

**Einfluß landwirtschaftlicher Flächenvorbereitung auf die Dynamik des
Wurzelsystems und die oberirdische Regeneration der Sekundärvegetation
Ostamazoniens, Pará, Brasilien.**



Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Agrarwissenschaften
der Georg-August-Universität, Göttingen

vorgelegt von
Jan Wiesenmüller,
geboren in Hildesheim

Göttingen, Mai 1999

D7

1. Referent: Prof. Dr. Vlek
2. Korreferent: Prof. Dr. Fölster

Tag der mündlichen Prüfung 20.05.1999

Meinen Großeltern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Material und Methoden	4
2.1	Untersuchungsgebiet	4
2.1.1	Klima	4
2.1.2	Geologie und Böden	5
2.1.3	Natürliche Vegetation	7
2.1.4	Landnutzung	8
2.1.4.1	Das traditionelle Brachesystem mit Brandrodung	8
2.1.4.2	Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung	9
2.2	Beschreibung der Untersuchungsflächen	12
2.2.1	Lage der Feldexperimente	12
2.2.2	Anlage der Feldexperimente	12
2.2.3	Behandlungen	13
2.2.4	Beprobungsschema und Probenaufbereitung	16
2.2.4.1	Wurzelextraktion mittels Bohrkernmethode	16
2.2.4.2	Entnahme von Bodenmonolithen zur Bestimmung der Grobwurzelmasse	17
2.2.4.3	Profilwände	18
2.2.4.4	Feinwurzelproduktion mit der Gazebeutelmethode	20
2.2.4.5	Floristische Zusammensetzung der Vegetation	21
2.2.4.6	Deckungsgrad der Vegetation	22
2.2.4.7	Zuwachsmessungen an der Vegetation	22
2.2.4.8	Bestimmung der oberirdischen Phytomasse	23
2.2.4.9	Regeneration ausgewählter Arten aus Wurzel- und Sproßteilstücken	24
2.2.4.10	Nachweis von Stärke in unter- und oberirdischen Teilen verschiedener Arten der Brachevegetation	25
2.2.4.11	Physikalische und chemische Bodenanalysen	27
2.3	Statistische Methoden	30
2.3.1	Allgemein	30
2.3.2	Modellierungsansatz zur Bestimmung der Feinwurzelmassen und der Nettoproduktionsleistung	31
3	Vergleich der Bodenzustände behandelter und unbehandelter Flächen	33
3.1	Physikalische Bodeneigenschaften	33
3.2	Chemische Bodeneigenschaften	34
3.2.1	Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte	34
3.2.2	Austauschbarer Phosphor	35
3.2.3	pH-Werte und austauschbare Kationen	35
3.2.4	Effektive Austauschkapazität Ak_e	36
3.3	Zusammenfassung	37
4	Wurzelproduktion in Gazebeuteln	39
4.1	Vorversuch zur Bestimmung der 'lag-Phase'	39
4.2	Feinwurzelproduktion in Gazebeutel-Untersuchungen	40
4.2.1	Verhältnis der Produktionsleistungen in drei Tiefenstufen	40
4.2.2	Wurzelmasseedichte im Exp 4a	40
4.2.3	Wurzellängendichte im Exp 4a	44
4.2.4	Wurzelmasseedichte im Exp 9a	46
4.2.5	Wurzellängendichte im Exp 9a	49
4.2.6	Spezifische Wurzellänge	51
4.3	Jahresnettoproduktion der Feinwurzelmasse	53

II

4.3.1 Massenanteile verschiedener Durchmesserfraktionen in Gazebeuteln	53
4.3.2 Tiefenverteilung der Feinwurzelproduktion.....	54
4.3.2.1 Vergleich des Startwertes a	55
4.3.2.2 Vergleich der Abnahmerate c	56
4.3.2.3 Ausdehnung des Bodenhorizontes mit 50 % Nettofeinwurzelproduktion	57
4.3.2.4 Feinwurzelnettoproduktion nach 180 d Verbleibdauer	57
4.3.2.5 Feinwurzelnettoproduktion nach 360 d Verbleibdauer	58
4.4 Zusammenfassung und Diskussion	60
5 Wurzelmasse und Wurzellänge in den Feldexperimenten	72
5.1 Wurzelmasse in der Ausgangsvegetation.....	72
5.1.1 Wurzelnekromasse in den Ausgangsvegetationen	76
5.1.2 Modellierung der Feinwurzelmassenverteilung in der Ausgangsvegetation.....	77
5.2 Wurzelmasse und Wurzellänge in den Behandlungen.....	80
5.2.1 Lebende Feinwurzelmasse in den Behandlungen.....	80
5.2.2 Modellierung der Feinwurzelverteilung in den Behandlungen	82
5.2.2.1 Wurzelmasse	82
5.2.3 Wurzellänge	85
5.2.4 Wurzelnekromasse	88
5.3 Vergleich der Feinwurzelvorräte der Ausgangsvegetation mit den Behandlungen	89
5.3.1 Frequenz der Wurzeln verschiedener Durchmesserklassen	90
5.3.1.1 Frequenz nach Beprobung mit der Bohrkernmethode.....	90
5.3.1.2 Verteilung von Schwach- und Grobwurzeln in Profilwänden	92
5.3.2 Wurzelvorräte bestimmt mit Bodenmonolithen	94
5.4 Zusammenfassung und Diskussion	98
6 Oberirdisches Wachstum der Vegetation	111
6.1 Floristische Zusammensetzung	111
6.1.1 Arteninventar.....	112
6.1.2 Behandlungs- und Flächenvergleich	113
6.2 Deckungsgrad der Sekundärvegetation	114
6.3 Oberirdisches Längen- und Durchmesserwachstum	115
6.3.1 Beschreibung der Regenerationsform	115
6.3.2 Längen- und Durchmesserwachstum des Bestandes	116
6.3.3 Oberirdischer Zuwachs von <i>Lacistema pubescens</i>	118
6.3.3.1 Regenerationsmuster	118
6.3.3.2 Wachstumsleistung.....	120
6.3.4 Oberirdischer Zuwachs von <i>Vismia guianensis</i>	121
6.3.4.1 Regenerationsmuster	121
6.3.4.2 Wachstumsleistung.....	123
6.3.5 Oberirdischer Zuwachs von <i>Rollinia exsucca</i>	124
6.3.5.1 Regenerationsmuster	124
6.3.5.2 Wachstumsleistung.....	126
6.3.6 Oberirdischer Zuwachs von <i>Phenakospermum guyannense</i>	126
6.3.6.1 Regenerationsmuster	126
6.3.6.2 Wachstumsleistung.....	128
6.4 Oberirdische Phytomasse in den Feldexperimenten.....	129
6.4.1 Phytomasse der 4- und 9jährigen Sekundärvegetation.....	129
6.4.2 Phytomasse der Vegetation in den Behandlungen	131
6.5 Zusammenfassung und Diskussion	134
7 Stärkespeicherung in unter- und oberirdischen Teilen verschiedener Arten der Brachevegetation	137

III

7.1 Intensität der Anfärbung durch Jod-Kaliumjodid-Lösung in verschiedenen Pflanzenteilen	137
7.2 Zusammenfassung und Diskussion	139
8 Regeneration aus Sproß- und Wurzelstücken	141
8.1 'Screening' zur potentiellen Regenerationsfähigkeit aus Sproß- und Wurzelstückchen.....	141
8.2 Regenerationsfähigkeit aus Wurzelstückchen unterschiedlicher Länge	146
8.2.1 Austriebshäufigkeit	146
8.2.2 Anzahl und Masse von Adventivsprossen in Abhängigkeit von Länge, Volumen und Masse von Wurzelstückchen.....	147
8.2.3 Adventivbewurzelung der Wurzelstücke	147
8.3 Zusammenfassung und Diskussion	149
9 Abschließende Diskussion der Ergebnisse.....	153
9.1 Methoden.....	153
9.2 Produktivität des Feinwurzelsystems	156
9.3 Oberirdische Biomasseproduktion in Abhängigkeit von den Wurzelmassevorräten...	160
9.4 Nettogesamtproduktion der ober- und unterirdischen Vegetationsanteile	164
9.5 Die Sekundärvegetation als Biomasseakkumulator	166
9.6 Konsequenzen für die Landnutzung und das Brachemanagement.....	169
9.7 Schlußfolgerungen.....	172
10 Zusammenfassung	174
11 Summary	178
12 Resumo.....	181
13 Zitierte Literatur	185
14 Anhang	198

Verzeichnis der verwendeten Maßeinheiten, Abkürzungen und Symbole

a	Jahr
mon	Monat
d	Tag
t	Tonne (1000 kg)
kg	Kilogramm
g	Gramm
mg	Milligramm
m	Meter
cm	Zentimeter
mm	Millimeter
ha	Hektar
°C	Grad Celsius
%	Prozent
Mio.	Million
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPATU	ehemals: Centro de Pesquisa Agropecuária nos Trópicos Úmidos jetzt: EMBRAPA Amazônia Oriental
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
FCAP	Faculdade das Ciências Agrárias do Pará
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IDESP	Instituto do Desenvolvimento Econômico-Social do Pará
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SHIFT	Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics
Exp 4a	Feldexperiment in Cumaru, Alter der Vegetation zu Beginn 3 Jahre
Exp 9a	Feldexperiment in Curi, Alter der Vegetation zu Beginn 8 Jahre
Cap	Capoeira = unbehandelte Sekundärvegetation
gebr	Behandlung mit Brandrodung
entst	Manuelle Entstockung
P,E	Maschinelle Behandlung mit Pflug und Egge
P,E,R	Maschinelle Behandlung mit Pflug, Egge und Schneidwalze (Rolofaca)
NFP	Nettofeinwurzelproduktion
TNC	Total nonstructural carbohydrates
WMD	Wurzelmassendichte
WLD	Wurzellängendichte
WSV	Wurzel-Sproß-Verhältnis
∅	Durchmesserklasse der Wurzelfraktionen

1 Einleitung

Aus dem jüngsten Waldzustandsbericht der FAO (1997) geht hervor, daß die Vernichtung tropischer Waldflächen in großem Maßstab voranschreitet. Im Zeitraum von 1980 bis 1990 gingen durchschnittlich 15,4 Mio. ha Wald pro Jahr durch Rodungen verloren, was einem Prozentsatz von 0,8 % aller Waldflächen der Erde entspricht. Die Entwaldungsrate in den Entwicklungsländern ist nach neuesten Schätzungen zwar leicht rückläufig, beträgt aber immer noch 13,7 Mio. ha jährlich.

In Brasilien, welches 1995 über eine gesamte Waldfläche von 551 Mio. ha verfügte, gingen in dem Zeitraum von 1990 bis 1995 jährlich 2,6 Mio. ha durch Rodungen verloren. Der weitaus größte Teil dieser Waldflächen wurde in agronomische Kulturflächen und Weideland umgewandelt (FEARNSIDE, 1995; FAO, 1997). Unter allen Regionen Amazoniens ('Amazônia legal') wurden in der Zeit von 1978 bis 1996 mit 17,6 Mio. ha die größten Waldrückgänge aus dem Bundesstaat Pará berichtet, gefolgt von Mato Grosso mit 11,9 Mio. ha und Maranhão mit 9,9 Mio. ha (INPE, 1999).

Das Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit liegt in der Zona Bragantina im östlichen Teil des Bundesstaates Pará. Im Gegensatz zu anderen amazonischen Regionen reicht der Beginn der Besiedlung in der Zona Bragantina schon über 100 Jahre zurück. Seit dieser Zeit existiert dort eine kleinbäuerliche Landwirtschaft. Das traditionelle Landnutzungsverfahren ist die Wald-Feld-Wechselwirtschaft mit Brand. Dazu werden Waldflächen gerodet und gebrannt, die Areale für die Dauer von 1 - 2 Jahren unter Kultur genommen und anschließend wieder sich selbst überlassen. Auf den zuvor bewirtschafteten Flächen entwickelt sich dann eine Brachevegetation. Unter den Bedingungen der kleinbäuerlichen Landwirtschaft wurde die zonale Vegetation, der Terra-Firme-Regenwald, im Laufe der Zeit zu großen Teilen durch eine niedrige Sekundärvegetation ersetzt (SIOLI, 1969; WATRIN, 1994). Zunehmende Bevölkerung bei gleichzeitiger Landknappheit führten in den letzten Jahren zu einer Erhöhung der Nutzungsintensität der Flächen, die in erster Linie über die Verkürzung der Brachezeiten erreicht wird. Eine ausreichende Brachedauer ist aber wichtig, um die Systemproduktivität des kleinbäuerlichen Bewirtschaftungssystems sicherzustellen. Die Hauptfunktionen der Sekundärvegetation sind die Nährstoffakkumulation in der pflanzlichen Biomasse und die Unkrautunterdrückung für die nachfolgende Kulturphase (DENICH, 1989). Durch kontinuierlichen Eintrag organischen Materials tragen insbesondere die Wurzeln der Vegetation zur Erhöhung des Kohlenstoffanteils im Boden und damit zur Verbesserung der

Bodeneigenschaften bei (GOSS, 1991). Neben ihrer agronomischen Bedeutung ist die Sekundärvegetation für die Bevölkerung auch von direktem praktischen und ökonomischen Wert, wie beispielsweise bei der Gewinnung von Bau- und Brennholz sowie für die Produktion von Holzkohle (WITHELM, 1993). Unter biologischen Aspekten wichtig sind die Erhaltung der Biodiversität (LUGO, 1995; SILVER et al., 1996a) und ihr genetisches Artenreservoir (RIEDE, 1990). Unter globalklimatischen Gesichtspunkten bindet die Vegetation erhebliche Mengen von atmosphärischen Kohlenstoff in ihren ober- und unterirdischen Anteilen (GOLDAMMER, 1990; FEARNSIDE, 1995; GRACE et al., 1995).

Eine Besonderheit des Wachstums der Sekundärvegetation besteht darin, daß sie sich zu großen Teilen vegetativ auf ehemaligen Kulturflächen regeneriert und ausbreitet. Dies geschieht durch die Bildung neuer Austriebe an Baumstümpfen und durch Wurzelbrut aus oberflächennahen Grobwurzelresten der vorangegangenen Sekundärvegetation.

Die Frage, ob das gegenwärtig noch weitverbreitete System der traditionellen kleinbäuerlichen Betriebe in Hinsicht auf eine nachhaltige landwirtschaftliche Nutzung der natürlichen Ressourcen auf Dauer Bestand haben kann, ist bislang nicht eindeutig geklärt. Nach jüngsten Untersuchungen ergeben sich Anzeichen für eine zunehmende Degradation der Vegetation und der Nährstoffvorräte und damit für eine Abnahme der Produktivität des gesamten Systems (DENICH & VLEK, 1996; BAAR, 1997, HÖLSCHER et al., 1997; KLINGE, 1998).

Hingegen steht fest, daß sich ein Wandel in der regionalen Landwirtschaft vollzieht. Zunehmend findet ein Übergang von traditionellen Wirtschaftssystemen mit Brandrodung zu (semi-)permanenten Kulturen unter Einsatz stärkerer Mechanisierung statt. Es kann nicht abgesehen werden, welche chemischen, physikalischen und biologischen Veränderungen im Boden stattfinden, wenn die Brachevegetation weitestgehend zerstört und durch mehrjährige Kulturpflanzen ersetzt wird. Dagegen besteht Sicherheit darüber, daß mit zunehmender Kulturdauer und durch Mechanisierung der landwirtschaftlichen Flächenvorbereitung langfristige Veränderungen der Vegetationsdecke hinsichtlich der floristischen Zusammensetzung (BAAR, 1997) wie auch der Produktivität stattfinden (NUÑEZ, 1995). Bei dieser Bewirtschaftungsform wird die Vegetation nicht mehr manuell gerodet. Statt dessen werden Zugmaschinen eingesetzt, die die oberirdische Phytomasse umbrechen und anschließend verschiedene Bodenbearbeitungsgänge durchführen. Die Brachevegetation, einst ein fest integrierter Bestandteil der landwirtschaftlichen Nutzung und Garant für die Erhaltung der Systemproduktivität, verliert dabei zunehmend ihre Schutz- und Regenerationsfunktion.

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, Beurteilungskriterien für den Zustand des Agroökosystems durch den Vergleich von verschiedenen Parametern des Wurzelsystems zu finden. Im Mittelpunkt des Interesses stand der Einfluß der Kulturflächenbehandlung auf die unter- und oberirdische Regenerationskapazität verschiedener Entwicklungsstufen der Sekundärvegetation. Hierzu wurden die Vorräte und die kurz- und mittelfristige Produktionsleistung verschiedener Fraktionen des Wurzelsystems bestimmt und in Beziehung zum oberirdischen Aufwuchs gesetzt. Schließlich sollten Aussagen darüber getroffen werden, inwiefern die verschiedenen Landnutzungsverfahren Beiträge zur nachhaltigen Produktionssicherung leisten können, beziehungsweise wie hoch ihr Degradationspotential ist.

Die Arbeit wurde im Rahmen des Projektes "Sekundärwald und Brachevegetation in der Kulturlandschaft des östlichen Amazonasgebietes - Funktion und Manipulierbarkeit" durchgeführt. Das Projekt ist Teil des Forschungsprogramms "Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics" (SHIFT), welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in Zusammenarbeit mit dem brasilianischen Partner CNPq/IBAMA getragen wird. Beteiligte Institute auf brasilianischer Seite sind EMBRAPA und die FCAP. Von deutscher Seite arbeitet das Institut für Pflanzenbau und Tierproduktion in den Tropen und Subtropen der Universität Göttingen mit.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Alle Felduntersuchungen zur vorliegenden Arbeit fanden im östlichen Amazonasgebiet Brasiliens in der Zona Bragantina (Bundesstaat Pará) statt. Das Untersuchungsgebiet befindet sich 120 km östlich von Belém im Munizip Igarapé Açu und liegt auf $1^{\circ} 07' S$ Breite und $47^{\circ} 36' W$ Länge (Abbildung 1) 39 m über dem Meeresspiegel.

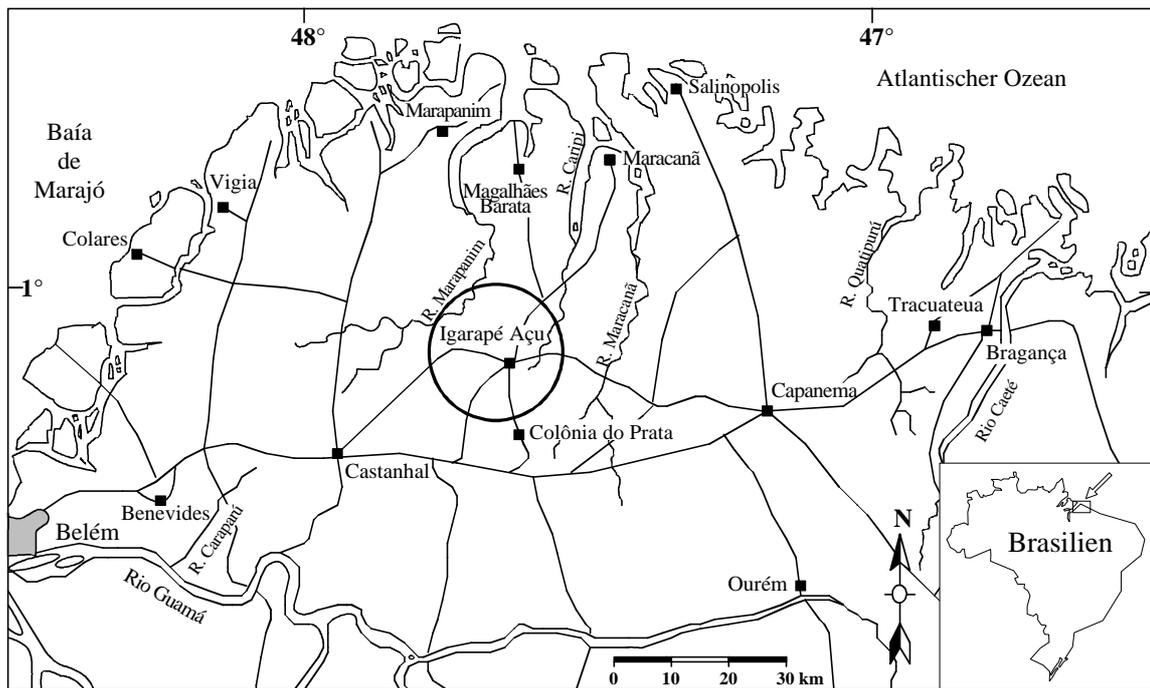


Abbildung 1: Geographische Lage der Zona Bragantina, Igarapé Açu ist durch Einkreisung hervorgehoben.

2.1.1 Klima

Die Zona Bragantina, die im Einflußbereich der innertropischen Konvergenzzone liegt, entspricht nach der klimatischen Klassifikation von KÖPPEN (1936) dem Klimatyp „Am“ und wird von WALTER & BRECKLE (1984) dem tropischen Zono-Ökoton I/II, genauer dem Übergangsbereich zwischen den Zonobiom I und II (äquatoriales Tageszeitenklima und tropisches, humido-arides Sommerregenklima) zugeordnet.

Regen fällt in der Region über das gesamte Jahr, die Niederschlagsmengen sind jedoch zeitlich ungleich verteilt. Nach Daten der DNAEE und der FCAP (Beobachtungsdauer 11 Jahre) errechnet sich ein Regenjahresmittel von 2445 mm. Das Monatsmittel während der fünf

regenreichsten Monate (Januar - Mai) beträgt 331 mm. Es verringert sich in der Trockenzeit (September - November) auf unter 50 mm (Abbildung 2). Der überwiegende Teil der Niederschläge wird aus Nordosten vom Meer hergetragen, was auch mit 76 % aller Tage im Jahr der Hauptwindrichtung in dieser Region entspricht (HÖLSCHER, 1995). Dauer und Ausprägung der Trockenperiode nehmen in der Zona Bragantina nach Osten hin zu. Klimadaten zur Zona Bragantina sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Klimadaten der Zona Bragantina, nach DINIZ (1986).

Jahresdurchschnittstemperatur [°C]	26
Variation monatl. Temperaturmittel [°C]	± 1
Jährliche Sonnenscheindauer [h]	2200-2400
Jahresregensmenge [mm]	2000-3000
Anzahl der Regentage	180-240
mittlere tägl. rel. Luftfeuchte [%]	73-90

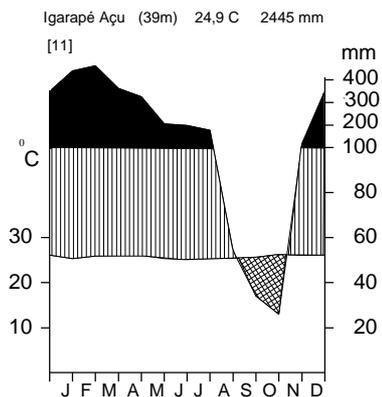


Abbildung 2: Klimadiagramm von Igarapé Açu, nach WALTER & LIETH, 1960; Daten der DNAEE und FCAP Igarapé Açu.

2.1.2 Geologie und Böden

Die Zona Bragantina liegt in der Übergangsregion des Zentralteils zum südöstlichen Randgebiet des Amazonasbeckens. Die Böden entstanden aus präkambrischen kontinentalen Sedimenten des guyanischen und brasilianischen Schildes (Barreiras-Sedimente). Sie sind teilweise von paläozoischen und mesozoischen Schichten sowie neuzeitlichen Sandaufschüttungen überdeckt. Ihr Ausgangsmaterial waren Gneise, Granite und Sandsteine, die wegen der langen Einwirkungsdauer der klimatisch bedingten sehr starken Mineralverwitterung nährstoffarm sind (FITTKAU, 1971; FÖLSTER & FASSBENDER, 1984; WEISCHET, 1990). Der Gehalt an verwitterbaren, primären Silikaten ist gering und dementsprechend ist die Kationenaustauschkapazität der Mineralsubstanz sehr niedrig.

Über die Bodenverhältnisse des östlichen Amazonasgebietes und insbesondere der Zona Bragantina liegen Arbeiten von VIEIRA et al. (1967) und DA SILVA & CARVALHO (1986) vor. Es wird das Vorkommen folgender in der Region weit verbreiteter Bodentypen beschrieben: Oxisols (Latossolo amarelo, Latossolo vermelho amarelo), Ultisols (Podsólíco vermelho amarelo, Solos gleitutróficos), Entisols (Areias quartzosas) sowie nicht näher beschriebene hydromorphe Böden des Küstenbereiches.

Weniger differenziert stellt sich die Verteilung der Böden im Untersuchungsgebiet, in der unmittelbaren Umgebung von Igarapé Açu, dar. Großflächig erstrecken sich Ultisole, die in ihrer chemischen und physikalischen Zusammensetzung auffällig homogen sind. REGO et al. (1993) berichteten von Tonverlagerung im B-Horizont und klassifizierten die Böden als 'typic kandiuults', gemäß der amerikanischen Taxonomie (USDA, 1994). Die Böden sind tiefgründig und weisen in der Regel keine lateritischen Konkretionen auf. Sie besitzen eine gute Wasserleitfähigkeit und eine geringe Wasserhaltekapazität, was auf ihren hohen Sandanteil von bis zu mehr als 90 % im Oberboden zurückzuführen ist (Tabelle 2).

Der pH-Wert des Bodens unter einer 5jährigen Brachevegetation beträgt etwa 5,4 in den oberen 10 cm und verringert sich auf 4,7 bis in 50 cm Tiefe (Tabelle 2). Auf Flächen, die innerhalb einer Jahresfrist gebrannt wurden, lassen sich höhere Werte bis pH 6 messen.

Im Vergleich mit typischen zentralamazonischen Böden sind die Kationenkonzentrationen im Untersuchungsgebiet leicht erhöht (WEISCHET, 1990), was auf das Vorkommen der sogenannten Pirabas-Formation zurückgeführt wird (ACKERMANN (1969) in DENICH (1989)). Hierbei handelt es um eine Kalkstein-Sand-Ton-Ablagerung, die an einigen Stellen des Untersuchungsgebietes oberflächennah auftritt. An diesen Stellen lassen sich erhöhte pH-, Ca- und Bicarbonatwerte nachweisen. Die geologische Formation scheint nach Aussage der Autoren auch zur Verbesserung der Versorgung der Böden mit Spurenelementen beizutragen.

Schließlich werden die häufigen Brandereignisse im traditionellen Landwirtschaftssystem der Region als wichtiger Faktor für die Anhebung der Ca-, K- und Mg-Gehalte im Oberboden verantwortlich gemacht. HÖLSCHER (1995) beobachtete innerhalb eines Jahres nach dem Brand signifikante Erhöhungen der Kationenaustauschkapazität und Anhebungen des pH-Wertes.

In Bezug auf die Versorgung der Brachevegetation mit Makronährstoffen läßt sich eindeutige P-Limitierung feststellen. N als Mangelfaktor wird diskutiert (GEHRING et al., 1999, KATO, 1998a, KATO, 1998b).

Die effektive Austauschkapazität (Ak_e) im Oberboden (0 - 10 cm) ist als niedrig einzustufen (2,13 - 1,13 $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ Boden) und wird zu 31 - 40 % durch Ca bestimmt. Mit zunehmender Bodentiefe nimmt sie ab, wobei ab 20 - 30 cm Al das bestimmende Kation wird. In 40 - 50 cm Bodentiefe beträgt die Al-Sättigung 53 % der Ak_e . Aufgrund der hohen Al-Sättigung im Unterboden vermuteten verschiedene Autoren phytotoxische Effekte (DENICH, 1989; THIELEN-KLINGE, 1997). Demgegenüber fand HÖLSCHER (1995) nur geringe oder unter der Nachweisgrenze liegende Al-Konzentrationen in der Bodenlösung.

Tabelle 2: Physikalische und chemische Bodendaten unter verschieden alter Sekundärvegetation in Cumaru (Exp 4a) und Curi (Exp 9a). Die Daten wurden in den Ausgangsvegetationen (Cap) der Feldexperimente erhoben (siehe Abschnitt 2.2.3).

Alter der Vegetation		4a			9a		
Bodentiefe [cm]		0 - 10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50
Grobsand	[%]	37	33	29	64	50	67
Feinsand	[%]	42	38	37	25	32	26
Schluff	[%]	9	8	6	4	4	3
Ton	[%]	12	21	28	7	14	4
Lagerungsdichte	[t*m ⁻³]	1,20	1,26	1,29	1,44	1,40	1,42
pH	(H ₂ O)	5,4	5,0	4,7	5,4	5,1	4,8
pH	(KCl)	4,4	4,1	3,9	4,4	4,2	3,9
Na	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,09	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07
K	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02
Ca	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,69	0,21	0,15	0,45	0,20	0,16
Mg	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,13	0,06	0,04	0,08	0,04	0,03
Al	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,19	0,53	0,78	0,04	0,16	0,48
Ake	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	1,98	1,19	1,27	1,26	0,79	0,97
P_(Bray 1)	[mg*kg ⁻¹]	1,6	1,1	0,6	2,0	1,4	1,1
C	[%]	1,1	0,7	0,5	0,8	0,5	0,4
N	[%]	0,08	0,05	0,04	0,06	0,04	0,03
C/N		14,4	14,5	13,7	13,8	13,1	15,7

Weitere Bodenbeschreibungen der Untersuchungsregion liegen in der Literatur vor bei DENICH (1989), NUÑEZ (1995), MACKENSEN et al. (1996), HÖLSCHER (1995), BAAR (1997), DIEKMANN (1997), GEHRING et al. (1999), THIELEN-KLINGE (1997), KATO (1998a).

2.1.3 Natürliche Vegetation

Die zonale Vegetation der Zona Bragantina ist der tropische Regenwald. Phytogeographisch ordnet HUECK (1966) die Vegetation dem amazonischen Regenwald der Region Tocantins und Gurupi zu. Die natürlichen Vegetationsformen der Zona Bragantina bilden Terra-Firme-Wälder, Várzea- und Igapó-Vegetation entlang von Flußläufen, Grasländer sowie Mangrovenwälder im Küstenbereich. Im Laufe der Besiedlung der Zona Bragantina wurde die natürliche Vegetation auf Marginalstandorte zurückgedrängt. Man findet sie nur noch entlang der Uferbereiche von Bächen und Flüssen, in Sumpfbereichen und auf Flußinseln. Selbst diese Restbestände sind durch Holzentnahme im Vergleich zur Primärvegetation stark gestört.

2.1.4 Landnutzung

Die großflächige Konversion natürlicher Vegetation in landwirtschaftlich genutzte Flächen führte zu einer stark anthropogen geformten Kulturlandschaft. Nach Daten des brasilianischen statistischen Bundesamtes (IBGE, 1985) bestimmen buschige Sekundärwälder unterschiedlichen Alters zu 66 %, Weiden und landwirtschaftlich genutzte Flächen zu 13 % und leicht oder gar nicht veränderte Vegetation zu 8 % das Erscheinungsbild der Region. Neuere Untersuchungen, basierend auf Satellitenbilddatenauswertungen von 1991, ergaben folgendes Bild der Landnutzung des 786 km² großen Munizip Igarapé Açu (WATRIN, 1994): 95 % der ehemaligen geschlossenen Primärwaldbedeckung gelten als verändert. 73 % der Gesamtfläche bestehen aus Brachevegetation. Deren Alter beträgt zu 60 % 7 Jahre oder weniger. Der Anteil der Weideflächen wird mit 16 % angegeben. Agronomisch bewirtschaftete Flächen bedeckten 4 % des Munizipareals. Die unterschiedlichen Angaben WATRINs (1994) und des IBGE (1993) über die Entwicklung der Landnutzung lassen sich einerseits durch verschiedene Bezugsgrundlagen (Altersgruppen der Vegetation, Einordnung einer Fläche als junge Brache oder Kulturfläche) und andererseits durch Schwierigkeiten bei der eindeutigen Vegetationszuordnung mittels der Satellitenbilddatenauswertung erklären. Die tatsächlichen prozentualen Anteile von agronomisch genutzten Flächen dürften auf 4 - 13 % der Gesamtfläche des Munizipes geschätzt werden.

2.1.4.1 Das traditionelle Brachesystem mit Brandrodung

Das traditionelle Landnutzungssystem im Munizip Igarapé Açu ist der Brandrodungsfeldbau, auch Wald-Feld-Wechselwirtschaft mit Brandrodung genannt. Dieses 2phasige Nutzungssystem setzt sich zusammen aus einer 1,5 - 2jährigen Anbauphase und einer darauffolgenden Brachephase, die unter den derzeit gegebenen Bedingungen selten mehr als 7 Jahre beträgt (Abbildung 3).

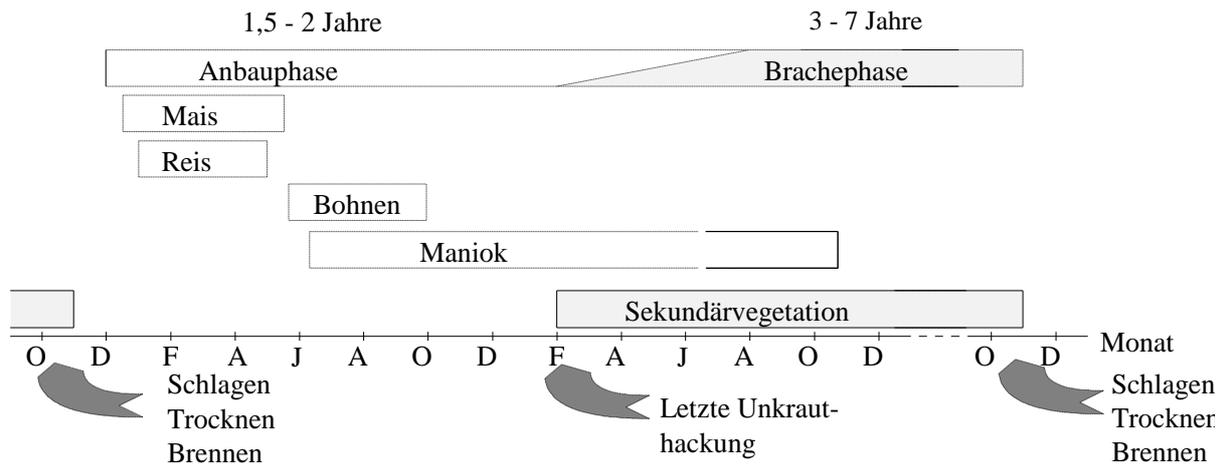


Abbildung 3: Schema des traditionellen Landnutzungszyklus innerhalb des kleinbäuerlichen Brachesystems (nach DENICH, 1991).

Der Nutzungszyklus beginnt in der niederschlagsarmen Jahreszeit im November/Dezember, wenn Sekundärwaldflächen von 3 - 7 Jahren Bestandesalter manuell mit Macheten geschlagen werden. Die geschlagene Vegetation wird zum Trocknen liegen gelassen und anschließend gebrannt. Zu Beginn der Regenzeit gegen Ende Dezember wird Mais (*Zea mays*), seltener Trockenreis (*Oryza sativa*) in die Brandflächen ausgesät. Im Februar/März, noch vor der Ernte des Mais, werden Maniokstecklinge zwischen die Anbaureihen gepflanzt und verbleiben dort bis zur endgültigen Entnahme. Dem Maniokanbau kann eine Phase mit Bohnenanbau (*Vigna unguiculata*) vorausgehen. Während der gesamten Anbauphase werden in 2- bis 3monatigen Intervallen Unkrauthackungen und Triebrückschnitte aussprossender Sekundärvegetation durchgeführt. In den letzten 6 Monaten der Kulturphase mit Maniokanbau wird nicht mehr gehackt. Dieses Management führt dazu, daß zum Zeitpunkt der Entnahme der Maniokknollen bereits eine niedrige Sekundärvegetation existiert, die zur Ausgangsbasis für die nachfolgende Brache wird. Ein typischer Familienbetrieb baut etwa 2 ha pro Jahr an (SANTANA, 1990).

2.1.4.2 Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung

In den letzten Jahren fand auf Teilflächen zunehmend ein Übergang vom traditionellen Bewirtschaftungssystem zum vermehrten Anbau mehrjähriger landwirtschaftlicher Kulturen statt. Vor allem der Anbau der cash crops Pfeffer (*Piper nigrum*) und Maracujá (*Passiflora edulis*) verspricht höhere Einkünfte bei geringem Flächeneinsatz (Tabelle 3).

Tabelle 3: Relativer erwirtschafteter Marktwert bei gegebenem Flächenbedarf verschiedener Kulturen im Munizip Igarapé Açu. Daten basierend auf IDESP (1991) und IBGE (1993).

Kultur	% Anteil am Gesamtwert der Produktion	Anbau auf % der Gesamtfläche
Pfeffer	46	22
Maracujá, Papaya	25	12
gesamt	71	34
Maniok	26	28
Mais	1	12
Reis	1	13
Bohnen	1	13
gesamt	29	66

Im kleinbäuerlichen Betrieb findet die Flächenvorbereitung für Pfeffer und Maracujá zunächst auf die gleiche Weise statt wie bei dem traditionellen Verfahren der Wald-Feld-Wechselwirtschaft. Manuellem Fällen der Brachevegetation folgt der Brand. In Einzelfällen wird auf Fällen und Brennen der Vegetation verzichtet, wenn Pfeffer oder Maracujá direkt im Anschluß an die Maniokernte gepflanzt werden. In beiden Fällen wird in einem anschließenden Arbeitsgang die Fläche entstockt. Hierzu entfernt der Landwirt alle auf der Kulturfläche verbliebenen Baumstümpfe, indem er sie in 10 - 30 cm Tiefe abhackt. Der Zweck dieser Maßnahme liegt in der Verminderung der Wurzelkonkurrenz durch Pflanzen der Sekundärvegetation. Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der Verringerung der Anzahl von oberirdischen Austrieben und Wurzelsprossen, wodurch sich der Arbeitsaufwand für Sproßrückschnitte während der Kulturphase deutlich erniedrigt. Flächen, in denen die Baumstümpfe vollständig entfernt wurden, eignen sich auch für die maschinelle Unkrautbekämpfung mit Traktor und Egge.

Im Unterschied zum traditionellen Anbau fehlt bei den Dauerkulturen die Fruchtfolge. Die Anbaudauer beträgt bei Maracujá 2 - 3 Jahre, danach wird die Fläche aufgegeben. Die Kulturdauer liegt bei Pfeffer in der Untersuchungsregion etwa bei 3 - 6 Jahren und ist damit um ein vielfaches kürzer als im asiatischen Raum. Phytosanitäre Probleme mit dem Pilz *Fusarium solani*, var. *piperi*, der Wurzelfäule an den Pfefferpflanzen verursacht und sie dadurch vorzeitig absterben läßt, sind der Grund. Nach Beendigung des Pfefferanbaues wird die Fläche im allgemeinen nicht weiter landwirtschaftlich genutzt und sich selbst überlassen. Während des Anbaues werden Maracujá- und Pfefferpflanzen mehrfach pro Jahr gedüngt. Nach Auskunft befragter Landwirte werden 2mal jährlich 150 - 300 g NPK-Dünger pro Pflanze verabreicht und durch zusätzliche Gaben von Dung (zumeist von Rindern und Hühnern) und anderen organischen Resten, beispielsweise aus nahegelegenen

Hühnerzuchtbetrieben, ergänzt. Die Mengen dieser zusätzlichen Nährstoffquellen liegen im Ermessen der Landwirte und lassen sich nicht generalisieren.

Mit zunehmender Flächengröße und verbesserter finanzieller Situation der Landwirte nimmt der Mechanisierungsgrad bei der Flächenvorbereitung zu. Die Brachevegetation wird unter Einsatz von Zugmaschinen umgebrochen, anschließend vorzerkleinert und großteils von der Fläche geschoben. Im ersten Arbeitsgang fährt die Maschine durch die Vegetation und bricht die Stämme um. Hierzu wird ein Traktor oder ein Raupenschlepper benutzt, an dessen Front eine Schaufel montiert ist. Diese wird 20 - 50 cm oberhalb des Bodens justiert. Dieses bereitet im allgemeinen keine Schwierigkeiten, da in einer typischen 7jährigen Vegetation nur 4 % aller Individuen Stammdurchmesser > 4 cm besitzen, in einer 4jährigen Brache nur 1 % (WITHELM, 1993; CLAUSING, 1994; NUÑEZ, 1995). Im zweiten Arbeitsgang wird ein mehrscheibiger Scheibenpflug über die Fläche gezogen. Nicht abgeräumte Phytomasse wird hierbei mechanisch zerkleinert. Gleichzeitig wird ein Großteil des Wurzelwerks aus dem Boden gerissen, zerstückelt und die Bruchstücke zusammen mit der oberirdischen Biomasse in den Boden eingearbeitet. Überdurchschnittlich voluminöse Stämme und Wurzelstücke werden vorher von der Fläche entfernt. Nach mehrfacher Wiederholung dieses Vorgangs wird abschließend eine Scheibenegge eingesetzt, mit der die letzten Pflanzenreste eingearbeitet und die Bodenoberfläche eingeebnet werden.

Gelegentlich wird eine Schneidwalze eingesetzt (WIENECKE & FRIEDRICH, 1982), in Brasilien 'Rolofaca' genannt. Dabei handelt es sich um ein bis zu 12 t schweres landwirtschaftliches Gerät, welches hinter eine Zugmaschine gehängt wird. Es wird bei der Flächenvorbereitung zur Rodung eingesetzt, indem es die Vegetation umbricht und die gefällte Phytomasse zerschneidet. Gleichzeitig dringen bis zu 25 cm lange Schneiden in den Oberboden ein und zerschneiden Grob- und Feinwurzeln. Durch diese mechanische Vorzerkleinerung verringert sich der Zeit- und Arbeitsaufwand beim anschließenden Pflügen und Eggen. Das Arbeitsgewicht der Rolofaca ist variabel. Es kann je nach Erfordernis erhöht werden, indem das Gerät mit Wasser oder Sand befüllt wird. Nach Auskunft der Landwirte erweist sich eine zusätzliche Beschwerung bei holziger Vegetation mit Stammdurchmessern > 5 cm als vorteilhaft.

Bei der mechanisierten Form der Flächenvorbereitung wird häufig auf den Brand verzichtet. Ein Teil des oberirdischen Pflanzenmaterials, im Falle einer 3- bis 4jährigen Vegetation 30 - 50 t*ha⁻¹ (NUÑEZ, 1995; GEHRING et al., 1999), wird in den Boden

eingearbeitet, der Rest an die Seiten der Kulturfläche geschoben. Neben den schon angesprochenen Effekten, wie eine Verminderung der Wurzelkonkurrenz und Vereinfachung von Pflegemaßnahmen, werden durch den Verzicht auf Brennen Nährstoffverluste durch Volatilisation vermieden. Nach MACKENSEN et al. (1996) und HÖLSCHER et al. (1997) werden beim Brand bis zu 98 % C, 95 % N, 78 % S, 58 % Ca, 43 % Mg und 47 % P aus der Biomasse in die Atmosphäre transferiert.

2.2 Beschreibung der Untersuchungsflächen

2.2.1 Lage der Feldexperimente

Es wurden Feldexperimente in benachbarten Vegetationen mit unterschiedlichen Entwicklungsstadien angelegt. Die Auswahl fiel auf eine 3jährige Sekundärvegetation nahe der weitläufigen Siedlung Cumaru und auf eine 8jährige Brachevegetation östlich von der Ortschaft Curi (Abbildung 4). Beide Vegetationen waren in der kleinbäuerlichen Wald-Feld-Wechselwirtschaft bereits mindestens 3mal gerodet und unter Kultur genommen worden.

Zur Vereinfachung der Terminologie werden die beiden Untersuchungsstandorte im nachfolgenden Text nur noch als Exp 4a (Cumaru) und Exp 9a (Curi) bezeichnet, basierend auf dem Alter der Sekundärvegetationen zum Versuchsende.

2.2.2 Anlage der Feldexperimente

Die Anlage der Feldexperimente und die anschließenden Untersuchungen umfaßten den Zeitraum von September 1993 bis August 1995.

Die beiden Feldexperimente wurden in Form randomisierter Blockanlagen eingerichtet. Alle Behandlungen wurden in vierfacher Wiederholung in Parzellen mit den Außenabmessungen 10 m x 10 m angelegt.

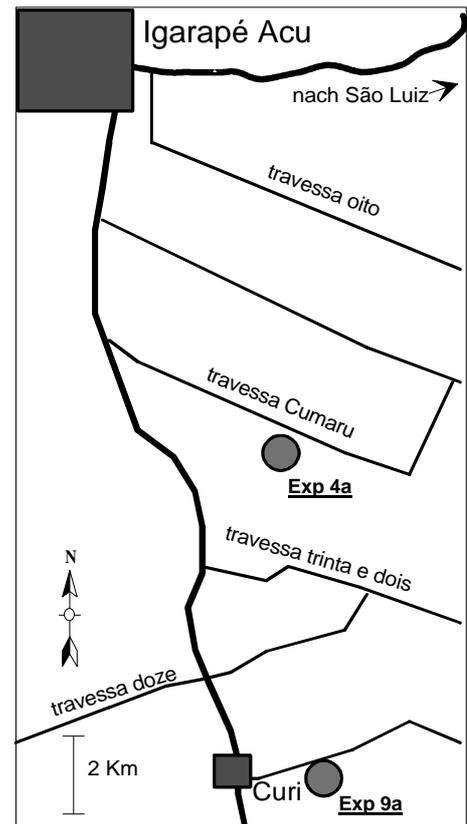


Abbildung 4: Lage der Untersuchungsflächen in Cumaru und Curi

Der Abstand zwischen den Parzellen betrug in Querverlaufsrichtung einen Meter. In Cumaru (Exp 4a) wurde in Längsrichtung ein Mittelstreifen von 5 m Breite eingerichtet. Diese Mindestbreite erwies sich als notwendig, um Zugang für Traktor, Pflug, Egge und die Schneidwalze zu ermöglichen. In Curi (Exp 9a) mußte die Breite des Mittelstreifens auf 11 m erhöht werden, um zu erreichen, daß alle Parzellen in homogene Sekundärvegetation gelegt werden konnten. An den Außenseiten der Versuchsflächen wurden Wegränder von je 2 m Breite eingerichtet, die als Seitenzugang dienten aber auch die Vegetation innerhalb der Parzellen von der umgebenden Sekundärvegetation abgrenzten.

Entlang den vier Außenseiten aller Parzellen wurde ein 'root pruning' durchgeführt. Mittels Macheten wurden alle Wurzelaufläufer bis zu einer Bodentiefe von 50 cm durchtrennt. Diese Behandlung wurde unmittelbar nach der Anlage der Feldexperiment durchgeführt und nach Ablauf von sechs Monaten Versuchsdauer wiederholt. Damit sollte weitgehend sichergestellt werden, daß oberflächennahe, sich horizontal ausbreitende Wurzelaufläufer, nicht in Nachbarparzellen einwachsen und auf diese Weise Behandlungseffekte verfälschen.

2.2.3 Behandlungen

1) Handrodung mit Machete mit anschließendem Brand ("gebrannt=gebr")

Diese Behandlung entspricht der traditionellen Flächenvorbereitung in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft (siehe Abschnitt 2.1.4.1). Das Fällen der Vegetation wurde manuell mit der Machete durchgeführt. Wenige Wochen später, nach dem Abtrocknen des Einschlags, wurde der Einschlag gebrannt.

2) Handrodung mit Machete, kein Brand, anschließend manuelle Entstockung ("manuell entstockt=entst")

Diese Form der Flächenvorbereitung stellt eine Bewirtschaftungsform im Untersuchungsgebiet dar. Sie tritt an Stelle der ersten Behandlung wenn semipermanente Kulturen angebaut werden. Diese Flächenvorbereitung kann mit oder ohne Brand durchgeführt werden. Wird eine mehrjährige Sekundärvegetation für diese Behandlung umgebrochen, wird im allgemeinen gebrannt. Im Falle der Behandlung direkt im Anschluß an die Maniokernte kann auf den Brand verzichtet werden. Weiterhin bietet sich diese Flächenvorbereitung an, wenn die Rodung innerhalb der feuchteren Jahreszeit stattfindet, eine ausreichende Trocknung des

Pflanzenmaterial nicht möglich war und deshalb nicht gebrannt werden kann. Bei der Flächenbehandlung in den Feldexperimenten wurde auf den Brand verzichtet.

3) Maschinelle Rodung mit Traktoreinsatz, kein Brand, anschließendes Pflügen und Eggen ("Pflug, Egge=P,E")

Die Behandlung wurde nach dem vorab im Abschnitt 2.1.4.2 beschriebenen Prinzip durchgeführt. Als Zugmaschine diente ein Traktor der Marke VALMET, mit einer Motorleistung von 65 kW. Gepflügt wurde mit einem dreischiebigen Scheibenpflug, geeegt mittels einer Tandem-Scheibenegge (WIENECKE & FRIEDERICHS, 1982, Abbildung 5 - 7). Die Zeitpunkte der Durchführung der Behandlungen sind in Tabelle 7 aufgelistet.

4) Rodung mit Traktor und Rolofaca, kein Brand, anschließend Pflügen und Eggen ("Pflug, Egge, Rolofaca=P,E,R").

Diese Behandlung ist größtenteils identisch mit Nummer 3). Sie unterscheidet sich nur durch den zusätzlichen Einsatz der Rolofaca (Abbildung 5). Im ersten Arbeitsgang, d.h. beim Umbrechen der Vegetation, wurde eine Schneidwalze hinter die Zugmaschine gehängt. Deren Einsatzgewicht von ca. 2 t erwies sich als ausreichend für das Umbrechen und Zerkleinern der holzigen Vegetation. Der Durchmesser der Walze betrug 100 cm, die Länge der aufgesetzten Schneiden 25 cm. Anschließend wurde gepflügt und geeegt wie bei Nummer 3) beschrieben.

Aufgrund der gegebenen Versuchsdauer von maximal 2 Jahren war es nicht möglich, in das Behandlungsdesign auch noch eine Kulturphase mit einer typischen Fruchtfolge Mais-Reis-Bohnen-Maniok einzubauen (siehe Abbildung 3). Aus diesem Grund wurde der Hauptgegenstand der Untersuchung, die Regeneration der Sekundärvegetation, direkt im Anschluß an die Flächenbearbeitungsmaßnahmen untersucht. Kulturpflanzen wurden nach keiner Behandlung gesetzt.

5) Unveränderte Sekundärvegetation ("Cap")

In diesen Parzellen wurde keine Flächenbehandlung vorgenommen. Die originäre Sekundärvegetation, die zum Zeitpunkt der Installation der Experimente vorgefunden wurde, wurde stehengelassen. Das Alter der Sekundärvegetation betrug zum Zeitpunkt der Installation der Experimente knapp unter 3 Jahren in Cumaru und knapp unter 8 Jahren in Curi. Zu Versuchsende waren die Vegetationen 4 und 9 Jahre alt. Tabelle 4 zeigt im Überblick die Zeitskala bei der Einrichtung der Feldexperimente in Cumaru und Curi

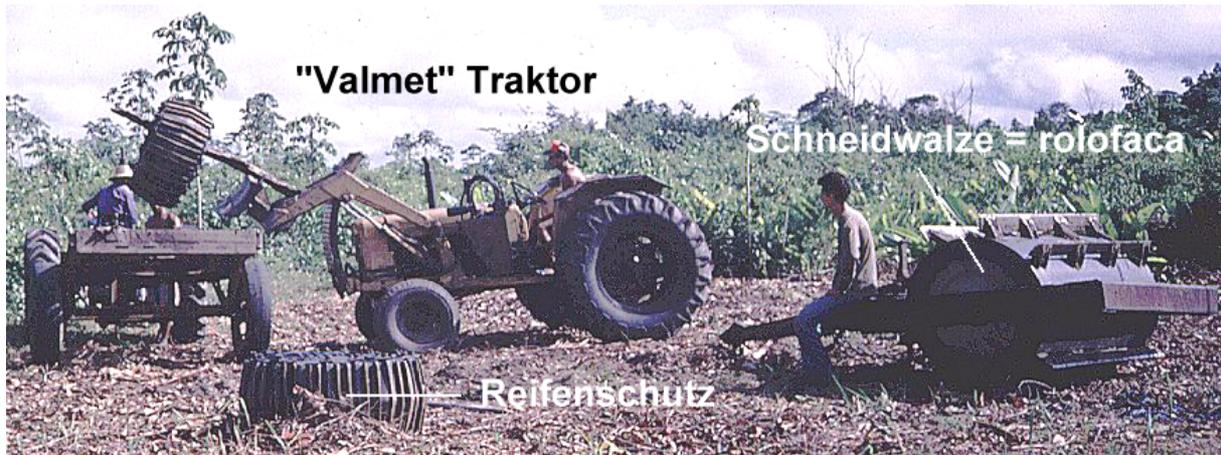


Abbildung 5: Traktor und Rolofaca, die für die Flächenbehandlungen eingesetzt wurden.



Abbildung 6: Einsatz des Scheibenflugs bei der Flächenbehandlung



Abbildung 7: Einsatz der Scheibenegge bei der Flächenbehandlung

Tabelle 1: Daten zur Anlage der Feldexperimente

Ort:	Cumarú (Exp 4a)	Curi (Exp 9a)
Alter der Vegetation zu Beginn:	3 Jahre	8 Jahre
manuelle Rodung: (gebr, entst)	20.12.93	10.12.93
Brand: (gebr)	11.01.94	21.12.93
Manuelle Entstockung: (entst)	21. - 22.12.93	12. - 13.12.93
Einsatz der Rolofaca: (P,E,R)	28.12.93	30. - 31.12.93
Maschinelle Rodung und Entstockung: (P,E und P,E,R)	27. - 28.12.93	30.12.93
Pflügen, Eggen: (P,E und P,E,R)	28.12.93	31.12.93
Einsetzen der Gazebeutel	20. - 22.02.94	16. - 18.02.94
Markierung der Zuwachspflanzen	28.04., 02.05.94	27. - 28.04.94
'root pruning' an Parzellengrenzen	03.94, 09.94	03.94, 09.94

2.2.4 Beprobungsschema und Probenaufbereitung

2.2.4.1 Wurzelextraktion mittels Bohrkernmethode

Die Fein- und Grobwurzelmasse sowie deren vertikale Verteilung im Mineralboden wurde mit Handbohrern gemäß der Bohrkernmethode nach BÖHM (1979) bestimmt. Es wurden Proben mit 100-ml-Volumina gezogen, die bis zu einer Tiefe von 50 cm in kontinuierlichen 5-cm-Intervallen entnommen wurden. Die Wiederholungszahlen variierten zwischen 12 und 16 pro Tiefenstufe je nach Beprobungsort und -zeitpunkt.

Unmittelbar nach der Probenahme im Feld wurden die Bohrkernkerne bis zur weiteren Verarbeitung in Eiswasser aufbewahrt. In der Regel wurden die Wurzeln am folgenden Tag von Boden freigewaschen, nachdem sie über Nacht im Eiswasser eingeweicht worden waren. Das Auswaschen des Wurzelmaterials aus dem Mineralboden und die Trennung von organischen Anhaftungen geschah über 5-, 2- und 1-mm-Metallsieben unter Zuhilfenahme eines sanften Wasserstrahles.

Anschließend wurde nach Lebend- und Totmaterial differenziert. Der Nekromasse wurden solche Wurzeln zugeordnet, die sich durch eine unnatürliche Braunfärbung von intaktem Material unterschieden. Diese war meist mit fehlender Elastizität und Brüchigkeit im Rindenbereich des Materials verbunden. Auf eingehende optische Beurteilungen der Vitalität unter dem Binokular wurde auf Grund des hohen Probenumfangs verzichtet. Konnten Wurzeln nicht eindeutig als Totmaterial identifiziert werden, wurden sie der Lebendmasse zugeordnet.

Das Lebendmaterial wurde nach dem Auswaschen in sechs Durchmesserklassen (\emptyset) unterteilt: ≤ 1 mm (sehr fein), 1 - 2 mm (fein), 2 - 5 mm (schwach), 5 - 10 mm (mittel), 10 - 50 mm (grob), > 50 mm (sehr grob). Die Zuordnung zu einer Durchmesserklasse wurde im Zweifelsfall mit einer Schieblehre überprüft.

Zur Massebestimmung wurde das gesamte Wurzelmaterial bei 65° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend mit einer Genauigkeit von 0,1 mg gewogen.

Die Ergebnisse wurden als Wurzelmasse (WMD) in mg Wurzeln pro cm^3 Bodenvolumen angegeben, Vorräte im Boden (bis 50 cm Tiefe) in $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ dargestellt.

Die Wurzellängenbestimmung wurde mittels eines elektronischen Bildauswertungsverfahrens mit dem Delta-T-Image-Analysis-System (DIAS Delta-T Handbook, 1990) durchgeführt. Die maximale Auflösungsgenauigkeit des Systems wurde auf Objektgrößen von 0,1 mm justiert. In dieser Einstellung liegt der systeminterne Meßfehler unterhalb 1 %, der

objektbezogene Fehler etwa bei 3 - 5 % (KLEIKAMP, 1991) und ist damit geringer als bei manuellen Rasterauszählungsverfahren (TENNANT, 1975).

Wie in Vorversuchen ermittelt, stellte die Durchmesserfraktion ≤ 1 mm durchschnittlich 99 % der gesamten Wurzellänge einer Probe dar. Aus diesem Grunde wurde die Längenbestimmung nur an den Feinstwurzeln durchgeführt, da diese Durchmesserfraktion die Gesamtlänge einer Probe nahezu vollständig repräsentiert.

Alle Längenmessungen wurden an zunächst getrocknetem und später rehydriertem Material durchgeführt. Dem Trockenmaterial wurde eine repräsentative Unterprobe entnommen, deren Masse mindestens $\frac{1}{4}$ der Gesamtprobe entsprach, aber immer wenigstens 0,5 g umfaßte. Leichtere Proben wurden nicht unterteilt. Diesem Schema folgend wurden > 70 % aller Feinstwurzeln längenvermessen. Das Material der Unterprobe wurde in einer 1:1:18 Konservierungslösung aus 90 % Ethanol, 30 % Essigsäure und H_2O rehydriert und bis zur weiteren Verwendung im Kühlschrank aufbewahrt. Der Konservierungslösung wurden einige Tropfen alkoholischer Methylenblaulösung hinzugefügt, um sehr feinen und transparenten Wurzeln eine dunkle Grundfärbung zu geben. Analog zur Wurzelbiomasse wurden die Wurzellängendichten (WLD) in mm Wurzellänge pro cm^3 Boden angegeben, flächenbezogene Längenvorräte (bis 50 cm Tiefe) in $km \cdot m^{-2}$.

2.2.4.2 Entnahme von Bodenmonolithen zur Bestimmung der Grobwurzelmasse

Zum Versuchsende der Feldexperimente wurde, ergänzend zu den Aufnahmen mittels der Bohrkernmethode, eine Wurzelmassenbestimmung durch Entnahme von Bodenmonolithen durchgeführt. Diese Methode zur Ermittlung der Gesamtvorräte des Wurzelsystems eignet sich besonders gut zur Ermittlung der Massenanteile großvolumiger Wurzeln (BÖHM, 1979).

Pro beprobter Parzelle wurden in repräsentativen Beprobungsflächen von 1 m x 5 m Grundfläche insgesamt drei Grabungen durchgeführt (Abbildung 8, C). Die Entnahmeorte der Bodenmonolithe waren identisch mit jenen, an denen zuvor die Entnahme der Vegetation zur detaillierten Bestimmung der oberirdischen Phytomasse stattgefunden hatte. Auf diese Weise sollte ermöglicht werden, daß unterirdische Biomasseanteile in direkte Beziehung mit darüber befindlichen oberirdischen Phytomasse gesetzt werden konnten.

Die Wurzelextraktion erfolgte in Bodenmonolithen mit den horizontalen Maßen von 100 cm x 50 cm bis zu einer Tiefe von 50 cm (n=3 pro Parzelle). Die oberflächennahen Grabungen wurden komplettiert durch die Entnahme kleinerer Quader mit einer Stirnfläche

von 25 cm x 25 cm, welche unterhalb 50 cm bis zu einer Tiefe von 100 cm entnommen wurden (n=1 pro Parzelle).

Die Wurzeln wurden vor Ort mit Hilfe eines Wurfsiebs (Maschenweite 1,5 - 2 cm) vom Boden getrennt und anschließend den Durchmesserklassen ≤ 2 mm und > 2 mm zugeordnet.

Besonders voluminöse Wurzelstöcke einzelner Individuen sowie die auffälligen Rhizome der Hochstaude *Phenakospermum guyannense*, Strelitziaceae, wurden gesondert gesammelt und getrennt verrechnet. Die Trockenbiomasse wurde mittels repräsentiver Unterproben bestimmt und in $t \cdot ha^{-1}$ angegeben.

Eine komplette Beprobung aller Parzellen war innerhalb des verfügbaren Zeitrahmens nicht möglich, weshalb eine Reduktion des Beprobungsumfanges notwendig wurde. Es wurde eine Auswahl getroffen, die vier der fünf Behandlungen beinhaltet. Da die Behandlungseffekte der beiden mechanisierten Flächenvorbereitungen einander glichen, wurde auf eine Beprobung der Variante „gepflügt und gegegt, ohne Einsatz der Rolofaca“ **P,E** verzichtet. Ferner wurden nur in drei der vier Parzellen einer Behandlung jedes Feldexperimentes Beprobungen durchgeführt. Daraus ergibt sich eine Gesamtwiederholungszahl von 9 Bodenmonolithen (pro Behandlung und Experiment) für die Tiefenstufe 0 - 50 cm sowie ein n=3 für 50 - 100 cm.

2.2.4.3 Profilwände

An je drei Seitenwänden der Grabungsschächte wurden Wurzelprofile (BÖHM, 1979) eingerichtet (Abbildung 8C und 8D). Die Methode wurde eingesetzt, um Aufschluß über die Horizontal- und Vertikalverteilung der Schwach-, Mittel- und Grobwurzelfraktionen im Mineralboden zu erhalten. Flächen von jeweils 50 cm Breite und 50 cm Tiefe wurden mit einer gut geschärften Machetenschneide geglättet. Darüber wurde ein Gitternetz mit 10 cm x 10 cm Maschenweite gelegt. Es wurden alle Anschnitte der Wurzeldurchmesserklassen 2 - 5, 5 - 10, 10 - 20, und > 20 mm erfaßt. Die Wiederholungszahl der Profilwände pro Parzelle betrug 9, was einem n=27 pro Behandlung und Experiment entspricht.

