

Kommission für Entwicklungsfragen
Österreichische Akademie der Wissenschaften
Dr. Ignaz Seipel - Platz 2
1010 Wien

Endbericht – KEF Projekt 121– Oktober 2006

Ingenieurb biologische Uferschutzmaßnahmen an Bächen und Flüssen in Südbrasilien



Projektleitung:

O. Univ. Prof. Dr. Florin Florineth – BOKU

Universität für Bodenkultur, Wien / Österreich



Prof. Dr. Miguel A. Durlo – UFSM

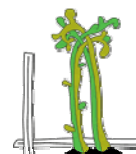
Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul / Brasil



Projektbearbeitung:

Dipl. Ing. Fabrício J. Sutili – IBLB

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
Peter Jordan- Strasse 82 / 1190 Wien



INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	<u>2</u>
1.1	KURZBESCHREIBUNG	2
1.2	FRAGESTELLUNG UND ZIELE	3
1.3	RELEVANZ DES THEMAS FÜR SÜDBRASILIEN	4
2	REGION UND UNTERSUCHUNGSGEBIET	<u>4</u>
2.1	LAGE UND HYDROLOGIE	4
2.2	KLIMA	6
2.3	GEOMORPHOLOGIE, GEOLOGIE UND BÖDEN	7
2.4	VEGETATION	10
2.5	WIRTSCHAFT UND LANDNUTZUNG	13
2.6	BEVÖLKERUNG UND GESCHICHTE	14
2.7	PROBLEMSTELLUNGEN IM EINZUGSGEBIET UND AN DEN FLUSSUFERN	15
3	BESCHREIBUNG DES PFLANZENMATERIALS	<u>18</u>
4	EIGNUNG VON UFERGEHÖLZEN	<u>19</u>
4.1	METHODEN ZUR UNTERSUCHUNG DER SPROSSWURZELBILDUNG	20
4.2	ERGEBNISSE DER SPROSSWURZELBILDUNG VON ÜBERERDETEN PFLANZEN	24
4.3	ERGEBNISSE DER SPROSSWURZELBILDUNG VON IN WASSER EINGELEGTE PFLANZEN	29
4.4	METHODEN ZUR UNTERSUCHUNG DER BIEGEFESTIGKEIT	32
4.5	ERGEBNISSE DER BIEGEFESTIGKEIT	36
4.6	SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE EIGNUNG VON UFERGEHÖLZEN	41
5	AUSGEFÜHRTE INGENIEURBIOLOGISCHE BAUWEISEN	<u>42</u>
5.1	ARROIO GUARDA-MOR 2003	42
5.2	RIO SOTURNO 2005	49
5.3	ARROIO VALE VÊNETO 2005	57
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	<u>61</u>
7	LITERATURVERZEICHNIS	<u>62</u>

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

1.1 KURZBESCHREIBUNG

Ingenieurbioologische Bauweisen zur Sicherung von Fluss- und Bachufern haben sich in Europa und Nordamerika durchgesetzt, weil sie dauerhaft funktionieren, primär aus nachwachsenden Ressourcen hergestellt werden und – richtig eingesetzt – ökologisch wertvoll sind.

Damit diese landschafts- und ressourcenschonenden Maßnahmen auch in Brasilien durchgeführt werden können, müssen die geeigneten Gehölze gesucht und getestet werden, sowie verschiedene Bauweisen den dortigen Klima- und Arbeitsbedingungen angepasst werden.

Dies geschieht in diesem Projekt durch die Untersuchung verschiedener Gehölze auf ihre Fähigkeit zur Adventivwurzelbildung und die „in situ“ Erprobung verschiedener Bauweisen unter regionalen und lokalen Standortbedingungen.

Das Monitoring umfasst wissenschaftliche Kontrollen und eine entsprechende Aufbereitung und Darstellung der Ergebnisse, damit diese sowohl in Brasilien als auch in anderen südamerikanischen Staaten angewendet werden können - vor allem in Entwicklungsländern, wo menschliche Arbeitskraft in hohem Ausmaß zur Verfügung steht und ressourcenschonendes, nachhaltiges Arbeiten oberste Priorität hat.

Ingenieurbioologie versteht sich als die Lehre vom Einsatz von Pflanzen für Sicherungsarbeiten.

Das impliziert, dass praktisch ausschließlich erneuerbare Ressourcen verwendet werden und dass deren Einsatz zwangsläufig einen recht hohen Aufwand an menschlicher Arbeitskraft, größtenteils in Handarbeit, erfordert.

Aufgrund dieser Umstände eignet sich die Technik der Ingenieurbioologie sehr gut, wenn in Entwicklungsländern Sicherungsarbeiten nachhaltig durchgeführt werden sollen.

Die Anwendung ingenieurbioologischer Bauweisen ist in Entwicklungsländern besonders vorteilhaft, weil oft teure Materialien und Maschinen nicht zur Verfügung stehen oder leistbar sind und genügend Personen eine Arbeits- und Verdienstmöglichkeit suchen. Gerade in diesem Spannungsfeld wird der Ingenieurbioologie großes Potential zugeschrieben.

1.2 FRAGESTELLUNG UND ZIELE

Die Voraussetzung für die Durchführung ingenieurbioologischer Maßnahmen ist das Vorhandensein geeigneter standortangepasster Gehölze, die durch Steckholz vegetativ vermehrbar sein müssen oder als bewurzelte Pflanzen im überschütteten Stammabschnitt Adventivwurzeln bilden. Die Kenntnis, welche Gehölze geeignet sind, fehlt bei vielen Pflanzen in Südbrasilien. Im Gegensatz zum ursprünglichen Titel des Forschungsprojektes werden die Untersuchungen auf mehrere Bäche und Flüsse in Südbrasilien ausgeweitet. Daher ergeben sich für ingenieurbioologische Sicherungsmaßnahmen folgende Fragestellungen:

1. Arten

- Welche Gehölze Südbrasilien sind durch Steckholz vermehrbar?
- Welche sind in der Lage, Adventivwurzeln zu bilden?
- Welche sind stockausschlagfähig und als schnell wachsende Pionierpflanzen geeignet?

2. Bauweisen

- Welche ingenieurbioologische Bauweisen eignen sich zur Anwendung in Südbrasilien im Allgemeinen und zum Uferschutz an den Flüssen Soturno, Vacacaí Mirim und deren Nebenflüssen (Arroio Guarda-mor und Arroio Vale Vêneto) im Speziellen?
- Wie sind die klimatischen Bedingungen, das Gewässerregime, die geologische und bodenkundliche Situation bei Bau und Pflege ingenieurbioologischer Maßnahmen zu berücksichtigen?

In diesem Zusammenhang bestehen für dieses Forschungsprojekt in Südbrasilien folgende Ziele:

- 1 Erkundung der ingenieurbioologischen Eigenschaften der Ufervegetation an Flüssen und Bächen.
- 2 Verschiedene Pflanzenarten auf ihre ingenieurbioologische Eignung und ihr Verhalten in verschiedenen Jahreszeiten zu testen. Auch die der Pflanzenarten sollen untersucht werden.
- 3 Exemplarische Anlage einiger ingenieurbioologischer Bauten mit nachfolgenden Pflegemaßnahmen zur Stabilisierung von Gewässeruferrn.

Die Aufgabe war, eine genaue Ufergehölzanalyse an den Flüssen Südbrasilien durchzuführen und dann entsprechende hydraulische Berechnungen für Planung und Bau von ingenieurbioologischen Ufersicherungen und für die Kontrolle der Entwicklung und Wirksamkeit dieser Ufersicherungen bei Hochwässern anzustellen.

1.3 RELEVANZ DES THEMAS FÜR SÜDBRASILIEN

Das Thema ist aus folgenden Gründen für die Heimat-Institution (Departamento de Ciências Florestais / Universidade Federal de Santa Maria – DCFL / UFSM) und für das Heimatland sehr relevant:

1 – Verschiedenartigen Erosionsprobleme sind in Südbrasilien sehr weit verbreitet. Besonders die Ufer und die ufernahen Bereiche der Gewässer zeigen große Erosionen, die seit Jahren schwere Schäden an Kulturf lächen verursachen.

2 – Trotz der verursachten Schäden sind die ingenieurbioologischen Eigenschaften der Ufervegetation und die Arbeitsmethoden der Ingenieurbiologie in Südbrasilien noch nicht erforscht worden.

3 – Die Heimat-Institution, die „Universidade Federal de Santa Maria“ ist die einzige Institution im Bundesstaat (Rio Grande do Sul), die eine forstwirtschaftliche Fakultät besitzt. Obwohl diese Studienrichtung einige Gegenstände enthält, die sich zum Teil mit den Fragen von Bodenerosionen beschäftigen, ist die Ingenieurbiologie bis heute kaum bekannt.

4 – Die Weiterentwicklung dieses ökologisch bedeutenden Fachgebietes ist also sowohl für die Lehre als auch für die Praxis von großer Relevanz.

2 REGION UND UNTERSUCHUNGSGEBIET

2.1 LAGE UND HYDROLOGIE

Die südlichste Region Brasiliens setzt sich aus den drei Bundesstaaten Paraná, Santa Catarina und Rio Grande do Sul zusammen. Der Süden ist zwar die kleinste Region Brasiliens, jedoch die zweitgrößte Industrie-Region, wo die beste Lebensqualität Brasiliens zu finden ist.

Rio Grande do Sul (Kurzzeichen RS) ist der südlichste Bundesstaat von Brasilien, er liegt zwischen dem 27. und 34. südlichen Breitengrad und dem 50. und 58. westlichen Längengrad. Er hat eine Fläche von mehr als 282.000 km² (einschließlich Binnengewässer) und ist damit etwa dreimal so groß wie Österreich. Der Bundesstaat Rio Grande do Sul gliedert sich in 35 Regionen (Distrikte) mit 496 Gemeinden (Städte). Der Bundesstaat grenzt im Süden an Uruguay und im Westen an Argentinien. Im Osten wird

Rio Grande do Sul vom Atlantik begrenzt, im Norden durch den brasilianischen Bundesstaat Santa Catarina, von dem es durch den Rio Uruguai getrennt ist (Abb. 2.1.1).

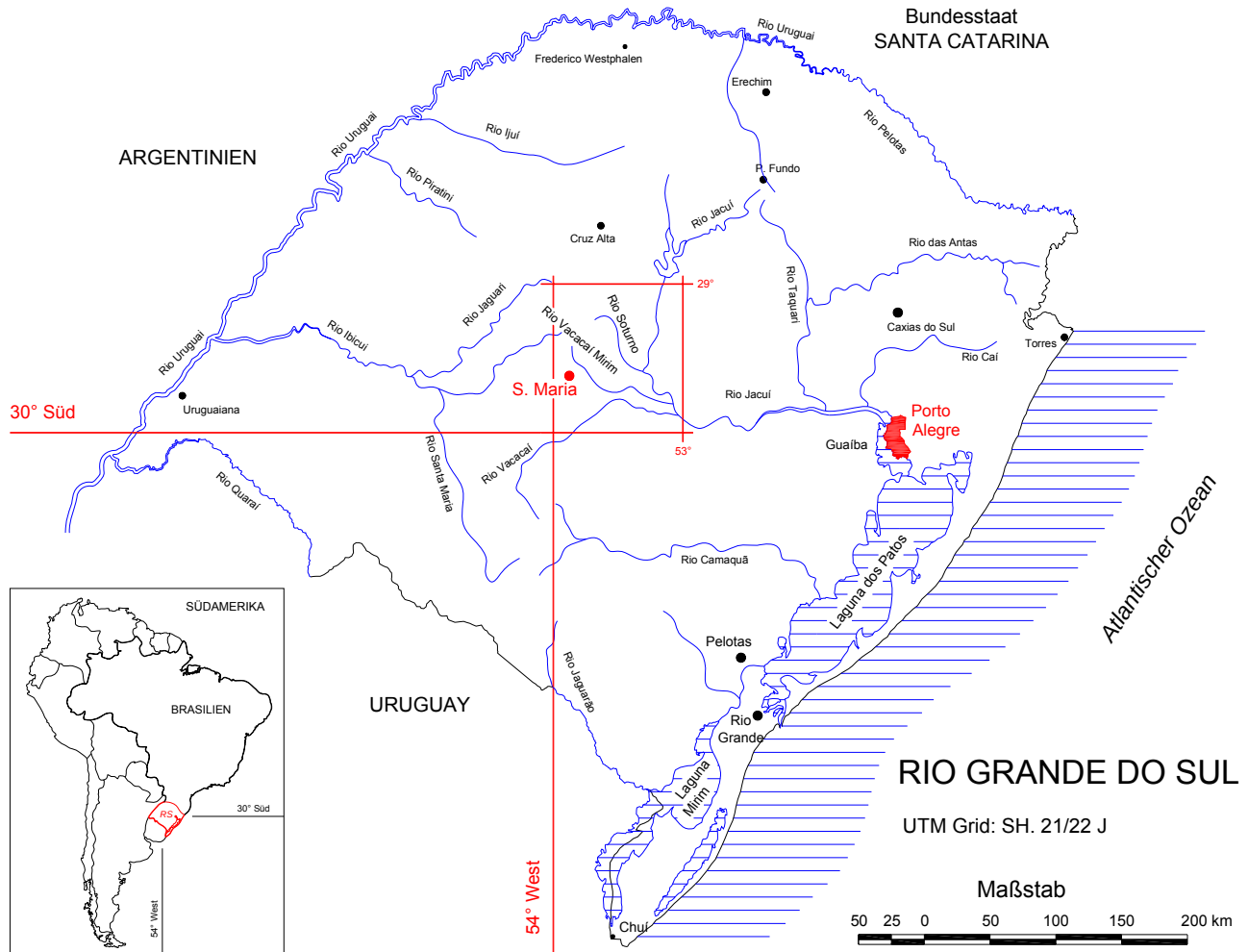


Abbildung 2.1.1: Der Bundesstaat Rio Grande do Sul mit seinen großen Flussläufen und dem Arbeitsgebiet, in der umrahmten Fläche.

Porto Alegre ist das ökonomische und kulturelle Zentrum im Osten des Landes und liegt am linken Ufer der Lagune von Guaíba, die hier in die Laguna dos Patos mündet. Die Entfernung von São Paulo beträgt 1.170 km – von Brasília 2.110 km. Porto Alegre ist auch die Hauptstadt des MERCOSUL (der bedeutendsten Wirtschaftsgemeinschaft Südamerikas), und hat etwas mehr als 1,4 Millionen Einwohner (IBGE, Schätzung 2005).

Das Studiengebiet selbst ist Teil einer hügeligen (500 Meter Seehöhe, im Norden) und flachen Region (in 100 Meter Seehöhe, im Süden), die sich nördlich des 30. Breitengrades über mehr als 400 km Ost-West erstreckt. Das Zentrum des Untersuchungsgebietes liegt

am Rio Soturno und Rio Vacacaí Mirim (im geographischen Zentrum von Rio Grande do Sul), nahe von Santa Maria und etwa 350 km westlich der Hauptstadt Porto Alegre (Abb. 2.1.1). Der Rio Soturno und der Rio Vacacaí Mirim sind zwei wichtige Zuflüsse des großen Rio Jacuí, dieser fließt in die Guaíba-Lagune.

2.2 KLIMA

Nach der Klimaeinteilung von Köppen (MORENO, 1961) gehört die Region des Studiengebietes (Zentrum von Rio Grande do Sul) zum subtropischen Klima vom Typ Cfa, d. h. subtropisch feucht, und wird öfter von südpolaren Luftmassen beeinflusst – deshalb unterscheidet es sich wesentlich von den anderen brasilianischen Bundesstaaten. Die Jahresmitteltemperatur liegt bei 19°C, der Jahresniederschlag übersteigt 1700 mm (Abb. 2.2.1) – im Mittel 25 Tage Frost pro Jahr und gelegentlich Schneefälle in größeren Seehöhen.

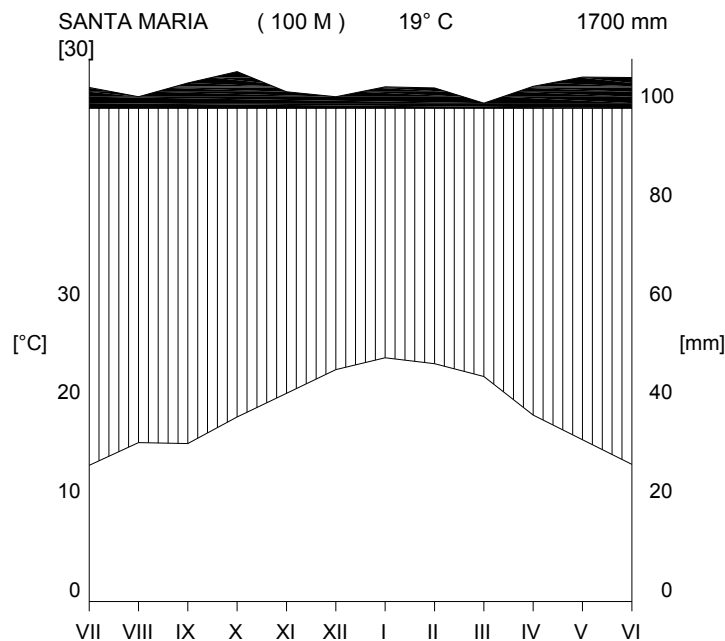


Abbildung 2.2.1: Klimadiagramm von Santa Maria Stadt.

Völlig anders stellt sich die Wettersituation in den Jahren des „El Niño“ dar, die Jahresniederschläge können dann 2500 mm betragen und übersteigen oft 400 mm in den regenreichen Monaten.

2.3 GEOMORPHOLOGIE, GEOLOGIE UND BÖDEN

Die Geomorphologie von Rio Grande do Sul gliedert sich in vier große natürliche Regionen:

Name		kurze Beschreibung
auf portugiesisch	auf deutsch	
Planalto	Hochebene	hügeliges Hochland aufgeteilt in ein Hochplateau und einen Gebirgszug (die Serra Geral)
Depressão Central	Zentraldepression	sedimentäre (alluviale) Tiefebene
Escudo Riograndense	Schild von Rio Grande do Sul	hügeliges Gebiet
Planície Litorânea	Seenplatte	Küstentiefebene

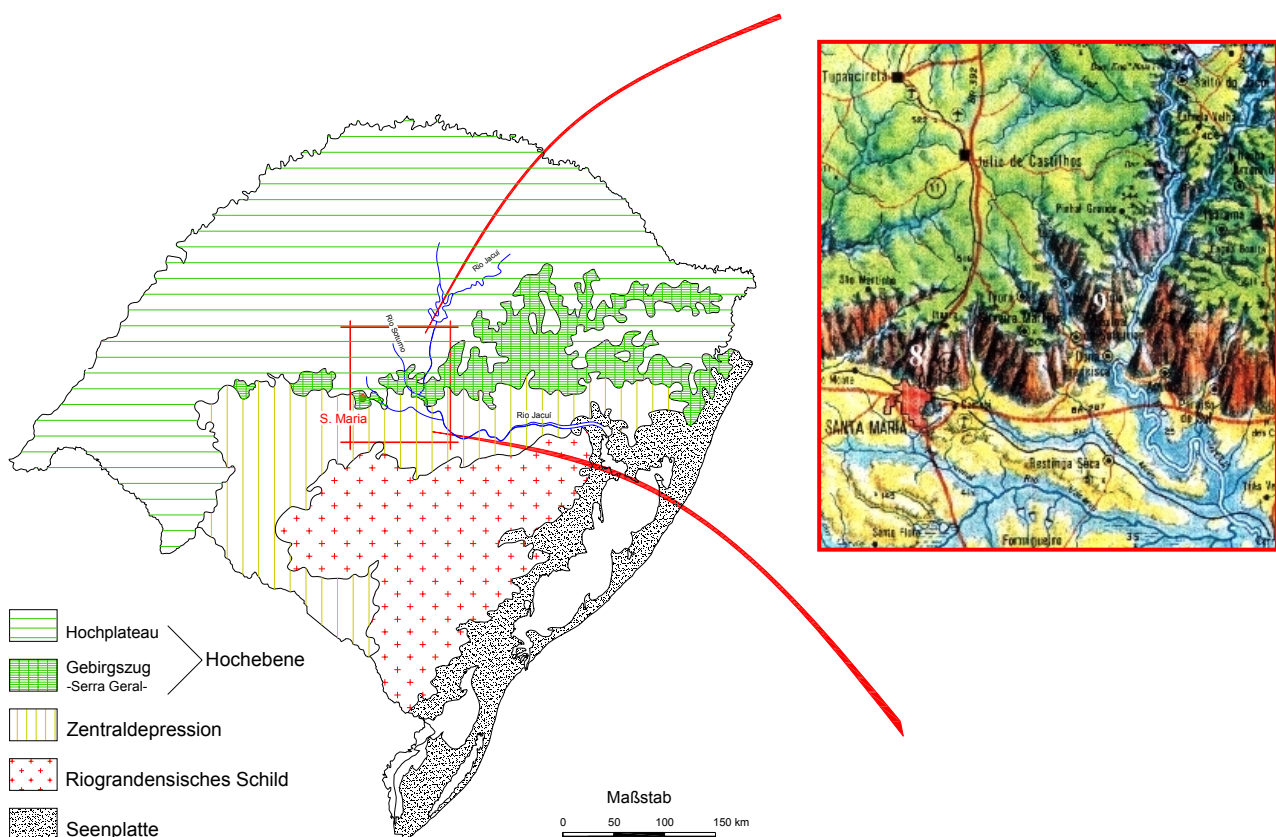


Abbildung 2.3.1: Geomorphologische Gliederung des Bundesstaates Rio Grande do Sul. Umrahmte Fläche = Arbeitsgebiet.

