesamtlänge der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Maria 2008)

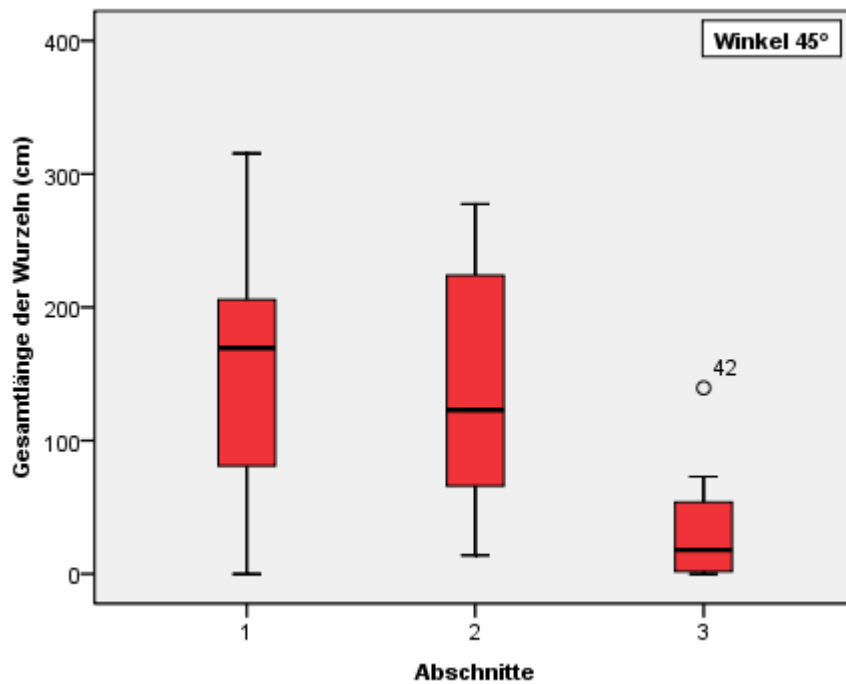


Abb. 121: Boxplot zur Gesamtlänge der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 45° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Maria 2008)

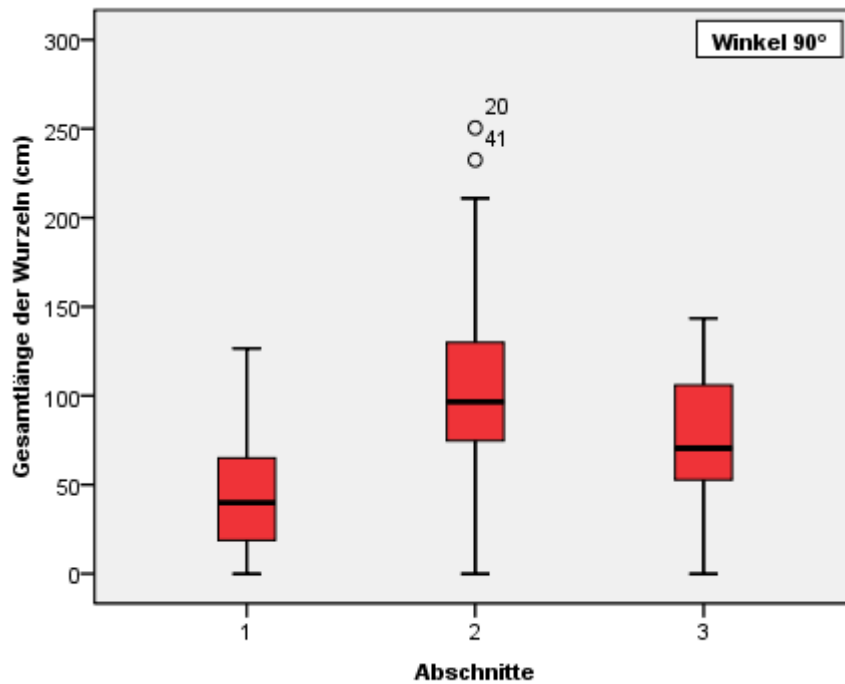


Abb. 122: Boxplot zur Gesamtlänge der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 90°
(Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Maria 2008)

Da Gesamtanzahl, Gesamtlänge und das Trockengewicht zusammenhängen, zeigen auch die Boxplots zum Trockengewicht, dass die Verteilung der Wurzeln in den drei Abschnitten je nach Einlagewinkel unterschiedlich ist. Die Verteilung des Trockengewichts in den Abschnitten pro Einlagewinkel verhält sich gleich wie die Verteilung der Gesamtlängen (siehe Abb. 123 - 125).

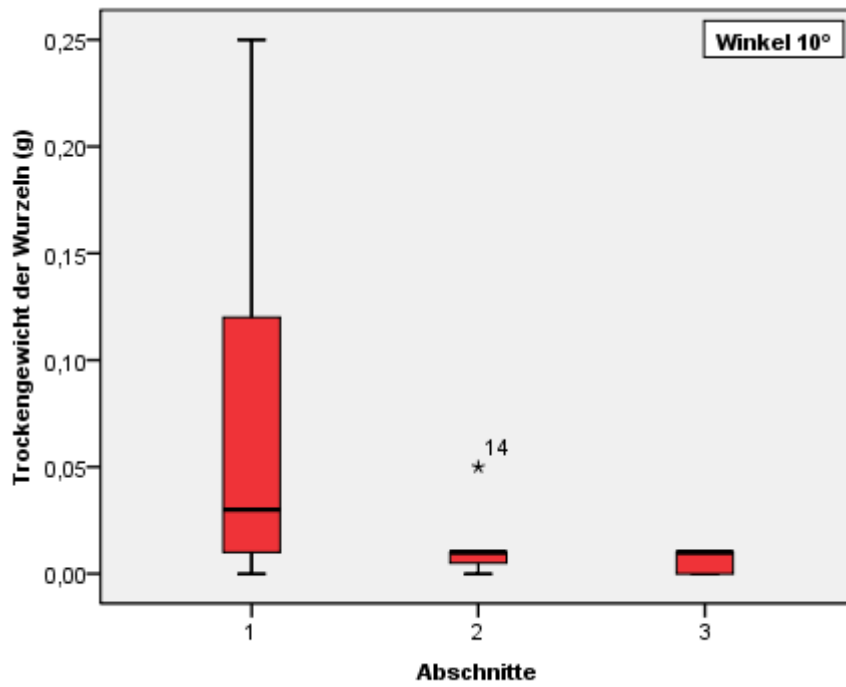


Abb. 123: Boxplot zum Trockengewicht der Wurzeln in den 3 Steckholzabschnitten im Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Maria 2008)

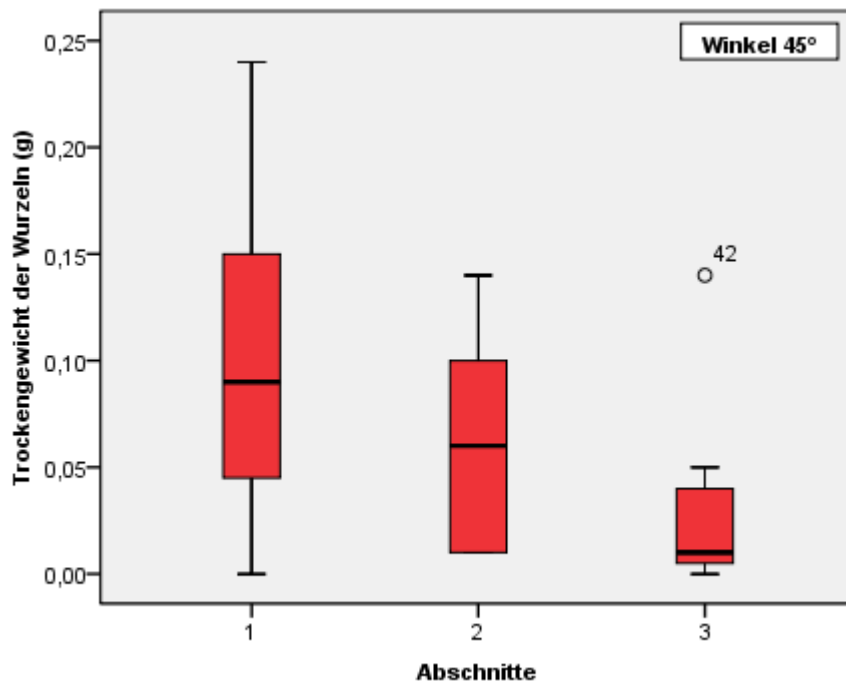


Abb. 124: Boxplot zum Trockengewicht der Wurzeln in den 3 Steckholzabschnitten im Einlagewinkel 45° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Maria 2008)

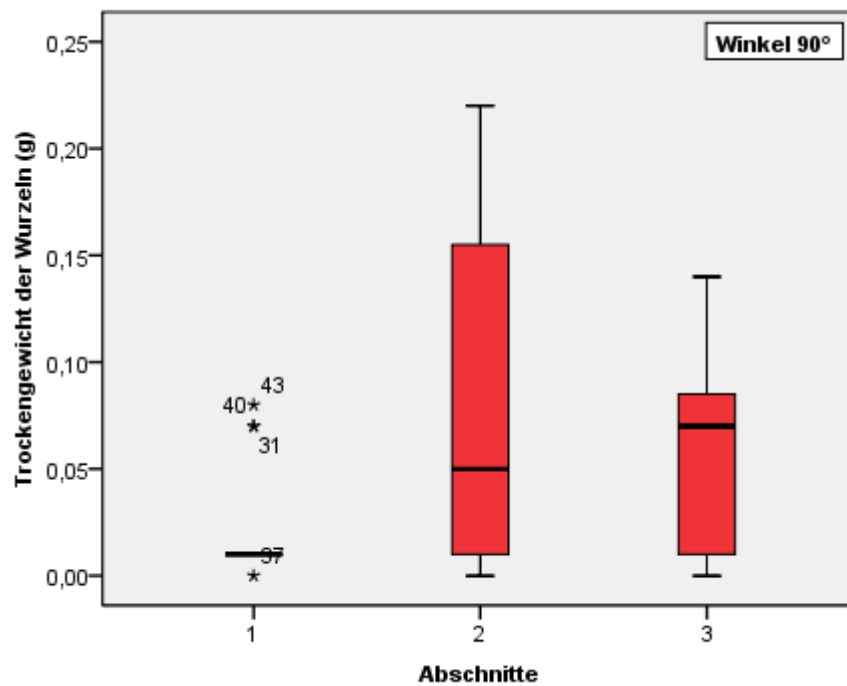


Abb. 125: Boxplot zum Trockengewicht der Wurzeln in den 3 Steckholzabschnitten im Einlagewinkel 90° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Maria 2008)

8.4. Diskussion und Vergleich der Ergebnisse

Da es Ziel dieses Versuches war, die Steckholzentwicklung der Art *Phyllanthus sellowianus* in Wasser mit der in Sand zu vergleichen, werden in Folge die Ergebnisse der beiden Versuche einander gegenübergestellt. Die Verteilung der Wurzeln über das Steckholz wird nur am Rande berücksichtigt, da im Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus* beinahe alle Wurzeln an der Basis (Abschnitt 1) konzentriert waren. Da in Abschnitt 2 und 3 nur wenige bzw. größtenteils gar keine Wurzeln vorhanden waren, wurden keine Berechnungen zu den Abschnitten vorgenommen. Somit können die beiden Versuche zu den Einlagewinkeln in Sand und in Wasser hinsichtlich der Verteilung der Wurzeln nicht verglichen werden.

8.4.1. Vergleich der Sprossentwicklung in Sand und Wasser

Vergleicht man die Sprossentwicklung in Wasser mit der Sprossentwicklung in Sand, lässt sich feststellen, dass die beiden Versuche ähnliche Ergebnisse hinsichtlich der oberirdischen Biomassenentwicklung lieferten, mit Ausnahme der Gesamtanzahl. In der Gesamtanzahl wurden in Wasser im Einlagewinkel 10° die meisten Sprosse gezählt und nicht wie in Sand im Einlagewinkel 90°. Dies ist in den nachfolgenden Boxplots, wo die beiden Versuche zu den Einlagewinkeln hinsichtlich der Gesamtanzahl einander gegenübergestellt sind, noch besser ersichtlich (siehe Abb. 126 u. 127).

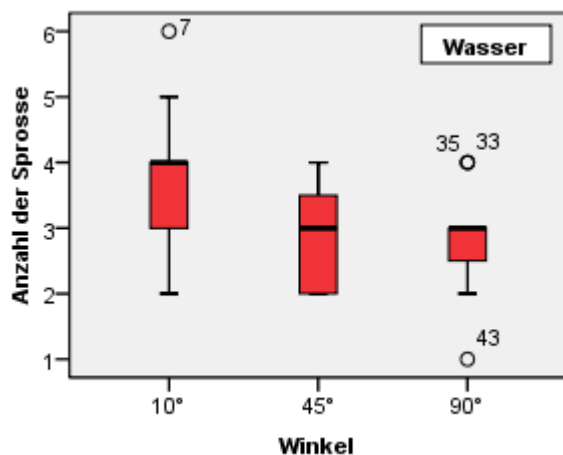


Abb. 126: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

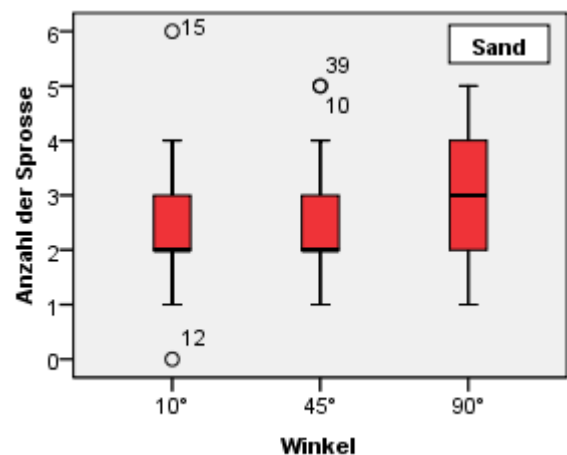


Abb. 127: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

In den Berechnungen hinsichtlich der mittleren Länge, der mittleren Gesamtlänge und dem mittleren Trockengewicht der Sprosse verhält es sich in den beiden Versuchen ähnlich. Die Gegenüberstellung der Boxplots zeigt dies deutlich (siehe Abb. 128 u. 129).

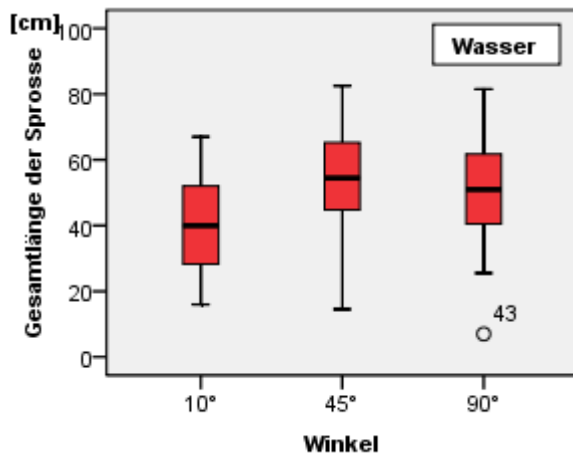


Abb. 128: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

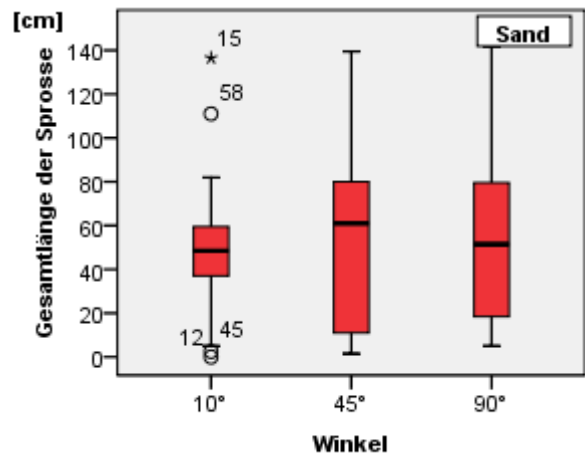


Abb. 129: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

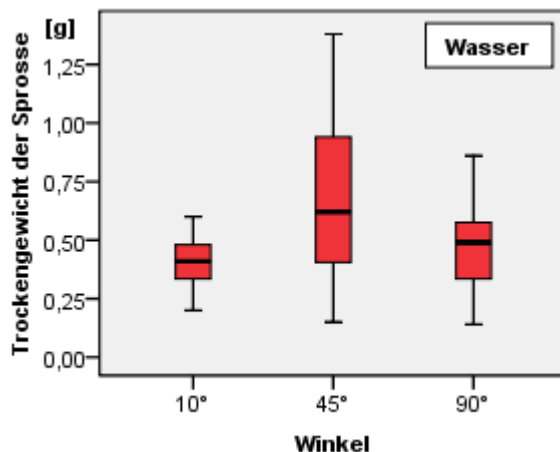


Abb. 130: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

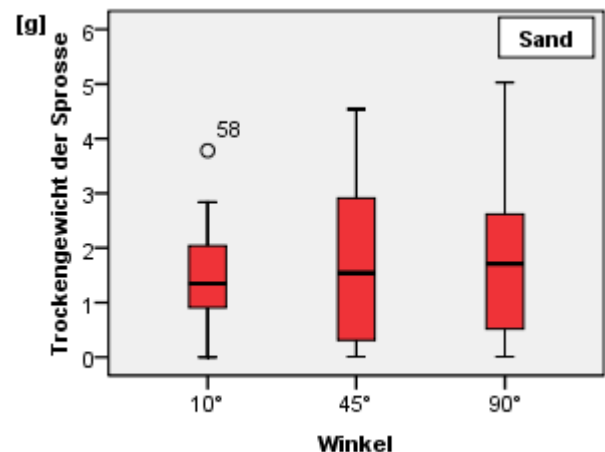


Abb. 131: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

In beiden Versuchen wurden im Einlagewinkel 45° die höchste mittlere Länge sowie die höchste Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz berechnet. Auch das mittlere Trockengewicht ist in beiden Versuchen im Einlagewinkel 45° vergleichsweise höher als in den beiden Einlagewinkeln 10° und 90° (siehe Abb. 130 u. 131).