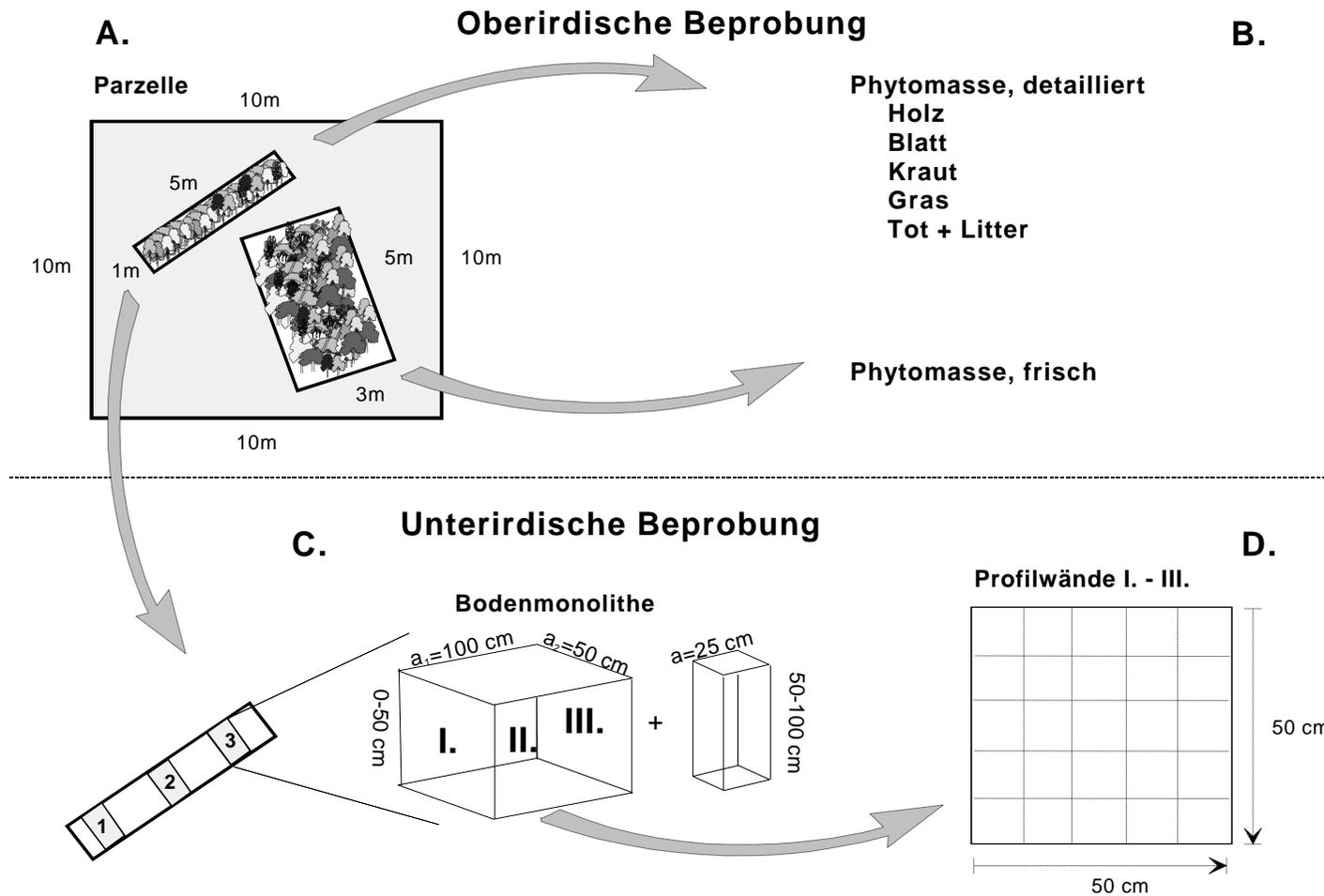


Abbildung 8: Beprobungsschema der Feldexperimente: (A.) Zeigt die Auswahl der beiden Subparzellen mit 5m^2 und 15m^2 . (B.) Auf der kleineren fand die detaillierte Biomasseaufnahme statt, von der größeren Teilfläche wurde die Frischmasse bestimmt. (C.) indiziert die Lage der Grabungslöcher und deren Abmessungen (100 cm x 50 cm bis 50 cm Tiefe und 25 cm x 25 cm in der Tiefenstufe 50 - 100 cm). I., II., und III. Zeigt die Auswahl der Seitenwände für die 3 Profilwände pro Grabungslöcher (D.). Die Profilwände wurden in den Löchern der entnommenen Bodenmonolithe angelegt.

2.2.4.4 Feinwurzelproduktion mit der Gazebeutelmethode

Zur Bestimmung der relativen Produktivität des Feinwurzelsystems im Jahresverlauf sowie zur Abschätzung der Nettofeinwurzelproduktion innerhalb eines Jahres Regeneration wurden in alle Parzellen der Feldexperimente Gazebeutel eingesetzt. Eine Beschreibung der Methode gibt STEEN (1991).

Bei den Gazebeuteln handelt es sich um röhrenförmige Behälter, die aus Polyethylengaze, Diagonalmaschenweite 1,4 mm, hergestellt wurden. Ihre Außenabmessungen betragen 10 cm Seitenlänge bei einem Stirndurchmesser von 8 cm, was einem Volumen von ca. 500 ml entspricht. Alle Beutel wurden mit gesiebttem Boden befüllt. Dazu wurde von den Beprobungsflächen Bodenmaterial aus den drei Tiefenstufen entnommen, die jenen entsprachen, in welche die Gazebeutel später eingesetzt wurden. Das Bodenmaterial wurde über einem Wurfsieb von 1,5 - 2 cm Maschenweite trocken gesiebt. Anschließend wurden die Beutel mit dem gesiebtten Erdreich befüllt. Es wurde darauf geachtet, daß die Bodendichte in den Gazebeuteln derjenigen des Bodens in der korrespondierenden Tiefe entsprach. Dies wurde erreicht, indem der Boden beim Einfüllen von Hand verdichtet und zur Kontrolle Gewichtsstichproben der befüllten Beutel durchgeführt wurden.

Bestimmung der 'lag-Phase'

Der Zeitraum in dem Feinwurzeln durch den Boden auf die Gazebeutel zuwachsen ohne sie jedoch zu erreichen, wird in der Literatur als lag-Phase bezeichnet. Er sollte so kurz wie möglich gehalten werden, da ansonsten die Ergebnisse der Untersuchungen in einer Unterschätzung der Produktivität resultieren können (STEEN, 1991).

Nach Abschluß der Flächenvorbereitung bis zum Einsetzen der Beutel vergingen drei Monate. Innerhalb dieses Zeitraumes sollte es der Brachvegetation ermöglicht werden, wurzelfreie bzw. stark wurzelverminderte Bodenräume, die als Folge der Behandlungen entstanden waren, erneut zu durchwurzeln. Dies ist wichtig, um zu garantieren, daß unmittelbar nach Einsetzen der Gazebeutel ein Kontakt mit dem Feinwurzelsystem stattfindet.

Am Beispiel einer 3jährigen Brache wurde in einem Vorversuch die Dauer der 'lag-Phase' getestet. Dazu wurden, wie auch später in den Feldexperimenten, oben beschriebene Gazebeutel in 15facher Wiederholung in drei Tiefenstufen (0 - 10, 20 - 30 und 40 - 50 cm) in den Boden eingesetzt. Sie wurden nach 30 und 60 Tagen wieder entnommen. Anschließend

wurden Wurzelmassen- und Wurzellängendichte ermittelt. Die Resultate dieses Vorversuches sind der Besprechung der Produktivität des Wurzelsystems im Ergebnisteil vorangestellt (Abschnitt 4.1).

Basierend auf den Ergebnissen des Vorversuches wurden die Gazebeutel beider Feldexperimente in den Tiefenstufen 0 - 10, 20 - 30 und 40 - 50 cm in die Parzellen eingebaut. Die Einsetzorte wurden innerhalb der Parzellenfläche randomisiert. Dazu wurde ein 1 m x 1 m-Raster über die Parzelle gelegt. Entlang der Innenseiten der Parzelle wurde ein Randstreifen von einem Meter Breite ausgespart. Die resultierenden 64 Ein-Quadratmeter-großen Teilflächen wurden von 1 bis 64 durchgehend numeriert. Mit Hilfe von Zufallszahlen wurden daraus 12 Orte pro Parzelle ausgewählt. Für jede Parzelle existierte ein eigenes Verteilungsmuster der Gazebeutel. Alle Stellen an denen Gazebeutel eingesetzt wurden, wurden mit Holzpflocken markiert, um das spätere Wiederfinden zu ermöglichen. Die Gesamtanzahl der in beiden Feldexperimenten eingesetzten Gazebeutel betrug 1080. In dreimonatigen Intervallen wurden die Gazebeutel dem Boden wieder entnommen. Pro Entnahmeterrain, Bodentiefe und Behandlung wurden je 12 Gazebeutel extrahiert (entspricht je 3 pro Parzelle, Entnahmeschema siehe Tabelle 5).

Alle eingewachsenen Wurzeln wurden im Labor von Erde freigewaschen, danach in Durchmesserklassen unterteilt und im Trockenschrank bei 65° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurde die Masse bestimmt und die Wurzeln längenvermessen wie zuvor beschrieben (siehe Abschnitt 2.2.4.1).

Tabelle 5: Verbleibdauer der Gazebeutel in Tagen im Boden (- =keine Entnahme).

Tiefe [cm]	Verbleibdauer [d]			
	90	180	270	360
0 - 10	X	X	X	X
20 - 30	X	X	-	X
40 - 50	-	X	-	X

2.2.4.5 Floristische Zusammensetzung der Vegetation

Nach 3, 10 und 16 Monaten Regenerationsdauer wurde das Arteninventar in allen Behandlungen beider Experimente bestimmt. Alle holzigen Arten wurden aufgenommen und, sofern sie aspektbestimmend waren, auch Gräser und Kräuter berücksichtigt. Unter

Zugrundelegung der Art-Areal-Kurven von DENICH (1989), CLAUSING (1994), NUÑEZ (1995) und BAAR (1997) können die Aufnahmen als repräsentativ für die jeweilige Ausgangsvegetation angesehen werden. Unterschiede zwischen den Feldexperimenten und Behandlungseffekte mit Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung wurde über den Ähnlichkeitsindex nach SØRENSEN (1948) ermittelt.

2.2.4.6 Deckungsgrad der Vegetation

Die Bestimmung des Deckungsgrades (DG) innerhalb der Versuchspartzen wurde zu zwei Zeitpunkten durchgeführt; zuerst ca. 3 - 4 Monate nach Einrichtung der Feldexperimente, dann nach ca. 16 Monaten Regeneration, unmittelbar vor der oberirdischen Biomassebestimmung.

Geschätzt wurden Gesamtdeckungsgrad innerhalb der Parzelle sowie die Anteile der Gräser- und Seggen- und der Krautfraktion am Bedeckungsgrad der Parzellengrundfläche. Sofern bestimmte Pflanzenarten aspektbestimmend waren, wurden deren Prozentanteile am Gesamtdeckungsgrad vermerkt. In Bereichen geringerer Bodenbedeckung wurden Unterscheidungen in den Kategorien $DG = < 1$, < 5 und < 10 % getroffen. Höhere Werte wurde in 10-%-Stufen gestaffelt.

2.2.4.7 Zuwachsmessungen an der Vegetation

Die Aufnahmen des floristischen Inventares dienten als Entscheidungsgrundlage für die Artenauswahl für langfristige Messungen des oberirdischen Zuwachses in behandelten Parzellen. Aus dem Artenpool wurden typische Vertreter der Sekundärvegetation ausgewählt, die folgende Kriterien erfüllten:

- hohe Abundanz in beiden Experimenten;
- überdurchschnittlich hoher Anteil an der Biomasseproduktion (basierend auf eigenen Beobachtungen sowie Untersuchungen von DENICH (1989), NUÑEZ (1995));
- Arten von praktischen und/oder ökonomischem Wert (WITHELM, 1993);
- die Auswahl wurde komplettiert mit Leguminosen und solchen Arten, die zwar vergleichsweise geringe Abundanzen zeigten, aber im Falle des Vorkommens stets gruppenweise bzw. mit hoher Individualbiomasse auftraten.

Den obengenannten Kriterien folgend wurden nach 4 Monaten Regenerationsdauer insgesamt 30 Arten markiert, von denen jedoch nur 6 in allen Behandlungen beider Feldexperimente vertreten waren. Abgestorbene Individuen oder solche die durch Tierfraß (vor allem Blattschneiderameisen der Gattung *Atta*) stark in ihrer Entwicklung beeinträchtigt waren, wurden nach Erfordernis durch andere ersetzt.

Über die gesamte Dauer der Feldexperimente wurden in allen Behandlungen mit Ausnahme der unveränderten Sekundärvegetation die

- Anzahl der Austriebe pro Individuum,
 - Länge des längsten Triebes (von der Stammbasis bis zur Spitze) und der
 - Durchmesser des längsten Triebes ca. 2 cm oberhalb der Austriebsstelle
- vermessen. Die Datenaufnahme fand in vier- bis sechswöchigen Intervallen statt, nur zwischen den letzten beiden Messungen vergingen 90 Tage.

2.2.4.8 Bestimmung der oberirdischen Phytomasse

Nach 16 Monaten Regeneration wurde die oberirdische Biomasse der Sekundärvegetation bestimmt. Dazu wurden im ersten Schritt in allen Parzellen der Feldexperimente repräsentative Teilflächen mit den Abmessungen 1 m x 5 m Fläche ausgewählt (Abbildung 8A und 8B). Die ausgewählten Flächen wurden so gelegt, daß schnellwüchsige Pionierpflanzen (wie *Cecropia palmata*) und andere überproportional biomasseanreichernde Arten (einzelne Palmen wie *Maximiliana rorippa* und *Astrocaryum mumbaca*, *A. tucuma* oder Leguminosen wie *Abarema jupunba*) umgangen wurden. Sofern dies aus räumlichen Gründen nicht möglich war, wurden die Phytomasse dieser Arten separat ermittelt und bei der späteren Biomasseberechnung getrennt dargestellt. Bei der Flächenauswahl wurde stets ein Mindestabstand von einem Meter zu den Außenseiten der Parzelle eingehalten.

Die Phytomasse in der ausgewählten Teilfläche wurde direkt oberhalb des Bodens von Hand geschlagen und in die folgenden Kompartimente unterteilt:

- Holz (mit Borke),
- Blatt (mit Blüten),
- Grasartige (Poaceae und Cyperaceae),
- Krautige (einschließlich nicht oder schwach verholzende Großstauden) und schließlich
- Totmaterial ('standing dead' + Bodenstreu).

Die Trockenmasse wurde durch Entnahme von Unterproben und Rückwiegen nach Trocknen (bei 65°C bis zur Gewichtskonstanz) berechnet und die Trockenmassenanteile der einzelnen Kompartimente bestimmt.

Im zweiten Arbeitsschritt wurde die Phytomasse einer zweiten Teilfläche mit den Abmessungen 3 m x 5 m geschlagen (Abbildung 8A und 8B). Eine Fraktionierung in verschiedene Biomassekompartimente wurde hier nicht durchgeführt, sondern nur die Gesamtfrischmasse bestimmt. Pflanzen mit besonders hoher Individualbiomasse wurden, wie im ersten Schritt, separat aufgenommen und später bei der Gesamtbiomassekalkulation getrennt berücksichtigt.

Basierend auf den Trockenmasseanteilen von Holz, Blatt, Grasartige, Kraut und Totmaterial, die im ersten Arbeitsgang ermittelt wurden, wurde die Gesamttrockenmasse der 15 m² Teilflächen errechnet.

2.2.4.9 Regeneration ausgewählter Arten aus Wurzel- und Sproßteilstücken

Die Regenerationsfähigkeit im Artenvergleich ('screening')

Im August 1993 wurde in einem Versuch die vegetative Regenerationsfähigkeit aus Teilstücken von 35 weitverbreiteten Pflanzenarten der Sekundärvegetation geprüft. Dazu wurden 33 baum- und strauchartige Vertreter sowie 2 Stauden ausgewählt. Teilstücke von oberirdischen Sprossen, Wurzeln und Rhizomen wurden gruppenweise (nach Art und Pflanzenteil getrennt) 1 - 5 cm tief in bis zu 47facher Wiederholung in ein Pflanzbeet gesetzt. Die durchschnittliche Stücklänge der Stecklinge, Sprosse und Wurzeln, betrug 12 cm. Das Pflanzsubstrat bestand aus einer 1:1 Mischung aus Quarzsand und Oberboden (0 - 10 cm Tiefe), der aus einer nahe gelegenen Brachefläche entnommen war.

Nach 142 und 204 Tagen Regenerationsdauer wurde die Anzahl neu entwickelter Adventivaustriebe an den eingepflanzten Teilstücken bestimmt. Zeigten Teilstücke Adventivaustriebe, so wurde die Masse sowie die Anzahl und das Gewicht dieser neuen Austriebe bestimmt, sofern sie 0,01 g pro Teilstück überschritt. Teilstücke ohne neu entwickelte Adventivtriebe wurden nicht gewogen. Ferner wurde bestimmt, ob sich während der Verweildauer im Pflanzbeet neue Adventivfeinwurzeln gebildet hatten.

Einfluß der Stücklänge auf die vegetative Regenerationsfähigkeit

Basierend auf den Ergebnissen des 'screenings' wurde von Juni 1994 bis Juni 1995 ein weiterführendes Experiment mit Wurzelteilstücken angelegt. In dieser Versuchsanlage wurde der Einfluß der Teilstücklänge (bzw. des Teilstückvolumens) auf Neubildung von Adventivaustrieben (Anzahl und Masse) untersucht. Wurzelteilstücke sechs weitverbreiteter Arten der Sekundärvegetation, die, wie im Vorversuch festgestellt, die Fähigkeit zur Teilstückregeneration besaßen, wurden ausgewählt und im Freilandbeet auf ihre vegetative Regenerationskapazität untersucht. Alle Wurzelteilstücke wurden junger Sekundärvegetation nach 2 - 4 Jahren Regenerationsdauer entnommen. Die Wurzeln wurden in Teilstücke von ≤ 10 , 10 - 30, 30 - 50, 50 - 100, 100 - 150, > 150 cm Länge geschnitten und in den Boden gelegt. Anschließend wurden sie mit einer 1 - 2 cm dicken Bodenschicht bedeckt. Je nach Verfügbarkeit des Materials wurden bis zu 31 Wiederholungen pro Längenklasse und Art gepflanzt.

Insgesamt wurden 3 Versuchsreihen mit je 3monatiger Regenerationsdauer durchgeführt. Folgende Parameter wurden bestimmt: Länge, Trockengewicht, minimaler und maximaler Durchmesser, Anzahl grüner und farbloser Triebe, Trockenmasse grüner Triebe, Vorhandensein von Feinwurzeln und gegebenenfalls deren Trockengewicht.

Das Pflanzbeet wurde durch Gazefolien permanent beschattet, die die Lichtintensität unter der Abdeckung auf durchschnittlich 50 % des Außenwertes verringerten (PhAR). Während der feuchteren Jahreszeit wurde auf die Bewässerung der Anlage verzichtet. Während der niederschlagsärmeren Zeit von Mai - Dezember wurde täglich einmal von Hand bewässert.

2.2.4.10 Nachweis von Stärke in unter- und oberirdischen Teilen verschiedener Arten der Brachevegetation

Auf der Basis der Anfärbung durch Jod-Kaliumjodid wurde Stärke in verschiedenen Pflanzenorganen nachgewiesen. Zu diesem Zweck wurde eine wäßrige Lösung des Reagenz nach BRAUNE et al. (1979) angesetzt, welches bis zum Gebrauch in einem dunklen Glasfläschchen aufbewahrt wurde.

Unter- und oberirdische Pflanzenteile von 30 Arten einer 3 - 4jährigen Sekundärvegetation wurden in die Untersuchung einbezogen.

Unterirdisches Material wurde unterteilt in die Fraktionen:

- 1) Übergangsbereich Wurzel-Sproß, genannt Wurzelhals,
- 2) Hauptwurzel, je nach Wachstumsorientierung Pfahlwurzel oder Wurzelstock genannt,
- 3) Seitenwurzel maximal 15 cm entfernt von der Hauptwurzel,
- 4) Seitenwurzel 50 - 100 cm von Hauptwurzel. Die Entfernung richtet sich nach Materialverfügbarkeit und artspezifischem Wachstumsmuster der Grobwurzeln.

Oberirdische Pflanzenteile wurden unterteilt in die Fraktionen:

- 5) Stamm nahe der Sproßbasis
- 6) Stamm in 50 - 100 cm Höhe, je nach Verfügbarkeit des Pflanzenmaterials
- 7) Zweig nahe der Spitze eines Seitenastes.

Das Pflanzenmaterial wurde unmittelbar nach der Probenahme mit einem scharfen Messer längs geschnitten und die sekundäre Rinde der Wurzeln und oberirdischen Teile mit Jod-Kaliumjodid-Lösung eingepinselt. Enthalten die Pflanzenteile in ihrem parenchymatischen Geweben Stärke als Speicherstoff, tritt unmittelbar nach Applikation von Jod-Kaliumjodid-Lösung eine blauschwarze Färbung auf. Je nach Konzentration der Stärke in den Geweben und in Abhängigkeit von der anatomischen Anordnung der Gewebe längs der Schnittachse variiert die Intensität der Anfärbung. Damit kann diese Methode einerseits zur qualitativen Abschätzung des Vorkommens von Stärke in den Pflanzenteilen eingesetzt werden. Andererseits können über die Intensität der Anfärbung Aussagen über die relative Konzentration im Pflanzenmaterial getroffen werden (ESCHRICH, 1976).

Die Stärkekonzentration wurde semi-quantitativ mit einer 6stufigen Graustufenskala geschätzt (Abbildung 9).

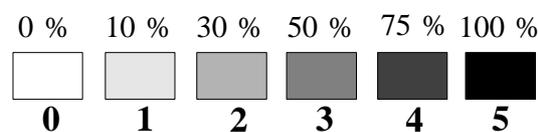


Abbildung 9: Graustufenskala zur Unterscheidung der Intensität der Anfärbung von stärkehaltigen Pflanzenmaterialien nach Bestreichen mit Jod-Kaliumjodid-Lösung.

Die Skala basiert auf 5 unterschiedlichen Farbsättigungen von 10 - 100 % und einer weißen Fläche. Trat keine Färbung auf wurde dem Material der Wert 0 zugeordnet. Färbte sich die gesamte Fläche blauschwarz bekam die Probe den Wert 5. Die Messungen wurden je nach Verfügbarkeit des Materials mehrfach wiederholt.

2.2.4.11 Physikalische und chemische Bodenanalysen

Bodenproben aus den Feldexperimenten wurden in drei Tiefenstufen von 0 - 10, 10 - 30 und 30 - 50 cm mit Pürkhauer Bohrstöcken entnommen. Von 10 Einstichen in einer Parzelle wurden nach Tiefenstufen getrennt Mischproben vereinigt. Die Mischproben der unbehandelten Sekundärvegetation (**Cap**, n=4 pro Tiefe und Experiment) wurden einzeln analysiert. Aus den Mischproben der anderen Behandlungen (**gebr**, **entst**, **P,E** und **P,E,R**) wurden erneut Mischproben vereinigt und pro Behandlung, Tiefe und Experiment je eine Probe analysiert. Eine grafische Übersicht des Beprobungsschemas ist in Abbildung 10 dargestellt.

Zur Bestimmung der Korngrößenverteilung wurde Bodenmaterial nur aus der unbehandelten Ausgangsvegetation (**Cap**) und der mechanisierten Behandlung **P,E,R** entnommen (je 40 Einstiche pro Behandlung und Experiment, Tiefe 0 - 10, 10 - 30 und 30 - 50 cm mit Pürkhauer Bohrstöcken). Anschließend wurden Mischproben für die **Cap** und **P,E,R** hergestellt. Eine Beprobung der restlichen Behandlungen fand aufgrund der zu erwartenden Uniformität der physikalischen Eigenschaften der Böden nicht statt. Zur Bestimmung der Trockenraumdichte wurden aus der unbehandelten Ausgangsvegetation (**Cap**) und aus der mechanisierten Behandlung **P,E,R** beider Feldexperimente in den drei Tiefenstufen 0 - 10, 10 - 30 und 30 - 50 cm ungestörte 100-ml-Proben mit Bohrstöcken entnommen (n=8 pro Feldexperiment, Behandlung und Tiefe). Alle Bodenproben wurden luftgetrocknet und anschließend dunkel bei Lufttemperatur bis zur Analyse verwahrt.

Die physikalischen und chemischen Analysen des Bodens wurden im Zentrallabor des Institutes für Bodenkunde und Waldernährung und im Labor des Institutes für Pflanzenbau und Tierproduktion in den Tropen und Subtropen der Universität Göttingen durchgeführt. Die verwendeten Analysemethoden sind in Tabelle 6 aufgelistet. Tabelle 7 zeigt den zeitlichen Verlauf der Beprobungen in den Feldexperimenten.

Tabelle 6: Physikalische und chemische Analysemethoden

Parameter	Analysemethode
Korngrößenbestimmung	Dispergierung mit 1N NaOH, Pipettanalyse und Trockensiebung
pH-Wert	in Wasser und 1N KCL
organisch gebundenes C	nasse Veraschung mit Kaliumdichromat, titrimetrisch, nach Walkley & Black
N_{tot}	Kjeldahl-Aufschluß, titrimetrisch
P	Bray 1, mit Autoanalyzer nach IITA (1981)
K, Na	Mehlich Extraktion, flammenphotometrisch
Ca, Mg	1N KCl-Extraktionslösung, AAS
Al	1N KCl-Extraktionslösung, pH 7, titrimetrisch
AK effektiv	Summe der austauschbaren Kationen Na, K, Ca, Mg und Al

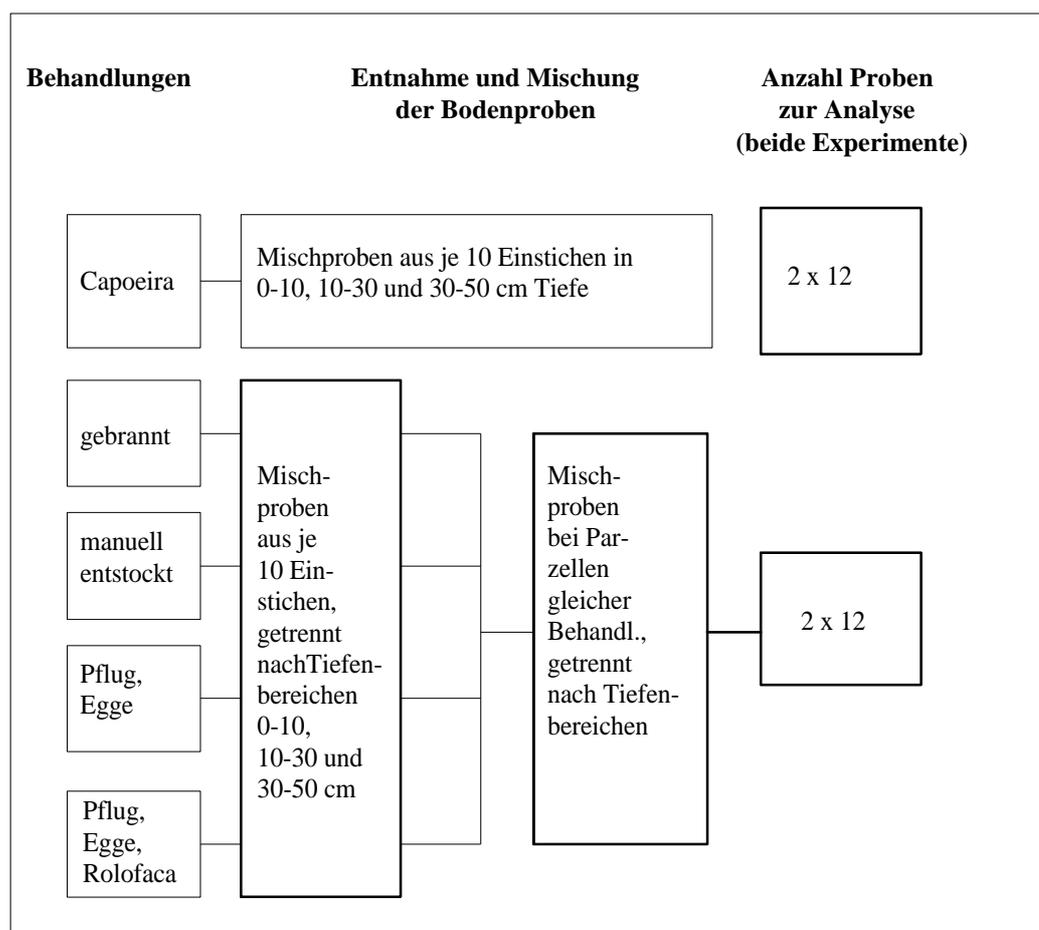


Abbildung 10: Beprobungsschema für chemische Bodenanalysen auf den Untersuchungsflächen in Cumarú und Curi.

Tabelle 7: Zeitliche Übersicht über Beprobung und Beprobungsumfang in Feldexperimenten.

Aufnahme	Datum	Probenumfang	Bemerkungen	
Unterirdisch				
		pro Exp, Behandl. Tiefenstufe	Tiefe	
Wurzelproduktion	05.94	12	0-10, 20-30 cm	
mittels	08.94	12	0-10, 20-30, 40-50 cm	
Gazebeutel	11.94	12	0-10 cm	
	02.- 03.95	12	0-10, 20-30, 40-50 cm	
Vorversuche zum	05.-	15	0-10, 20-30, 40-50 cm	
Gazebeuteltest	07.93			
Wurzelbiomasse	03.94	12	0-50 cm,	
mittels	11.94	15	in 5 cm-Intervallen	
Handbohrern,				
Volumen 100 ml	04.95	16		
Wurzelbiomasse		pro Behandlung		
mittels	05.-			
Bodenmonolithen	06.95			
0,5 m x1 m		9	0-50 cm	
0,25 m x 0,25 m		3	50-100 cm	
		pro Behandlung		Raster
Profilwände	06.95	27	0-50 cm	10 cm x 10 cm
Bodenproben				Mischproben,
mittels Pürkhauern	07.- 08.95	alle Parzellen	0-10, 10-30, 30-50 cm	Schema in Abbildung 10
Oberirdisch				
Floristische	04.94			
Bestimmungen	11.94 04.95	alle Parzellen		
Deckungsgrad	04.95	alle Parzellen		
Phytomasse				Beprobte Fläche
detailliert	05.95	alle Parzellen		1 m x 5 m
Frischmasse	05.95			3 m x 5 m
Zuwachs	ab 04.94	pro Meßtermin	ca. 1000 Pflanzen	insg. 10 Meßtermine in
der Phytomasse	bis 04.95			Abständen von 4-6 Wochen

2.3 Statistische Methoden

2.3.1 Allgemein

Die statistischen Auswertungen aller Datensätze wurden mit dem Computerprogramm Statistica v.5.1 (STATISTICA, 1998) durchgeführt. Nach Überprüfung der Grundvoraussetzungen für die multifaktorielle Varianzanalyse (Normalverteilung, Varianzhomogenität) erfolgte die Datenauswertung der Feldexperimente als komplett randomisierte Blockanlage mit Standortwiederholung (Tabelle 8). Einige Variablen wurden logarithmiert, um Normalverteilung zu erreichen.

Tabelle 8: Schema der statistischen Datenauswertung, Darstellung der Faktoren und Freiheitsgrade für die ANOVA.

Faktor	Freiheitsgrade
Exp (E)	E-1
Fehler	E (n-1)
Behandlung (B)	B-1
E x B	(E-1) (B-1)
Fehler	E (n-1) (B-1)

Die räumliche Varianz zwischen den Blöcken erwies sich durchgehend als nicht signifikant, woraufhin es sich als günstiger erwies, die Auswertungen als 2faktorielle ANOVA durchzuführen (Experiment x Behandlung).

Zur Abgrenzung von Standorts- und Behandlungsunterschieden wurde das Signifikanzniveau in der Regel auf 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit festgelegt ($p \leq 0,05$). In einigen Fällen wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 10 Prozent angenommen ($p \leq 0,1$), worauf bei der Ergebnisbesprechung gesondert hingewiesen wird.

Multiple Mittelwertsvergleiche wurden mit dem Fisher-LSD-Test abgesichert. Zum Vergleich von 2 ausgewählten Behandlungspaaren bzw. ausgewählten Behandlungsgruppen (beispielsweise manuelle vs. maschinelle Behandlungen) wurden der t-Test oder orthogonale Kontraste angewandt. Zusammenhänge zwischen Variablen wurden bei gegebener Normalverteilung durch den Pearson-Korrelationskoeffizient oder durch Regressionsgeraden ausgedrückt. Mußte die Annahme der Normalverteilung verworfen werden, wurde der nichtparametrische Rangkorrelationstest nach Spearman benutzt.

2.3.2 Modellierungsansatz zur Bestimmung der Feinwurzelmassen und der Nettoproduktionsleistung

Die vertikale Massenverteilung feiner Wurzeln ($\varnothing \leq 2\text{mm}$) im Boden wurde mit folgender Exponentialfunktion abgeschätzt:

$$\mathbf{x} = \mathbf{a} * e^{(-\mathbf{c} * \mathbf{T})}, \text{ wobei}$$

\mathbf{x} die Wurzelmassendichte in einer bestimmten Tiefe \mathbf{T} ,
 \mathbf{a} die Wurzelmassendichte im der obersten Bodenhorizont, 0 - 5 cm, (Startwert) und
 \mathbf{c} den Proportionalitätsfaktor der Massenabnahme (Abnahmerate) bis 50 cm Tiefe darstellt.

Die Schätzung der Modellparameter erfolgte nach der Methode der kleinsten Quadrate ('least squares'; Verlustfunktion = (observierte Werte - vorausgesagte Werte)²).

Das ausgewählte Modell wurde an allen Untersuchungsstandorten und Behandlungen zur Beschreibung der Tiefenverläufe und zur Vorratsbestimmung der beiden Parameter Feinwurzelmasse und -länge eingesetzt. Ferner wurde der Modellierungsansatz auch auf die Daten der Gazebeuteluntersuchung zur Beschreibung der Feinwurzelproduktivität angewendet.

Anpassung der experimentellen Daten an das Regressionsmodell

Zur Bestimmung der Verläufe der WMD und WLD in den Feldexperimenten wurden aus den internen Meßwertwiederholungen innerhalb einer Parzelle Mittelwerte gebildet, mit denen die Modellanpassung durchgeführt wurde. Für die Feinwurzelvorräte betrug die interne Wiederholungszahl zum ersten Aufnahmezeitpunkt (März 1994) $n=3$, zum zweiten und letzten (November 94, April 95) dagegen $n=4$. Im Falle der Produktivitätsuntersuchungen (Gazebeuteltest) wurden zu den Zeitpunkten 180 und 360 d je Behandlung und Tiefenstufe 3 Wiederholungen pro Parzelle (=Block) gezogen. Der Modellierungsansatz wurde nicht auf die Erntetermine 90 und 270 d angewendet, da zu diesen Zeitpunkten nicht alle Tiefenstufen beprobt wurden.

Vergleich der Regressionsparameter \mathbf{a} und \mathbf{c} und der aus ihnen errechneten Vorräte

Die Nettoproduktionsleistung (Abschnitt 4.3 ff) und die Feinwurzelvorräte (Abschnitt Masse 5.2.1, Länge 5.2.3) bis 50 cm Bodentiefe wurden anhand der ermittelten Regressionsparameter (\mathbf{a} , \mathbf{c}) über die Aufsummierung von 10 5-cm-Intervallen berechnet

(Eulersche Integration). Als numerischer Wert für die Tiefe \mathbf{T} wurde die mittlere Tiefe jedes 5-cm-Tiefenintervalls $(T_{\max}-T_{\min})/2$ von 0 - 50 cm verwendet. Für die Gesamtmasse bis 50 cm Bodentiefe ergibt sich:

$$\begin{aligned} \text{WMD}_{\text{gesamt}} &= \text{WMD}_{0-5 \text{ cm}}(T=2,5) + \text{WMD}_{5-10 \text{ cm}}(T=7,5) + \dots + \text{WMD}_{45-50 \text{ cm}}(T=47,5) \\ &= \sum_{T=2,5}^{T_{10}=47,5} \text{WMD}_{1-10} \end{aligned}$$

Der Bodenbereich bis zu dem 50 % der Nettoproduktion sowie der Feinwurzelnvorräte ($\varnothing \leq 2 \text{ mm}$) bis 50 cm Bodentiefe akkumuliert waren, wurde anhand der Formel

$$\mathbf{T}/2 = \frac{\ln 2}{c}$$

berechnet, wobei \mathbf{c} der Proportionalitätsfaktor der Tiefenabnahme (Abnahmerate) ist.

Zur Ermittlung der Effekte der in den Feldexperimenten durchgeführten Behandlungen wurde mit den logarithmisch transformierten Einzelwerten von \mathbf{a} , \mathbf{c} und der berechneten Vorräte eine ANOVA durchgeführt.

Zur Unterscheidung von Sekundärvegetationen unterschiedlicher Entwicklungsstadien und auch zur Unterscheidung der Behandlungen wurden laut Definition Unterschiede als statistisch signifikant angesehen, wenn zumindest einer der Parameter der Modellgleichung und/oder die Wurzelnvorräte bis 50 cm Tiefe das Kriterium der 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit erfüllte ($p \leq 0,05$).

3 Vergleich der Bodenzustände behandelter und unbehalteter Flächen

Die Bodendaten der Ausgangsvegetation (**Cap**) des Exp 4a und Exp 9a wurden bereits im Abschnitt 2.1.2 in Tabelle 2 vorgestellt. An dieser Stelle werden nun die Bodendaten der Behandlungen **gebr**, **entst**, **P,E** und **P,E,R** beschrieben (Tabelle 9 bis 11) und mit denen der Ausgangsvegetation verglichen. In Tabelle 9 und 10 wurden zur besseren Vergleichsmöglichkeit auch die Werte der Ausgangsvegetation dargestellt.

3.1 Physikalische Bodeneigenschaften

Ein Vergleich der Textur und Lagerungsdichte wurde nur in den Böden der Ausgangsvegetationen im Exp 4a und Exp 9a (**Cap**) und in der mechanisierten Behandlung mit Rolofaca-Einsatz (**P,E,R**) durchgeführt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Korngrößenverteilung in der Ausgangsvegetation (**Cap**) und in der mechanisierten Behandlung unter Einsatz von Schneidwalze, Pflug und Egge (**P,E,R**) der in den Feldexperimenten Exp 4a und Exp 9a.

Feldexperiment		Exp 4a			Exp 9a		
Bodentiefe	[cm]	0-10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50
Cap							
Grobsand	[%]	37	33	29	64	50	67
Feinsand	[%]	42	38	37	25	32	26
Schluff	[%]	9	8	6	4	4	3
Ton	[%]	12	21	28	7	14	4
P,E,R							
Grobsand	[%]	40	30	25	67	67	57
Feinsand	[%]	37	42	41	27	26	30
Schluff	[%]	7	7	6	2	3	3
Ton	[%]	16	21	28	4	4	10

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge und Schneidwalze (**P,E,R**)

Texturunterschiede bestanden nur zwischen den Feldexperimenten. Innerhalb wurden keine Unterschiede festgestellt, auch nicht zwischen der Ausgangsvegetation und der Behandlung **P,E,R**. Der Boden des Exp 4a wies in allen 3 untersuchten Bodentiefen weniger Grob- und Feinsandanteile gegenüber Exp 9a auf, dafür aber höhere Schluff- und Tonanteile. Diese Aussage gilt sowohl für die Ausgangsvegetation (**Cap**) als auch für die Behandlung **P,E,R**. Die Variation der Korngrößenanteile zwischen der **Capoeira** und der Behandlung **P,E,R** in

identischen Tiefenstufen gleicher Feldexperimente hingegen war gering (Grobsand maximal $\pm 4\%$ mit Ausnahme Exp 9a (10-30 cm) $\pm 17\%$, Feinsand maximal $\pm 6\%$, Schluff maximal $\pm 2\%$, Ton maximal $\pm 10\%$; Tabelle 9).

Nur im Exp 4a wurde ein vertikaler Tongradient gefunden. Aufgrund des höheren Sandgehaltes des Bodens ist im Exp 9a mit geringen Wasserhaltekapazitäten und erhöhter Wasserleitfähigkeit zu rechnen.

Tabelle 10: Lagerungsdichte in der Ausgangsvegetation (**Cap**) und in der Behandlung **P,E,R** in den Feldexperimenten Exp 4a und Exp 9a.

Bodentiefe	[cm]	Exp 4a			Exp 9a		
		0-10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50
Cap	[t*m ⁻³]	1,20	1,26	1,29	1,44	1,40	1,42
P,E,R	[t*m ⁻³]	1,26	1,39	1,47	1,47	1,39	1,38

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge und Schneidwalze (**P,E,R**)

Die Lagerungsdichte der Böden variierte zwischen 1,20 und 1,47 t*m⁻³ (Tabelle 10). Damit liegen die Werte in einem Bereich, der auch für andere Waldböden im Untersuchungsgebiet beschrieben wurde. Eine Bodenverdichtung in den maschinellen Behandlungen kann im Exp 9a ausgeschlossen werden. Im Exp 4a zeigten die Werte der maschinellen Behandlung eine größere Variation mit der Tiefe. Ob daraus auf eine relative Verdichtung geschlossen werden kann oder ob die Trockenraumdichten im Exp 4a innerhalb der natürlichen Variationsbreite schwankten, kann nicht eindeutig geklärt werden. Wäre eine Verdichtung eingetreten, so hätte sich diese am stärksten in oberen Bodentiefen ausgewirkt. Verlagerungsprozesse einzelner Korngrößenfraktion, die als Folge der Bodenbehandlung aufgetreten sein könnten, fanden, wie Tabelle 9 zeigt, nicht statt.

3.2 Chemische Bodeneigenschaften

3.2.1 Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte

Die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte des Bodens nahmen unter der Ausgangsvegetation und allen Behandlungen beider Feldexperimente mit zunehmender Bodentiefe ab (Tabelle 11). In allen drei Tiefenstufen variierten die durchschnittlichen C-Gehalte stärker zwischen beiden Experimenten als zwischen der **Capoeira** (Tabelle 2) und den Behandlungen innerhalb jedes Experimentes. Die C-Gehalte im oberen Bodenhorizont (0 - 10 cm) waren in der

Behandlung **gebr** leicht erhöht gegenüber der Ausgangsvegetation und den anderen Behandlungen. Die Schwankungsbreite der C/N-Verhältnisse war stärker im Exp 9a (12,0 - 18,0) als im Exp 4a (12,5 - 15,0). Dennoch lagen die Durchschnitte über alle Behandlungen in beiden Feldexperimenten in vergleichbaren Größenordnungen. Die Übereinstimmung war im oberen Bodenhorizont (0 - 10 cm) besonders hoch.

3.2.2 Austauschbarer Phosphor

Die Gehalte an austauschbarem Bodenphosphor nach Bray-1 waren in der Ausgangsvegetation und in allen Behandlungen des Exp 9a erhöht gegenüber Exp 4a (Tabelle 2 und Tabelle 11). Die Werte waren im oberen Bodenhorizont (0 - 10 cm) der Behandlung **gebr** leicht erhöht gegenüber der Ausgangsvegetation und den anderen Behandlungen. Unterschiede zwischen den Feldexperimenten wurden besonders in den beiden unteren Tiefenstufen sichtbar (20 - 30, 40 - 50 cm). Die durchschnittlichen P-Konzentrationen können in beiden Experimenten und allen Tiefenstufen als niedrig bis sehr niedrig angesehen werden (Exp 4a, 1,6; 1,1 und 0,6 mg*kg⁻¹; Exp 9a, 2,0; 1,6 und 1,2 mg*kg⁻¹).

3.2.3 pH-Werte und austauschbare Kationen

Die pH-Werte schwankten in beiden Experimenten zwischen 5,8 und 4,7 (Tabelle 2 und Tabelle 11). Leicht erhöhte Werte wurden wiederum in der Behandlung **gebr** beider Feldexperimente beobachtet. Statische signifikante Unterschiede zwischen Experimenten bestanden nicht. Die Konzentrationen der Elemente Na, K und Ca nahmen mit zunehmender Tiefe ab. Tendenziell lagen die Mittelwerte in allen Tiefenstufen der Ausgangsvegetation sowie den Behandlungen im Exp 4a höher als im Exp 9a. In der Behandlung **gebr** waren die Werte des oberen Bodenhorizontes (0 - 10 cm) erhöht, was sich auf den Ascheeintrag beim Brand zurückführen lässt. Die Aluminiumkonzentrationen nahmen im Exp 4a mit zunehmender Tiefe stärker zu als im Exp 9a. Sie schwankten durchschnittlich zwischen 0,13 und 0,80 cmol(+)*kg⁻¹ Boden im Exp 4a sowie 0 und 0,48 cmol(+)*kg⁻¹ Boden im Exp 9a.

3.2.4 Effektive Austauschkapazität Ak_e

Die effektive Austauschkapazität war im Exp 4a in allen Tiefenstufen signifikant höher als im Exp 9a. Sie reichte von 2,14 und 1,19 $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ Boden im Exp 4a von 1,43 und 0,60 $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ Boden. Sie ist in beiden Experimenten als sehr niedrig einzuordnen. Die Werte im oberen Bodenhorizont waren in der Behandlung **gebr** gegenüber der Ausgangsvegetation und den anderen Behandlungen erhöht (Tabelle 2 und Tabelle 11).

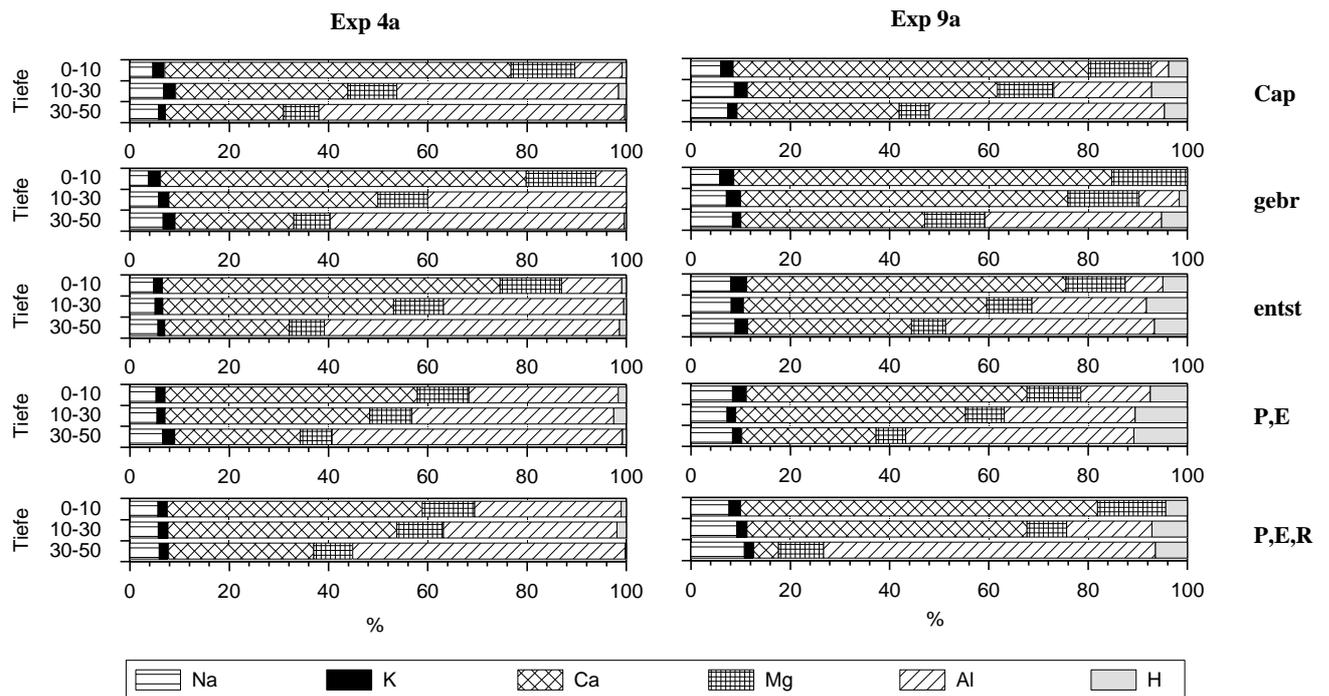


Abbildung 11: Prozentuale Anteile der verschiedenen Kationen an der Ak_e , getrennt nach Feldexperimenten und Behandlungen.

Gemittelt über alle Behandlungen stellte Ca das dominante austauschbare Kation in den oberen 10 cm des Bodens (Exp 4a 66 %, Exp 9a 70 %, Abbildung 11). Mit zunehmender Bodentiefe wechselte im Exp 4a die Dominanz zu Al mit 41 und 60 % Basensättigung. Im Exp 9a wurden durchschnittlich höhere Belegungen durch Ca (53 %) als durch Al (19 %) in 10 - 30 cm berechnet. Erst in 30 - 50 cm stellte sich eine höhere Al-Sättigung (47 %) ein (Ca 30 %). Veränderungen der Austauscherbelegungen in den maschinellen Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**), die als Folge der Durchmischung des Oberbodens eintraten, zeigten sich nicht.

3.3 Zusammenfassung

Für die K- Na-, Mg- und Al-Konzentrationen, die N- und C-Gehalte sowie die effektive Austauschkapazität wurden im Exp 4a tendenziell höhere Werte als im Exp 9a nachgewiesen. Nur die P-Konzentrationen waren im Exp 9a höher. Insgesamt gesehen sind die Böden beider Feldexperimente nährstoffarm. Insbesondere die niedrigen P-Gehalte dürften einen limitierenden Einfluß für die Nährstoffversorgung der Vegetation darstellen (GEHRING et al., 1999).

Große Unterschiede bestanden in der Bodentextur beider Feldexperimente. Hohe Grob- und Feinsandanteile im Exp 9a stehen höheren Schluff- und Tonanteilen im Exp 4a gegenüber.

BAAR (1997) koppelte das Vorkommen bestimmter Vegetationstypen der Sekundärvegetation an Bodenmerkmale. Die Vegetation im Exp 4a kann als typisch für Latosolböden (Oxisol) bezeichnet werden, die des Exp 9a dagegen als typisch für Sandböden (Entisol).

Behandlungseffekte innerhalb der Experimente bestanden im allgemeinen nur zu der Behandlung **gebr**, was auf den Ascheeintrag zurückzuführen ist. Die Böden der Ausgangsvegetation (**Cap**), **entst** und der maschinellen Behandlungen **P,E** und **P,E,R** wiesen trotz der unterschiedlicher Behandlungsvorgeschichten geringe Schwankungsbreiten der Werte zueinander auf.

Tabelle 11: Chemische Bodendaten in den Behandlungen **gebr**, **entst**, **P,E** und **P,E,R** in Cumaru (Exp 4a) und Curi (Exp 9a).

Alter der Ausgangsvegetation 4 a													
Behandlung		gebr			entst			P,E			P,E,R		
Bodentiefe	[cm]	0-10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50
pH	(H ₂ O)	5,5	5,0	4,7	5,5	5,1	4,8	5,1	5,0	4,7	5,1	4,9	4,8
pH	(KCl)	4,6	4,1	4,0	4,4	4,1	4,0	4,1	4,1	4,0	4,2	4,1	4,0
Na	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,08	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08	0,09	0,07	0,09	0,09	0,08	0,08
K	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
Ca	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,79	0,30	0,15	0,62	0,34	0,17	0,41	0,27	0,16	0,39	0,32	0,19
Mg	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,15	0,07	0,05	0,11	0,07	0,05	0,08	0,06	0,04	0,08	0,07	0,05
Al	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,13	0,58	0,76	0,22	0,53	0,80	0,49	0,53	0,76	0,44	0,49	0,71
Ake	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	2,14	1,45	1,28	1,83	1,47	1,35	1,62	1,31	1,29	1,51	1,40	1,30
P	[mg*kg ⁻¹]	2,0	1,3	0,7	2,0	1,1	0,7	1,5	1,0	0,6	1,1	0,9	0,5
C	[%]	1,1	0,76	0,52	1,03	0,79	0,6	0,81	0,69	0,5	0,87	0,73	0,53
N	[%]	0,08	0,06	0,04	0,07	0,06	0,04	0,06	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04
C/N		13,8	12,7	13,0	14,7	13,2	15,0	13,5	13,8	12,5	14,5	14,6	13,3

Alter der Ausgangsvegetation 9 a													
Behandlung		gebr			entst			P,E			P,E,R		
Bodentiefe	[cm]	0-10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50	0-10	10-30	30-50
pH	(H ₂ O)	5,8	5,6	5,0	5,3	5,1	4,7	5,3	5,0	4,7	5,4	5,2	4,9
pH	(KCl)	4,9	4,6	4,0	4,3	4,1	3,9	4,1	4,0	3,9	4,4	4,1	4,0
Na	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,08	0,08	0,07	0,09	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06
K	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,04	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Ca	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,54	0,36	0,16	0,38	0,24	0,14	0,27	0,23	0,12	0,35	0,22	0,01
Mg	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,11	0,08	0,05	0,07	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03	0,07	0,03	0,03
Al	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	0,00	0,09	0,31	0,09	0,22	0,36	0,13	0,27	0,40	0,00	0,13	0,40
AKe	[cmol(+)*kg ⁻¹ Boden]	1,43	1,10	0,87	1,18	0,96	0,85	0,96	1,01	0,87	0,97	0,78	0,60
P	[mg*kg ⁻¹]	2,5	1,8	1,2	1,9	2,1	1,7	1,6	1,6	1,1	1,6	1,7	1,1
C	[%]	0,68	0,54	0,42	0,73	0,6	0,39	0,56	0,55	0,42	0,57	0,45	0,36
N	[%]	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,02
C/N		17,0	13,5	14,0	14,6	12,0	13,0	14,0	13,8	14,0	14,3	15,0	18,0

manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

4 Wurzelproduktion in Gazebeuteln

4.1 Vorversuch zur Bestimmung der 'lag-Phase'

Die Zeitspanne nach Abschluß der Flächenvorbereitung bis zum Einsetzen der Beutel sollte der Brachevegetation ermöglichen, wurzelfreie oder stark wurzelverminderte Bodenräume, die als Folge der Behandlungen entstanden waren, erneut zu durchwurzeln. Der Zeitraum in dem Feinwurzeln durch den Boden auf die Gazebeutel zuwachsen ohne sie jedoch zu erreichen, wird in der Literatur als 'lag-Phase' bezeichnet. Sie sollte so kurz wie möglich gehalten werden, um eine Unterschätzung der Produktivität zu vermeiden (STEEN, 1991).

In einem Vorversuch wurde die Dauer der 'lag-Phase' abgeschätzt. Es zeigte sich, daß in verschiedenen Bodentiefen unterschiedlich lange Zeiträume vergingen, bis Feinwurzeln in die Gazebeutel einwuchsen. So waren in einer 3jährigen Brachevegetation 60 d ausreichend, um das Einwachsen neuer Wurzeln in allen Tiefenstufen zu gewährleisten (Tabelle 12, Abbildung 13). In der obersten Tiefenstufe (0 - 10 cm) stiegen WMD und WLD innerhalb von 30 d schnell an, dagegen erhöhten sie sich in den folgenden 30 Tagen nur unwesentlich. Die Zuwächse in der mittleren Tiefenstufe (20 - 30 cm) fielen geringer aus, steigerten sich aber kontinuierlich bis zum Entnahmezeitpunkt nach zwei Monaten. In 40 - 50 cm Tiefe wurden erst nach 60 Tagen Feinwurzeln in den Gazebeuteln gefunden.

Tabelle 12: Mittelwerte der Wurzelmasse (WMD) und Wurzellängendichte (WLD) in Gazebeuteln nach 30 und 60 Tagen \pm Standardfehler nach Einbau in eine 3jährige Sekundärvegetation.

Verbleibdauer [d] Tiefenstufe [cm]	WMD [$\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$]		WLD [$\text{mm}\cdot\text{cm}^{-3}$]	
	30	60	30	60
0 - 10	0,21 \pm 0,09	0,25 \pm 0,05	21,1 \pm 4,9	21,4 \pm 3,7
20 - 30	0,04 \pm <0,01	0,14 \pm 0,05	3,7 \pm 0,7	9,2 \pm 1,5
40 - 50	0	0,03 \pm <0,01	0	3,5 \pm 1,4

4.2 Feinwurzelproduktion in Gazebeutel-Untersuchungen

4.2.1 Verhältnis der Produktionsleistungen in drei Tiefenstufen

Basierend auf den Ergebnissen des Vorversuches wurde in den folgenden Versuchen davon ausgegangen, daß eine 3monatige Regenerationsphase zwischen den Flächenbehandlungen und dem Einbau der Gazebeutel in die Feldexperimente ausreichend war, um die methodischen Voraussetzungen zu gewährleisten. Die erste Probennahme erfolgte nach 6 Monaten Regenerationsdauer. Die Verweildauer der Gazebeutel im Boden betrug zu diesem Zeitpunkt 3 Monate.

Die höchste Produktionsleistung wurde in beiden Feldexperimenten in der oberen Tiefenstufe (0 - 10 cm) registriert. Unterschiede bestanden zwischen den Experimenten in dem Verhältnis der WLD und WMD im oberen Horizont zu den beiden darunterliegenden. So betrug die $WLD_{(0-10\text{ cm})}$ der Gazebeutel im Exp 4a durchschnittlich das 5,3- bzw. 9,4-fache dessen, was in 20 - 30 und 40 - 50 cm Tiefe gemessen wurde, im Exp 9a aber nur das 3,1- bzw. 4,6-fache. Analog verhielt sich die WMD mit dem 4,4- und 8fachen im Exp 4a sowie dem 2,4- und 3,9-fachen in den darunterliegenden Tiefen bei Exp 9a.

Die Produktivitätsverhältnisse der Tiefenstufen unterlagen Schwankungen im Jahresverlauf. Ferner variierten sie keiner speziellen Tendenz folgend über die Behandlungen der Experimente. Eine detaillierte Übersicht über die Amplitude der Produktivitätsverhältnisse findet sich in Tabelle 47 im Anhang. Im statistischen Vergleich beider Feldexperimente zeigten sich signifikante Unterschiede der durchschnittlichen Längen- und Massendichteverhältnisse ($WLD_{(10/30)} F_{(1,78)}=11,8, p\leq 0,001, WLD_{(10/50)} F_{(1,78)}=15,1, p\leq 0,001, WMD_{(10/30)} F_{(1,78)}=23,0, p\leq 0,001, WMD_{(10/50)} F_{(1,78)}=36,0, p\leq 0,001$).

4.2.2 Wurzelmasseendichte im Exp 4a

Hinsichtlich der Produktionsleistung ergab sich folgende Rangfolge: **Cap** > **gebr** > **entst** > **P,E,R** > **P,E** (Abbildung 13). Im Vergleich aller Behandlungen nimmt die WMD mit steigender Destruktivität der durchgeführten Eingriffe ab. Diese Tendenz ließ sich in allen Tiefenstufen zu nahezu jedem Entnahmeterrin nachweisen.

Die Produktionsleistungen nach 360 d Verbleibdauer unter der ungestörten Vegetation (**Cap**) und den manuellen Behandlungen (**gebr** und **entst**) waren höher als bei den maschinell

durchgeführten (**P,E**, **P,E,R**). Die WMD in den Gazebeuteln unterschieden sich in den meisten Fällen signifikant voneinander (siehe Abbildung 13). Auch wenn ein Mittelwertvergleich im Einzelfall keine signifikanten Unterschiede zwischen einzelnen Behandlungen ergab, so konnten mit der Kontrastanalyse die WMDs der mechanisierten Behandlungen als signifikant niedriger von den übrigen Behandlungen differenziert werden (Tiefe $_{(20-30\text{cm})}$ $F_{(1,53)}=12,35$, $p\leq 0,001$, Tiefe $_{(40-50\text{cm})}$ $F_{(1,53)}=3,86$, $p\leq 0,01$). Hingegen war es trotz ausgeprägter Mittelwertsunterschiede nicht möglich, statistische Unterscheidungen innerhalb der manuellen oder maschinellen Gruppen aufzuzeigen. Der Grund dafür liegt in den hohen Streuungen der Einzelwerte.

Die Behandlungsunterschiede der WMD vergrößerte sich mit zunehmender Verbleibdauer. In 0 - 10 cm Tiefe wurden nach 360 d Verbleibdauer die höchsten Werte in der unbehandelten Sekundärvegetation (**Cap** $1,82 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$) und in der Behandlung **gebr** ($1,78 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$) verzeichnet, gefolgt von der Behandlung **entst** ($1,13 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$). Am unteren Ende der Skala rangierte die WMD der beiden mechanisierten Behandlungen (**P,E,R** $0,69 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$), wobei die Behandlung ohne Einsatz der Rolofaca (**P,E** $0,46 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$) die niedrigste Produktionsleistung nach einem 360 d Verbleib aufwies. Die Behandlungseffekte äußerten sich in den Tiefenstufen 20 - 30 und 40 - 50 cm tendenziell gleich.

Die Behandlungseffekte wurden überlagert von saisonalen Veränderungen der WMD, hervorgerufen durch eine relative Trockenphase in der Zeit von August bis Dezember und hohe Niederschlagseinträge zu Beginn und zu Ende der Versuchsdauer (Abbildung 12).

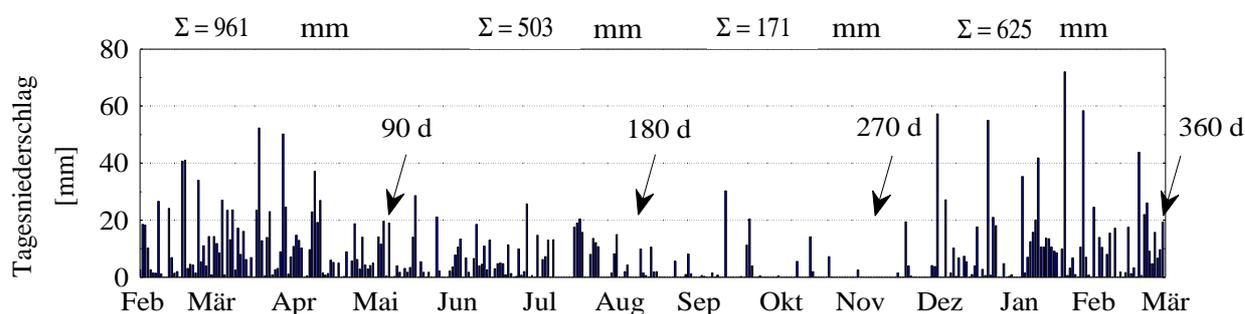


Abbildung 12: Regenereignisse in Cumaru (Exp 4a) während der Dauer der Gazebeuteluntersuchungen. Die Summenwerte stellen die akkumulierten Niederschläge innerhalb jeder 3-Monatsperiode zwischen den Entnahmen der Gazebeutel dar. Die Gesamtniederschlagsmenge im Untersuchungszeitraum betrug 2260 mm. Die Pfeile markieren die Entnahmezeitpunkte der Gazebeutel.