Der Gebirgszug „Serra Geral“ besitzt einen nordöstlichen Abfall mit einer Länge von ca. 150 km, der parallel zur Küste verläuft. Dieser ist der markanteste Teil der Serra Geral mit Höhen von 600 bis zu 1000 m über dem Meeresniveau.

Im Anschluss verläuft das Gebirge in W-O Richtung und wurde durch die Einwirkung des Jacuí-Flusses und seiner Nebenflüsse modelliert (DURLO, 1996). Dadurch zeigt sich die Landschaft als stark zerfurcht mit immer niedriger werdenden Hängen von Osten nach Westen. Die „Serra Geral“ geht südlich in die „Depressão Central“ (Zentraldepression) über.

Die Zentraldepression besteht aus zwei landschaftsbildenden Formationen, den „coxilhas“ (runde Hügel) und den alluvialen Ebenen. Der Rio Jacuí stellt den Hauptwasserlauf dieser Region dar, der mit den Unterläufen seiner Zuflüsse die Zentraldepression durchquert.

Der gesamte südliche Teil Brasiliens wurde geologisch geprägt von der gewaltigen vulkanischen Aktivität (Riss-Vulkanismus) im Mesozoikum (130 Mio. J.). Diese fand im Bereich des Beckens des Flusses Paraná an der Grenze der drei südlichsten brasilianischen Bundesländer (Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul) statt und bedeckte die beiden nördlicheren Bundesstaaten und Rio Grande do Sul bis zur heutigen Zentraldepression vollständig mit einer mächtigen Lavadecke, der „Serra Geral“, einer Basaltschicht, die von Westen nach Osten ansteigt (Abb. 2.3.2 und 2.3.3).

Diese geologische Formation „Serra Geral“ setzt sich bis zur Hälfte des Abfalles des Planalto (Hochplateau) fort, bestehend aus einer sauren Schicht im oberen und einer basischen Schicht im unteren Teilabschnitt. Die untere Hälfte des Abfalles besteht aus Sedimentgesteinen der Formation „Botucatu“.

In der Zentraldepression, am Fuße des Abfalles findet man die Formation „Caturrita“ und in der alluvialen Ebene der „Depressão Central“ die Formation „Santa Maria“, welche sich ebenfalls aus Sedimentgestein zusammensetzen. An den großen Flussläufen dominieren rezente Ablagerungen (Abb. 2.3.3).

Am Hochplateau, wo die obere Schicht der Formation „Serra Geral“ mit einem leicht hügeligen Relief vorherrscht, dominiert der Bodentyp Latosol (Name im internationalen Klassifikationssystem – ISSS, ISRIC, FAO; 1998).

Latosole sind mächtige Böden mit Aox – Box – C – Profilen des tropischen und subtropischen Klimas im Wechsel heiß-feuchter und trockener Perioden und sehr stabilem Gefüge. Sie entstehen aus unterschiedlichen Silikat-Gesteinen durch Mobilisierung und Wegfuhr von Si-Verbindungen bei hohen Temperaturen und Wasserüberschuss (SCHROEDER und BLUM, 1992).



Abbildung 2.3.2: Der Übergang der Hochebene zur Zentraldepression mit der Ufervegetation des Rio Soturno und Arroio Guarda-mor.

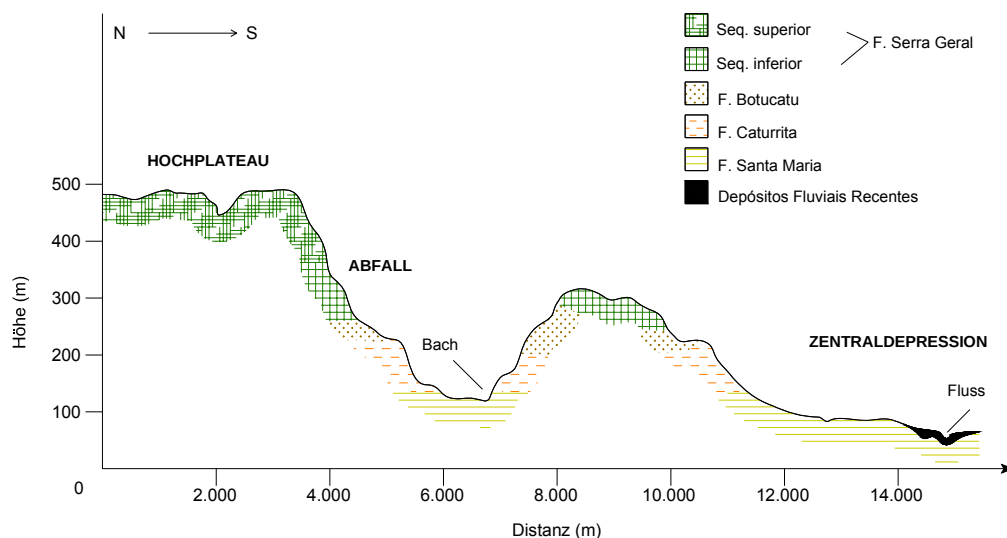


Abbildung 2.3.3: Geomorphologische und Geologische Einheiten am Abfall des Gebirgszuges "Serra Gerral".

Am Hochplateau, nahe zum Abfall des Planalto, wo die Hangneigung zunimmt, herrschen Nitisole und Litosole vor. Dieser Abschnitt ist geprägt von der Instabilität der Hänge und von Erdrutschen.

Darunter, in leicht welligem Relief oder in mittlerer Höhe der „runden Hügel“ („coxilhas“) findet man die Formationen „Botucatu“ und „Caturrita“. Diese beiden Formationen bestehen aus sandigem Gestein und bilden meist Alisole aus. Am Rande der Formation „Caturrita“ breitet sich die alluviale Ebene aus, wo die Formation „Santa Maria“ vorkommt. Hier findet man Gleysole und Planosole.

An den Ufern der Flussläufe zeigt sich die Präsenz rezenter Anschwemmungen, welche Fluvisole bilden. Es sind Böden aus fluviatilen Sedimenten. Sie werden regelmäßig überflutet, wobei frisches Sediment abgelagert wird.

2.4 VEGETATION

Der Bundesstaat Rio Grande do Sul wies bis weit in das 19. Jahrhundert hinein sein ursprüngliches Pflanzenkleid auf. Rund 60% der Landesfläche waren Graslandschaften („campos“), vorwiegend in den südlichen und westlichen Landesteilen (im Anschluss an die argentinisch-uruguayischen Pampas), sowie großflächig auch so genannte „Höhencampos“ auf dem Hochplateau. Nur etwa 40% der Fläche wurden ursprünglich von verschiedenen Waldgesellschaften eingenommen, die insbesondere im zentralen Rio Grande do Sul und im Becken des Flusses Uruguai lagen, aber auch als riesige Waldinseln verzahnt mit den Steppenflächen vorkamen (Abb. 2.4.1). Trotz vielfältiger Eingriffe, besonders im letzten Jahrhundert, sind auch heute noch anhand des Landschaftscharakters die ursprünglich dominierenden Formationen erkennbar (ANDRAE und DURLO, 1997).

Die Region des Studiengebietes und somit auch des Untersuchungsgebietes gehören zur „floresta estacional decidual“, den wechselgrünen, mesophytischen, subtropischen Wäldern Ost- und Südbrasilens, mit zum Teil großem Anteil an immergrünen Arten (DURLO, 1996).

Laut dem von der Regierung in Auftrag gegebenen Projekt RADAMBRASIL von 1986 erstreckte sich diese natürliche Waldformation über den Großteil der südlichen Abfälle der Hochebene und den Flächen mit hügeligem Relief der Einzugsgebiete des Flusses Ijuí, der Hochebene des Missões-Gebietes bis zu den alluvialen Terrassen der Flüsse Jacuí, Ibicuí und deren Nebenflüssen.

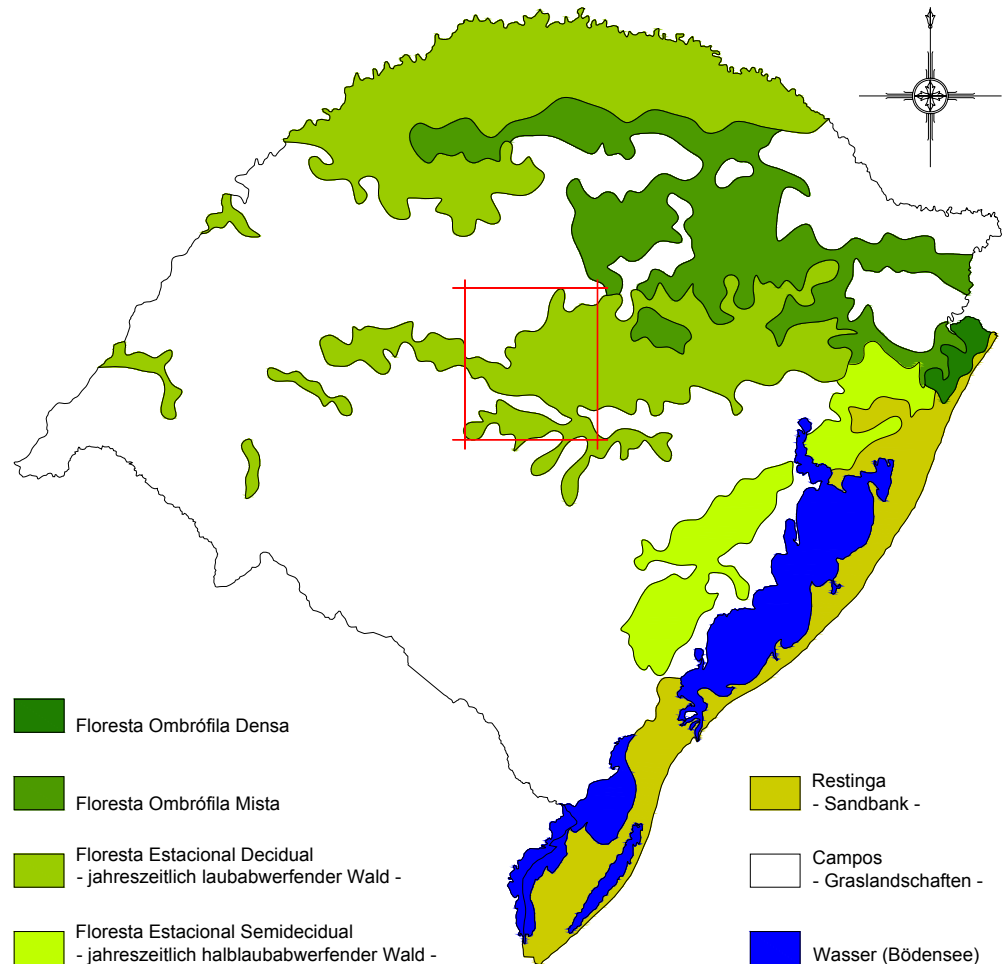


Abbildung 2.4.1: Potentiell natürliche Vegetation von Rio Grande do Sul.

Die „floresta estacional decidual“, zu deutsch auch „jahreszeitlich laubabwerfender Wald“ genannt, ist meist aus 2 Baumschichten und einer Strauchschicht aufgebaut:

die obere Baumschicht mit vereinzelt stehenden Bäumen (meist Leguminosen) ist im Winter laubabwerfend, mit einer Höhe zwischen 25 und 30 m, die untere besteht aus dicht stehenden, größtenteils immergrünen Arten mit einer Höhe von bis zu 20 m (Abb. 2.4.2).

Die herausragenden, laubabwerfenden Bäume geben diesem Wald sein charakteristisches Aussehen. Die in Südbrasilien jahreszeitlich bedingten klimatischen Unterschiede zeigen denselben Effekt auch bei Nicht-Leguminosen.



Abbildung 2.4.2: Aufbau der Baumschichten der jahreszeitlich laubabwerfenden Waldformation („floresta estacional decidual“) (RADAMBRASIL, 1986).

Die niedrigere, aber dominierende Baumschicht zeigt sich schon bei kleinen Unterschieden der Standortsfaktoren in sehr unterschiedlichen Artenzusammensetzungen. Die potentiell natürliche „floresta estacional decidual“ lässt sich als Abfolge der Höhenstufen in die alluviale, submontane und montane Waldgesellschaft einteilen (RADAMBRASIL, 1986).

Die jahreszeitlich laubabwerfende Waldformation des Studiengbietes erstreckt sich vom Talboden bis zur submontanen Höhenstufe:

Laut RADAMBRASIL (1986) bedeckt die alluviale Waldvegetation die Terrassen der Zentraldepression sowie die Ufer entlang des Flusses Jacuí und deren Nebenflüsse (Rio Soturno, Rio Vacacaí Mirim, usw.). Ein Großteil dieser Vegetationsdecke wurde stufenweise beseitigt und durch Reiskulturen und Weideflächen ersetzt. Entlang von Bächen und Flüssen sind nur noch Teilstrecken mit schmalen, teilweise anthropogen stark beeinflussten, Ufersäumen übrig geblieben. Die häufig überschwemmten Flächen an Gewässern mit langsamem Abfluss haben lichte Bestände, welche u.a. von *Salix humboldtiana* dominiert werden. An den Stellen mit selteneren Überschwemmungen, ist

der Bestand dicht und besteht größtenteils aus *Pouteria salicifolia*, *Sebastiania brasiliensis*, *Phyllanthus sellowianus*, *Caesearia sylvestris*, *Bambusa trinii* u.a.m.

Der submontane Laubwald kommt u.a. an den südlichen Abhängen der „Serra Geral“ vor und erstreckte sich von 30 bis 400 m Seehöhe.

Die heute noch vorhandenen natürlichen Wälder findet man vorzugsweise an den oberen Hanglagen, welche zu steil sind, um sie landwirtschaftlich zu nutzen. Der intensiven Entwaldung am Mittel- und Unterhang folgten weitläufige landwirtschaftliche und viehwirtschaftliche Nutzungen, welche den Schwierigkeiten durch das Relief angepasst waren. Jetzt werden meist nur mehr die flacheren Grundstücke für Wechsellkulturen (Tabak, Soja, Weizen, Mais, schwarze Bohnen), für Dauerkulturen (Zitrusfrüchte, und „Erva-Mate“), bzw. Aufforstung (Eukalyptus und Koniferen) verwendet. Die früheren landwirtschaftlichen Flächen an steileren Stellen wurden großteils aufgelassen („capoeiras“ = Brachflächen) oder durch Sekundärwälder ersetzt, welche jetzt hier dominieren.

2.5 WIRTSCHAFT UND LANDNUTZUNG

Rio Grande do Sul ist ein wichtiger Industriestandort Brasiliens. Durch seine geografische Lage im Süden Brasiliens und die direkte Grenze zu Argentinien und Uruguay hat Rio Grande do Sul eine starke strategische Bedeutung im MERCOSUL.

Die wichtigsten Wirtschaftszweige sind die Metall verarbeitende Industrie, die Lebensmittelindustrie, sowie die Leder-, Schuh- und Textilindustrie. Der Bundesstaat ist außerdem ein wichtiger Produzent von Getreide (Weizen, Reis, Mais) sowie Soja und hat zahlreiche Viehzuchtbetriebe (Rinder, Schweine, Geflügel). Der Bundesstaat hat eine historische Tradition im Export von Rindfleisch. Seine Herden gehört, mit rund 14 Millionen Stück, zu den größten des Landes. Um diesen wichtigsten Exportartikel herum haben sich Industrien der Lederverarbeitung und Schuhherstellung entwickelt.

Von großer Bedeutung für die Landwirtschaft ist aber auch die Kultur von Obstarten, die ein kühleres Klima bevorzugen; zum Beispiel wächst auf den sonnigen Berghängen der „Serra Geral“ Brasiliens bester Wein. Vor allem italienische Einwanderer brachten Rebstöcke aus ihren Heimatländern mit.

Eine besondere Rolle spielt auch der Anbau der Mate-Pflanze („Erva-Mate“) für den bitteren Tee der „Gaúchos“, deren Produkt ebenfalls exportiert wird.

2.6 BEVÖLKERUNG UND GESCHICHTE

Rio Grande do Sul war der letzte Bundesstaat im Süden Brasiliens, der von den Portugiesen in Besitz genommen worden ist. Ständige Streitigkeiten hinsichtlich des genauen Grenzverlaufs des Traktats von „Tordesilhas“ (von 1494), der die Besitzrechte über die Entdeckungen in der Neuen Welt, zwischen Portugiesen und Spaniern, durch einen festgelegten Meridian aufteilte, machte den Süden Brasiliens zum Schauplatz zahlreicher Auseinandersetzungen.

Indianer und die herumziehenden Abenteurer des 17. und 18. Jahrhunderts, die von den Spaniern-Gauchos genannt wurden, waren die ersten Einwohner des Bundeslandes. Im Lauf der Geschichte erwarben sie sich den Ruf eines kämpferischen Volkes, da sie die 1700 km lange Grenze zu Argentinien und Uruguay verteidigen mussten. Die Geschichte von Rio Grande do Sul und der Gaúchos vermischt sich mit jener der Einwanderer, die das Land kolonisierten. Ca. 80 % der Einwohner sind italienischer, deutscher, portugiesischer oder spanischer Herkunft. Aber der Bundesstaat beherbergt auch Nachkommen von Russen, Österreichern, Libanesen, Iren, Syrern, Franzosen, Holländern, Polen, Tschechen, Japanern, Belgiern und Schweden. Zu diesen Immigranten gesellen sich mit großem kulturprägendem Einfluss die Indianer und die Nachfahren der afrikanischen Sklaven.

Laut einer Volksbefragung 2004 leben mehr als 10 Millionen Menschen in Rio Grande do Sul, davon 19% im ländlichen Raum und 81% zählen zur Stadtbevölkerung (IBGE, 2006). Dies entspricht einer mittleren Bevölkerungsdichte von zirka 36 Einwohnern pro km². Rio Grande do Sul erstreckt sich über etwas mehr als 3% der Fläche Brasiliens, jedoch leben hier rund 6% der brasilianischen Bevölkerung.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts förderte der „Governo Imperial Brasileiro“ die Einreise europäischer Einwanderer, mit der Absicht, Rio Grande do Sul zu besiedeln, zu sichern und wirtschaftliche Aktivitäten zu entwickeln. Im Jahre 1824 kamen die ersten Immigranten aus Deutschland. Rund 50 Jahre später waren es Italiener, vor allem aus dem Veneto, wo sich wegen der Industriellen Revolution die Lebensbedingungen vieler Menschen sehr verschlechtert hatten.