Um die oberirdische Biomasse von den Versuchen zu den Einlagewinkeln in Sand und in Wasser miteinander zu vergleichen, wurden die erhobenen Parameter zueinander in Korrelation gesetzt und graphisch dargestellt. Die Korrelationen zeigen ebenfalls, dass zwischen den beiden Versuchen zu den Einlagewinkeln in Sand und in Wasser Unterschiede bestehen.

So lieferte die Korrelation bezüglich Gesamtlänge und Trockengewicht der Sprosse folgende Ergebnisse (siehe Abb. 132 - 133):

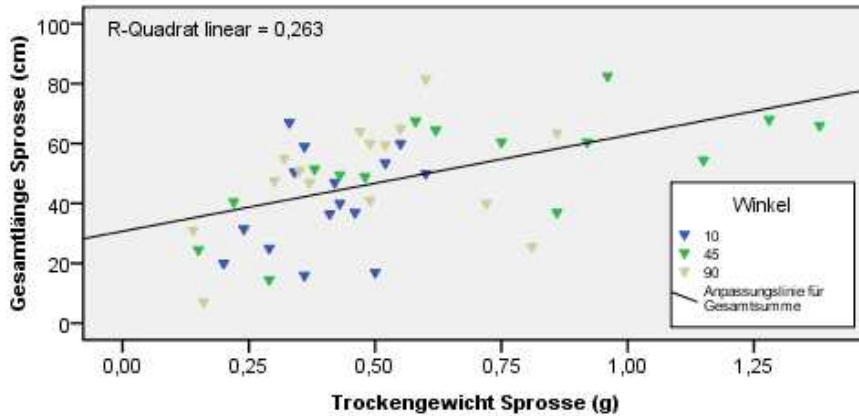


Abb. 132: Korrelation der Gesamtlänge mit dem Trockengewicht der Sprosse (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

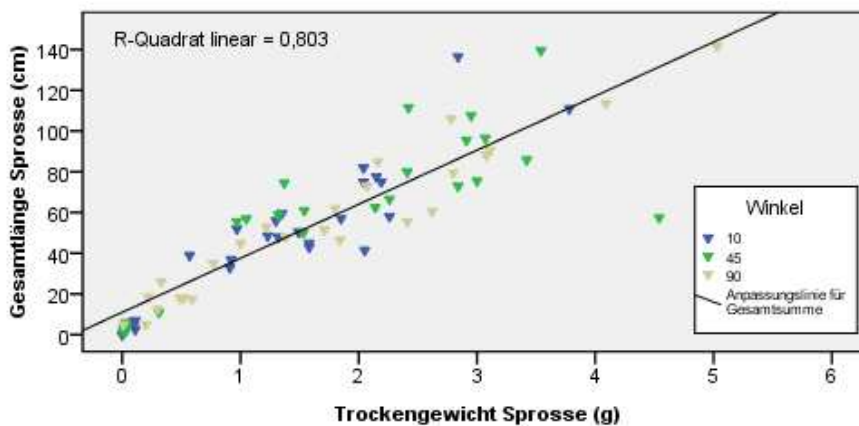


Abb. 133: Korrelation der Gesamtlänge mit dem Trockengewicht der Sprosse (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Während sich in Wasser keine Korrelation zwischen der Gesamtlänge und dem Trockengewicht der Sprosse feststellen ließ, gab es in Sand einen Zusammenhang bezüglich dieser Parameter. Je länger die Sprosse waren umso höher war auch das Trockengewicht in Sand. Dies deutet darauf hin, dass die Sprosse gut entwickelt waren und eine ausgewogene Blattmasse aufwiesen. Im Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus* hingegen fällt auf, dass das Trockengewicht nicht proportional zur Gesamtlänge steigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zum Zeitpunkt der Datensammlung die Sprosse bereits viel an Blattmasse verloren hatten.

Dies führt zu der Vermutung, dass sich zwar in Wasser schnell Biomasse entwickelt, die Pflanzen aber nicht auf Dauer im Medium Wasser verbleiben dürfen. Bei der ersten Datensammlung im November waren die Sprosse zwar noch kürzer aber hatten eine ausgewogene Blattmasse. Einen Monat später hingegen war der Großteil der Blätter abgefallen, was sich im Trockengewicht widerspiegelt. Es wurden teilweise Sprosse eingesammelt und vermessen, die keine Blätter mehr hatten.

8.4.2. Vergleich der Wurzelentwicklung in Sand und Wasser

Vergleicht man die Wurzelentwicklung in Sand und in Wasser, lässt sich feststellen, dass hinsichtlich der unterirdischen Biomassenentwicklung der Versuch Wasser völlig andere Ergebnisse lieferte, mit Ausnahme der Gesamtanzahl. In beiden Versuchen wurde die höchste Gesamtanzahl an Wurzeln im Einlagewinkel 45° gezählt.

In Wasser gibt es eindeutige Unterschiede in der unterirdischen Biomassenentwicklung je nach Einlagewinkel. Hinsichtlich aller berechneten Parameter zeigt der Winkel 45° die vergleichsweise höchsten Ergebnisse. Dies geht auch aus den nachstehenden Boxplots hervor (siehe Abb. 134 – 139).

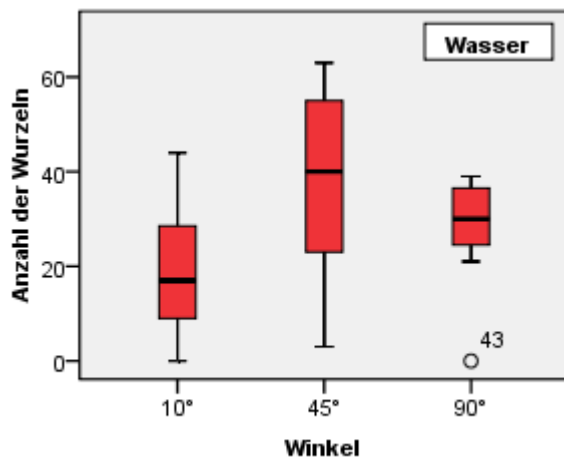


Abb. 134: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

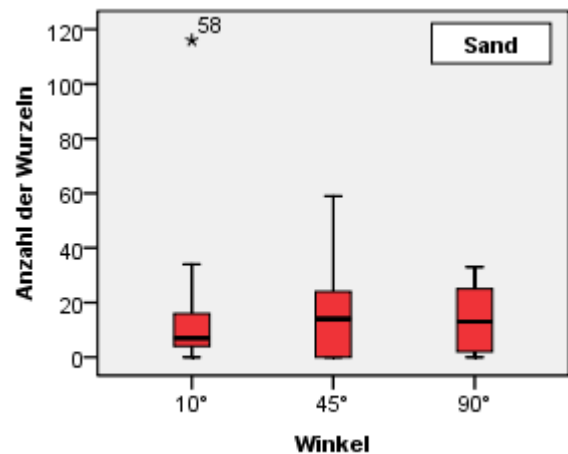


Abb. 135: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

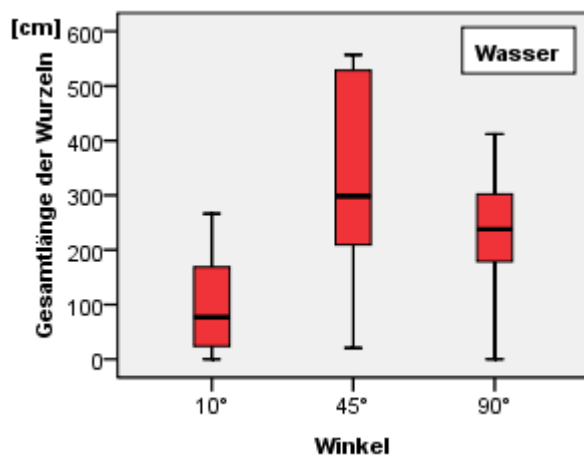


Abb. 136: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

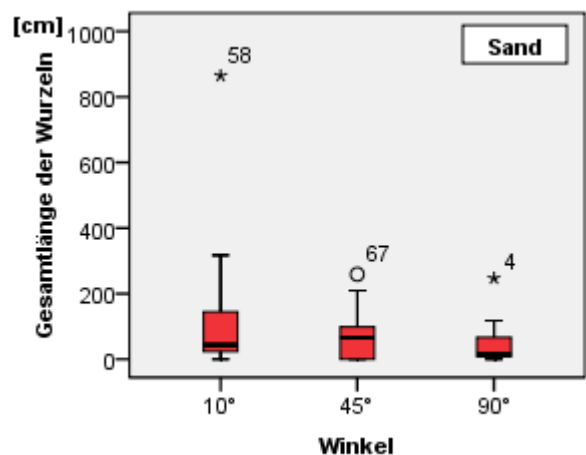


Abb. 137: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

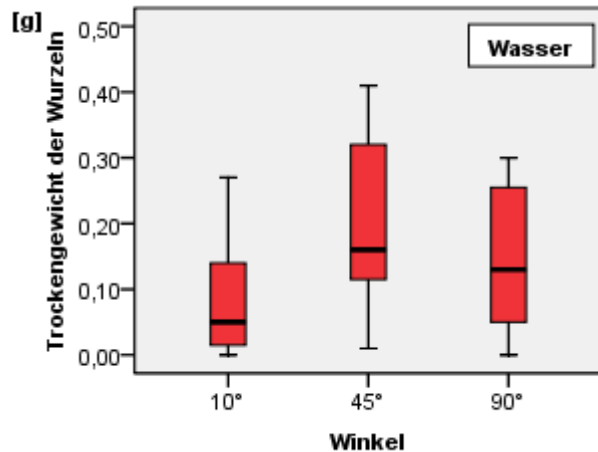


Abb. 138: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

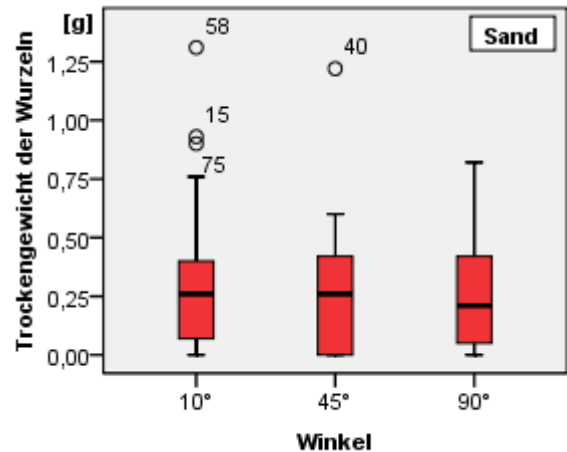


Abb. 139: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Aus der Gegenüberstellung der Boxplots zur Gesamtanzahl, Gesamtlänge und dem Trockengewicht der Wurzeln wird deutlich, dass im Substrat Sand keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der Sprossentwicklung in den unterschiedlichen Einlagewinkeln ersichtlich waren, im Substrat Wasser hingegen der Einlagewinkel 45° eine höhere unterirdische Biomassenentwicklung zeigt als die Winkel 10° und 90°.

Um die unterirdische Biomasse von den Versuchen zu den Einlagewinkeln in Sand und in Wasser miteinander zu vergleichen, wurden die erhobenen Parameter wie bei den Sprossen zueinander in Korrelation gesetzt und graphisch dargestellt. Die Korrelationen verdeutlichen, dass zwischen dem Versuch Einlagewinkel in Sand und dem Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus* Unterschiede bestehen.

Wie Abb. 140 u. 141 zeigen, besteht im Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus* ein Zusammenhang zwischen den Parametern Gesamtlänge der Wurzeln und Wurzel - Trockengewicht, während im Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus* ein viel geringerer Zusammenhang feststellbar ist.

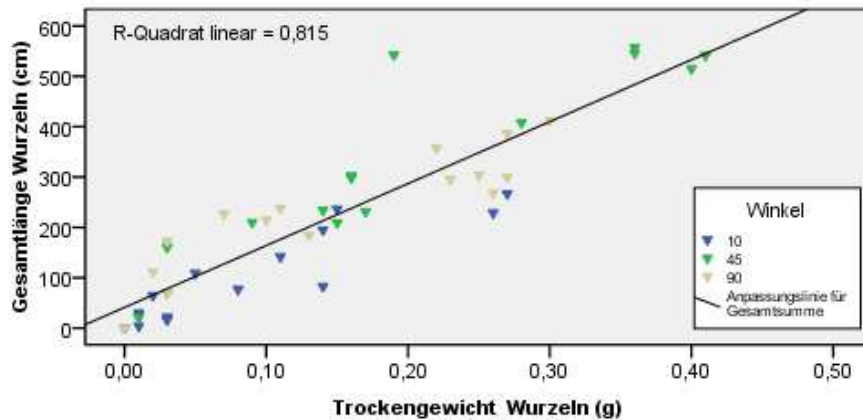


Abb. 140: Korrelation der Gesamtlänge mit dem Trockengewicht der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

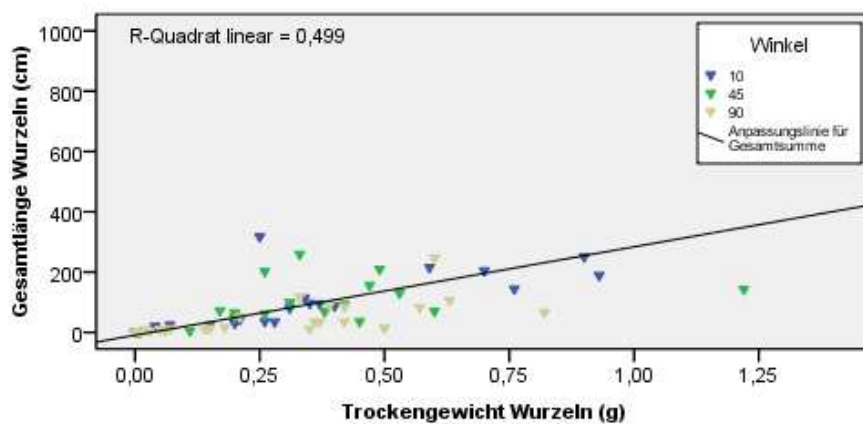


Abb. 141: Korrelation der Gesamtlänge mit dem Trockengewicht der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Die Korrelationen zeigen auf, dass die unterirdische Biomassenentwicklung im Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus* verhältnismäßig besser war. In diesem Versuch gibt es einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Gesamtlänge bzw. der Anzahl und dem Trockengewicht. Dies deutet darauf hin, dass die unterirdische Biomassenentwicklung in Wasser sehr ausgewogen war. Es waren sehr viele, lange und dichte Wurzeln. In absoluten Zahlen ist zwar das Trockengewicht der Wurzeln im Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus* ein höheres, dies ist aber darauf zurückzuführen, dass die Art *Phyllanthus sellowianus* im Wasser völlig andere Wurzeln als im Sand ausbildet. Bereits SCHIECHTL/BEGEMANN (1994, S. 13) verweisen darauf, dass im Wasser andere Wurzeln als im Boden ausgebildet werden. Die Wurzeln die im Sand ausgebildet wurden, waren schwerer als die im Wasser. Deshalb ergibt sich auch hinsichtlich der Korrelation zwischen der Anzahl der Wurzeln und dem Trockengewicht ein ähnliches Bild (siehe Abb. 142 u. 143).