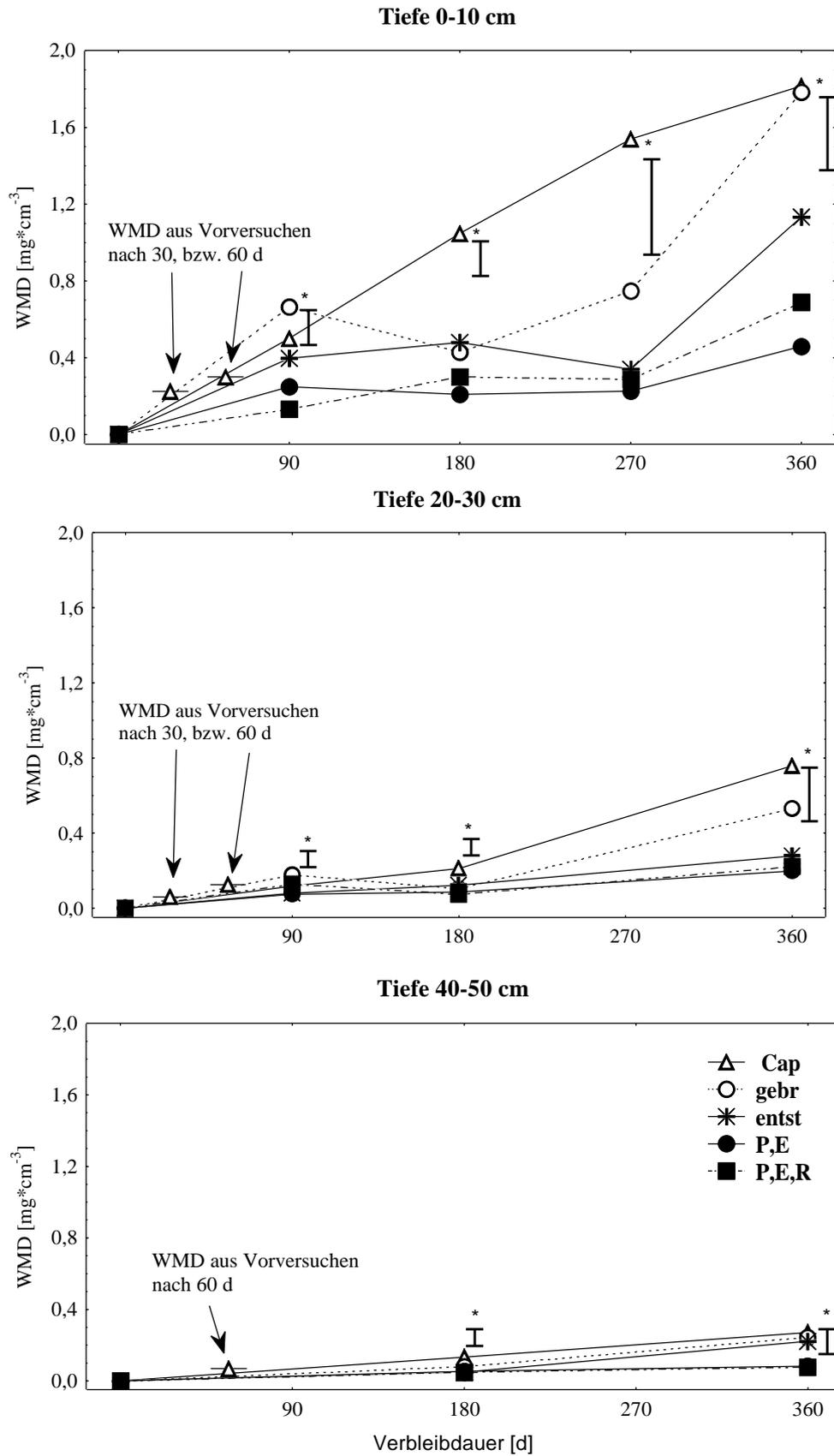


Abbildung 13: Mittelwerte der Wurzelmasse in Gazebeuteln in Exp 4a mit LSD-Balken (* $p \leq 0,05$) in Abhängigkeit von der Verbleibdauer, Behandlung und Tiefenstufe (0 - 10, 20 - 30 und 40 - 50 cm).

Mit Ausnahme der **Capoeira** ließen sich für alle Behandlungen jahreszeitliche Änderungen der Wachstumsdynamik zeigen, die in der 0 - 10 cm Tiefenstufe besonders akzentuiert verliefen (Abbildung 13). Nach anfänglich hoher Produktion in den Monaten Februar bis Mai (erste niederschlagsreiche Phase, Verbleibdauer 90 d) wurden von Juni bis November (Trockenperiode, 180 - 270 d Verbleibdauer) in allen gerodeten Behandlungen Wachstumsdepressionen beobachtet, die in Stagnation oder leichten Rückgängen der WMD resultierten. So wurden in der Zeit von der ersten bis zur dritten Ernte in keiner der Behandlungen signifikante Zu- oder Abnahmen der WMD beobachtet. Mit Einsetzen verstärkter Niederschläge (ab Dezember) setzte bis 360 d ein sprunghafter Wiederanstieg der Wurzelproduktion ein. Während der letzten 90 d, (270 - 360 d Verbleibdauer) betrug die Zuwächse (in den behandelten Parzellen) zwischen 51 und 70 % der Jahresgesamtproduktion und führten mit Ausnahme der Behandlung **P,E** durchweg zu signifikanten Anstiegen der WMD (0 - 10 cm Tiefe, 270 nach 360 d, t-Test, $p \leq 0,05$).

Im Gegensatz zu anderen Behandlungen verlief die Akkumulation der WMD in der **Capoeira** annähernd linear über den gesamten Beobachtungszeitraum. Es traten weder Anzeichen einer trockenheitsbedingten Wachstumsdepression noch eine Produktionssteigerung mit Eintritt der Regenzeit auf.

Die Variation des Regenangebotes führte auch in 20 - 30 cm Tiefe zu jahreszeitlichen Schwankungen der Produktivität. Die Dynamik der WMD-Zunahme war weniger ausgeprägt als in der oberen Tiefenstufe (0 - 10 cm), verlief tendenziell jedoch ähnlich. Einer anfänglichen Zunahme der Wurzelproduktion folgte in 90 - 180 d eine WMD-Abnahme, die durchgehend in allen Behandlungen beobachtet werden konnte. Nur die WMD der **Capoeira** stieg in diesem Zeitraum an. Die absoluten jahreszeitlichen Variationen der WMDs aller Behandlungen waren vergleichsweise gering und ließen sich statistisch nicht abgrenzen.

Da in 20 - 30 cm Tiefe zum Zeitpunkt 270 d keine Gazebeutel entnommen wurden, lassen sich keine Angaben über einen Anstieg der WMD in den letzten 90 d machen. Die starken Zunahmen innerhalb der letzten 180 Versuchstage, die in allen Fällen zur Vervielfachung der WMD führte, lassen jedoch auf eine Saisonalität des Wurzelmassenwachstums in dieser Tiefe schließen. Signifikante WMD-Zunahmen ($p \leq 0,001$) in dieser Tiefenstufe wurden für die **Capoeira** (77 % der Jahresproduktion) und die gebrannte Fläche (66 % der Jahresproduktion), nachgewiesen. Die WMD der anderen Behandlungen stieg auch (27 - 35 % der Jahresproduktion), ließ sich aber gegen keinen der vorangegangenen Termine statistisch absichern.

In der untersten Tiefenstufe (40 - 50 cm) konnten keine saisonale Effekte nachgewiesen werden, da nur zwei mal beprobt wurde (180 und 360 d). Die absoluten WMD-Veränderungen aller Behandlungen waren zudem äußerst gering.

4.2.3 Wurzellängendichte im Exp 4a

Mit Ausnahme des ersten Probennahmezeitpunktes (90 d) konnten Unterschiede der WLD zwischen den Behandlungen lediglich im obersten Bodenhorizont statistisch nachgewiesen werden (Abbildung 14). Das lag sowohl an den geringen Mittelwertsunterschieden in den unteren Bodentiefen als auch an den starken Schwankungen der Einzelwerte. Die durchschnittlichen Variationskoeffizienten betragen im oberflächennahen Bodenhorizont 57 % und in den beiden darunterliegenden Tiefenstufen 88 bzw. 89 %.

In den oberen 10 cm Tiefe erreichte die WLD der manuellen Behandlungen zu Beginn (**gebr** nach 90 d: $106 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-3}$, **entst** nach 180 d: $83 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-3}$) und zum Ende des Versuches (nach 360 d: **entst** $105 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-3}$, **gebr** $82 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-3}$) die höchsten Werte. Sie überragten die maschinellen Behandlungen zu allen Zeitpunkten (**P,E,R** $65 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-3}$, **P,E** $45 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-3}$, Abbildung 14).

Nach 90 d sowie nach einem Jahr Wachstum unterschieden sich die WLDs der manuellen von mechanisierten Behandlungen signifikant (Kontrastanalyse, 90d: Tiefe_(0-10cm) $F_{(1,50)}=19,60$, $p \leq 0,001$; 360d: Tiefe_(0-10cm) $F_{(1,54)}=8,19$, $p \leq 0,01$). Gleiches gilt für den Vergleich manueller Behandlungen mit der Ausgangsvegetation (90d: Tiefe_(0-10cm) $F_{(1,54)}=4,12$, $p \leq 0,05$, 360d: Tiefe_(0-10cm) $F_{(1,54)}=4,12$, $p \leq 0,05$).

Auffällig ist die niedrige WLD der **Capoeira**. Im Gegensatz zur Wurzelmassenproduktion, die zu 3 von 4 Erntezeitpunkten die höchste aller Behandlungen war, wurde über den gesamten Beobachtungszeitraum eine vergleichsweise geringe WLD ermittelt. Nach einem Jahr Wachstum wurden in dieser Vegetation die zweitniedrigsten Werte ermittelt. Sie lag in der Größenordnung der WLD maschineller Flächenbehandlungen, von denen sie sich statistisch nicht abgrenzen ließen.

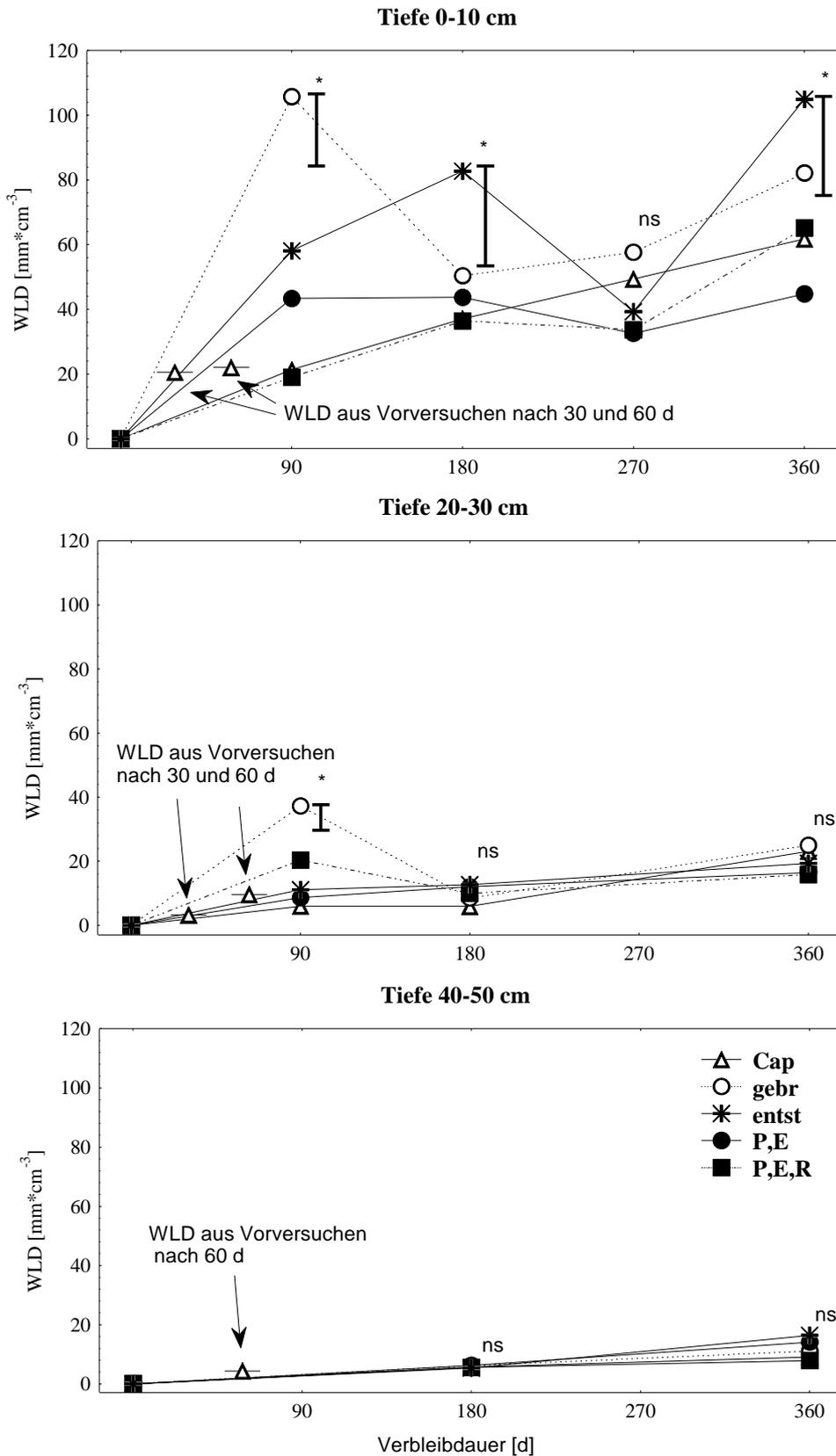


Abbildung 14: Mittelwerte der Wurzellängendichte (WLD) in Gazebeuteln im Exp 4a mit LSD-Balken (* $p \leq 0,05$, ns = nicht signifikant) in Abhängigkeit von der Verbleibdauer, Behandlung und Tiefenstufe (0 - 10, 20 - 30 und 40 - 50 cm).

Analog zur WMD wurde eine deutliche Saisonalität des Längenwachstums mit markanten anfänglichen Anstiegen, einer Rückgangs- oder Stagnationsphase in der Mitte der Versuchsdauer und erneuten Zunahmen zum Versuchsende verzeichnet. Die Dynamik der Produktionsleistungen und die Amplitude der jahreszeitlichen Schwankungen der WLD waren in den oberen 10 cm und in der Tiefenstufe 20 - 30 cm ausgeprägter als im Falle der WMD.

Die manuellen Behandlungen (**gebr**, **entst**) zeigten zu Versuchsbeginn und -ende starke Zu- und Abnahmen. Sie stellten unter Beweis, daß die Sekundärvegetation nach moderaten Störungen (manuelle Flächenbehandlungen, trockenheitsbedingter Rückgang der WLD) in der Lage war, innerhalb kurzer Zeit, die oberen Bodenschichten mit einem dichten Feinwurzelnetz zu durchziehen. In der Behandlung **gebr** wurde bereits nach 90 Tagen Verbleibdauer die höchste WLD des Gesamtversuchs ermittelt, sowohl in 0 - 10 cm als auch in 20 - 30 cm Tiefe. Die Zuwächse im Oberboden nach Einsetzen erhöhter Niederschläge in der regenreichen Saison (270 - 360 d) betragen 30 (**gebr**) und 63 % (**entst**) der Nettojahresproduktion.

Intensive Eingriffe in das Wurzelsystem, wie im Falle der maschinellen Flächenbestellungen (**P,E** und **P,E,R**), vermindern die Fähigkeit der Brachevegetation, potentiellen Wurzelraum durch vermehrtes Wurzelwachstum in der Regenzeit (wieder) zu erschließen.

Die geringe WLD-Produktionsleistung der **Capoeira** ist wahrscheinlich auf eine hohe Feinwurzeldichte im Boden zurückzuführen. In der ungestörten Ausgangsvegetation wurden keine Bodeneingriffe durchgeführt, wodurch es nicht zu einer Verminderung der WLD kam (siehe Abschnitt 5.1). Für die Vegetation bestand daher keine unmittelbare Notwendigkeit, durch verstärktes Feinwurzellängenwachstum neue Wurzelräume zu erschließen. Der über den gesamten Untersuchungszeitraum lineare Zuwachs, sowohl der Länge als auch der Masse, zeigt im Gegensatz zu allen anderen Behandlungen, daß temporäre Einschränkungen des Wurzelwachstums in der unbehandelten Vegetation nicht bestanden.

4.2.4 Wurzelmassendichte im Exp 9a

Analog zum Exp 4a trat auch im Exp 9a eine Verringerung der Produktionsleistung mit zunehmender Destruktivität der durchgeführten Eingriffe auf. Sie führte nach 360 d Wurzelwachstum zu folgender Rangfolge der Produktionsleistung: **Cap** > **entst** > **gebr** > **P,E,R** > **P,E** (Abbildung 15).

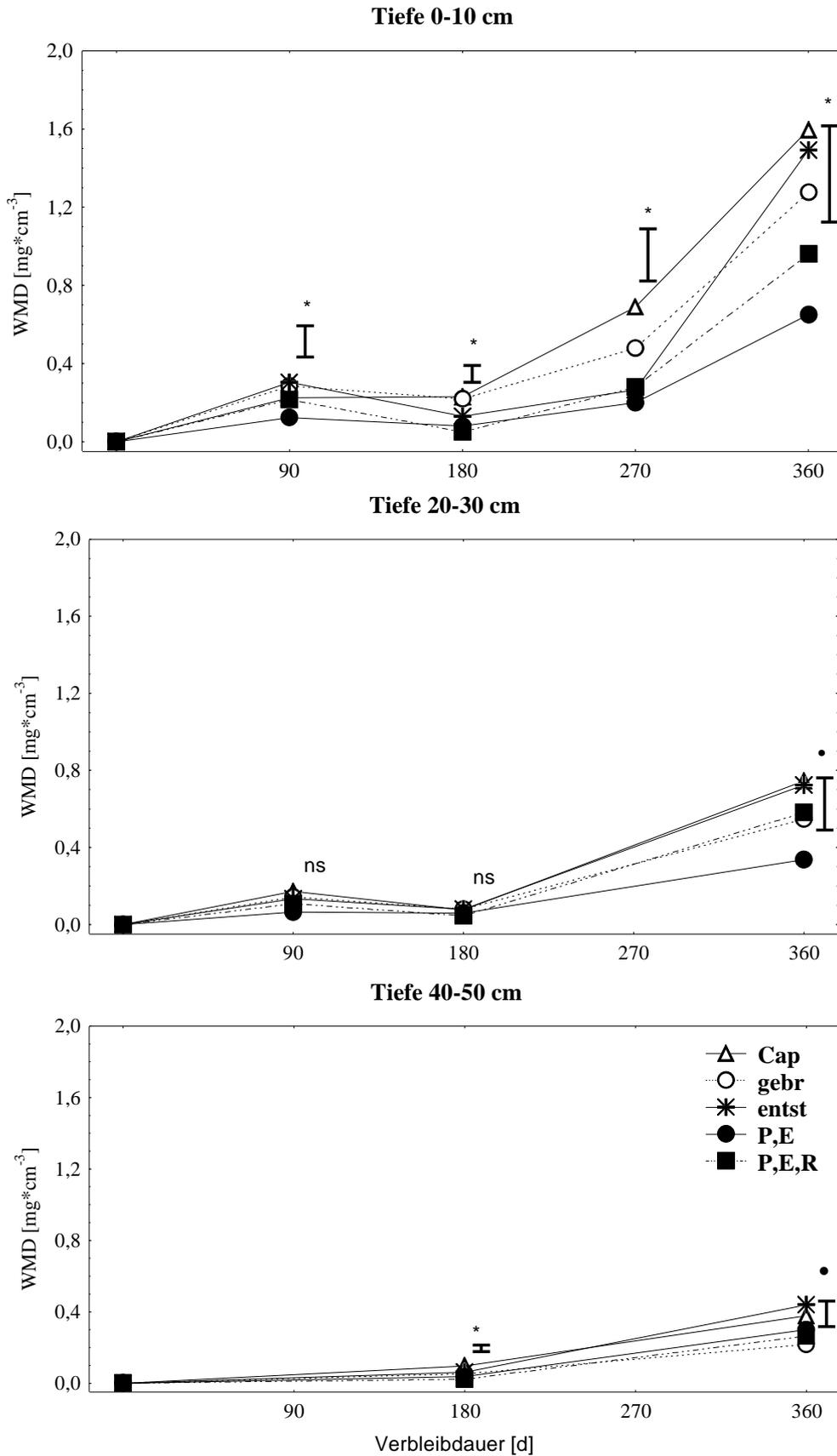


Abbildung 15: Wurzelmasendichte in den Gazebeuteln im Exp 9a in Abhängigkeit von der Verbleibdauer, Behandlung und Tiefenstufe (0 - 10, 20 - 30 und 40 - 50 cm) Signifikanzniveau der LSD-Balken ist • $p \leq 0,1$ bzw. * $p \leq 0,05$.

Nach 360 d betragen die WMD in 0 - 10 cm Tiefe in der **Cap** ($1,60 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$) und in den Behandlungen **entst** ($1,49 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$), **gebr** ($1,28 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$), **P,E,R** ($0,96 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$) und der Flächenvorbereitung **P,E** ($0,65 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$). Unterschiede ließen sich nicht für alle Behandlungen statistisch absichern (Abbildung 15). Über orthogonale Kontraste konnte die WMD der manuellen Behandlungen als signifikant höher gegen die maschinellen Behandlungen abgesichert werden ($\text{WMD}_{(0-10\text{cm})} F_{(1,53)}=15,1, p \leq 0,001$).

Ein auffälliger Unterschied zwischen beiden Feldexperimenten bestand im zeitlichen Werteverlauf der 4- und 9jährigen ungestörten Sekundärvegetation. Die Produktionsleistung der älteren Brache war zu den ersten drei Ernteterminen signifikant niedriger. Hinzu kam im Exp 9a eine Wachstumsdepression zwischen der ersten und dritten Ernte, die im Fall der jüngeren Vegetation nicht beobachtet wurde.

Im Gegensatz dazu läßt sich feststellen, daß die Werteverläufe aller Behandlungen, (ohne **Capoeira**) saisonal und größenordnungsmäßig, in beiden Experimenten ähnlich waren. Die wenig ausgeprägten Mittelwertdifferenzen zwischen den Behandlungen im Vergleich der Experimente wurden von einem durchschnittlichen Variationskoeffizienten von 45 % überlagert. Dies führte in allen Tiefenstufen und bis zum Versuchsende dazu, daß Behandlungseffekte in der Regel nur innerhalb eines jeden Experimentes, aber in den wenigsten Fällen zwischen gleichen Behandlungen unterschiedlicher Standorte ermittelt werden konnten.

Unter Verzicht auf eine Behandlungsstratifizierung lassen sich für die beiden unteren Tiefen nach einem Jahr Verbleibdauer der Gazebeutel höhere Durchschnittswerte für Exp 9a ermitteln, die sich auch statistisch absichern ließen ($\text{WMD}_{(20-30\text{cm})} F_{(1,116)}=6,5, p \leq 0,01$; $\text{WMD}_{(40-50\text{cm})} F_{(1,116)}=14,0, p \leq 0,001$). Die Unterschiede resultieren in beiden Fällen aus höheren (wenn auch im Experimentsvergleich nicht signifikanten) WMD-Mittelwerten der maschinellen Flächenbearbeitungen sowie der manuell entstockten Behandlung.

Wie im Exp 4a wurde eine saisonale Wachstumsrhythmik mit Phasen verstärkter Produktion in der Regenzeit und Wachstumsdepression während der trockenen Jahreszeit beobachtet. Auch in diesem Experiment kam es nach Wiedereinsetzen der Regenzeit zu intensiven Massenzuwächsen. Im produktivsten Bodenhorizont (0 - 10 cm) betrug der Zuwachs innerhalb der letzten 90 d zwischen 57 und 82 % der Gesamtjahresproduktion.

Der multiple Mittelwertvergleich ergab, daß die Zuwächse aller Behandlungen von 270 d nach 360 d signifikant waren ($p \leq 0,001$). Im Vergleich der Feldexperimente fiel der Zuwachs der letzten 3 Monate im Exp 9a in allen Behandlungen höher aus als im Exp 4a.

4.2.5 Wurzellängendichte im Exp 9a

Bei Betrachtung des gesamten Beobachtungszeitraums kann festgestellt werden, daß die jahreszeitlichen Schwankungen der WLD im Exp 9a in den drei Tiefenstufen weniger stark verliefen als im Exp 4a (Abbildung 16). Im Bodenhorizont mit der höchsten Produktivität (0 - 10 cm) konnten nur zum ersten der vier Erntezeitpunkte signifikante Behandlungseffekte verzeichnet werden. Die Gruppe der manuellen Flächenbehandlungen (**gebr** 69 mm*cm⁻³ und **entst** 71 mm*cm⁻³) unterschied sich sowohl von den maschinellen Verfahren (**P,E** 50 mm*cm⁻³ und **P,E,R** 62 mm*cm⁻³; $WMD_{(0-10cm)} F_{(1,50)}=12,9$ $p\leq 0,001$) als auch von der **Capoeira** (58 mm*cm⁻³; $WMD_{(0-10cm)} F_{(1,50)}=6,8$ $p\leq 0,01$). Innerhalb der Gruppen konnte keine weitere Differenzierung vorgenommen werden. Einzig in der Tiefenstufe 20 - 30 cm ergab die statistische Analyse (t-Test) nachweisbare Unterschiede bei $p\leq 0,05$ (180 d). Diese beruhten zu 2 von 3 Erntezeitpunkten auf besonders niedrigen Produktionsleistungen der Behandlung **P,E** während sich die WLD der restlichen Behandlungen bis zum Versuchsende stark anglich.

Wie im Exp 4a bestanden in der untersten Tiefenstufe durchgehend sehr geringe Produktionsleistungen in allen Behandlungen und der **Capoeira**. Dies führte dazu, daß innerhalb des Beobachtungszeitraumes Mittelwertsunterschiede nicht nachweisbar waren.

Wie auch in Exp 4a rangierte die Produktionsleistung der **Capoeira** an vorletzter Stelle im Größenbereich der mechanisierten Rodungsverfahren. Diese Beobachtung sichert die vorab geäußerte Einschätzung, daß solange keine Störung der Rhizosphäre vorliegt, keine verstärkte Längenzunahme auftritt. Hingegen können durch moderate Störungen sprunghafte Erhöhungen der WLD im Boden induziert werden (**gebr**, **entst**).

Eine Saisonalität des Längenwachstums bestand auch in diesem Feldexperiment. Sie war am ausgeprägtesten in den oberen 10 cm des Bodens. Der Verlauf der Erhöhungen und Rückgänge der WLD folgte der Häufigkeit der Regenereignisse und dem damit verbundenen Wasserangebot (Abbildung 12). Die Amplitude der jahreszeitlichen Schwankungen fiel jedoch geringer aus als im Exp 4a. Der Zuwachs in den letzten 90 d betrug zwischen 46 und 61 % der Jahresnettoproduktion. Der Vergleich der Behandlungen zwischen den Experimenten zeigte keine signifikanten Unterschiede, weder in den Tiefenstufen noch zu den verschiedenen Entnahmetermen. Die einzige Ausnahme hiervon bildete die Behandlung **gebr** im Exp 4a (0 - 10 cm), deren WLD die des Exp 9a signifikant übertraf (LSD-Test, $p\leq 0,05$).

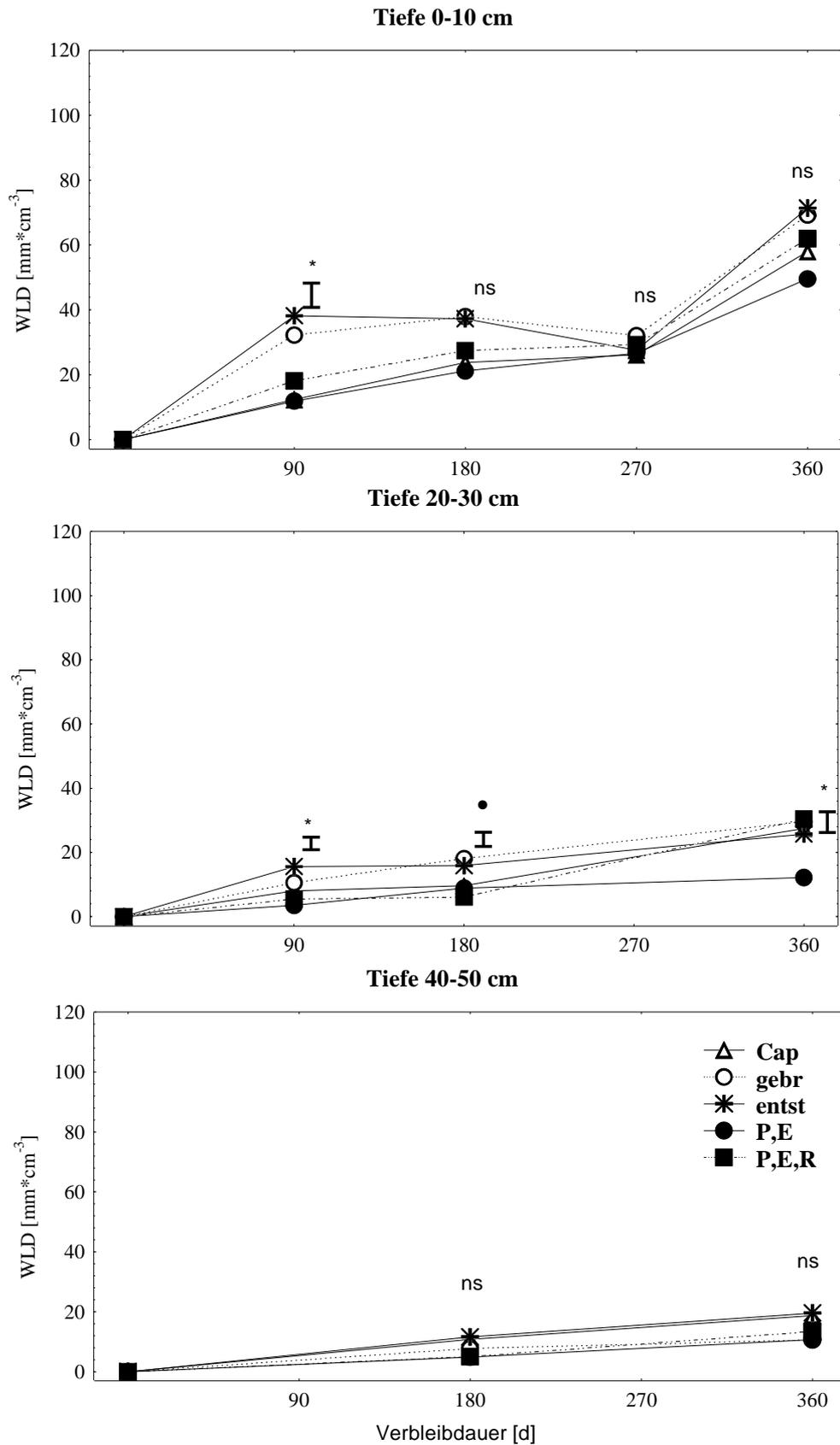


Abbildung 16: Mittelwerte der Wurzellängendichte in Gazebeuteln im Exp 9a, alle Behandlungen und Tiefenstufen (0 - 10, 20 - 30 und 40 - 50 cm). Die X-Achse gibt die Verbleibdauer der Gazebeutel im Boden in Tagen an. Signifikanzniveau der LSD-Balken ist • $p \leq 0,1$ bzw. * $p \leq 0,05$.

Während der gesamten Untersuchungsdauer wurden über alle Tiefenstufen und in beiden Experimenten nur geringe Nekromassen in den Gazebeuteln produziert. Zum Zeitpunkt der letzten Gazebeutelentnahme (360 d) lagen nur in jeder siebten Probe Totwurzeln vor. Durchschnittlich betrug die Nekromasse im Vergleich zur Gesamtmasse weniger als 1 Prozent und war damit vernachlässigbar.

4.2.6 Spezifische Wurzellänge

Längenwachstum und Massenzuwachs waren nicht über den gesamten Beobachtungszeitraum zu gleichen Anteilen miteinander korreliert. Das Längen-Massenverhältnis zeigt auffällige Unterschiede zwischen der unbehandelten Ausgangsvegetation (**Cap**) und jenen Flächen, in denen Eingriffe stattgefunden haben. Alle Behandlungen, unabhängig davon, ob sie mechanische Eingriffe in den Wurzelraum beinhalteten oder nur die oberirdischen Anteile der Vegetation betrafen, führten zwischen 90 und 180 d Regenerationszeit zu einem Anstieg des Längen-Massen-Verhältnisses. Im Vergleich zu der **Cap** war das Verhältnis der Behandlungen im Exp 4a um den Faktor 3,0 - 4,3 und im Exp 9a um 1,5 - 2,5 erhöht (Abbildung 17). In der ungestörten Sekundärvegetation beider Experimente variierte das Verhältnis Wurzellänge zu -masse über die gesamte Versuchsdauer und in allen Tiefenstufen vergleichsweise geringfügig zwischen 34 und 57 m^*g^{-1} (Ausnahme Exp 9a, 180 d, siehe Abbildung 17). Alle anderen Behandlungen verzeichneten in der Zeit von 90 - 180 d Verbleibdauer ausgeprägte Zunahmen, deren Spitzenwerte bis zu 290 m^*g^{-1} erreichten. Die Behandlungseffekte, die zunächst zur Erhöhung des Längen-Massen-Verhältnisses in den behandelten Parzellen führten, setzten sich tendenziell in allen Tiefenstufen durch.

Im weiteren Zeitverlauf kam es zur Einengung dieses Verhältnisses, wobei sich die Verhältnisse der Behandlungen mehr oder weniger kontinuierlich den Werten der **Capoeira** annäherten. Im Exp 9a fielen die Mittelwertsunterschiede nach 360 d Verweildauer geringer aus als im Exp 4a, was besonders in den beiden unteren Tiefenstufen deutlich wurde.

Ferner stellte sich bis zum Versuchsende eine behandlungstypische Rangfolge der Verhältnisverringerung ein, bedingt durch eine Verringerung der Längenproduktion zugunsten der Akkumulation von Feinwurzelmasse. Wenn auch nicht in jedem Fall statistisch absicherbar, so kann dennoch eine allgemeine Tendenz aufgezeigt werden, nach der

maschinelle Verfahren zu länger anhaltenden Erhöhungen des Verhältnisses führten, während die traditionelle Brandrodung sich der ungestörten Brache am schnellsten wieder annäherte.

Manuelle Entstockung führte im Exp 4a zu Verhältnissen, die statistisch nicht von den maschinellen Behandlungen und im Exp 9a nicht von der Brandrodung und der **Capoeira** unterscheidbar waren.

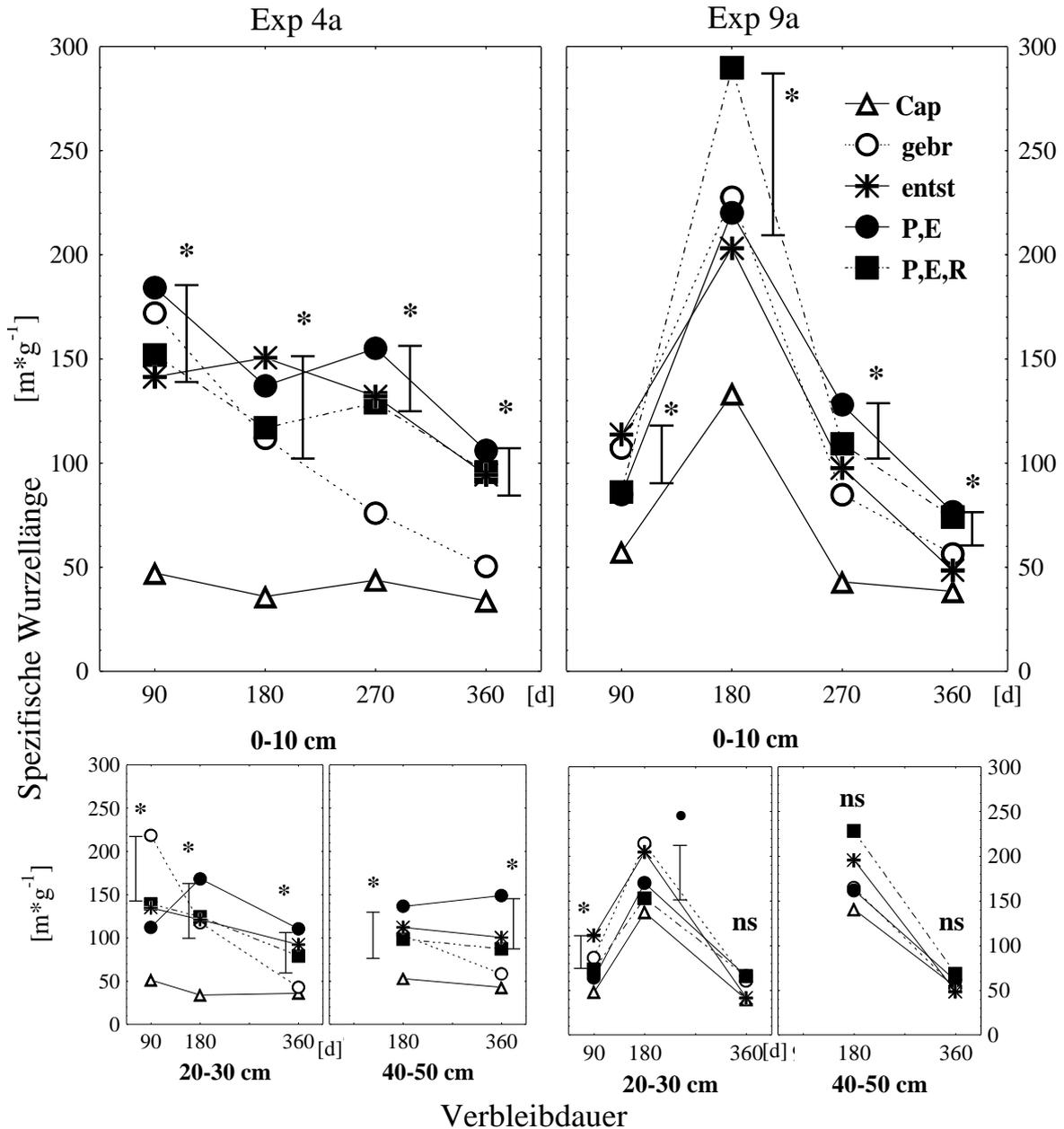


Abbildung 17: Wurzel-Längen-Massenverhältnis in Gazebeuteln nach verschiedenen Verbleibdauern im Boden, nach Experiment (links Exp 4a, rechts Exp 9a), Behandlungen und Tiefe (oben 0 - 10 cm, unten 20 - 30 und 40 - 50 cm). Die Balken in den oberen Diagrammen stellen LSD-Werte dar (* $p \leq 0,1$, * $p \leq 0,05$, nach log-Transformation der Rohdaten).

4.3 Jahresnettoproduktion der Feinwurzelmasse

4.3.1 Massenanteile verschiedener Durchmesserfraktionen in Gazebeuteln

Zur Ermittlung der flächenbezogenen Produktionsleistung bis in 50 cm Bodentiefe wurden die Werte nicht beprobter Tiefenstufen (10 - 20 und 30 - 40 cm) rechnerisch bestimmt. Als Grundannahme diente die Überlegung, daß analog zur Massenverteilung der Feinwurzelvorräte ($\varnothing < 2$ mm) auch die Änderung der Feinwurzelproduktion mit zunehmender Bodentiefe mit einem exponentiellen Verteilungsmodell beschreibbar ist (siehe Abschnitt 2.3.2).

Tabelle 13: Wurzelmassenanteile verschiedener Durchmesserfraktionen in % an der Gesamtmasse in den Gazebeuteln nach 180 und 360 d Verbleibdauer, gemittelt über die Bodentiefen 0 - 10, 20 - 30 und 40 - 50 cm.

Verbleibdauer	180 d					
	Exp 4a			Exp 9a		
	£1mm	1-2 mm	>2 mm	£1mm	1-2 mm	>2 mm
Cap	87,2	5,0	7,8	95,0	4,8	0,2
gebr	96,8	3,2	0	92,3	5,7	2,0
entst	95,7	3,0	1,3	97,6	2,4	0
P,E	96,9	3,1	0	95,0	0	5,0
P,E,R	98,1	1,7	0,2	95,2	2,6	2,2
Mittel	94,9	3,2	1,9	95,0	3,1	1,9

Verbleibdauer	360 d					
	Exp 4a			Exp 9a		
	£1mm	1-2 mm	>2 mm	£1mm	1-2 mm	>2 mm
Cap	69,9	19,6	10,5	84,0	9,6	6,4
gebr	76,8	15,1	8,1	81,6	13,9	4,5
entst	78,9	2,5	18,6	84,8	12,5	2,7
P,E	89,2	10,8	0	70,0	15,6	14,4
P,E,R	84,7	14,2	1,1	74,0	14,4	11,6
Mittel	79,9	12,4	7,7	78,9	13,0	7,9

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Die Analyse der Massenanteile verschiedener Durchmesserfraktionen an der produzierten Gesamtmasse zeigte, daß nach 180 d Wurzelwachstum in beiden Experimenten durchschnittlich 97 - 98 % der Masse durch Feinwurzeln ($\varnothing \leq 2$ mm) gebildet wurde und sich 2 - 3 % aus größeren Wurzeln konstituierten. Mit zunehmender Verbleibdauer der Gazebeutel im Boden (bis 360 d) verringerte sich der Anteil feiner Wurzeln im Exp 4a und Exp 9a auf

durchschnittlich 92 %. Größere Wurzeln erreichten einen Massenanteil von 8 % und waren im allgemeinen nicht verholzt (Tabelle 13).

Während nach 180 d die Zusammensetzung der Massenanteile beider Experimente sehr einheitlich war, ergaben sich nach einer Regenerationsdauer von 360 d leichte Unterschiede. Die Wurzelmassen im Exp 9a rekrutierten sich in der unbehandelten Sekundärvegetation (**Cap**) und den Behandlungen **gebr** und **entst** im Vergleich zum Exp 4a zu höheren Anteilen aus sehr feinen Wurzeln ($\varnothing \leq 1$ mm durchschnittlich 84 % gegenüber 75 %), während sich die Größenordnungen in den maschinellen Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**) umkehrten (durchschnittlich 72 gegenüber 87 %).

Im Überblick läßt sich sagen, daß sich die während der Versuchsdauer in die Gazebeutel eingewachsenen Wurzeln vornehmlich aus den gleichen Durchmesserklassen rekrutierten, auf die auch das Modell der Tiefenverteilung angewandt wurde.

4.3.2 Tiefenverteilung der Feinwurzelproduktion

Die Abnahme der Wurzelmassendichte mit zunehmender Bodentiefe in den Gazebeuteln ließ sich durch das in Abschnitt 2.3.2 vorgestellte exponentielle Modell darstellen. Die Regressionskurven der einzelnen Behandlungen sind in Abbildung 18 dargestellt. Die statistische Auswertung stellte enge Beziehungen zwischen zunehmender Bodentiefe und der WMD in den Gazebeuteln klar. Die Regressionskoeffizienten und die Parameter der exponentiellen Anpassungen stehen in Tabelle 15.

Im Überblick kann festgestellt werden, daß die Güte der Anpassung (r^2) in den Behandlungen mit starken Bodeneingriffen (**P,E** und **P,E,R**) zu weniger engen Beziehungen führte als in der unbehandelten Sekundärvegetation (**Cap**), den gebrannten (**gebr**) aber auch den entstockten Flächen (**entst**). Unterschiede offenbarten sich auch zwischen den Feldexperimenten. Im Exp 4a waren die r^2 -Werte in gleichen Behandlungen höher als im Exp 9a.

Ungeachtet der beschriebenen Variabilität ließen sich alle Tiefenverläufe der WMDs $p \leq 0,05$ absichern. In 90 % aller Fälle unterschritten die Regressionskoeffizienten die Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,01$ (t-Test des Startwertes **a** und der Abnahmerate **c**).

Auf die Anpassung der Tiefenverläufe und die vergleichende Auswertung der Längenproduktion wurde verzichtet, da die Variabilität der WLD-Einzelwerte in allen Behandlungen Größenordnungen erreichte, die eine statistische Absicherung der Kurvenverläufe innerhalb einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nicht zuließ.

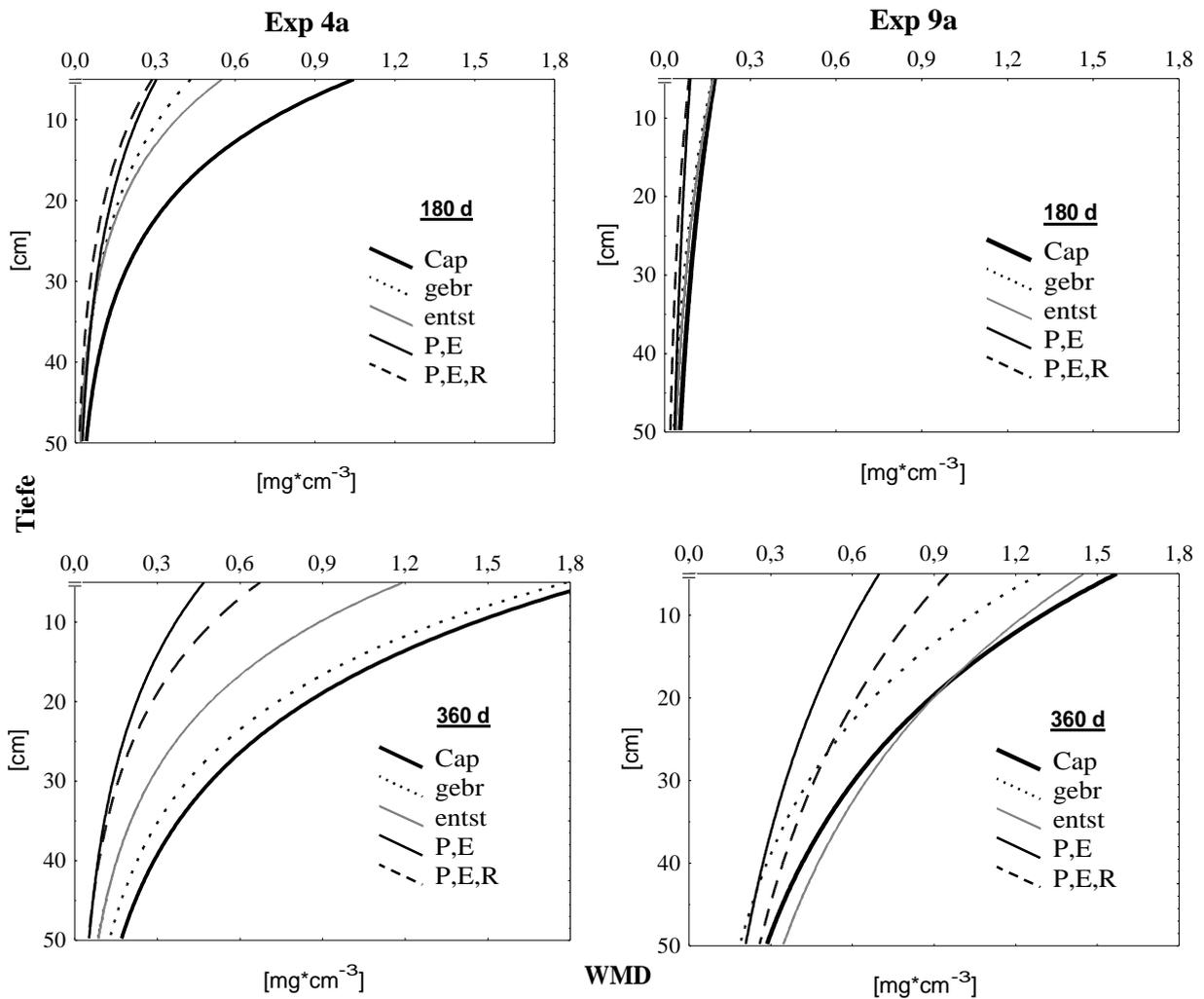


Abbildung 18: Anpassung der Tiefenverläufe der Feinwurzelmasse ($\varnothing \leq 2$ mm) in Gazebeuteln nach 180 und 360 d Regenerationsdauer, Exp 4a und Exp 9a, alle Behandlungen.

4.3.2.1 Vergleich des Startwertes a

Die Größenordnung des Startwertes wird bestimmt von der Produktivität des Feinwurzelsystems in den oberflächennahen Bodenschichten. Die Änderungen dieses Parameters geben darüber Aufschluß, in welchem Maße die Behandlungen die Wachstumsleistung im produktivsten (Fein-)Wurzelhorizont beeinflussen. Über den Vergleich des Startwertes können jahreszeitliche Produktionsunterschiede innerhalb und zwischen den Behandlungen der beiden untersuchten Standorte aufgezeigt werden.

Die Höhe der durchschnittlichen Startwerte war nach 180 d Verbleibdauer in allen Behandlungen des Exp 4a signifikant höher als im Exp 9a, ($0,8$ gegenüber $0,2 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$). Im Vergleich der Feldexperimente wurden Unterschiede in erster Linie durch das Ausgangsalter

der Vegetation (2faktorielle ANOVA (Experiment x Behandlung) $F_{(a: 1,30)}=112,5$, $p \leq 0,001$) bestimmt, während Behandlungseffekte einen untergeordneten Einfluß aufwiesen ($F_{(a: 4,30)}=11,0$, $p \leq 0,001$). Letztere basierten im wesentlichen auf signifikanten Unterschieden zwischen den Behandlungen des Exp 4a. Die Interaktion beider Faktoren war deshalb signifikant ($F_{(a: 4,30)}=6,2$, $p \leq 0,001$).

In der folgenden Verbleibdauer von 180 d wurden weitere Erhöhungen der Startwerte in allen Behandlungen beider Feldexperimente beobachtet. Der Anstieg im Exp 9a war höher als im Exp 4a. Das intensive Wurzelwachstum im Exp 9a führte dazu, daß die Startwerte der Behandlungen **gebr** und **entst** in beiden Feldexperimenten sich den Werten der **Cap** annäherten. In den maschinellen Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**) überragten Startwerte des Exp 9a nach 360 d die des Exp 4a. Das Mittel der Feldexperimente betrug 1,6 im Exp 4a und 1,4 $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-3}$ im Exp 9a.

Im Exp 4a ließen sich zum Versuchsende (360 d) die manuelle von den maschinellen Behandlungen signifikant unterscheiden. Im Exp 9a gelang die Unterscheidung nur für die Behandlung **P,E** und das auch nur bei $p \leq 0,1$ (Tabelle 15). Die ANOVA (Experiment x Behandlung) zeigte nur Behandlungseffekte nach 360 d ($F_{(a: 4,30)}=13,2$, $p \leq 0,001$). Aufgrund der beschriebenen Annäherung der Größenordnungen der Startwerte mit zunehmender Versuchsdauer beruhte der Behandlungseffekt nur auf den Behandlungsunterschieden im Exp 4a. Mittelwertsunterschiede zwischen gleichen Behandlungen des Exp 4a und Exp 9a waren nicht signifikant.

4.3.2.2 Vergleich der Abnahmerate c

Die Abnahmerate **c**, die die Verringerung der WMD in den Gazebeuteln und damit die Abnahme der Produktivität mit zunehmender Bodentiefe beschreibt, wies im Vergleich der Experimente signifikante Unterschiede auf. Mit durchschnittlich $6,8 \cdot 10^{-2}$ zu $3,2 \cdot 10^{-2}$ nach 180 d und $5,4 \cdot 10^{-2}$ zu $3,4 \cdot 10^{-2}$ nach 360 d nahm die Produktivität mit zunehmender Bodentiefe im Exp 4a schneller ab als im Exp 9a ($F_{(c: 1,60)}=36,0$, $p \leq 0,001$). Saisonale Variationen sowie experimentsinterne Behandlungsunterschiede der Abnahmerate konnten nicht nachgewiesen werden (Tabelle 15). Der bestimmende Faktor für die Verringerung der Feinwurzelproduktivität mit der Tiefe war das Ausgangsalter der Brachevegetation.

Entscheidend für die Größe der Abnahmerate war im wesentlichen das Entwicklungsstadium des Wurzelsystems der Ausgangsvegetation jedes Feldexperimentes.

4.3.2.3 Ausdehnung des Bodenhorizontes mit 50 % Nettofeinwurzelproduktion

Die Ausdehnung des Bodenhorizontes, in dem 50 % der Nettofeinwurzelproduktion akkumuliert wurde, reichte je nach Experiment, Behandlung und Verbleibdauer der Gazebeutel von den oberen 9 cm bis in 30 cm Tiefe (Tabelle 15). Dieser Bodenhorizont war zu beiden Entnahmetermen und auch in jeder Behandlung im Exp 4a flacher als im Exp 9a. Der Durchschnitt über alle Behandlungen und Erntetermine lag im Exp 4a bei 11 cm und im Exp 9a bei 21 cm.

Allgemein kann festgestellt werden, daß im Exp 4a der Horizont der größten Feinwurzelproduktion nahe der Bodenoberfläche konzentriert war und daß die Produktivität mit zunehmender Tiefe schnell abnahm. Im Gegensatz dazu wurde in allen Behandlungen des Exp 9a ein größerer Anteil neuer Feinwurzeln auch in tieferen Bodenschichten produziert. Der Horizont hoher Produktivität erstreckte sich über einen größeren Tiefenbereich als im Exp 4a.

4.3.2.4 Feinwurzelnettoproduktion nach 180 d Verbleibdauer

Die Verläufe der Anpassungskurven (Abbildung 18) verdeutlichen die zeitlich unterschiedlichen Aktivitätsphasen des Wurzelwachstums beider Experimente (Tabelle 14). Gemessen an der Jahresnettoproduktion wurden im Exp 4a durchschnittlich 41 % der produzierten Wurzelbiomasse in der ersten Hälfte der Untersuchungsdauer akkumuliert (0 - 180 d Regenerationsdauer). Im Exp 9a hingegen waren es im selben Zeitraum nur 12 %. Im Vergleich der Behandlungen beider Experimente lag die absolute Feinwurzelproduktion bis in 50 cm Bodentiefe im Exp 4a um den Faktor 2- bis 3,5-fach höher als im Exp 9a.

Nur innerhalb des Exp 4a konnten Unterschiede zwischen den Behandlungen für die Wurzelproduktion nachgewiesen werden (Tabelle 15). Die Größenordnungen der Nettoproduktion variierten in den ersten 180 d zwischen 2,0 (**Cap**) und 0,6 t*ha⁻¹ (**P,E**). Die Produktionsleistung im Exp 9a fiel in allen Behandlungen wesentlich geringer aus. Sie variierte im gleichen Zeitraum zwischen 0,6 (**Cap**) und 0,2 t*ha⁻¹ (**P,E,R**, Tabelle 15). Signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen des Exp 9a bestanden nicht. Der Vergleich der Behandlungsmittelwerte beider Feldexperimente zeigte, daß die

Produktionsleistung im Exp 4a in allen Behandlungen signifikant höher war als im Exp 9a (LSD-Test, $p \leq 0,05$).

Tabelle 14: Saisonale Wurzelproduktion bis 50 cm Tiefe in Prozent der Jahresproduktion (360 d), Betrachtungszeiträume 0 - 180 d und 180 - 360 d.

Behandlung	% Zuwachs im Zeitraum [d]			
	0 - 180	180 - 360	0 - 180	180 - 360
	Exp 4a		Exp 9a	
Cap	47	53	14	86
gebr	26	74	15	85
entst	35	65	12	88
P,E	55	45	14	86
P,E,R	44	56	7	93
Mittelwert	41	59	12	88

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

4.3.2.5 Feinwurzelnettoproduktion nach 360 d Verbleibdauer

In der zweiten Hälfte der Untersuchungsdauer (180 - 360d) erhöhte sich in beiden Experimenten die produzierte Feinwurzelmasse. Die Mittelwerte der Behandlungen variierten nach 360 d Verbleibdauer zwischen 4,3 (**Cap**) und 1,1 t*ha⁻¹ (**P,E**) im Exp 4a und zwischen 4,3 (**Cap**) und 2,1 t*ha⁻¹ (**P,E,R**) im Exp 9a (Tabelle 15). Im Gegensatz zum ersten Untersuchungszeitraum war der relative Zuwachs innerhalb dieses Zeitraumes in allen Behandlungen des Exp 9a höher als im Exp 4a (Tabelle 14). Durchschnittlich 88 % der Jahresnettoproduktion wurden in den letzten 180 d produziert, im Exp 4a nur 59 %.

In der Regenerationsphase der letzten 180 d übertraf der Zuwachs des Exp 9a den des Exp 4a in insgesamt 4 von 5 Behandlungen (**Cap** (3,7 zu 2,3 t*ha⁻¹), **entst** (3,7 zu 2,0 t*ha⁻¹), **P,E** (2,8 zu 0,5 t*ha⁻¹), **P,E,R** (2,8 zu 0,9 t*ha⁻¹)). Die Produktionsunterschiede zwischen den Feldexperimenten fielen besonders groß aus im Falle beider mechanisierten Flächenbehandlungen. Nur in der Behandlung **gebr** waren die Zuwächse in beiden Experimenten annähernd identisch (2,8 zu 2,9 t*ha⁻¹). Unter Vernachlässigung der **Capoeira** lag die Feinwurzelnettoproduktion bis in 50 cm Bodentiefe im Exp 9a um den Faktor 1,6- bis 5,6-fach höher als im Exp 4a.

Tabelle 15: Güte der Anpassung (r^2), Regressionskoeffizienten (**a**, **c**) und Nettofeinwurzelproduktion (NFP) in Gazebeuteln \pm Standardfehler, 0 - 50 cm Bodentiefe, nach 180 d und 360 d Verbleibdauer, alle Behandlungen beider Feldexperimente. $T_{1/2}$ entspricht der Bodentiefe in cm bis zu der 50 % der Gesamtwurzelmasse zum gegebenen Entnahmeterrmin produziert wurde. Mittelwertsunterschiede wurden mit dem LSD-Test bei $p \leq 0,05$ geprüft, mit •-gekennzeichnete Signifikanzen (Exp 9a, 360 d) bei $p \leq 0,1$ abgesichert, ns = nicht signifikant.

Behandlung							
Exp 4a, 0 - 180 d							
	r^2	a		c*10²	NFP [t*ha⁻¹]		$T_{1/2}$ [cm]
Cap	0,82	1,5 \pm 0,2	a	7,3 \pm 0,7	2,0 \pm 0,2	a	9
gebr	0,66	0,7 \pm 0,1	b	6,9 \pm 1,5	1,0 \pm 0,1	bc	10
entst	0,76	0,9 \pm 0,1	ab	7,9 \pm 0,9	1,1 \pm 0,2	b	9
P,E	0,53	0,4 \pm 0,1	c	5,5 \pm 1,1	0,6 \pm 0,1	c	13
P,E,R	0,68	0,4 \pm 0,1	bc	6,5 \pm 0,5	0,7 \pm 0,1	bc	11
ANOVA	F_(4,15)	=8,1 p0,001		=1,0 ns	=7,8 p0,01		
Exp 4a, 0 - 360 d							
Cap	0,67	2,5 \pm 0,5	a	5,5 \pm 1,7	4,3 \pm 0,3	a	13
gebr	0,62	2,4 \pm 0,4	a	6,0 \pm 1,1	3,9 \pm 0,3	a	12
entst	0,71	1,6 \pm 0,2	a	4,6 \pm 0,2	3,1 \pm 0,6	a	15
P,E	0,48	0,6 \pm 0,1	b	4,9 \pm 1,0	1,1 \pm 0,2	b	14
P,E,R	0,64	0,9 \pm 0,1	b	5,9 \pm 0,9	1,6 \pm 0,3	b	12
ANOVA	F_(4,15)	=14,3 p0,001		=0,3 ns	=17,3 p0,001		
Exp 9a, 0 - 180 d							
	r^2	a		c*10²	NFP [t*ha⁻¹]		$T_{1/2}$ [cm]
Cap	0,20	0,2 \pm <0,1		2,3 \pm 0,5	0,6 \pm 0,2		30
gebr	0,30	0,2 \pm <0,1		3,4 \pm 0,6	0,5 \pm 0,1		20
entst	0,35	0,2 \pm <0,1		4,2 \pm 1,4	0,5 \pm 0,1		17
P,E	0,19	0,1 \pm <0,1		2,4 \pm 1,0	0,3 \pm 0,1		29
P,E,R	0,27	0,1 \pm <0,1		3,7 \pm 1,8	0,2 \pm 0,2		19
ANOVA	F_(4,15)	=1,5 ns		=0,5 ns	=2,2 ns		
Exp 9a, 0 - 360 d							
Cap	0,53	1,9 \pm 0,3	a•	3,8 \pm 0,5	4,3 \pm 0,5	a	18
gebr	0,54	1,6 \pm 0,3	a•	4,3 \pm 0,5	3,3 \pm 0,4	ab	16
entst	0,55	1,7 \pm 0,4	a•	3,2 \pm 0,7	4,2 \pm 0,5	a	22
P,E	0,18	0,8 \pm 0,2	b•	2,7 \pm 1,7	2,1 \pm 0,4	b	26
P,E,R	0,36	1,2 \pm 0,3	ab•	2,9 \pm 0,7	3,0 \pm 0,4	ab	24
ANOVA	F_(4,15)	=2,4 p0,1		=0,6 ns	=3,4 p0,05		

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstickung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Die 2faktorielle ANOVA (Experiment x Behandlung) wies die Behandlungseffekte als Hauptfaktor für die Jahresnettoproduktion aus ($F_{(\text{WMD } 0-50 \text{ cm } 4,30)}=17,8, p \leq 0,001$). Das Vegetationsalter ($F_{(\text{WMD } 4,30)}=7,1, p \leq 0,05$) und die Interaktion der Faktoren ($F_{(\text{WMD } 0-50 \text{ cm } 4,30)}=2,8, p \leq 0,05$) waren gering. Die hohe Produktionsleistung des Exp 9a innerhalb der letzten 180 d kontrastiert mit der vergleichsweise schwachen Wurzelproduktion im ersten Untersuchungshalbjahr. In der Jahressumme fielen aus diesem Grund die Jahresnettoproduktionen der ungestörten Ausgangsvegetationen **Cap** und der manuellen Behandlungen **gebr** und **entst** in vergleichbaren Größenordnungen aus. Im Vergleich beider Feldexperimente ließen sich die Mittelwerte dieser 3 Behandlungen statistisch nicht unterscheiden. Anders stellte sich die Situation im Fall der maschinellen Verfahren dar. Trotz geringer Anfangsproduktion führte die intensive Produktionsleistung der letzten 180 d im Exp 9a in der Jahresbilanz zu höheren Behandlungsmittelwerten gegenüber dem Exp 4a. Die Behandlung **P,E** ließ sich bei $p \leq 0,1$ und **P,E,R** bei $p \leq 0,05$ absichern (LSD-Test).

4.4 Zusammenfassung und Diskussion

Für den Parameter der Wurzelmasse (WMD) konnte eine allgemeine Rangfolge der Wertegrößenordnungen gezeigt werden. Sie traf in der Mehrzahl aller Fälle für die 3 untersuchten Tiefenstufen, für die 4 Entnahmetermine und für beide Feldexperimente zu. Die Rangfolge verlief wie folgt:

ungestörte Ausgangsvegetation > manuelle Behandlungen > maschinelle Behandlungen.

Die gleiche Rangfolge galt für die Feinwurzeljahresnettoproduktion bis 50 cm Bodentiefe, für den Startwert **a** und die Längen-Masse-Verhältnisse der Feinwurzeln, im Falle des letzten Parameters allerdings in umgekehrter Verlaufsrichtung. Innerhalb der Behandlungsgruppen, manuell und maschinell, bestanden im allgemeinen keine statistisch nachweisbaren Unterschiede innerhalb der Feldexperimente. Einer allgemeinen Tendenz folgend lagen die Mittelwerte der Behandlungen **gebr** jedoch höher als **entst** und **P,E,R** höher als **P,E**.