Die ersten drei italienischen Kolonien wurden im Bergland der „Serra Geral“ nördlich von Porto Alegre gegründet. Das vierte Vorhaben der Kolonisierung mit italienischen Einwanderern („Quarta Colônia de Imigração Italiana“) lag im „Herzen“ von Rio Grande do

Sul. Die Region der „Quarta Colônia“ wurde 1877 in bis dahin noch unbewohnten Waldgebieten planmäßig erschlossen. Das Untersuchungsgebiet ist ein Teil davon.

Die Besonderheit dieser kolonialen Besiedlungen liegt darin, dass sich eine landwirtschaftliche Besitzstruktur gebildet hat, die grundlegend von dem bis dahin in Brasilien üblichen Schema abwich. Nicht Großbetriebe mit Sklaven- oder Lohnarbeit, sondern Kleinbetriebe im Familienbesitz (25 bis 50 ha) stellten die Wirtschaftseinheiten dar.

Während nach ANDRAE und DURLO (1997) andernorts in Brasilien soziale Konflikte durch ungleiche Landverteilung bzw. mangelnden Zugang zu Land vorkommen, gibt es in den kolonisierten Gebieten der Region mit einer Besitzstruktur bäuerlicher Familienbetriebe keine Konflikte.

Die Entwicklung der Landnutzung in der Quarta Colônia hat sich im Laufe der 100 jährigen Geschichte stets gewandelt, doch sie war, zum Unterschied von der Landnutzung in Brasilien, immer eine Polykultur mit starken Subsistenzanteilen (ANDRAE und DURLO, 1997).

2.7 PROBLEMSTELLUNGEN IM EINZUGSGEBIET UND AN DEN FLUSSUFERN

Das ingenieurbioologische Arbeitsfeld in Europa befasst sich wie eingangs erwähnt mit Sicherung der Uferflächen mit Hilfe von Pflanzen und vermehrt mit Restrukturierungsmaßnahmen an „hart“ verbauten Gewässern. So wird die Revitalisierung im Sinne der Sicherung und Wiederherstellung der „Ökologischen Funktionsfähigkeit“ vom Gewässer und seinem Umland in der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) als Zielsetzung formuliert.

In Südbrasilien kann aber von relativ „wild“ fließenden Gewässern gesprochen werden. Die landschaftstypischen Flussabschnitte im Studiengebiet und die Dynamik der Fliessgewässer (Erosion, Umlagerung und Ablagerung) sind am Rio Soturno zum überwiegenden Teil noch vorhanden. Doch ist nicht immer ausreichend Raum für natürliche Retentionsflächen der Fliessgewässer gegeben. Besonders an den Stellen, wo die Bauern zur Vergrößerung ihrer Felder die Ufervegetation abgeholzt haben und die Reisfelder oder Weideflächen bis an die Ufer reichen, entsteht ein „Spannungsfeld“ zwischen dem Raumbedürfnis der Flüsse und dem der Landnutzung (Abb. 2.7.1).



Abbildung 2.7.1: Abgeholztes und erodiertes Gleitufer am Rio Soturno (links) und am Arroio Vale Vêneto (rechts).

Wenn Anpflanzungen durchgeführt wurden und werden, wird in erster Linie Bambus oder Eukalyptus als Monokultur für die Böschungsstabilisierung gepflanzt. Diese Maßnahme wurde von der regionalen Behörde vorgeschlagen.

Dozenten der Universität für Santa Maria haben jedoch bei vielen Uferbegehungen die Erfahrung gemacht, dass die Bambusbestände den Hochwasserbelastungen nicht standhalten, da ganze Blöcke abbrechen und im Gewässerbett liegen bleiben (Abb. 2.7.2, links). So werden diese Bambusblöcke zu Barrieren, welche die Wassermassen zurückstauen und umlenken, sodass es häufig zu Flussbettverlagerungen kommt. Die Eukalyptuspflanzen haben keine gute Wurzelbildung und mit ihren großen Stämmen und Kronen sind sie instabil (Abb. 2.7.2, rechts), besonders wenn die Böschungen eine große Höhe aufweisen und aus sandigem, lockerem Material (was meistens der Fall ist) gebildet sind.



Abbildung 2.7.2: Ausgerissener Bambusblock im Arroio Guarda-mor (links) und instabile Eukalyptus Bäume im Rio Soturno (rechts).

Die Schutz- und Baumaßnahmen zur Ufersicherung und Gerinnestabilisierung werden in Südbrazilien sehr selten und darüber hinaus ohne technisches Wissen durchgeführt.

Ein Beispiel dafür ist der Versuch mit frischem Geschiebematerial Böschungen zuzuschütten, ohne jegliche Struktur oder Vegetation um dieses Material festzuhalten (Abb. 2.7.3, links). Ein zweites Beispiel (Abb. 2.7.3, rechts), ist die Verwendung von ungeeignetem und sehr schlecht gelagertem Material, das anschließend nicht durch entsprechende ingenieurbioologische Baumaßnahmen stabilisiert wurde.



Abbildung 2.7.3: Gerinneausbaggerung nach starker Geschiebeumlagerung durch den Arroio Guarda-mor (links) und Versuch einer Uferstabilisierung mit schlecht gebauter Mauer in Rio Vacacaí Mirim (rechts).

3 BESCHREIBUNG DES PFLANZENMATERIALS

Für ingenieurbioologische Ufersicherungsmaßnahmen werden vorzugsweise Pflanzen verwendet, die natürlich im unteren und mittleren Uferbereich vorkommen. Sie sind den Standortbedingungen optimal angepasst und können somit den angreifenden Kräften des fließenden Wassers wirkungsvoll entgegenwirken.

Pflanzen an Pionierstandorten wie Kiesbänken und Kiesinseln zeichnen sich durch die rasche Besiedelung der Rohböden und ihre Schnellwüchsigkeit aus. Diese Eigenschaften der Pionierpflanzen macht sich die Ingenieurbioologie oftmals zunutze.

Auch sollten strauchförmige Arten mit einer hohen Elastizität ausgewählt werden, da diese durch den geringeren Stammdurchmesser flexibler sind und vom fließenden Wasser niedergedrückt und überströmt werden können, was bei Hochwasser den Abfluss erleichtert und die Ufer besonders gut schützt.

Starre Sprosssteile hingegen werden umströmt, durch die Bildung von Turbulenzen ausgespült und je nach Auszugwiderstand halten die Gehölze der Schleppkraft des Wassers stand oder werden umgerissen und weggeschwemmt (FLORINETH, 2004).

Mit Hilfe der botanischen Literatur von Brasilien und des Botanikers Professor Dr. MARCHIORI war es möglich, die Auswahl der Pflanzenarten auf das Wissen der potentiell natürlichen Vegetation unseres Untersuchungsgebietes zu stützen. Daraufhin wurden neun Ufergehölzarten (strauch-, oder baumförmig) ausgewählt, die als potentiell geeignet erschienen. Auch je eine Gras- und eine Krautart wurden als geeignet erachtet, um bei den Bauwerken eingesetzt zu werden, sie wurden aber nicht ins Testprogramm einbezogen.

Die Pflanzenarten waren:

Art	Familie	Wuchsform
<i>Calliandra brevipes</i> Benth.	Leguminosae *	strauchförmig
<i>Calliandra tweediei</i> Benth.	Leguminosae *	strauchförmig
<i>Cynodon plectostachyus</i> (K. Schum.) Pilg.	Poaceae	grasartig
<i>Hedychium coronarium</i> J. König	Zingiberaceae	krautartig
<i>Morus nigra</i> L.	Moraceae	groß-baumförmig
<i>Phyllanthus sellowianus</i> Müll. Arg.	Euphorbiaceae	strauchförmig
<i>Pouteria salicifolia</i> (Spreng.) Radlk.	Sapotaceae	klein-baumförmig
<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	Salicaceae	groß-baumförmig
<i>Salix x rubens</i> Schrank = <i>S. alba</i> x <i>S. fragilis</i> (Fahl-W., Hohe W.)	Salicaceae	klein-baumförmig
<i>Sebastiania schottiana</i> (Müll. Arg.) Müll. Arg.	Euphorbiaceae	strauchförmig
<i>Terminalia australis</i> Camb.	Combretaceae	klein-baumförmig

* Unterfamilie Mimosoideae

Im unteren und mittleren Uferbereich der Flüsse der Zentraldepression findet man strauchförmige Arten wie *Calliandra sp.*, *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana* und kleinwüchsige Baumarten wie *Pouteria salicifolia* und *Terminalia australis*. Auch in diesem Bereich und etwas weiter vom Ufer entfernt kommt die Baumart *Salix humboldtiana* vor, eine häufige anzutreffende Baumart der Zentraldepression. LOMBARDO (1964), CABRERA et al. (1965) und REIZ (1967, 1988) beschreiben die Art als typisches rheophiles, uferbegleitendes Gehölz des Einzugsgebietes.

Cynodon plectostachyus, *Hedychium coronarium*, *Morus nigra* und *Salix x rubens* sind keine einheimischen Arten, aber wachsen überall im Einzugsgebiet und haben auch ingenieurbioologisches Potential. *Salix x rubens* ist schon in Europa eine bekannte ingenieurbioologische Pflanzenart.

4 EIGNUNG VON UFERGEHÖLZEN

4.1 METHODEN ZUR UNTERSUCHUNG DER SPROSSWURZELBILDUNG

Für die Untersuchung der Sprosswurzelbildung wurden die Pflanzen übererdet (Pflanzhügel), beziehungsweise ins Wasser eingelegt beobachtet.

Die übererdeten Pflanzen wurden in drei Beobachtungszyklen mit je zwei Pflanzhügeln untersucht, die Variante der im Wasser eingelegten Pflanzen ist ein ganzes Jahr lang (März 2005 bis März 2006) beobachtet worden.

4.1.1 Anlage des Versuchshügels

Bei „Vila Guarda-mor“, einem Weiler rund 8 km von Faxinal do Soturno Stadt entfernt, nahe am Arroio Guarda-mor wurde den ersten Versuchshügel gebaut. Der zweite wurde im Versuchsgarten der Universität von Santa Maria angelegt. Die Anlage und Methoden waren die gleichen für beide Pflanzhügel, nur die Beobachtungszyklen, Orte und die Pflanzenarten waren unterschiedlich.

Die Beobachtungszyklen für die übererdeten Versuchspflanzen waren folgende:

1. 11. April bis 09. September 2003, Herbst und Winter am Arroio Guarda-mor
2. 20. Februar bis 17. Juli 2004, Sommer und Herbst im Versuchsgarten der Universität
3. 04. September 2004 bis 05. Februar 2005, Frühling und Sommer im Versuchsgarten

Das Pflanzenmaterial für die übererdete Versuchsreihe bestand aus 6 Arten in Form von Steckholz, wie die nachfolgende Tabelle zeigt.

Art	Pflanzhügel			in Wasser eingelegt
	1.	2.	3.	
<i>Calliandra brevipes</i>	X			
<i>Morus nigra</i>				X
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	X	X	X	X
<i>Pouteria salicifolia</i>		X		X
<i>Salix humboldtiana</i>	X	X		
<i>Salix x rubens</i>		X	X	X
<i>Sebastiania schottiana</i>	X	X	X	X
<i>Terminalia australis</i>				X

Tabelle 4.1.1.1: Pflanzenarten für übererdete und im Wasser eingelegte Methode.

Mit Hilfe eines Baggers und mit Handarbeit wurde ein 30 m langer, 5 m breiter und 1,5 m hoher Hügel mit dem dort befindlichen Erdmaterial errichtet (Abb. 4.1.1.1). Der Versuchshügel mit den beiden 30 m langen Böschungsflächen wurde in Ost – West Richtung angelegt.



Abbildung 4.1.1.1: Errichtung des Versuchshügels am Arroio Guarda-mor (links), und im Versuchsgarten der Universität von Santa Maria (rechts).

Die zweireihigen Heckenbuschlagen wurden mit einem Bermenabstand von einem Meter und einer Länge von 30 m, jeweils an der Ost- und Westseite des Hügels angelegt. Die Bermen, mit einer Tiefe von rund 50 cm und der Innenneigung von 10°, wurden mit dem Spaten ausgestochen (Abb. 4.1.1.2).

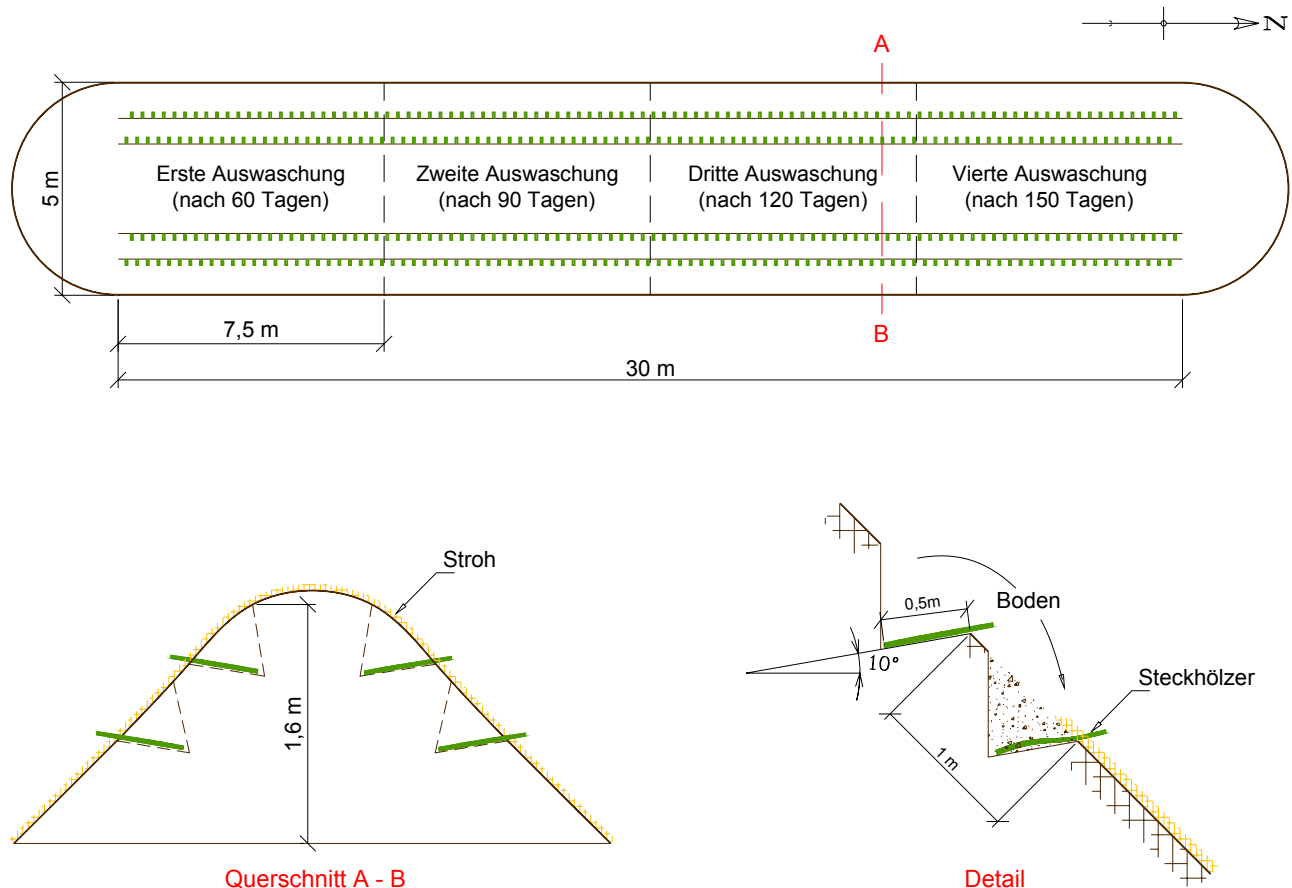


Abbildung 4.1.1.2: Versuchshügelschema.

Die Steckhölzer, mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 1 bis 6 cm, wurden an den Ufern der Flüsse Rio Soturno, Vacacaí Mirin und Jacuí geschnitten. Von jeder Art wurden immer 96 Stück mit ca. 50 cm Länge genommen, in den Hügel eingebaut und in vier Etappen wieder ausgewaschen.

Demnach wurde der Hügel für die vier Auswaschungen in vier Teilabschnitte unterteilt. Jedem dieser vier Abschnitte wurden 24 Stück pro Art zugeordnet und diese wiederum auf die Ost- und Westseite und auf die unteren und oberen Bermen gleichmäßig verteilt (Abb. 4.1.1.2).

Für den dritten Beobachtungszyklus wurden 144 Stück pro Art genommen (36 pro Teilabschnitt). Das Ziel war, das Verhältnis zwischen Durchmesser und Sprosswurzelbildung besser beobachten zu können.

Die Steckhölzer wurden in einem Abstand von 20 cm in die Terrassen eingelegt. Die untere bestückte Berme wurde mit dem Aushubmaterial der oberen Berme befüllt.

Abschließend wurden die Pflanzen markiert. Als Verdunstungs- und Erosionsschutz wurde Stroh auf den ganzen Versuchshügel aufgebracht. Der Pflanzhügel am Arroio Guarda-mor wurde eingezäunt, da Gefahr bestand, dass weidende Rinder das Pflanzenmaterial abfressen könnten (Abb. 4.1.1.3).



Abbildung 4.1.1.3: Der fertige Pflanzhügel mit, Reisstroh abgedeckt und eingezäunt, am Arroio Guarda-mor (links), und im Versuchsgarten der Universität von Santa Maria (rechts).

Nach 60 Tagen wurde begonnen monatlich eine Auswaschung durchzuführen, wobei jeweils zwischen 24 und 36 Pflanzen jeder getesteten Art freigelegt werden sind.

Die Lagen wurden mittels Spaten so gut als möglich freigelegt und dann mit einem starken Wasserstrahl vorsichtig ausgeschwemmt (Abb. 4.1.1.4).



Abbildung 4.1.1.4: Auswaschung der Pflanzen im Versuchsgarten der Universität von Santa Maria, erste Auswaschung (links) und Detail der vierten Auswaschung (rechts).

4.1.2 Im Wasser eingelegte Pflanzen

Die im Wasser eingelegten Pflanzen wurden ein ganzes Jahr beobachtet: von März 2005 bis März 2006. Das Pflanzenmaterial für diese Methode (Versuchsreihe) bestand aus 7 Arten in Form von Steckholz, siehe Tabelle 4.1.1.1.

Von jeder Art wurden monatlich 20 Stück (Durchmesser von 1 bis 6 cm und 40 cm lang) genommen, in eine Holzkiste mit Wasser eingelegt (Abb. 4.1.2.1), um in drei monatlichen Etappen beobachtet zu werden.

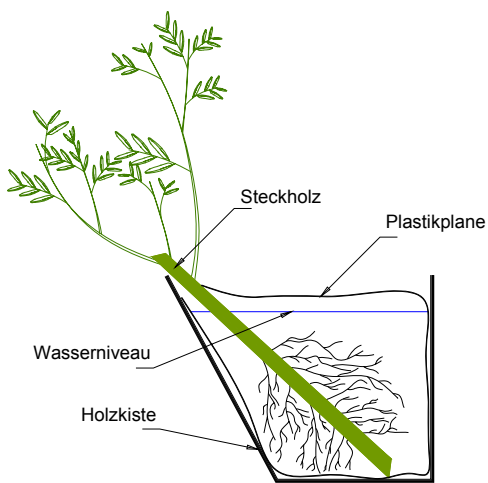


Abbildung 4.1.2.1: Im Wasser eingelegte Stekhölzer im Versuchsgarten – September 2005.