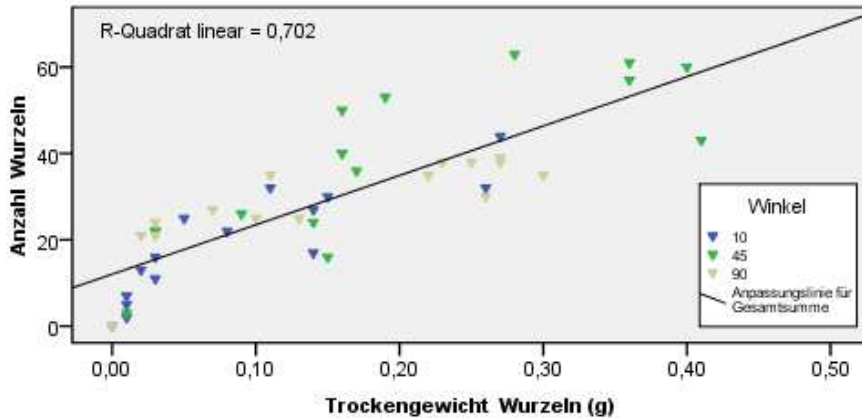


Abb. 142: Korrelation der Anzahl mit dem Trockengewicht der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

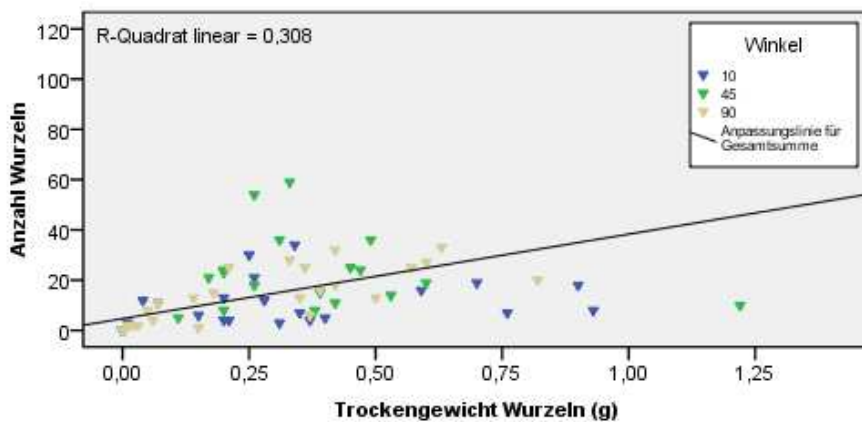


Abb. 143: Korrelation der Anzahl mit dem Trockengewicht der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Im Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus* ist deutlich zu erkennen, dass ein Zusammenhang zwischen der Anzahl und dem Trockengewicht der Wurzeln besteht. Je mehr Wurzeln gezählt wurden, umso höher war das Trockengewicht. Dies bestätigt nochmals, dass die Verteilung zwischen kurzen und langen Wurzeln sehr gleichmäßig war. Im Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus* hingegen, wurden sehr viele kurze Wurzeln gezählt, die sich beim Trockengewicht kaum bemerkbar machen. Somit ist hier kaum ein Zusammenhang zwischen der Anzahl und dem Trockengewicht der Wurzeln erkennbar.

Dass das Verhältnis von langen und kurzen Wurzeln im Substrat Wasser ausgewogener ist als im Versuch Sand Winkel geht auch aus den folgenden Korrelationen zwischen der Anzahl und der Gesamtlänge der Wurzeln hervor. Während im Versuch Wasser die Werte entlang der Anpassungslinie gleichmäßig verteilt sind, sind sie im Versuch Sand Winkel an einer Stelle konzentriert (siehe Abb. 144 u. 145).

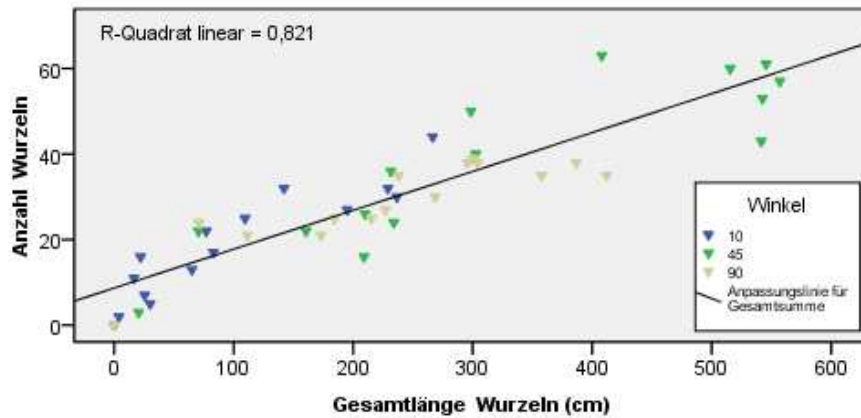


Abb. 144: Korrelation der Anzahl mit der Gesamtlänge der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

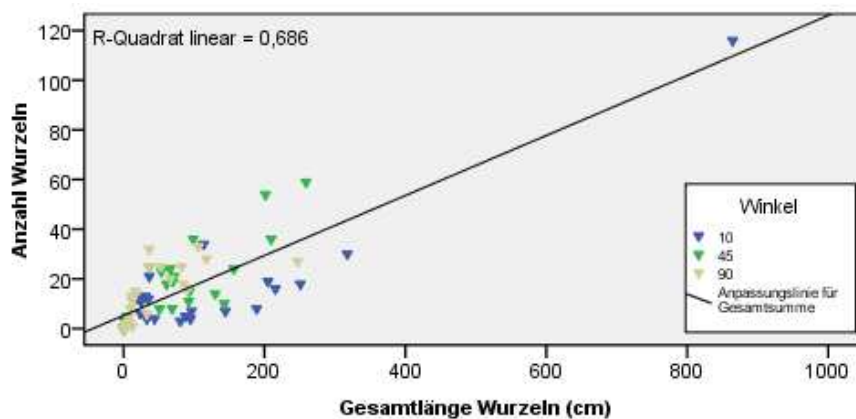


Abb. 145: Korrelation der Anzahl mit der Gesamtlänge der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria 2008)

Dass die Werte im Versuch Sand Winkel an einer Stelle konzentriert sind, lässt sich dadurch erklären, dass sehr viele kurze Wurzeln ausgebildet wurden. Dennoch gibt es einen Zusammenhang zwischen der Anzahl und der Gesamtlänge der Wurzeln, denn je mehr Wurzeln gezählt wurden umso größer ist die Summe der Längen. Im Versuch Wasser hingegen waren in allen Längenbereichen ähnlich viele Wurzeln vorhanden. Die Werte sind somit gleichmäßiger entlang der Anpassungslinie verteilt. Es wurde im Versuch Wasser eine höhere Gesamtlänge berechnet, da viele längere Wurzeln ausgebildet wurden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus* die unterirdische Biomassenentwicklung besser und ausgewogener war als im Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*. Die Wurzeln waren, wie aus den Ergebnissen ersichtlich ist, im Substrat Wasser zahlreicher, länger und am Steckholz gleichmäßiger verteilt. Dies ist auf das Medium Wasser zurückzuführen, da das Einlegen der Steckhölzer in Wasser bei einigen Arten – und laut unseren Versuchsergebnissen auch bei der Art *Phyllanthus sellowianus* - die Wurzelbildung fördert (www.stiftungsws.ch/dynpg/upload/imgfile138.pdf, 19.12.2008). Beim anschließenden Einsetzen der Steckhölzer in Boden würden die Wurzeln laut FLORINETH jedoch abgerissen und die Pflanze kann sich nicht weiterentwickeln. Er rät daher davon ab Steckhölzer in Wasser zu ziehen.

Hinsichtlich der oberirdischen Biomassenentwicklung brachte der Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus* vergleichsweise bessere Ergebnisse. Die Sprosse waren gesünder, kräftiger und blattreicher. Im Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus* waren, wie bereits erwähnt, im letzten Monat ein großer Teil der Blätter bereits abgefallen. Es wird vermutet, dass dies die natürliche Folge ist, wenn die Pflanzen zu lange in Wasser und unter direkter Sonnenbestrahlung stehen, da dies unnatürliche Wuchsbedingungen für Pflanzen sind. Zudem wurde beobachtet, dass die Wurzeln im Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus* bereits begannen zu verfaulen (siehe Abb. 146 u. 147).



Abb. 146 u. 147: Bereits verfaulte Wurzel (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*, Santa Maria / UFSM, Dez. 2008)

9. Schlussfolgerung

Die Kenntnis über die Materialeigenschaften von Pflanzen ist eine grundlegende Voraussetzung für den Einsatz in der Ingenieurbiologie, damit die Bauwerke ihre gewünschten Funktionen erfüllen können.

F. J. SUTILI (2007) hat im Rahmen seiner Dissertation 4 Arten als potentiell geeignet erklärt, da diese die Eigenschaft zur vegetativen Vermehrbarkeit aufweisen. In den im Vorfeld dargestellten drei Versuchen zur Steckholzentwicklung wurden 2 dieser Arten erneut untersucht, um die Kenntnisse hinsichtlich dieser 2 Arten zu vertiefen.

Laut SUTILI (2007, S. 86) zeigt die Weidenart *Salix humboldtiana* eine überraschend gute vegetative Vermehrung. In der vorliegenden Forschungsarbeit wurde untersucht, wie sich die Steckhölzer über die Wintermonate entwickeln und wie tief die Steckhölzer eingelegt werden sollen, um Sprosse und Wurzeln ausbilden zu können und ein optimales Wachstum zu erzielen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Art auch über die Wintermonate bereits Sprosse und Wurzeln ausbildet. Zwischen den Einlageverhältnissen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Es zeigte sich jedoch, dass die Steckhölzer nicht zu tief (Einlageverhältnis 1:16) eingelegt werden sollen, da in diesem Einlageverhältnis sowohl die ober- als auch die unterirdische Biomassenentwicklung beeinträchtigt ist. Ragt ein zu großer Anteil des Steckholzes aus der Erde (Einlageverhältnis 1:1), war der Anteil der vertrockneten Spitze auffällig hoch. Zudem ist in diesem Einlageverhältnis die unterirdische Biomassenentwicklung vergleichsweise eingeschränkt. Dies wird in der Ingenieurbiologie als Nachteil gewertet, weil ein tiefes und weitreichendes Wurzelsystem, das sich rasch entwickelt, eine grundlegende Voraussetzung ist für die Verankerung der Pflanze im Boden und für die Stabilität von Hängen und Böschungen. Die Hypothese, dass das Einlageverhältnis Einfluss auf das Steckholzwachstum hat und je größer das Volumen des Steckholzes über bzw. unter der Erde ist, desto mehr wird ober- bzw. unterirdische Biomasse ausgebildet, konnte nur teilweise bestätigt werden.

Unter den Euphorbiaceae zeigte laut SUTILI (2007, S. 86) die Art *Phyllanthus sellowianus* die besten Ergebnisse hinsichtlich der vegetativen Vermehrbarkeit. Auch im Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus* konnte eine gute Biomassenentwicklung der Steckhölzer dieser Pflanzenart festgestellt werden. Ziel war es, die Spross- und Wurzelentwicklung in drei unterschiedlichen Einlagewinkeln zu überprüfen, um das Steckholzwachstum zu optimieren. Die statistische Auswertung dieses Versuches lieferte ebenfalls das Ergebnis, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Einlagewinkeln gibt. Die Hypothese, dass der Einlagewinkel Einfluss auf das Steckholzwachstum sowie auf die Verteilung der Sprosse und Wurzeln am Steckholz hat, konnte ebenfalls nur teilweise bestätigt werden. Die vergleichsweise bessere unterirdische Biomassenentwicklung sowie die

wenigsten Ausfälle zeigten sich im Einlagewinkel 10°. Demnach wird in diesem Winkel ein besseres Steckholzwachstum in Sand erwartet. Die Verteilung der Wurzeln über das Steckholz war in allen drei Einlagewinkeln eine ähnliche, nämlich wurden größtenteils nur an der Basis Wurzeln ausgebildet. Die Wurzeln waren nicht, wie laut FLORINETH (2004, S. 29) erwartet, im flacheren Einlagewinkel gleichmäßiger am Steckholz verteilt. Der Einlagewinkel hat laut den vorliegenden Ergebnissen keinen signifikanten Einfluss auf das Steckholzwachstum.

Der dritte angelegte Versuch mit derselben Euphorbiaceenart in Wasser war ein Zusatzversuch, der angelegt wurde, um die Ergebnisse mit denen des Versuchs Einlagewinkel in Sand zu vergleichen. Der Vergleich ergab, dass sich die Spross- und Wurzelentwicklung der Art *Phyllanthus sellowianus* in den beiden Substraten Sand und Wasser stark voneinander unterscheiden. Im Versuch Einlagewinkel in Wasser gab es signifikante Unterschiede zwischen den Einlagewinkeln. Das beste Steckholzwachstum wurde im Einlagewinkel 45° festgestellt. Auch hinsichtlich der Verteilung der Wurzeln über das Steckholz gab es in Wasser deutliche Unterschiede zwischen den Einlagewinkeln.

Die vorliegende Diplomarbeit leistet einen Beitrag zur Anwendung der Ingenieurbiologie in Südbrasilien. Die Kenntnis über das Steckholzwachstum und Materialeigenschaften von geeigneten Pflanzen sollte auch in Zukunft noch erweitert werden. Grundlagenforschung hinsichtlich geeigneter Baumaterialien ist Grundvoraussetzung für die Funktionsfähigkeit späterer ingenieurbioologischer Bauwerke.

10. Zusätzliche Arbeit im Rahmen des Projektes

Die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Versuche fanden im Rahmen des Projektes „Pflanzen für Ingenieurbauwerke: eine Analyse ausgewählter Kriterien für einen nachhaltigen Bodenschutz in Südbrasilien“ statt. Während unseres Aufenthalts in Südbrasilien wurde ein weiterer Versuch zum Auszugswiderstand von 4 unterschiedlichen Arten angelegt. Da die ersten Datenerhebungen zu diesem Versuch erst im Jänner 2009 geplant waren, wurden im Rahmen dieser Diplomarbeit keine Auswertungen vorgenommen.

10.1. Versuch Auszugswiderstand

In diesem Kapitel werden die Ziele, das Material und die Methodik des Versuches zum Auszugswiderstand in Vale Veneto (Südbrasilien) erläutert.

10.1.1. Ziel

Wie schon in der Einleitung beschrieben, soll der Wissensstand bezüglich geeignetem Pflanzenmaterial für den ingenieurb biologischen Einsatz in Südbrasilien erweitert werden. Die Fragestellungen des in Folge beschriebenen Versuchs waren daher:

1. Welche der 4 Pflanzenarten weist den höchsten Auszugswiderstand auf?
2. Wie verändert sich der Auszugswiderstand in einer Versuchsdauer von 7 Monaten?

In diesem Versuch wurde untersucht, welche der vier Pflanzenarten (*Salix humboldtiana*, *Salix x rubens*, *Phyllanthus sellowianus* und *Sebastiania schottiana*) den höchsten Auszugswiderstand aufweisen. In einer Periode von 7 Monaten werden jeden Monat einige Pflanzen pro Art ausgezogen, um danach die Auszugswiderstände miteinander vergleichen zu können.

Wie bereits in Kapitel 3.3.5. zum Auszugswiderstand beschrieben, ist diese technische Eigenschaft der Pflanzen eine wichtige Kenngröße für die Eignung von Lebendmaterial zum Einsatz bei ingenieurb biologischen Bauweisen.

10.1.2. Material und Methodik

Mitte September 2008 wurde der Versuch zum Auszugswiderstand in Vale Veneto angelegt.

In folgendem Kapitel wird die Methodik näher erläutert. Es wird beschrieben, wie das Pflanzmaterial beschafft und der Versuch aufgebaut wurden, welche Instandhaltungsmaßnahmen notwendig waren.

Pflanzmaterial

Beim Versuch zum Auszugwiderstand wurden vier unterschiedliche Arten verwendet, davon die zwei bereits in den vorhergehenden Versuchen zur Steckholzentwicklung untersuchten Arten:

- *Salix humboldtiana* und
- *Phyllanthus sellowianus*,

sowie die zwei weiteren in F. J. SUTILIS Dissertation (2007) als geeignet empfundenen Arten:

- *Sebastiana schottiana* und
- *Salix x rubens*.

Die Steckhölzer wurden Mitte September 2008 in der näheren Umgebung von Santa Maria geschnitten, gebündelt und in Plastiksäcke zum Versuchsort transportiert. Das Material musste möglichst schnell eingesetzt werden, um zu verhindern, dass es austrocknet und dadurch die vegetative Vermehrung beeinträchtigt wird.

Da das Material schwierig zu beschaffen war, wurden bei *Salix humboldtiana* auch mehrjährige Steckhölzer eingeschlagen. Diese wurden bei der Pflanzung gekennzeichnet, um dies bei der späteren Auswertung berücksichtigen zu können. Bei der Art *Salix x rubens* wurde teilweise nicht frisch geschnittenes Material verwendet. Die Entwicklung dieser Steckhölzer ist möglicherweise beeinträchtigt, da sie eventuell schon leicht getrocknet waren. Auch diese Beobachtung ist in die Bewertung und Interpretation miteinzubeziehen.

Die Steckhölzer haben eine Länge von 50 cm und einen mittleren Durchmesser von 26 mm.

Der minimale Durchmesser der Steckhölzer betrug 15 mm, der maximale Durchmesser 41 mm. Je nach Art war der mittlere Durchmesser (mD) sowie der maximale (max.) und der minimale (min.) Durchmesser ein anderer (siehe Tab. 17).