Eine besondere Betrachtung der tendenziellen Größenordnungsunterschiede der Massenproduktion soll für die mechanisierten Behandlungen durchgeführt werden. In der maschinellen Behandlung **P,E,R**, in der zusätzlich die Schneidwalze zur Rodung eingesetzt wurde, schienen sich die Behandlungseffekte weniger destruktiv auf die Produktivität des

Wurzelsystems auszuwirken als die alleinige Verwendung von Traktor, Pflug und Egge (**P,E**). Verdichtungshorizonte, die durch den Maschineneinsatz der schweren Schneidwalze zu erwarten gewesen wären, wurden nicht festgestellt (siehe Abschnitt 3.1).

Die Schneidwalze zerteilte die oberflächennah gelegenen Wurzeln in Teilstücke von 40 - 50 cm Länge. Das Grobwurzelsystem wurde dadurch zwar fragmentiert, aber die Teilstücke boten im anschließenden Arbeitsgang den Scheiben des Pfluges und der Egge durch die Vorzerkleinerung weniger Angriffsfläche und Scherwiderstand. Nach eigenen Beobachtungen führte das Fehlen der Vorzerkleinerung in der Behandlung **P,E** dazu, daß Grobwurzeln und Baumstümpfe häufig vom Traktor komplett aus dem Boden gerissen und nicht vom Pflug in Teilstücke geschnitten wurden. Durch die intensivere Zerstörung wurden die unterirdischen Pflanzenorgane in ihrer Vitalität zunehmend beeinträchtigt und auch die Grobwurzeln in höherem Maße vom Feinwurzelsystem getrennt. Wenn auch kein spezieller Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit, so wird vermutet, daß die Trennung zudem zu erhöhtem Wasserstreß geführt hat.

Darüber hinaus dürfte in der Behandlung **P,E** die stärkere Schädigung der unterirdischen Speicherorgane zur Verschlechterung der Energiebereitstellung für die Feinwurzelproduktion geführt haben (OKANO & OMAE, 1996). In Abschnitt 7 der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, daß in den unterirdischen, aber oberflächennahen Anteilen der extrahierten Stümpfe (Wurzelhals) erhebliche Mengen an Speicherstärke vorlagen. PARROTTA & LODGE (1991) untersuchten die Feinwurzeldynamik in Regenwäldern Puerto Ricos nach großflächigen Hurricane-Schäden. Die Autoren stellten die Vermutung auf, daß die nach der Störung aufgetretenen Wachstumswellen des Feinwurzelsystems durch die Energie der Speicherkohlenstoffe aus dem Grobwurzelsystem genährt wurden. Nachdem diese Vorräte verbraucht waren, kam es zu einer Depression des Wurzelwachstums.

Zusammenfassend kann die Verringerung der Nettomassenproduktionsleistung (**P,E** gegenüber **P,E,R**) wahrscheinlich auf zwei Hauptfaktoren zurückgeführt werden: stärkere physikalische Zerstörung der Grobwurzeln bei gleichzeitiger Trennung des Feinwurzelsystems von den Regenerationsorganen (Stümpfe, Grobwurzeln) und mangelnde Energiebereitstellung für das Feinwurzelwachstum nach stärkerer Schädigung der Stärkespeicherorgane (siehe Abschnitt 7 ff.).

Über die geringe Produktionsleistung während der ersten 180 d Verbleibdauer der Gazebeutel im Exp 9a kann nur spekuliert werden. Genau betrachtet beschränkten sich die

Unterschiede beider Standorte besonders auf die Produktionsleistung im obersten beprobten Horizont (10 cm), während die Wurzelproduktion in den tiefer gelegenen Bodenschichten in beiden Experimenten gering war. In diesem Zusammenhang stellen die Unterschiede in den Bodentexturen beider Feldexperimente wahrscheinlich den wichtigsten Einflußfaktor dar. Der höhere Sand- und geringere Tonanteil in allen beprobten Bodenschichten des Bodens (0 - 50 cm) im Exp 9a (gegenüber dem Exp 4a) dürfte aufgrund niedrigerer Wasserhaltekapazitäten und schnellerem Regenablauf zu Trockenstreß im Oberboden geführt haben, was sich dann in verringerter Wurzelmassen- und auch -längenproduktion auswirkte. HÖLSCHER (1995) ermittelte unter der Sekundärvegetation in 10 cm Bodentiefe eine Schwankungsbreite der Saugspannung von über 500 hPa.

Einen weiteren Einflußfaktor dürfte die unterschiedliche floristische Zusammensetzung der Vegetation beider Feldexperimente dargestellt haben. Möglicherweise hat verstärktes Gras- und Krautwachstum im Exp 4a zur Erhöhung der Wurzelproduktion im Vergleich zu Exp 9a beigetragen. Diese Unterschiede des Bewuchses dürften auf die Behandlungen **entst**, **P,E** und **P,E,R** beschränkt sein. In der Behandlung **gebr** und in der Ausgangsvegetation beider Feldexperimente hingegen trat jedoch gar kein oder nur sehr geringer Gras- und Krautbewuchs auf, die Produktionsunterschiede bestanden jedoch trotzdem. Eine Erklärungsmöglichkeit für die Produktionslimitierung im Exp 9a könnte in der verschiedenen Artenzusammensetzung der Holzvegetation beider Feldexperimente existieren. In Abschnitt 6.1.1 wurde gezeigt, daß die durchschnittliche Artenähnlichkeit in der Vielzahl der Fälle zwischen den Experimenten geringer war als innerhalb der Behandlungen am selben Standort. Dort wo die auffälligsten Unterschiede im zeitlichen Produktionsverlauf der WMD bestanden, nämlich im Fall der Ausgangsvegetation (**Cap**), wurde auch die geringste Artenübereinstimmung nach SØRENSEN (1948) beobachtet. An der dieser Stelle muß jedoch auch angemerkt werden, daß das angewendete Verfahren zur Bestimmung der Artenähnlichkeit die Abundanz der Einzelarten am Gesamtbestand nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse sollten deshalb nur als Hinweis für einen Einfluß der floristischen Zusammensetzung auf die Produktivität des Wurzelsystems gedeutet werden und die Zusammenhänge in zukünftigen Arbeiten vertiefend erforscht werden.

Letztlich könnte die geringe Produktion an Wurzelmasse (und -länge) während der ersten 180 d auch durch die Untersuchungsmethodik bedingt sein. STEEN (1991) wies bei der Methodenbesprechung darauf hin, daß in älteren Beständen perennierender Vegetation der

Einbau von Gazebeuteln bei kurzzeitigen Verbleibdauern zu Interpretationsschwierigkeiten führen kann. Unterschätzung der Produktivität des Wurzelsystems könnte die Folge sein.

Wie KLINGE (1998) zeigte, treten unmittelbar nach dem Fällen der Vegetation massive Freisetzungen von Nährstoffen im Boden auf, was auf das Absterben von Feinwurzeln zurückgeführt wurde. In diesem Zusammenhang gewinnt die vergleichende Betrachtung des Verhältnisses der beiden Parameter Wurzellänge und Wurzelmasse Bedeutung, da hier gezeigt werden kann, daß (kurzfristig) nach Auftreten einer Störung, die sich regenerierende Vegetation zunächst mit verstärkter Feinwurzellängenproduktion reagiert und erst zu einem späteren Zeitpunkt vermehrt Wurzelmasse produziert wird.

Ein wichtiger Faktor für das Wurzellängenwachstum scheint das Ausmaß der Besiedlung potentieller Wurzelräume zu sein. Ist die Besiedlung hoch, wird die Wurzellängenproduktion niedrig sein. Vor diesem Hintergrund lassen sich die niedrigen Längenproduktionsleistungen in den ungestörten Ausgangsvegetationen (**Cap**) beider Feldexperimente erklären.

Das Wurzelsystem der Vegetation beschreitet eine Strategie der Rückeroberung freigewordener Wurzelräume, indem es den Boden unmittelbar nach Störungen schnell mit einem Netz neuer, sehr feiner Wurzeln durchzieht. Erst nach der Phase der Stabilisierung der Längendichte wird die Wurzelmasse durch Dilatationswachstum und Verholzung parenchymatischer Gewebe erhöht. Die Erhöhung der absorptiven Oberfläche über intensive Längenzunahme wird von JORDAN (1990a,b) als effektiver Wachstumsprozeß zur Erschließung von Nährstoffquellen in neotropischen Waldvegetationen nach Störungen angeführt. Kurzfristige intensive Zunahmen der WLD (nach 90 d Verbleibdauer), vor allem in den oberen 10 cm Bodentiefe in der Behandlung **gebr** des Exp 4a, lassen auch auf eine Förderung des Wurzellängenwachstums durch die Aschedüngung schließen.

SILVER & VOGT (1993) beobachteten analoge Produktionsmuster nach Störungen in neotropischer Primärwaldvegetation. Sie deuteten die anfängliche, verstärkte (Längen-)Wachstumsreaktionen als Nährstoffaneignungsmechanismus. Vegetationen auf nährstoffarmen Böden, deren Großteil an Nährstoffvorräten in der Biomasse immobilisiert ist und nur beschränkt durch Nachlieferung aus stark verwitterten Böden kompensiert werden kann, sichern auf diese Weise ihre Ernährung, Versickerungsverluste werden verringert. MARSCHNER (1995) weist darauf hin, daß besonders in P-defizitären Böden verstärkt sehr feine Wurzeln und Wurzelhaare gebildet werden, die bis zu 90 % des austauschbaren Phosphors mobilisieren. Vor diesem Hintergrund lassen sich vielleicht auch die

vergleichsweise geringen Längen-Masse-Verhältnisse in der Behandlung **gebr** erklären, da davon ausgegangen werden kann, daß die pH-Wert-Erhöhung durch den Ascheeintrag zu einer erhöhten Verfügbarkeit des Bodenphosphors geführt hat.

Hinweise dafür, daß die Anhebung des Längen-Masse-Verhältnisses auf dem Wurzelwachstum der holzigen Vegetation basierte, wurden in den Behandlungen **gebr** und **entst** in beiden Feldexperimenten gefunden. Nachweislich fand in diesen Behandlungen vergleichsweise intensives Baum- und Strauchwachstum statt, welches gleichzeitig zur Unterdrückung des Gras- und Krautwachstums führte (siehe Abschnitt 6.2 und 6.4.1). Neben der holzigen Brachevegetation könnten vor allem im Exp 4a Gräser und Grasartige in den ersten drei bis sechs Monaten der Regeneration in den Parzellen der mechanisierten Behandlungen überdurchschnittlich zur Anhebung des Längen-Massen-Verhältnisses beigetragen haben. Zwar wurden die Feinwurzeln der Gazebeutel nicht näher kategorisiert, dennoch darf in den mechanisierten Behandlungen dieses Feldexperimentes ein erhöhter Anteil an Wurzeln von Gräsern und grasartigen Pflanzen vermutet werden, denn in diesen Parzellen setzte frühzeitig verstärktes Wachstum der monokotylen Arten ein. Deren allorrhize Wurzeln sind in der Regel besonders fein, nicht verholzt und treten in sproßbürtigen Büscheln auf, die im unmittelbaren Umfeld des Wuchsortes hohe Längendichten produzieren können.

Eine Übersicht über die Produktivität der Feinwurzelsysteme verschiedener Waldvegetationen und agroforstlicher Systeme in den feuchten Tropen ist in Tabelle 16 dargestellt. Die Produktionsleistungen in der vorliegenden Studie liegen in vergleichbarer Größenordnung von tropischen Primärwäldern oder übertreffen diese zum Teil. Selbst die vergleichsweise geringe Produktivität der mechanisierten Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**) überstieg die Jahresproduktionen einiger Primärwaldvegetationen (SANFORD, 1985; KANGAS, 1992; SANCHEZ-GALLEN & ALVAREZ-SANCHEZ, 1996). Die höchsten jährlichen Nettoproduktionen von Sekundärvegetationen wurden in Indien beobachtet. Die Autoren dieser Arbeiten (ARUNACHALAM et al., 1996; SUNDAPARIANDAM & SWAMI, 1996) schlossen in die Abschätzungen auch gröbere, wahrscheinlich verholzte Wurzeln mit ein. Bei ausschließlicher Betrachtung der Feinwurzeln bis 2 mm Durchmesser verringern sich die Produktionsleistungen um $11 - 12 \text{ t*ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ auf $3,5 - 4,2 \text{ t*ha}^{-1}\text{a}^{-1}$. Damit liegen die Größenordnungen im Bereich der vorliegenden Studie.

In der unterirdischen Wachstumsdynamik von Zonal- und Sukzessionsvegetationen existieren grundsätzliche Unterschiede. Erstere befinden sich in einer langfristigen Balance

der Wurzelproduktion und der Wurzelmortalität. Schwankungen der Produktivität unterliegen hier vorrangig saisonalen Veränderungen durch klimatische Rhythmiken, beispielsweise durch die Variation des Regenangebotes (JORDAN & ESCALANTE, 1980; SANFORD, 1985; JORDAN, 1990a,b).

Anders stellt sich die Situation für Sekundärwälder in der Wald-Feld-Wechselwirtschaft dar. Die unterirdische Wachstumodynamik der Brachevegetationen wird in starkem Maße anthropogen beeinflusst. Als Folge der Kulturmaßnahmen kommt es zu regelmäßigen Verlusten besonders der Feinwurzelmasse, deren Größenordnungen im Bereich mehrerer Tonnen pro Hektar liegen können (WIESENMÜLLER et al. 1995). Um die Nährstoff- und Wasserversorgung für das Wachstum der neuen oberirdischen Vegetation sicherzustellen, müssen diese Verluste umgehend ersetzt werden. BERISH & EWEL (1988) untersuchten die Veränderungen des Feinwurzelsystems verschiedener Sekundärvegetationen über mehrjährige Zeiträume. Sie beobachteten dabei besonders starke Zunahmen der Feinwurzelmasse im ersten Jahr der Regeneration. SANFORD (1985) berichtet aus der Amazonasregion Venezuelas von einer Wurzelproduktivität in Sekundärvegetationen, die höher lag, als die Produktivität des Primärwaldes aus der die Vegetationen hervorgegangen waren. Diese höhere Produktivität setzte sich bis zum siebten Jahr fort.

In der vorliegenden Untersuchung lag der produktivste Bodenhorizont des Feinwurzelsystems ($T/2$) in der jüngeren Vegetation im Exp 4a in den oberen 11 cm. Bei der älteren Vegetation im Exp 9a erwies sich der Bereich der höchsten Produktivität als nahezu doppelt so ausgedehnt. In einer Vegetation, die sich nahezu ausschließlich vegetativ erneuert, entstehen neue Feinwurzeln nicht an Sämlingen sondern an Grobwurzeln, die nach den Behandlungen im Boden überlebten. Es ist anzunehmen, daß das fortgeschrittene Entwicklungsstadium des Grobwurzelsystems der älteren Vegetation einen Regenerationsvorteil für die Feinwurzelneuproduktion bedeutete. Diese Einschätzung wird durch die Ergebnisse der multivariaten Datenauswertung gestützt, die das Ausgangsalter der Vegetation als den entscheidenden Faktor für die meisten der untersuchten Parameter auswies. Im Exp 9a haben tiefliegende Grobwurzeln mit einem höheren Anteil zur Nettojahresproduktion der Feinwurzeln beigetragen als im Exp 4a. Dies erwies sich als besonderer Vorteil nach den intensiven Störungen in den oberflächennahen Bodenhorizonten, die durch die maschinellen Flächenbehandlungen hervorgerufen wurden. Die

Nettojahresproduktionen der Behandlungen **P,E** und **P,E,R** war im Exp 9a um 91 bzw. 88 % höher als im Exp 4a.

Die Wurzellängendichte war der Parameter mit der stärksten Dynamik der Zu- und Abnahme. Die beobachteten hohen Variationskoeffizienten der WLD müssen keineswegs ein Ausdruck für eine unangepaßte Aufnahmemethodik sein, beispielsweise durch zu geringe Wiederholungszahlen. Wahrscheinlicher ist es, daß das heterogene Verteilungsmuster im Boden ein Ausdruck für die Fähigkeit des Wurzelsystems darstellt, auf die natürliche Variation des Nährstoffangebotes (STARK & SPRATT, 1977) und der Wasserversorgung im Boden kleinräumig und kurzfristig zu reagieren. TAKAHASHI et al. (1992) schreibt dem Kalziumangebot eine wichtige Rolle bei der Wurzellängenzunahme und -verzweigung zu. Nach HÖLSCHER (1995) existiert innerhalb des Bestandes geschlossener Sekundärvegetationen im Untersuchungsgebiet ein heterogenes Verteilungsmuster des Bodenwassers, hervorgerufen durch Kanalisierung des Niederschlagswassers nach Stammablauf. Aktives Zuwachsen auf Nährstoffquellen bei gleichzeitiger Verarmung anderer Bereiche des Wurzelhorizontes sowie kurzfristige Zu- und Abnahmen sehr feiner Wurzeln durch Variationen des Niederschlagsangebotes (BERISH & EWEL, 1988) könnten zu der beschriebenen Heterogenität der Längenverteilung im Boden geführt haben. ST. JOHN (1983) wies in Terra Firme Vegetation Amazoniens nach, daß Wurzeln aktiv auf Bereiche mit erhöhten Nährstoffgehalten zuwachsen und dabei die absorptive Oberfläche durch intensives Längenwachstum erhöhen. Für zukünftige Untersuchungen könnten andere Stichprobenpläne in Verbindung mit geostatistischen Methoden helfen, die Heterogenität des Feinwurzelswachstum besser zu erfassen.

Die in den Gazebeuteln gefundenen Nekromassen fallen im Vergleich mit Literaturdaten äußerst niedrig aus. In Untersuchungen auf sauren, nährstoffdefizitären Böden unter tropischem Feuchtwald in Venezuela wurden von SANFORD (1985), CUEVAS & MEDINA (1988) und PRIESS (1996) Nekromasseanteile bis zu 80 % der Gesamtfenwurzelmasse in Gazebeuteln nach einem Jahr Verbleibdauer berichtet. Die Nekromasseproduktion erreichten bei PRIESS (1996) bis zu $2,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ im Oberboden (0 - 20 cm). Sie liegen damit um das 55fache höher als der höchste ermittelte Wert dieser Studie. Die auffälligen Unterschiede zwischen den Werten der vorliegenden und den oben zitierten Arbeiten lassen es unwahrscheinlich erscheinen, daß unterschiedliche Zuordnung des Materials in Lebend- und Totmasse für die Diskrepanzen verantwortlich sind. Vielmehr dürften trotz vergleichbarer

klimatischer Eckdaten geochemische und vegetationsökologische Charakteristika verschiedener Untersuchungsstandorte als Gründe für die stark abweichenden Nekromassen ausschlaggebend sein. JORDAN & ESCALANTE (1980), JORDAN (1990b), FÖLSTER & FASSBENDER (1984) und SANFORD (1985, 1990) interpretierten hohe Feinwurzelmassen mit einem überdurchschnittlich hohen Nekromasseanteil als Wachstumsreaktion der Waldvegetation auf saure, nährstoffarme und besonders Ca-limitierte Böden. Im Falle der Untersuchungsregion um Igarapé Açu trafen diese Limitierungen nur bedingt zu. Gegenüber anderen amazonischen Böden waren hier die Ca-Konzentrationen und pH-Werten erhöht. Dafür werden einerseits oberflächennahe, Ca-haltige Ablagerungen der Pirabas-Schicht sowie andererseits häufige Brandereignisse im System der lokalen Wald-Feld-Wechselwirtschaft für verantwortlich gemacht (HÖLSCHER, 1995). STARK & SPRATT (1977), GOWER (1987) und DUIVENVOORDEN & LIPS (1995) beobachteten in tropischen Feuchtwäldern Costa Ricas, Venezuelas und Kolumbiens positive Korrelationen zwischen Feinwurzel(massen)produktion und der Ca-Konzentration im Wurzelbereich. Neben der Förderung der Produktion von Lebendmasse trat gleichzeitig eine (absolute) Verringerung der Nekromasse auf. Zudem erhöht sich die Abbaurate toter Wurzelmasse durch verbesserte Ca-Verfügbarkeit (BLOOMFIELD et al., 1993).

Schließlich darf nicht übersehen werden, daß die meisten der oben zitierten Untersuchungen in ungestörten oder gering genutzten Primärwäldern durchgeführt wurden. Diese Vegetationen befanden sich zum Zeitpunkt der Untersuchungen in einem langfristigen Fließgleichgewicht der Wurzelproduktion- und des Abbaues toter Wurzelmasse. Anthropogene Einflüsse lagen in der Regel nicht vor. Aus diesen Gründen sind Vergleiche mit Sekundärwaldflächen in der Wald-Feld-Wechselwirtschaft nur bedingt möglich. Bei der Brachevegetation der Zona Bragantina hingegen handelt es sich um eine stark anthropogen beeinflusste Vegetation. In diesem System führen regelmäßige Rodungen, die meisten davon mit Brand, zu wiederholten Beeinträchtigungen des Wurzelsystems. Wurzelverluste im Bereich mehrerer Tonnen sind die Folge (siehe Abschnitt 5.2.1). In diesem Zusammenhang sei auf SUNDAPARIANDAN & SWAMI (1996) verwiesen. Die Autoren stellen neben der floristischen Zusammensetzung der tropischen Waldvegetation die Entwicklungs- und Nutzungsgeschichte als weiteren wichtigen Einflußfaktor auf das Verhältnis der Lebend- zur Nekrowurzelmasse dar.

Tabelle 16: Literaturdaten zur Feinwurzelproduktion in tropischen Waldvegetationen oder Agroforstsystemen, geordnet nach Produktivität.

Wurzeln in Bodenstreu (Litter) oder Mineralboden [t*ha ⁻¹ a ⁻¹]											
Autor	Jahr	Ort	Vegetation	Alter [a]	in Litter	£1mm	£2mm	>2mm	gesamt	Tiefe	Methode
Sanchez-Gallen & Alvarez-Sanchez	1996	Mexiko	Tiefland-Regenwald	k.A.			0,3	0,1	0,4	0-20 cm	Gazebeutel, konservative Schätzung
Kangas	1992	Puerto Rico	Sek. Veg.	0 - 4			0,6		0,6	0-20 cm	Gazebeutel
Schroth & Zech	1995a,b	Elfenbein Küste	Alley cropping System mit Gliricidia sepium	k.A.			1,2		1,2	0-50 cm	'sequential coring',
Sanford	1985	Venezuela	Kulturfläche	k.A.	0,1				1,2	0-10 cm	Gazebeutel
Sanford	1985	Venezuela	Primärwald Lichtung		0,2				1,3	0-10 cm	Gazebeutel
Sanford	1985	Venezuela	Primärwald		0,3				1,3	0-10 cm	Gazebeutel
Torquebiau & Kwesiga	1996	Sambia	angereicherte Brache mit Sesbania sesban	2					1,4	0-50 cm	'sequential coring'
Sanford	1985	Venezuela	Sek. Veg.	3	0,2				1,9	0-10 cm	Verbleib ½ a, Trockenzeit
Sanchez-Gallen & Alvarez-Sanchez	1996	Mexiko	Tiefland-Regenwald	k.A.			1,5	0,5	2,0	0-20 cm	Gazebeutel, korrigierte Schätzung
Brienza jr.	1999	Igarapé Açú	Sek. Veg.	2					2,0	0-30 cm	Gazebeutel
Brienza jr.	1999	Igarapé Açú	angereicherte Sek. Veg. mit Clitoria racemosa	2					2,3	0-30 cm	Gazebeutel
Sanford	1990	Venezuela	Sek. Veg.	1	0,2				2,8	0-10 cm	Gazebeutel
Kangas	1992	Puerto Rico	Sek. Veg.	1				2,9	2,9	0-20 cm	

Fortsetzung Tabelle 16: Literaturdaten zur Feinwurzelproduktion in tropischen Waldvegetationen oder Agroforstsystemen, geordnet nach Produktivität.

Wurzeln in Bodenstreu (Litter) oder Mineralboden [t*ha ⁻¹ a ⁻¹]											
Autor	Jahr	Ort	Vegetation	Alter [a]	in Litter	£1mm	£2mm	>2mm	gesamt	Tiefe	Methode
Cuevas & Medina	1988	Venezuela	Terra Firme Primärwald		8,1				3,1	0-10 cm	Gazebeutel
Brienza jr.	1999	Igarapé Açu	angereicherte Sek. Veg. mit Acacia angustifolia	1,5					3,2	0-30 cm	Gazebeutel
diese Studie	1999	Ost-amazonien	Sek. Veg. 1a nach Brandrodung	1		3,3			3,3	0-50 cm	Gazebeutel
Priess	1996	Venezuela	Primärwald, mittelhoch		2,2	1,4			3,6	0-20 cm	Gazebeutel
diese Studie	1999	Ost-amazonien	Sek. Veg. 1a nach Brandrodung	1		3,9			3,9	0-50 cm	Gazebeutel
Brienza jr.	1999	Igarapé Açu	angereicherte Sek. Veg. mit Acacia mangium	2					3,8	0-30 cm	Gazebeutel
Brienza jr.	1999	Igarapé Açu	angereicherte Sek. Veg. mit Inga edulis	2					4,2	0-30 cm	Gazebeutel
Kummerow et al.	1990	Mexiko	laubwerfender Trockenwald	k.A.					4,2	0-40 cm	'sequential coring'
diese Studie	1999	Ost-amazonien	Sek. Veg.	4		4,3			4,3	0-50 cm	Gazebeutel

Fortsetzung Tabelle 16: Literaturdaten zur Feinwurzelproduktion in tropischen Waldvegetationen oder Agroforstsystemen, geordnet nach Produktivität.

Wurzeln in Bodenstreu (Litter) oder Mineralboden [t*ha ⁻¹ a ⁻¹]											
Autor	Jahr	Ort	Vegetation	Alter [a]	in Litter	£1mm	£2mm	>2mm	gesamt	Tiefe	Methode
diese Studie	1999	Ost-amazonien	Sek. Veg.	9		4,3			4,3	0-50 cm	Gazebeutel
Kummerow et al.	1990	Mexiko	laubwerfender Trockenwald	k.A.					4,3	0-40 cm	'sequential coring'
Sanford	1985	Venezuela	Primärwald		0,4				4,6	0-10 cm	Gazebeutel
Priess	1996	Venezuela	Sabanita		3,2	1,4			4,6	0-20 cm	Gazebeutel
Priess	1996	Venezuela	Sekundärwald	ca. 50	3,7	1,4			5,1	0-20 cm	Gazebeutel
Priess	1996	Venezuela	Primärwald, niedrig		3,7	1,5			5,2	0-20 cm	Gazebeutel
Sanford	1985	Venezuela	Sek. Veg.	7	0,2				5,7	0-10 cm	Gazebeutel
Arunachalam et al.	1996	NO-Indien	Sekundärwald	7		3,2	2,7	1,7	7,6		'sequential coring'
Sundaraparian & Swami	1996	Indien, Kodajar	ungestörte Brache, geschlossen	1,5		3,0	1,1	4,8	8,9		Berechnungsmethode Min-Max.
Jordan & Escalante	1980	Venezuela	Primärwald						10,3		Gazebeutel
Arunachalam et al.	1996	NO-Indien	Sekundärwald	13		3,4	3,8	1,9	12,7		'sequential coring' Ø 2-15 mm
Sundaraparian & Swami	1996	Indien, Kodajar	gestörte Brache, kein Kronenschluß	1,5		3,7	1,3	9,3	14,4		Berechnungsmethode Min-Max.
Arunachalam et al.	1996	NO-Indien	Sekundärwald	16		3,9	3,9	3,8	14,7		'sequential coring', Ø 2-15 mm

Fortsetzung Tabelle 16: Literaturdaten zur Feinwurzelproduktion in tropischen Waldvegetationen oder Agroforstsystemen, geordnet nach Produktivität.

Wurzeln in Bodenstreu (Litter) oder Mineralboden [t*ha ⁻¹ a ⁻¹]											
Autor	Jahr	Ort	Vegetation	Alter [a]	in Litter	£1mm	£2mm	>2mm	gesamt	Tiefe	Methode
Sundaraparian & Swami	1996	Indien, Kodajar	ungestörte Brache, geschlossen	min. 3 a		2,9	0,6	11,9	15,4		Berechnungsmethode Min-Max.
Sundaraparian & Swami	1996	Indien, Kodajar	ungestörte Brache, offen	min. 3 a		3,0	1,2	11,2	15,4		Berechnungsmethode Min-Max.

5 Wurzelmasse und Wurzellänge in den Feldexperimenten

5.1 Wurzelmasse in der Ausgangsvegetation

Nach Einrichtung der Feldexperimente wurden in der Regenzeit im März 94 die ersten 100-ml-Bohrkerne mit Handbohrern entnommen. Weitere Entnahmen folgten zur Hochphase der Trockenzeit im November 94 und erneut zur Regenzeit im April 95. Ziel der Beprobungen war es, die Wurzelmassenvorräte und den Tiefenverlauf des Wurzelsystems in den Ausgangsvegetationen im jahreszeitlichen Verlauf zu bestimmen.

Die Wurzelmassendichten in den 10 beprobten Tiefenstufen (0 - 50 cm) sind für beide Feldexperimente, für die 3 Beprobungstermine und alle Durchmesserfraktionen in der Abbildung 19 dargestellt. Die WMD der Wurzeldurchmesser $\varnothing \leq 5$ mm nahmen kontinuierlich mit zunehmender Tiefe ab. So wurden die höchsten WMD in 5 cm Bodentiefe gefunden ($4,27 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$ Exp 4a, $6,37 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$ Exp 9a), die niedrigsten in 40 - 50 cm ($0,17$ bzw. $0,36 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$). In beiden Experimenten schwankte die Fein- und Schwachwurzel-WMD im Jahresverlauf. Im Vergleich zum ersten Beprobungstermin nahm die WMD dieser Wurzelfraktionen von März bis November ab, um dann in den folgenden Monaten erneut zuzunehmen. Die saisonalen Einflüsse waren auch im Tiefenverlauf erkennbar. Im Vergleich der Feldexperimente läßt sich feststellen, daß in gleichen Tiefenstufen die Größenordnung der WMD von Exp 9a durchgehend höher war als im Exp 4a.

Für die Durchmesserklassen der Wurzeln > 5 mm war kein deutlicher Trend der Ab- und Zunahme erkennbar, weder als Tiefenfunktion noch im Jahresverlauf. Grobe Wurzeln ($\varnothing > 5$ mm) wurden wesentlich seltener in den Proben gefunden als solche von geringerem Durchmesser. Grobe und sehr grobe Wurzeln waren in der Regel verholzt und wiesen aus diesem Grunde ein höheres spezifisches Gewicht auf als die Durchmesserfraktionen ≤ 5 mm. Dies hatte zur Konsequenz, das einzelne Grobwurzelstücke in den Proben zu starken Ausschlägen der WMD-Mittelwerte und hohen Standardfehlern führten. Dieser Sachverhalt führte zu Schwierigkeiten bei der Berechnung der Gesamtvorräte im Boden und bei der statistisch abgesicherten Unterscheidung der Feldexperimente zu verschiedenen Beprobungszeitpunkten bzw. unterschiedlichen Behandlungen. Auf diese Problematik wird im Abschnitt 5.3.1 genauer eingegangen.

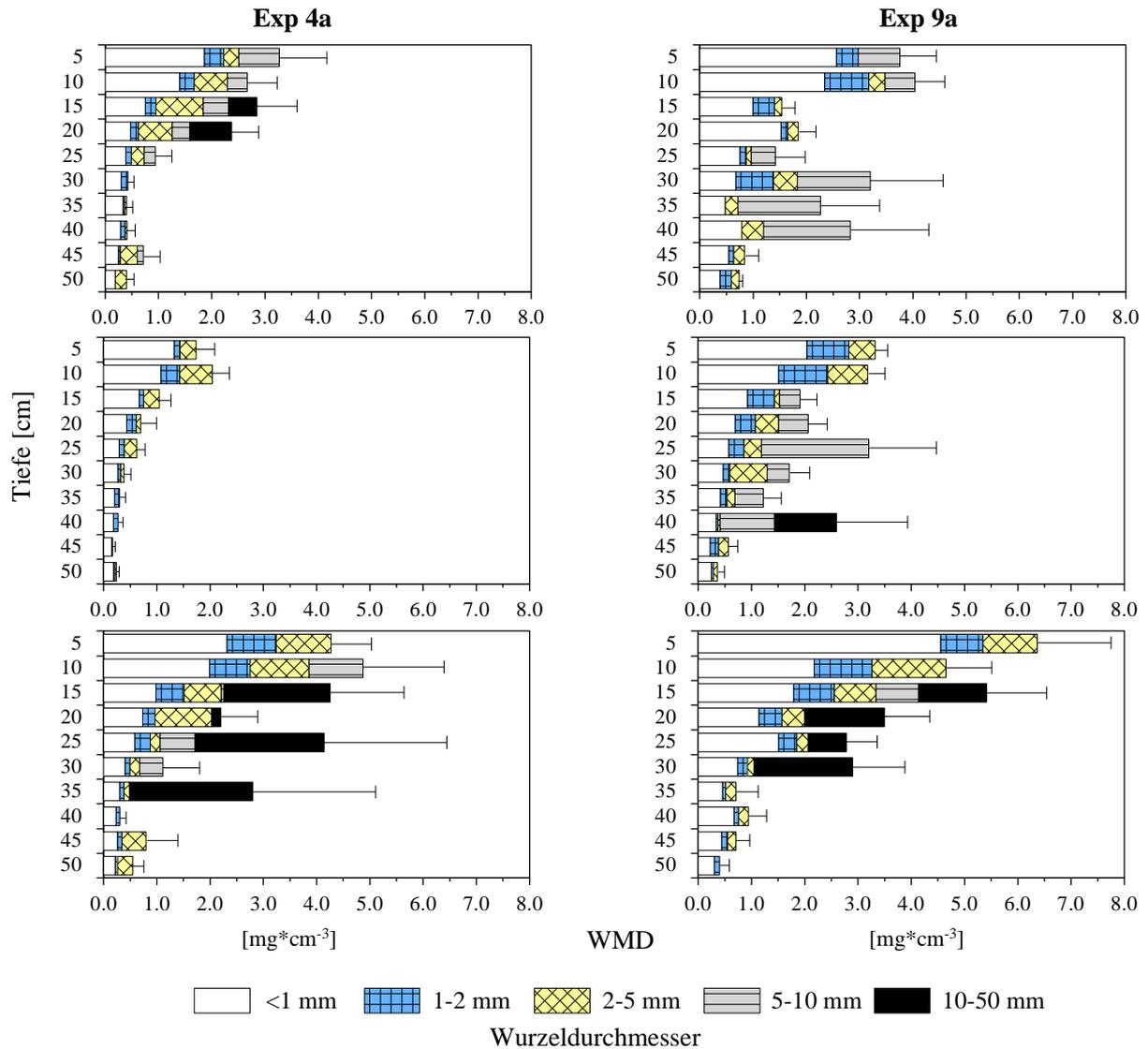


Abbildung 19: Wurzelmasse \pm Standardfehler lebender Wurzelanteile in der Ausgangsvegetation (**Cap**) der Feldexperimente in 10 Tiefenstufen bis 50 cm für alle Durchmesserklassen. Die Probenahme erfolgte zu drei Zeitpunkten im Verlauf eines Jahres (Regenzeiten Ende März 94 und Anfang April 95 sowie Trockenzeit im November 94). Die Standardfehler beziehen sich auf die Gesamtsummen der Massenanteile aller Durchmesserklassen in der jeweils korrespondierenden Tiefenstufe.

Die jahreszeitlichen Änderungen der WMD der Wurzelfractionen $\varnothing \leq 1$ mm, 1 - 2 mm und 2 - 5 mm zwischen den Beprobungsterminen sind für jedes Feldexperiment und alle Tiefenstufen in Abbildung 20 dargestellt. Die saisonalen Veränderungen der Wurzelvorräte bis in 50 cm Bodentiefe zeigt Tabelle 17.

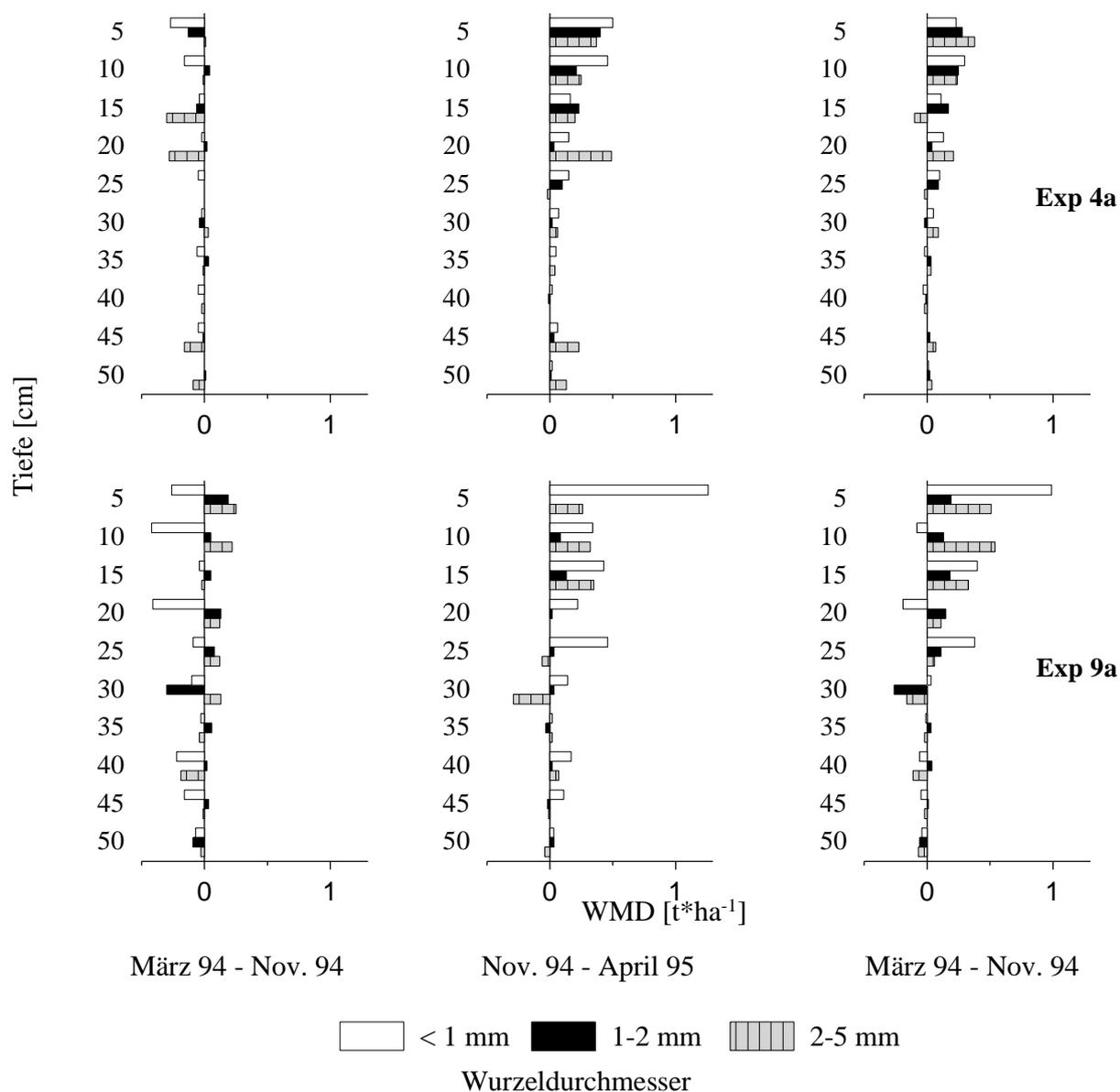


Abbildung 20: Differenzen der Wurzelmasendichte in der **Capoeira** beider Feldexperimente zwischen zwei Ernteterminen, $\varnothing \leq 1$ mm, 1 - 2 mm, 2 - 5 mm, 10 Bodentiefen (0 - 50 cm).

Tabelle 17: Mittelwerte der Fein- und Schwachwurzelmasse im Jahresverlauf in t*ha⁻¹ ± Standardfehler, Vorräte bis 50 cm Bodentiefe, getrennt nach 3 Durchmesserklassen. Statistische Unterscheidungen wurden mit dem LSD-Test bei p≤0,05 geprüft.

Exp	Ø Beprobung	Wurzelmasendichte [t*ha ⁻¹]							
		≤ 1 mm	1 - 2 mm	2 - 5 mm	gesamt				
4a	Mär 94	3,1 ±0,3	ab	0,7 ±0,1	a	1,6 ±0,3	b	5,4 ±0,4	ab
	Nov 94	2,4 ±0,1	a	0,5 ±0,1	a	0,8 ±0,2	a	3,8 ±0,3	a
	Apr 95	4,0 ±0,3	b	1,6 ±0,2	b	2,6 ±0,5	b	8,1 ±0,7	b
9a	Mär 94	5,4 ±0,5	b	1,4 ±0,3	ns	1,1 ±0,4	ns	8,0 ±1,3	ab
	Nov 94	3,7 ±0,3	a	1,7 ±0,3	ns	1,6 ±0,3	ns	7,0 ±0,6	a
	Apr 95	6,9 ±0,7	b	2,0 ±0,2	ns	2,2 ±0,5	ns	11,1 ±1,0	b

Im Jahresverlauf (Ende März 94 bis Anfang April 95) erhöhten sich in beiden Feldexperimenten die Fein- und Schwachwurzelvorräte bis in 50 cm Bodentiefe von 5,4 auf 8,1 t*ha⁻¹ (Exp 4a) bzw. von 8,0 auf 11,1 t*ha⁻¹ (Exp 9a). Dieser Jahresnettozuwachs ergibt sich aus einer anfänglichen Abnahme der Vorräte um 1,6 (Exp 4a) beziehungsweise 1,0 t*ha⁻¹ (Exp 9a) bis zum Höhepunkt der Trockenphase. Anschließend wurde eine intensive Zunahme der Fein- und Schwachwurzelvorräte beobachtet, die im Exp 4a 4,3 t*ha⁻¹ und im Exp 9a 4,1 t*ha⁻¹ betrug (Tabelle 17). Die anfängliche Vorratsverringering sowie die Jahresnettozunahmen ließen sich in keinem der beiden Feldexperimente statistisch absichern, hingegen waren die Zuwächse der letzten 5 Monate an beiden Orten signifikant (LSD-Test, p≤0,05).

Bei genauerer Betrachtung einzelner Durchmesserklassen zeigten sich Unterschiede zwischen beiden Experimenten. Diese bestanden in variierenden Anteilen verschiedener Wurzelfraktionen an der Massenverringering und dem anschließenden Zuwachs (Tabelle 17). Während sich im Exp 4a die Massenanteile aller Durchmesserklassen gleichmäßig verringerten und danach erneut anstiegen, war die Bilanz der Fraktionen Ø 1 - 2 mm und 2 - 5 mm im Exp 9a ganzjährig positiv, wenn auch die Größenordnung der Massenerhöhung vergleichsweise gering war. Die Änderungen der Wurzelmassen waren im Exp 9a zu großen Teilen durch das Absterben und den anschließenden Zuwachs sehr feiner Wurzeln (Ø ≤ 1 mm) charakterisiert (-1,8 t*ha⁻¹ = -32 % und +3,2 t*ha⁻¹ = +85 %, siehe Tabelle 17). Die intensive Variation der Feinstwurzelvorräte führte zu signifikanten Ab- und Zunahmen aufeinanderfolgender Beprobungstermine (LSD-Test, p≤0,05).

Produktion und Abnahme der Wurzelmassen waren in beiden Experimenten auf die oberflächennahen Bodenhorizonte konzentriert. Im Exp 4a wurden 83 % der Jahresnettoproduktion aller Wurzeln Ø ≤ 5 mm und 89 % aller Feinstwurzeln Ø ≤ 1 mm in den oberen 20 cm des Boden produziert. Im Exp 9a wurden während des Untersuchungszeitraumes die gesamten Zuwächse in den oberen 20 cm erzielt, während es im Bodenhorizont 20 - 50 cm zu einer Jahresnettoabnahme von 7 % kam (Abbildung 20).

Bezogen auf die Lebendvorräte zu Untersuchungsbeginn (März 94) erfolgte im Exp 4a beim Übergang von der Regenperiode zur Trockenzeit (November 94) eine Abnahme um 31 % der gesamten Wurzelmasse bis in 50 cm Bodentiefe. Im Exp 9a waren es im gleichen Zeitraum nur 12 %. Innerhalb der folgenden 4 - 5 Monate bis zum dritten Beprobungstermin (April 95) betrugen die relativen Zunahmen im Exp 4a 117 %, im Exp 9a hingegen nur 58 %. Der Jahresnettozuwachs betrug 33 bzw. 27 %.

5.1.1 Wurzelnekromasse in den Ausgangsvegetationen

Die Massenteile toter Wurzeln fielen im Vergleich zu den Lebendmassen ($\varnothing \leq 5$ mm) gering aus. Im Exp 4a betrug die Nekromasse bis in 50 cm Bodentiefe durchschnittlich $0,3 \text{ t*ha}^{-1}$ und im Exp 9a $0,1 \text{ t*ha}^{-1}$ (Tabelle 18). Eine Massenverteilung entlang eines Tiefengradienten wie im Fall der Fein- und Schwachwurzeln konnte für keines der Feldexperimente gezeigt werden. Im Exp 4a wurden zum ersten und letzten Beprobungszeitpunkt 91 und 74 % der Totmasse in den oberen 10 - 15 cm Bodentiefe beobachtet. Solch ein Akkumulationshorizont der Nekromasse fehlte hingegen im Exp 9a. Die Bodenbereiche unterhalb 15 cm wiesen in beiden Feldexperimenten praktisch keine Nekromasse in den Proben auf. Nur in Einzelfällen wurden sprunghafte Erhöhungen der Nekromasse auch in tieferen Bodenbereichen gefunden. Diese basierten stets auf einzelnen toten Grobwurzeln.

Tabelle 18: Absolute und relative Wurzelnekromassenvorräte (0 - 50 cm) zu 3 Beprobungsterminen in der Ausgangsvegetation (**Cap**) in den Feldexperimenten Exp 4a und Exp 9a.

Ernte	Exp 4a		Exp 9a	
	[t*ha ⁻¹]	% an Fein- und Schwachwurzelmasse	[t*ha ⁻¹]	% an Fein- und Schwachwurzelmasse
März 94	0,4	8,1	0,1	1,3
Nov. 94	<0,1	0,9	0,2	2,8
Apr. 95	0,5	6,3	<0,1	0,1
Mittel	0,3	5,1	0,1	1,4

manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Saisonale Nekromassezunahmen, die parallel zur jahreszeitlichen Verminderung der lebenden Wurzelmassenanteile im Boden der Feldexperimente auftraten, wurden nicht beobachtet. Der Rückgang der lebenden Vorräte in Höhe von durchschnittlich $1,8 \text{ t*ha}^{-1}$ der beim Übergang von der regenreichen zur niederschlagsarmen Periode auftrat, spiegelte sich nicht in erhöhten Totmasseanteilen wider. Im Gegensatz zu der zu erwartenden Erhöhung der Nekromassen beim Übergang zur Trockenphase wurde im Exp 4a sogar eine Verminderung der Totwurzelmassen- und -anteile beobachtet. Dieses Ergebnis deutet auf einen schnellen Abbau der Nekromasse nach dem Absterben hin.

5.1.2 Modellierung der Feinwurzelmassenverteilung in der Ausgangsvegetation

Die Analyse des Datensatzes aus den Beprobungen der Bohrkernmethode zeigte, daß es sich als günstig erwies, einzelne Wurzelfraktionen für die vergleichende Auswertung zusammenzufassen. So konnten zugrunde liegende Gesetzmäßigkeiten der räumlichen Verteilung sowie statistische Häufigkeiten des Auftretens bestimmter Fraktionen am besten zur Abschätzung der Wurzelvorräte genutzt werden. Nach den Ergebnissen der Bohrkernmethode stellte es sich als günstig heraus die beiden kleinsten Durchmesserkompartimente zur Fraktion ≤ 2 mm und gröbere Wurzeln zur Fraktion $\varnothing > 2$ mm zusammenzufassen. Feinst- ($\varnothing \leq 1$ mm) und Feinwurzeln ($\varnothing > 1$ bis ≤ 2 mm) wiesen die höchste Frequenz in allen betrachteten Tiefenstufen auf (siehe auch Abschnitt 5.3.1). Im Gegensatz zu den anderen Durchmesserfraktionen zeigten sie reproduzierbare Massenverteilungen über die Tiefe. Die Massenanteile der Schwachwurzeln ($\varnothing > 2$ bis ≤ 5 mm) variierten stärker als die der kleineren Durchmesserfraktionen. Eine mehr oder weniger kontinuierliche Tiefenverteilung dieser Fraktion konnte jedoch nur in der Ausgangsvegetation der Feldexperimente beobachtet werden, nicht aber in den Behandlungen der Feldexperimente. Zur Vereinheitlichung der Bezugsgrundlagen werden aus diesem Grunde Tiefenverteilungen nur an die Fraktionen $\varnothing \leq 2$ mm angepaßt.

Analog zur Tiefenverteilung der Wurzelproduktivität (Abschnitt 4.3.2) ließ sich die vertikale Abnahme der Wurzellebendmasse mit zunehmender Tiefe durch ein exponentielles Modell darstellen. Für alle Beprobungstermine der Ausgangsvegetationen ließ sich die Modellanpassung innerhalb von $p \leq 0,001$ durchführen. Die Regressionskoeffizienten und die Wurzelvorräte sind in Tabelle 19 dargestellt, die Anpassungskurven in Abbildung 21.

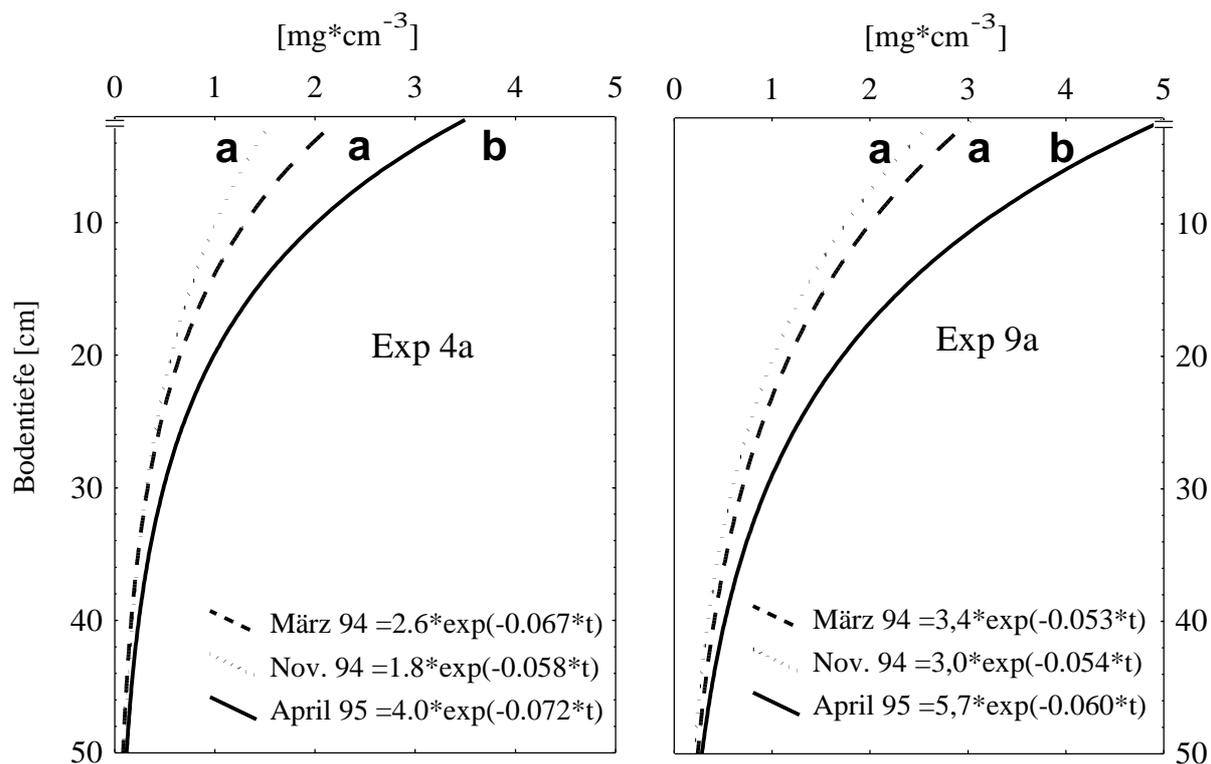


Abbildung 21: Anpassungskurven an den Tiefenverlauf der Wurzelmassendichte der Capoeira (Fein- und Schwachwurzeln $\varnothing \leq 2$ mm) im März 94, November 94 und April 95, linke Seite Exp 4a, rechts 9a. Die Buchstaben des Mittelwertvergleiches beziehen sich auf die anhand der Kurvenparameter errechneten Vorräte an Wurzelmasse ($\varnothing \leq 2$ mm) bis 50 cm Tiefe. Weitere Kennwerte der Regressionen sind in Tabelle 19 dargestellt. Um zu verdeutlichen, daß die Regression für die Tiefe = 0 cm nicht definiert ist, weist die Y-Achse eine Unterbrechung auf.

Tabelle 19: Startwert (**a**) und Abnahmerate (**c**) der exponentiellen Anpassungen der Abnahme der Feinwurzelmasse ($\varnothing \leq 2$ mm) mit zunehmender Tiefe (0 - 50 cm). Die Konstanten beschreiben die ungestörte Sekundärvegetation (**Cap**) beider Experimente zu jeweils drei Erntezeitpunkten. Die Vorräte in $t \cdot ha^{-1}$ wurden anhand der Modellgleichung errechnet. Mittelwertsunterschiede wurden mit dem LSD-Test bei $p \leq 0,05$ geprüft.

Exp	Probenahme	r²	a [mg*cm⁻³]	c*10⁻²	Vorräte 0-50 cm [t*ha⁻¹]	T_{1/2} [cm]
4a	März 94	0,63	2,6 ±0,4 a	6,7 ±0,9	3,7 ±0,3 a	10
	Nov. 94	0,61	1,8 ±0,1 a	5,8 ±0,6	2,9 ±0,2 a	12
	April 95	0,76	4,0 ±0,5 b	7,2 ±0,4	5,5 ±0,8 b	10
	ANOVA		F _(2,9) =8,5 p≤0,01	F _(2,9) =1,1 ns	F _(2,9) =8,6 p≤0,01	
9a	März 94	0,62	3,4 ±0,1	5,3 ±0,4	6,0 ±0,3 a	13
	Nov. 94	0,63	3,0 ±0,5	5,4 ±0,9	5,1 ±0,4 a	13
	April 95	0,63	5,7 ±1,8	6,0 ±1,5	8,2 ±0,9 b	12
	ANOVA		F _(2,9) =1,8 ns	F _(2,9) =0,2 ns	F _(2,9) =8,1 p≤0,01	

Die Startwerte im Exp 9a waren zu allen gleichen Zeitpunkten höher (3,4 - 5,7) als im Exp 4a (1,8 - 4,0), ließen sich aber weder innerhalb des Experimentes noch zwischen den Experimenten gegeneinander absichern. Einzig im Exp 4a konnte ein Zuwachs bis zum Versuchsende gezeigt werden. Der Startwert der letzten Beprobung war hier signifikant höher als der der vorangegangenen Beprobung (t-Test, $p \leq 0,05$).

Die Abnahmeraten der Wurzelmasse mit zunehmender Tiefe variierten nur geringfügig zwischen den Beprobungen und den Feldexperimenten. So lag die durchschnittliche Abnahmerate des Exp 4a mit $6,6 \cdot 10^{-2}$ leicht höher als im Exp 9a mit $5,6 \cdot 10^{-2}$. Die ANOVA konnte signifikante Effekte weder für die Feldexperimente noch für die verschiedenen Beprobungszeitpunkte identifizieren.

Die Ausdehnung des Bodenbereiches mit 50 % Feinwurzelakkumulation, $T_{1/2}$, war in beiden Feldexperimenten oberflächennah zwischen 11 und 13 cm lokalisiert und nahezu identisch. Eine Variation über die 3 Beprobungstermine bestand praktisch nicht.

5.2 Wurzelmasse und Wurzellänge in den Behandlungen

Die Entnahme von Bohrkernen in den Behandlungen **gebr**, **entst**, **P,E** und **P,E,R** der Feldexperimente fand zeitgleich mit der dritten Beprobung in der Ausgangsvegetation (**Cap**) im April 95 statt. In diesem Kapitel werden die Auswirkungen der Behandlungen auf das Wurzelsystem dargestellt und mit der Ausgangsvegetation verglichen.

5.2.1 Lebende Feinwurzelmasse in den Behandlungen

Analog zu den Ergebnissen in der Ausgangsvegetation konnten auch in den Behandlungen beider Feldexperimente Abnahmen der WMD mit zunehmender Tiefe gezeigt werden, die jedoch im Vergleich zur **Cap** weniger einheitlich verliefen (Abbildung 22). Kontinuierliche Entwicklungslinien der Massenabnahme ließen sich nur für Wurzeln $\varnothing \leq 2$ mm erkennen (Abbildung 23). Die Schwachwurzelfraktion ($\varnothing 2 - 5$ mm) und in besonderem Maße die Massenanteile der Durchmesserklassen ≥ 5 mm variierten stärker als in den unbehandelten Ausgangsvegetationen. Besonders die Variabilität der WMD aus der Fraktionen $\varnothing > 5$ mm führte zu Schwierigkeiten bei der Berechnung der Gesamtvorräte und zu Problemen bei der Interpretation und Absicherung der Behandlungseffekte. Es ist beispielsweise nicht nachvollziehbar, warum in der Behandlung **P,E** des Exp 4a wesentlich

höhere Grobwurzelmassen gefunden wurden als in der Behandlung **gebr** oder in der **Cap** im November 94, obwohl in letzteren Beispielen keine Bodenbearbeitung stattfand. Die Massen der Schwach- und Grobwurzelfractionen werden aus den genannten Gründen in einem gesonderten Kapitel besprochen (siehe Abschnitt 5.3.1 und Abbildung 25).

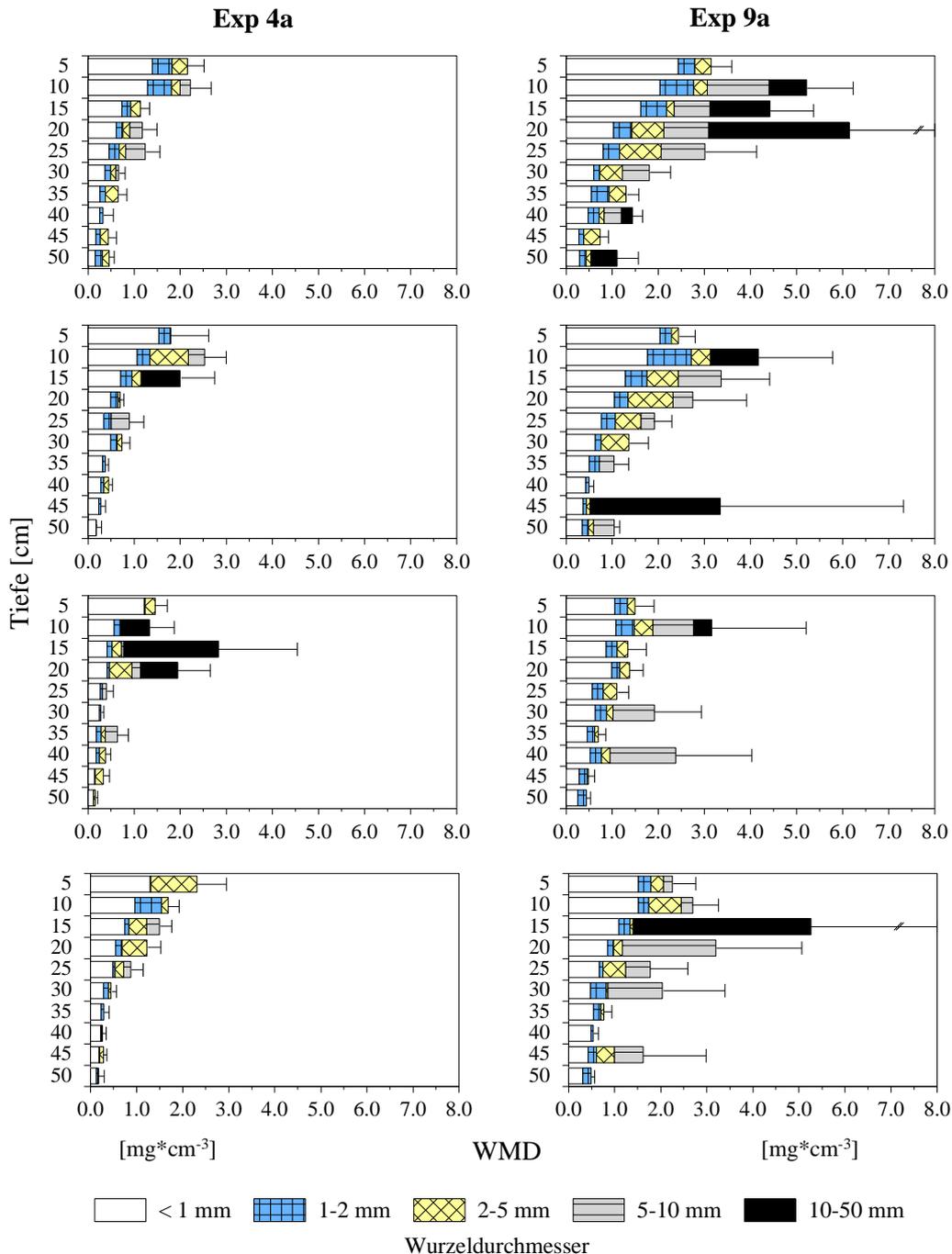


Abbildung 22: Wurzelmasse (WMD) in den 4 Behandlungen beider Feldexperimente in $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$ \pm Standardfehler ein Jahr nach den ersten Beprobungen in der unbehandelten Ausgangsvegetation (**Cap**, April 95).

Unter Beschränkung auf die Wurzeldurchmesserfraktionen ≤ 2 mm lassen sich folgende allgemeine Aussagen zu den WMD der Behandlungen in den Feldexperimenten machen. Die höchste WMD wurde in den oberen 10 cm Bodentiefe beobachtet; in 7 von 8 Fällen sogar in 0 - 5 cm (Tabelle 54 bis Tabelle 57 im Anhang). Die WMD_(0-10 cm) war im Exp 4a in allen Behandlungen durchgehend geringer als im Exp 9a. Die Werte (Exp 4a / Exp 9a [$\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$]) verliefen in der Rangfolge **gebr** (1,8 / 2,8) > **entst** (1,6 / 2,5) > **P,E,R** (1,4 / 1,8) > **P,E** (1,0 / 1,4).

Gegenüber der unbehandelten Sekundärvegetation (**Cap** 2,2 / 3,4) war die WMD_(0-10 cm) der Behandlungen beider Feldexperimente geringer. Die niedrigsten Werte aller Behandlungen wurden wie bei der **Capoeira** in der untersten beprobten Tiefenstufe in 45 - 50 cm ermittelt.