4.2 ERGEBNISSE DER SPROSSWURZELBILDUNG VON ÜBERERDETEN PFLANZEN

ALTREITER und PLUNGER (2004) haben im Rahmen ihrer Diplomarbeit am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) der Universität für Bodenkultur, Wien (BOKU) den ersten Beobachtungszyklus für die übererdeten Pflanzen untersucht. Die zwei folgenden Beobachtungszyklen wurden mit derselben Vorgehensweise angesetzt und durchgeführt:

- Die Anwuchsrate wurde aus der Anzahl der ausgewaschenen Pflanzen, minus der toten Pflanzen, dividiert durch die Gesamtanzahl, ermittelt.
- Die mittlere Anzahl der Sprosse pro Pflanze wurde aus der Anzahl aller Sprosse der ausgewaschenen Pflanzen, dividiert durch die Anzahl der lebenden Pflanzen, ermittelt.
- Die mittlere Gesamtlänge der Sprosse pro Pflanze erhält man, indem man die Gesamtsumme der Sprosslängen der ausgewaschenen Pflanzen durch die Anzahl der lebenden Pflanzen teilt.
- Da nicht alle Pflanzen die gleiche Länge am übererdeten Stammabschnitt haben, und somit die Adventivwurzel-Anzahl pro Pflanze nicht mit anderen Pflanzen verglichen werden kann, behilft man sich mit der mittleren Anzahl von Adventivwurzeln pro Laufmeter übererdeter Stammabschnitte. Die Anzahl der gebildeten Adventivwurzeln wird zusammengezählt und durch die Gesamtlänge der übererdeten Stammabschnitte der lebenden Pflanzen dividiert.
- Zur Berechnung der mittleren Länge der Adventivwurzeln wurden die Längen der einzelnen Wurzeln pro Art und Monat zusammengezählt und durch die Anzahl der Adventivwurzeln geteilt.

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Messwerte der drei Beobachtungszyklen im Vergleich vorgestellt.

Die folgende Abbildung (4.2.1) präsentiert die Überlebensraten für die sechs Arten in den drei Beobachtungszyklen.

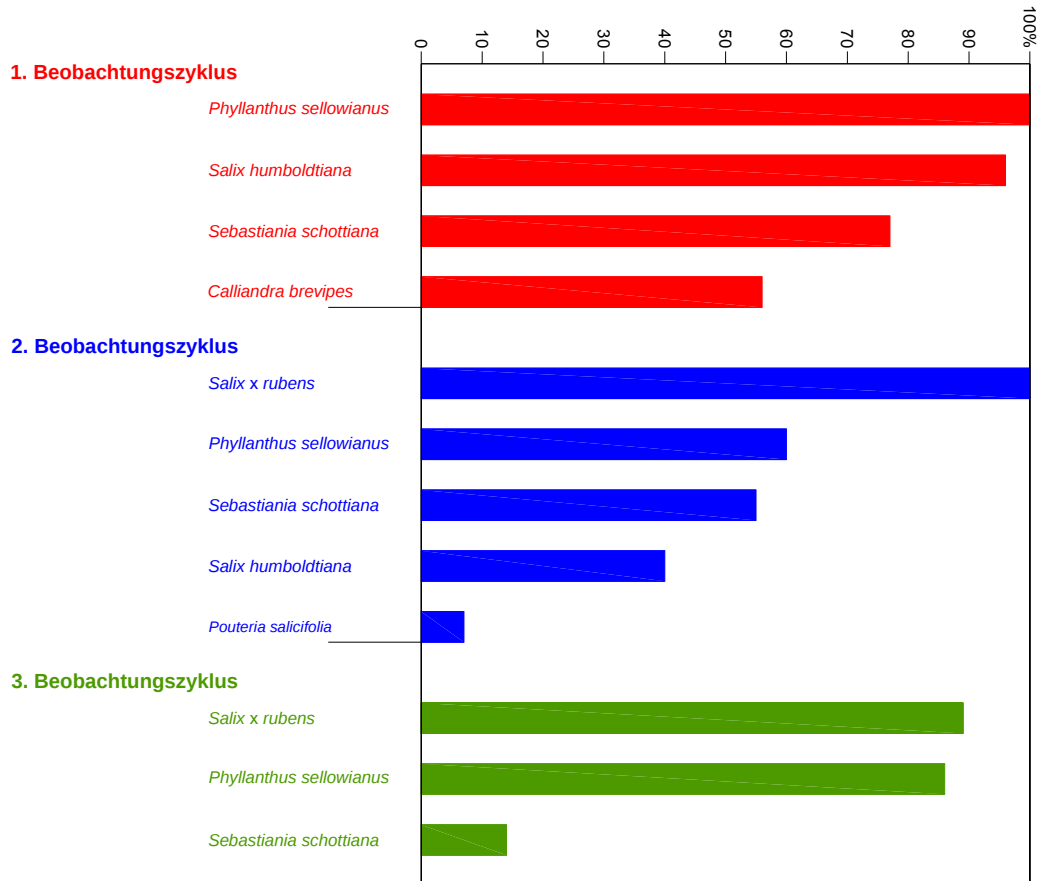


Abbildung 4.2.1: Anzahl der überlebenden Pflanzen in Prozent nach 150.

Alle Arten zeigen gute oder optimale Überlebensraten, nur *Calliandra brevipes* und *Pouteria salicifolia* haben nach den 5 Monaten fast keine Adventivwurzeln gebildet.

Die Ausbildung der Adventivwurzeln und die hohe Vitalität der beiden Salicaceae und Euphorbiaceae Arten sind in der Abbildung 4.2.2 dargestellt.

In der Graphik (Abb. 4.2.3) ist die starke Zunahme der durchschnittlichen der Längensumme der Sprosse und der Anzahl der Adventivwurzeln pro Laufmeter übererdeter Stammabschnitt bei *Phyllanthus sellowianus* im dritten Beobachtungszyklus (Frühling – Sommer) ersichtlich. Diese Verhaltensweise wurde auch bei den anderen Arten festgestellt.

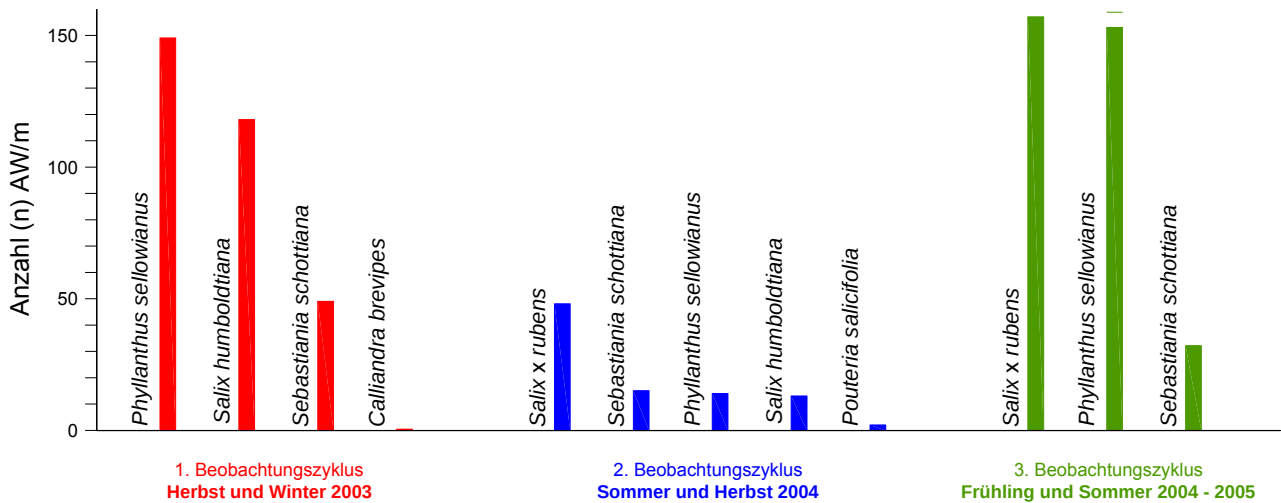


Abbildung 4.2.2: Durchschnittliche Anzahl der Adventivwurzeln pro Laufmeter übererdeter Stammabschnitte (AW/m), jeweils im letzten Monat des Beobachtungszyklus.

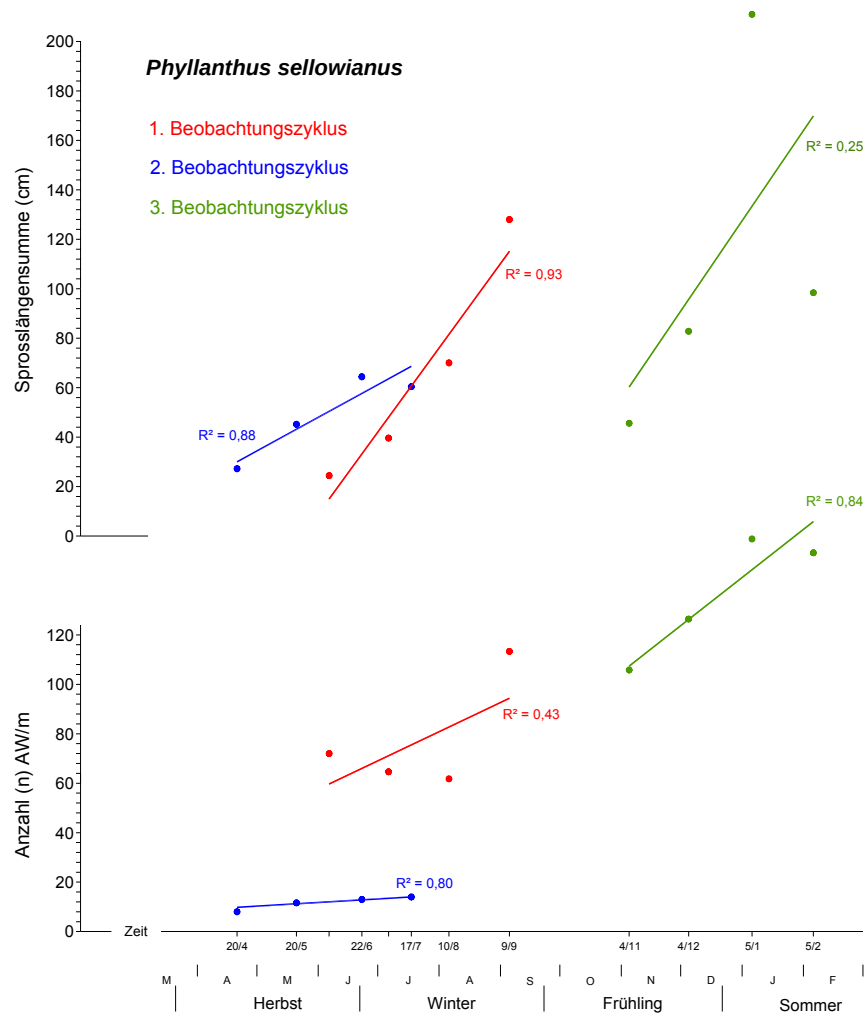


Abbildung 4.2.3: Durchschnittliche Sprosslängensumme pro Pflanze (oben) und durchschnittliche Anzahl der Adventivwurzeln pro Laufmeter (AW/m) übererdeten Stammabschnittes (unten) von *Phyllanthus sellowianus* in den drei Beobachtungszyklen.

Im dritten Beobachtungszyklus wurden nur drei Pflanzenarten beobachtet (*Salix x rubens*, *Sebastiania schottiana* und *Phyllanthus sellowianus*), alle sind sehr gut angewachsen. Diesen drei Arten, sowie *Salix humboldtiana*, zeigten sich für die ingenieurbioologische Verwendung am besten geeignet.

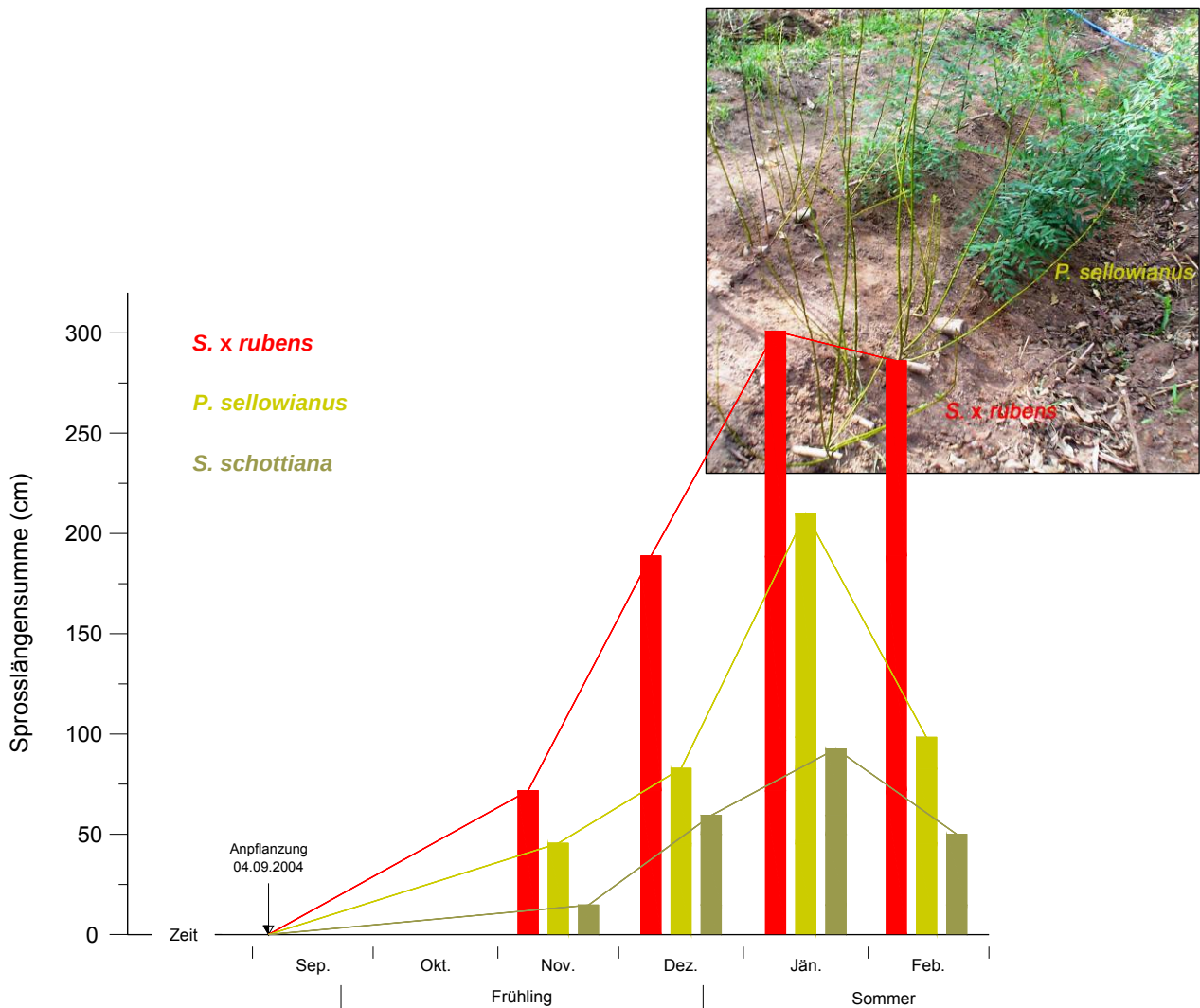


Abbildung 4.2.4: Vergleich der durchschnittlichen Sprosslängensumme pro Pflanze von *Salix x rubens*, *Phyllanthus sellowianus* und *Sebastiania schottiana*.

Im dritten Beobachtungszyklus sind die Pflanzen stark gewachsen, sodass nach 150 Tagen *Salix x rubens* nun durchschnittlich 80 cm lange oberirdische Sprosse aufwies, die Sprosse von *Phyllanthus sellowianus* und *Sebastiania schottiana* waren durchschnittlich 60 cm lang.

Zusätzlich kann man erkennen, dass *Salix x rubens* und *Phyllanthus sellowianus* im oberirdischen Wachstum stärker sind als *Sebastiania schottiana*.

Das Ergebnis der Untersuchung von Steckholzpflanzen (3. Beobachtungszyklus) mit Spross und Wurzel ist in Abbildung 4.2.5 dargestellt, ebenso die Verteilung der Anteile (%) der Wurzelanzahlen in verschiedenen Bodentiefen.

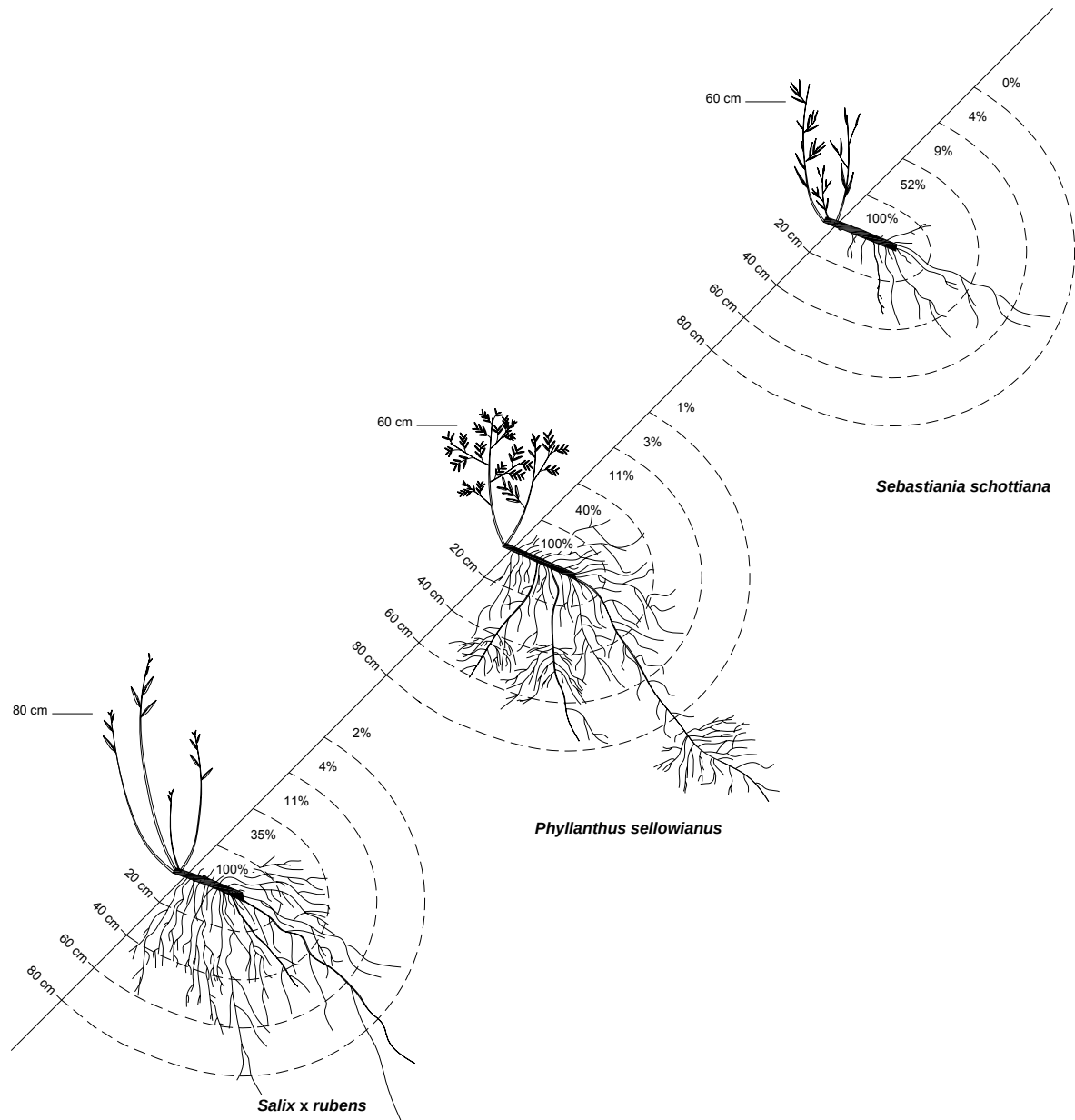
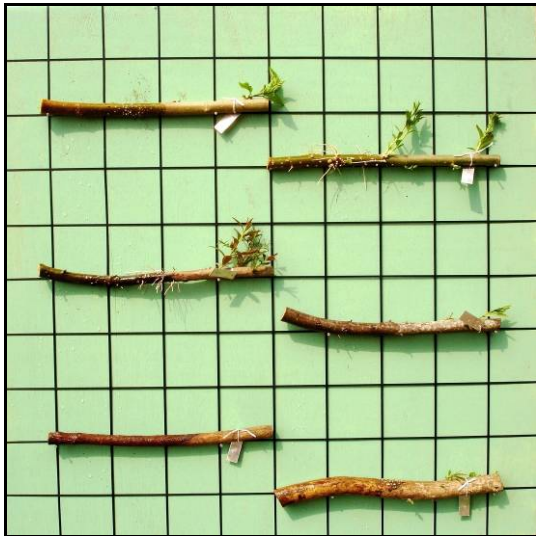


Abbildung 4.2.5: Entwicklung und Gestalt von Steckholzern, 150 Tage nach deren Pflanzung (September 2004 bis Februar 2005).