Art	<i>Salix humboldtiana</i>	<i>Phyllanthus sellowianus</i>	<i>Sebastiana schottiana</i>	<i>Salix x rubens</i>
mD	28 mm	27 mm	26 mm	24 mm
min.	20 mm	19 mm	19 mm	15 mm
max.	41 mm	39 mm	33 mm	38 mm

Tab. 17: mittlerer Durchmesser (mD), minimaler (min.) und maximaler (max.) Durchmesser der 4 verwendeten Pflanzenarten (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto 2008)

Beim Einschlagen der Steckhölzer wurde darauf geachtet, die unterschiedlichen Durchmesser gleichmäßig auf der Fläche zu verteilen, wie aus Abb. 148 hervorgeht.

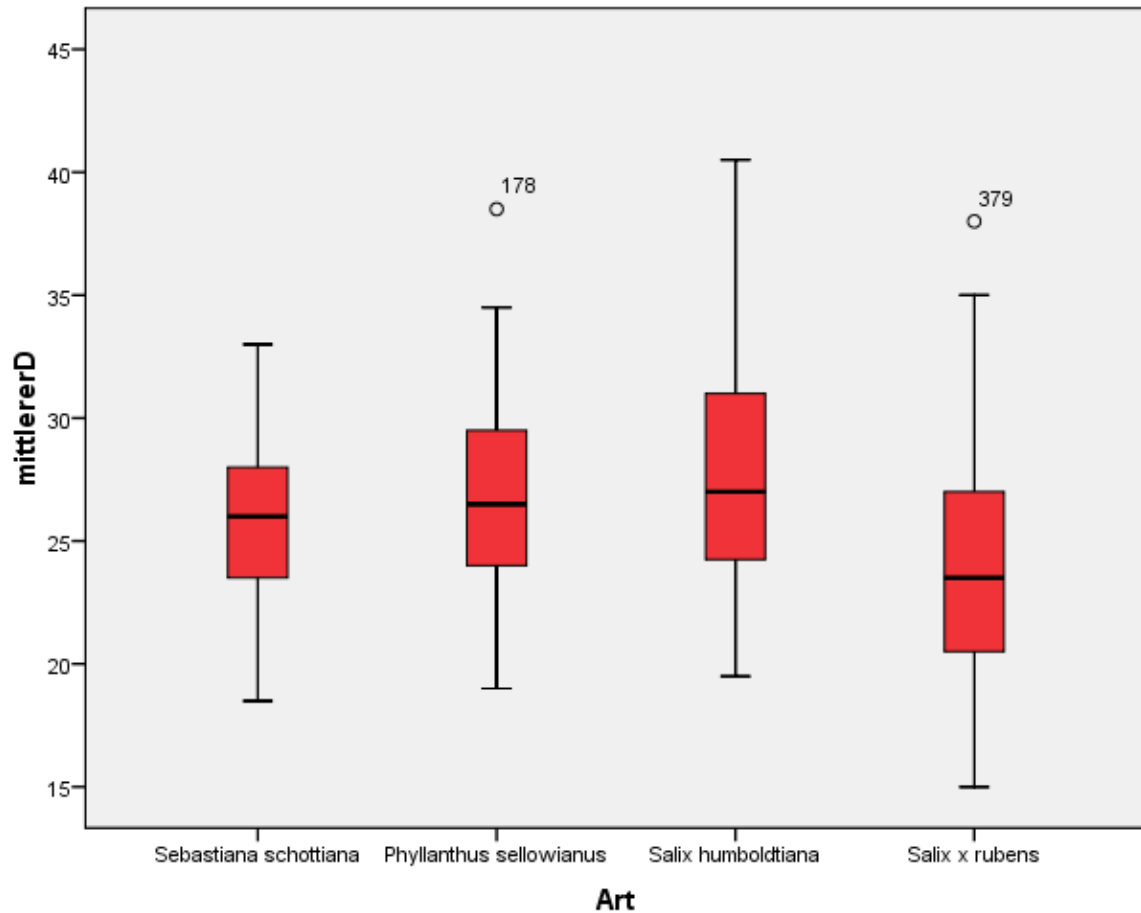


Abb. 148: Verteilung der Durchmesser der Steckhölzer von den 4 unterschiedlichen Arten (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto 2008)

Steckhölzer mit Schäden wie Verletzungen der Rinde, Pilzinfektionen oder zu starken Verkrümmungen wurden nicht verwendet.

Versuchsaufbau

Die Versuchsfläche in Vale Veneto mit den Maßen 15,50 m mal 22,95 m wurde von einem dort ansässigen Bauer zur Verfügung gestellt. Vor Anlegung des Versuchs musste die Fläche mit dem Herbizid Glifosato behandelt werden, um sie vom Gras zu befreien. Zwei Tage später ackerte der Bauer die Fläche um, um den Boden zu lockern.

Anschließend schlugen wir auf der östlichen und der westlichen Seite der Versuchsfläche jeweils 18 Pflöcke, im Abstand von 1 m ein. Zwischen diesen Holzpflocken wurden mit einem schwarzen Band 16 parallele Linien gezogen und im rechten Winkel dazu Bänder gespannt, um einen Raster zu

erhalten. Mit Hilfe dieser Linien wurden die Punkte markiert, wo wir im nächsten Arbeitsschritt mit einem so genannten „cavador“ (Grabgerät siehe Abb. 149) 40 cm tiefe Pflanzlöcher aushoben.



Abb. 149: Ausheben der Pflanzlöcher mittels „cavador“
(Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto, Sept. 2008)



Abb. 150: Einlegen der Steckhölzer (Versuch
Auszugwiderstand, Vale Veneto, Sept. 2008)

Im nächsten Schritt konnten Mitte September 2008 die Steckhölzer der 4 unterschiedlichen Arten in die ausgehobenen Löcher eingesetzt werden (siehe Abb. 145). Dabei wurden die unterschiedlichen Arten reihenweise gesetzt, je 16 Steckhölzer pro Reihe, in einem Abstand von 1 m (siehe Abb. 151). Insgesamt sind pro Art 7 Reihen gepflanzt worden.

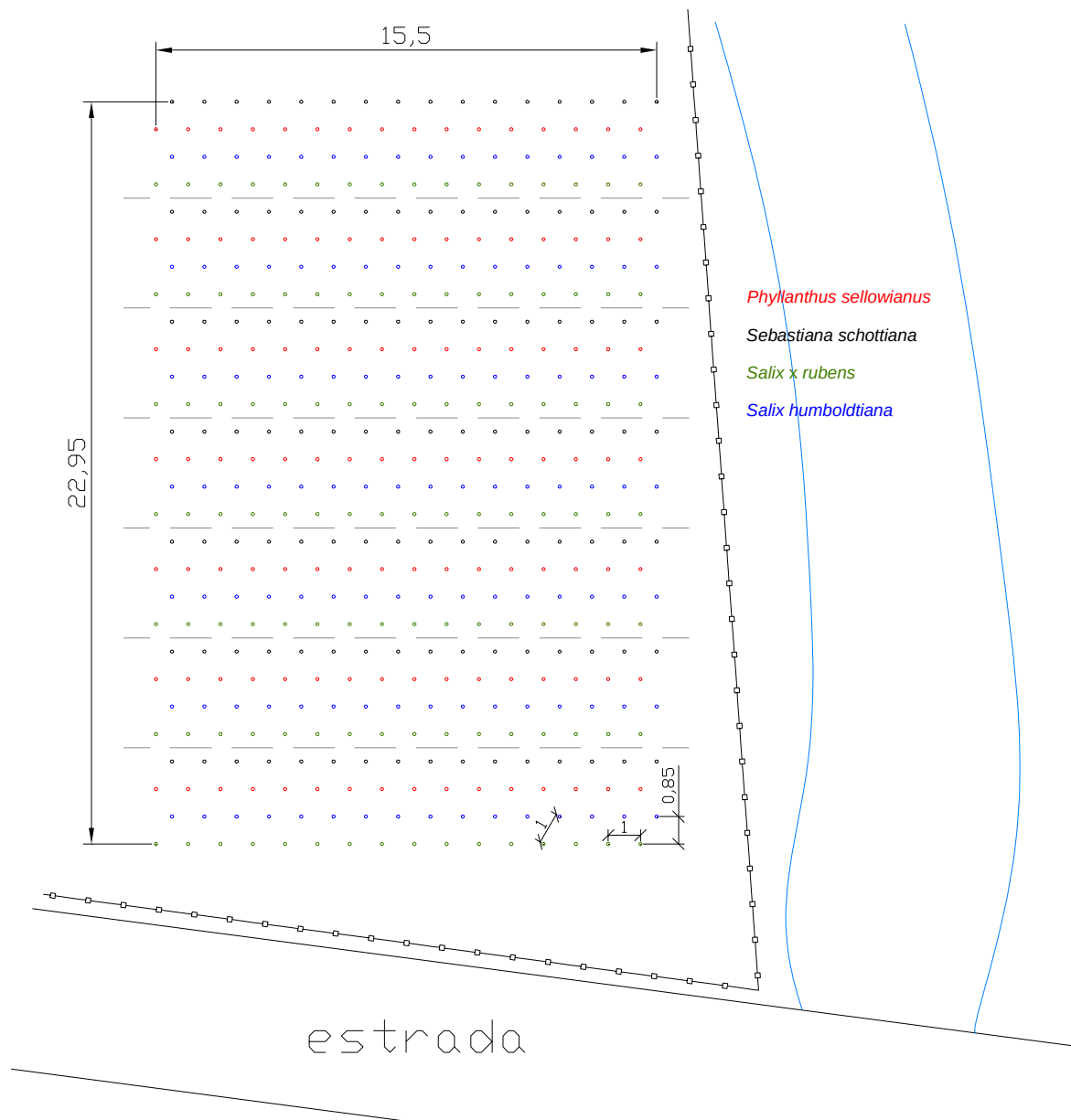


Abb. 151: Lageplan und Anordnung der Stechhölzer (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto 2008)



Die Stechhölzer wurden senkrecht in die bereits ausgehobenen Löcher gegeben, wobei 4/5 eingeschlagen wurden; nur 1/5 ragte aus der Erde (siehe Abb. 152).



Abb. 152: Eingeschlagenes Steckholz (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto, Sept. 2008)



Abb. 153: Versuchsfläche nach Fertigstellung (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto, Sept. 2008)

Instandhaltungsmaßnahmen der Versuchsfläche

- Um zu verhindern, dass die austreibenden Steckhölzer abgefressen werden, wurde rund um die Fläche das Ameisengift Fenil Pirazol ausgebracht.
- Da die Versuchsfläche Teil einer Kuhweide ist, wurde nach Ende der Versuchsanlegung ein Stacheldrahtzaun errichtet (siehe Abb. 153).



Abb. 154: Versuchsfläche zum Auszugwiderstand nach 2,5 Monaten (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto, Nov. 2008)

Nach 2,5 Monaten hatten die Steckhölzer bereits schöne Sprosse entwickelt (siehe Abb. 154).

11. Literaturverzeichnis

Altreiter, Werner; Plunger Kathrin: Ingenieurbioologische Maßnahmen am Rio Guarda-Mor in Südbrasilien. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien 2004.

Bärtels, Andreas: Der Baumschulbetrieb. Ulmer – Verlag, Stuttgart 1985.

Bischofer, Maria Isabel: Auszugswiderstand von Ufergehölzen. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien 2001.

Cabrera, A.L.: Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires. Buenos Aires 1953.

Clauß, Günter: Statistik für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner: Grundlagen. Deutsch – Verlag, Frankfurt am Main 1999.

DIN 52 186 Prüfung von Holz – Biegeversuch, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 1978.

Durlo, Miguel Antão; Sutili, Fabricio Jaques: Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de agua. Porto Alegre 2005.

Florineth, Florin: Pflanzen statt Beton – Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Patzer – Verlag, Berlin – Hannover 2004.

Florineth, Florin; Kloidt, Florian; Leitner, Christina: Studienblätter zu Vorlesung Ingenieurbiologie. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. Universität für Bodenkultur Wien, 2008.

Gerstgraser, Christoph: Ingenieurbioologische Bauweisen an Fließgewässern – Grundlagen zu Bau, Belastbarkeit und Wirkungsweisen. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien 1998.

Gerstgraser, Christoph: Ingenieurbioologische Bauweisen an Fließgewässern – Grundlagen zu Bau, Belastbarkeit und Wirkungsweisen. Dissertationen der Universität für Bodenkultur Wien, Band 52, Österreichischer Kunst- und Kulturverlag, Wien 2000.

Hacker, Eva: Ingenieurbiologie und stark schwankende Wasserspiegel an Talsperren. Jahrbuch der Gesellschaft für Ingenieurbiologie, 8. Aachen 1997.

Hess, Dieter: Allgemeine Botanik. Ulmer – Verlag, Stuttgart 2004.

Jurzitza, Gerhard: Anatomie der Samenpflanzen. Thieme – Verlag, Stuttgart 1987.

Katzenbach, Rolf; Werner, Anke: Experimentelle Untersuchungen zur Standsicherheitsproblematik von historischen Bahndämmen. In: Tagungsbeiträge / 5. Österreichische Geotechniktagung 21. und 22. Februar 2005, Österreichischer Ingenieur- und Architekten-Verein (ÖIAV), S.381-400, 2005.

Kawollek, Wolfgang: Handbuch der Pflanzenvermehrung. Neumann – Neudamm – Verlag, Melsungen 1987.

Köhler, W., u.a.: Biostatistik: Einführung in die Biometrie für Biologen und Agrarwissenschaftler; 3.Auflage. Köhler – Verlag, Berlin u.a. 2002.

Krüssmann, Gerd: Die Baumschule – Ein praktisches Handbuch für Anzucht, Vermehrung, Kultur und Absatz der Baumschulpflanzen. Parey – Verlag, Berlin 1997.

Kück, Ulrich & Wolff, Gabriele: Botanisches Grundpraktikum. Springer – Verlag, Heidelberg 2002.

Kull, Ulrich: Grundriss der allgemeinen Botanik. Spektrum, Akad. Verlag, Heidelberg 2000.

Larcher, Walter: Physiological Plant Ecology. Springer – Verlag, Berlin Heidelberg 1995.

Lüttge, Ulrich; u.a.: Botanik. Wiley – VCH – Verlag, Weinheim 2002.

Lyr, Horst (Hrsg): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Fischer – Verlag, Jena 1992.

Marchiori, Jose Newton Cardoso: Dendrologia das angiospermas – das bixaceas as rosaceas. Santa Maria / Brasilien 2000.

Morgan R.P.C; Rickson, R.J.: Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. Spon – Verlag, London 1995.

Müller, Jürg: Brasilien. Stuttgart 1984.

Niederschick, Mario A.: Erkennen und Beurteilen von Hangbewegungen. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien 2007.

Nultsch, Wilhelm: Allgemeine Botanik. Thieme – Verlag, Stuttgart 2001.

Oplatka, Matthias: Beanspruchung von Weiden durch Strömung: Bericht über den Ausreißwiderstand von Weiden; Versuche in Neuseeland, Zürich 1995.

Oplatka, Matthias: Stabilität von Weidenverbauungen an Flusssufern. In: VAW Mitteilungen Heft 156, Zürich 2003.

Rauch, Hans Peter: Hydraulischer Einfluss von Gehölzstrukturen am Beispiel der ingenieurb biologischen Versuchsstrecke am Wienfluss, Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien 1998.

Schiechtl, Hugo Meinhard: Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau – Grundlagen lebender Baustoffe Methoden. Callway – Verlag, München 1973.

Schiechtl, Hugo Meinhard; Stern, Roland: Handbuch für naturnahen Erdbau .- Eine Anleitung für ingenieurb biologische Bauweisen. Österreichischer Agrarverlag, Wien 1992.

Schiechtl, Hugo Meinhard; Stern Roland: Handbuch für naturnahen Wasserbau – Eine Anleitung für ingenieurb biologische Bauweisen. Österreichischer Agrarverlag, Wien 1994.

Schiechtl, Hugo Meinhard: Naturnaher Wasserbau – Anleitung für ingenieurb biologische Bauweisen. Ernst – Verlag, Berlin 2002.

Schiechtl, Hugo Meinhard; Begemann, Wolf: Ingenieurb iologie: Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau. Bauverlag, Wiesbaden 1994.

Schuppener, Bernd: Geotechnische Bemessung von Böschungssicherungen mit Pflanzen. In: Tagungsbeiträge / 4. Österreichische Geotechniktagung 24. Und 25. Februar 2003, Österreichischer Ingenieur- und Architekten-Verein (ÖIAV), S.55 - 70, 2003.

Stangl, Rosemarie: Alnus ssp. zur Rutschungsaufforstung am Beispiel der Stambachmure; Oberösterreich – Eine Quantifizierung der ingenieurb biologischen Leistung von Erlenbeständen. Dissertation, Universität für Bodenkultur wien 2008.

Strasburger Eduard, et al.: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 35. Auflage. Spektrum, Akad. Verlag, Heidelberg 2002.

Sutili, Fabrício J.: Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do Sul do Brasil. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien 2007.