5.2.2 Modellierung der Feinwurzelverteilung in den Behandlungen

5.2.2.1 Wurzelmasse

Für die Parameter des Startwertes **a** und für die Feinwurzelvorräte bis in 50 cm Bodentiefe identifizierte die 2faktorielle ANOVA (Experiment x Behandlung) Unterschiede zwischen den Experimenten und den Behandlungen aber nicht für die Interaktion. Der maßgebliche Faktor war in beiden Fällen das Alter der Ausgangsvegetation ($F_{(a=1,24)}=5,3$, $p\leq 0,05$, $F_{(\text{Vorrat}=1,24)}=36,9$, $p\leq 0,001$). Behandlungseffekte waren nachgeordnet ($F_{(a=3,24)}=4,5$, $p\leq 0,05$), $F_{(\text{Vorrat}=1,24)}=5,4$, $p\leq 0,01$).

Die Startwerte waren im Exp 9a durchgehend größer als im Exp 4a (Tabelle 20). Behandlungsunterschiede waren nur im Exp 9a zwischen den manuellen (**gebr** und **entst**) und maschinellen Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**) signifikant, aber nicht innerhalb der beiden Behandlungsgruppen. Unter Verzicht auf Behandlungsstratifizierung ließen sich die Startwerte des Exp 9a als signifikant höher gegen Exp 4a absichern (durchschnittlich 2,4 zu 1,9 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$, t-Test, $p\leq 0,05$).

Auch die Massenvorräte lebender Feinwurzeln waren in den Behandlungen des Exp 9a durchgehend höher als im Exp 4a. Eine Unterscheidung der Behandlungsmittelwerte gelang jedoch nur für das Exp 4a. **P,E** war signifikant niedriger als die manuellen Behandlungen, ließ sich aber nicht gegen **P,E,R** absichern. Wird keine Behandlungsunterscheidung getroffen, lassen sich die Vorräte des Exp 9a als signifikant höher als im Exp 4a absichern (5,5 zu 3,1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, t-Test, $p\leq 0,05$).

Für die Abnahmerate c belegt die 2faktorielle ANOVA (Experiment \times Behandlung) nur einen Effekt für das Alter der Ausgangsvegetation ($F_{(a=1,24)}=5,4$, $p \leq 0,05$). Über alle Behandlungen gemittelt lag die Größe der Abnahmerate im Exp 9a signifikant niedriger als im Exp 4a ($3,7 \cdot 10^{-2}$ zu $6,4 \cdot 10^{-2}$). Mittelwertsunterschiede zwischen Behandlungen lagen nur im Exp 9a vor. Der Mittelwert der Behandlung **P,E** war signifikant höher als die manuellen Behandlungen, ließ sich aber nicht gegen **P,E,R** absichern (Tabelle 20).

Die Anpassungskurven für die WMD-Verteilung von 0 - 50 cm Bodentiefe sind in Abbildung 23 dargestellt.

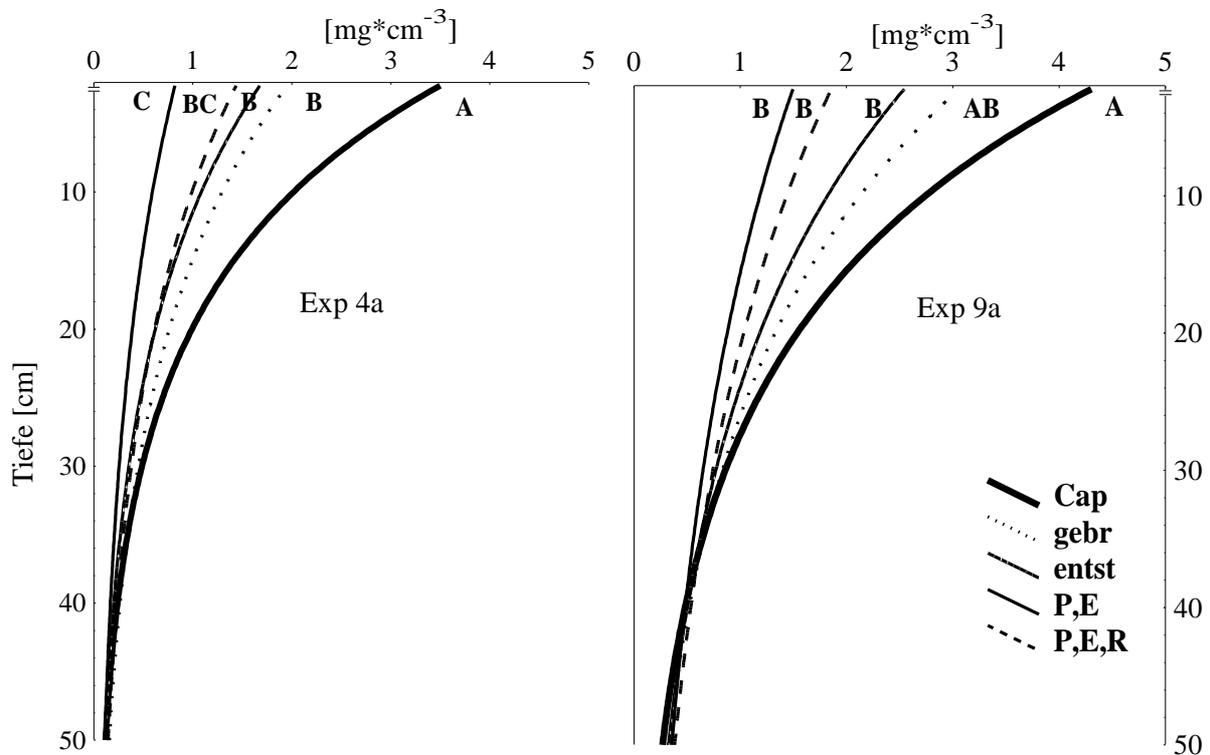


Abbildung 23: Exponentielle Anpassungskurven der Wurzelmasse für Durchmesser bis $\leq 2\text{mm}$ im Tiefenverlauf von 0 - 50 cm, linker Teil Exp 4a, rechts Exp 9a. Dargestellt sind die Werte aller Behandlungen ein Jahr nach der ersten Beprobung. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden auch die Anpassungskurven der **Cap** abgebildet. Die Buchstaben des Mittelwertvergleiches beziehen sich auf die anhand der Kurvenparameter errechneten Vorräte an Wurzelmasse $\varnothing \leq 2\text{mm}$ bis 50 cm Tiefe. Mittelwertsunterschiede wurden mit dem LSD-Test bei $p \leq 0,05$ geprüft. Um zu verdeutlichen, daß die Regression für die Tiefe = 0 cm nicht definiert ist, weist die Y-Achse eine Unterbrechung auf.

Tabelle 20 : Startwerte (**a**) und Abnahmerate (**c**) der exponentiellen Modellgleichungen (0 - 50 cm Tiefe) der Feinwurzelmasse ($\varnothing \leq 2\text{mm}$) \pm Standardfehler. Die Konstanten beschreiben alle Behandlungen nach ca. einem Jahr Regenerationsdauer (März 94 - April 95). Vorräte \pm Standardfehler wurden anhand der Regressionskurven errechnet. $T_{1/2}$ entspricht der Bodentiefe in cm bis zu der 50 % der Gesamtvorräte akkumuliert sind. Mittelwertsunterschiede wurden mit dem LSD-Test ($p \leq 0,05$) geprüft.

Exp	Behandlung.	r²	a [mg*cm⁻³]	c*10⁻²	Vorräte 0-50 cm [t*ha⁻¹]	T_{1/2} [cm]
4a	gebr	0,57	2,2 \pm 0,4	5,2 \pm 0,6	3,9 \pm 0,4 a	13
	entst	0,50	2,1 \pm 0,5	5,4 \pm 1,2	3,4 \pm 0,3 a	13
	P,E	0,43	1,5 \pm 0,5	6,2 \pm 2,2	2,1 \pm 0,5 b	11
	P,E,R	0,44	1,6 \pm 0,2	4,7 \pm 0,8	3,0 \pm 0,4 ab	15
	ANOVA		F _(3,12) =0,70 ns	F _(3,12) =0,21 ns	F _(3,12) =3,89 p \leq 0,05	
9a	gebr	0,62	3,4 \pm 0,1 a	4,6 \pm 0,3 a	6,8 \pm 0,3	15
	entst	0,57	2,8 \pm 0,4 a	4,3 \pm 0,6 a	5,7 \pm 0,5	16
	P,E	0,30	1,6 \pm 0,2 b	2,7 \pm 0,4 b	4,6 \pm 0,8	26
	P,E,R	0,50	1,9 \pm 0,3 b	3,2 \pm 0,5 ab	4,8 \pm 0,8	22
	ANOVA		F _(3,12) =9,20 p \leq 0,05	F _(3,12) =3,68 p \leq 0,05	F _(3,12) =2,34 ns	

manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Die Ausdehnung des Bodenbereiches bis zu dem 50 % der Feinwurzelvorräte akkumuliert waren ($T/2$ -Horizont), variierte je nach Feldexperiment und Behandlung zwischen 11 und 26 cm (Tabelle 20). Im Exp 4a betrug der Durchschnitt über alle Behandlungen 13 cm, im Exp 9a 20 cm. Allgemein läßt sich feststellen, daß im Exp 4a die Feinwurzelmasse oberflächennah im Boden konzentriert war. Im Exp 9a hingegen fand sich ein größerer Anteil der Feinwurzelmasse auch noch tiefer. Besonders in den maschinellen Behandlungen **P,E** und **P,E,R** des Exp 9a bestand eine auffällige Verlagerung des $T/2$ -Horizontes in größere Tiefenbereiche.

5.2.3 Wurzellänge

Sehr feine Wurzeln $\varnothing \leq 1$ mm stellten 98 - 99 % der gesamten Wurzellänge. Mit der Betrachtung nur dieser Durchmesserfraktion wird also nahezu die gesamte Länge aller Wurzeln in den Proben repräsentiert.

Wie die Wurzelmasse zeigte auch der Parameter der Wurzellänge eine Abnahme mit zunehmender Tiefe, die sich mit einer exponentiellen Tiefenfunktion beschreiben ließ (Abschnitt 2.3.2). Die Modellparameter sind in Tabelle 21 dargestellt, die Anpassungskurven an die WLD-Tiefenverteilung in Abbildung 24.

Im Überblick kann festgestellt werden, daß die Güte der Anpassung (r^2) niedriger war als im Fall der Feinwurzelmassen. Die Begründung hierfür liegt in der Streuung der Einzelwerte. Der durchschnittliche Variationskoeffizient lag bei 180 %. Trotz dieser Streuung gelang, im Gegensatz zu den Gazebeuteluntersuchungen, die Anpassung der Werte an das Modell der exponentiellen Längenabnahme mit zunehmender Bodentiefe. Dies ist auf die hohe Anzahl der Einzelmessungen ($n=160$) und der Tiefenintervalle ($n=10$) pro Behandlung zurückzuführen. Sowohl die Startwerte **a** als auch die Abnahmerate **c** konnten zumindest bei $p \leq 0,05$ meist aber bei $p \leq 0,01$ abgesichert werden. Die Regressionskoeffizienten und die Parameter der exponentiellen Anpassungen sind in Tabelle 21 dargestellt.

Im Vergleich der Experimente, der Ausgangsvegetationen und auch der Behandlungen wurden keine statistisch absicherbaren Unterschiede ermittelt. Auffällige Größenunterschiede bestanden zwischen den Startwerten und den Längenvorräten der **Capoeira** beider Feldexperimente, die im Exp 4a am niedrigsten ($116 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-3}$, $17,7 \text{ km} \cdot \text{m}^{-2}$) und im Exp 9a am höchsten ($239 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-3}$) bis sehr hoch ($30,7 \text{ km} \cdot \text{m}^{-2}$) ausfielen.

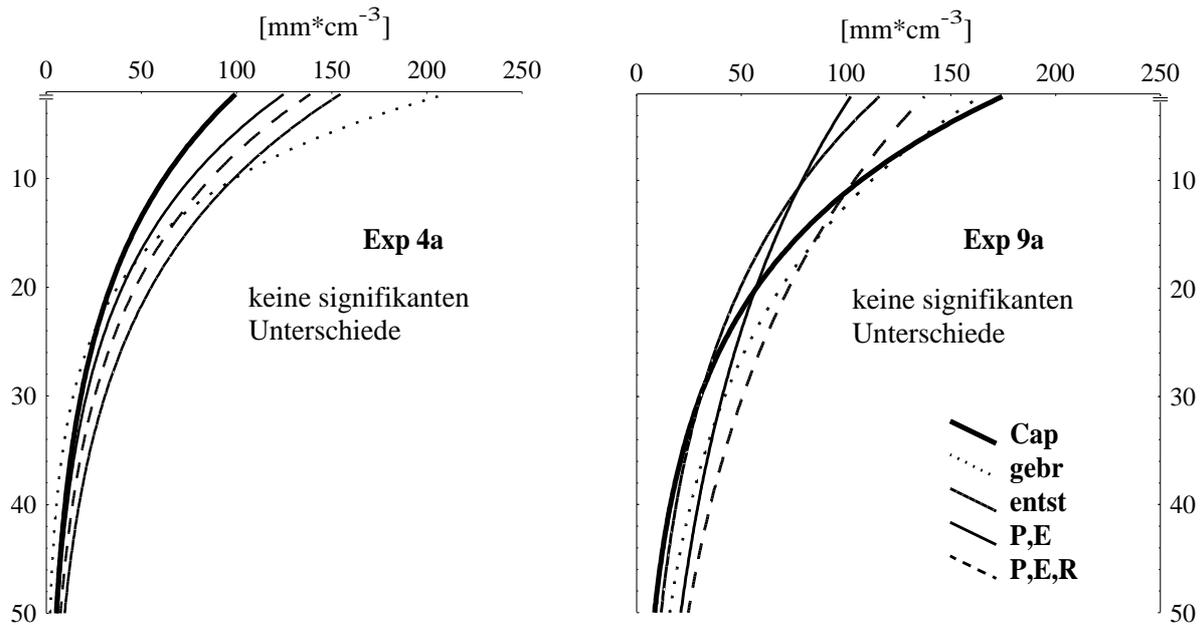


Abbildung 24: Exponentielle Anpassungskurven der Wurzellängendichte für Feinstwurzeln $\varnothing \leq 1$ mm im Tiefenverlauf von 0 - 50 cm, linker Teil Exp 4a, rechts Exp 9a. Dargestellt sind die Werte aller Behandlungen ein Jahr nach der ersten Beprobung. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden auch Anpassungskurven für die **Cap** dargestellt. Um zu verdeutlichen, daß die Regression für die Tiefe = 0 cm nicht definiert ist, weist die Y-Achse eine Unterbrechung auf.

Für die Behandlungen gilt, daß die Startwerte im Exp 4a ($204 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-3}$) durchschnittlich höher lagen als im Exp 9a ($143 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-3}$), aber im Exp 4a die Abnahmerate höher ($6,3 \cdot 10^{-2}$) und dadurch die Wurzellängenvorräte niedriger ($25,6 \text{ km} \cdot \text{m}^{-2}$) waren als im Exp 9a ($4,9 \cdot 10^{-2}$ und $29,1 \text{ km} \cdot \text{m}^{-2}$). Wie auch im Fall der Feinwurzeln akkumulierten sich die Wurzellängen in den Behandlungen des Exp 4a in flacheren Bodenbereichen ($T/2$ durchschnittlich 11 cm) als im Exp 9a (17 cm).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß für die Wurzellänge keine einheitlichen Tendenzen der Werteentwicklung vorlagen. Die Erwartung, daß gemäß der Destruktivität der Behandlungen Verringerungen der Wurzellänge auftraten, konnte nicht bestätigt werden. Der Maschineneinsatz (**P,E** und **P,E,R**) und die Entstickung (**entst**) führte bei der WLD nicht zu den gleichen drastischen Rückgängen, wie dies im Fall der WMD beobachtet wurde.

Tabelle 21: Startwerte und Abnahmekonstanten der exponentiellen Anpassungen (0 - 50 cm Tiefe) der Feinwurzellänge ($\varnothing \leq 1\text{mm}$) \pm Standardfehler. Die Konstanten beschreiben alle Behandlungen nach einem ca. Jahr Regenerationsdauer (März 94-April 95). Vorräte \pm Standardfehler wurden anhand der Regressionskurven errechnet. $T_{1/2}$ entspricht der Bodentiefe in cm bis zu der 50 % der Gesamtvorräte akkumuliert sind. Mittelwertsunterschiede wurden mit dem LSD-Test bei $p \leq 0,05$ geprüft.

Exp	Behandlung.	r^2	a [$\text{mm} \cdot \text{cm}^{-3}$]	$c \cdot 10^{-2}$	Vorräte $_{0-50 \text{ cm}}$ [$\text{km} \cdot \text{m}^{-2}$]	$T_{1/2}$ [cm]
4a	Cap	0,57	116 \pm 50	6,3 \pm 0,5	17,7 \pm 1,0	11
	gebr	0,36	274 \pm 190	6,6 \pm 2,4	27,6 \pm 11,4	11
	entst	0,49	213 \pm 100	6,5 \pm 2,8	27,6 \pm 2,4	11
	P,E	0,24	174 \pm 94	6,1 \pm 3,4	22,0 \pm 6,0	11
	P,E,R	0,43	156 \pm 37	5,9 \pm 6,8	25,2 \pm 5,7	12
	ANOVA		$F_{(4,15)}=0,16$ ns	$F_{(4,15)}=0,02$ ns	$F_{(4,15)}=0,50$ ns	
9a	Cap	0,39	238 \pm 123	6,1 \pm 1,4	30,7 \pm 9,7	11
	gebr	0,59	180 \pm 25	5,0 \pm 0,3	33,1 \pm 4,5	14
	entst	0,52	138 \pm 27	5,8 \pm 1,4	23,5 \pm 4,9	12
	P,E	0,21	110 \pm 28	3,7 \pm 0,5	25,6 \pm 6,7	19
	P,E,R	0,38	144 \pm 35	3,9 \pm 1,0	34,1 \pm 8,1	18
	ANOVA		$F_{(4,15)}=0,59$ ns	$F_{(4,15)}=1,03$ ns	$F_{(4,15)}=0,41$ ns	

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

5.2.4 Wurzelnekromasse

Die Wurzelnekromasse bis in 50 cm Bodentiefe betrug je nach Feldexperiment und Behandlung zwischen 0,1 und 1,9 t*ha⁻¹ (Tabelle 22).

Tabelle 22: Wurzelnekromasse bis in 50 cm Bodentiefe in den Behandlungen der Feldexperimente Exp 4a und Exp 9a.

Behandlung	Exp 4a	Exp 9a
	[t*ha ⁻¹]	[t*ha ⁻¹]
gebr	0,3 ±0,1	0,1 ±0,1
entst	0,6 ±0,3	0,5 ±0,3
P,E	0,5 ±0,2	1,9 ±1,0
P,E,R	1,2 ±0,8	1,6 ±1,1

manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Die mit Abstand höchsten Totmassen waren im Boden der mechanisierten Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**) des Exp 9a und in **P,E,R** in Exp 4a zu finden. Die niedrigsten Werte wurden in der Behandlung **gebr** beider Feldexperimente ermittelt. Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß alle Behandlungen mit Bodeneingriffen zur Erhöhung der Wurzelnekromassen geführt haben. Trotz einer maximalen Schwankungsbreite der Mittelwerte um den Faktor 19 war es aufgrund der starken Streuung der Einzelwerte nicht möglich, statistisch signifikante Unterschiede zwischen Experimenten und den Behandlungen zu ermitteln.

Eine regelmäßige Massenverteilung von Totmaterial entlang eines Tiefengradienten im Boden wurde nicht beobachtet. Die Werte wurden im allgemeinen durch einzelne abgestorbene Grobwurzeln von überdurchschnittlich hoher Masse bestimmt. Die Variationskoeffizienten der Nekromasse bewegten sich durchschnittlich um 630 %. Anteile toter Feinwurzeln, wie sie nach den für die Capoeira gezeigten saisonalen Verlusten zu erwarten gewesen wären, konnten nicht beobachtet werden. Eine detaillierte Übersicht der WMD der Nekromasse in verschiedenen Tiefenstufen, ermittelt mit der Bohrkernmethode, befindet sich im Anhang in Tabelle 54 bis Tabelle 57.

5.3 Vergleich der Feinwurzelvorräte der Ausgangsvegetation mit den Behandlungen

Während des gesamten Untersuchungszeitraumes ergaben sich in beiden Feldexperimenten nur zum ersten Beprobungstermin ($\varnothing \leq 2$ mm, 0 - 50 cm Tiefe) in der Behandlung **gebr** leichte Massenzuwächse gegenüber der **Capoeira**. Diese lagen bei $0,2 \text{ t*ha}^{-1}$ (Exp 4a), beziehungsweise bei $0,8 \text{ t*ha}^{-1}$ (Exp 9a), waren jedoch nicht statistisch absicherbar. Alle anderen Behandlungen führten zu Verlusten gegenüber den Feinwurzelmassenvorräten der Ausgangsvegetation von März 94 (Tabelle 23). Dies bedeutet, daß die Verluste an Feinwurzeln, die als Folge der Behandlungen **entst**, **P,E** und **P,E,R** auftraten, innerhalb der Versuchsdauer von knapp einem Jahr nicht kompensiert werden konnten. Die Höhe der Verluste variierte zwischen $0,3$ und $3,6 \text{ t*ha}^{-1}$. Sie waren am ausgeprägtesten in den mechanisierten Behandlungen und dort am stärksten bei **P,E**. Statistisch ließen sich die Differenzen der Feinwurzelvorräte der Behandlungen gegenüber der Ausgangsvegetation (**Cap**) von März 94 nur für **P,E** im Exp 4a absichern (LSD-Test, $p \leq 0,05$). Beim Vergleich mit der Capoeira zum Versuchsende ergaben sich signifikante Unterschiede sowohl für die manuellen wie für die maschinellen Behandlungen im Exp 4a und Exp 9a (Tabelle 23).

Die prozentualen Veränderungen, bezogen auf die Vorräte der Ausgangsvegetation zum Zeitpunkt März 94, reichten von 7 % Zuwachs bis 44 % Verminderung. Unter Bezug auf die Vorräte in der **Capoeira** zum Versuchsende betragen die Verringerungen zwischen 17 und 62 %. Als durchgehende Tendenz zeigte sich, daß sich die Behandlungseffekte stärker auf die jüngere Vegetation des Exp 4a auswirkten. Dort betragen die relativen Vorratsverringerungen durchschnittlich 44 %, im Exp 9a hingegen nur 33 %.

Tabelle 23: Vergleich der Feinwurzelvorräte ($\varnothing \leq 2$ mm) der unbehandelten Ausgangsvegetation (**Cap**) von März 94 sowie April 95 mit denen der Behandlungen vom April 95. Signifikante Mittelwertsunterschiede gegenüber der Ausgangsvegetation zum gegebenen Zeitpunkt (März 94 oder April 95, **Cap**=a) wurden mit dem LSD-Test bei $p \leq 0,05$ ermittelt.

Behandlung	Exp 4a				Exp 9a			
	Cap März 94		Cap April 95		Cap März 94		Cap April 95	
	[t*ha ⁻¹]	[%]						
gebr	+0,2 a	5	-1,6 a	-30	+0,8 ns	12	-1,4 a	-17
entst	-0,3 a	-7	-2,1 b	-38	-0,3 ns	-5	-2,4 a	-30
P,E	-1,6 b	-44	-3,4 c	-62	-1,4 ns	-24	-3,6 b	-44
P,E,R	-0,7 ab	-19	-2,5 bc	-46	-1,2 ns	-20	-3,3 ab	-41

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstickung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Die Veränderungen der Feinwurzeltorräte wurden in den Behandlungen **entst**, **P,E** und **P,E,R** hauptsächlich durch Rückgänge in den oberflächennahen Bodenbereichen bewirkt, die auch durch leichte Zunahmen in 20 - 50 cm Tiefe nicht kompensiert wurden (Tabelle 24). In **P,E** des Exp 4a wurden außerdem starke Rückgänge auch im Bodentiefen tiefer als 20 cm beobachtet. Im Gegensatz dazu führte die Behandlung **gebr** nur zu geringen Vorratsverringerungen oder sogar leichten Zunahmen im Vergleich mit der Beprobung von März 94.

Tabelle 24: Massenunterschiede der Feinwurzeltorräte $\varnothing < 2$ mm in den Behandlungen der Feldexperimente gegenüber der unbehandelten Ausgangsvegetation (**Cap**) zu den Beprobungszeitpunkten im März 94 und April 95, bezogen auf 2 Bodentiefenbereichen (0 - 20 und 20 - 50 cm).

Vergleich mit Tiefe [cm]	Exp 4a				Exp 9a			
	Cap März 94		Cap April 95		Cap März 94		Cap April 95	
	0 - 20	20 - 50	0 - 20	20 - 50	0 - 20	20 - 50	0 - 20	20 - 50
	%	%	%	%	%	%	%	%
gebr	-4	34	-37	-4	7	26	-25	7
entst	-14	15	-44	-18	-12	10	-38	-6
P,E	-46	-36	-65	-54	-40	14	-58	-2
P,E,R	-29	14	-54	-19	-33	11	-53	-5

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstickung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

5.3.1 Frequenz der Wurzeln verschiedener Durchmesserklassen

5.3.1.1 Frequenz nach Beprobung mit der Bohrkernmethode

Die WMD für die Fraktionen der Grobwurzeln ($\varnothing \geq 5$ mm) in den Ausgangsvegetationen und die der Schwach- und Grobwurzeln ($\varnothing \geq 2$ mm) in den Behandlungen, die mit Bohrkernen (100 ml) erhoben wurden, wurden bislang nicht im Detail vorgestellt und besprochen. Der Grund hierfür liegt in den Unsicherheiten bei der Abschätzung, die sich aus den starken Streuungen der Einzelwerte ergeben. Wie aus Abbildung 19, Abbildung 22 und Tabelle 25 ersichtlich wird, erwies sich die Zusammensetzung der Massenanteile verschiedener Größenklassen in den Proben als sehr variabel. Generell galt, daß Wurzelstücke mit zunehmendem Durchmesser abnehmende Frequenzen in den Stechzylinderproben aufwiesen. Unter Einbeziehung aller Tiefenstufen waren Feinst- ($\varnothing \leq 1$ mm) und Feinwurzeln ($\varnothing > 1$ bis ≤ 2 mm) mit 99 bzw. 46 % Vorkommen die häufigsten Durchmesserfraktionen. Die

gering verholzten Schwachwurzeln ($\varnothing > 2$ bis ≤ 5 mm) und die in der Regel stark verholzten groben ($\varnothing > 5$ bis ≤ 10 mm) und sehr groben Wurzeln ($\varnothing > 10$ mm) kamen wesentlich seltener vor (21 %, 6 %, 2 %). Geringe Frequenzen wurden auch bei den Nekromassen beobachtet.

Die variable Frequenz unterschiedlicher Durchmesserklassen in den Wurzelproben führte zu Schwierigkeiten bei der Berechnung der WMD in den einzelnen Tiefenstufen und darüber hinaus zu Problemen bei der Abschätzung der Gesamtvorräte des Wurzelsystems. Nach den Ergebnissen der Bohrkernmethode betrug der Beitrag der Schwach- und Grobwurzeln an Vorräten lebender Wurzelmasse bis 50 cm Bodentiefe durchschnittlich 42 % der Gesamtmasse und war aus diesem Grund nicht vernachlässigbar. Im Durchschnitt lagen die Vorräte in der ungestörten Ausgangsvegetation (**Cap**) bis in 50 cm Bodentiefe bei $7,7 \text{ t*ha}^{-1}$ im Exp 4a und $9,5 \text{ t*ha}^{-1}$ im Exp 9a. Die Werte von **gebr**, **entst**, **P,E** und **P,E,R** waren sehr uneinheitlich und wiesen keinen Bezug zu den durchgeführten Behandlungen auf. Im Durchschnitt betrugen sie im Exp 4a $3,5$ und $10,4 \text{ t*ha}^{-1}$. Es ist anzunehmen, daß aufgrund der geringen Stirnfläche des Handbohrers und der damit verbundenen niedrigen Trefferhäufigkeit die heterogene Verteilung der groben Wurzeln im Boden unvollständig erfaßt wurde. Zudem ergibt sich bei dieser Methode die Schwierigkeit, daß die Beprobungen nur zwischen den Pflanzen gebohrt werden können. Die Grobwurzeln unterhalb oder unmittelbar neben den Stammbasis werden so nicht erfaßt. Dadurch führt die Bohrkernmethode zu einer Unterschätzung der Masse von Wurzeln größerer Durchmesserklassen.

Tabelle 25: Frequenz von Wurzeln verschiedener Durchmesserklassen in Bohrkernen (100 ml Volumen), durchschnittliche und maximale Wurzelmasse und Variationskoeffizienten über alle Tiefenstufen (0 - 50 cm).

Wurzel- durchmesser	n Proben	Vorkommen in Probe [%]	WMD-Mittel [mg*cm^{-3}] \pm StE	Maximum [mg*cm^{-3}]	Variations- koeffizient %
≤ 1 mm	2298	99	$1,36 \pm 0,05$	25,32	177
1 - 2 mm	2299	46	$0,41 \pm 0,02$	9,20	219
2 - 5 mm	2298	21	$0,50 \pm 0,03$	16,67	299
5 - 10 mm	2297	6	$0,43 \pm 0,05$	34,69	511
> 10 mm	2295	2	$0,45 \pm 0,08$	75,86	886
Totwurzeln	2298	10	$0,12 \pm 0,02$	16,38	630

5.3.1.2 Verteilung von Schwach- und Grobwurzeln in Profilwänden

Die Ergebnisse der Pofilwanduntersuchungen zeigten in beiden Feldexperimenten und in allen Behandlungen eine Konzentration der Wurzeln auf die oberen 20 cm des Bodens. Im Exp 4a waren, gemittelt über alle Behandlungen, 78 - 90 % der Wurzeln aller Durchmesserfraktionen $\varnothing > 2$ mm in diesem Bodenbereich lokalisiert, im Exp 9a dagegen nur 51 - 66 %. Nur die Durchmesserklasse $\varnothing > 20$ mm wurde mit 52 % (Exp 4a) und 72 % (Exp 9a) häufiger in 20 - 50 cm Tiefe beobachtet (Abbildung 25).

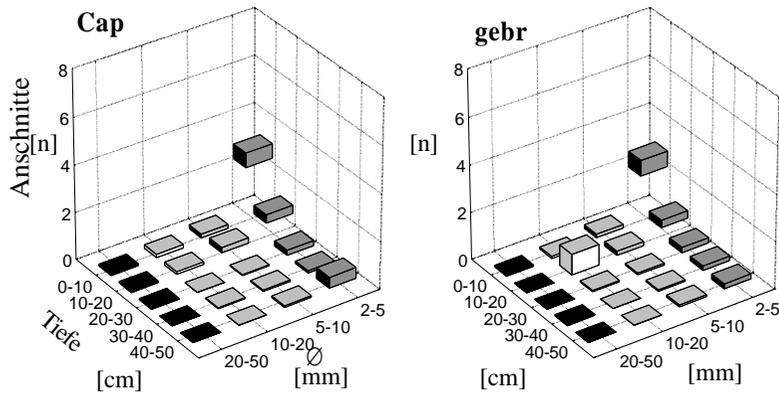
Die Rangfolge der Frequenz in den Profilwänden nahm ab von den kleinen zu den größeren Wurzel durchmessern (2 - 5 > 5 - 10 > 10 - 20 > 20 mm). Größere Durchmesser klassen wiesen sehr geringe Häufigkeiten auf (Tabelle 26).

Tabelle 26: Durchschnittliche Anzahl der Wurzelanschnitte \pm Standardfehler bis 50 cm Bodentiefe, vier verschiedene Durchmesser klassen in den Feldexperimenten Exp 4a und Exp 9a, unbehandelte Ausgangsvegetation (**Cap**) und die Behandlungen **gebr**, **entst** und **P,E,R**. Signifikante Mittelwertsunterschiede wurden mit dem LSD-Test bei $p \leq 0,05$ ermittelt.

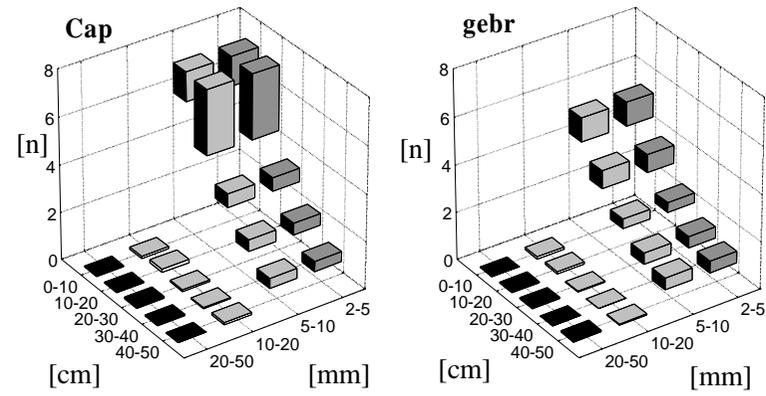
Exp	Behandlung	2 - 5 mm	5 - 10 mm	10 - 20 mm	> 20 mm
		[n]	[n]	[n]	[n]
4a	Cap	5,0 \pm 1,9 a	0,8 \pm 1,0 a	0,3 \pm 0,8 ns	0,1 \pm 0,6 ns
	gebr	4,2 \pm 1,6 a	0,8 \pm 1,0 a	0,6 \pm 1,7 ns	0,1 \pm 0,5 ns
	entst	2,5 \pm 1,6 b	0,4 \pm 0,9 b	0,2 \pm 0,7 ns	0,1 \pm 0,6 ns
	P,E,R	0,9 \pm 1,1 c	0,1 \pm 0,6 c	0,0 \pm 0,4 ns	0,1 \pm 0,6 ns
9a	Cap	18,8 \pm 3,6 a	1,7 \pm 1,3 a	0,5 \pm 0,9 a	0,2 \pm 0,7 ns
	gebr	12,7 \pm 2,4 b	1,2 \pm 1,1 ab	0,3 \pm 0,7 ab	0,1 \pm 0,5 ns
	entst	9,5 \pm 2,1 b	1,2 \pm 1,0 ab	0,1 \pm 0,6 b	0,2 \pm 0,6 ns
	P,E,R	4,4 \pm 2,1 c	1,1 \pm 1,2 b	0,2 \pm 0,8 ab	0,1 \pm 0,7 ns

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

In beiden Experimenten äußerten sich die Behandlungseffekte in nachweisbaren Verringerungen der Anzahl der Durchmesser klassen 2 - 5 und 5 - 10 mm. Im Exp 9a konnte auch eine Verringerung der Fraktion \varnothing 10 - 20 mm gezeigt werden (Tabelle 26). Besonders in den Behandlungen mit Bodeneingriffen (**entst** und **P,E,R**) wurden die Abnahmen der Häufigkeiten durch starke Verringerungen im oberen Bodenbereich bis 20 cm Tiefe bestimmt.



Exp 4a



Exp 9a

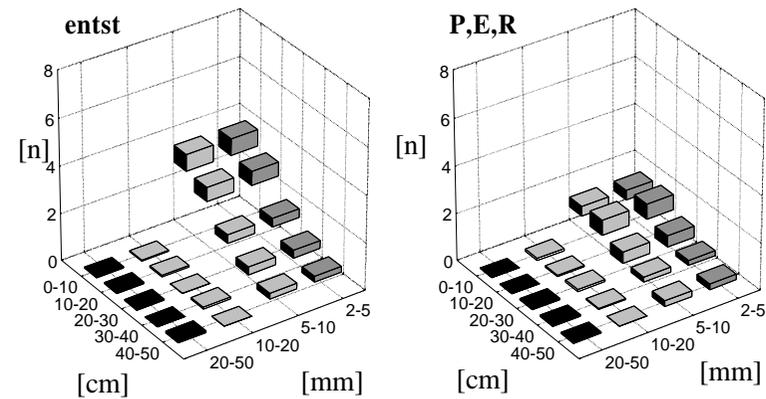
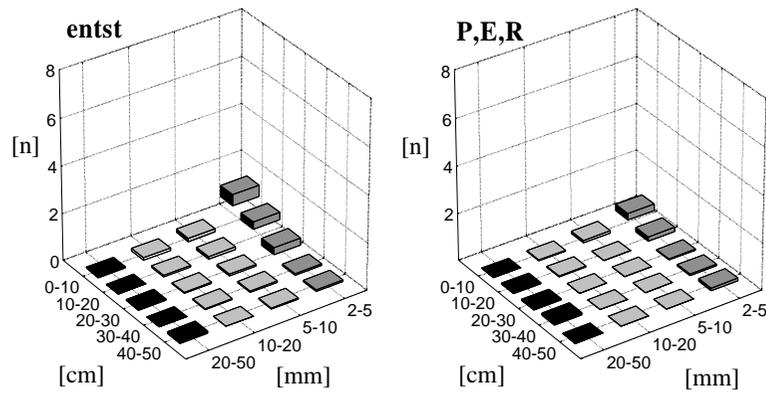


Abbildung 25: Häufigkeit (Anzahl Wurzeln pro 10 cm x 10 cm Fläche) des Vorkommens der Wurzeln verschiedener Durchmesser klassen (2 - 5, 5 - 10, 10 - 20 und > 20 mm; x-Achse), in 5 Tiefenstufen bis 50 cm Bodentiefe (y-Achse). Die Höhe des Balkens gibt den Mittelwert \pm Standardfehler des Mittelwertes an.

Im Vergleich der Feldexperimente lagen die Häufigkeiten der Durchmesserklassen 2 - 5 und 5 - 10 mm bis 50 cm Tiefe in der Ausgangsvegetation und allen identischen Behandlungen des Exp 9a signifikant höher als im Exp 4a (t-Test, $p \leq 0,05$). Für die Fraktion \varnothing 10 - 20 mm konnten höhere Häufigkeiten nur für die Behandlung **P,E,R** nachgewiesen werden. Nur bei sehr groben Wurzeln ($\varnothing > 20$ mm) ließen sich keine Unterschiede zwischen den Feldexperimenten aufzeigen

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß das Wurzelsystem der Ausgangsvegetation im Exp 9a aufgrund des fortgeschrittenen Entwicklungsstadiums einen signifikant höheren Anteil größerer Wurzeln hatte als Exp 4a. Die Behandlungen reduzierten die Anzahl der Schwach- und Grobwurzelfraktionen in beiden Feldexperimenten. Deren Effekte wirkten sich jedoch im Exp 4a besonders stark aus, so daß angenommen werden kann, daß hier das ohnehin schwächer entwickelte Schwach- und Grobwurzelsystem durch die Behandlungen mit Bodeneingriffen besonders stark geschädigt wurde.

5.3.2 Wurzelvorräte bestimmt mit Bodenmonolithen

Die Profilwanduntersuchungen zeigten, daß Schwach- und Grobwurzeln im Exp 9a häufiger vertreten waren als im Exp 4a. Nun soll dargestellt werden, wie sich die höhere Frequenz dieser Fraktionen auf die Schätzung der Wurzelvorräte auswirkte. Ergänzend sind die Feinwurzelsvorräte dargestellt, die auch mittels dieser Methode bestimmt wurden.

In den oberen 50 cm Bodentiefe beliefen sich die Wurzelvorräte je nach Feldexperiment, Ausgangsvegetation und Behandlung zwischen 4,8 und 29,0 t*ha⁻¹. Die 2faktorielle ANOVA wies für die Vorräte der Feinwurzeln-, Schwach- und Grobwurzelmasse sowie die Gesamtvorräte Unterschiede zwischen den Feldexperimenten ($F_{(\text{Exp} \times \text{mm}=1,64)}=28,4$, $p \leq 0,001$, $F_{(\text{Exp} \times \text{mm}=1,64)}=18,5$, $p \leq 0,001$, $F_{(\text{gesamt}=1,64)}=24,3$, $p \leq 0,001$) und den Behandlungen ($F_{(\text{Exp} \times \text{mm}=1,64)}=5,2$, $p \leq 0,01$, $F_{(\text{Exp} \times \text{mm}=1,64)}=20,2$, $p \leq 0,001$, $F_{(\text{gesamt}=1,64)}=16,4$, $p \leq 0,001$) nach. Interaktionen bei $p \leq 0,05$ wurden nicht nachgewiesen. Auch für die Nekromassen konnten keine Unterschiede nachgewiesen werden.

Experimentsinterne Behandlungsunterschiede wurden für die lebenden Wurzelanteile in der Tiefenstufe 0 - 50 cm zwischen den manuellen und der maschinellen Behandlung (Exp 4a und Exp 9a mit Ausnahme der Feinwurzeln ≤ 2 mm) gezeigt. Unterschiede zwischen der **Capoeira** und **gebr** wurden nur im Fall der Feinwurzeln im Exp 4a nachgewiesen (LSD-Test, $p \leq 0,05$). Dabei lagen die Größenordnungen der lebenden Wurzelfraktionen in allen

Behandlungen des Exp 9a durchgehend höher als im Exp 4a (Tabelle 27). Unter Verzicht auf Behandlungsstratifizierung waren die Vorräte sowohl der Feinwurzeln ($2,0$ zu $5,1 \text{ t*ha}^{-1}$) und der gröberen Durchmesserfraktionen ($8,3$ zu $14,9 \text{ t*ha}^{-1}$) als auch die Gesamtvorräte lebender Wurzelmasse ($19,9$ zu $10,4 \text{ t*ha}^{-1}$) im Exp 9a höher als im Exp 4a (t-Test, $p \leq 0,05$).

Tabelle 27: Wurzelmassenvorräte in den Behandlungen **gebr**, **entst**, **P,E** und **P,E,R** der Feldexperimente Exp 4a und Exp 9a bestimmt durch die Entnahme Bodenmonolithen in den Tiefenstufen 0 - 50 und 50 - 100 cm.

Tiefe	Exp		< 2 mm	> 2 mm	tot	gesamt
			[t*ha ⁻¹]	[t*ha ⁻¹]	[t*ha ⁻¹]	[t*ha ⁻¹]
0 - 50	4a	Cap	3,9 ±0,6 a	13,4 ±4,6 a	3,3 ±1,5 ns	20,6 ±5,2 a
		gebr	1,8 ±0,4 b	11,9 ±2,5 a	1,9 ±0,5 ns	15,6 ±6,8 ab
		entst	1,6 ±0,2 b	7,0 ±1,3 a	1,3 ±0,3 ns	9,9 ±1,3 b
		P,E,R	0,8 ±0,2 c	1,1 ±0,2 b	2,9 ±0,6 ns	4,8 ±0,7 c
	9a	Cap	6,5 ±1,3 ns	21,7 ±2,2 a	0,7 ±0,2 a	28,9 ±3,7 a
		gebr	5,8 ±1,3 ns	21,4 ±5,6 a	1,8 ±0,6 a	29,0 ±5,6 a
		entst	4,5 ±1,2 ns	10,3 ±1,0 b	2,2 ±0,5 ab	17,0 ±1,8 ab
		P,E,R	3,5 ±0,7 ns	6,0 ±1,9 b	2,9 ±0,4 b	12,3 ±2,5 b
50 -100	4a	Cap	0,2 ±0,1 ns	0,9 ±0,2 ns	0,3 ±0,1 ns	1,4 ±0,2 ns
		gebr	0,1 ±0,1 ns	1,3 ±0,2 ns	0,1 ±0,1 ns	1,5 ±0,2 ns
		entst	0,2 ±0,1 ns	1,2 ±0,1 ns	0,2 ±0,1 ns	1,5 ±0,3 ns
		P,E,R	0,2 ±0,1 ns	0,6 ±0,3 ns	0,3 ±0,1 ns	1,0 ±0,3 ns
	9a	Cap	0,9 ±0,1 ns	3,9 ±1,7 ns	0,0 ±0,0 ns	4,8 ±1,4 ns
		gebr	1,1 ±0,3 ns	3,8 ±0,5 ns	1,0 ±0,5 ns	5,9 ±0,9 ns
		entst	0,1 ±0,1 ns	0,8 ±0,3 ns	6,5 ±3,8 ns	7,4 ±3,1 ns
		P,E,R	0,7 ±0,2 ns	5,5 ±2,4 ns	0,3 ±0,2 ns	6,5 ±2,4 ns

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

In den Behandlungen mit Bodeneingriffen kam es zu den stärksten Rückgängen in der Fraktion $\varnothing > 2 \text{ mm}$. Die Veränderungen der lebenden Gesamtmasse wurde in erster Linie durch Abnahmen dieser Wurzelfraktion bewirkt. Bezogen auf die **Capoeira** verringerten sich die Vorräte der Schwach- und Grobwurzeln in den Behandlungen **gebr**, **entst** und **P,E,R** im Exp 4a um 11, 48 und 92 % sowie um 1, 53 und 73 % im Exp 9a.

Die Feinwurzelmassen, die über die Entnahme von Bodenmonolithen ermittelt wurden, waren durchgängig niedriger als diejenigen der Bohrkernmethode. Die Differenzen der Vorräte variieren zwischen $1,0$ und $2,2 \text{ t*ha}^{-1}$ bzw. 14 - 72 % (vergleiche Abschnitt 5.1.2 und 5.2.2). Der Grund für die Differenzen lag im Extraktionsverfahren des Wurzelmaterials aus

dem Boden. Die Wurzeln der Bodenmonolithe wurden im Feld über Wurfsieben mit 2 cm Maschenweite trocken ausgesiebt, wodurch unvermeidliche Verluste auftraten. Im Gegensatz dazu wurden die Wurzeln aus den Bohrkernen über Feinsieben ausgewaschen; mithin sind geringere Verluste zu erwarten. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, daß die Ergebnisse der Bohrkernmethode die Feinwurzelvorräte bis in 50 cm Bodentiefe besser repräsentieren.

In der Tiefenstufe 50 - 100 cm konnten keine Unterschiede zwischen den Feldexperimenten und den Behandlungen identifiziert werden. Im Durchschnitt über alle Behandlungen betragen die Vorräte lebender Wurzelmasse 1,2 (Exp 4a) und 4,2 t*ha⁻¹ (Exp 9a).

Die Nekromassen in den oberen 50 cm variierten nur wenig zwischen den Behandlungen innerhalb der Feldexperimente aber auch zwischen den Feldexperimenten (0,7 - 3,3 t*ha⁻¹) und waren nicht signifikant. Die höchsten, aber auch die niedrigsten, Nekromassen wurden in den Ausgangsvegetationen (**Cap**) gefunden. Bei ausschließlicher Betrachtung der Behandlungen deutet sich in beiden Feldexperimenten die Tendenz an, daß die Nekromassen in der maschinellen Behandlung (**P,E,R**) gegenüber den manuellen Behandlungen (**gebr, entst**) erhöht waren. Signifikante Unterschiede konnten aber nur im Exp 9a nachgewiesen werden (LSD-Test, p≤0,05). In der Tiefenstufe 50 - 100 cm traf die Beprobung in der Behandlung **entst** des Exp 9a eine große abgestorbene Grobwurzel, die den Mittelwert in dieser Behandlung stark erhöhte. Ansonsten war der Beitrag der Nekromasse zu den Gesamtvorräten in allen anderen Behandlungen und auch in den Ausgangsvegetationen der Feldexperimente gering. Im Mittel über alle Behandlungen wurden in dieser Tiefenstufe im Exp 4a 0,2 t*ha⁻¹ und im Exp 9a, unter Vernachlässigung des einen erhöhten Meßwertes, 0,4 t*ha⁻¹ Nekromasse ermittelt.

Die gesamten Wurzelvorräte in den Ausgangsvegetationen und den Behandlungen der Feldexperimente wurden am besten charakterisiert durch die Kombination der Ergebnisse beider Untersuchungsmethoden. In Abbildung 26 wurden die Feinwurzelvorräte ($\varnothing \leq 2$ mm) der Bohrkernmethode bis 50 cm Tiefe eingesetzt und ergänzt um die Werte der Feinwurzelvorräte unterhalb 50 cm Bodentiefe aus den Entnahmen der Bodenmonolithe. Die Vorräte der Schwach- und Grobwurzeln $\varnothing > 2$ mm sowie die der Nekromassen wurden den Ergebnissen der Bodenmonolithe entnommen. Somit ergaben sich bei einer Bezugstiefe von 100 cm Gesamtvorräte von 7,9 - 23,6 t*ha⁻¹ im Exp 4a und 20,1 - 35,9 t*ha⁻¹ im Exp 9a. Unter der Annahme, daß die Behandlungseffekte in der nicht beprobten Behandlung **P,E** zu einer gleich

starken Verringerung der Grobwurzelfraktion geführt haben und auch die Vorräte in 50 - 100 cm Tiefe sich nicht von **P,E,R** unterscheiden, ergeben sich für **P,E** Gesamtvorräte von 7,1 (Exp 4a) und 19,9 t*ha⁻¹ (Exp 9a).

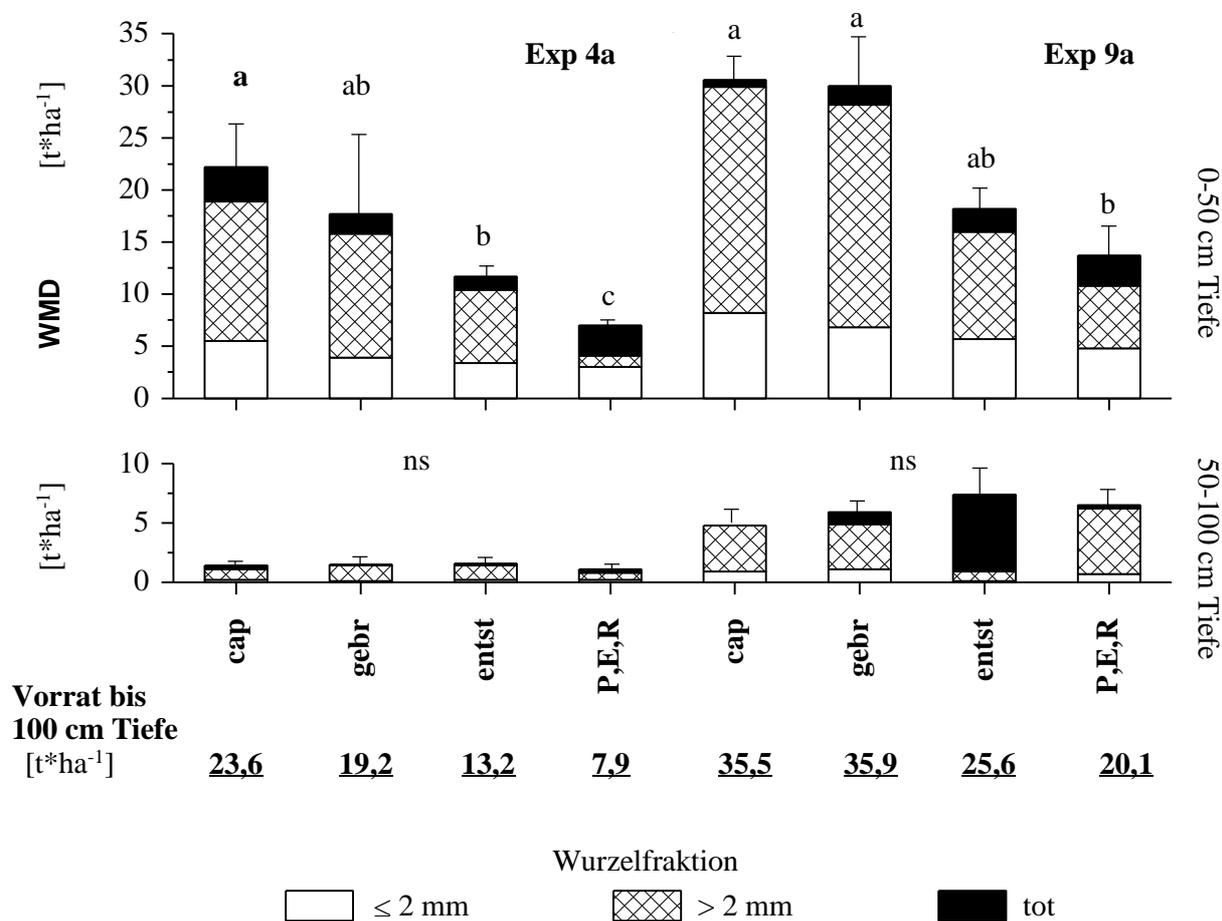


Abbildung 26: Vorräte an Wurzelmasse in zwei Tiefenstufen, Feinwurzelvorräte von 0 - 50 cm nach der Bohrkernmethode, Feinwurzelvorräte von 50 - 100 cm sowie Grobwurzel- und Nekromassenvorräte nach der Monolithmethode in t*ha⁻¹ ± Standardfehler (oberer Teil 0 - 50 cm, n=9, unten 50 - 100 cm, n=3, links Feldexperiment 4a, rechts 9a). Die angegebenen Signifikanzen beziehen sich auf die Gesamtmassen aller Fraktionen

Aus der Kombination der Werte beider Methoden wird deutlich, daß der Anteil der Schwach- und Grobwurzeln an den Gesamtvorräten der Wurzelmasse wesentlich höher war als allein nur die Bohrkernmethode ergeben hätte (durchschnittlich 42 %, Abschnitt 5.3.1.1). Der Anteil betrug in Flächen ohne Bodeneingriffe (**Cap** und **gebr**) im Exp 4a 73 % (bis 50 cm Tiefe), im Exp 9a 74 % und verringerte sich bei **entst** auf 67 und 64 %. In der Behandlung **P,E,R** des Exp 9a betrug der Massenanteil der Fraktion 55 %, im Exp 4a 26 %. Als einziger

Fall war im Exp 4a die Verringerung der Schwach- und Grobwurzeln so intensiv, daß hier der Massenanteil der Feinwurzelnvorräte den der größeren Fraktionen übertraf.

5.4 Zusammenfassung und Diskussion

Die Wurzelmasse aller Durchmesserfraktionen, die Startwerte **a** und der Proportionalitätsfaktors **c** waren im Exp 9a sowohl in der Ausgangsvegetation (**Cap**) zu allen 3 Beprobungszeitpunkten als auch in den Behandlungen (**gebr**, **entst**, **P,E** und **P,E,R**) zum Versuchsende durchgehend höher als im Exp 4a. Bis zum Versuchsende verminderten die Flächenvorbereitungsbehandlungen in beiden Experimenten die Massenvorräte aller Wurzelfraktionen im Vergleich zur Ausgangsvegetation. Die Reihenfolge der Wurzelmassevorräte verlief in der Weise **ungestörte Ausgangsvegetation > manuelle Behandlungen > maschinelle Behandlungen**, wobei die Werte in Exp 9a stets höher lagen als in Exp 4a.

Der Bodenbereich der intensivsten Durchwurzelung mit Fein- ($\varnothing \leq 2$ mm) aber auch Schwach- und Grobwurzeln ($\varnothing \leq 10$ mm) war in beiden Ausgangsvegetationen (**Cap**) oberflächennah lokalisiert. Die Hälfte der Feinwurzelmasse akkumulierte sich in den oberen 10 - 13 cm des Bodens. Die Ausdehnung dieses Akkumulationshorizontes blieb über den gesamten Jahresverlauf in diesem Tiefenbereich konstant.

Die Behandlungen bewirkten die stärksten Massentrückgänge an oberflächennah gelegenen Wurzeln. Brennen (**gebr**) verringerte die Massenvorräte in beiden Feldexperimenten besonders in der Feinwurzelfraktion ($\varnothing \leq 2$ mm), während die Schwach- und Grobwurzelfraktion nicht negativ beeinflusst wurde. Die Behandlungen mit Bodeneingriffen verminderten neben der Feinwurzelmasse besonders stark die Schwach- und Grobwurzelmasse sowie deren Vorkommenshäufigkeit in den oberen 20 cm des Bodens (**gebr > entst > P,E,R**).

Ein bedeutender Unterschied zwischen beiden Feldexperimenten wurde anhand der größeren Ausdehnung des $T_{1/2}$ -Horizontes für die Feinwurzelnvorräte bei den maschinellen Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**) im Exp 9a sichtbar. Die Verringerungen der Fraktion $\varnothing \leq 2$ mm, die durch die Störungen im oberen Bodenbereich hervorgerufen wurden, wurden durch verstärkte Produktion in größeren Tiefen ausgeglichen. Im Exp 4a hingegen fand keine Produktionsverlagerung in tiefere Bodenbereiche statt, wie die flachen $T_{1/2}$ -Horizonte belegen. Dieser Regenerationsvorteil für die Vegetation des Exp 9a im Vergleich zu Exp 4a begründete

sich aus dem fortgeschritteneren Entwicklungsstadium des Schwach- und Grobwurzelsystems, wie die signifikant höheren Frequenzen großvolumiger Wurzeln bis $\varnothing \leq 20$ mm in **P,E,R** zeigten. Von den tiefer gelegenen Schwach- und Grobwurzeln ging nach den störenden Eingriffen die Neubildung und Erhaltung des Feinwurzelsystems aus. Diese Annahme wird durch die Ergebnisse der multivariaten Datenanalyse unterstützt, nach der für die Parameter **a**, **c** und die Massenvorräte das Alter der Ausgangsvegetation den Haupteinflußfaktor darstellte, Behandlungseffekte hingegen einen untergeordneten Einfluß besaßen. Die Untersuchungen von NUÑEZ (1995) deuten darauf hin, daß Störungen des Grobwurzelsystem auch langjährige, negative Auswirkungen auf die Feinwurzelmasse in tieferen Bodenbereichen haben. Nach 10jähriger Regenerationsdauer wurde unter Brachevegetation, die sich auf einer entstockten Fläche entwickelt hatte, gegenüber gleichaltriger Sekundärvegetation mit traditioneller Brandrodung Verringerungen der Feinwurzelmassenvorräte um 74 % in Bodentiefen unterhalb 25 cm beobachtet.

Nur in **gebr** wurden die behandlungsbedingten Verluste an Feinwurzelmasse ($\varnothing \leq 2$ mm bis 50 cm Tiefe) innerhalb von einem Jahr ausgeglichen. Gegenüber der Ausgangsvegetation zum Zeitpunkt der ersten Beprobung wurden sogar leichte Vorratserhöhungen von 5 - 12 % beobachtet. In allen anderen Behandlungen beider Experimente traten Rückgänge auf, deren Größenordnung in den entstockten Flächen (**entst**, 5 - 7 %) moderat und in den maschinellen Behandlungen (19 - 44 %) wesentlich stärker war. RAICH (1980) berichtet von einer 5jährigen Sekundärvegetation in Puerto Rico, in der 1 Jahr nach Fällen (ohne Brand) noch 92 % der anfänglichen Feinwurzelmasse ($\varnothing \leq 2$ mm, 0 - 50 cm Tiefe) vorgefunden wurden. KANGAS (1992) ermittelte in Regenwäldern Puerto Ricos ein Jahr nach dem Schlagen der Vegetation 56 %, und nach 4 Jahren Wachstum 71 % Feinstwurzelregeneration ($\varnothing \leq 1$ mm, 0 - 30 cm). SILVER et al. (1996b) hingegen beobachtete in Windbruchlichtungen puertoricanischer Regenwälder dramatische Abnahmen der Feinwurzelmassenvorräte, die für sechs Jahre auf weniger als 10 % des Ausgangsniveaus verblieben.

Die Zunahme grober Wurzeln in der Sekundärvegetation stellt einen langsamen Prozeß dar (COUTTS, 1987, BERISH & EWEL, 1988). Eine Veränderung der Vorräte dieser Fraktion während der Untersuchungsdauer konnte nicht gezeigt werden. WIESENMÜLLER et al. (1995) ermittelten über den Vergleich von Chronosequenzen bis zum sechsten Jahr der Sekundärwaldregeneration nur Vorratserhöhungen durch Zunahme der Feinwurzelfraktion (\varnothing

≤ 2 mm). Signifikante Erhöhungen der Grobwurzelmassen konnten im Gegensatz dazu erst in 20jähriger Vegetation beobachtet werden. NUÑEZ (1995) beobachtete in 10jähriger Brachevegetation, nach Pfefferanbau mit manueller Entstockung, anhaltende Verminderungen der Schwach- und Grobwurzeln um ca. 40 % gegenüber gleichalterigen Sekundärvegetationen nach traditioneller Brandrodung. Aufgrund der niedrigen Wachstumsgeschwindigkeit dieser Fraktion kann davon ausgegangen werden, daß die starken Verminderungen der Grobwurzelvorräte in den mechanisierten Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**) auf Jahre hinaus nicht ersetzt werden können.

Im Exp 9a kam es mit zunehmender Destruktivität der Behandlungen zur Erhöhung der Nekromassenvorräte gegenüber der Ausgangsvegetation (**Cap** < **gebr** < **entst** < **P,E,R**). In **gebr** standen Rückgängen der Lebendmasse bis zum Versuchsende Erhöhungen der Nekromasse gegenüber, die nahezu deckungsgleich waren. In den Behandlungen **entst** und **P,E,R** hingegen fanden sich die Verringerungen der Lebendmasse von 8,5 - 15,8 t*ha⁻¹ (0 - 50 cm Tiefe) nur zu 16 bzw. 15 % in der Nekromasse wieder. Im Exp 4a waren es 61 (**gebr**), 15 (**entst**) und 19 % (**P,E,R**). Die Verringerungen der lebenden Wurzelvorräte spiegelten sich auch nicht in erhöhten Kohlenstoffgehalten im Oberboden wider (bis 30 cm Tiefe). Entgegen den Erwartungen wurden in **entst** und **P,E,R** verringerte C-Gehalte gegenüber **Cap** und **gebr** bestimmt. Dies läßt den Schluß zu, daß die manuelle Entstockung zu einem hohen Export von Wurzelmasse führte. Nach KATO (1998a) betrug die Masse extrahierter Wurzelstöcke in einer 3 - 4jährigen und einer 9 - 10jährigen Sekundärvegetation 12,7 bzw. 13,3 t*ha⁻¹. Diese Werte beinhalten noch oberirdische Stammreste der geschlagenen Vorgängervegetation. Nach einer eigenen, eher konservativen Schätzung entfallen ca. 50 - 70 % der Gesamtmasse auf Wurzelanteile. Daraus läßt sich ableiten, daß die manuelle Entstockung in den Feldexperimenten zu einem Export von 6,4 - 9,3 t*ha⁻¹ Wurzelmasse geführt hat.

Weiterhin deuten die geringen Nekromassen und C-Gehalte darauf hin, daß Pflügen und Eggen nicht zu der erwarteten Erhöhung des Anteiles organischer Masse im Boden führte, sondern daß die maschinelle Rodung zu Exporten organischer Substanz aus den Flächen geführt hat. Dieser Befund deckt sich mit Untersuchungen von DIEKMANN (1997), der in seinen Versuchsflächen 28 Wochen nach maschineller Flächenbearbeitung keine Änderungen der organischen Substanz im Boden beobachtete. Der vermeintliche Vorteil, daß die maschinellen Flächenvorbereitungen durch Verzicht auf den Brand und durch Unterpflügen

des umgebrochenen, organischen Materials zur Verringerung von Kohlenstoffverlusten führen, kann nicht bestätigt werden.