4.3 ERGEBNISSE DER SPROSSWURZELBILDUNG VON IN WASSER EINGELEGTE PFLANZEN



10 x 10cm

Abbildung 4.3.1: Steckhölzer, nachdem sie einen Monat lang in Wasser eingelegt waren (von oben nach unten: *Morus nigra*, *Salix x rubens*, *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Pouteria salicifolia* und *Terminalia australis*).



10 x 10cm

Abbildung 4.3.2: Steckhölzer, nachdem sie zwei Monate lang in Wasser eingelegt waren (von oben nach unten: *Morus nigra*, *Salix x rubens*, *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Pouteria salicifolia* und *Terminalia australis*).



10 x 10cm

Abbildung 4.3.3: Steckhölzer, nachdem sie drei Monate lang in Wasser eingelegt waren (von oben nach unten: *Morus nigra*, *Salix x rubens*, *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Pouteria salicifolia* und *Terminalia australis*).

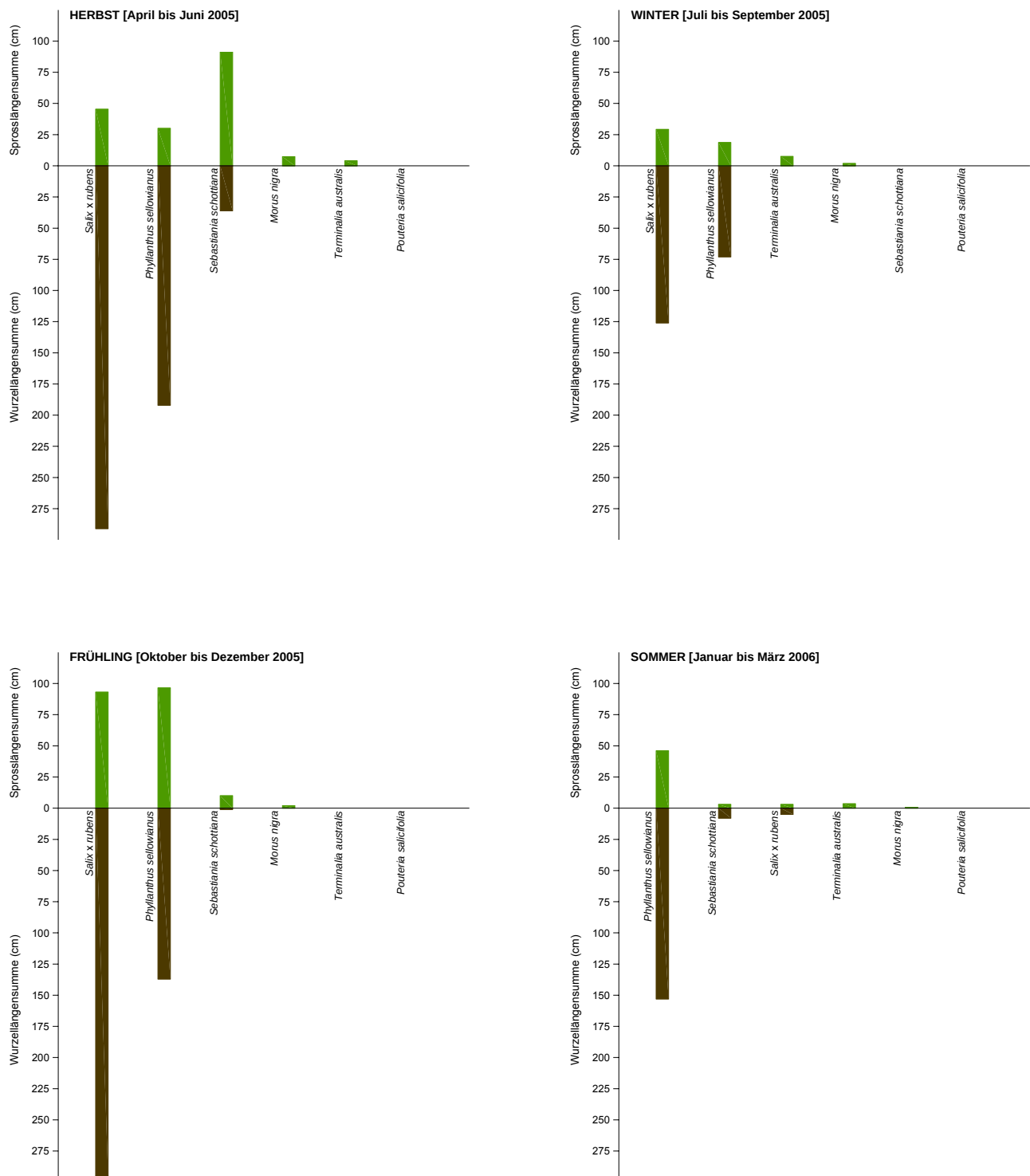


Abbildung 4.3.4:

Vergleich der durchschnittlichen Summe der Längen von Spross- und Adventivwurzel pro Steckholz (im Wasser eingelegt) während der vier Jahreszeiten.

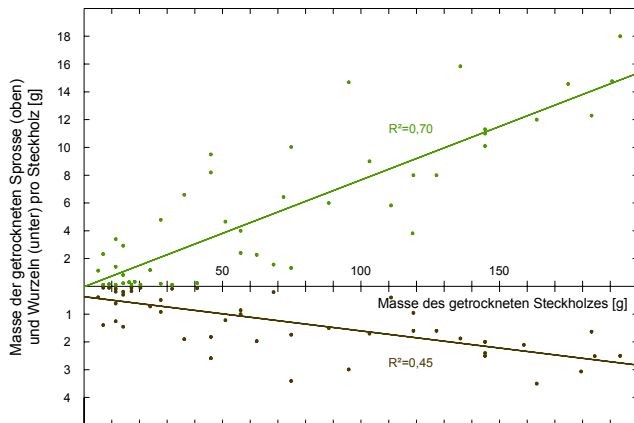


Abbildung 4.3.5: Korrelationen zwischen der Steckholztrockenmasse, Sprosstrockenmasse und Wurzeltrockenmasse von *Salix x rubens* im Frühling 2005.

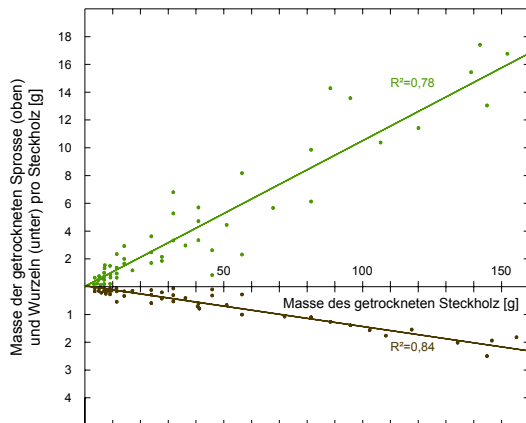


Abbildung 4.3.6: Korrelationen zwischen der Steckholztrockenmasse, Sprosstrockenmasse und Wurzeltrockenmasse von *Phyllanthus sellowianus* im Frühling 2005.

Die Ergebnisse der übererdeten Pflanzversuche, so wie auch die Ergebnisse der in Wasser eingelegten Pflanzen ergeben ein ähnliches Bild. Die Salicaceae Arten (*Salix humboldtiana* und *S. x rubens*) und die Euphorbiaceae Arten (*Phyllanthus sellowianus* und *Sebastiania schottiana*) liefern zufrieden stellende Ergebnisse im Sprosswachstum und in der Wurzelausbildung.

Der Pflanzzeitpunkt ist im Frühling, in den Monaten August, September und Oktober zu wählen, da dann die Vitalität der Steckhölzer eindeutig am höchsten ist.

In den weiteren Untersuchungen werden die anderen Steckholzarten (*Pouteria salicifolia*, *Calliandra brevipes*, *Terminalia australis* und *Morus nigra*) nicht mehr berücksichtigt, da sich im Sprosswachstum, wie auch in der Wurzelausbildung, nicht die erwünschten Ergebnisse zeigten.

4.4 METHODEN ZUR UNTERSUCHUNG DER BIEGEFESTIGKEIT

Jene Pflanzenarten, die sich in Vorversuchen als geeignet erwiesen, wurden nun auf ihre Biegefestigkeit untersucht.

Untersuchungsmaterial: je fünfzig Probenstücke von zwei Baumarten (*Salix humboldtiana* und *Salix x rubens*) und zwei Straucharten (*Phyllanthus sellowianus* und *Sebastiania schottiana*).

VOLLSINGER et al. (2000) haben für die Bestimmung der Biegefestigkeit, gemäss DIN 52 186 die Versuchsanordnung mit zwei Auflagen und Kraftangriff an zwei Punkten gewählt, um den Einfluss von eventuellen Holzfehlern zu vermeiden. Auf Grund mangelnder Ausrüstung an der Prüfmaschine der Universität von Santa Maria wurde, anders als bei den oben genannten Autoren, die Biegefestigkeit mit der 3-Punktmethode (mit zwei Auflagen und Kraftangriff an einem Punkt) bestimmt.

Beim 3-Punkt-Biegeversuch wird die Prüfprobe auf 2 Auflagen positioniert und in der Mitte mit einem Prüfstempel belastet. Dies ist wahrscheinlich die häufigste Form von Biegeversuchen (Abb. 4.4.1 - rechts). Um den Einfluss von Holzfehlern zu vermeiden, wurden möglichst fehlerfreie und gesunde Äste als Probestücke gewählt. Mit dieser Vorgangsweise sollen die Versuchsergebnisse vergleichbar sein.

Mit einem geeigneten Messverstärker wurden während der Prüfung folgende Parameter aufgezeichnet und gespeichert (Abb. 4.4.1):

- Kraft [kN]
- Verschiebung (Durchbiegung) [mm] in der Mitte des Probestückes
- Zeit [s]



Abbildung 4.4.1: Die einaxiale Biegeprüfanlage am „Departamento de Ciências Florestais / UFSM“, Südbrazilien (links) und Detail eines Probestückes im belasteten Zustand (rechts).

4.4.1 Berechnungen

Aus diesen Parametern (Kraft, Durchbiegung und Zeit – digital aufgenommen), sowie der Probenlänge [mm], kreuzweiser Durchmesser [mm] wurden von einem Computerprogramm für jedes Probestück unter anderem die folgenden Materialkennwerte berechnet:

- maximale Kraft bis zum Bruch F_{max} [kN]
- maximale Durchbiegung f_{max} [mm]
- Spannung σ [N/mm²] für den gesamten Verlauf der Belastung
- Bruchspannung σ_B [N/mm²] an der Stelle der maximalen Belastung
- Dehnung ϵ [-] für den gesamten Verlauf der Belastung
- Bruchdehnung ϵ_B [-] an der Stelle der maximalen Belastung
- elastischer Anteil an der Bruchdehnung
- plastischer Anteil an derselben
- Verhältnis aus elastischem und plastischem Anteil an der Bruchdehnung
- E-Modul E [N/mm²]

Eine Spannungs-Dehnungs-Kurve für jedes Probestück wurde auch vom Computerprogramm automatisch hergestellt.

Die Biegespannung (im linearen Kurvenbereich) oder Bruchspannung σ [N/mm²] erhält man dabei über die Beziehung:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{F \cdot \frac{l}{2}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{16 \cdot F \cdot l}{\pi \cdot d^3}$$

wobei:	M	Biegemoment oder Bruchmoment des Trägers [N/mm]
	W	Widerstandsmoment des Querschnittes [mm ³]
	F	Kraft bis zur Elastizitätsgrenze oder bis zum Bruch [N]
	l	Länge [mm]
	d	Durchmesser [mm]

Der Biege-Elastizitätsmodul E [N/mm²] ist im linearen Verformungsbereich mit:

$$E = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot f \cdot I}$$

wobei: F Kraft bis zur Elastizitätsgrenze [N]
 l Länge [mm]
 f Durchbiegung [mm]
 I Trägheitsmoment [mm⁴]

Das Trägheitsmoment von runden Querschnitten berechnet sich aus:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

wobei: d Durchmesser [mm]

Die dimensionslose Dehnung ϵ [-] (im linearen Kurvenverlauf oder bis zum Bruch), ergibt sich mit:

$$\epsilon = f \cdot \frac{12 \cdot d}{l^2}$$

wobei: f Durchbiegung (im linearen Bereich oder bis zum Bruch) [mm]
 d Durchmesser in der Mitte des Probestückes [mm]
 l Länge [mm]

4.4.2 Bestimmung der Feuchtigkeit

Sofort nach der Biegeprüfung wurden von den Ästen kleine Proben genommen, die Maße dieser Proben erfasst, die Proben nummeriert und archiviert. In einem weiteren Arbeitsgang wurden sämtliche Feuchtigkeitsproben im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und ihre Masse in trockenem Zustand gemessen.

Die Holzfeuchtigkeit u [%] ergibt aus:

$$u = \frac{m_u - m_o}{m_o}$$

wobei: m_u Masse der feuchten Probe [g]
 m_o Masse der trockenen Probe [g]

4.4.3 Bestimmung der Dichte

Die untersuchten Baumarten können sich hinsichtlich ihrer Dichte ρ [g/cm³] stark unterscheiden. Daher wurde auch diese erhoben. Sie ergibt sich aus der Formel:

$$\rho = \frac{m_o}{V_o}$$

wobei: m_o Masse der trockenen Probe [g]
 V_o Volumen der trockenen Probe [cm³]

Das Volumen der trockenen Probe wurde nach dem Archimedischen Prinzip der Flüssigkeitsverdrängung ermittelt: Gemessen wurde das Gewicht der von der Probe verdrängten Wassermenge (Abb. 4.4.3.1).



Abbildung 4.4.3.1: Die Messung des Volumens nach dem Verdrängungsprinzip von Archimedes.

4.5 ERGEBNISSE DER BIEGEFESTIGKEIT

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Feuchtigkeit, Dichte (Tab. 4.5.1) und der Biegefestigkeit von vier untersuchten Arten (Tab. 4.5.2).

Parameter	<i>Salix humboldtiana</i>	<i>Salix x rubens</i>	<i>Phyllanthus sellowianus</i>	<i>Sebastiania schottiana</i>
Feuchtigkeit; u [%]	102	95	123	85
Dichte; ρ [g / cm ³]	0,36	0,40	0,51	0,38

Tabelle 4.5.1: Physikalische Parameter der Arten (Mittelwerte von 50 Proben pro Art).

Kennwert	<i>Salix humboldtiana</i>	<i>Salix x rubens</i>	<i>Phyllanthus sellowianus</i>	<i>Sebastiania schottiana</i>
E-Modul; E [N/mm ²]	2617	3557	3277	3330
Bruchspannung; σ_B [N/mm ²]	30,6	37,5	54,4	44,3
Elastische Spannung; σ_{elast} [N/mm ²]	12,6	14,5	19,8	14,5
Bruchdehnung; ϵ_B [-]	0,097	0,082	0,151	0,125
Elastische Dehnung; ϵ_{elast} [-]	0,013	0,011	0,016	0,012
Plastische Dehnung; ϵ_{plast} [-]	0,084	0,071	0,135	0,113
Verhältnis elast./plast. Dehnung; [%]	13 / 87	13 / 87	11 / 89	10 / 90
Durchbiegung bis zum Bruch; [% der Länge]	11,4	9,7	18,2	14,7
Winkel bis zum Bruch bei einer Probenlänge von 1 m; [Grad]	25	22	40	32

Tabelle 4.5.2: Biegefestigkeitskennwerte von vier untersuchten Holzarten (Mittelwerte von 50 Proben pro Art).

Merklich sind die Unterschiede zwischen der Gruppe der Salicaceae (*Salix humboldtiana* und *S. x rubens*) und der der Euphorbiaceae (*Phyllanthus sellowianus* und *Sebastiania schottiana*).

Die Euphorbiaceae zeigen die besseren Ergebnisse, insbesondere *Phyllanthus sellowianus*. Jedoch, gibt es keine auffälligen Unterschiede beim E-Modul (das ist die Kraft, die für eine bestimmte Verformung notwendig ist).

Die Verteilung des E-Moduls auf Durchmesserklassen zeigt an sich eine klar absteigende Tendenz auf. Allerdings ist diese Erscheinung schwer zu beurteilen, weil sie von einem sehr großen Variationskoeffizienten begleitet ist, wie Tab. 4.5.3 veranschaulicht. Der geringste E-Modul zeigt *Salix humboldtiana*.

Art	E-Modul [N/mm ²] bei den Durchmessern					
	<20mm	20-30mm	30-40mm	40-50mm	50-60mm	>60mm
<i>Salix humboldtiana</i>	3177 (28,0)	2851 (16,6)	2907 (13,5)	2511 (23,4)	2273 (11,4)	1968 (20,3)
<i>Salix x rubens</i>	3652 (36,7)	4034 (29,5)	3676 (15,5)	3201 (31,5)	3277 (22,5)	2716 (12,1)
<i>Phyllanthus sellowianus</i>	3652 (17,5)	3327 (27,1)	3020 (32,6)	2938 (30,0)	-----	-----
<i>Sebastiania schottiana</i>	3790 (33,0)	3108 (25,8)	3513 (24,9)	3247 (28,9)	2684 (16,7)	-----

Tabelle 4.5.3: Mittlere Größe des E-Moduls [N/mm²] und Varianzkoeffizient [%] in Klammer, gegliedert nach Durchmesserklassen der einzelnen Arten.

VOLLSINGER et al. (2000) behauptet, dass bei schwer verformbaren Arten (großer E-Modul – wie *Fraxinus excelsior* und *Acer pseudoplatanus* – Tab. 4.5.4) wesentlich höhere Kräfte über die Krone eingeleitet werden müssen, um ein Umlegen der Pflanzen und dadurch die Abdeckung des Bodens zu erreichen als bei den leichter verformbaren Arten (kleiner E-Modul).

Im Vergleich mit den von VOLLSINGER et al. untersuchten Arten, zeigen die brasilianischen Pflanzen ein wesentlich kleineren E-Modul. Daraus kann man schließen, dass diese Arten ein viel höheres Schutzpotential für den Boden bringen.

Kennwert	<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Salix alba</i>	<i>Salix caprea</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i>
E-Modul; E [N/mm ²]	6880	10237	6268	7808	9534
Bruchspannung; σ_B [N/mm ²]	37,6	58,2	40,1	48,5	67,7
Bruchdehnung; ϵ_B [-]	0,018	0,023	0,018	0,025	0,022

Tabelle 4.5.4: Biegefestigkeitskennwerte von verschiedenen Laubgehölzen in Österreich (VOLLSINGER et al., 2000).