Tobias, Silvia: Bautechnisch nutzbare Verbundfestigkeit von Boden und Wurzel, Dissertation ETH - Zürich 1991.

Tremp, Horst: Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten. Ulmer – Verlag, Stuttgart 2005.

Weitzer, Christine; Doppler, Franz: Untersuchungen über die Wirksamkeit von Pflanzen in Einzugsgebieten des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinenverbauung im Auftrag. des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft Gruppe V/C Schutz vor Wildbächen, Lawinen und Erosion. Leitung: Florin Florineth, Universität für Bodenkultur Wien 1998.

Internetquellen

http://de.wikipedia.org/wiki/Rio_Grande_do_Sul, 21.08.2008

http://de.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o, 21.08.2008

[http://de.wikipedia.org/wiki/Weiden_\(Botanik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Weiden_(Botanik)), 14.04.2008

http://www.genres.de/fgrdeu/weiden_nrw/pdf/73_steckholzv.pdf, 27.11.2008

http://www.suz-mitte.de/downloads/monatsthemen/fb14e_Stecklinge.pdf, 27.11.2008

<http://www.stiftungsw.o.ch/dynpg/upload/imgfile138.pdf>, 19.12.2008

12. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematischer Längsschnitt und Querschnitte einer Sprossachse mit sekundärem Dickenwachstum (HESS 2004, S. 165).....	4
Abb. 2: Querschnitt durch die primäre Sprossachse eines einjährigen Sprosses a) vor und b) nach Einsetzen der Cambiumtätigkeit, c) dreijähriger Spross mit sekundärem Dickenwachstum (KULL 2000, S. 122)	5
Abb.3: Längsschnitt und Querschnitt durch eine Wurzel und das sekundäre Dickenwachstum (KULL 2000, S. 150)	6
Abb.4: Vegetative Vermehrung durch Wurzelschnittlinge (KAWOLLEK 1987, S. 48).....	13
Abb. 5: Vegetative Vermehrung durch Rhizomstecklinge (FLORINETH 2004, S. 32)	13
Abb. 6: Vegetative Vermehrung durch Brutknospen (FLORINETH 2004, S. 32)	14
Abb. 7: Vegetative Vermehrung durch Ableger und Absenker (KAWOLLEK 1987, S. 35)	14
Abb. 8: Vegetative Vermehrung durch Anhäufeln (KAWOLLEK 1987, S. 34)	15
Abb. 9: Vegetative Vermehrung durch Teilung (KAWOLLEK 1987, S. 34)	15
Abb.10: Versagensmechanismen: Tragfähigkeitsversagen (links), Stabilitätsversagen (rechts) (OPLATKA 1995, S. 6)	20
Abb. 11: Böschungsbruch, bei dem die Pflanzen reißen (SCHUPPENER 2003, S. 56)	22
Abb. 12: Böschungsbruch, bei dem die Pflanzen aus dem Boden gezogen werden (SCHUPPENER 2003, S. 56)	22
Abb.13: <i>Salix humboldtiana</i> am Ufer des Rio Vacacaí – mirim (Santa Maria, Sept. 2008)	23
Abb.14: Blätter und Rinde der <i>Salix humboldtiana</i> (Santa Maria, Sept. 2008).....	24
Abb.15: Habitus von <i>Phyllanthus sellowianus</i> und <i>Sebastiania schottiana</i> (SUTILI 2007, S. 31).....	27
Abb. 16: Blätter und Blüten von <i>Phyllanthus sellowianus</i> (Santa Maria, Sept. 2008).....	27
Abb. 17: <i>Phyllanthus sellowianus</i> (Santa Maria, Sept. 2008)	28
Abb. 18: Lage von Rio Grande do Sul (http://www.fenac.com.br/fimec2008/download/mapa_riograndedosul.gif , 21.08.2008)	30
Abb. 19: Mittlerer monatlicher Niederschlag (mm) in Santa Maria (http://en.allmetsat.com/climate/uruguay.php?code=83936 , 05.12.2008)	31
Abb. 20: Monatliches Temperaturmittel (°C) in Santa Maria (http://en.allmetsat.com/climate/uruguay.php?code=83936 , 05.12.2008)	31
Abb. 21: Mittlere monatliche Sonnenstunden (h) in Santa Maria (http://en.allmetsat.com/climate/uruguay.php?code=83936 , 05.12.2008)	31
Abb. 22: geomorphologische Karte von Rio Grande do Sul (SUTILI 2007, S. 15)	33

Abb. 23 u. 24: hochstämmiger Bambus zur Ufersicherung (Vale Veneto, Sept. 2008).....	34
Abb. 25: Potentiell natürliche Vegetation in Rio Grande do Sul (SUTILI 2007, S. 18)	35
Abb. 26: Verteilung der Durchmesser der Steckhölzer (d) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria 2008).....	38
Abb. 27: Holzkonstruktion mit Plane (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria / UFSM, Mai 2008)	39
Abb. 28: Positionierung der Steckhölzer (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria / UFSM, Mai 2008)	39
Abb. 29: Anzahl, Positionierung und Dimensionen der Steckhölzer (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit Salix humboldtiana, Santa Maria 2008).....	40
Abb. 30: Schnitt A – B durch die Holzkonstruktion (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit Salix humboldtiana, Santa Maria 2008)	40
Abb. 31: Einlegen der Steckhölzer in 45° (Versuch E inlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria / UFSM, Mai 2008)	41
Abb. 32: Versuch nach Fertigstellung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria / UFSM, Mai 2008)	41
Abb. 33: Organigramm zur Methodik, Datenerhebung und Berechnungen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit Salix, Santa Maria 2008)	42
Abb. 34: Schneiden der Sprosse (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008).....	43
Abb. 35: Gesammelte Sprosse (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008).....	43
Abb. 36: Messen der Sprosslänge (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria / UFM, Sept. 2008)	44
Abb. 37: Trocknen der Sprosse und Wurzeln im Trockenofen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria / Dez. 2008)	44
Abb. 38: Messen des Trockengewichts der Wurzeln (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008).....	44
Abb. 39: Auswaschen der Steckhölzer (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008)	45
Abb. 40: Messarbeiten vor Ort (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008).....	45
Abb. 41: Gesamtanzahl der Sprosse (N) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria 2008)	49
Abb. 42: Mittlere Gesamtlänge der Sprosse (L) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt Salix humboldtiana, Santa Maria 2008)	49

Abb. 43: Mittlerer Sprossdurchmesser (d) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008)	50
Abb. 44: Mittleres Trockengewicht der Sprosse (TG) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008)	50
Abb. 45: Boxplot zur Gesamtanzahl der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008).....	51
Abb. 46: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008).....	51
Abb. 47: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008).....	52
Abb. 48: Gesamtanzahl der Wurzeln (N) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008)	54
Abb. 49: Mittlere Gesamtlänge der Wurzeln (L) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008)	54
Abb. 50: Mittleres Trockengewicht der Wurzeln (TG) in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008)	54
Abb. 51: Boxplot zur Gesamtanzahl der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008).....	55
Abb. 52: Boxplot zur Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008).....	55
Abb. 53: Boxplot zum Trockengewicht der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlageverhältnissen (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008).....	56
Abb. 54: Boxplot der vertrockneten Spitze nach 3 und 4 Monaten (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008).....	58
Abb. 55: Gegenüberstellung der Anzahl von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008)	60
Abb. 56: Gegenüberstellung der Gesamtlängen von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008).....	60
Abb. 57: Gegenüberstellung des Trockengewichts von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008).....	61
Abb. 58: Wurzelverteilung an den Steckhölzern (Versuch Einlageverhältnis in Sand mt <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria / UFSM, Sept. 2008).....	62
Abb. 59: Verteilung der Durchmesser der Steckhölzer in unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	65

Abb. 60: Phyllanthus sellowianus am Ufer des Guarda Mor (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Guarda Mor, Sept. 2008)	66
Abb. 61: Verpacken der Steckhölzer in Plastiksäcken (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Guarda Mor, Sept. 2008)	66
Abb. 62: Stützelemente der Holzkonstruktion (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)	66
Abb. 63: Wiederbefüllen der Holzkonstruktion (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)	66
Abb. 64: Lage der Holzkonstruktion (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Dez. 2008)	67
Abb. 65: Einschlagen der Steckhölzer (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)	67
Abb. 66: Anzahl und Positionierung der Steckhölzer; mit „x“ gekennzeichnet: Steckhölzer aus einem wild wachsenden Ufersaum des Flusses Arroio (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	67
Abb. 67: Schnitt A – B durch die Holzkonstruktion (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	68
Abb. 68: Holzdreieck für die Einlagewinkel 45 und 90° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)	68
Abb. 69: Holzdreieck für den Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)	68
Abb. 70: Eingelegte Steckhölzer (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)	69
Abb. 71: Nach Fertigstellung des Versuches (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)	69
Abb. 72: Organigramm zur Methodik, Datenerhebung und den Berechnungen (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	70
Abb. 73: Digitale Schublehre (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008)	71
Abb. 74: Messen des Trockengewichts (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Sept. 2008)	71
Abb. 75 u. 76: Auswaschen der Steckhölzer (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Dez. 2008)	72
Abb. 77: Steckhölzer der ersten 3 Reihen; 5 pro Reihe und Einlagewinkel (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria, Dez. 2008)	74
Abb. 78: Boxplot zur Gesamtanzahl der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	77

Abb. 79: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	77
Abb. 80: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	78
Abb. 81: Gesamtanzahl der Wurzeln (N) in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	79
Abb. 82: Mittlere Gesamtlänge der Wurzeln (L) in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	79
Abb. 83: Mittleres Trockengewicht der Wurzeln (TG) in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	80
Abb. 84: Wurzelentwicklung bei Einlagewinkel 90° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria / UFSM, Dez. 2008).....	81
Abb. 85: Wurzelentwicklung bei Einlagewinkel 45° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria / UFSM, Dez. 2008).....	81
Abb. 86: Wurzelentwicklung bei Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria / UFSM, Dez. 2008).....	81
Abb. 87: Boxplot zur Gesamtanzahl der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	82
Abb. 88: Boxplot zur Gesamtlänge der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	82
Abb. 89: Boxplot zum Trockengewicht der Wurzeln pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	83
Abb. 90: Gegenüberstellung der Anzahl von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	86
Abb. 91: Gegenüberstellung der Gesamtlängen von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus</i> , Santa Maria 2008)	87
Abb. 92: Gegenüberstellung des Trockengewichts von Sprossen und Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus</i> , Santa Maria 2008)	87
Abb. 93: Sprossausbildung im Einlagewinkel 90° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria / UFSM, Nov. 2008).....	88
Abb. 94: Sprossausbildung im Einlagewinkel 45° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria / UFSM, Nov. 2008).....	88
Abb. 95: Sprossausbildung im Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria / UFSM, Nov. 2008).....	89
Abb. 96: Wurzel Ausbildung im Einlagewinkel 90° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria / UFSM, Nov. 2008).....	89

Abb. 97: Wurzel Ausbildung im Einlagewinkel 45° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Nov. 2008).....	89
Abb. 98: Wurzel Ausbildung im Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Nov. 2008).....	89
Abb. 99: Verteilung der Durchmesser der Steckhölzer in unterschiedlichen Winkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	92
Abb. 100: Maße eines Betonbeckens (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	93
Abb. 101: Ausmalen des Betonbeckens (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)	93
Abb. 102: Befestigen der Steckhölzer von Phyllanthus sellowianus (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)	93
Abb. 103: Anordnung der Betonbecken (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)	94
Abb. 104: Betonbecken mit Holzabdeckung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Okt. 2008)	94
Abb. 105: Boxplot zur Anzahl von Sprossen nach 1 Monat (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria).....	99
Abb. 106: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse nach 1 Monat (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008).....	99
Abb. 107: Boxplot zur Anzahl von Wurzeln 1 Monat (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	99
Abb. 108: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	101
Abb. 109: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008).....	102
Abb. 110: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008).....	102
Abb. 111: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	104
Abb. 112: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008).....	104
Abb. 113: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008).....	105
Abb. 114: Wurzelentwicklung in den unterschiedlichen Steckholzabschnitten im Winkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Dez. 2008).....	106

Abb. 115: Wurzelentwicklung in den unterschiedlichen Steckholzabschnitten im Winkel 45° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Dez. 2008).....	106
Abb. 116: Wurzelentwicklung in den unterschiedlichen Steckholzabschnitten im Winkel 90° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria / UFSM, Dez. 2008).....	106
Abb. 117: Boxplot zur Anzahl der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	107
Abb. 118: Boxplots zur Anzahl der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 45° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	107
Abb. 119: Boxplots zur Anzahl der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 90° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	108
Abb. 120: Boxplot zur Gesamtlänge der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	109
Abb. 121: Boxplot zur Gesamtlänge der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 45° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	109
Abb. 122: Boxplot zur Gesamtlänge der Wurzeln in den drei Abschnitten im Einlagewinkel 90° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	110
Abb. 123: Boxplot zum Trockengewicht der Wurzeln in den 3 Steckholzabschnitten im Einlagewinkel 10° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	111
Abb. 124: Boxplot zum Trockengewicht der Wurzeln in den 3 Steckholzabschnitten im Einlagewinkel 45° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	111
Abb. 125: Boxplot zum Trockengewicht der Wurzeln in den 3 Steckholzabschnitten im Einlagewinkel 90° (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	112
Abb. 126: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	113
Abb. 127: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	113
Abb. 128: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008).....	114
Abb. 129: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	114
Abb. 130: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008).....	114
Abb. 131: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008)	114
Abb. 132: Korrelation der Gesamtlänge mit dem Trockengewicht der Sprosse (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus, Santa Maria 2008).....	115

Abb. 133: Korrelation der Gesamtlänge mit dem Trockengewicht der Sprosse (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	115
Abb. 134: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	116
Abb. 135: Boxplot zur Gesamtanzahl pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	116
Abb. 136: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	116
Abb. 137: Boxplot zur Gesamtlänge der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	116
Abb. 138: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	117
Abb. 139: Boxplot zum Trockengewicht der Sprosse pro Steckholz in den unterschiedlichen Einlagewinkeln (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	117
Abb. 140: Korrelation der Gesamtlänge mit dem Trockengewicht der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	118
Abb. 141: Korrelation der Gesamtlänge mit dem Trockengewicht der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	118
Abb. 142: Korrelation der Anzahl mit dem Trockengewicht der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	119
Abb. 143: Korrelation der Anzahl mit dem Trockengewicht der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	119
Abb. 144: Korrelation der Anzahl mit der Gesamtlänge der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	120
Abb. 145: Korrelation der Anzahl mit der Gesamtlänge der Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	120
Abb. 146 u. 147: Bereits verfäulete Wurzel (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria / UFSM, Dez. 208).....	121
Abb. 148: Verteilung der Durchmesser der Steckhölzer von den 4 unterschiedlichen Arten (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto 2008)	126
Abb. 149: Ausheben der Pflanzlöcher mittels „cavador“ (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto, Sept. 2008)	127
Abb. 150: Einlegen der Steckhölzer (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto, Sept. 2008)	127
Abb. 151: Lageplan und Anordnung der Steckhölzer (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto 2008)	128

Abb. 152: Eingeschlagenes Steckholz (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto, Sept. 2008)	129
Abb. 153: Versuchsfläche nach Fertigstellung (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto, Sept. 2008)	129
Abb. 154: Versuchsfläche zum Auszugwiderstand nach 2,5 Monaten (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto, Nov. 2008)	129

13 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Einlageverhältnisse der Steckhölzer mit dem ober- und unterirdischen Anteil (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008)	39
Tab. 2: Ergebnisse der Steckholzuntersuchung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008)	48
Tab. 3: Ergebnisse der Sprossentwicklung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008)	49
Tab. 4: Ergebnisse der Wurzelentwicklung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008)	53
Tab. 5: Ergebnisse der Steckholzuntersuchung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit <i>Salix humboldtiana</i> , Santa Maria 2008)	57
Tab. 6: Ergebnisse der Steckholzuntersuchung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	75
Tab. 7: Ergebnisse der Sprossentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	76
Tab. 8: Ergebnisse der Wurzelentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	79
Tab. 9: Ergebnisse der Steckholzuntersuchung zu den 21 und 54 Steckhölzern im Vergleich (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	83
Tab. 10: Ergebnisse der Sprossentwicklung der 21 und 54 Steckhölzer im Vergleich (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	84
Tab. 11: Ergebnisse der Wurzelentwicklung der 21 und 54 Steckhölzer im Vergleich (Versuch Einlagewinkel in Sand mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria, 2008)	84
Tab. 12: Ergebnisse der Spross- und Wurzelentwicklung nach 1 Monat (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	98
Tab. 13: Ergebnisse der Steckholzuntersuchung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	100
Tab. 14: Ergebnisse der Sprossentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008)	101
Tab. 15: Ergebnisse der Berechnungen zu den Wurzeln (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	103
Tab. 16: Anzahl und Prozentsatz der Wurzeln pro Abschnitt (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit <i>Phyllanthus sellowianus</i> , Santa Maria 2008).....	106
Tab. 17: mittlerer Durchmesser (mD), minimaler (min.) und maximaler (max.) Durchmesser der 4 verwendeten Pflanzenarten (Versuch Auszugwiderstand, Vale Veneto 2008).....	125