Exemplarisch am Beispiel der ungestörten Ausgangsvegetationen (**Cap**) beider Feldexperimente wurden innerhalb eines Jahres Zu- und Abnahmen der Fein- und Schwachwurzelmasse beobachtet, die den jahreszeitlichen Veränderungen des Niederschlagsangebotes folgten. Die während der Untersuchungsdauer ermittelten Verringerungen von $1,7 \text{ t*ha}^{-1}$ und Zunahmen bis zu $4,9 \text{ t*ha}^{-1}$ (bis 50 cm Tiefe) beruhten nur auf 3 Probennahmen. Diese Nettobilanzierung kann deshalb nur als erste Näherung für die saisonale Mortalität der Wurzelmasse und den kurzfristigen Zuwachs innerhalb eines Jahres verstanden werden. Die Ergebnisse müßten durch ein kontinuierliches Beprobungsschema mit kürzeren Sammelintervallen unter Berücksichtigung der Phänologie der Vegetation überprüft werden (SINGH et al., 1984, VOGT et al., 1986, SANTANTONIO & GRACE, 1987). Dennoch konnte gezeigt werden, daß ein kontinuierlicher Eintrag organischen Materials durch das Absterben von Fein- und Schwachwurzeln der Sekundärvegetation stattfindet. Dies stellt einen unter agronomischen Gesichtspunkten wichtigen Vorgang dar, da er zur Verbesserung der physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften sowie der bodenbiologischen Aktivität beiträgt (GOSS, 1991).

Die Entnahme von Bohrkernen erwies sich als geeignete und sensible Methode zur Bestimmung der Vorräte der Feinst- und Feinwurzelfractionen ($\varnothing \leq 2 \text{ mm}$). Mit Hilfe der Modellrechnungen konnten weitere Parameter wie der Startwert, die Abnahmerate der Feinwurzelmasse sowie die $T/2$ -Bodenbereiche zur Identifizierung von Unterschieden zwischen den Altersstufen der Ausgangsvegetation und den Behandlungen der Feldexperimente eingesetzt werden. Hingegen lieferte die Entnahme von Bodenmonolithen die besseren Ergebnisse für die Vorratsbestimmung der Wurzelfractionen $\varnothing > 2 \text{ mm}$. Dies wird deutlich durch den hohen Grad der Übereinstimmung der Schwach- und Grobwurzelmassen der ungestörten Ausgangsvegetation (**Cap**) mit den Werten in der Behandlung **gebr**. Mit dieser Methode konnten außerdem die Verminderungen der Vorräte bei Behandlungen mit Bodeneingriffen (**entst**, **P,E** und **P,E,R**) innerhalb jedes Feldexperimentes deutlich gemacht werden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Kombination der Ergebnisse beider Methoden zu einer besseren Abschätzung der Gesamtvorräte führte, als dies mit nur einer der beiden Wurzelentnahmetechniken möglich gewesen wäre.

In Tabelle 28 sind Literaturdaten zu den Wurzelvorräten tropischer Agroforstsysteme, Sekundärwaldvegetationen und Primärwäldern aufgelistet. Bei der Zusammenstellung der Auswahl wurden, sofern möglich, die Massen lebender Wurzelanteile aufgeführt. Um eine bessere Vergleichbarkeit mit den vorliegenden Daten zu gewährleisten wurden Untersuchungen ausgewählt, die in Tiefenbereichen um 50 cm arbeiteten. Zur besseren Einschätzung der Aussagekraft und für den Vergleich mit den vorliegenden Ergebnissen wurden, sofern verfügbar, die Wurzelentnahmemethoden dargestellt.

Gegenüber Vegetationen vergleichbarer Altersstufen fällt auf, daß die Schwach- und Grobwurzelvorräte der ungestörten Ausgangsvegetationen (**Cap**) und der Behandlung **gebr** vergleichsweise hohe Werte aufwiesen. Die in dieser Untersuchung ermittelten Vorräte erreichten Größenordnungen, die für wesentlich ältere Sekundärvegetationen sowie für Primärwälder berichtet wurden (Tabelle 28). Dafür dürften einerseits methodische Gründe verantwortlich sein, die in der Auswahl der Bestimmungsmethoden und geringen Wiederholungszahlen liegen. Bohrkern eignen sich nach eigenen Erfahrungen nur bedingt zur Bestimmung grober und holziger Wurzeln in Sekundärwaldvegetationen. Andererseits wurde in vielen der zitierten Untersuchungen ein spezielles Interesse auf die Massendynamik der Feinwurzeln gelegt und aus diesem Grund weniger Aufwand bei der Bestimmung der Schwach- und Grobwurzeln betrieben. Die Unterschiede können aber auch in der besonderen Bewirtschaftungsform der Sekundärwaldflächen in der Wald-Feld-Wechselwirtschaft begründet liegen. Im Laufe der langen Nutzungsgeschichte der Region wurde die floristische Zusammensetzung der Vegetation zugunsten solcher Arten verschoben, die eine erhöhte Feuerresistenz und die Fähigkeit zur vegetativen Regeneration aus unterirdischen Vegetationsanteilen besitzen (KAUFFMAN, 1991; KAUFFMAN et al., 1995, BAAR, 1997). Nach MIYANISHI & KELLMAN (1986) und BELL et al. (1996) zeichnen sich diese Arten durch besonders stark entwickelte unterirdische Biomassenanteile aus. Nur in den maschinellen Behandlungen, und dort besonders in der jüngeren Vegetation (Exp 4a), fielen die Vorräte vergleichsweise niedrig aus.

Für die Feinwurzelmassenvorräte wurden in entsprechenden Altersstufen ähnliche Größenordnungen im Vergleich mit der Literatur beobachtet. Im Überblick kann festgestellt werden, daß die Feinwurzelvorräte der Ausgangsvegetationen und der manuellen Behandlungen trotz wiederholter Rodungen und vorangegangener landwirtschaftlicher Nutzung gegenüber den Literaturdaten nicht erniedrigt sind. Nur in den maschinellen

Behandlungen, und wieder besonders in der jüngeren Vegetation (Exp 4a), fielen die Vorräte vergleichsweise niedrig aus.

Die Wurzellängendichte und die Längenvorräte bis in 50 cm Tiefe wiesen weder innerhalb noch zwischen den Feldexperimenten einheitliche Tendenzen auf, die in Bezug zur Altersstufe der Vegetation oder den Flächenvorbereitungen standen. Statistische Unterschiede zwischen Behandlungen oder Experimenten konnten nicht gezeigt werden.

Im Vergleich zu anderen Untersuchungen in Wald- oder Agroforstsystemen (SCHROTH & ZECH, 1995b; TORQUEBLAU & KWESIGA, 1996; INGLEBY et al., 1997; JONES et al., 1998) sind die Werte dieser Untersuchung um den Faktor 10 - 50 größer. Nur NEPSTAD et al. (1991, 1996) ermittelten unter verlassenen Weideflächen im nahegelegenen Paragominas in den oberen 10 cm des Bodens Wurzellängendichten, die mit $167 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-3}$ mit denen der Feldexperimente vergleichbar waren. Allgemein kann die Wurzellängendichte in den Experimenten als hoch eingestuft werden. Die $T_{1/2}$ -Bodenbereiche der Längenvorräte ($\leq \varnothing 2 \text{ mm}$) waren 11 cm im Exp 4a und 15 cm im Exp 9a noch oberflächennäher orientiert als die der Massenvorräte (13 cm, 18 cm).

Tabelle 28: Literaturdaten zu Wurzelvorräten in tropischen Sekundär- und Primärwaldvegetationen oder Agroforstsystemen, geordnet nach Alter der Vegetation; Sek.Veg. = Sekundärvegetation, k.A. = keine Angaben

Wurzeln in Streuauflage oder Mineralboden					[t*ha⁻¹]						
Autor	Jahr	Ort	Vegetation	Alter [a]	Steu- auflage	< 1mm	< 2 mm	> 2 mm	gesamt	Tiefe [cm]	Methode
Berish & Ewel	1988	Costa Rica	Monokultur Mais, Maniok, Cordia alliodora	0,5			1,5	8,2	9,7	50	Ausgrabungen einzelner Pflanzen
Wiesenmüller et al.	1995	Igarapé Açu	Kulturfläche nach Pfeffer	0,5					1,1	50	Bohrkernmethode, n=6
Torquebiau & Kwesiga	1996	Sambia	angereicherte Brache mit Sesbania sesban	1					0,8	50	Bohrkernmethode, n=6
Torquebiau & Kwesiga	1996	Sambia	angereicherte Brache mit Sesbania sesban	1					1,2	50	Bohrkernmethode, n=6
Núñez	1995	Igarapé Açu	Sek. Veg. nach Entstockung	1			0,1	2,3	2,4	50	Bohrkernmethode n=12, Monolithe 25x25x20cm
diese Untersuchung	1999	Igarapé Açu	Sek. Veg. P,E,R	1			3,0	1,1	4,1	50	Bohrkernmethode n=16, Monolithe 100x50x50cm
Sanford	1985	Rio Negro, Venezuela	Sek. Veg.	1			2,8	2,5	5,3	50	Monolithe 25x25x50cm
diese Untersuchung	1999	Igarapé Açu	Sek.Veg. entst.	1			3,4	7,0	10,4	50	Bohrkernmethode n=16, Monolithe 100x50x50cm
diese Untersuchung	1999	Igarapé Açu	Sek.Veg. P,E,R	1			4,8	6,0	10,8	50	Bohrkernmethode n=16, Monolithe 100x50x50cm
Núñez	1995	Igarapé Açu	Sek. Veg.	1			5,6	6,4	12,0	50	Bohrkernmethode n=12, Monolithe 25x25x20cm
diese Untersuchung	1999	Igarapé Açu	Sek.Veg. gebr	1			3,9	11,9	15,8	50	Bohrkernmethode n=16, Monolithe 100x50x50cm

Fortsetzung 1 von Tabelle 28:

Wurzeln in Streuauflage oder Mineralboden				[t*ha⁻¹]							
Autor	Jahr	Ort	Vegetation	Alter [a]	Litter- auflage	< 1mm	< 2 mm	> 2 mm	gesamt	Tiefe [cm]	Methode
Berish	1982	Costa Rica	Sek. Veg.	1		0,6	4,3	11,5	16,4	85	Monolithe 25x25x40cm Bohrkerne n=5-6
diese Untersuchung	1999	Igarapé Açu	Sek.Veg. entst.	1			5,7	10,3	16,0	50	Bohrkernmethode n=16, Monolithe 100x50x50cm
diese Untersuchung	1999	Igarapé Açu	Sek.Veg. gebr	1			6,8	21,4	28,2	50	Bohrkernmethode n=16, Monolithe 100x50x50cm,n=9
Kangas	1992	Puerto Rico	Sek. Veg.	1					2,9	50	Monolithe 30x30x20, nur Wurzeln ≤ Ø 5 mm
Raich	1980	Costa Rica	Sek.Veg.	1			2,6			50	Monolithe 10x10x50, n=2-10
Wiesenmüller et al.	1995	Igarapé Açu	Sek.Veg.	1,5					5,5	50	Bohrkernmethode, n=6
Torquebiau & Kwesiga	1996	Sambia	angereicherte Brache mit Sesbania sesban	2					1,3	50	Bohrkernmethode, n=6
Torquebiau & Kwesiga	1996	Sambia	angereicherte Brache mit Sesbania sesban	2					1,6	50	Bohrkernmethode, n=6
Sanford	1985	Rio Negro, Venezuela	Sek. Veg.	3			2,1	1,6	3,7	50	Monolithe 25x25x50cm
Wiesenmüller et al.	1995	Igarapé Açu	Sek.Veg.	3					5,6	50	Bohrkernmethode, n=6

Fortsetzung 2 von Tabelle 28:

Wurzeln in Streuauflage oder Mineralboden					[t*ha⁻¹]				Tiefe [cm]	Methode	
Autor	Jahr	Ort	Vegetation	Alter [a]	Litter- auflage	< 1mm	< 2 mm	> 2 mm			gesamt
Kangas	1992	Puerto Rico	Sek. Veg.	4					4,8	50	Monolithe 30x30x20, nur Wurzeln ≤ Ø 5 mm
diese Untersuchung	1999	Igarapé Açu	Sek.Veg.	4			5,5	13,4	18,9	50	Bohrkernmethode n=16, Monolithe 100x50x50cm
Núñez	1995	Igarapé Açu	Sek. Veg. nach Entstockung	5			3,8	4,5	8,3	50	Bohrkernmethode n=12, Monolithe 25x25x20cm
Berish & Ewel	1988	Costa Rica	Sek.Veg.	5			1,9	8,0	9,9	85	Monolithe 25x25x40cm Bohrkerne n=5-6
Fearnside, nach versch. Autoren	1996	Äquatorial- Süd- amerika	Sek. Veg.	5					13,8	k.A.	k.A.
Berish & Ewel	1988	Costa Rica	angereicherte Sek.Veg	5			1,6	12,7	14,3	85	Monolithe 25x25x40cm Bohrkerne n=5-6
Núñez	1995	Igarapé Açu	Sek. Veg.	5			7,7	8,6	16,3	50	Bohrkernmethode n=12, Monolithe 25x25x20cm
Raich	1980	Costa Rica	Sek.Veg.	5			2,9			50	Monolithe 10x10x50, n=2-10
Berish & Ewel	1988	Costa Rica	Imitation einer Sek. Veg.	5			1,5	15,3	16,8	85	Monolithe 25x25x40cm n=6, tiefer Bohrkerne n=5

Fortsetzung 3 von Tabelle 28:

Wurzeln in Streuauflage oder Mineralboden				[t*ha⁻¹]					Tiefe [cm]	Methode	
Autor	Jahr	Ort	Vegetation	Alter [a]	Litter- auflage	< 1mm	< 2 mm	> 2 mm			gesamt
Wiesenmüller et al.	1995	Igarapé Açu	Sek.Veg.	6					11,4	50	Bohrkernmethode, n=6
Arunachalam et al.	1996	NO-Indien	Sek. Veg.	7		2,7	1,2	0,5	4,4	30	Bohrkernmethode n=10
Sanford	1985	Rio Negro, Venezuela	Sek. Veg.	7			5,5	2,4	7,9	50	Monolithe 25x25x50cm
Núñez	1995	Igarapé Açu	Sek. Veg. nach Entstockung	7			4,7	6,3	11,0	50	Bohrkernmethode n=12, Monolithe 25x25x20cm
Núñez	1995	Igarapé Açu	Sek. Veg.	7			6,8	10,8	17,6	50	Bohrkernmethode n=12, Monolithe 25x25x20cm
Berish	1982	Costa Rica	Sek. Veg.	8		1,7	1,4	9,8	12,9	85	Monolithe 25x25x40cm n=6, darunter Bohrkerne n=5
diese Untersuchung	1999	Igarapé Açu	Sek.Veg.	9			8,2	21,7	29,9	50	Bohrkernmethode n=16, Monolithe 100x50x50cm
Núñez	1995	Igarapé Açu	Sek. Veg. nach Entstockung	10			4,4	8,4	12,8	50	Bohrkernmethode n=12, Monolithe 25x25x20cm
Núñez	1995	Igarapé Açu	Sek. Veg. nach Entstockung	10			8,1	13,2	21,3	50	Bohrkernmethode n=12, Monolithe 25x25x20cm
Garcia Restom	1998	Zona Bragantina,	Sek. Veg.	15				4,1		50	k.A.
Garcia Restom	1998	Zona Bragantina	Sek. Veg	15				4,4		100	k.A.
Arunachalam et al.	1996	NO-Indien	Sek. Veg.	16		4,5	2,7	2,2	9,4	30	Bohrkernmethode n=10

Fortsetzung 4 von Tabelle 28:

Wurzeln in Streuauflage oder Mineralboden				[t*ha⁻¹]							
Autor	Jahr	Ort	Vegetation	Alter [a]	Litter- auflage	< 1mm	< 2 mm	> 2 mm	gesamt	Tiefe [cm]	Methode
Saldarriaga & Uhl	1990	Venezuela	Sek. Veg.	18					20,0	50	k.A.
Fearnside, nach versch. Autoren	1996	Äquatori- ales Süd- amerika	Sek. Veg.	20					24,2	k.A.	k.A.
Wiesenmüller et al.	1995	Igarapé Açu	Sek. Veg.	20					34,9	50	Bohrkernmethode, n=6
Fearnside, nach versch. Autoren	1996	Äquatoria- les Süd- amerika	Sek. Veg.	30					27,7	k.A.	k.A.
Saldarriaga & Uhl	1990	Venezuela	Sek. Veg.	35					22,0	50	k.A.
Priess	1996	Venezuela	Sekundärwald	50	3,9		1,2			30	
Saldarriaga & Uhl	1990	Venezuela	Sek. Veg.	60					31,0	50	k.A.
Berish	1982	Costa Rica	Sek. Veg.	70		2,0	1,4	12,1	15,6	85	Monolithe 25x25x40cm n=6, darunter Bohrkerne=5
Fearnside, nach versch. Autoren	1996	Äquatoria- les Süd- amerika	Sek. Veg.	80					28,5	k.A.	k.A.
Saldarriaga & Uhl	1990	Venezuela	Sek. Veg.	80					42,0	50	k.A.
Saldarriaga & Uhl	1990	Venezuela	Terra Firma	200					58,0	50 (70)	k.A.
Kummerow et al.	1990	Mexiko	laubwerfender Trockenwald	k.A.					32,0	40	Bohrkernmethode
Parrotta & Lodge	1991	Puerto Rico	Primärwald nach Hurrikane Schaden	k.A.					4,2	10	Bohrkernmethode, n=5-13

Fortsetzung 5 von Tabelle 28:

Wurzeln in Streuauflage oder Mineralboden				[t*ha⁻¹]							
Autor	Jahr	Ort	Vegetation	Alter [a]	Litter- auflage	< 1mm	< 2 mm	> 2 mm	gesamt	Tiefe [cm]	Methode
Kangas	1992	Puerto Rico	submontaner Primärwald						8,2	50	Monolithe 30x30x20
Golley et al.	1990	Panama	Regenwald, Regenphase	k.A.					9,9	30	Monolithe 100x100x30, n=10
Gower	1987	Costa Rica	nährstoffreicher Regenwald	k.A.		2,0	4,0	6,0	12,0	50	Bohrkerne, n=3-5
Golley et al.	1990	Panama	Galleriewald	k.A.					12,2	30	Monolithe 100x100x30, n=10
Golley et al.	1990	Panama	Regenwald, Trockenphase	k.A.					12,6	30	Monolithe 100x100x30, n=10
Golley et al.	1990	Panama	Regenwald, prämontan	k.A.					12,7	30	Monolithe 100x100x30, n=10
Cavelier & Estevez	1996	Kolumbien	Montanwald, exploitiert	k.A.					13,9	25	Bohrkerne, n=3-5
Gower	1987	Costa Rica	nährstoffarmer Regenwald	k.A.		5,0	6,0	7,0	18,0	50	Bohrkerne, n=3-5
Klinge	1976 a,b	Manaus, Brasilien	Primärwald auf Podsol						27,5	90	Monolithe Fläche 0,25 m2, n=4 und 6
Klinge	1976 a,b	Manaus, Brasilien	Primarwald auf Latosol						37,2	107	Monolithe Fläche 0,25 m2, n=4 und 6
Sanford	1985	Rio Negro, Venezuela	Primärwald, Terra Firme				12,7	33,4	46,1	50	Monolithe 25x25x50cm
Sanford	1985	Rio Negro, Venezuela	Primärwald, Terra Firme		6,1	4,6	6,4	48,4	54,8	50	Monolithe 25x25x50cm

Fortsetzung 6 von Tabelle 28:

Wurzeln in Streuauflage oder Mineralboden					[t*ha⁻¹]				Tiefe [cm]	Methode	
Autor	Jahr	Ort	Vegetation	Alter [a]	Litter- auflage	< 1mm	< 2 mm	> 2 mm			gesamt
Sanford	1985	Rio Negro, Venezuela	Terra Firme, Caatinga	k.A.	6,8	6,5	9,7	90,5	100,2	50	Monolithe 25x25x50cm
Priess	1996	Venezuela	Primärwald, mittelhoch		2,0		1,1			30	k.A.
Priess	1996	Venezuela	Primärwald, niedrig		2,0		1,0			30	k.A.
Priess	1996	Venezuela	Sabanita	k.A.	5,9		1,1			30	k.A.
Garcia Restom	1998	Zona Bragantina, Brasilien	Primärwald z.T. laubwerfend					5,8		50	k.A.
Garcia Restom	1998	Zona Bragantina, Brasilien	Primärwald z.T. laubwerfend					7,6		100	k.A.

6 Oberirdisches Wachstum der Vegetation

6.1 Floristische Zusammensetzung

Die floristischen Aufnahmen in den Parzellen der Feldexperimente, die eine Gesamtfläche von 2 x 0,2 ha umfaßten, ergaben ein Inventar von 210 berücksichtigten Arten. Sie verteilten sich auf 64 Baumarten aus 26 Familien, 60 Straucharten aus 25 Familien, 56 holzigen Lianenarten aus 22 Familien und 4 Palmenarten. Weiter fanden 11 Grasarten und 3 Cyperaceae sowie 12 annuelle und perennierende Krautarten aus 7 Familien Berücksichtigung. Diese Arten waren ständig oder zeitweise aspektbestimmend, besaßen erhebliche Anteile am Vegetationsdeckungsgrad oder nicht zu vernachlässigende Biomasseanteile. In diesem Zusammenhang muß auf die Hochstaude *Phenakospermum guyanense* (Strelitziaceae) verwiesen werden, die sich im Exp 4a durch überdurchschnittlich hohe Biomasseproduktion auszeichnete. Bodenbedecker wie *Selaginella stellata* (Polypodiaceae) und eine nicht näher bestimmte *Marantha*-Art (Maranthaceae) erreichten in einzelnen Parzellen der unbehandelten Brachevegetation des Exp 9a hohe Deckungsgrade.

Aufgrund des überdurchschnittlich hohen Anteiles am Gesamtdeckungsgrad stellten in den mechanisierten Behandlungen des Exp 4a die Gräser *Paspalum maritimum*, *Panicum pilosum*, eine *Brachiaria*-Art und die z.T. flächendeckende Seggenart *Dicromena ciliata* wichtige Arten dar. Im Exp 9a dominierten *Paspalum maritimum* und *Andropogon bicornis* die Grasfraktion. Die Abundanz anderer Kräuter und Gräser, gemessen am Gesamtbestand, war vernachlässigbar gering und wurde aus diesem Grund nicht berücksichtigt.

Aus dem Pool der 210 Arten fanden sich insgesamt 112 Arten im Exp 4a und 141 im Exp 9a wieder. 67 Arten waren im gemeinsamen Artenspektrum beider Experimente vertreten. Insgesamt 14 Arten traten in allen Behandlungen beider Experimente auf.

Zu den Pflanzenarten hoher Abundanz (min. 90 % $\hat{=}$ min. 36 der 40 der Versuchspartzellen beider Experimente) zählten folgende Vertreter: *Bernadinia fluminense*, *Lacistema pubescens*, *Memora flavida*, *Myrcia bracteata*, *Rollinia exsucca*, *Davilla rugosa* und *Vismia guianensis*. Die beiden letztgenannten Arten kamen in allen Parzellen beider Feldexperimente vor.

6.1.1 Arteninventar

Innerhalb der Versuchsdauer von 16 Monaten schwankte die Anzahl der Arten in der ungestörten Ausgangsvegetation (**Cap**) geringfügig. Im Gegensatz zur Konstanz der Artenzahlen in der Ausgangsvegetation, führten, mit Ausnahme der Behandlung **gebr** im Exp 9a, alle Flächenbehandlungen zur Verringerung der Arten gegenüber ungerodeten Ausgangsvegetation. Generell kann festgestellt werden, daß die Abnahmen um so ausgeprägter ausfielen, je intensiver die durchgeführte Flächenhandlung das Wurzelsystem der Brachevegetation beeinflusste. Diese Rückgänge wurden innerhalb der 16monatigen Regeneration nicht ausgeglichen (Abbildung 27 und Tabelle 29).

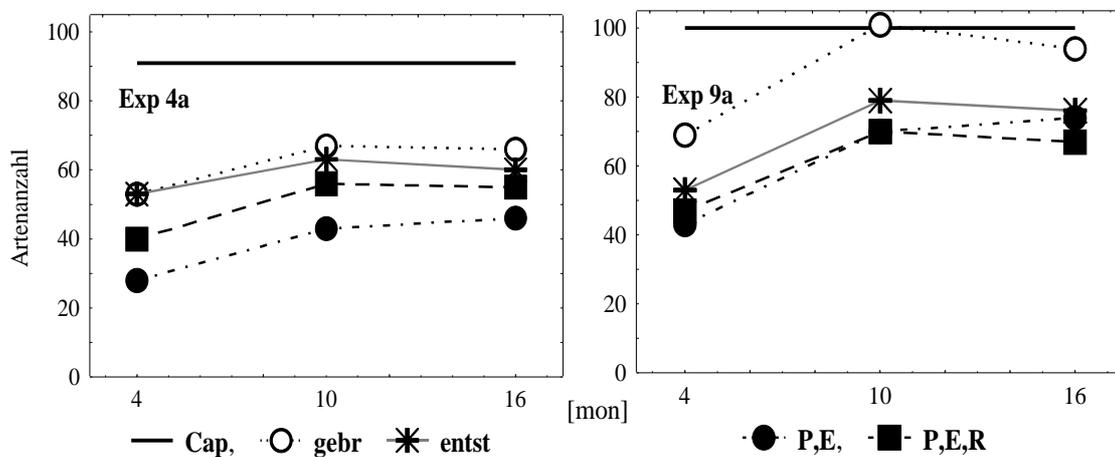


Abbildung 27: Artenzahlen holziger Pflanzen der Sekundärvegetation (keine Grasartigen oder Kräuter) aller Behandlungen der Feldexperimente 4a (links) und 9a (rechts) im Vergleich mit der Capoeira (waagrechte fette Linie) nach 4, 10 und 16 Monaten regenerativen Wachstums. 0 Monate auf der Zeitskala entspricht dem Rodungszeitpunkt der Ausgangsvegetation.

Im Laufe der oberirdischen Regeneration erhöhten sich die Artenzahlen in den einzelnen Behandlungen. Die stärksten Zunahmen wurden in den ersten 10 Monaten beobachtet. In den folgenden 6 Monaten stabilisierte sich die Anzahl der Arten oder es kam zu einem leichten Rückgang. Alle Behandlungen führten zur Verringerung der Artenzahl. Dies betrug bis zum Versuchsende im Exp 4a in den maschinelle Behandlungen **P,E** und **P,E,R** 35 - 47 % gegenüber der Kontrollvegetation, in den manuellen Behandlungen **gebr** und **entst** 23 - 29 %. Die Behandlungseffekte im Exp 9a glichen den voran beschriebenen in ihrer Tendenz, allerdings fielen die Größenordnungen der Rückgänge gegenüber der Ausgangsvegetation geringer aus als im Exp 4a. Sie betrug in den maschinellen Behandlungen **P,E** und **P,E,R** zwischen 19 - 27 % und in der manuellen Behandlung **entst** 17 %. In der Behandlung **gebr**

wurden im Exp 9a bereits nach vier Monaten Regenerationszeit 76 vorwiegend baum- und strauchbildende Arten in den Parzellen beobachtet und somit mehr als in jeder anderen Behandlung der Feldexperimente zu diesem Zeitpunkt und mehr als zu allen Zeitpunkten im Exp 4a. Nach 10monatiger Regeneration erreichte die Anzahl der Art in dieser Behandlung die gleiche Größenordnung (95 Arten) wie die der unbehandelten Ausgangsvegetation (**Cap**) und blieb bis zum Versuchsende auf hohem Niveau (Tabelle 29).

Tabelle 29: Artenzahlen der Sekundärvegetation in den Behandlungen der Feldexperimente in Exp 4a und Exp 9a. Aufnahmezeitpunkt 16 Monate nach Einrichtung der Experimente, eingeklammerte Werte stellen die Anzahl der zu diesem Zeitpunkt mit der Ausgangsvegetation identischen Arten dar.

Exp	Cap	gebr	entst	P, E	P, E, R
4a	87	67 (57)	62 (53)	46 (39)	56 (45)
9a	94	95 (70)	78 (55)	76 (52)	69 (58)

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Ein Großteil des 16monatigen Artenensembles der Behandlungen rekrutierte sich zu aus der für den jeweiligen Standort typischen **Capoeiravegetation** und nur zu geringen Anteilen aus solchen Arten, die vorher nicht in der Ausgangsvegetation vertreten waren. Im Exp 4a waren zwischen 78 und 86 % der Arten der Behandlungen auch im Bestand der Ausgangsvegetation anzutreffen. Im Exp 9a fielen zwar die prozentualen Übereinstimmungen mit 68 - 84 % geringer aus, aber die absolute Anzahl der Artenübereinstimmungen in den Behandlungen war im Vergleich der Experimente durchgehend höher.

6.1.2 Behandlungs- und Flächenvergleich

Der Vergleich des Arteninventars mit Hilfe des Ähnlichkeitsindex (Qs-Werte nach SØRENSEN 1948, Tabelle 30) zeigte folgende Behandlungseffekte auf:

Nach 16 Monaten Regeneration war die Ähnlichkeit des Artenbestandes zwischen der Ausgangsvegetation (**Cap**) und den manuellen Behandlungen (durchschnittlich Qs=73, Exp 4a bzw. 69, Exp 9a) stärker als zwischen der **Capoeira** und den maschinellen Flächenbehandlungen (durchschnittlich Qs=69, Exp 4a bzw. 61, Exp 9a). Hingegen führten die Behandlungseffekte innerhalb der beiden Behandlungsgruppen, manuelle (**gebr** und **entst**)

bzw. maschinelle (**P,E** und **P,E,R**) Flächenbearbeitungen, zu Artenkonstellationen mit hohen Ähnlichkeitsindices. Die Übereinstimmungen waren im Exp 4a besonders ausgeprägt ($Q_s=81$ **gebr** vs. **entst** bzw. $Q_s= 82$ für **P,E** vs. **P,E,R**). Der Vergleich der unterschiedlich alten Ausgangsvegetationen sowie der Behandlungen fiel mit einem durchschnittlichen Q_s von 50 geringer aus als die experimentsinterne Ähnlichkeit von $Q_s=71$ bzw. 65.

Tabelle 30: Ähnlichkeitsvergleich des Arteninventares der Vegetation verschiedener Behandlungen nach Sørensen (1948), innerhalb und zwischen den Feldexperimenten. Die Q_s -Indizes beziehen sich auf die Vegetation nach 16monatiger Regeneration.

Exp	Behandlung	gebr	entst	P,E	P,E,R
4a	Cap	74	71	59	63
	gebr		81	69	72
	entst			69	66
	P,E				82
	Durchschnitt		71		
9a	Cap	74	64	61	71
	gebr		71	76	74
	entst			48	53
	P,E				58
	Durchschnitt		65		
	Cap	gebr	entst	P,E	P,E,R
4a vs. 9a	46	54	49	51	51
	Durchschnitt		50		

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

6.2 Deckungsgrad der Sekundärvegetation

Der Gesamtdeckungsgrad der Vegetation nahm im Zeitverlauf zu. Gleichzeitig fand in Abhängigkeit von der Flächenbehandlung eine Verschiebung der Vegetationsanteile statt (Tabelle 31). Anfängliches starkes Graswachstum in den manuellen Behandlungen wurde mit zunehmender Entwicklung der Baum- und Strauchvegetation zurückgedrängt. Mit Eintritt der niederschlagsärmeren Jahreszeit ab dem Monat Juli reiften die Grasartigen aus und starben entweder ab oder verloren einen Großteil der Masse ihrer oberirdischen Organe.

Bis zum Ende des Versuchsdauer erreichte die holzige Vegetation der Behandlung **gebr** in beiden Feldexperimenten Deckungsgrade von 80 - 100 %. Manuelle Entstockung (**entst**) verringerte den Deckungsgrad im Vergleich zu der vorangegangenen Behandlung, schränkte die oberirdische Entwicklung jedoch nicht so drastisch ein, wie im Fall der maschinellen

Bodenbearbeitungen (**P,E** und **P,E,R**). Der Einsatz der Schneidwalze führte in beiden Feldexperimenten zu geringerer Wachstumseinschränkung als **P,E**.

Die Effekte der maschinellen Behandlungen wirkten sich besonders in der jüngeren Vegetation des Exp 4a in starken Wachstumsrückgängen der holzigen Waldvegetation (DG < 5 - 10 %) aus, bei gleichzeitiger Förderung des Grasanteiles.

Zu den Arten mit hohem Anteil am Gesamtdeckungsgrad im Exp 4a zählen *Lacistema pubescens*, *Vismia guianensis* und *Phenakospermum guyannense*. Im Exp 9a dominierten *Vismia guianensis* und *Solanum crinitum* (siehe Tabelle 61 und Tabelle 62 im Anhang).

Tabelle 31: Durchschnittlicher Deckungsgrad (DG) der Vegetation (gerundet) nach 16 Monaten Regenerationsdauer in den Behandlungen der Feldexperimente Exp 4a und Exp 9a. Daß die Summen der DG der Holz-, Gras- und Krautfraktionen den Gesamt-DG überragen können, ergibt sich aus dem mehrschichtigen Aufbau der Vegetation.

Behandlung	gesamt	Holzvegetation	Gras	Kraut
Exp 4a		DG		
Cap	100	100	<1	<5
gebr	90	90	10	<5
entst	80	50	40	<5
P,E	40	<5	40	<5
P,E,R	50	5 - 10	30 - 40	<5
Exp 9a				
Cap	100	100	<1	<5
gebr	100	100	<5	<2
entst	90	80	<5	<5
P,E	60	40	20	5
P,E,R	75	50	25	5 - 10

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

6.3 Oberirdisches Längen- und Durchmesserwachstum

6.3.1 Beschreibung der Regenerationsform

An insgesamt 25 Arten der Sekundärvegetation wurden für die Dauer von 465 d Messungen des oberirdischen Zuwachses durchgeführt. Triebhöhen und Triebdurchmesser zum Zeitpunkt der letzten Messung befinden sich im Anhang in der Tabelle 60.

Dreiundzwanzig der 25 beobachteten Arten regenerierten sich nach der Rodung ausschließlich vegetativ. Neue Triebe entwickelten sich auf unterschiedliche, häufig artspezifische Weise. Sie inserierten entweder an oberirdischen Stumpfresten gerodeter Ausgangsvegetation oder entstanden durch Sprosse an lateralen Wurzeläusläufern. Seltener

besaß eine Art die Fähigkeit, sich in gleichem Maße aus verschiedenen Erneuerungsorganen zu regenerieren. *Costus arabicus* und *Phenakospermum guyannense*, zwei monokotyle, krautige Arten regenerierten sich aus Rhizomen, die oberflächennah im Boden lokalisiert waren und Brandereignisse gut überstanden. Eine Übersicht der Regenerationsorgane ausgewählter Arten befindet sich in Tabelle 59.

Cecropia palmata und *Solanum crinitum*, beides Pionierarten mit überdurchschnittlicher individueller Biomasseproduktion, stellten sich hauptsächlich durch Samenkeimung auf den Rodungsflächen ein. Ein Argument für die generative Entwicklung von *Solanum crinitum* ist die Tatsache, daß diese Art, die dritthöchste Keimlingsdichte aller Baum- und Straucharten besaß (JACOBI, 1997), zum Zeitpunkt der Behandlungsdurchführungen jedoch nur mit wenigen Individuen in der Sekundärvegetation vertreten war. Folglich muß sich der Großteil neuer Individuen von *Solanum crinitum* durch Keimlinge aus der Samenbank entwickelt haben. Auf den Versuchsflächen wurden jedoch auch einige Individuen entdeckt, die sich durch Besprossung vorhandener Baumstümpfe regenerierten. Auf das vegetative Regenerationspotential der Arten wies DENICH (1989) hin.

6.3.2 Längen- und Durchmesserwachstum des Bestandes

Die Austriebe erreichten in 16 Beobachtungsmonaten je nach Art, Behandlung und Alter der Ausgangsvegetation sehr unterschiedliche Größenordnungen, die zwischen 2 - 548 cm Höhe und 1 - 80 mm Sproßdurchmesser rangierten. Trieblänge und basaler Triebdurchmesser zum Zeitpunkt der letzten Messung (465 d) sowie die durchschnittlichen Zuwächse dieser Parameter über den gesamten Beobachtungszeitraum rangierten in der Reihenfolge **gebr > entst > maschinelle Rodungsverfahren (P,E und P,E,R)**. Eine Unterscheidung der beiden maschinellen Verfahren gelang nur in Einzelfällen (siehe Abschnitt 6.3.3 ff).

Die Endwerte der Triebhöhen und des Stammdurchmessers sowie die durchschnittlichen Zuwächse lagen im Exp 9a höher als im Exp 4a. Die Zunahmen der Höhe- und des Stammdurchmessers unterlagen keinen saisonalen Variationen der Wachstumsintensität. Jahreszeitliche Niederschlagsschwankungen führten in keinem Feldexperiment zu Wachstumseinschränkungen der oberirdischen Vegetation.

Es bestanden enge Korrelationen zwischen absoluter Triebhöhe und basalem Triebdurchmesser. Gemittelt über alle Messungen des Beobachtungszeitraumes betrug das durchschnittliche Beziehungsmaß (Durchmesser zu Höhe) $r=0,74$ ($n=6244$, $p\leq 0,001$). Die

Beziehung fiel bei (wenig verzweigten) Baumarten und Straucharten enger aus als bei Palmen und Lianen (Tabelle 32). Sie war im allgemeinen behandlungsunabhängig.

Tabelle 32: Korrelation Triebdurchmesser vs. Trieblänge verschiedener Arten der Sekundärvegetation, geordnet nach Wuchsformen; (L)=Leguminose, v=Regeneration vegetativ, s=Samenkeimung. Die Korrelationen waren mit Ausnahme von *Desmoncus polycanthus* ($p \leq 0,05$) in allen Fällen bei $p \leq 0,01$ absicherbar.

Wuchsform	Art	r	n	Regeneration
Bäume (B) bzw.	<i>Vismia guianensis</i> , S	0,86	598	s,v
Sträucher(S)	<i>Lacistema pubescens</i> , S	0,85	558	s,v
	<i>Bernadinia fluminensis</i> , S	0,80	493	s,v
	<i>Rollinia exsucca</i> , B	0,85	485	v
	<i>Myrcia bracteata</i> , S	0,81	485	v
	<i>Solanum crinitum</i> , B	0,96	482	s,v
	<i>Cecropia palmata</i> , B	0,95	224	s,v
	<i>Casearia arborea</i> , S	0,82	141	v
	<i>Banara guianensis</i> , S	0,91	123	v
	<i>Ocotea longifolium</i> , B	0,86	88	v
	<i>Myrcia sylvatica</i> , S	0,95	8	v
	(L) <i>Abarema jupunba</i> , B	0,93	10	v
	(L) <i>Bauhinia guianensis</i> , B	0,39	9	v
(L) <i>Inga flagellata</i> , B	0,78	7	v	
Lianen	<i>Davilla rugosa</i>	0,66	530	v
	<i>Arrabidea spec.</i>	0,83	303	s,v
	<i>Dichapetalum rugosum</i>	0,71	262	v
	<i>Memora flavida</i>	0,76	229	v
	<i>Memora allamandiflora</i>	0,81	214	v
	<i>Davilla kunthii</i>	0,66	142	v
	<i>Rourea cf. ligulata</i>	0,92	10	v
Palmen	<i>Astrocaryum tucuma</i>	0,62	20	v
	<i>Desmoncus polycanthus</i>	0,24	10	v
	Alle Arten	0,74	6244	

Höhen- und Durchmesserzunahme innerhalb der Regenerationsdauer von 465 d ließen sich für die holzigen Arten der Sekundärvegetation am besten durch ein lineares Wachstumsmodell mit Nulldurchgang beschreiben (Abbildung 28 bis Abbildung 30). Die einzige hier dargestellte Ausnahme bildete *Phenakospermum guyannense* (Abbildung 31).

Die beiden Pionierarten *Cecropia palmata* und *Solanum crinitum* erreichten die höchsten Individualhöhen und stellten die größten durchschnittlichen Triebhöhen aller beprobten Arten beider Feldexperimente. Die maximalen Durchschnittshöhen wurden im Exp 9a in der

Behandlung **gebr** ermittelt, wo *Cecropia* und *Solanum* nach 16 Monaten Regeneration durchschnittlich 391 cm bzw. 299 cm Höhe erreichten. Beide Arten zeigten die höchsten Werte in den maschinellen Behandlungen (siehe Tabelle 60 im Anhang).

Die Anzahl der Austriebe erwies sich als wenig aussagekräftiger Parameter zur Beurteilung des Wachstums der Sekundärvegetation. Standorts- oder behandlungsbedingte Unterschiede dieses Parameters wurden nicht beobachtet. Es existierten nur artspezifische Unterschiede.

Im folgenden wird beispielhaft das Wachstum von vier Charakterarten der Brachevegetation dargestellt. Bei der Auswahl handelt es sich um verschiedene Regenerationstypen, die auf die Flächenbehandlungen mit unterschiedlichen Wachstumsreaktionen reagierten. Eine Gemeinsamkeit der ersten 3 dargestellten Arten besteht darin, daß sie hohe Abundanzen besitzen und zu den höchsten Biomassebildnern der Sekundärvegetation zählen (DENICH, 1989; NUÑEZ, 1995; GEHRING et al., 1999).

6.3.3 Oberirdischer Zuwachs von *Lacistema pubescens*

6.3.3.1 Regenerationsmuster

Lacistema pubescens bildet einen voluminösen Wurzelstock von durchschnittlich nicht mehr als einem Meter Tiefe, welcher nach der Rodung Ausgangspunkt für die anschließende Regeneration ist. An der Basis verbliebener Stumpfreste, genauer im Übergangsbereich des Wurzelhalses zum oberirdischen Sproß, entwickeln sich zahlreiche Adventivsprosse (max. 66, durchschnittlich 14). Die Pflanze produziert kurze, laterale Wurzelausläufer (< 50 cm), an denen sich jedoch nur vereinzelt Sprosse entwickeln. Eine Besonderheit von *L. pubescens* wurde nach wiederholten Ausgrabungen von Wurzelstöcken einzelner Individuen beobachtet. Die Art besitzt die Fähigkeit, sich ohne äußere Störung durch Teilung ihres Wurzelstockes in verschiedene Individuen zu separieren und auf die Weise langfristig an ihrem Wuchsort auszubreiten. Dieser Vorgang stellt jedoch einen langsamen, langjährigen Prozeß dar. Trotz der höchsten Keimlingsproduktion aller holzigen Arten der Feldexperimente (47 Individuen m⁻², JACOBI, 1997), spielte die generative Regeneration dieser Art keine Rolle beim Wiederbewuchs der Versuchsflächen.

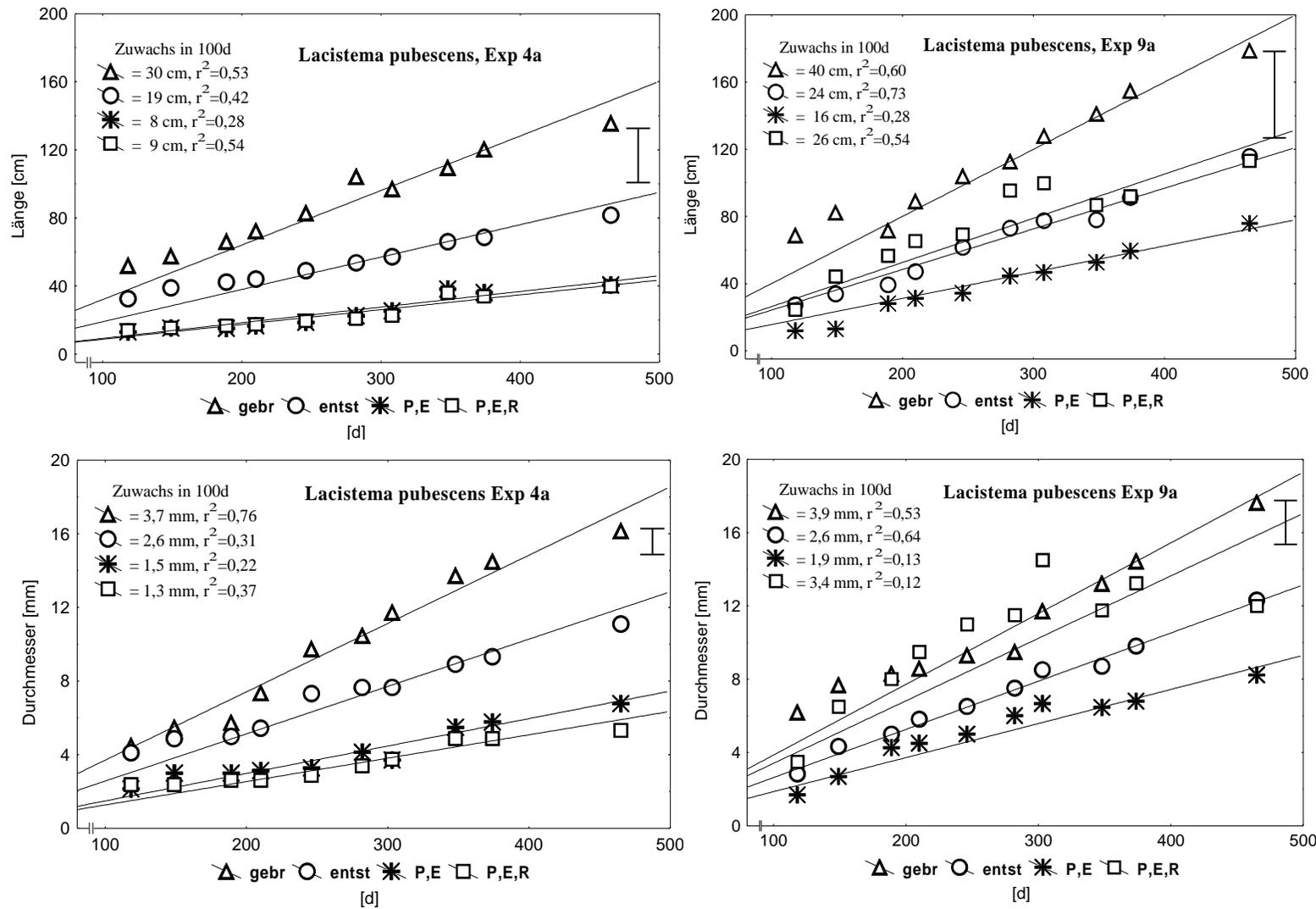


Abbildung 28: Längen- und Durchmesserwachstum von *Lacistema pubescens* in Exp 4a und Exp 9a bis 465 d Regeneration. Dargestellt sind die Mittelwerte jeder Behandlung pro Zeitpunkt. Rechts oben ist die Grenzdifferenz eingezeichnet (LSD nach 465 d, $p \leq 0,05$). Der Legende zugeordnet sind die durchschnittlichen 100tägigen Zuwächse mit Bestimmtheitsmaß (r^2) für die Anpassungen.

6.3.3.2 Wachstumsleistung

Die durchschnittlichen Längen- und Durchmesserzunahmen von *L. pubescens* variierten zwischen 9 und 40 cm bzw. 1,3 und 3,9 mm pro 100 d Wachstumszeitraum (Abbildung 28). Für Länge und Durchmesser nach 465 d Regeneration zeigte die ANOVA signifikante Unterschiede zwischen den Experimenten ($F_{\text{Länge (1,63)}}=41,3$, $p\leq 0,001$; $F_{\text{Durchm.(1,63)}}=6,8$, $p=0,011$) und den Behandlungen ($F_{\text{Länge (3,63)}}=39,7$, $p\leq 0,001$; $F_{\text{Durchm.(3,63)}}=18,0$, $p\leq 0,001$). Eine Interaktion Experiment x Behandlung wurde nicht festgestellt. Die durchschnittlichen Wachstumsleistungen waren in allen Fällen im Exp 9a höher als im Exp 4a. Dies drückte sich in allen Behandlungen in statistisch absicherbaren größeren Endlängen der Triebe aus (Behandlungsvergleich über Feldexperimente, LSD-Test, $p\leq 0,05$). Finale Triebdurchmesser ließen sich auf Grund hoher Streuung der Einzelwerte nicht signifikant unterscheiden.

Die höchste Längen- und Durchmesserzunahme erreichte *L. pubescens* in den Flächen der traditionellen Brandrodung (**gebr**), gefolgt von der Behandlung manuell entstockt (**entst**). Am Ende der Rangfolge standen die maschinellen Flächenvorbereitungen, mit Ausnahme der Rolofaca-Variante (**P,E,R**) im Exp 9a. Signifikante Mittelwertsunterschiede ($p\leq 0,05$) bestanden zwischen **gebr** bzw. **entst** und den maschinellen Flächenbehandlungen (**P,E** und **P,E,R**). Unter Vernachlässigung der inkonsistenten Ergebnisse der Behandlung **P,E,R** ergibt sich auch für das Exp 9a die Wachstumsrangfolge **gebr** > **entst** > **P,E**.

Die Endlängen der höchsten Triebe aller Behandlungen des Exp 9a waren signifikant höher als in den gleichen Behandlungen des Exp 4a (LSD-Test, $p\leq 0,05$). Signifikante Unterschiede im Durchmesserwachstum nach 465 d ergaben sich nur in der Behandlung **P,E,R** zugunsten des Exp 9a.

In der Übersicht kann festgestellt werden, daß die traditionelle Brandrodung (**gebr**) hinsichtlich des Regenerationsmusters dieser Pflanzenart die verträglichste Flächenbehandlung darstellt. Es ist davon auszugehen, daß andere Behandlungen, die in schädigenden Einflüssen auf den voluminösen Wurzelstock resultieren, die Regeneration von *L. pubescens* stark hemmen. Wird, wie im Fall der manuellen Entstockung (**entst**), der Wurzelstock größtenteils entfernt, kann die Regeneration neuer Triebe anscheinend auch von den verbliebenen Seitenausläufern ausgehen, wenn auch in verringertem Maße. Die intensive Zerstückelung der Stümpfe und der Lateralwurzeln,

die als Folge der mechanisierten Behandlungen auftrat, dürfte zu den gezeigten starken Wachstumseinschränkungen geführt haben.

6.3.4 Oberirdischer Zuwachs von *Vismia guianensis*

6.3.4.1 Regenerationsmuster

Vismia guianensis ist eine charakteristische, eher kleinwüchsige Baumart junger Brachvegetation, die in der Initialphase der Regeneration einen buschartigen Habitus besitzt. Sie stellt hinsichtlich ihrer Regenerations- und Ausbreitungsstrategie einen anderen Typus dar als *Lacistema pubescens*, da sie sich nahezu ausschließlich vegetativ durch Bildung von Wurzelsprossen regeneriert. Die Art bildet zahlreiche schnellwachsende, meist nicht mehr als 3 - 5 cm dicke Wurzelausläufer, die unmittelbar unter der Bodenoberfläche ein meterlanges System bilden und sich sternförmig ausbreiten. In Abständen von 30 - 80 cm bildete diese Art bis zu 28 neue Sprosse pro Austriebsstelle; durchschnittlich waren es fünf. Ein bestockter Wurzelausläufer kann sich unterhalb der Triebbasis verdicken und an dieser Stelle eine Pfahlwurzel ausbilden, die bis zu einem halben Meter tief reicht. Nach einer Rodung können an den Verdickungsstellen erneut Triebe aussprossen. Die weitaus größere Zahl stellt sich aber an den dünneren Wurzelausläufern ein.

Auf Grund ihres Regenerationsmusters kann die *V. guianensis* innerhalb kurzer Zeit große Flächen erobern und bildet einen auffälligen Aspekt der Sekundärvegetation. Generative Regeneration wurde nur im Exp 4a beobachtet, wo die Art ihre maximale Keimlingsdichte (2 m^{-2} , JACOBI, 1997) in der Capoeira erreichte. Zur Bildung oberirdischer Biomasse und zum Deckungsgrad der Vegetation trugen die Keimlinge nach eigenen Beobachtungen unmaßgeblich bei.

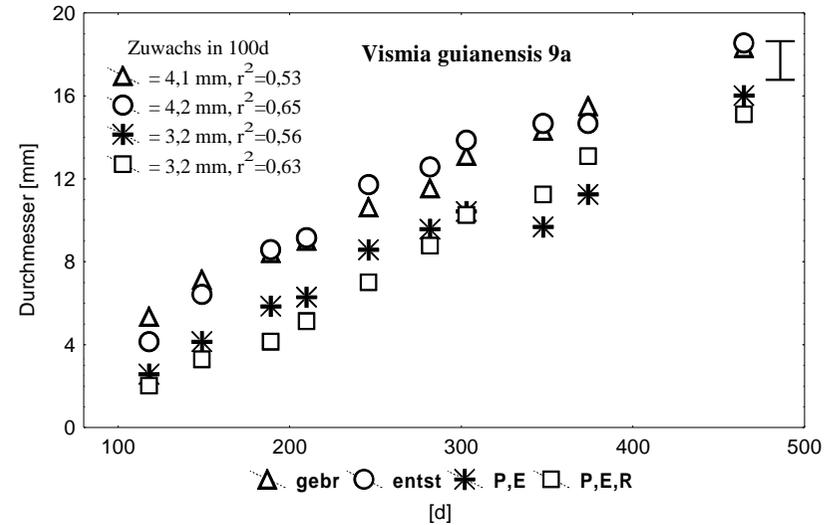
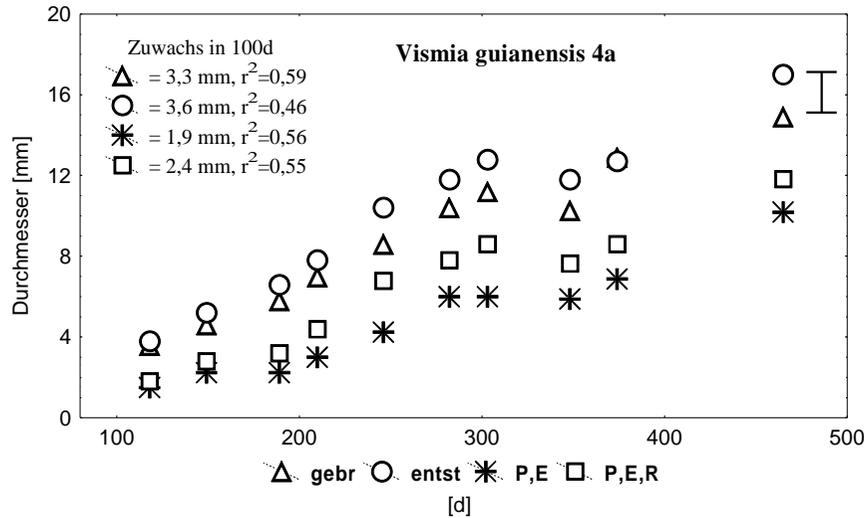
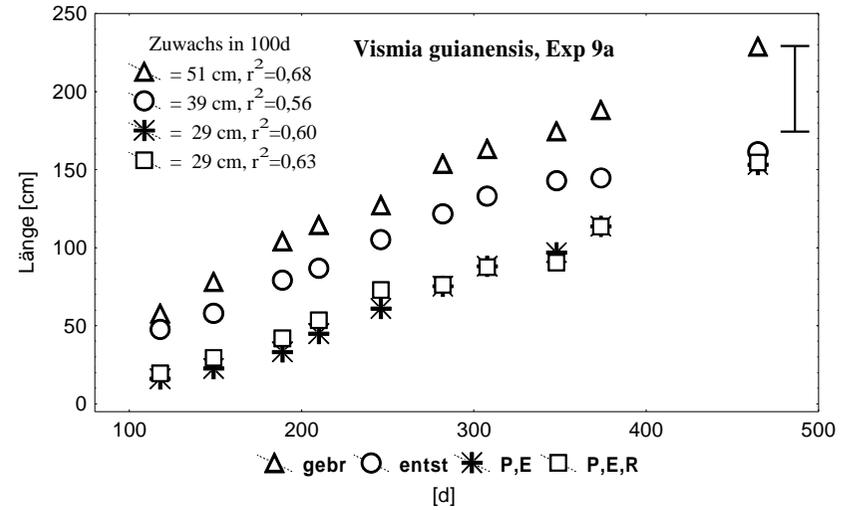
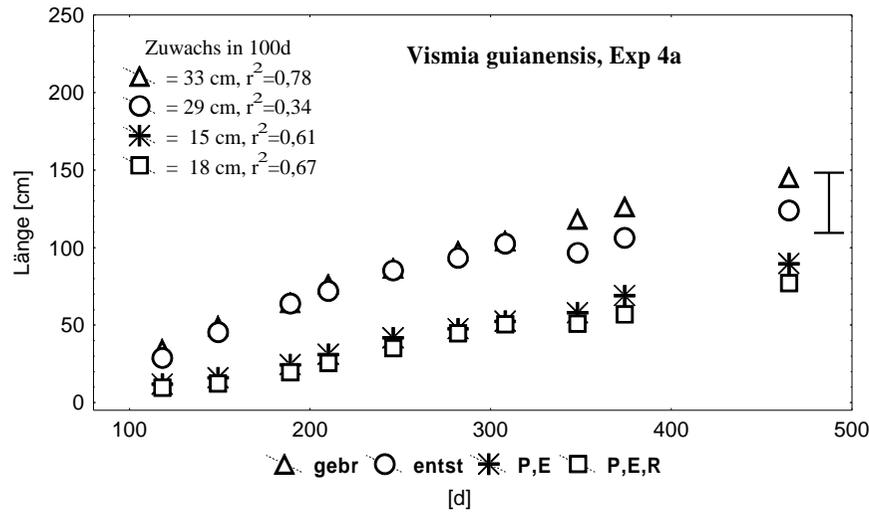


Abbildung 29: Längen- und Durchmesserwachstum von *Vismia guianensis* in Exp 4a und Exp 9a bis 465 d Regeneration. Dargestellt sind die Mittelwerte jeder Behandlung pro Zeitpunkt. In jeder Einzelabbildung ist rechts oben die Grenzdifferenz eingezeichnet (Zeitpunkt 465 d, LSD-Test, $p \leq 0,05$). Der Legende jeder Teilgrafik zugeordnet sind die durchschnittlichen 100tägigen Zuwächse mit Bestimmtheitsmaß r^2 .

6.3.4.2 Wachstumsleistung

Die durchschnittlichen Längen- und Durchmesserzunahmen von *Vismia guianensis* variierten zwischen 15 und 51 cm bzw. 1,9 und 4,1 mm pro 100 d Wachstumszeitraum (Abbildung 29). Nach 465 d Regeneration unterschieden sich Länge und Durchmesser signifikant zwischen den Experimenten (ANOVA, $F_{\text{Länge}}(1,78)=50,1$, $p \leq 0,001$; $F_{\text{Durchm.}}(1,78)=13,2$, $p \leq 0,01$) und den Behandlungen ($F_{\text{Länge}}(3,63)=12,8$, $p \leq 0,01$; $F_{\text{Durchm.}}(1,63)=5,1$, $p \leq 0,05$). Eine Interaktion (Experiment x Behandlung) konnte nicht bei $p \leq 0,05$ nachgewiesen werden.

Manuelle Eingriffe ließen sich in beiden Feldexperimenten signifikant von den maschinellen Behandlungen unterscheiden (LSD-Test, $p \leq 0,05$; Abbildung 29). Hingegen waren innerhalb der manuellen (**gebr** und **entst**) und mechanisierten (**P,E** und **P,E,R**) Behandlungsgruppen keine Unterschiede feststellbar. Es bestand ein hoher Grad der Übereinstimmung sowohl der finalen Längen und Durchmesser wie der durchschnittlichen Zuwächse innerhalb der beiden Gruppen.

Die Zuwächse aller Behandlungen im Exp 9a waren höher als im Exp 4a. Im Behandlungsvergleich der Experimente ergaben sich mit Ausnahme der entstockten Flächen signifikant absicherbar höhere Schlußwerte der Trieblänge (LSD-Test, $p \leq 0,001$) im Exp 9a. Die Triebdurchmesser ließen sich nur im Falle der maschinellen Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**) als statistisch größer als im Exp 4a identifizieren (LSD-Test, $p \leq 0,05$).

Zum letzten Meßzeitpunkt kam es in der Behandlungsvariante **entst** des Exp 9a zur Verringerung der durchschnittlichen Längenentwicklungsgeschwindigkeit. Häufige Gründe, die auch in anderen Behandlungen zu Wachstumseinschränkungen geführt haben, waren spontanes Absterben einzelner Triebe, Fraß an Triebspitzen durch Blattschneiderameisen der Gattung *Atta* und *Acromyrmex*, seltener Schädlingsbefall (vornehmlich Insekten) oder andere mechanische Einwirkungen.

Eine Wachstumsbesonderheit von *V. guianensis* bestand darin, daß die Art entlang ihrer Wurzelausläufer permanent neue Triebe bildete, deren Apikaldominanz wechselte. Vereinzelt wurde beobachtet, daß die markierten und durchgehend gemessenen Adventivsprosse in ihrem Wachstum zugunsten neuerer Triebe stagnierten. Diese arttypische Wachstumsweise hat im vorliegenden Fall zur Verringerung des meßbaren Zuwachses in den manuell entstockten Flächen (**entst**) im Exp 9a geführt.

Unter Vernachlässigung des letzten Aufnahmetermins (465 d) ließ sich im Exp 9a die oben genannte Rangfolge bestätigen. Mittels orthogonaler Kontraste konnten manuelle und maschinelle Behandlungen statistisch eindeutig gegeneinander abgegrenzt werden ($F_{\text{Länge (1,41)}}=23,8$, $p \leq 0,001$). Die durchschnittlichen Durchmesserzuwächse, die unempfindlicher auf Wachstumsschwankungen reagieren, bestätigen diesen allgemeinen Trend.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß *Vismia guianensis* manuelle Flächenvorbereitungen (**gebr** und **entst**) ohne größeren Produktivitätsverlust überstand. Hingegen ließ sich der negative Einfluß der maschinellen Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**) auf die Regenerationskapazität der Art deutlich nachweisen. Die Art, welche sich mittels ihres ausgebreiteten Systems aus oberflächennahen, dünnen Wurzel- ausläufern regeneriert und durch intensives Längenwachstum dieser Wurzeln in der Fläche verbreitet, erfährt durch Zerstückelung dieser Organe eine starke Einschränkung ihrer Regenerationsfähigkeit.

6.3.5 Oberirdischer Zuwachs von *Rollinia exsucca*

6.3.5.1 Regenerationsmuster

Rollinia exsucca besitzt ein ausgeprägtes vegetatives Regenerationspotential. Die Art bildet eine tiefreichende Pfahlwurzel (> 1m) ohne laterale Ausläufer. Neue Triebe entstanden ausschließlich durch Adventivsprossung an der Basis oberirdischer Stumpfreste. Durchschnittlich wurden 3 Triebe pro Stumpf angelegt, von denen einer dominierte und der Pflanze ihren monopodialen Habitus verleiht. Die Art war nur in einer maschinellen Flächenbehandlung im Exp 9a im Keimlingsbestand der Feldexperimente vertreten (durchschnittlich ein Individuum pro 4 m^{-2} , JACOBI, 1997).