VOLLSINGER et al. (2000) zeigen aber klar, dass der E-Modul zu wenig über die Fähigkeit der Pflanzen, sich unter äußerer Belastung zu verformen, aussagt.

Bei der Bruchspannung und der Spannung im elastischen Bereich, die für den Uferschutz besonders wichtig sind, zeigt *Phyllanthus sellowianus* die besten Ergebnisse, (Abb. 4.5.1).

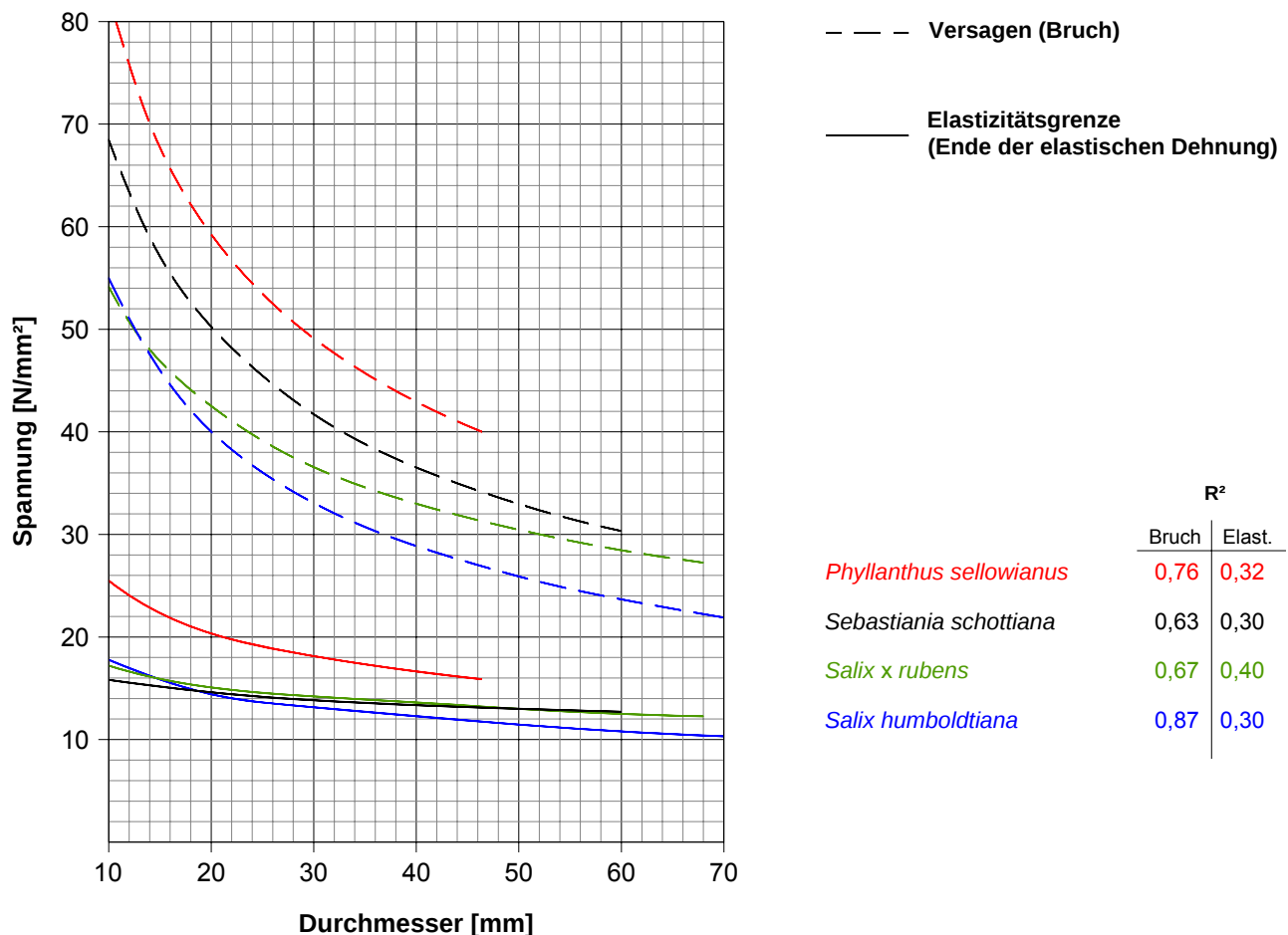


Abbildung 4.5.1: Spannung bis zur Elastizitätsgrenze und bis zum Bruch der vier untersuchten Arten in Abhängigkeit vom Astdurchmesser.

Im Vergleich mit den Baumarten (*Salix humboldtiana* und *S. x rubens*) nehmen die Straucharten *Phyllanthus sellowianus* und *Sebastiania schottiana* höhere Spannungen auf, bevor sie brechen.

Beim Vergleich der Bruchspannung zeigten die vier Arten ähnliche Werte wie die von VOLLSINGER et al. (2000). Die von VOLLSINGER et al. (2000) untersuchte maximale Dehnung zeigt Werte von 1,8 % bis 2,5%, während die brasilianischen Arten Mittelwerte

bis 15% aufweisen. Das bedeutet, dass diese Arten sich viel stärker verformen können, ehe sie brechen.

Der elastische Teil der Dehnung der südbrasilianischen Arten (Tab. 4.5.2) schwankt zwischen 11% und 16%, während die von VOLLINGER et al. (2000) untersuchten Arten die Dehnung im elastischen Bereich bis zu 33% der maximalen Verformbarkeit zeigen (Abb. 4.5.1).

Als eine andere Form der Eignung von Pflanzen für ingenieurbioologische Zwecke können die Durchbiegung (Abb. 4.5.2) und auch der maximale Winkel vor dem Bruch (Abb. 4.5.3) herangezogen werden.

Als eine andere Form der Eignung von Pflanzen für ingenieurbioologische Zwecke können der maximale Winkel vor dem Bruch (Abb. 4.5.2) und auch die Durchbiegung (in % der Länge – Abb. 4.5.3) herangezogen werden.

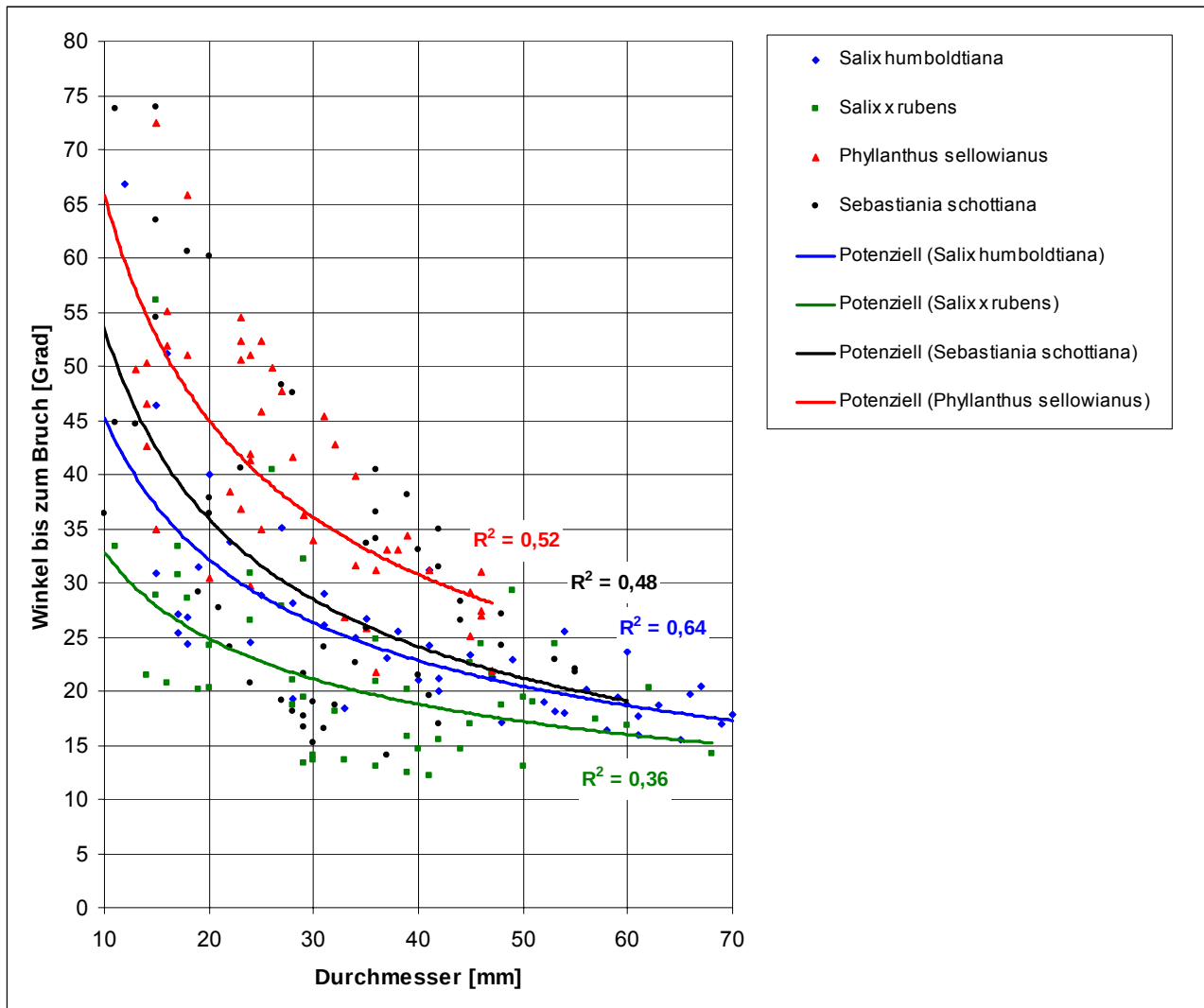


Abbildung 4.5.2: Vergleich der Winkel bis zum Bruch bei einer Probenlänge von 1,0 m.

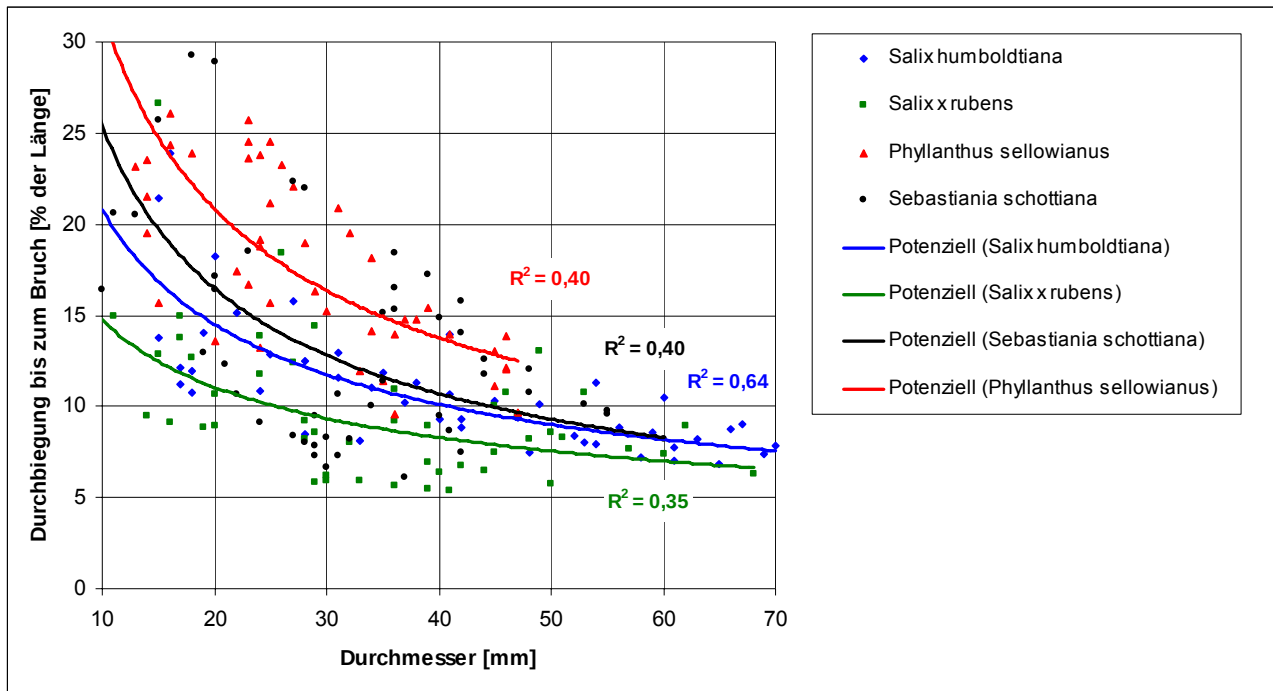


Abbildung 4.5.3: Vergleich der Durchbiegung in % bis zum Bruch je nach Durchmesser [cm].

Die Durchbiegung bis zum Bruch zeigt ähnliche Ergebnisse wie bei den untersuchten österreichischen Ufergehölzen, nämlich dass sie sich ab einem Durchmesser von 4 cm kaum noch durchbiegen und für einen ungehinderten Abfluss auf den Stock gesetzt werden müssen (WEITZER et al., 1998; FLORINETH, 2004).

Die in den Abbildungen 4.5.1 bis 4.5.3 dargestellten Regressionen folgen dem Typ:

$$y = a \cdot \text{Durchmesser}^b$$

4.6 SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE EIGNUNG VON UFERGEHÖLZEN

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen, sowie der Auswertung der vorhandenen Literatur und aus Erfahrungsberichten lassen sich die Arten bezüglich ihrer Eignung für Uferschutz in folgende Stufen klassifizieren:

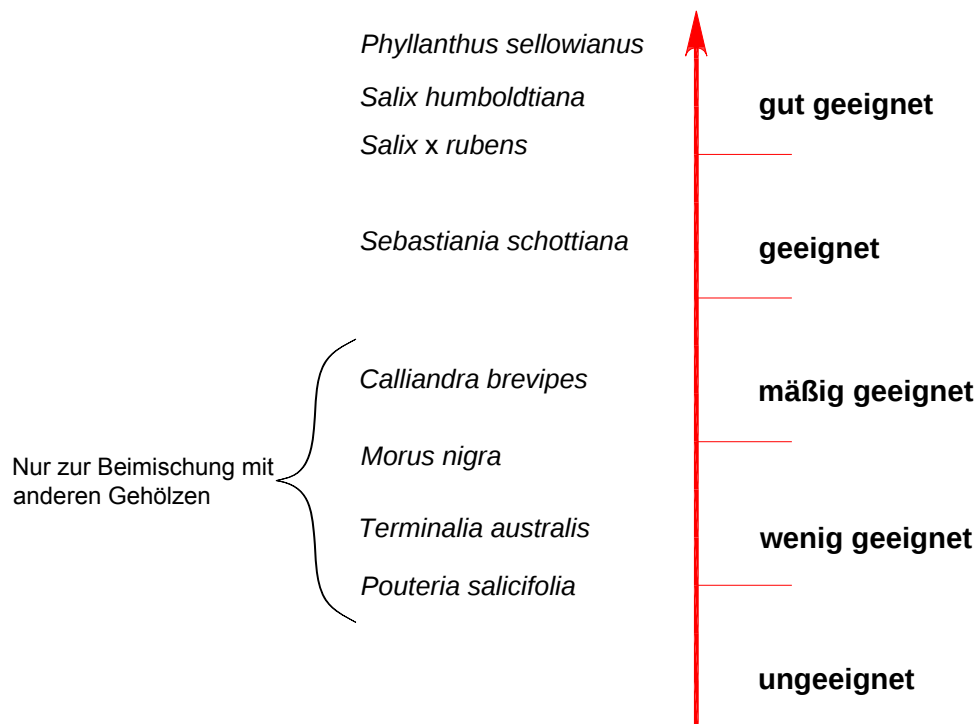


Abbildung 4.6.1: Eignung der getesteten Arten als Baustoff für den Uferschutz.

biologische Eigenschaften	<i>Calliandra brevipes</i>	<i>Morus nigra</i>	<i>Phyllanthus sellowianus</i>	<i>Pouteria salicifolia</i>	<i>Salix humboldt.</i>	<i>Salix x rubens</i>	<i>Sebastiania schottiana</i>	<i>Terminalia australis</i>
Sprosswurzelbildung	+ -	+ -	++	-	++	++	+	-
Steckholzvermehrbarkeit	+ -	+ -	++	-	++	++	+	-
Biegefestigkeit	o	o	++	o	+	+	++	o

Tabelle 4.6.1: Darstellung der biologischen Eigenschaften der getesteten Arten [++, gut geeignet / +, geeignet / + -, mäßig geeignet / -, wenig geeignet / o, nicht getestet].

5 AUSGEFÜHRTE INGENIEURBIOLOGISCHE BAUWEISEN

Mit den Pflanzenarten, die sich am besten geeignet zeigten, wurden einige ingenieurbioologische Bauwerke an den Flüssen Arroio Guarda-mor, Arroio Vale Vêneto und Rio Soturno errichtet.

5.1 ARROIO GUARDA-MOR 2003

5.1.1 Einfache Uferkrainerwand

Ausgangssituation: Der senkrechte Uferanbruch an der ersten ausgewählten Stelle des Arroio Guarda-mor war 3 – 4 m hoch und hatte eine Länge von 40 m (Abb. 5.1.1.1). Entlang des Bachbettes waren riesige ($d \sim 2\text{m}$) Bambus-Büsche gelegt worden. Unmittelbar an die Böschung (am orografisch rechten Ufer des Baches) liegen Reisfelder, die andere Uferseite ist durch einheimische Vegetation gut geschützt.



Abbildung 5.1.1.1: Erodiertes Prallufer am Arroio Guarda-mor – Januar 2003.

Bauten: Am Fuße der Böschung wurden Holzpiloten in einem Abstand von 2,50 m in die Sohle eingeschlagen (1,50 m lang, wobei 2 Drittel in den Boden reichen). Dahinter wurde das erste waagrechte Rundholz in Längsrichtung mit Draht ($\varnothing 6\text{mm}$) gut gespannt aufgebunden (Abb. 5.1.1.4 – links). Danach wurden die Zangen in das Steilufer eingeschlagen und an das nächste Längsholz gebunden, und so weiter (Abb. 5.1.1.2 und 5.1.1.3).

Zwischen das zweite und dritte Längsholz wurde wieder eine Holzpilotenreihe in die Sohle eingeschlagen (siehe technische Skizzen, Abb. 5.1.1.2).