14. Anhang

14.1. Arbeitstagebuch

Datum	Arbeit
10.09.08	Sandversuch 1 - Sammeln der Sprosse
11-12.09.08	Sandversuch 1 - Sprosse einsammeln und vermessen (Länge, Anzahl, Sprossdurchmesser)
14-15.09.08	Ausheben der Pflanzlöcher in Vale Veneto für Auszugsversuch und Steckholzschneiden von Salix rubens
15-17.09.08	Sandversuch 1 - Auswaschen der Wurzeln und vermessen (Länge, Anzahl, vermessen der trockenen Spitze), vermessen der Steckhölzer (Durchmesser: Basis, Mitte Spitze)
19.09.08	Versuch Vale Veneto - Schneiden der Steckhölzer von Salix rubens in Val Feltrino
22.09.08	Versuch Vale Veneto - Schneiden der Steckhölzer von Salix humboldtiana
23.09.08	Einschlagen der Steckhölzer in Vale Veneto für Auszugsversuch (7 Reihen, pro Reihe 16 Stück, Salix humboldtiana, Salix rubens)
24.09.08	Versuch Vale Veneto - Schneiden der Steckhölzer von Sebastiania schottiana; setzten der Steckhölzer von Salix rubens und Sebastiania schottiana für den Auszugsversuch
25.09.08	Wasserversuch – Bohren der Löcher und befestigen der Stangen im Betonbecken
28.09.08	Wasserversuch und Sandversuch 2 - Schneiden der Steckhölzer von Phyllanthus sellowianus
30.09.08	Versuch Vale Veneto - Setzen der Steckhölzer von Phyllanthus sellowianus und Fertigstellen des Versuches zum Auszugswiderstand, Errichten eines Zaunes
02.10.08	Sandversuch 1 - Beginn der Datenauswertung
05-06.10.08	Wasserversuch - Streichen der Betonbecken für den Versuch
07.10.08	Wasserversuch und Sandversuch 2 - Schneiden der Steckhölzer von Phyllanthus sellowianus (45 St. mit 33 cm für Wasserversuch, 80 St., 50cm für Sandversuch 2)
08.10.08	Sandversuchs 2 – Anlegen des Versuches (75 Steckhölzer, 25 pro Winkel, 15 Reihen, 5 Steckhölzer pro Reihe), Art: Phyllanthus sellowianus
09.10.08	Wasserversuch - Anlegen des Versuches (15 Steckhölzer pro Winkel)
10.10.08 bis jetzt	Sandversuch 1: Auswerten der Daten und verfassen der Diplomarbeit

Ab Anlegung der Versuche	Sandversuch 2 – Instandhaltungsarbeiten (gießen und Gras entfernen, Ameisenpaste erneuern), Wasserversuch - Instandhaltungsarbeiten (Wasserstand kontrollieren und gleichmäßig halten, Wasser wechseln)
20.10.08	Wasserversuch - Streichen der Bretter für die Abdeckung mit Holzschutzmittel
21.10.08	Wasserversuch - Abdecken des Versuches mit den gestrichenen Brettern
12.11.08	Wasserversuch – Erste Datenerhebung (Anzahl und Länge der Sprosse, Anzahl der Wurzeln)
08.12.08	Sandversuch2 – Sprosse einsammeln und vermessen (Länge, Anzahl, Sprossdurchmesser)
09.12.08	Wasserversuch – Sprosse einsammeln und vermessen (Länge, Anzahl und Sprossdurchmesser)
09 - 10.12.08	Sandversuch2 - -Wurzeln auswaschen und vermessen (Länge und Anzahl - 3 Abschnitte) und Steckhölzer vermessen (Durchmesser: Basis, Mitte Spitze).
10.12.08	Wasserversuch – Wurzeln vermessen (Länge, Anzahl - 3 Abschnitte) und Steckhölzer vermessen (Durchmesser: Basis, Mitte Spitze)
11.12.08	Sandversuch 2 – Erheben des Trockengewichts der Sprosse Wasserversuch – Erheben des Trockengewichts der Sprosse
11 – 12.12.08	Sandversuch 2 – Erheben des Trockengewichts der Wurzeln Wasserversuch – Erheben des Trockengewichts der Wurzeln
13.12.08 - Ende	Wasserversuch und Sandversuch 2 - Daten auswerten und Diplomarbeit verfassen

14.2. Tabellen Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*

14.2.1. Tabelle zur Steckholzuntersuchung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*)

n°	d1	d2	d3	d médio [mm]	x/y	Volumen des Steckholzes ÜBER der Erde [cm³]	Volumen des Steckholzes UNTER der Erde [cm³]	Trockene Spitze 3 Mon. [mm]	Trockene Spitze 4 Mon. [mm]
1	26	25	21	24	1/1	113,10	113,10	15	25
2	31	29	26	29	1/2	107,79	214,93	9	10
3	32	28	27	29	1/4	66,05	264,21	5	10
4	30	28	27	28	1/8	34,68	280,57	3	5
5	30	27	25	27	1/16	17,02	276,37	2	30
6	22	20	18	20	1/1	78,54	78,54	22	50
7	22	22	18	21	1/2	56,02	111,71	10	10
8	25	23	20	23	1/4	40,35	161,41	5	10
9	23	23	21	22	1/8	21,55	174,32	15	20
10	25	23	21	23	1/16	12,05	195,69	2	10
11	23	22	20	22	1/1	92,18	92,18	2	2
12	23	22	20	22	1/2	61,57	122,78	18	10
13	21	19	19	20	1/4	30,38	121,51	10	45
14	24	22	21	22	1/8	21,55	174,32	10	10
15	24	24	23	24	1/16	12,76	207,20	5	5
16	21	20	19	20	1/1	78,54	78,54	7	7
17	22	20	19	20	1/2	54,23	108,13	3	25
18	21	21	19	20	1/4	32,47	129,89	3	5
19	22	21	19	21	1/8	18,45	149,28	5	5
20	20	20	18	19	1/16	8,51	138,27	5	5
21	21	20	19	20	1/1	78,54	78,54	45	45
22	24	22	21	22	1/2	65,42	130,45	25	45
23	22	21	19	21	1/4	33,55	134,18	10	10
24	23	21	18	21	1/8	18,45	149,28	2	2
25	21	20	19	20	1/16	9,11	147,97	9	10
26	23	22	24	23	1/1	103,87	103,87	10	10
27	26	25	23	25	1/2	79,80	159,13	7	10
28	23	22	19	21	1/4	35,74	142,98	10	10

29	27	26	24	26	1/8	28,46	230,24	5	15
30	27	25	23	25	1/16	14,24	231,20	15	15
31	26	21	19	22	1/1	95,03	95,03	29	125
32	25	23	23	24	1/2	73,47	146,49	40	40
33	23	22	20	22	1/4	36,87	147,48	5	5
34	23	22	21	22	1/8	20,91	169,16	7	7
35	28	26	25	26	1/16	15,79	256,52	5	10
36	30	30	30	30	1/1	176,71	176,71	27	30
37	34	30	30	31	1/2	128,77	256,77	12	20
38	29	29	27	28	1/4	63,05	252,20	10	15
39	34	34	31	33	1/8	47,04	380,61	2	25
40	30	28	25	28	1/16	17,43	283,16	2	5
41	22	20	19	20	1/1	81,18	81,18	10	10
42	24	21	18	21	1/2	57,84	115,34	16	20
43	23	23	21	22	1/4	39,17	156,70	15	15
44	22	22	19	21	1/8	19,05	154,13	7	10
45	21	20	18	20	1/16	8,81	143,08	5	10
46	25	24	23	24	1/1	113,10	113,10	10	15
47	26	26	24	25	1/2	84,18	167,85	10	20
48	26	26	25	26	1/4	51,74	206,96	5	15
49	25	24	22	24	1/8	24,20	195,76	5	15
50	25	23	20	23	1/16	11,70	190,06	2	15
51	25	25	22	24	1/1	113,10	113,10	32	105
52	24	23	20	22	1/2	65,42	130,45	20	20
53	24	22	19	22	1/4	36,87	147,48	15	15
54	28	26	24	26	1/8	29,20	236,26	5	15
55	25	23	23	24	1/16	12,76	207,20	5	5
56	28	26	24	26	1/1	132,73	132,73	12	12
57	26	26	23	25	1/2	81,98	163,46	15	15
58	26	22	20	23	1/4	40,35	161,41	27	30
59	27	26	24	26	1/8	28,46	230,24	8	20
60	28	25	25	26	1/16	15,40	250,07	9	10
61	32	28	26	29	1/1	161,36	161,36	27	100
62	32	30	30	31	1/2	123,35	245,96	26	26
63	30	29	28	29	1/4	66,05	264,21	2	2
64	33	31	30	31	1/8	42,41	343,13	2	5

65	31	29	27	29	1/16	19,16	311,10	6	10
66	23	22	20	22	1/1	92,18	92,18	5	10
67	20	20	19	20	1/2	50,73	101,16	15	15
68	25	25	21	24	1/4	43,99	175,96	2	10
69	23	20	19	21	1/8	18,45	149,28	2	10
70	19	19	18	19	1/16	7,94	128,90	5	5
71	21	21	19	20	1/1	81,18	81,18	13	13
72	21	19	18	19	1/2	49,03	97,76	13	15
73	28	26	23	26	1/4	51,74	206,96	10	10
74	22	21	19	21	1/8	18,45	149,28	2	5
75	23	23	21	22	1/16	11,36	184,51	2	5
76	32	32	29	31	1/1	188,69	188,69	22	60
77	31	31	29	30	1/2	120,68	240,64	14	15
78	31	30	26	29	1/4	66,05	264,21	12	20
79	30	28	28	29	1/8	35,50	287,21	15	15
80	27	26	26	26	1/16	15,79	256,52	5	20
81	28	28	25	27	1/1	143,14	143,14	30	150
82	29	27	25	27	1/2	95,62	190,66	15	35
83	28	27	24	26	1/4	54,46	217,85	18	20
84	25	25	25	25	1/8	27,00	218,44	16	20
85	29	28	26	28	1/16	17,43	283,16	31	31
86	24	24	23	24	1/1	109,98	109,98	10	15
87	23	22	20	22	1/2	61,57	122,78	42	45
88	27	23	21	24	1/4	43,99	175,96	18	20
89	21	19	19	20	1/8	16,71	135,18	10	10
90	23	21	20	21	1/16	10,37	168,36	2	5
91	30	29	27	29	1/1	161,36	161,36	10	15
92	25	25	22	24	1/2	75,55	150,65	15	15
93	30	27	25	27	1/4	58,68	234,71	10	10
94	30	28	25	28	1/8	33,06	267,52	10	10
95	26	26	24	25	1/16	14,62	237,41	2	2
96	27	25	25	26	1/1	129,35	129,35	15	20
97	24	21	21	22	1/2	63,48	126,58	0	5
98	24	24	21	23	1/4	41,55	166,19	10	20
99	25	23	22	23	1/8	23,52	190,28	2	5
100	24	23	23	23	1/16	12,40	201,40	16	40

101	26	24	21	24	1/1	109,98	109,98	22	125
102	26	25	23	25	1/2	79,80	159,13	15	25
103	26	26	23	25	1/4	49,09	196,35	5	10
104	29	28	26	28	1/8	33,06	267,52	2	15
105	24	22	20	22	1/16	11,02	179,04	0	25
106	28	26	25	26	1/1	136,16	136,16	15	20
107	27	25	23	25	1/2	81,98	163,46	20	20
108	24	23	22	23	1/4	41,55	166,19	10	10
109	23	20	17	20	1/8	17,28	139,80	5	20
110	26	23	23	24	1/16	13,12	213,08	45	65

14.2.2. Tabelle zur Sprossentwicklung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*)

n°	Anzahl der Sprosse pro Steckholz	Mittlere Sprosslänge [cm]	Summe der Sprosslängen [cm]	Mittlerer Durchmesser der Sprosse [mm]	Trockengewicht der Sprosse [g]
1	13	3,69	48,00	2,03	1,2
2	27	7,18	193,80	2,13	3,7
3	18	3,42	61,50	2,74	1,7
4	7	11,24	78,70	2,98	2,5
5	3	7,87	23,60	3,50	1,0
6	4	0,50	2,00	1,41	0,2
7	28	5,25	147,10	1,85	2,9
8	16	10,42	166,70	2,31	3,8
9	7	11,24	78,70	2,94	1,6
10	3 Knospen	0,00	0,00	0,00	0,2
11	19	9,95	189,00	2,06	3,5
12	12 Knospen	0,00	0,00	0,00	0,3
13	3	2,70	8,10	2,01	0,1
14	10	10,72	107,20	2,54	2,5
15	10	6,08	60,80	2,84	1,2
16	27	4,13	111,60	1,89	2,2
17	2	2,70	5,40	2,38	0,2
18	9	5,37	48,30	2,15	1,2
19	20	5,06	101,10	2,10	1,6
20	0	0,00	0,00	0,00	0,0

21	13	15,17	197,20	2,16	3,6
22	4	1,18	4,70	1,21	0,4
23	20	8,86	177,20	1,96	3,1
24	6	18,92	113,50	3,54	3,0
25	6 + 3 Knospen	5,42	32,50	3,65	0,9
26	28	5,37	150,30	1,87	2,3
27	22	6,61	145,50	2,26	2,6
28	21	7,00	147,00	2,13	2,8
29	10	13,28	132,80	2,96	2,8
30	12	6,28	75,30	3,18	1,6
31	0	0,00	0,00	0,00	0,0
32	13	15,18	197,40	2,69	3,2
33	16	10,24	163,80	2,26	3,7
34	23	9,10	209,30	2,30	2,9
35	7	14,91	104,40	3,34	2,4
36	19	1,33	25,20	2,53	0,7
37	18	9,52	171,30	2,38	3,3
38	12	12,43	149,10	2,68	3,5
39	3	4,27	12,80	4,95	0,7
40	6	15,42	92,50	3,76	2,7
41	14	15,40	215,60	2,49	5,6
42	13	13,02	169,30	2,33	4,0
43	7	13,26	92,80	2,60	2,4
44	7	7,61	53,30	2,25	1,4
45	0	0,00	0,00	0,00	0,0
46	24	5,72	137,20	1,91	2,8
47	10	0,71	7,10	2,78	0,2
48	8	16,01	128,10	2,49	3,5
49	12	8,59	103,10	2,02	2,2
50	26	1,67	43,40	2,20	1,3
51	0	0,00	0,00	0,00	0,0
52	5	0,86	4,30	2,22	0,2
53	20	7,50	150,00	2,06	3,2
54	8	9,83	78,60	2,71	1,7
55	9	8,18	73,60	2,35	1,5
56	33	5,49	181,30	1,67	2,2

57	0	0,00	0,00	0,00	0,0
58	0	0,00	0,00	0,00	0,0
59	17	6,80	115,60	2,42	1,9
60	8 + 2 Knospen	2,14	17,10	2,88	1,9
61	10	5,49	54,90	2,13	1,1
62	0	0,00	0,00	0,00	0,0
63	0	0,00	0,00	0,00	0,0
64	14	12,39	173,50	2,36	3,9
65	9	2,49	22,40	2,82	0,1
66	20	7,48	149,50	1,75	2,8
67	11	10,84	119,20	2,25	2,1
68	4 + 4 Knospen	0,95	3,80	2,46	0,2
69	8	9,23	73,80	2,75	1,5
70	8	11,40	91,20	2,18	2,3
71	27	6,95	187,70	1,99	3,1
72	25	9,07	226,70	1,74	3,6
73	19	8,76	166,50	2,26	2,6
74	11	9,33	102,60	2,35	1,6
75	8	12,63	101,00	2,49	2,3
76	15	2,77	41,50	2,12	1,1
77	22	6,48	142,60	1,83	2,8
78	17 + 3 Knospen	0,96	16,40	2,37	0,4
79	9	14,23	128,10	2,80	3,3
80	1 + 2 Knospen	1,10	1,10	2,01	0,1
81	0	0,00	0,00	0,00	0,0
82	7	2,93	20,50	1,89	0,5
83	15	9,92	148,80	2,21	2,9
84	1	7,30	7,30	4,99	0,2
85	3	11,73	35,20	4,37	1,2
86	28	6,72	188,20	2,11	3,0
87	20 + 4 Knospen	2,51	50,10	2,00	1,1
88	25	1,48	37,10	2,40	1,3
89	10	10,26	102,60	2,21	2,0
90	9	13,39	120,50	2,44	3,2
91	11	12,05	132,60	3,07	3,4