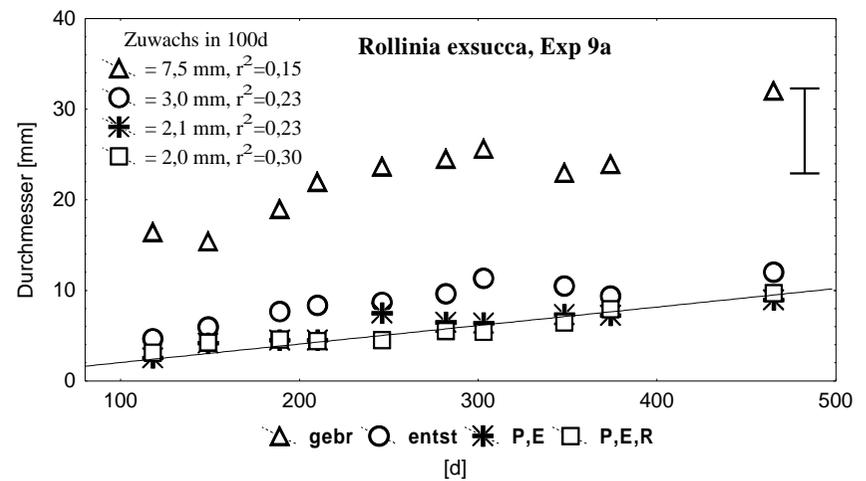
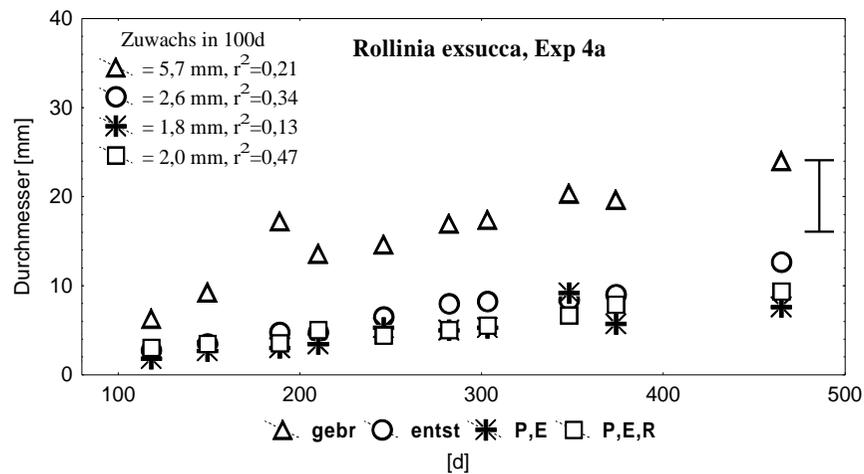
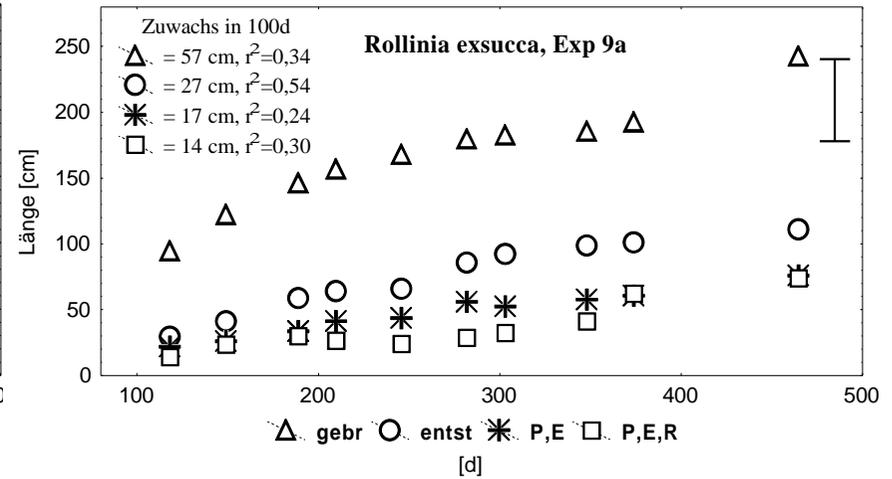
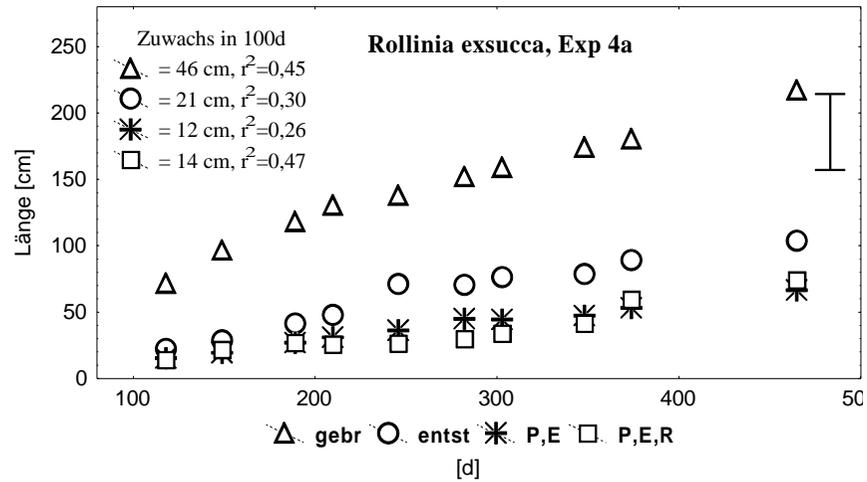


Abbildung 30: Längen- und Durchmesserwachstum von *Rollinia exsucca* in Exp 4a und Exp 9a bis 465 d Regeneration. Dargestellt sind die Mittelwerte jeder Behandlung pro Zeitpunkt. In jeder Einzelabbildung ist rechts oben die Grenzdifferenz eingezeichnet (LSD-Test, nach 465 d, $p \leq 0,05$). Der Legende zugeordnet sind die durchschnittlichen 100tägigen Zuwächse mit dem Bestimmtheitsmaß (r^2).

6.3.5.2 Wachstumsleistung

Die durchschnittlichen Längen- und Durchmesserzunahmen von *Rollinia exsucca* variierten zwischen 12 und 57 cm bzw. 1,8 und 7,5 mm pro 100 d Wachstumszeitraum. Variationen traten vor allem zwischen Behandlungen innerhalb eines jeweiligen Experimentes auf, während die Zunahmen im Vergleich der Experimente je nach betrachteter Behandlung sehr ähnlich waren (Abbildung 30). Diese Beobachtungen werden durch die ANOVA unterstützt, die ausgeprägte Behandlungswirkungen auf Trieb- und Durchmesserwerte nach 465 d ($F_{\text{Länge}}(3,65)=51,3$, $p \leq 0,001$; $F_{\text{Durchm.}}(3,65)=45,0$; $p \leq 0,001$) aufzeigte, hingegen einen geringen, statistisch nicht nachweisbaren, Einfluß der Ausgangsvegetation ($F_{\text{Länge}}(1,65)=2,2$, $p \leq 0,1$; $F_{\text{Durchm.}}(1,65)=3,2$, ns). Eine Interaktion zwischen den Faktoren bestand nicht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß alle Behandlungen, die Eingriffe in den Boden und damit auf das Wurzelsystem ausübten, bei *R. exsucca* zu erheblichen Rückgängen des Wachstums führten. Manuelle Entstockung sowie beide maschinellen Verfahren (**entst**, **P,E** und **P,E,R**) verursachten Rückgänge von 47 - 70 % gegenüber der Brandrodungsvariante (**gebr**, durchschnittlich 62 % Triebblänge, 64 % Triebdurchmesser). Offensichtlich besitzt die Art eine gute Anpassung an die traditionelle Flächenbearbeitung, wird jedoch auffällig in ihrer Regenerationsfähigkeit eingeschränkt, wenn unterirdische Pflanzenteile durch Behandlungseffekte beeinträchtigt werden.

6.3.6 Oberirdischer Zuwachs von *Phenakospermum guyannense*

6.3.6.1 Regenerationsmuster

Phenakospermum guyannense erneuert sich aus oberflächennah wachsenden Rhizomen. Die Art bildet seitliche, z.T. meterlange Rhizome, über die sie sich in den Bracheflächen schnell ausbreiten kann. Das intensive Wachstum dieser lateralen Ausläufer führte in angrenzenden Brachevegetationen dazu, daß bei verringerter Konkurrenz holziger Arten *P. guyannense* eine ausgeprägte Flächendominanz erreichen konnte. Aus diesem Grund ist die Art bei den Landwirten eher ungerne gesehen. Andererseits ist sie agronomisch nicht uninteressant, da die Art überdurchschnittlich hohe Kalium- und Mangangehalte in ihrer oberirdischen Biomasse akkumuliert (DENICH, 1989).

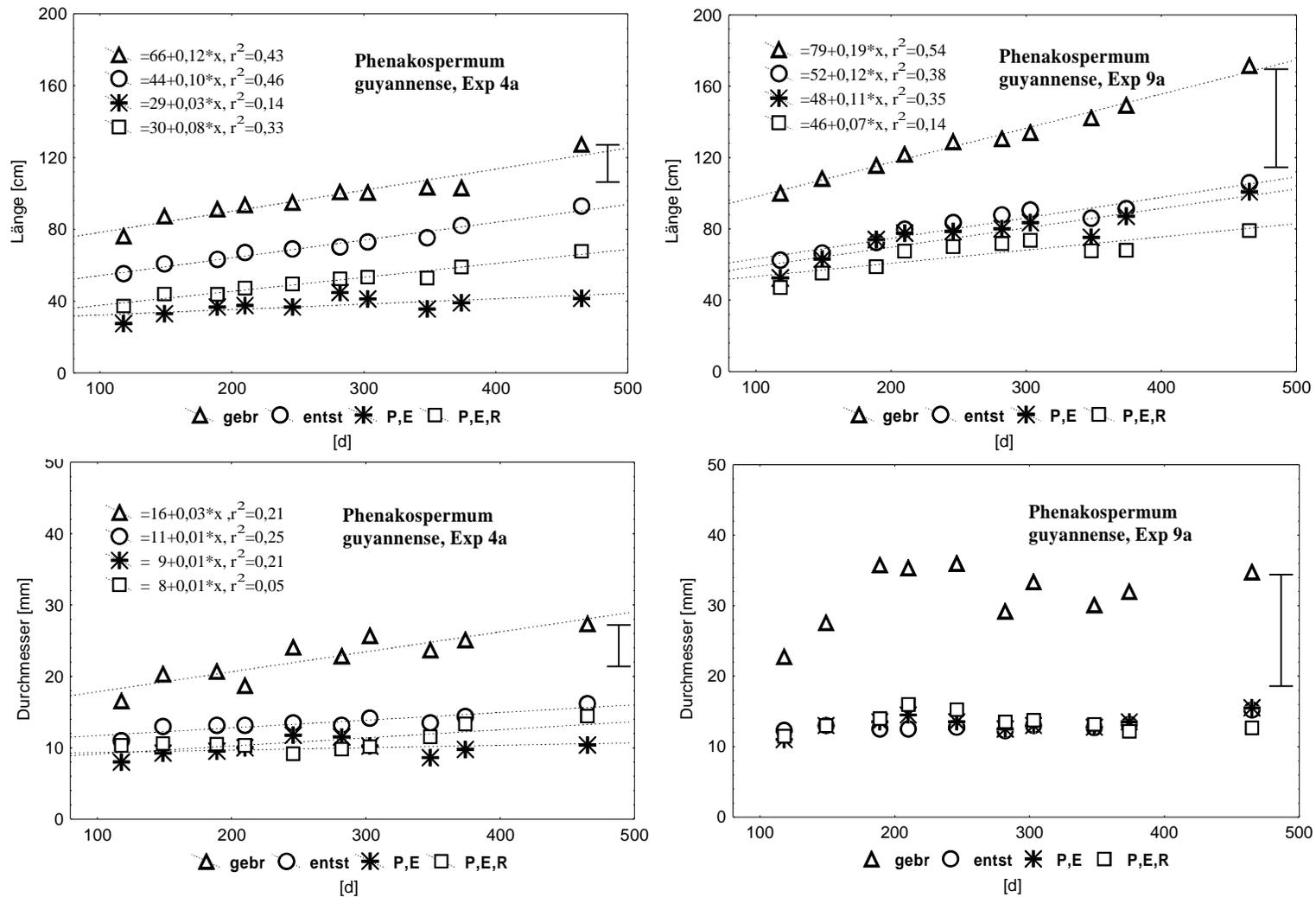


Abbildung 31: Längen- und Durchmesserwachstum von *Phenakospermum guyanensis* in Exp 4a und Exp 9a bis 465 d Regeneration. Dargestellt sind die Mittelwerte jeder Behandlung pro Zeitpunkt. In jeder Einzelabbildung ist rechts oben die Grenzdifferenz eingeblendet LSD, nach 465 d, $p \leq 0,05$. Der Legende zugeordnet sind die Regressionsgleichungen mit Bestimmtheitsmaß (r^2).

6.3.6.2 Wachstumsleistung

Im Vergleich zu den vorab dargestellten Arten der Baum- und Strauchvegetation stellte die krautige Hochstaude *Phenakospermum guyannense* hinsichtlich ihres zeitlichen Wachstumsverlaufes einen abweichenden Typus dar. Die Art zeigte ein frühes überdurchschnittliches schnelles Höhen- und Dickenwachstum in der Anfangszeit. Nach 2 Monaten Regeneration war diese Art in den meisten Versuchspartzellen der Feldexperimente aspektbestimmend. Nach dem anfänglichen schnellen Wachstum nahm die Regenerationsintensität ab dem dritten Monat ab. Zum Zeitpunkt der ersten Zuwachsmessungen (118 d) hatte *P. guyannense* im Durchschnitt aller Behandlungen im Exp 4a bereits 58 % der Endlänge und 77 % des Enddurchmessers erreicht. Die Werte im Exp 9a lagen bei 60 und 69 %.

Die beste Beschreibung des Wachstumsmuster dieser Art gelang durch ein lineares Modell mit Achsenabschnitt. Das Durchmesserwachstums im Exp 9a konnte nicht modelliert werden, da wiederholtes Absterben einzelner Blätter zu starken Streuungen der Einzelwerte führte. Die durchschnittlichen Längen und Durchmesser von *P. guyannense* nach 465 d Regeneration variierten zwischen 41 und 172 cm bzw. 10 und 27 mm.

Die ANOVA zeigte signifikante Längenunterschiede zwischen den Experimenten ($F_{\text{Länge}}(1,56)=26,1$ $p\leq 0,001$) und den Behandlungen ($F_{\text{Länge}}(3,56)=40,1$ $p\leq 0,001$). Eine Interaktion lag vor ($F_{\text{Länge}}(3,56)=3,4$, $p\leq 0,05$), war jedoch der schwächste Effekt. Für die Enddurchmesser konnten nur Behandlungseffekte nachgewiesen werden ($F_{\text{Durchmesser}}(3,56)=25,6$, $p\leq 0,001$).

Der Behandlungsvergleich wies sowohl für die Endlängen wie für die Enddurchmesser signifikante Unterschiede zwischen der Behandlung **gebr** gegenüber allen anderen Behandlungen nach (Abbildung 31). Nur im Exp 4a konnte noch **entst** als signifikant höher von **P,E** unterschieden werden. Der Vergleich manueller und maschineller Behandlungsgruppen zeigte im Exp 4a eine signifikante Einschränkung des Längenwachstums in den Behandlungen mit Maschineneinsatz (Kontrastanalyse $F_{\text{Länge}}(1,56)=52,9$, $p\leq 0,001$).

Unterschiede zwischen den Experimenten existierten nur für die höheren Längen der Behandlung **gebr** im Exp 9a nach 465 d Wachstum (LSD-Test, $p\leq 0,05$).

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß *P. guyannense* mit starken Produktivitätseinschränkungen des Durchmesserwachstums auf alle Behandlungen reagierte, die Bodeneingriffe implizierten. Ein auffälliges Wachstumsmerkmal der Art war ihr starkes Initialwachstum in den ersten 118 d.

6.4 Oberirdische Phytomasse in den Feldexperimenten

6.4.1 Phytomasse der 4- und 9jährigen Sekundärvegetation

Zum Versuchsende betrug die oberirdische Phytomasse der unbehandelten Vegetation (**Cap**) im Exp 4a $25,5 \text{ t*ha}^{-1}$, im Exp 9a $51,5 \text{ t*ha}^{-1}$ (Abbildung 32). Unter Berücksichtigung überdurchschnittlicher Biomassebildner, wie der Pionierpflanze *Cecropia palmata*, der Hochstaude *Phenakospermum guyannense* und den Palmen der Gattung *Astrocaryum*, erhöhten sich die oberirdischen Phytomassen auf $32,9$ bzw. $59,9 \text{ t*ha}^{-1}$ (Tabelle 33). Unabhängig von der Berechnungsgrundlage unterschieden sich die Gesamtmassen signifikant. Mit Ausnahme der Krautfraktion trifft dies auf alle Einzelfraktionen zu (LSD-Test, $p \leq 0,05$).

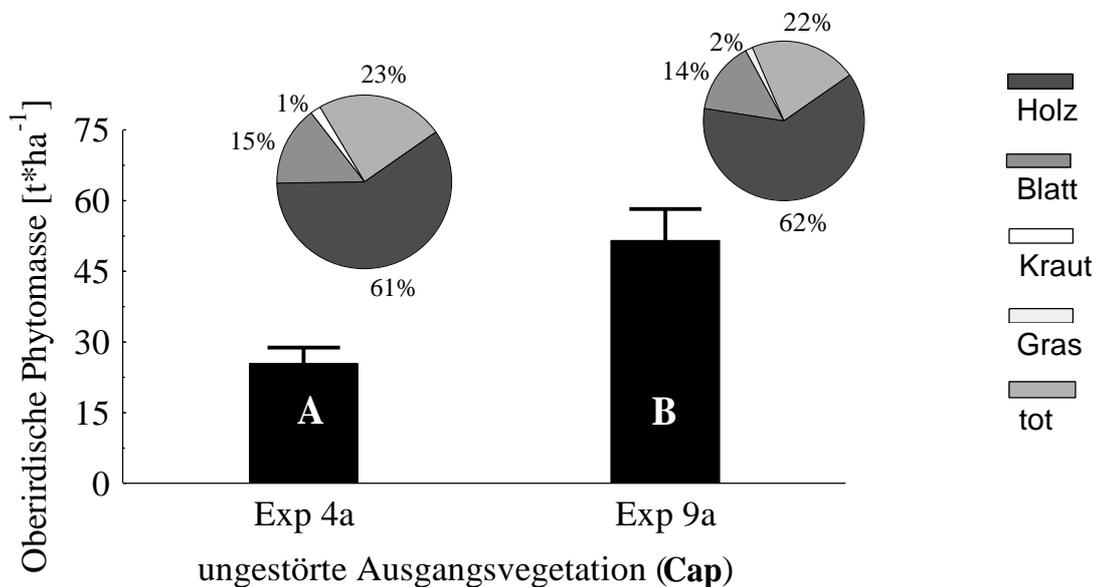


Abbildung 32: Oberirdische Phytomasse beider Feldexperimente der ungestörten Brachevegetation (**Cap**) in $\text{t*ha}^{-1} \pm$ Standardfehler. Die Kreisdiagramme stellen die relativen Massenanteile einzelner Fraktionen an der Gesamtmasse dar.

Unter den lebenden Anteilen der Phytomasse trugen die holzigen Anteile der Vegetation mit knapp über 60 % zur Gesamtmasse bei. Die Blattanteile erreichten ca. 15 %, gefolgt von der Fraktion der Kräuter und Gräser, deren Gesamtmassen gering waren und zusammengefaßt maximal 2 % Gewichtsanteil an der Brachevegetation erreichten (Tabelle 33).

Tabelle 33: Oberirdische Biomassen \pm Standardfehler nach 16 Monaten Regeneration, nach Feldexperimenten, Behandlungen und Biomassefraktionen. Die ^Å gekennzeichnete Gesamtmasse berücksichtigt schnellwüchsige Pionierpflanzen und andere überdurchschnittliche Biomassebildner. Die statistischen Vergleiche (LSD-Test, $p \leq 0,05$) beziehen sich nur auf die Vegetation der Behandlungen, nicht aber auf die ungestörte Ausgangsvegetation (**Cap**).

Exp		Holz	Blatt	Gras	Kraut	Tot	Gesamt	Gesamt ^Å
		[t*ha ⁻¹]						
4a	Cap	15,4 \pm 2,8	3,8 \pm 0,5	< 0,1	< 0,1	6,2 \pm 0,9	25,5 \pm 3,3	32,9 \pm 3,5
	gebr	3,5 \pm 0,5 a	2,4 \pm 0,4 a	0,2 \pm 0,1 bc	< 0,1 a	1,4 \pm 0,3 a	7,6 \pm 1,2 a	12,4 \pm 1,6 a
	entst	1,0 \pm 0,2 b	1,0 \pm 0,2 b	1,1 \pm 0,2 a	0,2 \pm 0,1 a	1,3 \pm 0,2 a	4,5 \pm 0,3 b	4,5 \pm 0,3 b
	P,E	0,2 <0,1 c	0,3 \pm 0,0 c	0,4 \pm 0,1 b	0,2 \pm 0,1 a	0,4 \pm 0,1 b	1,5 \pm 0,2 d	1,5 \pm 0,2 d
	P,E,R	0,7 \pm 0,1 b	0,8 \pm 0,1 b	0,5 \pm 0,1 b	0,3 \pm 0,1 b	0,6 \pm 0,1 b	2,8 \pm 0,2 c	2,8 \pm 0,2 c
9a	Cap	32,1 \pm 4,7	7,5 \pm 1,6	< 0,1	0,8 \pm 0,2	11,2 \pm 1,8	51,5 \pm 6,7	59,9 \pm 5,7
	gebr	8,2 \pm 0,7 a	3,5 \pm 0,3 a	0,1 <0,1 b	0,2 \pm 0,1 a	3,0 \pm 0,3 a	15,0 \pm 0,7 a	16,7 \pm 0,8 a
	entst	4,7 \pm 0,4 b	4,0 \pm 0,3 a	< 0,1 b	0,1 <0,1 a	3,7 \pm 0,8 a	12,5 \pm 1,0 b	12,6 \pm 1,1 b
	P,E	1,7 \pm 0,3 c	1,2 \pm 0,2 c	0,2 <0,1 b	0,5 \pm 0,1 b	1,5 \pm 0,2 b	5,2 \pm 0,6 c	5,2 \pm 0,6 c
	P,E,R	2,1 \pm 0,2 c	1,6 \pm 0,1 b	0,9 \pm 0,3 a	0,2 <0,1 a	1,2 \pm 0,3 b	6,0 \pm 0,4 c	6,0 \pm 0,4 c

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Abgestorbenes Pflanzenmaterial lag hauptsächlich als Bodenstreu vor und setzte sich vornehmlich aus Blättern, kleinen Zweig- und Astresten der Holzvegetation zusammen. Der Anteil abgestorbener Kräuter und Grasartiger wurde zwar nicht separat bestimmt, betrug aber schätzungsweise unter fünf Prozent Gewichtsanteil der Totmasse.

Die prozentualen Massenanteile aller Fraktionen fielen in beiden Altersstadien nahezu identisch aus. Dieser Befund widerspricht den Angaben von NUÑEZ (1995) und GEHRING et al. (1999), die von steigenden Anteilen der Holzmasse bzw. abnehmenden Blatt-, Kraut- und Grasanteilen mit zunehmendem Bestandesalter berichteten. Die Anteile verschiedener Fraktionen können jedoch kleinräumig stark variieren. Hinsichtlich ihrer Größenordnung der ermittelten Massen, relativ und absolut, liegen die Werte beider Altersstufen jedoch im Rahmen der Angaben von DENICH (1989), NUÑEZ (1995) und GEHRING et al. (1999).

6.4.2 Phytomasse der Vegetation in den Behandlungen

Innerhalb der Regenerationsdauer von 16 Monaten (Dezember 1994 - April 1995) entwickelte sich auf den gerodeten Flächen eine neue Sekundärvegetation. Je nach Behandlung variierte die Produktionsleistung von 1,2 - 7,6 t*ha⁻¹ im Exp 4a und 3,9 - 15,0 t*ha⁻¹ im Exp 9a (Abbildung 33). In beiden Experimenten traten nur in den Parzellen der traditionellen Brandrodung einzelne Exemplare oben genannter Biomasseakkumulatoren auf. Ihre Masse wurde aufgrund des heterogenen Vorkommens in den Feldexperimenten nicht in der Abbildung 33 berücksichtigt. Werden sie berücksichtigt, so erhöht sich die Phytomasse im Exp 4a um 63 % auf 12,4 t*ha⁻¹ (**gebr**) und im Exp 9a um 11 % auf 16,7 t*ha⁻¹ (**gebr**, siehe Tabelle 33). Im Exp 4a wurde die Masse durch Individuen von *Cecropia palmata* und *Phenakospermum guyannense*, im Exp 9a durch *Solanum crinitum*, *Astrocaryum mumbaca* und *A. tucuma* erhöht. In beiden Experimenten war die absteigende Rangfolge der oberirdischen Phytomasse wie folgt: **gebr** > **entst** > **P,E,R** > **P,E**.

Wie die ANOVA belegt, existierte ein starker Einfluß des Alters der Ausgangsvegetation ($F_{\text{Exp}}(1,56)=185,5$ $p \leq 0,001$) gegenüber einem schwächeren Behandlungseffekt ($F_{\text{Behandl.}}(3,56)=75,3$ $p \leq 0,001$). Eine Interaktion der Faktoren war statistisch nicht nachweisbar.

Im Vergleich der Experimente fielen die hohen Produktionsleistungen im Exp 9a auf. Die durchschnittliche Phytomasseproduktion übertraf die des Exp 4a um den Faktor 2,4.

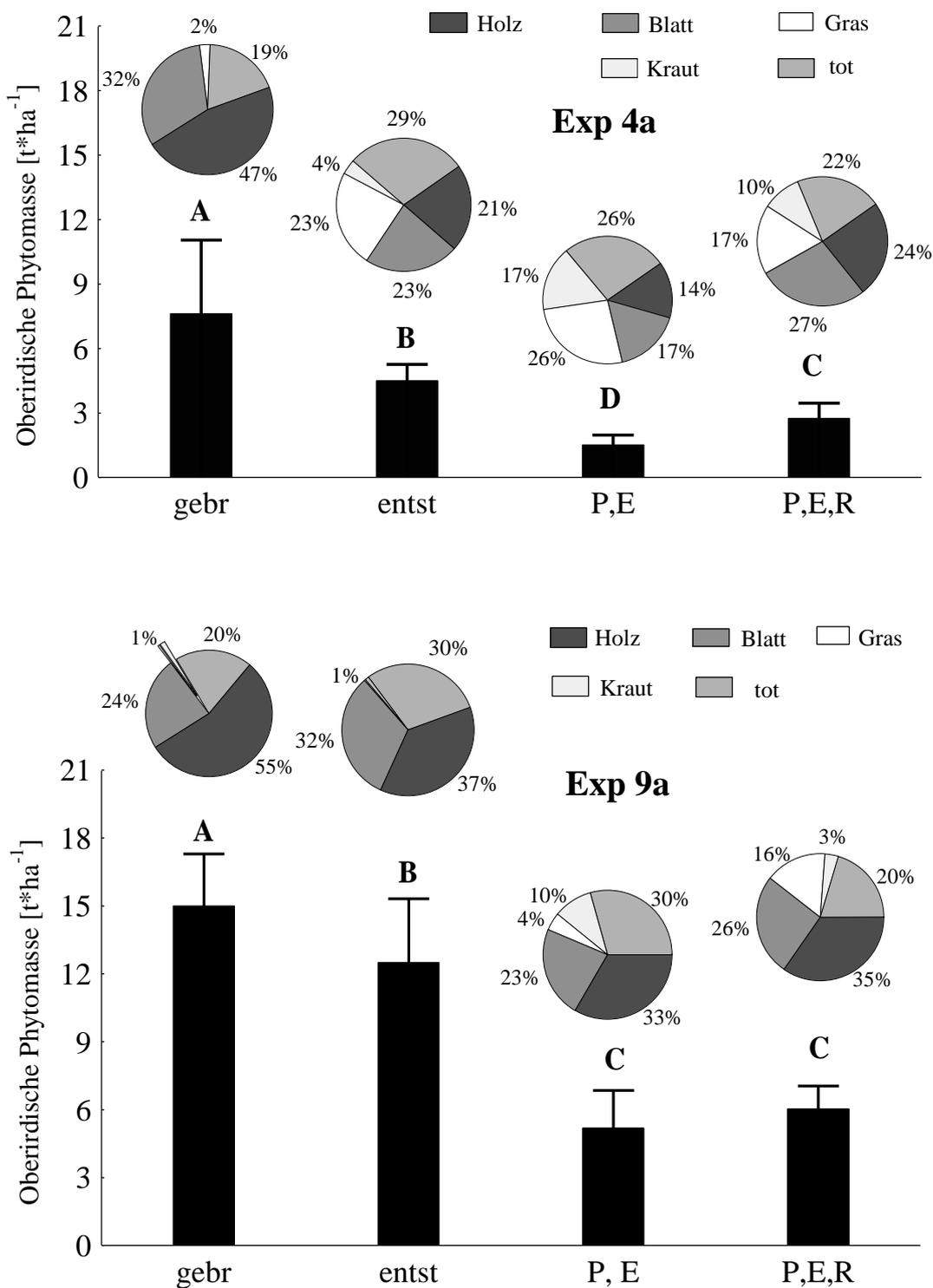


Abbildung 33: Oberirdische Phytomasse beider Feldexperimente nach 16 Monaten Regeneration, nach Behandlungen und Kompartimenten. Die Kreisdiagramme stellen die relativen Massenanteile einzelner Fraktionen an der Gesamtmasse dar. Besonders geringe Anteile der Kraut- und Grasfraktion sind der besseren Übersichtlichkeit halber hervorgehoben dargestellt.

Je nach Behandlung variierte das Produktionsverhältnis zwischen 2,0 und 3,4 zugunsten des Exp 9a. Die durchgehend höheren Größenordnungen des Exp 9a ließen sich statistisch absichern (LSD-Test, $p \leq 0,05$). Bezogen auf die Behandlung mit der höchsten Produktionsleistung (manuelle Brandrodung **gebr**=100 %) ergaben sich folgende relative Produktionen (links Exp 4a, rechts 9a): **entst** (59 %, 83 %) > **P,E,R** (37 %, 40 %) > **P,E** (20 %, 35 %).

Im Exp 4a war die Produktion oberirdischer Phytomasse aller Behandlungen statistisch signifikant von einander unterschiedlich (LSD-Test, $p \leq 0,05$). Im Exp 9a gelang eine Unterscheidung zwischen **gebr**, **entst** und den maschinellen Flächenbearbeitungen (**P,E** und **P,E,R**), nicht aber innerhalb letzterer Behandlungsgruppe (LSD-Test, $p \leq 0,05$; Abbildung 33).

Tabelle 34: Verhältnis der Holzmassenanteile verschiedener Biomassefraktionen der oberirdischen Phytomasse in den Behandlungen der Feldexperimente. ^Å gekennzeichnete Gesamtmasse ist die Summe der Blatt-, Gras-, und Krautmassen.

Exp		Massenanteile	
		Holz/Blatt	Holz/Gesamt-Lebendmasse ^Å
4a	Cap	4,0	4,0
	gebr	1,5	1,3
	entst	0,9	0,4
	P,E	0,9	0,2
	P,E,R	0,9	0,4
9a	Cap	4,3	3,9
	gebr	2,3	2,2
	entst	1,2	1,1
	P,E	1,4	0,9
	P,E,R	1,3	0,8

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Die Verringerung der oberirdischen Phytomassen war in beiden Feldexperimenten in erster Linie eine Funktion der Abnahme der Holzproduktion (Tabelle 33 und 34). Insbesondere im Exp 4a in den maschinellen Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**) aber auch nach der manuellen Entstockung (**entst**) erhöhten sich die Gras- und Krautanteile als eine Folge der Verringerung des Baum- und Strauchwachstums spürbar. Die absoluten Massen der Kraut- und Grasfraktion lagen in beiden Experimenten in vergleichbaren Größenordnungen und betragen maximal $1,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Abgesehen von der Behandlung **entst** ließen sie sich nicht signifikant voneinander unterscheiden. Für die Erhöhung der Biomassenanteile krautiger Vegetation in den

maschinellen Behandlungen (**P,E** und **P,E,R**) waren, die z.T. drastischen Verringerungen des vegetativen Regenerationspotentials der holzigen Waldvegetation verantwortlich.

6.5 Zusammenfassung und Diskussion

Die Regeneration waldbildender Sekundärvegetation in den Feldexperimenten fand nahezu ausschließlich vegetativ durch die Bildung von Adventivsprossen statt. Mit Ausnahme weniger Arten, wie *Cecropia palmata*, *Solanum critinum*, *Astrocaryum mumbaca* und *A. tucuma* trugen verholzende Arten, die sich nach Samenkeimung in der Fläche einstellten, weder in der Ausgangsvegetation noch im Pflanzenbestand der Rodungsflächen maßgeblich zum Deckungsgrad oder zur akkumulierten Biomasse bei. UHL et al. (1981) beobachteten eine 87prozentige vegetative Regeneration nach traditioneller Brandrodung in Venezuela. CLAUSING (1994) fand in jungen Brandrodungsflächen in der Untersuchungsregion um Igarapé Açu einen durchschnittlichen Anteil von 75 % aller Arten mit der Fähigkeit zur vegetativen Erneuerung. Nur ein geringer Artenanteil von maximal 25 % entwickelte sich ausschließlich auf generative Weise. Bei diesen Samenkeimern handelte es sich in erster Linie um Gräser und Kräuter und nur um wenige verholzende Arten. KAUFFMAN (1991) beobachtete in Brandflächen im nahegelegenen Paragominas einen Anteil vegetativer Regeneration von 36 - 63 % aller Baumarten. Unter Betrachtung der 14 häufigsten Arten erhöhte sich dieser Anteil auf maximal 83 %. Dem größten Teil samenkeimender Holzvegetation sowie den meisten Kräutern und Gräsern ist gemeinsam, daß sie mit zunehmendem Vegetationsalter aus dem Artenbestand heranwachsender Brachevegetation verschwinden (BAAR, 1997).

Adventivsprosse holziger Brachevegetation entwickelten sich entweder aus unterirdischen, bodennah verlaufenden Pflanzenteilen oder oberirdisch an der Basis verbliebener Stumpfreste vorangegangener Vegetationen. Am Beispiel von 4 ausgewählten Arten wurde gezeigt, daß diese mit unterschiedlichen Toleranzen auf die Flächenvorbereitungen reagierten. Die Unterschiede der Regenerationskapazitäten erklärten sich dabei aus artspezifischen Mustern der Bestockung mit Adventivsprossen.

In der Zusammenfassung ergibt sich folgender Überblick für die untersuchten Parameter: Für die Artenhäufigkeit, den Deckungsgrad der Vegetation, die Wuchsleistung einzelner Arten des Bestandes sowie für die Produktion oberirdischer Phytomasse zeigte sich in beiden

Experimenten die gleiche Rangfolge der Verminderung gegenüber unbehandelter Sekundärvegetation: **Cap > gebr > entst > maschinelle Verfahren**

In Einzelfällen statistisch nachweisbar und häufig als durchgehende Tendenz bestehend, konnte gezeigt werden, daß sich der zusätzliche Einsatz der Schneidwalze (**P,E,R**) weniger destruktiv auswirkte als der alleinige Einsatz des Traktors zur Rodung und zur anschließenden Flächenbearbeitung mit Pflug und Egge (**P,E**). Die Gründe hierfür wurden schon bei der Besprechung der Feinwurzelproduktivität detailliert dargelegt sowie deren Auswirkungen auf die Produktivität des Feinwurzelsystems beschrieben (siehe Abschnitt 4.4).

Das Entwicklungsstadium der Vegetation zum Zeitpunkt der Rodung war von ausschlaggebender Bedeutung für die erneute Regeneration der Brachevegetation. Artenhäufigkeit, oberirdische Wuchsleistung und Biomasseakkumulation in den gerodeten Flächen im Exp 9a erreichten im gleichen Zeitraum statistisch absicherbar höhere Größenordnungen als im Exp 4a.

In keinem der beiden Feldexperimente konnten die Behandlungseffekte durch Einflüsse angrenzender Vegetation oder Nachbarparzellen kompensiert werden. JACOBI (1997) ermittelte drei Monate nach Installation der Feldexperimente ein Inventar von insgesamt 45 Arten dikotyle Keimlinge aus 27 Familien. Lediglich 11 der insgesamt 45 Arten kamen außer in den Behandlungen auch in ungerodeten Flächen vor. Daraus wurde geschlossen, daß sich die Keimlinge nur aus der Samenbank der jeweiligen Parzelle entwickelten. Eine Invasion aus Nachbarflächen konnte nicht gezeigt werden. Wichtiger als die Behandlungseffekte für das Vorkommen bestimmter Arten und Wuchsformen der Keimlinge war das Alter der Ausgangsvegetation. Dies wurde auf die unterschiedliche Zusammensetzung der Samenbank beider Altersstufen zum Zeitpunkt der Rodung zurückgeführt (JACOBI, 1997).

Eine Möglichkeit, die Behandlungseffekte zumindest teilweise auszugleichen, könnte durch Wurzelbrut von benachbart wachsenden Pflanzen ausgehen. Dieser Vorgang wurde jedoch in keinem der Feldexperimente beobachtet, was auf das 'root pruning' entlang der Parzellenaußenseiten zurückgeführt werden kann.

Als Fazit kann festgestellt werden, daß die Regeneration gerodeter Sekundärvegetation um so langsamer stattfand, je destruktiver die durchgeführte Flächenbehandlung war. Mit abnehmender Regenerationskapazität der Bäume und Sträucher stellte sich zunehmender Grasbewuchs ein, der jedoch die Rolle der waldbildenden Vegetation als Nährstoffakkumulator nicht übernehmen kann. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß sich ein hoher Prozentsatz des

Pflanzenbewuchses vegetativ durch Stockausschlag und Wurzelbrut erneuert, ist damit auch die floristische Zusammensetzung der Brache weitgehend festgelegt. Findet aber eine Schädigung der unterirdischen Pflanzenorgane statt, aus denen die Regeneration hervorgeht, so hat dies negative Auswirkungen auf das Arteninventar. Eine eingetretene Artenverringering der Holzvegetation konnte innerhalb der Versuchsdauer nicht durch Eintrag von Samen holziger Arten oder durch Wurzelbrut ausgeglichen werden.

7 Stärkespeicherung in unter- und oberirdischen Teilen verschiedener Arten der Brachevegetation

Kohlenhydrate sind die wichtigste Quelle zur Bereitstellung von Energiereserven für das Pflanzenwachstum. Sie werden in vegetativen Speicherorganen perennierender Pflanzen eingelagert. Diesen Reserven kommt eine überlebenswichtige Rolle zu, wenn der Kohlenhydratverbrauch den der photosynthetisch assimilierten Produktionsleistung übersteigt (SMITH, 1981). In diesem Kapitel soll untersucht werden, ob häufige Arten der Sekundärvegetation Stärke als Speicherstoff einlagern und wenn ja, in welchen Pflanzenorganen die Einlagerung stattfindet. Ein wichtiger Punkt bei der angewendeten Färbungsmethode war, daß die Jod-Kaliumjodid-Lösung an Längsschnitten des Pflanzenmaterials aufgetragen wurde. Stärke wird in der Regel im Cormus in den Xylemstrahlen der sekundären Rinde festgelegt (STRASBURGER, 1983). Je breiter die einzelnen Xylemstrahlen sind und je geringer die Abstände zwischen ihnen, um so intensiver fällt die Färbung aus. Dadurch können anatomisch-morphologische Strukturen des Speicherparenchyms sichtbar gemacht werden.

7.1 Intensität der Anfärbung durch Jod-Kaliumjodid-Lösung in verschiedenen Pflanzenteilen

Das untersuchte Pflanzenmaterial rekrutierte sich aus insgesamt 31 häufigen Arten der Sekundärvegetation. Es wurden unter- und oberirdische Pflanzenteile in die Untersuchung einbezogen.

Intensive Anfärbungen (durchschnittlich ≥ 4), die auf sehr hohe Stärkeeinlagerungen hinweisen, fanden sich bei 19 der 32 untersuchten Arten in den unterirdischen Vegetationsorganen. Zu diesen Arten gehörten alle Leguminosen, die meisten Myrtaceae-Arten und einige Lianen verschiedener Familien wie *Davilla rugosa* und *Arrabidaea spec.* (Tabelle 35). Viele dieser Arten hatten niedrige Stärkeeinlagerungen in den oberirdischen Pflanzenteilen. Im Fall der Leguminosen *Abarema jupunba* und *Inga heterophylla* sowie den Myrtaceae *Myrcia bracteata*, *M. deflexa*, *M. silvatica* und *Myrciaria tenella* wurde keine (Intensität der Anfärbung = 0) oder nur sehr geringe Anfärbungen (durchschnittlich ≤ 1) festgestellt.

Tabelle 35: Intensität der Anfärbung unter- und oberirdischer Pflanzenteile durch Jod-Kaliumjodid-Lösung. Wertebereiche für die Färbungsintensität sind min.=0, max.=5, Regenerationsform der Arten v=vegetativ, g=generativ.

Art	Familie		unterirdisch					oberirdisch				
			Seitenwurzel					Stamm		Zweig		Mittel
			Wurzel- hals	Pfahl Stock	15 cm	50-100 cm	Mittel	Basis	50-100 cm	Spitze		
<i>Abarema jupumba</i>	Mimosaceae	v	5	5	5	5	5	0	0	0	0	
<i>Dichapetalum rugosum</i>	Dichapetalaceae	v	5	5	5	5	5	0,5	0,5	1	0,7	
<i>Mabea angustifolia</i>	Euphorbiaceae	v	5	5	5	5	5	4	2	0	2	
<i>Lacistema pubescens</i>	Lacistemataceae	v	5	5	5	5	5	2,5	2	1,5	2	
<i>Inga flagelliformis</i>	Mimosaceae	v		5	5	5	5	3,5	2,5	0,5	2,2	
<i>Inga alba</i>	Mimosaceae	v		5	5	5	5	3	3	0,5	2,2	
<i>Myrcia silvatica</i>	Myrtaceae	v	4	5	5	5	4,8	1	1	0	0,7	
<i>Cecropia palmata</i>	Cecropiaceae	v/g	4	5	5	5	4,8	2,5	2		2,3	
<i>Inga heterophylla</i>	Mimosaceae	v	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	0	0	0	0	
<i>Inga macrophylla</i>	Mimosaceae	v		5	5	3,5	4,5	3	0,5	0	1,2	
<i>Tabernaemontana angulata</i>	Apocynaceae	v	4,5	4,5			4,5	2,5	1,5	0	1,3	
<i>Machaerium quinata</i>	Fabaceae	v	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	2	0	2,2	
<i>Davilla rugosa</i>	Dilleniaceae	v	4	4,5	4,5	4,5	4,4	2,5	0,5	0,5	1,2	
<i>Myrcia bracteata</i>	Myrtaceae	v	5	5	3	3	4	0	0	0	0	
<i>Myrciaria tenella</i>	Myrtaceae	v	1	5	5	5	4	0	0	0	0	
<i>Arrabidea spec.</i>	Bignoniaceae	v	4		4	4	4	0	0	0	0	
<i>Vismia guianensis</i>	Guttifereae	v	3	4,5	4,5		4	0,5	1	0	0,5	
<i>Casearia arborea</i>	Flacourtiaceae	v/g	4	4	4	4	4	3,5	2	0,5	2	
<i>Cassia chrysocarpa</i>	Mimosaceae	v	5		3,5	3,5	4	4,5	2,5	1,5	2,8	
<i>Myrcia deflexa</i>	Myrtaceae	v	3	4,5			3,8	0	0	0	0	
<i>Ocotea spec.</i>	Lauraceae	v	3,5		3,5	3,5	3,5	0	0	0	0	
<i>Banara guianensis</i>	Flacourtiaceae	v	2,5	3,5	4	4	3,5	2,5	1,5	0,5	1,5	
<i>Lecythis lurida</i>	Lecythidaceae	v	2,5	3	3	3	2,9	0	0	0	0	
<i>Solanum caavurana</i>	Solanaceae	g	3,5		2	1	2,2	0,5	0	0	0,2	
<i>Borreria verticillata</i>	Boraginaceae	g	1,5		1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	
<i>Pavonia malacophylla</i>	Tiliaceae	g	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	
<i>Connarus perottetii</i>	Connaraceae		0	0	0	2,5	0,6	0	0	0	0	
<i>Byrsonima spec.</i>	Malpighiaceae	v/g	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
<i>Memora flavida</i>	Bignoniaceae	v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Phenakospermum guyannense</i>	Strelitziaceae	v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Davilla kunthii</i>	Dilleniaceae	v	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0,2	
<i>Miconia alata</i>	Melastomataceae	g	0	0	0	0	0	1,5	2	2	1,8	

Der gleiche Sachverhalt, nämlich wesentlich höherer Stärkeeinlagerungen in den unterirdischen als in den oberirdischen Organen, traf auf *Vismia guianensis*, *Lacistema pubescens* und *Davilla rugosa* zu. Alle diese Arten der Sekundärvegetation verfügen nachweislich über ein hohes vegetatives Regenerationspotential.

Die Pionierarten *Solanum caavorana*, *Borreria verticilata*, *Pavonia malacophylla* und *Miconia alata*, die sich über generative Erneuerung in der Vegetation einstellen, zeigten vergleichsweise geringe Stärkeeinlagerungen in den unterirdischen (0 - 2,2) aber auch den oberirdischen Pflanzenteilen (0 - 1,8). Eine Ausnahme in dieser Gruppe stellte *Cecropia palmata* dar mit vergleichsweise hohen Werten in unter- und oberirdischen Pflanzenteilen (4,8 und 2,3).

Hinsichtlich ihrer Speicherkohlenstoffe stellten die Lianen *Davilla kunthii* und *Memora flavida*, die Hochstaude *Phenakospermum guyannense*, und wahrscheinlich auch die Baumart *Connarus perottetii* eine dritte Gruppe dar. Diese Arten regenerieren sich in der Sekundärvegetation zwar ausschließlich vegetativ durch Austriebe an Wurzeln und Rhizomen, aber in den untersuchten Pflanzenteilen konnte praktisch keine Stärke nachgewiesen werden. Diese Arten decken ihren Energiebedarf aus anderen Kohlenhydraten (TNC). Für monokotyle Arten wie *Phenakospermum guyannense* wird berichtet, daß sie häufig Fructosan-Akkumulatoren darstellen und nur geringe Stärkekonzentrationen (1 - 6 %) aufweisen (SMITH, 1981). *Memora flavida* besitzt tief in den Boden reichende, nicht verholzende Speicherknollen. Der parenchymatische Inhalt ist süßschmeckend, was auf das Vorkommen von Oligosacchariden und freier Zuckerverbindungen hindeutet.

Die stärksten Anfärbungen in oberirdischen Pflanzenteilen wurden bei Leguminosen beobachtet. *Cassia chrysocarpa*, *Machaerium quinata*, *Inga flagelliformis* und *I. alba* wiesen hohe unterirdische Stärkeeinlagerungen auf (4 - 5), mit Färbungsintensitäten von 2,2 - 2,8 zeigten sie die höchsten Einlagerungen in den oberirdischen Teilen aller untersuchten Arten.

7.2 Zusammenfassung und Diskussion

Die Auswahl der untersuchten Arten beinhaltete die größten Biomassebildner der Sekundärvegetation (*Lacistema pubescens*, *Vismia guianensis*, Myrtaceae, Leguminosen; DENICH, 1989). Diese Arten, die sich nach Rodungen nachweislich durch den Austrieb neuer Sprosse aus Stammbasen oder durch Wurzelbrut erneuern, verfügten alle über besonders hohe Stärkeeinlagerungen in ihren unterirdischen Organen und/oder im Übergangsbereich zu ihren

Stammbasen (Wurzelhals). SMITH (1981) weist auf die ausgeprägte Eigenschaft der Leguminosen hin, Speicherkohlenhydrate als Stärke einzulagern. Unter den Bedingungen der Wald-Feld-Wechselwirtschaft spielt die Einlagerung von Speicherkohlenhydraten eine wichtige Rolle bei der Erhaltung der Systemproduktivität. Sie sind die primäre Energiequelle zu Sicherung der metabolischen Prozesse vegetativ überdauernder Pflanzenorgane während der Kulturphase. Außerdem stellen sie die Energiequelle für den Stoffaufbau in der Initialphase der Regeneration (KUTSCHERA, 1991, ERDMANN et al., 1993, BELL et al., 1996). Für die Bildung neuer Triebe während der vegetativen Regeneration halten MIYANISHI & KELLMAN (1986) Stärke sogar für einen besseren Indikator als den gesamten TNC-Pool. MOONEY & GARTNER (1991) stellten die Wiederaustriebsfähigkeit von Lianen in direkte Beziehung mit deren Kapazität der Stärkeeinlagerung in Xylemstrahlen der Wurzeln. Als einen weiteren Hinweis auf Anpassung der vegetativ regenerierenden Arten an das Landnutzungssystem kann die geringe Einlagerung in oberirdische Teil interpretiert werden. Die Anfärbungen in diesen Pflanzenteilen erreichte in keinem Fall die hohen Intensitäten, die in den Wurzeln beobachtet wurden. Verluste an Speicherstoffen durch Fällen der Vegetation fallen so geringer aus.

Im Gegensatz zu den Arten mit starker vegetativer Regeneration speicherten typische Pionierarten, mit Ausnahme von *Cecropia palmata*, geringe Mengen oder keine Stärke in ihren unterirdischen und oberirdischen Organen.

Die Färbungsmethode mit Jod-Kaliumjodid-Lösung führte an den Längsschnitten der Grobwurzeln bei den Leguminosen und der meisten Myrtaceae zu intensiven Anfärbungen über die gesamte Schnittfläche. Dieser Sachverhalt zeigt nicht nur die Tatsache der Stärkeeinlagerung an, sondern deutet auch auf hohe Anteile des Speicherparenchyms an der Gesamtmasse des Wurzelstückes hin. BELL et al. (1996) beobachteten in Lignotubern verschiedener Epacridaceae besonders breite Xylemstrahlen bei genau den Arten, die sich durch ein besonders hohes vegetatives Regenerationspotential auszeichneten.

8 Regeneration aus Sproß- und Wurzelstücken

Vor dem Hintergrund der Beschädigung und Fragmentierung der oberirdischen Vegetation und des Wurzelsystems als Folge der Flächenvorbereitungen (**entst, P,E, P,E,R**) wurde die Fähigkeit von 35 Arten der Sekundärvegetation untersucht, aus Sproß- und Wurzelteilstücken, erneut auszutreiben. In einem ersten Versuchsteil wurde untersucht, welche Arten potentiell die Fähigkeit besitzen, aus Sproß- und Wurzelteilstücken erneut auszutreiben und so einen Beitrag zum Wiederaufwuchs der Vegetation leisten können (Abschnitt 8.1). In einem zweiten Versuch sollte geklärt werden, ob ein Zusammenhang zwischen Stücklänge, Stückmasse und Stückvolumen und der Fähigkeit zur vegetativen Regeneration von Teilstücken besteht (Abschnitt 8.2). In diesem Teilversuch wurden nur Wurzelteilstücke eingesetzt, hingegen keine Sproßteilstücke.

8.1 'Screening' zur potentiellen Regenerationsfähigkeit aus Sproß- und Wurzelteilstücken

Von 3044 gepflanzten Teilstücken bestockten sich im Untersuchungszeitraum von 204 d insgesamt 509 Stücke, was einem prozentualen Anteil von 17 % des Pflanzenmaterials entspricht. Die Durchschnittslänge der gepflanzten Sproß- und Wurzelstücke betrug 11,4 bzw. 12,1 cm.

Die Fähigkeit zur vegetativen Regeneration aus Wurzelteilstücken variierte zwischen den untersuchten Arten. Dreißig von 35 Arten bildeten Adventivsprosse oder Knospen. Vegetative Regeneration wurde häufiger an Wurzelteilstücken als an Sproßteilen beobachtet. Nach 142 d wurden an 21 % aller Wurzelstücke beblätterte Adventivsprosse oder begrünte Knospen beobachtet. Nach 204 d stiegen die Anteile auf 24 %. Hingegen wies nach 142 d nur 1 % aller Sproßteilstücke Adventivtriebe auf, nach 204 d waren es 6 % (Tabelle 36).

Teilstücke mit Adventivbewurzelung, unabhängig, ob von Wurzel oder Sproß geschnitten, wiesen gegenüber denen ohne Adventivbewurzelung durchgehend höhere Austriebsraten auf (Tabelle 36). Adventivwurzeln entwickelten sich bis zum Versuchsende nur an maximal 3 % aller Sproßteilstücke. Sproßteilstücke mit Adventivwurzeln wurden ausschließlich bei den beiden Arten *Cassia chrysocarpa* und *Costus arabicus* beobachtet. Der lianenartig, plagiotrop wachsende Sproß der Leguminose *Cassia chrysocarpa* produziert nach eigenen Beobachtungen in der Sekundärvegetation an Berührungspunkten mit dem Boden

sproßbürtige Adventivwurzeln. Die monokotyle Staude *Costus arabicus* entwickelte an den Knoten der Sproßachse sproßbürtige Wurzeln.

Adventivwurzeln traten an Wurzelteilstücken mit höherer Häufigkeit auf als an Sproßteilstücken. Der Anteil aller Wurzelteilstücke, an denen sich Adventivwurzeln bildeten, verdoppelte sich in der Zeit von 142 - 204 d von 13 auf 26 % (Tabelle 36).

Tabelle 36: Adventivwurzelbildung und Adventivbesprossung an Wurzel- und Sproßteilstücken zu zwei Ernteterminen (142 und 204 d).

Regenerationsdauer [d]		142			204		
		Teilstücke					
Wurzel (W) oder Sproß (S)	Bildung Fein- wurzeln Ja/Nein	gesamt	davon mit Trieben und Knospen	% mit Trieben und Knospen	gesamt	davon mit Trieben und Knospen	% mit Trieben und Knospen
		W	J	130	69	53	291
W	N	901	148	16	809	102	13
S	J	13	6	46	19	4	21
S	N	363	4	1	518	10	2

Insgesamt kann festgestellt werden, daß mit 85 % aller eingesetzten Teilstücke, Wurzeln wie Sprosse, der Anteil nicht neu bewurzelter Teilstücke hoch ausfiel.

Die gleichzeitige Bildung von Adventivsprossen und Adventivwurzeln wurde bei 18 von 35 Arten festgestellt. Die Adventivbewurzelung an Wurzelteilstücken begünstigte die Entwicklung von Adventivtrieben. Durchschnittlich 57 % aller Wurzelteilstücke mit Adventivwurzeln trieben erneut aus, dagegen nur 13 %, wenn sich keine Adventivwurzeln entwickelten (Tabelle 36).

Abschließend ist anzumerken, daß ein Großteil der als 'bewurzelt' eingestuft Teilstücke nur wenige, über die gesamte Oberfläche des Teilstückes verteilte Adventivwurzeln entwickelten. Die neugebildeten Wurzeln waren kurz und sehr fein, deren Gesamtmasse unterhalb 0,01 g pro Stück lag.

Tabelle 37: Anzahl gepflanzter Wurzelteilstücke, durchschnittliche Anzahl neu entstandener Knospen und Triebe pro Wurzelteilstück und prozentualer Anteil der Wurzelteilstücke mit neuen Trieben oder Knospen nach 142 d und 204 d Regenerationsdauer im Freilandbeet (^R = Regenerationsorgane Rhizome).

Art	Familie	142 d			204 d		
		Anzahl Wurzelstücke	Anzahl Knospen/Triebe	Austrieb [%]	Anzahl Wurzelstücke	Anzahl Knospen/Triebe	Austrieb [%]
<i>Myrciaria tenella</i>	Myrtaceae	40	3,6	85	49	2,5	90
<i>Bernadinia fluminensis</i>	Conneraceae	41	7,9	93	48	4,1	85
<i>Costus arabicus</i>	Zingiberaceae	7 ^R	2,4	100	23 ^R	2,3	70
<i>Casearia javitensis</i>	Flacourtiaceae	28	1,8	39	40	1,0	45
<i>Annona palludosa</i>	Annonaceae	32	3,2	53	5	2,8	40
<i>Annona montana</i>	Annonaceae	42	0,8	19	48	0,8	38
<i>Miconia eriodonta</i>	Melastomataceae	23	0,6	13	8	1,4	38
<i>Myrcia bracteata</i>	Myrtaceae	33	1,3	48	42	0,7	33
<i>Myrcia silvatica</i>	Myrtaceae	38	0,8	24	62	0,9	32
<i>Myrcia deflexa</i>	Myrtaceae	40	0	0	48	0,6	29
<i>Davilla rugosa</i>	Dilleniaceae	40	1,2	45	42	0,5	29
<i>Abarema jupunba</i>	Mimosaceae	25	0,5	12	30	1,0	20
<i>Inga heterophylla</i>	Mimosaceae	47	0,1	4	56	0,4	18
<i>Cassia chrysocarpa</i>	Caesalpiniaceae	43	0,2	7	75	0,3	17
<i>Inga macrophylla</i>	Mimosaceae	32	0,1	6	25	0,3	16
<i>Memora flavida</i>	Bignoniaceae	9	0,1	11	20	0,3	15
<i>Vismia guianensis</i>	Guttiferae	38	0,6	21	21	0,1	14
<i>Casearia grandiflora</i>	Flacourtiaceae	18	2,1	50	8	0,3	13
<i>Cecropia palmata</i>	Cecropiaceae	33	0	0	27	0,1	11
<i>Mabea angustifolia</i>	Euphorbiaceae	22	2,5	18	20	0,3	10
<i>Rollinia exsucca</i>	Annonaceae	24	0,1	4	23	0,3	9
<i>Rourea ligulata</i>	Connaraceae	41	0,1	7	23	0,2	9
<i>Inga thibaudiana</i>	Mimosaceae	30	0,1	3	38	0,2	8
<i>Solanum caavurana</i>	Solanaceae	36	0	0	51	0,1	8
<i>Banara guianensis</i>	Flacourtiaceae	47	0,1	4	68	0,3	7
<i>Nectandra guianensis</i>	Lauraceae	38	0	0	55	0,2	7
<i>Cordia multispicata</i>	Boraginaceae	32	0	0	43	0,1	2
<i>Connarus perrottetii</i>	Connaraceae	31	0,4	16	10	0	0
<i>Lacistema pubescens</i>	Lacistemataceae	18	0,2	17	28	0	0
<i>Memora allamandiflora</i>	Bignoniaceae	13	0,1	8	13	0	0
<i>Phenakospermum guyannense</i>	Strelitziaceae	37 ^R	0	0	9 ^R	0	0
<i>Solanum crinitum</i>	Solanaceae	27	0	0	24	0	0
<i>Solanum juripeba</i>	Solanaceae	0	0	0	25	0	0
<i>Tabernaemontana angulata</i>	Apocynaceae	14	2,9	57	10	0	0
<i>Wulffia baccata</i>	Asteraceae	16	0	0	8	0	0
Alle Arten		1035	1,0	22	1125	0,6	20

Tabelle 38: Anzahl gepflanzter Wurzelteilstücke, durchschnittliche Biomasse neu entstandener Triebe pro Wurzelstück und prozentualer Anteil der Wurzelteilstücke mit neu entwickelten Trieben nach 142 d und 204 d Regenerationsdauer im Freilandbeet (^R = Regenerationsorgane Rhizome).

Art	Regeneration Familie	142 d			204 d		
		Anzahl Wurzel- stücke	Masse neuer Triebe [g]	Austrieb [%]	Anzahl Wurzel- stücke	Masse neuer Triebe [g]	Austrieb [%]
<i>Myrciaria tenella</i>	Myrtaceae	40	0,1	40	49	0,1	88
<i>Bernadinia fluminensis</i>	Conneraceae	41	0,4	46	48	0,4	85
<i>Costus arabicus</i>	Zingiberaceae	7 ^R	1,4	100	23 ^R	8,8	70
<i>Annona montana</i>	Annonaceae	42	0	0	48	0,6	31
<i>Casearia javitensis</i>	Flacourtiaceae	28	0,4	14	40	0,2	30
<i>Myrcia silvatica</i>	Myrtaceae	38	0	0	62	0,1	29
<i>Myrcia bracteata</i>	Myrtaceae	33	<0,1	9	42	0,2	29
<i>Myrcia deflexa</i>	Myrtaceae	40	0,2	10	48	0,3	27
<i>Miconia eriodonta</i>	Melastomataceae	23	0	0	8	0,1	25
<i>Annona palludosa</i>	Annonaceae	32	0,1	6	5	0,9	20
<i>Davilla rugosa</i>	Dilleniaceae	40	<0,1	8	42	0,2	17
<i>Casearia grandiflora</i>	Flacourtiaceae	18	0	0	8	1,1	13
<i>Cassia chrysocarpa</i>	Caesalpiniaceae	43	0	0	75	2,0	9
<i>Rollinia exsucca</i>	Annonaceae	24	0	0	23	0,1	9
<i>Inga macrophylla</i>	Mimosaceae	32	0	0	25	0,0	8
<i>Banara guianensis</i>	Flacourtiaceae	47	0	0	68	0,6	7
<i>Solanum caavurana</i>	Solanaceae	36	0	0	51	<0,1	6
<i>Mabea angustifolia</i>	Euphorbiaceae	22	0	0	20	3,8	5
<i>Memora flavida</i>	Bignoniaceae	9	0	0	20	0,4	5
<i>Vismia guianensis</i>	Guttiferae	38	0	0	21	<0,1	5
<i>Cecropia palmata</i>	Cecropiaceae	33	0	0	27	<0,1	4
<i>Inga thibaudiana</i>	Mimosaceae	30	0	0	38	<0,1	3
<i>Cordia multispicata</i>	Boraginaceae	32	0	0	43	0,4	2
<i>Nectandra guianensis</i>	Lauraceae	38	0	0	55	7,4	2
<i>Inga heterophylla</i>	Mimosaceae	47	0,1	2	56	<0,1	2
<i>Abarema jupunba</i>	Mimosaceae	25	0	0	30	0	0
<i>Connarus perrottetii</i>	Connaraceae	31	0	0	10	0	0
<i>Lacistema pubescens</i>	Lacistemaceae	18	0	0	28	0	0
<i>Memora allamandiflora</i>	Bignoniaceae	13	0,1	8	13	0	0
<i>Phenakospermum guyannense</i>	Strelitziaceae	37 ^R	0	0	9 ^R	0	0
<i>Rourea ligulata</i>	Connaraceae	41	0	0	23	0	0
<i>Solanum crinitum</i>	Solanaceae	27	0	0	24	0	0
<i>Solanum juripeba</i>	Solanaceae	0	0	0	25	0	0
<i>Tabernaemontana angulata</i>	Apocynaceae	14	<0,1	7	10	0	0
<i>Wulffia baccata</i>	Asteraceae	16	0	0	8	0	0
Alle Arten		1035	0,1	7	1125	0,9	15

Zu den Arten, die eine vergleichsweise intensive Adventivbewurzelung zeigten (Feinwurzelmasse > 0,01g pro Stück), zählten nur *Banara guianensis* und *Costus arabicus*.

An 9 Arten wurden innerhalb 142 d durchschnittlich mehr Adventivtriebe gebildet als nach 204 d (Tabelle 37). Nur 3 Arten erhöhten die Anzahl der Adventivtriebe in der zweiten Versuchshälfte. Bei 17 Arten blieb während der Versuchsdauer die durchschnittliche Anzahl neu gebildeten Sprosse und Knospen innerhalb einer Spannbreite von ± 1 Trieb konstant. Fünf Arten zeigten kein Regenerationswachstum während der gesamten Versuchsdauer.