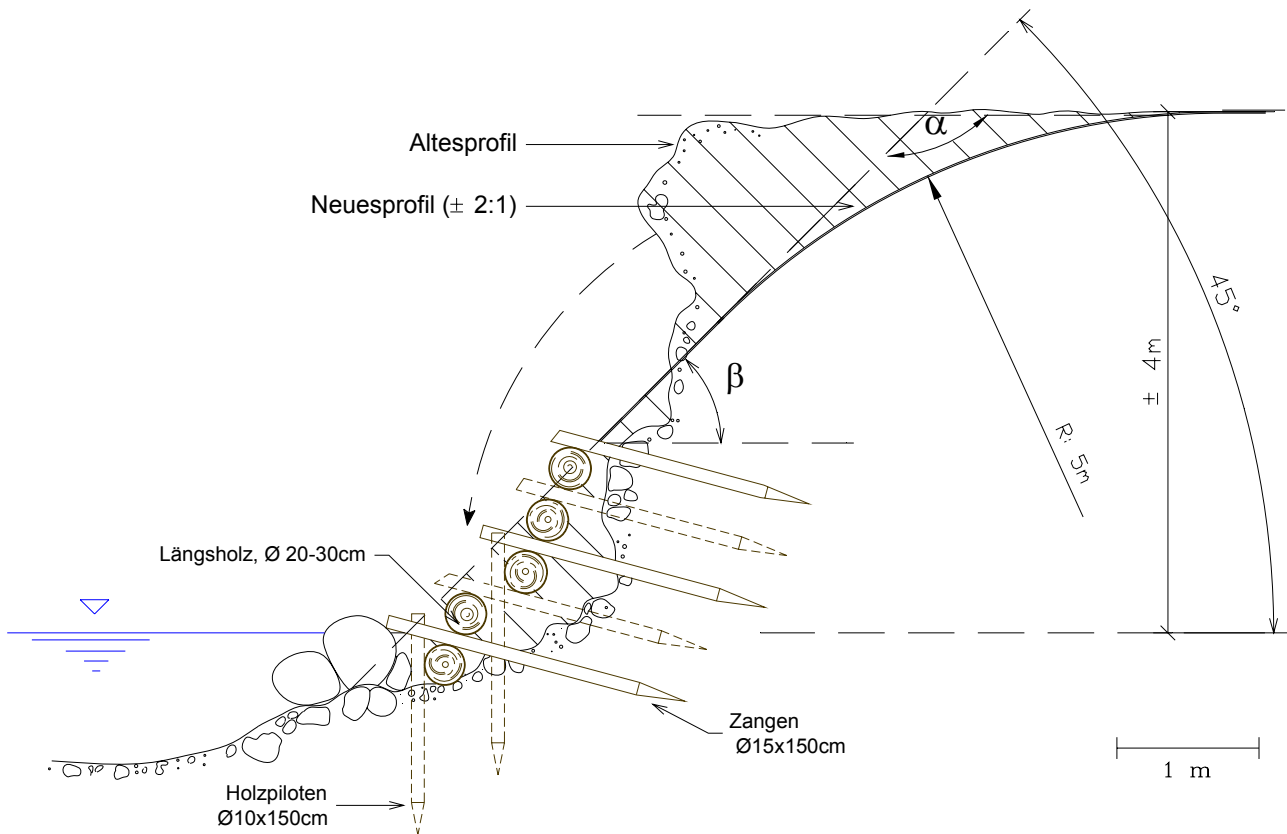


Abbildung 5.1.1.2: Technische Skizze (Konstruktionsdetails) der einfachen Uferkainerwand am Arroio Guarda-mor.



Abbildung 5.1.1.3: Baubeginn (links) und die ersten zwei Längsholzreihen (rechts) der einfachen Uferkainerwand am Arroio Guarda-mor – Februar 2003.

Für eine nachfolgende Bepflanzung mit der bewurzelten *Calliandra tweediei* und mit Triebbüschele einer grasartigen Pflanze (*Cynodon plectostachyus*) wurde das Steilufer über der einfachen Uferkainerwand abgebösch.



Abbildung 5.1.1.4: Detail der Drahtbefestigung (links) und Bild unmittelbar nach Fertigstellung – März 2003 – der einfachen Uferkainerwand und nach dem Abböschchen der Steilufer (rechts).

In die Hohlräume über Wasser wurden zwischen den längs verlaufenden Rundhölzern Steckhölzer von *Sebastiania schottiana*, *Phyllanthus sellowianus* und *Calliandra brevipes* eingelegt, was sich später als nicht zielführend erwies (Ausschwemmung des Feinmaterials).

Ergebnisse: Die Steckhölzer von *Calliandra brevipes* haben nicht überlebt, *Sebastiania schottiana* und *Phyllanthus sellowianus* hingegen haben überlebt und sind im darauf folgenden Frühling stark gewachsen. Auf der Fläche oberhalb der einfachen Uferkainerwand sind auch *Cynodon plectostachyus* und die bewurzelte *Calliandra tweediei* ganz gut bzw. stark gewachsen.

Das Setzen von Steckhölzern in die Zwischenräume hat die Uferkainerwand gegen Ausspülung nicht gut geschützt, deshalb wurde im September 2005 eine Notlösung notwendig (Einlage von Weidenfaschinen).



Abbildung 5.1.1.4: Übersicht nach den sechs Monaten.

Im Jahr 2003 war das ‚El Niño‘ Klimaphänomen ungewöhnlich stark ausgeprägt, das Bauwerk hat drei Extremhochwässer gut ausgehalten. Nur beim letzten Starkregen des Jahres (15.12.‘03), wobei es in 12 Stunden 220 mm geregnet hat, wurde die 40 m lange Uferkainerwand auf 4 m Länge hinterspült (Abb. 5.1.1.5).



Abbildung 5.1.1.5: Fotodokumentation einen Tag nach dem Starkregen am 15.12.2005 (links) und Detail der Hinterspülung (rechts).

Trotz allem, nach fast drei Jahren zeigt sich der Uferaspekt schon besser als in der Ausgangssituation (Abb. 5.1.1.6).



Abbildung 5.1.1.6: Links die Fotodokumentation vor der Maßnahme (Januar 2003) und rechts, nach fast drei Jahren (August 2005).

5.1.2 Spreitlage mit Steinen als Fußsicherung

Ausgangssituation: Der senkrechte Uferanbruch an der Stelle war rund 1,5 – 2,0 m hoch und hatte eine Länge von ca. 25 m. Unmittelbar an die Böschung grenzt ein schmaler Wiesenstreifen und dahinter liegen Reisfelder, entlang der Straße verläuft ein Entwässerungsgraben der in den Fluss mündet (Abb. 5.1.2.1).



Abbildung 5.1.2.1: Böschungsanriss und Zufahrtsrampe zur Furt am Arroio Guarda-mor – Juli 2003.

Bauten: Die Pflanzen (*Sebastiania schottiana*, *Terminalia australis* und *Pouteria salicifolia*) wurden am Rio Soturno geschnitten und zur Baustelle transportiert. *Salix humboldtiana* wurde in unmittelbarer Umgebung geschnitten und *Salix x rubens* vom Campus der Universität von Santa Maria eingeliefert.

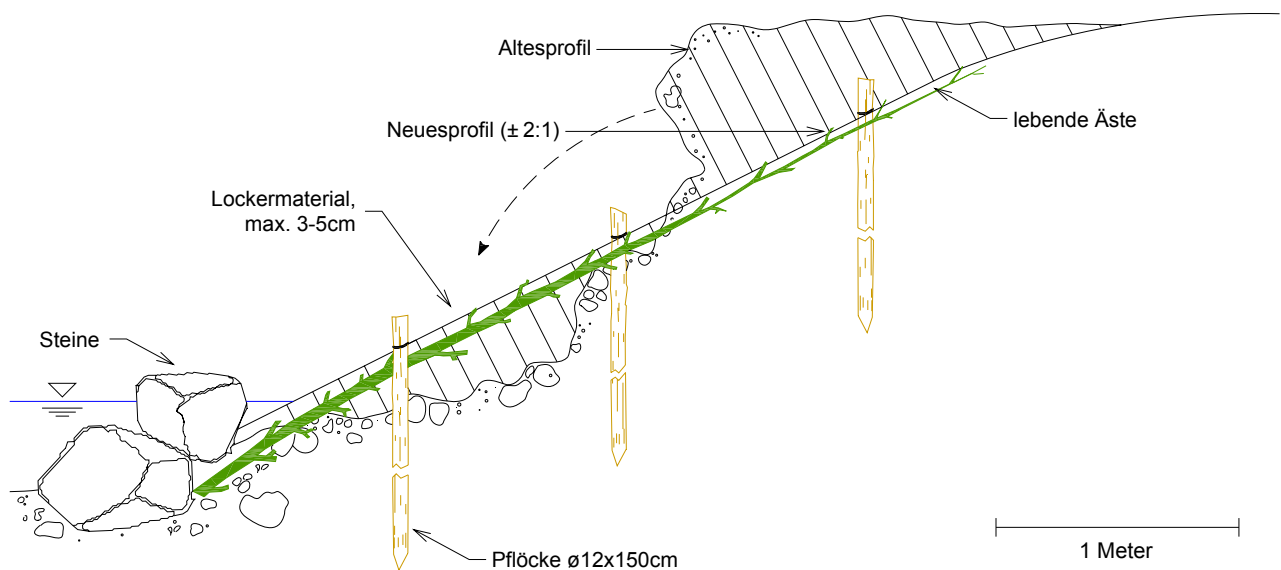


Abbildung 5.1.2.2: Technische Skizze (Konstruktionsdetails) der Spreitlage mit Steinblöcken als Fußsicherung am Arroio Guarda-mor.

Die Äste wurden nach Art sortiert auf die Böschung aufgelegt und mit Steinen die Fußsicherung errichtet (Abb. 5.1.2.2 und 5.1.2.3). Die Holzpflocke wurden in drei Reihen mit einem Abstand von 1 m eingeschlagen und die schon aufgelegte Spreitlage wurde durch einen Alulegierungs-Draht ($\varnothing$ 2,1 mm) mit U-Haken an die Pflöcke befestigt und durch das Nachschlagen der Pflöcke gut an die Böschung andrückt (Abb. 5.1.2.3 – links). Die Äste wurden in weiterer Folge 4 – 6 cm mit Erde abgedeckt.



Abbildung 5.1.2.3: Abböschten des Steilufers (links) und das Einschlagen der Pflöcke der Spreitlage für das Anbinden (rechts) – August 2003, Arroio Guarda-mor.

Ergebnisse: Unmittelbar nach der Fertigstellung (02.07.2003) der Spreitlage am Arroio Guarda-mor hat ein Hochwasserereignis eine Abrutschung bis auf ca. 1/3 der Böschungshöhe verursacht (Abb. 5.1.2.4 – links), was zur Anlandung und somit verstärkten Überschüttung im unteren Böschungsbereich geführt hat.



Abbildung 5.1.2.4: Fertige Spreitlage mit sandigem Lehm abgedeckt nach einem Niederschlag von 70 mm (20.08.'03 – links) und nach einem Monat (20.09.'03 – rechts), Arroio Guarda-mor.

Bereits 15 Tage nach der Fertigstellung haben die Äste von *Salix humboldtiana* und *Salix x rubens* die ersten neuen Sprosse ausgebildet. Bei *Pouteria salicifolia* und *Sebastiania schottiana* zeigten sich die neuen Sprosse erst nach einem Monat.

Sehr langsam ist *Terminalia australis* angewachsen; es haben sich erst nach drei Monaten neue Triebe ausgebildet.



Abbildung 5.1.2.5: Spreitlage nach drei Monaten (15.11.'03 – links) und nach einem Jahr (September 2004 – rechts), Arroio Guarda-mor.

Nach einem Jahr war der Uferschutz sehr gut, obwohl nur *Salix humboldtiana*, *Salix x rubens* und *Sebastiania schottiana* überlebt haben (Abb. 5.1.2.5 – rechts).

5.2 RIO SOTURNO 2005

5.2.1 Uferkainerwand und Spreitlage mit Steinmauer als Fußsicherung

Ausgangssituation: Der Uferanbruch an der ausgewählten Stelle des Rio Soturno war rund 2 m hoch und hatte eine Länge von ca. 25 m (Abb. 5.2.1.1).



Abbildung 5.2.1.1: Erodiertes Gleitufer am Rio Soturno – Juli 2005.

Bauten: Die Spreitlage wurde wie am Arroio Guarda-mor (Abschnitt 5.1.2) gebaut, nur der Böschungsfuß wurde mit einer Steinmauer gesichert (Abb. 5.2.1).

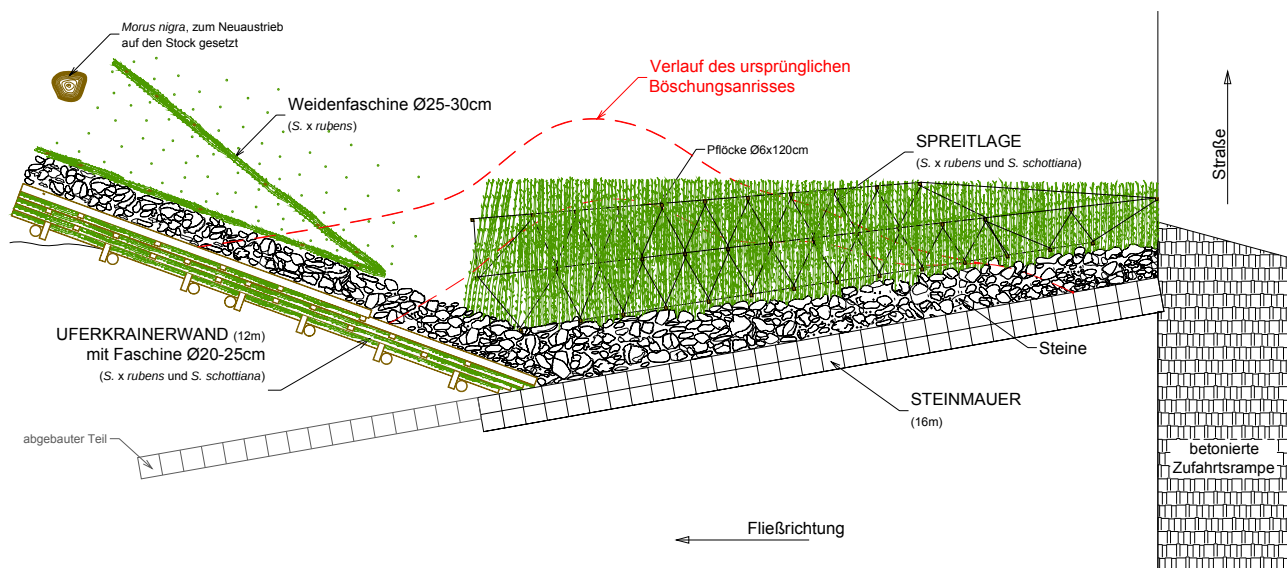


Abbildung 5.2.1.1: Konstruktionsdetails der Uferkainerwand und Spreitlage mit Steinmauer als Fußsicherung am Rio Soturno.

Wie man in der Abb. 5.2.1.1 sehen kann, ist eine Rampe der Zufahrtsstraße zur Furt in das Querwerk eingebaut worden, die in einem Winkel von 90° zur Fließrichtung des Rio Soturno steht.



Abbildung 5.2.1.2: Abböschten des Steilufers am Rio Soturno, August 2005.

Das Pflanzenmaterial (insbesondere *Salix x rubens*) wurde zum Großteil bei Bauern gekauft. *Sebastiania schottiana* wurde in unmittelbarer Umgebung geschnitten.

Die Pflöcke wurden in drei Reihen mit einem Abstand von 1,3 m mit einem Holzhammer eingeschlagen (Abb. 5.2.1.3).



Abbildung 5.2.1.3: Auflegen des Pflanzenmaterials unter die Wasseranschlaglinie (links) und Einschlagen der Pflöcke (rechts) – Rio Soturno, August 2005.

Der Hohlraum zwischen der schon befestigten Spreitlage (Abb. 5.2.1.4) und der Mauer wurde mit großen Steinblöcken gefüllt darauf wurden kleine Steine nachgeschüttet (Abb. 5.2.1.5). Die Äste wurden mit sandigem Erdmaterial 3-4cm hoch abgedeckt (Abb. 5.2.1.6).



Abbildung 5.2.1.4: Nachschnitt der Pflöcke (links) und befestigte Spreitlage (rechts) – Rio Soturno, August 2005.



Abbildung 5.2.1.5: Steinhinterfüllung zwischen Mauer und Spreitlage – Rio Soturno, August 2005.



Abbildung 5.2.1.6: Abdeckung der Äste mit Erdmaterial – Rio Soturno, August 2005.

Die Uferkranerwand wurde als Fortsetzung zur Spreitlage gebaut (siehe technische Skizze, Abb. 5.2.1.1).

Am Fuße der Böschung wurden zwei Reihen Holzpiloten in einem Abstand von ca. 1,5 - 2,5 m mit dem Bagger in die Sohle eingeschlagen (Abb. 5.2.1.7 – links). Nacheinander wurden die waagrechten Rundhölzer und die Querhölzer aufgelegt (Abb. 5.2.1.7 – rechts).



Abbildung 5.2.1.7: Baubeginn der Uferkranerwand am Rio Soturno, August 2005 – Einschlagen der Holzpiloten mit Bagger (links) und Einschlagen der Querhölzer (rechts).



Abbildung 5.2.1.8: Nachspannen des Drahtes mit einer Bindezange (links) und weiterer Aufbau der Uferkranerwand (rechts) Rio Soturno, August 2005.

Die Rundhölzer wurden nicht genagelt sondern mit Draht ($\varnothing$ 6mm) gespannt aufgebunden (Abb. 5.2.1.8). Für die Faschinen wurden Äste von *Salix x rubens*, *Sebastiania schottiana* und *Phyllanthus sellowianus* kurz vor der Verarbeitung geschnitten (Abb. 5.2.1.9).

Die fertige Uferkranerwand (Abb. 5.2.1.10) wurde mit Grobkies und Erde eingeschüttet (Abb. 5.2.1.11).



Abbildung 5.2.1.9: Binden der Faschinen (links) und Einbauen der Faschinen in die Uferkainerwand (rechts) – Rio Soturno, August 2005.



Abbildung 5.2.1.10: Fertige Uferkainerwand (links), Detail (rechts) – Rio Soturno, August 2005.



Abbildung 5.2.1.11: Einschütten der Uferkainerwand, zuerst mit Grobkies (links) und letztendlich mit Erdmaterial der Abböschung (rechts) – Rio Soturno, September 2005.

Ergebnisse: Das fertige Bauwerk ist in Abb. 5.2.1.12 (links) ersichtlich. Nach 45 Tagen kam es bei der Spreitlage und der Uferkainerwand zu ersten Sprossausbildungen. Nach 3 Monaten waren Spreitlage und Uferkainerwand sehr dicht bewachsen, wie in Abb. 5.2.1.12 (rechts) deutlich zu erkennen ist.



Abbildung 5.2.1.12: Bauwerke soeben fertig gestellt, Ende September 2005, (links) und nach 3 Monaten (Dezember 2005, rechts).

Die Spreitlage wurde am 20. Dezember, also 3 Monate nach dem Bau, aufgenommen. Die Vegetationssaufnahme erfolgte auf einem 1 m breiten Streifen und ist mit Fotos und Grafiken in Abb. 5.1.2.13 dargestellt.

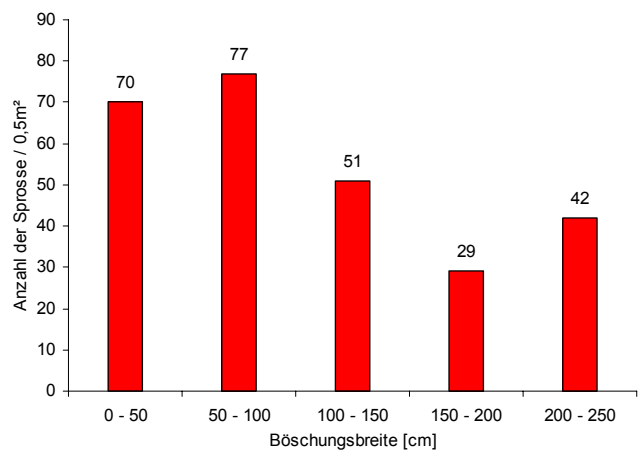


Abbildung 5.2.1.13: Sprossverteilung im Transekt der drei Monate alten Spreitlage (Dezember 2005).

Die Sprosse stehen über die gesamte Böschungsbreite sehr dicht verteilt (durchschnittlich 106 Sprosse /m² auf der gesamten Böschung), wobei die höchsten Dichten im untersten Meter der Böschung konzentriert sind.

Die Verteilung der Sprosslängen und Sprossdurchmesser über die Böschungsbreite in der 3 Monate alten Spreitlage ist in Abb. 5.2.1.14 dargestellt.