92	14	12,21	171,00	2,43	3,4
93	32	10,67	341,30	2,07	5,8
94	14	8,16	114,30	3,14	2,9
95	3	16,30	48,90	4,37	1,7
96	12	6,31	75,70	2,32	1,7
97	11	24,11	265,20	3,03	5,5
98	11	7,92	87,10	2,13	2,1
99	9	16,46	148,10	2,84	3,1
100	0	0,00	0,00	0,00	0,0
101	0	0,00	0,00	0,00	0,0
102	12	14,51	174,10	2,78	3,4
103	15	10,85	162,80	2,28	3,0
104	0	0,00	0,00	0,00	0,0
105	1	7,60	7,60	3,50	2,3
106	22	5,82	128,10	2,23	2,5
107	28	1,31	36,60	2,32	0,9
108	14	4,62	64,70	2,19	1,3
109	5	6,74	33,70	2,92	0,8
110	3	17,83	53,50	3,96	1,9

14.2.3. Tabelle zur Wurzelentwicklung (Versuch Einlageverhältnis in Sand mit *Salix humboldtiana*)

n°	x/y	Anzahl der Wurzeln	Summe der Wurzellängen (cm)	Mittlere Wurzellängen (cm)	Trockengewicht der Wurzeln (g)
1	1/1	4	53,00	13,25	0,38
2	1/2	7	148,00	21,14	1,37
3	1/4	15	155,00	10,33	0,79
4	1/8	31	414,50	13,37	1,59
5	1/16	1	3,50	3,50	0,15
6	1/1	0	0,00	0,00	0,00
7	1/2	3	56,50	18,83	1,29
8	1/4	15	329,50	21,97	1,23
9	1/8	14	204,00	14,57	0,60
10	1/16	6	26,00	4,33	0,37
11	1/1	16	186,00	11,63	1,33
12	1/2	6	123,00	20,50	0,73
13	1/4	0	0,00	0,00	0,00

14	1/8	10	201,50	20,15	0,83
15	1/16	6	82,50	13,75	0,40
16	1/1	1	78,00	78,00	0,80
17	1/2	3	16,00	5,33	0,04
18	1/4	11	105,00	9,55	0,22
19	1/8	21	266,50	12,69	0,66
20	1/16	4	17,00	4,25	0,99
21	1/1	2	109,00	54,50	1,38
22	1/2	7	16,50	2,36	0,05
23	1/4	12	217,00	18,08	1,19
24	1/8	62	1355,00	21,85	2,67
25	1/16	7	185,00	26,43	0,40
26	1/1	5	208,50	41,70	1,19
27	1/2	5	100,50	20,10	1,41
28	1/4	4	163,00	40,75	1,07
29	1/8	30	304,50	10,15	1,30
30	1/16	13	81,50	6,27	0,59
31	1/1	2	2,50	1,25	0,03
32	1/2	5	269,50	53,90	1,19
33	1/4	3	187,00	62,33	1,87
34	1/8	5	118,50	23,70	1,24
35	1/16	10	196,00	19,60	1,20
36	1/1	19	104,50	5,50	0,09
37	1/2	9	155,50	17,28	1,25
38	1/4	11	214,50	19,50	1,38
39	1/8	14	389,00	27,79	1,08
40	1/16	13	253,50	19,50	0,84
41	1/1	18	377,50	20,97	1,44
42	1/2	1	77,00	77,00	1,52
43	1/4	11	313,00	28,45	1,31
44	1/8	7	65,00	9,29	0,30
45	1/16	3	19,00	6,33	0,11
46	1/1	6	93,50	15,58	0,49
47	1/2	6	121,00	20,17	1,09
48	1/4	16	359,00	22,44	1,21
49	1/8	6	101,00	16,83	0,37
50	1/16	2	85,50	42,75	0,75
51	1/1	1	0,50	0,50	0,01
52	1/2	3	75,50	25,17	0,39
53	1/4	6	128,50	21,42	1,45
54	1/8	12	157,00	13,08	0,98
55	1/16	12	280,00	23,33	1,31

56	1/1	7	182,00	26,00	1,26
57	1/2	6	19,50	3,25	0,30
58	1/4	14	402,00	28,71	1,21
59	1/8	12	131,50	10,96	0,68
60	1/16	11	107,00	9,73	0,52
61	1/1	5	107,50	21,50	0,66
62	1/2	4	276,00	69,00	1,92
63	1/4	0	0,00	0,00	0,00
64	1/8	7	170,00	24,29	1,64
65	1/16	7	81,00	11,57	0,54
66	1/1	5	242,00	48,40	1,63
67	1/2	10	141,50	14,15	0,70
68	1/4	7	38,50	5,50	0,36
69	1/8	4	49,50	12,38	0,46
70	1/16	11	178,50	16,23	0,91
71	1/1	5	190,50	38,10	1,00
72	1/2	13	449,00	34,54	2,10
73	1/4	8	114,50	14,31	1,12
74	1/8	7	166,50	23,79	1,18
75	1/16	7	166,00	23,71	1,69
76	1/1	2	38,50	19,25	0,42
77	1/2	13	240,00	18,46	1,04
78	1/4	19	54,50	2,87	0,40
79	1/8	50	768,50	15,37	1,59
80	1/16	6	43,00	7,17	0,26
81	1/1	0	0,00	0,00	0,00
82	1/2	7	31,00	4,43	0,10
83	1/4	10	209,00	20,90	1,06
84	1/8	7	353,50	50,50	1,60
85	1/16	20	172,00	8,60	0,49
86	1/1	7	108,50	15,50	0,75
87	1/2	22	83,00	3,77	0,23
88	1/4	7	105,50	15,07	0,22
89	1/8	7	262,50	37,50	1,03
90	1/16	1	94,00	94,00	1,30
91	1/1	11	239,00	21,73	1,43
92	1/2	8	134,00	16,75	1,01
93	1/4	21	561,00	26,71	2,77
94	1/8	5	91,00	18,20	1,40
95	1/16	36	412,00	11,44	1,57
96	1/1	10	104,50	10,45	0,50
97	1/2	57	1109,00	19,46	3,86
98	1/4	18	277,00	15,39	1,18

99	1/8	29	588,00	20,28	2,01
100	1/16	4	21,50	5,38	0,32
101	1/1	0	0,00	0,00	0,00
102	1/2	13	370,50	28,50	1,58
103	1/4	2	131,50	65,75	0,92
104	1/8	11	20,50	1,86	0,30
105	1/16	0	0,00	0,00	0,00
106	1/1	17	210,00	12,35	0,89
107	1/2	5	108,50	21,70	0,54
108	1/4	6	65,00	10,83	0,95
109	1/8	1	24,00	24,00	0,32
110	1/16	8	236,50	29,56	1,27

14.3. Tabellen Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*

Die mit gelb markierten Felder sind jene Steckhölzer, die aus dem wild wachsenden Ufersaum des Flusses Arroio geschnitten wurden. Die übrigen Steckhölzer stammen aus einer Krainerwand am Ufer des Guarda Mor.

14.3.1. Tabelle zur Steckholzuntersuchung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*)

N°	Anmerkung	Winkel	d1	d2	d3	d médio [mm]	Volumen des Steckholzes über der Erde (cm) ³	Volumen des Steckholzes unter der Erde (cm) ³
1	1	90	31	29	28	29	371,69	3007,27
2	2	90	19	19	19	19	155,94	1261,70
3	1	90	19	19	18	19	150,52	1217,82
4	1	90	15	14	12	14	80,68	652,79
5	1	90	22	22	21	22	202,79	1640,72
6	1	45	18	16	15	16	115,24	932,39
7	1	45	24	23	22	23	228,51	1848,87
8	1	45	16	14	13	14	88,75	718,03
9	2	45	22	20	18	20	172,79	1398,01
10	2	45	25	23	22	23	235,18	1902,85
11	1	10	20	17	16	18	134,82	1090,84
12	2	10	23	19	18	20	172,79	1398,01
13	2	10	26	24	25	25	269,98	2184,39
14	1	10	25	25	24	25	262,83	2126,53
15	1	10	17	15	14	15	101,56	821,72
16	1	90	28	27	27	27	322,73	2611,17
17	1	90	20	19	19	19	161,46	1306,36
18	1	90	15	14	13	14	84,67	685,02
19	1	90	21	20	20	20	178,60	1445,00
20	2	90	19	18	18	18	145,19	1174,72
21	1	45	20	19	19	19	161,46	1306,36
22	1	45	21	20	20	20	178,60	1445,00
23	1	45	17	16	15	16	110,58	894,73
24	1	45	25	24	24	24	255,77	2069,44
25	1	45	16	15	15	15	101,56	821,72
26	1	10	17	16	15	16	110,58	894,73
27	1	10	30	30	29	30	380,18	3076,01
28	1	10	24	21	21	22	209,07	1691,59
29	1	10	16	15	13	15	92,92	751,82
30	1	10	21	19	19	20	167,08	1351,80

31	1	90	32	30	28	30	388,77	3145,52
32	2	90	20	18	18	19	150,52	1217,82
33	1	90	19	18	16	18	134,82	1090,84
34	2	90	21	21	19	20	178,60	1445,00
35	2	90	20	18	18	19	150,52	1217,82
36	1	45	15	14	12	14	80,68	652,79
37	2	45	23	21	20	21	196,59	1590,62
38	1	45	16	15	14	15	97,19	786,38
39	1	45	27	26	26	26	299,55	2423,60
40	1	45	17	16	15	16	110,58	894,73
41	1	10	28	26	25	26	299,55	2423,60
42	1	10	16	15	14	15	97,19	786,38
43	1	10	30	29	28	29	363,29	2939,31
44	1	10	17	16	15	16	110,58	894,73
45	2	10	20	19	19	19	161,46	1306,36
46	1	90	17	17	17	17	124,84	1010,06
47	1	90	22	21	22	22	202,79	1640,72
48	1	90	32	30	30	31	406,24	3286,87
49	1	90	18	16	14	16	110,58	894,73
50	2	90	27	21	19	22	215,46	1743,24
51	1	45	35	33	30	33	460,96	3729,58
52	1	45	18	15	15	16	110,58	894,73
53	1	45	15	13	13	14	80,68	652,79
54	2	45	21	20	19	20	172,79	1398,01
55	2	45	23	21	20	21	196,59	1590,62
56	1	10	29	27	26	27	322,73	2611,17
57	1	10	22	21	21	21	196,59	1590,62
58	2	10	18	18	15	17	124,84	1010,06
59	1	10	15	14	14	14	88,75	718,03
60	1	10	22	22	21	22	202,79	1640,72
61	1	90	27	25	24	25	277,23	2243,03
62	2	90	26	23	22	24	241,95	1957,60
63	2	90	21	21	19	20	178,60	1445,00
64	1	90	17	17	15	16	115,24	932,39
65	1	90	17	16	15	16	110,58	894,73
66	1	45	25	23	21	23	228,51	1848,87
67	2	45	21	20	21	21	184,50	1492,76
68	1	45	20	18	16	18	139,96	1132,39
69	1	45	17	15	14	15	101,56	821,72
70	2	45	23	19	17	20	167,08	1351,80
71	2	10	24	21	24	23	228,51	1848,87
72	1	10	27	26	26	26	299,55	2423,60
73	2	10	22	19	18	20	167,08	1351,80
74	1	10	16	15	14	15	97,19	786,38

75	1	10	17	16	15	16	110,58	894,73
----	---	----	----	----	----	----	--------	--------

14.3.2. Tabelle zur Sprossentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit Phyllanthus sellowianus)

n°	Anzahl Sprosse	Summe der Sprosslängen (cm)	Mittlere Länge der Sprosse (cm)	Trockengewicht der Sprosse (g)	Summe der Durchmesser (mm)	Mittlerer Durchmesser der Sprosse (mm)
1	3	141,50	47,17	5,03	14,18	4,73
2	2	5,00	2,50	0,01	1,12	0,56
3	3	88,00	29,33	3,08	8,71	2,90
4	3	106,00	35,33	2,78	10,00	3,33
5	4	35,00	8,75	0,77	10,12	2,53
6	4	107,50	26,88	2,95	10,82	2,71
7	2	2,00	1,00	0,03	2,22	1,11
8	2	59,00	29,50	1,32	5,81	2,91
9	1	57,50	57,50	4,54	6,93	6,93
10	5	95,50	19,10	2,91	15,79	3,16
11	2	56,00	28,00	1,30	5,22	2,61
12	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	3	58,00	19,33	2,26	12,66	4,22
14	2	37,00	18,50	0,92	6,47	3,24
15	6	136,50	22,75	2,84	11,67	1,95
16	4	62,00	15,50	1,80	9,19	2,30
17	2	51,50	25,75	1,71	5,83	2,92
18	4	73,00	18,25	2,07	7,84	1,96
19	2	18,00	9,00	0,49	5,37	2,69
20	2	60,50	30,25	2,62	8,20	4,10
21	2	66,50	33,25	2,26	7,94	3,97
22	4	74,50	18,63	1,37	8,97	2,24
23	3	57,00	19,00	1,05	8,57	2,86
24	4	80,00	20,00	2,41	11,79	2,95
25	2	61,00	30,50	1,54	5,90	2,95
26	2	50,50	25,25	1,49	5,49	2,75
27	2	6,50	3,25	0,09	3,19	1,60
28	4	52,00	13,00	0,97	9,18	2,30
29	2	57,00	28,50	1,85	6,26	3,13
30	2	48,50	24,25	1,23	6,18	3,09
31	2	113,50	56,75	4,09	8,60	4,30
32	2	26,00	13,00	0,33	3,80	1,90
33	2	17,50	8,75	0,59	5,17	2,59
34	2	55,50	27,75	2,41	7,39	3,70
35	3	48,00	16,00	1,38	7,23	2,41
36	1	2,00	2,00	0,03	1,73	1,73

37	3	11,00	3,67	0,31	6,87	2,29
38	2	50,00	25,00	1,53	5,49	2,75
39	5	139,50	27,90	3,54	14,84	2,97
40	4	111,50	27,88	2,42	10,28	2,57
41	2	48,00	24,00	1,32	6,33	3,17
42	3	77,50	25,83	2,15	7,41	2,47
43	3	82,00	27,33	2,04	10,50	3,50
44	3	59,50	19,83	1,35	6,24	2,08
45	1	2,50	2,50	0,11	1,98	1,98
46	1	46,50	46,50	1,84	3,69	3,69
47	3	45,00	15,00	1,00	7,79	2,60
48	5	90,50	18,10	3,11	12,54	2,51
49	2	53,00	26,50	1,22	5,69	2,85
50	5	18,00	3,60	0,52	11,43	2,29
51	1	3,00	3,00	0,01	1,56	1,56
52	2	62,50	31,25	2,14	6,82	3,41
53	3	55,50	18,50	0,97	7,04	2,35
54	2	6,00	3,00	0,03	2,35	1,18
55	3	96,50	32,17	3,07	9,93	3,31
56	3	75,00	25,00	2,04	9,40	3,13
57	3	33,00	11,00	0,91	8,80	2,93
58	4	111,00	27,75	3,78	12,24	3,06
59	1	41,50	41,50	2,05	4,24	4,24
60	1	43,00	43,00	1,58	4,14	4,14
61	3	79,50	26,50	2,80	10,09	3,36
62	3	12,50	4,17	0,30	7,02	2,34
63	2	5,00	2,50	0,20	3,81	1,91
64	4	85,00	21,25	2,16	7,03	1,76
65	5	18,50	3,70	0,22	7,20	1,44
66	2	4,00	2,00	0,04	2,95	1,48
67	3	73,00	24,33	2,84	10,83	3,61
68	2	75,50	37,75	3,00	7,08	3,54
69	1	1,50	1,50	0,01	1,22	1,22
70	3	86,00	28,67	3,42	9,65	3,22
71	4	39,00	9,75	0,57	8,76	2,19
72	2	7,00	3,50	0,11	2,93	1,47
73	4	45,00	11,25	1,58	8,20	2,05
74	1	5,00	5,00	0,10	2,14	2,14
75	3	75,00	25,00	2,19	7,38	2,46

14.3.3. Tabelle zur Wurzelentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Sand mit *Phyllanthus sellowianus*)

n°	Anzahl Wurzeln pro Steckholz	Summe der Wurzellängen pro Steckholz (cm)	Mittlere Länge der Wurzeln pro Steckholz (cm)	Trockengewicht der Wurzeln pro Steckholz (g)
1	25	82,5	3,3	0,57
2	4	6,5	1,6	0,06
3	28	117,5	4,2	0,33
4	27	247,0	9,1	0,60
5	1	12,5	12,5	0,15
6	36	209,5	5,8	0,49
7	0	0,0	0,0	0,00
8	8	51,0	6,4	0,20
9	11	92,5	8,4	0,42
10	14	130,0	9,3	0,53
11	4	95,0	23,8	0,37
12	0	0,0	0,0	0,00
13	4	44,0	11,0	0,21
14	11	25,0	2,3	0,07
15	8	189,0	23,6	0,93
16	15	17,0	1,1	0,18
17	11	12,0	1,1	0,07
18	33	106,0	3,2	0,63
19	0	0,0	0,0	0,00
20	16	91,5	5,7	0,39
21	24	66,0	2,8	0,20
22	25	36,5	1,5	0,45
23	23	53,5	2,3	0,20
24	21	71,5	3,4	0,17
25	15	93,5	6,2	0,39
26	7	96,5	13,8	0,35
27	3	1,5	0,5	0,01
28	6	24,0	4,0	0,15
29	7	144,5	20,6	0,76
30	13	31,0	2,4	0,20
31	6	33,0	5,5	0,37
32	2	3,5	1,8	0,03
33	13	12,0	0,9	0,14
34	25	35,5	1,4	0,36
35	25	53,0	2,1	0,21
36	0	0,0	0,0	0,00
37	0	0,0	0,0	0,00