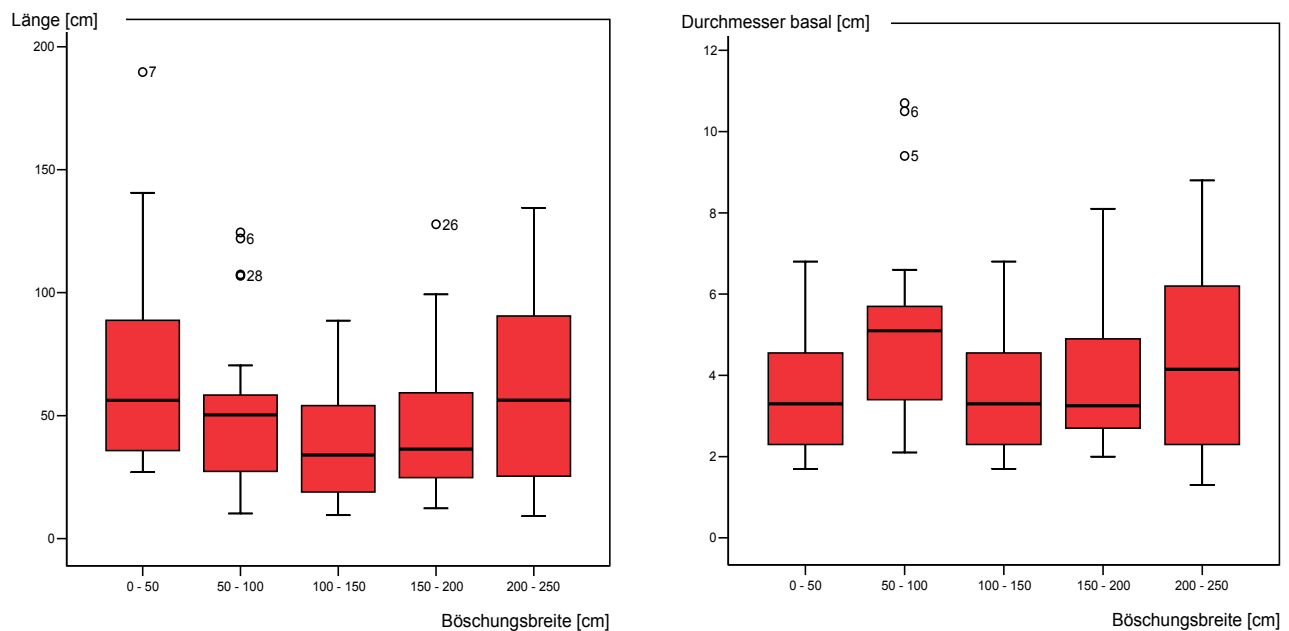


Abbildung 5.2.1.14: Verteilung der Sprosslängen (links) und Sprossdurchmesser (rechts) über die Böschungsbreite in der 3 Monate alten Spreitlage am Rio Soturno, Dezember 2005.

Vergleicht man die Entwicklung der Sprosslängen und –durchmesser mit der Anzahl der Sprosse (Dichte der Sprosse), so fällt auf, dass in den folgenden Monaten zwar weniger Sprosse vorhanden sind, aber dass die Pflanzen im Durchschnitt etwas größere Längen und Durchmesser haben (Tab. 5.2.1.1).

SPREITLAGE	3. Monate	6. Monate	9. Monate
Anzahl des Sprosse [n./m ²]	106	56	27
Sprosslänge [cm]	62	103	116
Sprossdurchmesser [mm]	4,3	5,4	7,4

Tabelle 5.2.1.1: Zusammenfassung der auf der gesamten Böschungsbreite auftretenden mittleren Anzahl der Sprosse, Sprosslängen und –durchmesser der 3, 6 und 9 Monate alten Spreitlage – Rio Soturno, 2005 und 2006.

Die Entwicklung der Pflanzen in der Uferkainerwand, in den Weidenfaschinen und der Steckhölzer sind in den folgenden Tabellen 5.2.1.2, 5.2.1.3 und 5.2.1.4 dargestellt.

UFERKRAINERWAND	3. Monate	6. Monate	9. Monate
Anzahl des Sprosse [n./m ²]	106	70	44
Sprosslänge [cm]	42	58	63
Sprossdurchmesser [mm]	3,4	3,9	4,3

Tabelle 5.2.1.2: Zusammenfassung der auf der gesamten Böschungsbreite auftretenden mittleren Anzahl der Sprosse, Sprosslängen und –durchmesser der 3, 6 und 9 Monate alten Holzkainerwand – Rio Soturno, 2005 und 2006.

WEIDENFASCHINE	3. Monate	6. Monate	9. Monate
Anzahl des Sprosse [n./m]	42	20	Ø (abgestorben)
Sprosslänge [cm]	44	88	—
Sprossdurchmesser [mm]	3,2	4,4	—

Tabelle 5.2.1.3: Zusammenfassung der auf der gesamten Böschungsbreite auftretenden mittleren Anzahl der Sprosse, Sprosslängen und –durchmesser der 3, 6 und 9 Monate alten Weidenfaschinen – Rio Soturno, 2005 und 2006.

STECKHOLZ	3. Monate	6. Monate	9. Monate
Anzahl des Sprosse [n./Stechholz]	5	5	2
Sprosslänge [cm]	92	103	160
Sprossdurchmesser [mm]	6,7	6,8	11,1

Tabelle 5.2.1.4: Zusammenfassung der auf der gesamten Böschungsbreite auftretenden mittleren Anzahl der Sprosse, Sprosslängen und –durchmesser der 3, 6 und 9 Monate alten Steckhölzer – Rio Soturno, 2005 und 2006.

5.3 ARROIO VALE VÊNETO 2005

5.3.1 Spreitlage mit Holzkraierwand als Fußsicherung

Ausgangssituation: Der senkrechte Uferanbruch am orografisch rechten Ufer des Arroio Vale Vêneto war 4 m hoch und hatte eine Länge von 24 m (Abb. 5.3.1.1). Unmittelbar an der Böschung liegen Rinderweideflächen.



Abbildung 5.3.1.1: Erodiertes Gleitufer am Arroio Vale Vêneto, September 2005.

Bauten: Die Spreitlage wurde mit einer Holzkraierwand als Fußsicherung gebaut, wie man in Abb. 5.3.1.2 sehen kann.

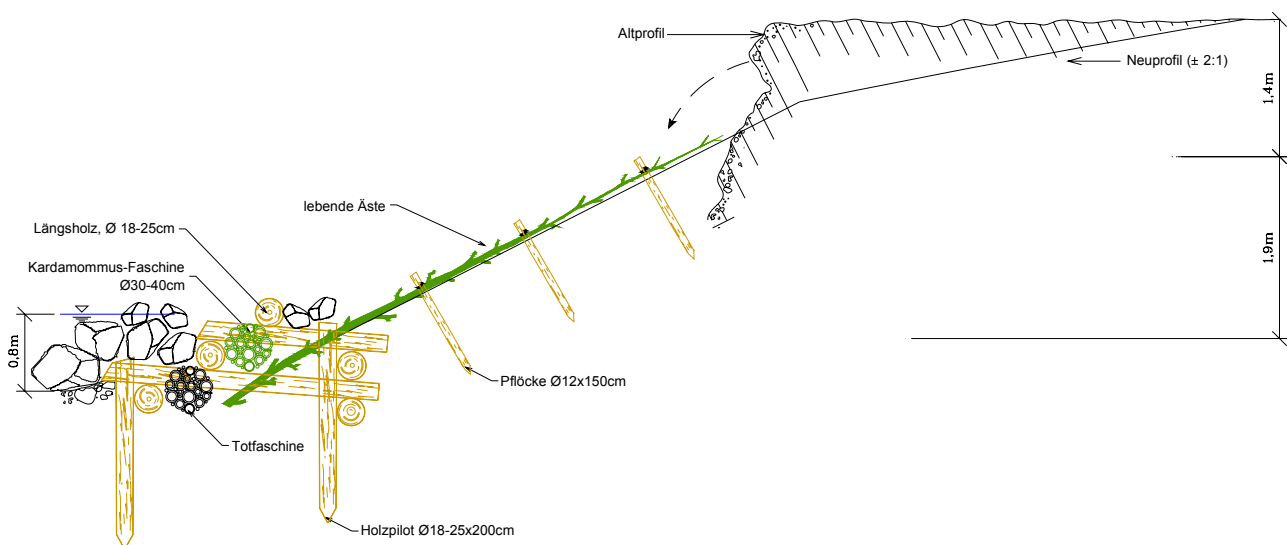


Abbildung 5.3.1.2: Technische Skizze der Spreitlage mit Holzkraierwand als Fußsicherung.

Die Holzkrainerwand wurde wie am Rio Soturno gebaut, jedoch nur mit drei waagrechten Rundholzlagen (siehe technische Skizze, Abb. 5.3.1.2). Die fertige Holzkrainerwand wurde mit Grobkies eingeschüttet (Abb. 5.3.1.3).

Für die Faschinen wurden krautige Pflanzen von Kardamommus (*Hedychium coronarium*) aus der unmittelbaren Umgebung verwendet (Abb. 5.3.1.4).



Abbildung 5.3.1.3: Bau der Holzkrainerwand als Fußsicherung (links) und Einschütten der Holzkrainerwand (rechts) – Arroio Vale Vêneto, Oktober 2005.



Abbildung 5.3.1.4: Binden (links) und Einbau der Kardamommus-Faschine in die Holzkrainerwand (rechts) – Arroio Vale Vêneto, Oktober 2005.

Auf die abgeböschten Steilufer wurden die Äste von *Salix x rubens* und auch Kardamommus Pflanzen aufgelegt (Abb. 5.3.1.5). Die Holzpflocke wurden mit dem Bagger in drei Reihen mit einem Abstand von 1 m eingeschlagen und die schon aufgelegte Spreitlage wurde durch einen Alulegierungs-Draht ($\varnothing$ 2,1 mm) an die Pflöcke gebunden

und durch Nachschlagen der Pflöcke gut an die Böschung angedrückt (Abb. 5.3.1.5 – links). Die Äste wurden mit Erdmaterial 3-4cm hoch abgedeckt (Abb. 5.2.1.5 - rechts).



Abbildung 5.3.1.5: Befestigung (links) und Abdeckung der Spreitlage (rechts) – Arroio Vale Vêneto, Oktober 2005.

Ergebnisse: Auch an Arroio Vale Vêneto war die Spreitlage nach 3 Monaten sehr dicht, wie im Abb. 5.3.1.6 (rechts) deutlich zu erkennen ist.



Abbildung 5.3.1.6: Fertige Spreitlage Ende Oktober 2005 (links) und nach 3 Monaten (Januar 2006, rechts) – Arroio Vale Vêneto.

Die Spreitlage und auch die Kardamomus-Faschine wurden nach 3 Monaten aufgenommen. Wie am Rio Soturno erfolgte die Vegetationssaufnahme auf einem 1 m breiten Streifen. Die Entwicklung der Pflanzen ist in den folgenden Tabellen 5.3.1.1 und 5.3.1.2 dargestellt.

SPREITLAGE	3. Monate	6. Monate	9. Monate
Anzahl des Sprosse [n./m ²]	91	34	28
Sprosslänge [cm]	47	73	85
Sprossdurchmesser [mm]	3,7	7,0	10,1

Tabelle 5.3.1.1: Zusammenfassung der auf der gesamten Böschungsbreite auftretenden mittleren Anzahl der Sprosse, Sprosslängen und –durchmesser der 3, 6 und 9 Monate alten Spreitlage – Arroio Vale Vêneto, 2005 und 2005.

KARDAMOMMUS-FASCHINE	3. Monate	6. Monate	9. Monate
Anzahl des Sprosse [n./m]	24	62	77
Sprosslänge [cm]	40	86	104
Sprossdurchmesser [mm]	8,0	11,0	15

Tabelle 5.3.1.2: Zusammenfassung der auf der gesamten Böschungsbreite auftretenden mittleren Anzahl der Sprosse, Sprosslängen und –durchmesser der 3, 6 und 9 Monate alten Kardamommus-Faschine – Arroio Vale Vêneto, 2005 und 2005.

Die Verwendung von Kardamommus als Faschineneinlage hat sich als sehr gut erwiesen. Ihre sichtbare Elastizität lässt erwarten, dass eine sehr gute Böschungsüberdeckung und somit hervorragender Uferschutz gewährleistet wird. Anders als *Salix x rubens*, weist Kardamommus mit der Zeit eine Zunahme der Sprossanzahl auf (Tabelle 5.3.1.2).

Obwohl gleich nach dem Bauabschluss drei Hochwässer, und zwei weitere nach einen Jahr aufgetreten sind, kann man allgemein feststellen, dass sich die errichteten Bauten bis jetzt in ihrem guten Zustand erhalten haben. Weitere Beobachtungen sollen nun zeigen, ob die Lebensdauer des verwendeten Holzes ausreichend ist, um die endgültige Befestigung der Ufer durch das lebende Material zu ermöglichen, oder ob die Untersuchungen mit anderen Holzarten bzw. stärkeren Dimensionen fortgesetzt werden sollten.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Die ersten Versuche mit ingenieurbioologischen Methoden zeigten deutlich dass sich ingenieurbioologische Bauweisen in Südbrasilien sehr gut eignen. Die bis jetzt erforschten Arten weisen auf ihre unterschiedlich nutzbaren Eigenschaften für ingenieurbioologische

Arbeiten hin. Im Bezug auf Spross- und Wurzelbildung hat die Arbeit von ALTREITER und PLUNGER (2003) die ersten vier Arten charakterisiert. Im Anschluss an dieses Experiment wurden noch zwei weitere Pflanzhügel an zwei verschiedenen Plätzen und unter Berücksichtigung verschiedener Jahreszeiten errichtet und ausgewertet. Alle mit Pflanzhügeln getesteten Arten wurden auf die günstigste Anbauzeit hin untersucht. Dafür wurde monatlich Vegetationsmaterial gewonnen und auf Spross- und Wurzelbildung im Wasser untersucht. Die Arten, die sich bei diesen Untersuchungen als am besten geeignet zeigten, wurden auch bezüglich ihrer elastischen Eigenschaften getestet. Mit dieser Kenntnis war es nun möglich eine Reihung der Arten für ingenieurbioologische Zwecke zu bilden.

Die schon getesteten Pflanzen müssten noch auf andere Eigenschaften wie Auszugswiderstand und Reaktionen auf verschiedene Pflanzverfahren (z.B. „Anbauwinkel“) weiter untersucht werden. Es gäbe im Untersuchungsgebiet auch noch andere heimische Baum- und Straucharten, die in Uferbereichen wachsen und auf ihre Eignung als ingenieurbioologisches Baumaterial untersucht werden sollten.

Die heute in Europa am meisten verwendeten Baumethoden (Uferpfahlwand, Uferkranerwand, und Spreitlage) wurden in Südbrasilien im Rahmen des gegenständlichen Projektes bereits angewandt und haben gute Ergebnisse gebracht. Andere, in der Ingenieurbiologie oft angewandete Arbeitsweisen, sollten ebenfalls unter den im Südbrasilien herrschenden klimatischen, bodenkundlichen und hydrologischen Bedingungen getestet werden. So kann auch Studenten und interessierten Grundbesitzern ein breites Beispielspaket zur Verfügung gestellt werden.

Damit auch die Praxis von diesen Arbeiten profitiert, sollten die gewonnenen Erfahrungen auch in Fachkreisen verbreitet werden. Das könnte am besten durch Einbau der Erkenntnisse in Vorlesungsinhalte an der UFSM erreicht werden.

Die Entwicklung eines eigenen Programms zur Verbreitung der gewonnenen Erkenntnisse in den Gemeinden mittels Vorträgen, schriftlichen Informationen, Demonstrationsbauwerken, Exkursionen zu Problemstellen und zu gelungenen Baubeispielen wären ebenfalls wichtig und wünschenswert.

Wien, am 31. Oktober 2006

Dipl. Ing. Fabrício J. SUTILI
Der Sachbearbeiter

O. Univ. Prof. Dr. Florin FLORINETH
Der Projektleiter

7 LITERATURVERZEICHNIS

ALTREITER, W. und PLUNGER, K.; 2004

Ingenieurbioologische Maßnahmen am Rio Guarda-mor in Südbrasilien – Untersuchung der Biologisch-Technischen Eigenschaften von Ufergehölzen. Diplomarbeit der Universität für Bodenkultur, Wien.

ANDRAE, F. H. und DURLO, M. A.; 1997

Stärkung kleinbäuerlicher Landnutzung im zentralen Rio Grande do Sul, Brasilien (Südabdachung des Planalto zur Depressão Central, westlich des Rio Jacuí). KEF Projekt 102. Universität für Bodenkultur, Wien.

CABRERA, A. L.; CORREA, M. N.; DAWSON, G.;

FABRIS, H. A.; KRAPOVICKAS, A. und PONTIROLI, A.; 1965

Flora de la Provincia de Buenos Aires - Oxalidáceas a Umbelíferas. Parte IV. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

DURLO, M. A.; 1996

Zuwachsuntersuchungen und Einzelbaumwachstumsmodelle für *Cabralea glaberrima*, *Cederla fissilis* und *Cordia trichotoma* in sekundären Laubmischwäldern Südbrasilien. Dissertation der Universität für Bodenkultur, Wien.

FLORINETH, F.; 2004

Pflanzen statt Beton. Handbuch zur Ingenieurbioologie und Vegetationstechnik. Patzer Verlag Berlin – Hannover ISBN 3-87617-107-5, 282 Seiten.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2006

Síntese de Indicadores Sociais 2005. Rio de Janeiro: Estudos e Pesquisas / Informação Demográfica e Socioeconômica número 17.

ISS, ISRIC, FAO; 1998

World reference base for soil resources, FAO.

World Soil Resources Reports 84, Rome. (Deutsche Übersetzung)

LOMBARDO, A.; 1964

Flora Arborea y Arborescente del Uruguay. 2° edição, Motevideo.

MARCHIORI, J. N. C.; 2004

Fitogeografia do Rio Grande do Sul – campos sulinos. Porto Alegre: Ed. EST.

MARCHIORI, J. N. C.; 2000

Dendrologia das Angiospermas – das Bixáceas às Rosáceas.

Santa Maria: Editora da UFSM.

MARCHIORI, J. N. C.; 1997

Dendrologia das Angiospermas – Leguminosas.

Santa Maria: Editora da UFSM.

MORENO, J. A.; 1961

Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura.

RADAMBRASIL – Projeto; 1986

Levantamento de recursos naturais, volume 33. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

REITZ, P. R.; 1988

Euforbiáceas. In: REITZ, P. R. (Org.). Flora Ilustrada Catarinense.
Itajaí: Herbário Barbosa Robrigues.

REITZ, P. R.; 1967

Combretáceas. In: REITZ, P. R. (Org.). Flora Ilustrada Catarinense.
Itajaí: Herbário Barbosa Robrigues.

SCHROEDER, D. und BLUM, E. H. W.; 1992

Bodenkunde in Stichworten. Ferdinand Hirt Verlag, Berlin, Stuttgart.

SUTILI, F. J.; 2001

Bacia hidrográfica do arroio Guarda-mor: características e proposições para o manejo dos cursos de água. Relatório de Estágio – Santa Maria: Curso de Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria.

SUTILI, F. J.; 2004

Manejo biotécnico do arroio Guarda-Mor: princípios, processos e práticas. Dissertação de Mestrado – Santa Maria: Programa de Pós- Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria.

VOLLSINGER, S.; DOPPLER, F. und FLORINETH, F.; 2000

Ermittlung des Stabilitätsverhaltens von Ufergehölzen im Zusammenhang mit Erosionsprozessen an Wildbächen. Endbericht vorlegt dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Gruppe VC, Schutz von Wildbächen, Erosion und Lawinen.

WEITZER, C. H.; DOPPLER, F. und FLORINET, F.; 1999

Untersuchungen über die Wirksamkeit von Pflanzen in Einzugsgebieten des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinenverbauung. 2. überab. Aufl., Arbeitsb. Ingenieurbiologie u. Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien, Hrsg. BMLF, Gruppe V/C, Wien.