38	18	61,0	3,4	0,26
39	8	69,0	8,6	0,38
40	10	143,0	14,3	1,22
41	21	36,5	1,7	0,26
42	16	215,5	13,5	0,59
43	4	33,0	8,3	0,20
44	34	114,0	3,4	0,34
45	0	0,0	0,0	0,00
46	32	36,5	1,1	0,42
47	8	10,0	1,3	0,05
48	20	66,5	3,3	0,82
49	13	14,5	1,1	0,50
50	2	8,5	4,3	0,02
51	0	0,0	0,0	0,00
52	24	156,5	6,5	0,47
53	5	5,0	1,0	0,11
54	0	0,0	0,0	0,00
55	54	201,5	3,7	0,26
56	5	88,0	17,6	0,40
57	12	20,5	1,7	0,04
58	116	864,5	7,5	1,31
59	19	205,0	10,8	0,70
60	12	35,5	3,0	0,28
61	13	11,5	0,9	0,35
62	2	3,0	1,5	0,01
63	0	0,0	0,0	0,00
64	18	85,0	4,7	0,42
65	0	0,0	0,0	0,00
66	0	0,0	0,0	0,00
67	59	259,0	4,4	0,33
68	19	70,0	3,7	0,60
69	0	0,0	0,0	0,00
70	36	99,0	2,8	0,31
71	30	317,5	10,6	0,25
72	0	0,0	0,0	0,00
73	3	80,5	26,8	0,31
74	0	0,0	0,0	0,00
75	18	251,0	13,9	0,90

14.4. Tabellen Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*

14.4.1. Tabelle zur Steckholzuntersuchung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*)

n°	Winkel	d1	d2	d3	d médio [mm]	Volumen des Steckholzes ÜBER dem Wasser (cm³)	Volumen des Steckholzes UNTER dem Wasser (cm³)
1	10	14	13	12	13	106,19	331,83
2	10	13	13	11	12	95,57	298,67
3	10	13	12	11	12	90,48	282,74
4	10	14	13	12	13	106,19	331,83
5	10	13	13	12	13	100,81	315,03
6	10	13	12	12	12	95,57	298,67
7	10	13	12	11	12	90,48	282,74
8	10	12	11	11	11	80,70	252,20
9	10	13	12	10	12	85,52	267,25
10	10	12	11	10	11	76,03	237,58
11	10	14	13	12	13	106,19	331,83
12	10	13	13	12	13	100,81	315,03
13	10	14	13	13	13	111,70	349,07
14	10	14	13	12	13	106,19	331,83
15	10	15	14	13	14	123,15	384,85
1	45	11	11	10	11	71,49	223,40
2	45	13	12	11	12	90,48	282,74
3	45	12	11	10	11	76,03	237,58
4	45	12	11	10	11	76,03	237,58
5	45	15	14	12	14	117,36	366,74
6	45	14	14	13	14	117,36	366,74
7	45	12	10	9	10	67,09	209,66
8	45	16	15	15	15	147,72	461,64
9	45	13	12	12	12	95,57	298,67
10	45	11	11	11	11	76,03	237,58
11	45	12	11	9	11	71,49	223,40
12	45	13	12	11	12	90,48	282,74
13	45	12	12	11	12	85,52	267,25
14	45	14	14	13	14	117,36	366,74
15	45	14	13	13	13	111,70	349,07
1	90	13	12	11	12	90,48	282,74
2	90	11	11	10	11	71,49	223,40
3	90	14	13	12	13	106,19	331,83
4	90	14	14	13	14	117,36	366,74

5	90	13	13	12	13	100,81	315,03
6	90	11	10	9	10	62,83	196,35
7	90	14	12	12	13	100,81	315,03
8	90	12	11	10	11	76,03	237,58
9	90	14	13	11	13	100,81	315,03
10	90	12	12	11	12	85,52	267,25
11	90	13	11	12	12	90,48	282,74
12	90	14	13	12	13	106,19	331,83
13	90	11	10	9	10	62,83	196,35
14	90	14	13	12	13	106,19	331,83
15	90	12	11	10	11	76,03	237,58

14.4.2. Tabelle zur Sprossentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit Phyllanthus sellowianus)

n°	Winkel	Anzahl der Sprosse	Summe der Sprosslängen (cm)	Mittlere Länge der Sprosse (cm)	Trockengewicht der Sprosse (g)	Summe der Durchmesser (mm)	Mittlerer Durchmesser der Sprosse (mm)
1	10	5	50,5	10,10	0,34	8,75	1,75
2	10	4	60,0	15,00	0,55	6,73	1,68
3	10	3	16,0	5,33	0,36	6,16	2,05
4	10	3	25,0	8,33	0,29	3,44	1,15
5	10	2	50,0	25,00	0,60	4,93	2,47
6	10	4	59,0	14,75	0,36	8,50	2,13
7	10	6	67,0	11,17	0,33	8,43	1,41
8	10	2	20,0	10,00	0,20	3,18	1,59
9	10	5	37,0	7,40	0,46	8,33	1,67
10	10	3	31,5	10,50	0,24	5,79	1,93
11	10	4	36,5	9,13	0,41	6,66	1,67
12	10	3	17,0	5,67	0,50	7,43	2,48
13	10	4	53,5	13,38	0,52	6,84	1,71
14	10	3	40,0	13,33	0,43	6,06	2,02
15	10	4	47,0	11,75	0,42	6,00	1,50
1	45	2	24,5	12,25	0,15	3,13	1,57
2	45	2	14,5	7,25	0,29	4,16	2,08
3	45	2	49,5	24,75	0,43	4,49	2,25
4	45	4	66,0	16,50	1,38	7,90	1,98
5	45	3	51,5	17,17	0,38	7,41	2,47
6	45	3	60,5	20,17	0,92	6,80	2,27
7	45	2	40,5	20,25	0,22	4,50	2,25
8	45	2	68,0	34,00	1,28	6,47	3,24
9	45	4	64,5	16,13	0,62	7,01	1,75

10	45	3	37,0	12,33	0,86	6,22	2,07
11	45	2	49,0	24,50	0,48	4,66	2,33
12	45	3	60,5	20,17	0,75	7,03	2,34
13	45	4	67,5	16,88	0,58	7,53	1,88
14	45	3	54,5	18,17	1,15	7,33	2,44
15	45	4	82,5	20,63	0,96	7,93	1,98
1	90	3	51,0	17,00	0,35	6,47	2,16
2	90	3	31,0	10,33	0,14	3,38	1,13
3	90	4	81,5	20,38	0,60	8,48	2,12
4	90	4	40,0	10,00	0,72	8,10	2,03
5	90	4	64,0	16,00	0,47	7,49	1,87
6	90	3	60,0	20,00	0,49	5,62	1,87
7	90	3	65,0	21,67	0,55	5,71	1,90
8	90	2	47,5	23,75	0,30	3,90	1,95
9	90	2	47,0	23,50	0,37	4,30	2,15
10	90	3	55,0	18,33	0,32	5,82	1,94
11	90	3	59,5	19,83	0,52	6,28	2,09
12	90	3	25,5	8,50	0,81	5,39	1,80
13	90	1	7,0	7,00	0,16	1,01	1,01
14	90	2	63,5	31,75	0,86	5,74	2,87
15	90	3	41,0	13,67	0,49	5,13	1,71

14.4.3. Tabelle zur Wurzelentwicklung (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*)

n°	Winkel	Anzahl der Wurzeln	Summe der Wurzellängen (cm)	Mittlere Länge der Wurzeln (cm)	Trockengewicht der Wurzeln (g)
1	10	13	65,00	5,00	0,02
2	10	44	266,50	6,06	0,27
3	10	16	22,00	1,38	0,03
4	10	0	0,00	0,00	0,00
5	10	32	229,00	7,16	0,26
6	10	22	77,00	3,50	0,08
7	10	30	236,50	7,88	0,15
8	10	7	25,50	3,64	0,01
9	10	11	16,50	1,50	0,03
10	10	5	30,00	6,00	0,01
11	10	32	142,00	4,44	0,11
12	10	2	4,00	2,00	0,01
13	10	27	195,00	7,22	0,14
14	10	17	83,00	4,88	0,14
15	10	25	109,50	4,38	0,05
1	45	3	20,50	6,83	0,01
2	45	22	70,50	3,20	0,03

3	45	63	408,00	6,48	0,28
4	45	60	515,50	8,59	0,40
5	45	22	160,50	7,30	0,03
6	45	16	209,00	13,06	0,15
7	45	36	231,50	6,43	0,17
8	45	24	234,00	9,75	0,14
9	45	53	542,50	10,24	0,19
10	45	50	298,50	5,97	0,16
11	45	26	210,00	8,08	0,09
12	45	57	557,00	9,77	0,36
13	45	40	302,50	7,56	0,16
14	45	43	541,50	12,59	0,41
15	45	61	545,50	8,94	0,36
1	90	25	215,00	8,60	0,10
2	90	21	173,00	8,24	0,03
3	90	39	300,00	7,69	0,27
4	90	21	111,50	5,31	0,02
5	90	38	304,00	8,00	0,25
6	90	38	386,50	10,17	0,27
7	90	35	357,50	10,21	0,22
8	90	25	184,50	7,38	0,13
9	90	27	227,00	8,41	0,07
10	90	35	238,00	6,80	0,11
11	90	38	295,50	7,78	0,23
12	90	24	71,00	2,96	0,03
13	90	0	0,00	0,00	0,00
14	90	35	412,00	11,77	0,30
15	90	30	268,50	8,95	0,26

14.4.4. Tabelle zur Wurzelentwicklung in den unterschiedlichen Steckholzabschnitten (Versuch Einlagewinkel in Wasser mit *Phyllanthus sellowianus*)

n°	Winkel	Steckholz- abschnitt	Anzahl Wurzeln pro Abschnitt	Summe der Wurzellängen pro Abschnitt (cm)	Mittlere Länge der Wurzeln pro Abschnitt (cm)	Trocken- gewicht der Wurzeln pro Abschnitt (g)
1	10	1	11	58,00	5,27	0,01
1	10	2	2	7,00	3,50	0,01
1	10	3	0	0,00	0,00	0,00
2	10	1	37	243,00	6,57	0,25
2	10	2	1	16,50	16,50	0,01
2	10	3	6	7,00	1,17	0,01
3	10	1	8	9,50	1,19	0,01

3	10	2	7	12,00	1,71	0,01
3	10	3	1	0,50	0,50	0,01
4	10	1	0	0,00	0,00	0,00
4	10	2	0	0,00	0,00	0,00
4	10	3	0	0,00	0,00	0,00
5	10	1	25	162,00	6,48	0,20
5	10	2	6	65,00	10,83	0,05
5	10	3	1	2,00	2,00	0,01
6	10	1	16	65,00	4,06	0,06
6	10	2	4	10,50	2,63	0,01
6	10	3	2	1,50	0,75	0,01
7	10	1	23	185,00	8,04	0,14
7	10	2	7	51,50	7,36	0,01
7	10	3	0	0,00	0,00	0,00
8	10	1	7	25,50	3,64	0,01
8	10	2	0	0,00	0,00	0,00
8	10	3	0	0,00	0,00	0,00
9	10	1	1	0,50	0,50	0,01
9	10	2	4	5,00	1,25	0,01
9	10	3	6	11,00	1,83	0,01
10	10	1	5	30,00	6,00	0,01
10	10	2	0	0,00	0,00	0,00
10	10	3	0	0,00	0,00	0,00
11	10	1	15	121,00	8,07	0,09
11	10	2	4	3,50	0,88	0,01
11	10	3	13	17,50	1,35	0,01
12	10	1	2	4,00	2,00	0,01
12	10	2	0	0,00	0,00	0,00
12	10	3	0	0,00	0,00	0,00
13	10	1	14	165,00	11,79	0,12
13	10	2	9	20,50	2,28	0,01
13	10	3	4	9,50	2,38	0,01
14	10	1	9	69,50	7,72	0,12
14	10	2	4	7,00	1,75	0,01
14	10	3	4	6,50	1,63	0,01
15	10	1	12	80,50	6,71	0,03
15	10	2	5	12,50	2,50	0,01
15	10	3	8	16,50	2,06	0,01
1	45	1	0	0,00	0,00	0,00
1	45	2	3	20,50	6,83	0,01
1	45	3	0	0,00	0,00	0,00
2	45	1	12	34,00	2,83	0,01
2	45	2	9	33,00	3,67	0,01
2	45	3	1	3,50	3,50	0,01
3	45	1	40	200,00	5,00	0,14

3	45	2	18	154,00	8,56	0,09
3	45	3	5	54,00	10,80	0,05
4	45	1	33	226,50	6,86	0,22
4	45	2	18	218,00	12,11	0,14
4	45	3	9	71,00	7,89	0,04
5	45	1	9	53,50	5,94	0,01
5	45	2	9	72,50	8,06	0,01
5	45	3	4	34,50	8,63	0,01
6	45	1	15	195,00	13,00	0,14
6	45	2	1	14,00	14,00	0,01
6	45	3	0	0,00	0,00	0,00
7	45	1	21	97,00	4,62	0,07
7	45	2	13	119,00	9,15	0,09
7	45	3	2	15,50	7,75	0,01
8	45	1	12	93,00	7,75	0,07
8	45	2	7	68,00	9,71	0,03
8	45	3	5	73,00	14,60	0,04
9	45	1	24	211,50	8,81	0,06
9	45	2	24	277,50	11,56	0,09
9	45	3	5	53,50	10,70	0,04
10	45	1	29	158,00	5,45	0,09
10	45	2	19	132,00	6,95	0,06
10	45	3	2	8,50	4,25	0,01
11	45	1	9	69,00	7,67	0,03
11	45	2	15	123,00	8,20	0,05
11	45	3	2	18,00	9,00	0,01
12	45	1	35	291,00	8,31	0,24
12	45	2	22	266,00	12,09	0,12
12	45	3	0	0,00	0,00	0,00
13	45	1	27	193,50	7,17	0,14
13	45	2	9	64,00	7,11	0,01
13	45	3	4	45,00	11,25	0,01
14	45	1	20	169,50	8,48	0,16
14	45	2	14	232,50	16,61	0,11
14	45	3	9	139,50	15,50	0,14
15	45	1	42	315,50	7,51	0,24
15	45	2	19	230,00	12,11	0,12
15	45	3	0	0,00	0,00	0,00
1	90	1	3	17,50	5,83	0,01
1	90	2	10	82,50	8,25	0,01
1	90	3	12	115,00	9,58	0,08
2	90	1	3	7,50	2,50	0,01
2	90	2	11	78,00	7,09	0,01
2	90	3	7	87,50	12,50	0,01
3	90	1	9	59,50	6,61	0,01

3	90	2	14	133,50	9,54	0,17
3	90	3	16	107,00	6,69	0,09
4	90	1	8	28,50	3,56	0,01
4	90	2	13	83,00	6,38	0,01
4	90	3	0	0,00	0,00	0,00
5	90	1	8	45,00	5,63	0,01
5	90	2	17	115,50	6,79	0,10
5	90	3	13	143,50	11,04	0,14
6	90	1	11	70,50	6,41	0,01
6	90	2	19	211,00	11,11	0,18
6	90	3	8	105,00	13,13	0,08
7	90	1	8	38,00	4,75	0,01
7	90	2	22	250,50	11,39	0,14
7	90	3	5	69,00	13,80	0,07
8	90	1	12	58,00	4,83	0,01
8	90	2	9	69,00	7,67	0,02
8	90	3	4	57,50	14,38	0,10
9	90	1	7	40,00	5,71	0,01
9	90	2	15	126,50	8,43	0,05
9	90	3	5	60,50	12,10	0,01
10	90	1	5	17,50	3,50	0,01
10	90	2	16	96,50	6,03	0,01
10	90	3	14	124,00	8,86	0,09
11	90	1	18	126,50	7,03	0,07
11	90	2	9	71,50	7,94	0,09
11	90	3	11	97,50	8,86	0,07
12	90	1	7	20,00	2,86	0,01
12	90	2	13	47,50	3,65	0,01
12	90	3	4	3,50	0,88	0,01
13	90	1	0	0,00	0,00	0,00
13	90	2	0	0,00	0,00	0,00
13	90	3	0	0,00	0,00	0,00
14	90	1	13	109,00	8,38	0,07
14	90	2	16	232,50	14,53	0,22
14	90	3	6	70,50	11,75	0,01
15	90	1	13	98,00	7,54	0,08
15	90	2	11	122,50	11,14	0,17
15	90	3	6	48,00	8,00	0,01