Im Gegensatz zur Anzahl der Adventivsprosse erhöhte sich bei 17 von 19 regenerationsfähigen Arten die Masse der Adventivsprosse bis zum Versuchsende (Tabelle 38). Die höchste Produktion neuer Adventivtriebbiomasse wies die Staude *Costus arabicus* auf. Die stärksten Zuwächse bei Vertretern holziger Vegetation lagen bei *Nectandra guianensis* und *Mabea angustifolia* vor.

Alle Myrtaceae-Arten trieben aus Wurzelteilstücken aus. Die Masseakkumulation neuer Triebe jedoch war innerhalb der Untersuchungsdauer vergleichsweise gering.

Mit Ausnahme von *Cassia chrysocarpa* besaßen die 5 untersuchten Leguminosenarten nur eine geringe vegetative Regenerationsfähigkeit. Die Wurzelteilstücke produzierten keine beblätterten Austriebe sondern nur Knospen.

Die Gruppe typischer Pionierarten der Brachevegetation mit hoher Samenproduktion, wie *Cecropia palmata*, alle *Solanum* Arten und die krautige *Wulffia baccata*, zeigten weder an Sproß- noch an Wurzelteilstücken Anzeichen vegetativer Regeneration.

Lacistema pubescens und *Vismia guianensis*, die sich nachweislich über die vegetative Regeneration erneuern und auf diese Weise in der Sekundärvegetation ausbreiten (Abschnitt 6.3.3 und 6.3.4), bildeten bis zum Zeitpunkt 142 d nur Knospen. Zum zweiten Erntetermin nach 204 d wies keines der untersuchten Sproß- oder Wurzelteilstücke neu gebildeten Knospen oder Triebe auf.

8.2 Regenerationsfähigkeit aus Wurzelteilstücken unterschiedlicher Länge

8.2.1 Austriebshäufigkeit

Lacistema pubescens, *B. guianensis*, *V. guianensis* und *I. heterophylla* zeigten eine mit der Wurzelteilstüklänge zunehmende Austriebshäufigkeit (Abbildung 34).

Für *A. jupunba* und *I. macrophylla* konnte nur eine Mindeststücklänge von 50 cm für die Triebentwicklung festgestellt werden. An kürzeren Teilstücken fand keine Regeneration statt. Eine einheitliche Entwicklungstendenz von zunehmender Austriebshäufigkeit bei Vergrößerung der Teilstüklänge wurde nicht beobachtet.

Im Gegensatz zu den drei Leguminosenarten *A. jupunba*, *I. heterophylla* und *I. macrophylla* produzierten *B. guianensis*, *L. pubescens* und *V. guianensis* schon ab 10 cm Teilstüklänge Adventivsprosse. Bei 30 cm Teilstüklänge erreichten die Arten Austriebsraten zwischen 46 und 64 %. *A. jupunba* und die beiden *Inga*-Arten zeigten bis zu dieser Längenklasse gar keine oder maximal 6 % Austriebshäufigkeit.

Austriebshäufigkeiten von 100 % erreichten nur *L. pubescens* und *V. guianensis* ab Stücklängen von 50 bzw. 100 cm.

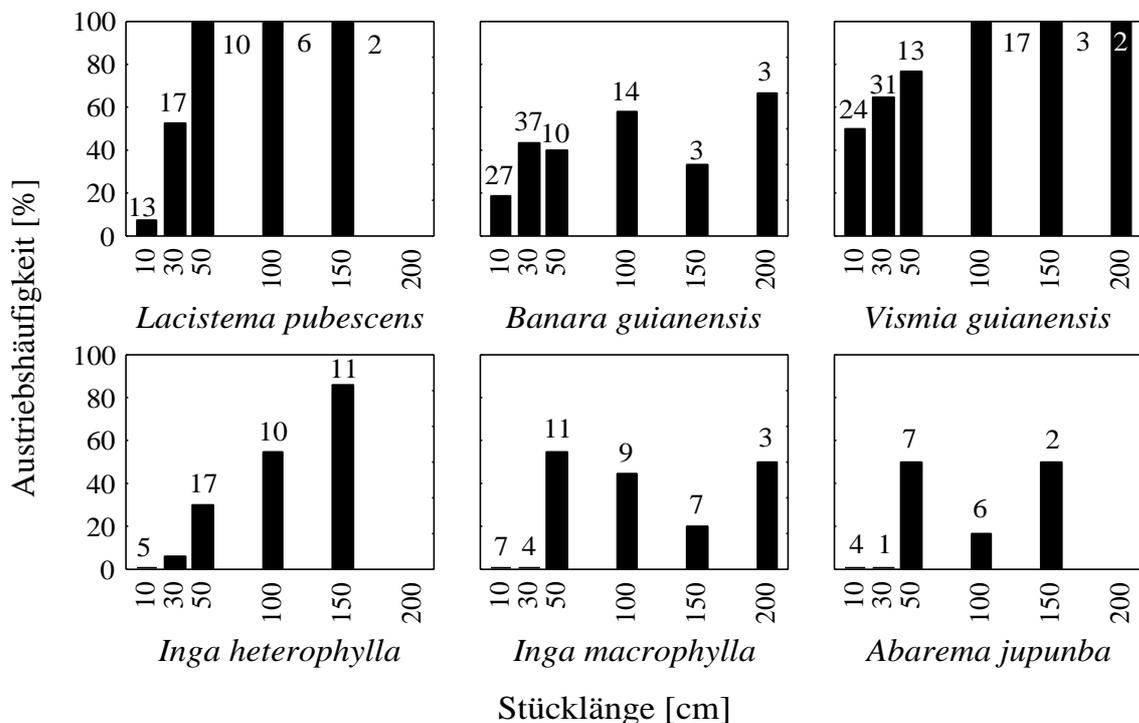


Abbildung 34: Prozentualer Anteil von Wurzelstücken mit neugebildeten Adventivsprossen in Abhängigkeit von verschiedenen Wurzelstücklängen. Zahlenangaben in den Teilabbildungen geben die Anzahl der untersuchten Wurzelstücke an.

Mit *Inga alba* und *I. flagelliformis* wurden noch zwei weitere Leguminosen in die Untersuchungen einbezogen. Keine der beiden Arten produzierte Knospen oder Austriebe. Nur *I. alba* wies zwischenzeitlich Adventivwurzelwachstum auf, welches jedoch nach 3 Monaten Regeneration nicht mehr beobachtet wurde.

8.2.2 Anzahl und Masse von Adventivsprossen in Abhängigkeit von Länge, Volumen und Masse von Wurzelteilstücken

Die Bildung von neuen Adventivtrieben und Knospen, sowie die Biomasseproduktion von Adventivtrieben, korrelierten bei *L. pubescens* und *V. guianensis* stark mit Teilstücklänge, -volumen und -masse (Tabelle 39). Mit Ausnahme der Korrelation der Adventivtriebmasse mit der Teilstückmasse trifft diese Aussage auch auf die Art *I. heterophylla* zu.

Für *B. guianensis* war der Rangkorrelationskoeffizient zwischen der Anzahl neuer Knospen und Adventivtriebe mit den Teilstückparametern zwar in allen Fällen signifikant, die Korrelation der Adventivsproßmasse mit der Länge, dem Volumen und der Masse der Wurzelteilstücke führte jedoch zu engeren Beziehungen.

Für *A. jupunba* und *I. macrophylla* erbrachte die Korrelation der Anzahl und Masse der produzierten Adventivtriebe nur für das Volumen der Wurzelteilstücke signifikante Beziehungen.

8.2.3 Adventivbewurzelung der Wurzelteilstücke

Der Anteil von Teilstücken mit Adventivbewurzelung lag durchschnittlich bei 28 % und war damit bereits nach 3 Monaten Regeneration höher als im 'screening'-Versuch. Nur *Inga heterophylla* entwickelte als einzige Art keine Adventivwurzeln. Wie im 'screening'-Versuch wurde die Mehrzahl neuer Adventivsprosse an Teilstücken ohne Adventivbewurzelung beobachtet. Aber auch hier galt, daß die Austriebsraten durchgehend höher waren wenn Teilstücke Adventivwurzeln entwickelt hatten (Tabelle 40).

Tabelle 39: Korrelation der Anzahl neu gebildeten Adventivsprosse bzw. der Masse neuer Adventivsprosse mit der Länge, dem Volumen und der Masse von Wurzelstückchen.

Art	Korrelation Anzahl der Sprosse vs.	Spearman r	p	n
<i>Lacistema pubescens</i>	Länge des Wurzelstückes	0,79	≤ 0,001	47
	Volumen des Wurzelstückes	0,69	≤ 0,001	40
	Masse des Wurzelstückes	0,73	≤ 0,001	22
<i>Banara guianensis</i>	Länge des Wurzelstückes	0,33	≤ 0,01	65
	Volumen des Wurzelstückes	0,38	≤ 0,001	92
	Masse des Wurzelstückes	0,26	≤ 0,05	22
<i>Vismia guianensis</i>	Länge des Wurzelstückes	0,62	≤ 0,001	91
	Volumen des Wurzelstückes	0,55	≤ 0,001	91
	Masse des Wurzelstückes	0,67	≤ 0,001	46
<i>Abarema jupunba</i>	Länge des Wurzelstückes	0,13	ns	18
	Volumen des Wurzelstückes	0,72	≤ 0,001	18
	Masse des Wurzelstückes	nicht berechnet		
<i>Inga heterophylla</i>	Länge des Wurzelstückes	0,55	≤ 0,05	51
	Volumen des Wurzelstückes	0,62	≤ 0,001	50
	Masse des Wurzelstückes	0,67	≤ 0,01	42
<i>Inga macrophylla</i>	Länge des Wurzelstückes	0,21	ns	27
	Volumen des Wurzelstückes	0,55	≤ 0,001	36
	Masse des Wurzelstückes	0,35	≤ 0,05	26

Art	Korrelation Masse der Sprosse vs.	Spearman r	p	n
<i>Lacistema guianensis</i>	Länge des Wurzelstückes	0,69	≤ 0,001	34
	Volumen des Wurzelstückes	0,67	≤ 0,001	27
	Masse des Wurzelstückes	0,55	≤ 0,001	9
<i>Banara guianensis</i>	Länge des Wurzelstückes	0,61	≤ 0,001	40
	Volumen des Wurzelstückes	0,70	≤ 0,001	39
	Masse des Wurzelstückes	0,81	≤ 0,001	18
<i>Vismia guianensis</i>	Länge des Wurzelstückes	0,62	≤ 0,001	75
	Volumen des Wurzelstückes	0,61	≤ 0,001	75
	Masse des Wurzelstückes	0,82	≤ 0,001	34
<i>Abarema jupunba</i>	Länge des Wurzelstückes	0,17	ns	18
	Volumen des Wurzelstückes	0,76	≤ 0,001	18
	Masse des Wurzelstückes	nicht berechnet		
<i>Inga heterophylla</i>	Länge des Wurzelstückes	0,50	≤ 0,05	18
	Volumen des Wurzelstückes	0,71	≤ 0,01	18
	Masse des Wurzelstückes	0,45	ns	9
<i>Inga macrophylla</i>	Länge des Wurzelstückes	0,26	ns	18
	Volumen des Wurzelstückes	0,51	≤ 0,05	17
	Masse des Wurzelstückes	0,14	ns	7

Tabelle 40: Austriebshäufigkeit in Abhängigkeit von der Bildung von Adventivwurzeln an Wurzelteilstücken.

Art	Entwicklung von Adventivwurzeln			
	nein		ja	
	Austrieb [%]	Anzahl Wurzelteilstücke	Austrieb [%]	Anzahl Wurzelteilstücke
<i>Lacistema pubescens</i>	53	43	100	4
<i>Banara guianensis</i>	22	67	75	28
<i>Vismia guianensis</i>	62	69	100	22
<i>Abarema jupunba</i>	17	12	50	6
<i>Inga heterophylla</i>	33	52	0	0
<i>Inga macrophylla</i>	21	28	50	12

Eine Beziehung zwischen Teilstücklänge, -masse oder -volumen und der Häufigkeit der Adventivbewurzelung von Teilstücken konnte bei keiner der untersuchten Arten gezeigt werden. Unter Vernachlässigung von *I. heterophylla*, die an keinem der untersuchten Teilstücke Adventivwurzeln bildete, zeichnete sich eine allgemeine Tendenz ab, nach der die Entwicklung von Adventivwurzeln häufiger an Wurzelteilstücken größerer Stücklängen stattfand oder es einer Mindeststücklänge bedurfte, um Adventivwurzeln auszubilden. Im Falle der Leguminosen *A. jupunba* und *I. macrophylla* setzte die Bildung von Adventivwurzeln erst bei Teilstücklängen von 30 - 50 cm ein, bei *B. guianensis* und *V. guianensis* bereits bei ≤ 10 cm. Bei den beiden letztgenannten Arten erhöhte sich der Anteil adventivbewurzelter Teilstücke mit zunehmender Stücklänge (Tabelle 63 im Anhang).

Nur *Banara guianensis* produzierte Adventivwurzeln, deren durchschnittliche Massen 0,01 g pro Wurzelteilstück überschritten.

8.3 Zusammenfassung und Diskussion

Von 35 untersuchten Arten zeigten 30 die Fähigkeit zur vegetativen Regeneration aus Wurzelteilstücken. Die Sproß- und Wurzelteilstücke einzelner Arten konnten dabei 204 d lang überleben und verzeichneten Wachstum. KINSMAN (1990) beobachtete die Teilstückerneuerung an 22 neotropischen Unterwuchsarten aus 8 Familien im Bestand. Innerhalb eines 4monatigen Regenerationszeitraumes überlebten 92 %, nach 8monatigem 69 % aller Teilstücke und produzierten Triebe. Mit 17 % im ersten und 52 % im zweiten Teilversuch fiel die durchschnittliche Regenerationsrate in der vorliegenden Untersuchung niedriger aus. Die Ursache für den geringeren Wiederaustrieb in der vorliegenden Arbeit könnte an der

speziellen Regenerationskapazität der ausgewählten Arten liegen. Andererseits spielen die besonderen Wachstumsbedingungen im Unterholz des Regenwaldes eine wichtige Rolle. Im Gegensatz zu einem bewuchslosen Pflanzbeet ist im Unterholzbestand eines Regenwaldes mit geringeren Amplituden der Luft- und Bodenfeuchteschwankungen zu rechnen. Nach GREIG (1993) sind humide Bedingungen eine wichtige Voraussetzung für ein langfristiges Überleben der sich regenerierenden Teilstücke. Regenerationsraten von bis zu 100 % wurden in der vorliegenden Arbeit erst bei größeren Stücklängen (≥ 30 cm) beobachtet.

Die Arten der Myrtaceae zeichneten sich durch überdurchschnittlich hohe Austriebshäufigkeiten schon bei geringen Stücklängen aus (≤ 30 cm). Myrtaceae haben eine hohe Abundanz in der regionalen Sekundärvegetation, sowohl in der Initialphase (CLAUSING, 1994) als auch in späteren Entwicklungsstadien der Regeneration (DENICH, 1989; BAAR, 1997). Nach eigenen Beobachtungen und nach Angaben verschiedener Autoren (DENICH, 1989; SKATULLA, 1994; NUÑEZ, 1995) verfügen die Myrtaceae im allgemeinen über hohe vegetative Regenerationskapazität und Überlebensfähigkeit in der Vegetation, welche sich auch im hohen Regenerationsvermögen aus Teilstücken widerspiegelte.

Die vegetative Regenerationskapazität der Arten *B. guianensis*, *L. pubescens*, *V. guianensis* und *I. heterophylla* war eng mit den Dimensionen Länge, Volumen und Masse der Teilstücke korreliert, aus denen die Adventivtriebe hervorgingen. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu den Resultaten von KINSMAN (1990), die eine Abhängigkeit der Entwicklung neuer Triebe von der Stücklänge oder der -masse nicht belegen konnte. GREIG (1993) hingegen beobachtete bei verschiedenen Arten der Gattung *Piper* eine positive Beziehung des Wachstums von Adventivtrieben mit zunehmender Länge von Wurzelschnittlingen. Die Intensität des Adventivtriebwachstums wurde ferner in artspezifischer Weise durch Lichtgenuß und Bodentemperaturen beeinflusst.

Der Anteil der Leguminosen an der Gesamtphytomasse in einer typischen 4jährigen Brachevegetation kann bis zu 40 % beitragen, der der Art *A. jupunba* allein 12 %. Leguminosen treten zahlenmäßig selten in der Sekundärvegetation auf, besitzen häufig aber eine hohe individuelle Biomasse (DENICH, 1989). Erstaunlicherweise zeigte die Gruppe in beiden Regenerationsversuchen geringe Fähigkeiten zur Teilstückregeneration, sowohl an Sproß- als auch an Wurzelteilstücken. Eine hohe, individuelle Reproduktionsleistung in der

Sekundärvegetation sowie hohe Stärkeeinlagerungen in den unterirdischen Pflanzenorganen (Abschnitt 7.1) implizieren also nicht gleichzeitig die Fähigkeit zur Teilstückregeneration.

Die Pflanzen, die in der Gruppe 'Pionierarten' zusammengefaßt wurden, besitzen ein hohes generatives Regenerationspotential. Sie stellten sich schon in der Initialphase der Regeneration als frühe Arten der Sukzession ein, indem sie sich aus der Samenbank der Bracheflächen erneuerten und gegebenenfalls auch aus Nachbarflächen eingetragen wurden. (SKATULLA, 1994; CLAUSING, 1994; JACOBI, 1997). Vor diesem Hintergrund ist das geringe vegetative Regenerationspotential im Teilstückversuch erwartungsgemäß. Analog zu den vorliegenden Ergebnissen beobachtete auch GREIG (1993) bei Schnittlingen früher Arten der Sukzession eine hohe Mortalitätsrate und eine geringe Fähigkeit, Adventivwurzeln zu bilden, die sie mit genetischer Determination erklärt.

In bezug auf die in den Feldexperimenten durchgeführten Behandlungen lassen sich aus den Versuchen zur Teilstückregeneration folgende Rückschlüsse ziehen:

A. jupunba und *I. macrophylla* scheinen unter den ausgesuchten Leguminosen am besten an die Bedingungen der traditionellen Wald-Feld-Wechselwirtschaft mit Brandrodung (**gebr**) angepaßt, da dieses Flächenmanagement die unterirdischen Anteile der Vegetation am wenigsten negativ beeinflußt. Manuelle Entstockung (**entst**) sowie maschinelle Rodungsverfahren mit anschließender Bodenbearbeitung (**P,E, P,E,R**) führen zwangsläufig zur intensiven Fragmentierung des Wurzelsystems, was im Falle dieser Arten die vegetative Regenerationskapazität drastisch vermindert. Die geringen Austriebsraten im 'screening'-Versuch (mit kurzen Teilstücken) legen die Vermutung nahe, daß diese Aussage auch auf *I. thibaudiana* zutrifft.

Die Myrtaceae sowie *B. guianensis*, *L. pubescens* und *V. guianensis* trieben schon bei geringen Stücklängen erneut aus. Ob diese Fähigkeit deren Überlebenschancen nach maschineller Flächenbearbeitung gegenüber den Leguminosenarten erhöht, müßte im Feldversuch genauer verifiziert werden.

Für verschiedene neotropische Pflanzenarten wurde die Fähigkeit zur vegetativen Teilstückregeneration, Sproß und Wurzel, nachgewiesen (GREIG, 1993). KINSMAN (1990), die das Schicksal einzelner Bruchstücke über die Dauer mehrerer Jahre beobachtete, bewertet diese Regenerationsform als wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Vegetationsstruktur und der Populationsökologie tropischer Regenwälder. Ob sich die Teilstücke in der Vegetation

letztlich etablieren können, hängt von einer Reihe weiterer biotischer und abiotischer Faktoren ab. Hierzu zählen interspezifische Konkurrenz im dicht durchwurzelten oberen Bodenhorizont, allelopathische Wirkungen im Bestand (UHL, 1987), gespeicherte Energievorräte, Lichtgenuß, Luft- und Bodentemperaturen, Wasserangebot sowie die kurz- und langfristigen Veränderungen dieser Faktoren (KINSMAN, 1990). Von den Einflußgrößen ist die Wasserversorgung von ausschlaggebender Bedeutung für das Überleben. Teilstücke, die während der Flächenbehandlungen nicht vollständig von ihrem Feinwurzelsystem getrennt wurden oder in der Lage sind, schnell neue Adventivwurzeln zu bilden, dürften Überlebensvorteile besitzen. Die durchgehend höheren Regenerationsraten bewurzelter Teilstücke gegenüber den niedrigeren Regenerationsraten unbewurzelter Teilstücke weisen darauf hin. GREIG (1993) bestätigte, daß sich die Überdauerungsfähigkeit von Teilstücken in der Vegetation erhöht, sobald diese einmal Feinwurzeln ausgetrieben hatten. Die Bewurzelung führte außerdem zu schnellerer Triebentwicklung im Vergleich zu unbewurzelten Teilstücken.

Generell kann festgestellt werden, daß Regeneration aus Teilstücken unter den Bedingungen der traditionellen Wald-Feld-Wechselwirtschaft eine untergeordnete Rolle spielt. Durch schnelleres Regenerationstempo und höhere Wachstumsintensität erweist sich die Bildung von Adventivsprossen an Baumstümpfen und ungeschädigten Wurzelsystemen als wesentlich konkurrenzkräftiger als die Teilstückregeneration.

Hingegen dürfte unter den besonderen Bedingungen der mechanisierten Flächenbestellung, bei der ein Großteil des Wurzelsystems zerstört wird und eine intensive Teilstückbildung auftritt, sich der Anteil der vegetativen Regeneration aus Bruchstücken erhöhen. Es ist aber zu bezweifeln, daß die Teilstückregeneration die Rolle der vegetativen Regeneration des unbeeinflussten Wurzelsystems übernehmen kann, da die Produktivität der Wurzelteilstücke niedrig ist. Dies betrifft sowohl die Produktion von Adventivwurzeln wie von Adventivsprossen.

9 Abschließende Diskussion der Ergebnisse

Der Hauptschwerpunkt dieser Arbeit lag in der Beschreibung des Wurzelsystems der Brachevegetation. Es wurden saisonale Wachstumsmuster am Beispiel der ungestörten Sekundärvegetation und die unterschiedliche Wirkung der Flächenbehandlungen auf die Produktivität und die Massen- und Längenvorräte des Wurzelsystems dargestellt. Diese wurden anhand unterschiedlicher Methoden bestimmt. In einer kurzen Darstellung werden nun zunächst Vor- und Nachteile der Methoden erläutert, soweit dies noch nicht in vorangegangenen Abschnitten der Fall war.

Ein weiterer Schwerpunkt bestand in der Beschreibung des Wachstums der oberirdischen Vegetation. Im Abschnitt 9.3 wird dargestellt, welche Wechselbeziehungen zwischen den unter- und oberirdischen Vegetationsanteilen bestanden. In der Diskussion werden ausgewählte Parameter der Ergebnisse erneut aufgegriffen und zueinander in Beziehung gesetzt.

Darauf folgend sollen Aussagen abgeleitet werden, wie die verschiedenen Landnutzungsverfahren einen Beitrag zur nachhaltigen Produktionssicherung leisten können oder wie hoch ihr Degradationspotential ist.

9.1 Methoden

Erfassung der Nettoproduktivität

Die Methode, mit substratgefüllten, wurzelfreien Gazebeuteln die Produktivität des Feinwurzelsystems abzuschätzen, wurde bereits erfolgreich in verschiedenen tropischen Waldvegetationen angewendet (JORDAN & ESCALANTE, 1980; SANFORD, 1985, 1990; CUEVAS & MEDINA, 1988; PRIESS, 1996). Mit der Gazebeutelmethode werden Daten zur kurz- und mittelfristigen (Netto)Feinwurzelproduktion in unterschiedlichen Bodentiefen im Bestand gewonnen. Eine korrekte Abschätzung der Nettofeinwurzelproduktivität im Bestand ist jedoch an bestimmte methodologische Voraussetzungen geknüpft. Die Wahl des richtigen Ortes und Zeitpunktes für das Einsetzen der Beutel in den Boden und ein Entnahmeschema, das der Produktivität des Pflanzenbestandes angepaßt ist, sind wichtig (SINGH et al., 1984; VOGT et al., 1986; SANTANTONIO & GRACE, 1987; STEEN, 1991). In dieser Untersuchung wurden die Gazebeutel während der niederschlagsreichen Jahreszeit in den Boden eingesetzt. Die Auswahl des Zeitpunktes erwies sich als günstig, da das Wurzelwachstum positiv mit dem Wasserangebot korreliert war und so die Wachstumsspitze des Feinwurzel-

systems in der regenreichen Jahreszeit erfaßt wurde. Die Effektivität der Methode, die Wachstumsrhythmik des Wurzelsystems darzustellen wurde auch durch die kurzfristigen Längenzunahmen innerhalb der ersten drei Monate sowie die starken Massenzunahmen nach erneutem Einsetzen der regenreichen Saison (Zeitraum 270 bis 360 d Verbleibdauer) belegt. Wäre das Einsetzen der Gazebeutel während der trockenen Jahreszeit erfolgt, kann aufgrund der Stagnationsphase des Wurzelwachstums, davon ausgegangen werden, daß die Besiedlung der Gazebeutel schwächer ausgefallen wäre. Dieser Effekt ist wahrscheinlich dafür verantwortlich, daß BRIENZA Jr. (1999) in 3jähriger Sekundärvegetation in einem benachbarten Feldexperiment in Cumaru eine bis zu 50 % niedrigere Jahresnettoproduktion als in der vorliegenden Untersuchung ermittelte (Tabelle 16).

Die Frage, ob die drei Monate Zeitdauer zwischen Behandlungsdurchführung und dem Einsetzen der Gazebeutel ausreichend lang war, um wurzelfreie oder stark wurzelverminderte Bodenräume erneut zu besiedeln, kann eindeutig bejaht werden. Dies wird belegt durch die Ergebnisse der Vorversuche, nach denen selbst im unproduktivsten Bodenhorizont in 40 - 50 cm Tiefe spätestens nach 60 d neue Wurzeln eingewachsen waren (Tabelle 46). Außerdem zeigte sich, wie weiter oben bereits dargelegt, daß das Wurzelsystem kurzfristig sehr produktiv sein konnte. SANFORD (1985) und PRIESS (1996) betrachteten in Terra-Firme-Vegetation in Venezuela eine 30tägige 'lag-phase' als ausreichend, um das Einwachsen neuer Feinwurzeln zu gewährleisten.

Ein grundsätzliches, aber unvermeidbares Problem dieser Methode besteht in den Störungen der Wurzelsystems, die sich beim Einsetzen der Gazebeutel in den Boden ergeben. Weiterhin stellen die wurzelfreien Bodenvolumina der Gazebeutel Gunsträume für das unterirdische Wachstum dar, da zumindest während der Anfangszeit der Besiedlung der Gazebeutel von verminderter Konkurrenz in der Rhizosphäre ausgegangen werden kann. Trotz der genannten Einschränkungen betrachtet STEEN (1991) den Gazebeuteltest als Methode mit guter Eignung zur Ermittlung der Nettoproduktivität des Feinwurzelsystems. Unter Langzeitbedingungen ($\geq 2 - 3$ Monate) kommt diese Methode den natürlichen Wachstumsverhältnissen sehr nahe und ist nach Auffassung des Autors gut geeignet für die Abschätzung der relativen und absoluten Nettofeinwurzelsproduktion.

Modellierungsansatz

Isolierte Parameter eines Ökosystems lassen sich in vielen Fällen durch einfache mathematische Modelle angemessen beschreiben (RICHTER, 1985). Die Tiefenverteilung der Parameter eines Wurzelsystems ist häufig nicht linear und variiert in Abhängigkeit von dem Sukzessionsentwicklungszustand einer Vegetation (GALE & GRIGAL, 1987). Im vorliegenden Fall lieferte das Modell der exponentiellen Abnahme der Feinwurzelmassen- und -längendichte mit zunehmender Tiefe eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Daten (Abschnitte 2.3.2, 5.1.2 und 5.2.2). Dabei ist zu beachten, daß die Modellparameter (\mathbf{a} , \mathbf{c} und $T_{1/2}$) für den betrachteten Tiefenbereich (bis 50 cm) Gültigkeit besitzen und sich die Ergebnisse der Modellierung nicht vorbehaltlos auf Feinwurzel-dichten (Masse und Länge) in tieferen Bodenbereichen übertragen lassen (RICHTER & SÖNDERGARTH, 1990). Zur guten Modellanpassung und Vergleichbarkeit der Modellparameter trug bei, daß trotz unterschiedlicher Bodentexturen in den tiefgründig verwitterten und gut drainierten Böden der beiden Feldexperimente keine Durchwurzelungsbarrieren in Form lateritischer Konkretionen bestanden oder Wasserstauhohizonte auftraten, die die Tiefenausbreitung der Wurzeln behindert hätten.

Mit dem Modellierungsansatz zur Beschreibung des Feinwurzelmassenverlaufes im Boden wurden mehr statistische Unterschiede aufgezeigt, als dies mit den Rohdaten allein möglich war. So konnten beispielsweise die Jahreszuwächse der Wurzelvorräte der **Capoeira** in beiden Feldexperimenten mit den Modellparametern abgesichert werden, während dies mit Rohdaten nicht möglich war (Tabelle 17 und Tabelle 19). Wenn auch nicht explizit dargestellt, führte die Modellanpassung zur Einengung der Streuungen von Mittelwerten, wodurch schärfere Abgrenzungen von Behandlungen ermöglicht wurden (Abschnitte 5.1, 5.2.2.1 und 5.3.1).

Ein weiterer Vorteil des Modellierungsansatzes bestand darin, daß die Methode über den reinen Massenvergleich in ausgewählten Tiefenstufen hinausgeht. Verschiedene Behandlungen oder Entwicklungszustände von Sekundärvegetationen (die den Altersstufen entsprechen) konnten über die Massenverläufe im Boden charakterisiert werden. Diese Herangehensweise berücksichtigt in den statistischen Vergleichen einerseits umfangreichere Datenbestände und führt andererseits zu leichter interpretierbaren Ergebnissen als beispielsweise ein multifaktorieller Vergleich von 10 Bodentiefen in 5 Behandlungen und 2 Feldexperimenten.

Der Modellierungsansatz erwies sich in der vorliegenden Untersuchung als eine effektive Methode zur Datenauswertung. Er ließ sich sowohl zur Berechnung der Massenvorräte als auch zur Abschätzung der Nettoproduktionsleistung einsetzen. WIESENMÜLLER et al. (1998) weisen auf die Möglichkeit hin, die Anzahl beprobter Tiefenstufen zu reduzieren. Bei einer Verringerung von 10 auf 5 Tiefenstufen waren die Ergebnisse innerhalb einer Fehlertoleranz von maximal 10 % reproduzierbar. Dies ist besonders für zukünftige Untersuchungen von Bedeutung, denn so ließe sich der Arbeitsaufwand bei der Probenahme und der anschließenden Probenaufbereitung um 50 % reduzieren, vorausgesetzt, der Modellierungsansatz ist übertragbar auf andere Systeme und die Fehlererhöhung tolerierbar.

9.2 Produktivität des Feinwurzelsystems

Abschätzungen der Jahresnettozuwächse in der ungestörten Ausgangsvegetation (**Cap**) wurden mit der Bohrkernmethode und der Gazebeutelmethode durchgeführt. Zwischen den Ergebnissen beider Untersuchungsmethoden herrschte ein hoher Grad an Übereinstimmung. Die Gazebeutelmethode ergab für beide Feldexperimente $4,3 \text{ t*ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ (Tabelle 15). Die Produktionen, die mit der Bohrkernmethode ermittelt wurden, betrugen $4,3$ (Exp 4a) und $4,1 \text{ t*ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ (Exp 9a). Die Werte errechnen sich aus den Zunahmen der Wurzelfraktionen $\varnothing \leq 5$ mm beim Übergang von der regenarmen zur regenreichen Jahreszeit (Tabelle 17). Aus dem hohen Grad der Werteübereinstimmung läßt sich ableiten, daß die Beprobungszeitpunkte für die Entnahme von Bohrkernen, die in die Hochphasen der Regen- und Trockenperiode gelegt wurden, günstig gewählt waren. Diese Annahme wird gestützt von den Ergebnissen der Gazebeutelmethode, wonach die Beprobungszeitpunkte für die Bohrkernentnahme der saisonalen Wachstumsrhythmik des Wurzelwachstums folgten.

In beiden Ausgangsvegetationen traten mit abnehmenden Niederschlägen (März 94 - November 94) Verminderungen der Wurzelvorräte auf ($1,0 - 1,6 \text{ t*ha}^{-1}$), die zu keinem Zeitpunkt in einer Erhöhung der Nekromasse sichtbar wurden. In dieser Zeit überwog offensichtlich die Mortalität der Fein- und Schwachwurzeln das Wurzelwachstum und gleichzeitig wurde die Nekromasse nahezu komplett zersetzt. Da die Vorräte immer nur als Resultierende der Wachstums- und Abbauprozesse gesehen werden können, bot sich hier die Möglichkeit, die Abbaugeschwindigkeit von Wurzeln ($\varnothing \leq 5$ mm) in der Zeit von März bis November ansatzweise abzuschätzen. Der Abbau durch die phytophage Bodenfauna und

durch mikrobielle Zersetzung im ungestörten Mineralboden betrug danach 3,7 - 5,9 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{d}^{-1}$. Hochgerechnet auf ein Jahr ergibt sich daraus (als Untergrenze) eine Abbaurrate der Fein- und Schwachwurzeln von 1,4 (Exp 9a) bis 2,1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ (Exp 4a) im Bereich von 0 - 50 cm Tiefe. Damit liegen die Werte 0,1 - 0,8 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ oberhalb der minimalen Abbaurrate, die PRIESS (1996) in Wäldern Venezuelas ermittelte.

Analog zur jahreszeitlichen Variation der Wurzelmassen in der unbehandelten Ausgangsvegetation (**Capoeira**), die dem Niederschlagsangebot folgte, kann angenommen werden, daß auch in den Behandlungen eine Abnahme der Wurzelmasse mit zunehmender Trockenheit und eine Zunahme der Wurzelmasse mit zunehmenden Niederschlägen erfolgte. Diese wurde jedoch nicht durch die Entnahme von Bohrkernen in der Trockenzeit dokumentiert. Zusätzlich zu den klimatisch bedingten Massenveränderungen kam es zu Massenrückgängen, die als Folge der Behandlungen auftraten (Abschnitt 5.2.4). Unter der Annahme, daß die Nettojahresproduktion der Feinwurzeln in den Behandlungen durch die Gazebeutelmethode genauso gut repräsentiert wird wie im Fall der **Capoeira** (siehe oben), kann festgestellt werden, daß nur in den traditionellen Brandrodungsflächen innerhalb der Beprobungsdauer von einem Jahr die klimatisch und behandlungsbedingten Feinwurzelrückgänge von der Jahresnettofeinwurzelproduktion vollständig kompensiert wurden (Tabelle 41). Die manuelle Extraktion der Baumstümpfe und Wurzelstöcke führte zu stärkeren Rückgängen der Feinwurzelvorräte als bei der Brandrodung. Obwohl die unterirdische Nettojahresproduktion bei den manuellen Landnutzungsverfahren im gleichen Größenbereich lag, reichte in beiden Feldexperimenten die Produktion von 3,1 - 4,2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ nicht aus, um die Verluste nach der manuellen Entstockung auszugleichen. Die Differenz zu der Brandrodung kann nicht auf intensiveren Störungen des Mineralbodens oder erhöhter mechanischer Beeinflussung des Feinwurzelsystems beruhen, da die Entnahme der Stümpfe einen punktuellen Eingriff darstellt. Wenn also physikalische Einwirkungen nicht zu den erhöhten Rückgängen der Feinwurzelvorräte geführt haben, waren hierfür physiologische Effekte verantwortlich. Bei der manuellen Entstockung werden gleichzeitig beträchtliche unterirdische Vegetationsanteile extrahiert, die, wie die Stärkeeinlagerungsversuche zeigten, als Stärkespeicherorgane fungieren (Wurzelhals, siehe Abschnitt 7.1). Sehr wahrscheinlich hat diese Behandlung (gegenüber der Brandrodung) zu einer Verschlechterung der Energiebereitstellung und darüber zu erhöhter Feinwurzelmortalität geführt.

Bei den mechanisierten Flächenbehandlungen führten neben den klimatischen Einflüssen und der verschlechterten Energieversorgung vor allem die physikalischen Effekte auf das

Wurzelsystem zu einem Rückgang der Feinwurzelsvorräte gegenüber der Ausgangsvegetation. Die intensiven Vorratsverminderungen konnten innerhalb der Versuchsdauer nicht ausgeglichen werden. Wurde gepflügt und geeget und das Wurzelsystem nicht durch die Rolofaca vorzerkleinert, war der destruktive Einfluß der maschinellen Flächenvorbereitung am stärksten (Abschnitt 4.4). Dies wurde besonders im Feldexperiment mit der jüngeren Ausgangsvegetation (Exp 4a) deutlich, wo die Massenverringering der Feinwurzelsvorräte die Nettofeinwurzelsproduktion übertraf. In Tabelle 41 und 42 wurden diese Ergebnisse der besseren Übersichtlichkeit halber noch einmal zusammengefaßt dargestellt.

Tabelle 41: Jahresnettozuwachs der Feinwurzelsvorräte ermittelt mit der Bohrkernmethode und die Feinwurzelsjahresnettoproduktion ermittelt mit der Gazebeutelmethode in der Ausgangsvegetation und den Behandlungen der Feldexperimente Exp 4a und Exp 9a.

Methode	Bohrkerne			Gazebeutel	
	Vorräte März 94	Vorräte April 95	D Vorräte März 94 April 95	Jahresnetto- produktion	
	Wurzeln \varnothing 2 mm in [t*ha ⁻¹]				
Exp 4a	Cap	3,7	5,5	1,8	4,3
	gebr		3,9	0,2	3,9
	entst		3,4	-0,3	3,1
	P,E		2,1	-1,6	1,1
	P,E,R		3,0	-0,7	1,6
Exp 9a	Cap	6,0	8,2	2,2	4,3
	gebr		6,8	0,8	3,3
	entst		5,7	-0,3	4,2
	P,E		4,6	-1,4	2,1
	P,E,R		4,8	-1,2	3,0

unbehandelte Sekundärvegetation (Cap), manuelle Brandrodung (gebr), manuelle Entstockung (entst), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (P,E) und Schneidwalze (P,E,R)

Vergleicht man die innerhalb eines Jahres in die Gazebeuteln eingewachsene Wurzelmasse mit verschiedenen Wurzelfractionen im Mineralboden (Tabelle 42) zeigt sich, daß im Exp 4a in den manuellen Behandlungen und in der unbehandelten Ausgangsvegetation zwischen 84 - 116 % der Ausgangsmassendichte (März 1994) und 78 - 100 % der Endmassendichte (April 1995) der Wurzelfraktion $\varnothing \leq 2$ mm erreicht wurden. Hingegen wurden nach Einsatz von Pflug, Egge und Rolofaca nur 30 - 43 % der Ausgangsmassendichte und 52 - 53 % der Endmassendichte produziert. Im Exp 9a waren die Unterschiede zwischen den Behandlungen kleiner, aber hier kann festgestellt werden, daß die in die Gazebeuteln

eingewachsene Wurzelmasse in der unbehandelten Ausgangsvegetation und den manuellen Behandlungen nur 55 - 72 % der Ausgangsmassendichte und 52 - 74 % der Endmassendichte erreichten. In den maschinellen Behandlungen lagen die Werte zwischen 35 - 50 % bzw. 46 - 63 %. Bezogen auf die Gesamtwurzelmasse zum Versuchsende wurden im Exp 4a durchschnittlich 30 und im Exp 9a 20 % produziert. Die Erhöhung der Prozentwerte ausgehend von der Capoeira über die manuellen Behandlungen zu maschinellen ist auf die starke Verminderung der Masse der Schwach- und Grobwurzeln zurückzuführen.

Tabelle 42: In den Gazebeuteln produzierte Wurzelmasse nach 360 d Verbleibdauer im Vergleich zu den lebenden Wurzelvorräten im Boden (in %, 0 - 50 cm Tiefe) zum Zeitpunkt des letzten Beprobungstermins im April 95. (Die eingeklammerten Werte beziehen sich auf die erste Beprobung der Capoeira im März 94).

Æ	Exp 4a		Exp 9a		
	£2 mm	gesamt alle Durchmesser	£2 mm	gesamt alle Durchmesser	
					[%]
Cap	(116) 78	23	(72) 52	14	
gebr	(105) 100	25	(55) 49	12	
entst	(84) 91	30	(70) 74	26	
P,E	(30) 52	34	(35) 46	20	
P,E,R	(43) 53	39	(50) 63	28	
Mittel	(76) 75	30	(56) 57	20	

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß nur nach Brandrodung und manueller Entstockung die aufgetretenen Feinwurzelverluste innerhalb eines Jahres mehr oder weniger ausgeglichen wurden. Um zu diesem Ausgleich zu gelangen, mußten sowohl die behandlungsbedingten Feinwurzelrückgänge als auch die klimatisch bedingte Mortalität durch Neuproduktion kompensiert werden. Nach den maschinellen Flächenbehandlungen unter Einsatz von Pflug, Egge und Rolofaca wurde die unterirdische Regenerationskapazität soweit verringert, daß diese Bedingungen nicht mehr gegeben waren. Die Nettoproduktion war wesentlich geringer als die aufgetretenen Verluste, was in ausgeprägten Rückgängen der lebenden Feinwurzelvorräte resultierte.

9.3 Oberirdische Biomasseproduktion in Abhängigkeit von den Wurzelmassevorräten

Eine Besonderheit der Vegetation in den gerodeten Parzellen der Feldexperimente bestand darin, daß sie sich nahezu ausschließlich vegetativ aus unterirdischen Pflanzenorganen regenerierte (Abschnitt 6.3 ff.). Der Energiebedarf für den vegetativen Wiederaufwuchs in der Anfangsphase der Regeneration wird primär durch Speicherkohlenhydrate (TNC) aus Speicherorganen und nicht durch Nettophotosyntheseleistung gedeckt (MIYANISHI & KELLMAN, 1986, BERISH & EWEL, 1988; BELL et al., 1996). Die TNC, deren Hauptkomponente häufig Stärke ist, sind im Übergangsbereich der Wurzeln zum Stamm (Wurzelhals) und in den verholzten Wurzeln der Vegetation lokalisiert (Abschnitt 7.1). Diese Wurzeln, die sich hinsichtlich ihrer Anatomie und Funktion von den Feinwurzeln stark unterscheiden (SANTANTONIO, 1990), wurden unter der Durchmesserfraktion $\varnothing \geq 2$ mm zusammengefaßt. SINGH & SRIVASTAVA (1988) berichteten von verstärkter TNC-Speicherung mit zunehmendem Wurzeldurchmesser. Unter der Annahme, daß

- mit steigendem Volumen bzw. zunehmender Biomasse der Speicherwurzeln die verfügbaren TNC-Vorräte zunehmen und daß,
 - mit der Erhöhung des TNC-Angebotes auch die initiale Wuchsleistung gefördert wird,
- muß der oberirdische Wiederaufwuchs in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium des Wurzelsystems sowie des behandlungsbedingten Rückganges der Grobwurzelmasse variieren.

In der Tabelle 43 wird anhand von paarweisen Korrelationen gezeigt, daß zwischen den unter- und oberirdischen Vegetationsanteilen in den behandelten Flächen enge Wachstumsabhängigkeiten bestanden. Dazu wurden die oberirdische Phytomasse (Abschnitt 6.4.2) sowie Trieb länge und -durchmesser nach 465 d Wachstum (Abschnitt 6.3.2) in Abhängigkeit von den unterirdischen Wurzelvorräten (bis 50 cm Tiefe) dargestellt. Als unterirdische Bezugsgrößen dienten die Feinwurzelmasse ($\varnothing \leq 2$ mm) nach der Bohrkernmethode (Abschnitt 5.2.2.1) und die Masse der Schwach- und Grobwurzeln nach der Monolithmethode (Abschnitt 5.3.2). Die unterirdische Biomasse wurde ergänzt um die Masse der Rhizome der monokotylen Hochstaude *Phenakospermum guyannense* (Abschnitt 2.2.4.2). Die unterirdischen Gesamtvorräte wurden aus den Summen der Ergebnisse beider Methoden berechnet. Für **P,E** wurden als beste Näherung die Massen der Fraktion $\varnothing > 2$ mm von **P,E,R** übernommen, da die **P,E**-Behandlung nicht nach der Monolithmethode beprobt wurde. Die oberirdische Phytomasse entspricht der Masse der Sekundärvegetation in den gerodeten Parzellen nach 16 Monaten Regenerationsdauer.

Tabelle 43: Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) für verschiedene Fraktionen unterirdischer Phytomasse (bis 50 cm Tiefe) mit verschiedenen Anteilen oberirdischer Phytomasse sowie durchschnittlicher Trieblänge und Triebdurchmessers der 16 häufigsten Arten zum Versuchsende. Eine Trennung nach Experimenten wurde nicht vorgenommen.

Oberirdische Fraktion	[n]	Holz	Blatt	Holz Blatt	+ Gras	Kraut	Gras + Kraut	tot	Gesamt- masse lebend	Gesamt- masse lebend+tot	Trieb- länge	Trieb- durch- messer
Wurzelfraktion Ø												
≤ 2 mm	32	0,67 ***	0,66 ***	0,68 ***	-0,21 ns	-0,22 ns	-0,22 ns	0,68 ***	0,72 ***	0,73 ***	0,68 ***	0,49 **
> 2 mm	24	0,88 ***	0,75 ***	0,85 ***	-0,27 ns	-0,42 *	-0,40 *	0,68 ***	0,83 ***	0,84 ***	0,82 ***	0,74 ***
≤ 2 mm + > 2 mm	24	0,90 ***	0,78 ***	0,88 ***	-0,27 ns	-0,31 ns	-0,36 ns	0,73 ***	0,89 ***	0,87 ***	0,83 ***	0,72 ***
≤ 2 mm + > 2 mm + Rhizome	24	0,90 ***	0,80 ***	0,88 ***	-0,29 ns	-0,23 ns	-0,35 ns	0,75 ***	0,90 ***	0,88 ***	0,87 ***	0,73 **

(*p≤0,05; **p≤0,01; ***p≤0,001)

Die durchschnittliche Trieblänge und der Triebdurchmesser zum Zeitpunkt der letzten Messung wurden aus den 17 häufigsten Arten beider Feldexperimente errechnet. Mit der Artenauswahl wurden durchschnittlich 88 % aller gemessenen Pflanzen berücksichtigt. Hingegen wurden Arten mit geringer Abundanz in den Behandlungen oder deren Vorkommen nur auf ein Feldexperiment beschränkt war, ausgeschlossen. Die Auswahl und die Anzahl der Individuen der berücksichtigten Arten ist in Tabelle 60 im Anhang vermerkt.

Die Sekundärvegetation, die sich auf den gerodeten Flächen (**gebr, entst, P,E, und P,E,R**) innerhalb von 16 Monaten entwickelt hatte, war eng mit den unterirdischen Wurzelvorräten korreliert (Tabelle 43). Die Fraktion der Schwach- und Grobwurzeln ($\varnothing > 2$ mm) wies stets engere Beziehungen zu den oberirdischen Biomassefraktionen der holzigen Sekundärvegetation (Holz, Blatt) auf als die Feinwurzeln ($\varnothing \leq 2$ mm). Die engsten Beziehungen bestanden zwischen den lebenden Anteilen der oberirdischen Vegetation und den Gesamtvorräten der Wurzel- und Rhizommasse.

Auch die Trieblänge und besonders der Triebdurchmesser waren enger mit den Grobwurzeln und schwächer mit den Vorräten der Feinwurzeln korreliert. Analog zu der Korrelation der ober- und unterirdischen Massen wurden bei diesen allometrischen Parametern die engsten Beziehungen zu der Gesamtmasse aller Wurzeln und Rhizome beobachtet. Die Massen der Gräser und Kräuter sowie deren Gesamtmasse waren nur schwach und meistens nicht statistisch signifikant ($p \leq 0,05$) mit den verschiedenen Wurzelfractionen korreliert.

Der Zusammenhang zwischen produzierter oberirdischer Biomasse und den Wurzelvorräten ließ sich als lineares Regressionsmodell mit Nulldurchgang darstellen (Abbildung 35). Unter biologischen Gesichtspunkten ist es sinnvoll, die lebende Wurzelbiomasse (unabhängige Variable) als dynamische, unterirdische Bezugsgröße der gesamten, seit der Rodung produzierten, oberirdischen Phytomasse (abhängige Variable) gegenüberzustellen. Dazu gehören sowohl die lebenden Biokompartimente (Holz, Blatt, Gras, Kraut) als auch die Nekromasse, die sich in der Versuchsdauer größtenteils als Bodenstreu angereichert hatte.

Wie aus Abbildung 35 ersichtlich wird, führten die Flächenbehandlungen zur Reduktion der unterirdischen Vorräte an lebender Wurzelbiomasse, deren Verringerung dann wiederum zu reduzierten oberirdischen Wuchsleistungen führte. Einer Tonne unterirdischer Biomasse stand ca. $\frac{1}{2}$ Tonne produzierter oberirdischer Phytomasse gegenüber. Dieser durchschnittliche Richtwert berücksichtigt nicht die während der Regenerationszeit aufgetretenen ober- und

unterirdischen Verluste. Auch klimatische Wachstumseinschränkungen, Phasen erhöhter Mortalität und Tierfraß an Trieben und Wurzeln wurden nicht erfaßt.

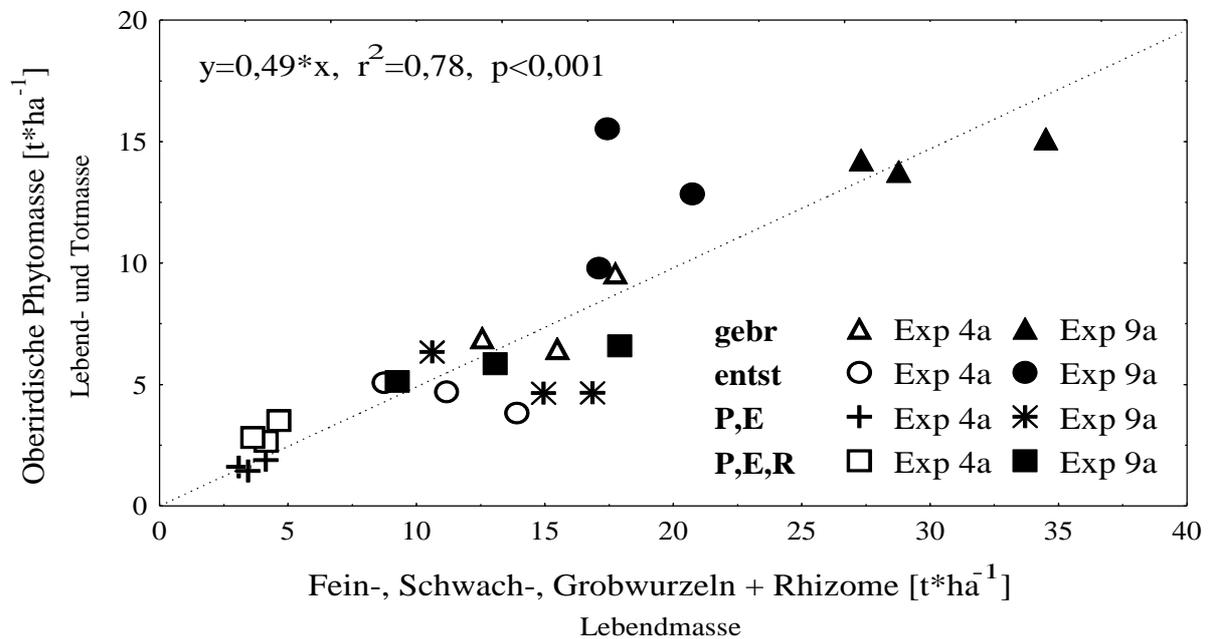


Abbildung 35: Beziehung zwischen den Massenvorräten lebender Wurzeln und Rhizome und der innerhalb der Regenerationsdauer von 16 Monaten produzierten oberirdischen Phytomasse.

In Vegetationen, die sich zu großen Teilen durch Wiederaustrieb von Pflanzenarten mit hohem vegetativen Regenerationspotential entwickeln, ist die Kohlenhydratspeicherung in unterirdischen Speicherorganen eine charakteristische Eigenschaft und zugleich wichtige Voraussetzung für ein schnelles Initialwachstum. Die Limitierung der TNC-Speicherreserven, durch

- Unterbindung des Assimilatflusses in unterirdische Speicherorgane nach der Rodung,
- durch Entfernung der Baumstümpfe und großer oberflächennah wachsender Grobwurzeln bei der manuellen Entstockung oder
- durch die weitgehende Zerstörung von Speicherorganen bei den maschinellen Flächenbehandlungen

führt zu z.T. drastischer Reduktion des Wachstums der Sekundärvegetation. Im Fall der manuellen und maschinellen Entstockung dürfte zusätzlich zur Limitierung der TNC-Reserven über die Verringerung der Anzahl von Baumstümpfen eine weitere Einschränkung der oberirdischen Regeneration aufgetreten sein (BÖHRINGER et al., 1995; CAVELIER &

ESTEVEZ 1996). Zudem war, wie im Teilstückversuch (Abschnitt 8.2.1) gezeigt wurde, die Wiederaustriebshäufigkeit positiv mit der Teilstücklänge korreliert. Die Fragmentierung lateraler, oberflächennah verlaufender Wurzelausläufer bei den maschinellen Verfahren führte somit zusätzlich zur Reduktion der vegetativen Regeneration.

Im Vergleich der Experimente zeigte sich, daß unabhängig von der durchgeführten Behandlung die höhere Wurzelmasse im Exp 9a stets mit höheren Wuchsleistungen verbunden war als im Exp 4a. Diese Tatsache unterstreicht die Bedeutung der Stärkespeicherung in den unterirdischen Pflanzenorganen für die vegetative Regenerationskapazität der Brachvegetation und damit auch für die Erhaltung der Produktivität des Agroökosystems.

9.4 Nettogesamtproduktion der ober- und unterirdischen Vegetationsanteile

Die Nettogesamtproduktion (NGP) ober- und unterirdischer Phytomasse wurde in den Brachevegetationen aller Behandlungen bestimmt. Als Datenbasis hierfür diente die oberirdische Produktion innerhalb der Versuchsdauer von insgesamt 16 Monaten (Lebend- und Nekromasse, Abschnitt 6.4.2). Als Maß für die unterirdische Nettoproduktionsleistung dienten die Werte der Gazebeuteluntersuchungen (Abschnitt 4.3.2.5). Diese beziehen sich jedoch nur auf den Regenerationszeitraum der letzten 12 Monate der Versuchsdauer. Für die ersten 3 Monate nach Einrichtung der Feldexperimente liegen keine Werte für die Nettoproduktion vor. Nach DENICH et al. (1996) wurden in brandgerodeten Flächen in der Untersuchungsregion (Ausgangsvegetation 4- und 10jährig) 3 Wochen nach dem Brand im produktivsten Bodenhorizont (0 - 25 cm) zunächst Feinwurzelmassenrückgänge von $0,6 - 0,9 \text{ t*ha}^{-1}$ beobachtet. Diese Verluste wurden in den folgenden 5 Wochen mit Zuwächsen von $0,9 - 1,1 \text{ t*ha}^{-1}$ jedoch schnell wieder ausgeglichen. Übertragen auf die vorliegende Untersuchung bedeutet dies, daß in den manuellen Behandlungen anfängliche Nettozuwächse nicht erfaßt wurden, die im Bereich einer Tonne pro Hektar lagen. Bezogen auf die gesamte Versuchsdauer von 16 Monaten wurde die Nettoproduktivität des Feinwurzelsystems deshalb unterschätzt. Hingegen lassen die geringen Nettoproduktionsleistungen in den maschinellen Behandlungen sowie die zum Versuchende gegenüber der Ausgangsvegetation stark verringerten Wurzelvorräte den Schluß zu, daß hier die Verluste die Produktion neuer Wurzelmasse wesentlich übertroffen haben dürften und die Produktionsleistungen in den ersten 3 Monaten nach der Behandlungsdurchführung gering waren. Die Unterschätzung der 'tatsächlichen' Nettoproduktivität ist somit geringer ausgefallen als im Fall der manuellen Behandlungen.

Als Untergrenze für die Produktionsleistung nach 16 Monaten Regeneration ergab sich aus der Summe gemessener ober- und unterirdischer Produktionsleistungen je nach Feldexperiment und Behandlung eine Gesamtnettoproduktion zwischen 2,6 und 19,3 t*ha⁻¹ (Tabelle 44). Unter Berücksichtigung der Pionierpflanzen *Phenakospermum guyannense* und *Solanum crinitum* erhöhte sich die Produktion in der Behandlung **gebr** im Exp 4a auf 16,3 t*ha⁻¹ und im Exp 9a auf 21,0 t*ha⁻¹. FEARNSIDE (1995) und FEARNSIDE & GUIMARÃES (1996) schätzten die jährliche Biomassezunahme in amazonischen Brachevegetationen nach landwirtschaftlicher Nutzung auf 9,0 - 10,6 t*ha⁻¹ (NGP, Summe unter- und oberirdisch, maximales Alter 10 a). WOOMER et al. (1998) bestimmten nach Brandrodungen in junger Sekundärvegetation (< 4 Jahre) im brasilianischen Bundesstaat Rondonia jährliche Biomasseanreicherungen von 8,7 t*ha⁻¹. Für junge Brachen im ostafrikanischen Raum gaben die gleichen Autoren Zuwächse in Höhe von durchschnittlich 11,3 t*ha⁻¹a⁻¹ an. Im Vergleich mit der Literatur war in der vorliegenden Arbeit die Biomasseakkumulation in den manuellen Behandlungen zumeist höher und in den maschinellen Behandlungen zumeist niedriger (Tabelle 44).

Tabelle 44: Nettoproduktion aus ober- und unterirdischer Phytomasse in den Behandlungen der Feldexperimente Exp 4a und Exp 9a (Werte in Klammern berücksichtigen schnellwüchsige Pionierpflanzen).

	Exp 4a		Exp 9a	
	Biomasse gesamt	davon unterirdisch	Biomasse gesamt	davon unterirdisch
	[t*ha ⁻¹]	[%]	[t*ha ⁻¹]	[%]
gebr	11,5 (16,3)	34 (24)	19,3 (21,0)	17 (16)
entst	7,6	41	15,9	26
P,E	2,6	42	7,3	29
P,E,R	4,4	36	9	33
Mittel	6,5	38	12,9	26

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tendenziell galt,

- je jünger die Ausgangsvegetation bzw.
- je weniger fortgeschritten das Entwicklungsstadium des Wurzelsystems zum Zeitpunkt der Behandlungen und
- je stärker die Verringerung der Wurzelvorräte durch die Behandlungen war,

desto geringer wurde der Anteil produzierter oberirdischer Phytomasse gegenüber der unterirdischen Produktionsleistung (Tabelle 44). Unter der Voraussetzung, daß die Energie für das Initialwachstum nicht, oder nur zu geringen Teilen, aus der Nettophotosynthese gespeist wurde, kam es so zwischen den ober- und unterirdischer Vegetationsanteilen zu einem Wettbewerb um Speicherkohlenhydrate. Die TNC liefern die Energie sowohl für oberirdisches Triebwachstum als auch für die Entwicklung des (Fein)Wurzelsystems (SANTANTONIO, 1990; PARROTTA & LODGE, 1991). Waren aufgrund des geringeren Entwicklungalters der Vegetation oder als Folge der Behandlungseffekte die Feinwurzelsvorräte niedrig, wurde offensichtlich ein höherer Anteil der in den Grobwurzeln gespeicherten Energie in das Feinwurzelswachstum und ein verringerter Teil in die Triebentwicklung investiert (Tabelle 44). Die Existenz einer Wettbewerbssituation und die Verlagerung von Speicherkohlenhydraten aus unter- in oberirdische Pflanzenteile zeigten SINGH & SRIVASTAVA (1988). Sie führten abnehmende TNC-Gehalte in Feinwurzeln auf einen erhöhten Bedarf bei Sproß- und Blattwachstum zurück. Aus agronomischer Sicht stellt die Wettbewerbssituation um Speicherkohlenhydrate einen Nachteil dar, da sie zwangsläufig zur relativen Verringerung der oberirdischen Produktionsleistung führt und dadurch mit einer Verminderung der Nährstoffakkumulation in der Biomasse verbunden ist. Als Folge stehen in der folgenden Kulturphase nach dem Brand der Sekundärvegetation weniger Nährstoffe für die Ernährung der Kulturpflanzen zur Verfügung.

9.5 Die Sekundärvegetation als Biomasseakkumulator

Die Summe aus ober- und unterirdischer Biomasse betrug in den unbehandelten Sekundärvegetationen bis zu $56,5 \text{ t*ha}^{-1}$ im Exp 4a und $95,4 \text{ t*ha}^{-1}$ im Exp 9a (Tabelle 45). In einem benachbarten Feldexperiment wurde nach KATO (1998a) und KATO (1998b) und eigenen, bisher unveröffentlichten Untersuchungen die Summe unter- und oberirdischer Biomasseanteile in 4jähriger Vegetation auf $34,1 \text{ t*ha}^{-1}$ und in 10jähriger Vegetation auf $71,2 \text{ t*ha}^{-1}$ geschätzt. Die Gesamtbiomassen der vorliegenden Untersuchung waren in vergleichbaren Alterstufen somit um 66 bzw. 34 % höher. Gegenüber NUÑEZ (1995) wurden in 4jähriger Brachevegetation nach Brandrodung und landwirtschaftlicher Nutzung um 27 % höhere Werte ermittelt. Hingegen waren die Biomassen im Exp 9a im Vergleich mit einer 10jährigen Vegetation ($94,5 \text{ t*ha}^{-1}$ NUÑEZ, 1995) fast identisch.

Die Biomassen in den Behandlungen variierten zwischen 9,4 - 31,6 t*ha⁻¹ (Exp 4a) und 25,3 - 52,6 t*ha⁻¹ (Exp 9a, Tabelle 45). Im Vergleich mit NUÑEZ (1995), der im gleichen Untersuchungsgebiet die Bracheregeneration nach verschiedenen Flächenbehandlungen untersuchte, waren die Werte 16 Monate nach der Brandrodung um 44 - 139 % erhöht. Nach der manuellen Entstockung waren die Biomassen in der vorliegenden Untersuchung sogar um 64 - 252 % höher.

Die Unterschiede zwischen den Gesamtbiomassen dieser Untersuchung und den vergleichsweise niedrigen Literaturdaten sind auf die hohen Wurzelmassen der vorliegenden Untersuchung zurückzuführen und nicht auf überdurchschnittlich hohe oberirdische Wachstumsleistungen. Dieser Sachverhalt läßt sich anhand des Wurzel/Sproß-Verhältnisses (WSV) veranschaulichen. Wie aus Tabelle 45 hervorgeht, war in den Behandlungen nach 16 Monaten Regeneration die Wurzelmasse um den Faktor 1,9 - 3,6 höher als die oberirdischen Massenanteile. In Anbetracht oberirdischer Phytomassen von bis zu 17 t*ha⁻¹ sind diese WSV als hoch einzustufen. Das WSV nahm mit zunehmenden Vegetationsalter ab und verringerte sich nach 9 Jahren Regeneration auf 0,7 - 0,6.

Tabelle 45: Gesamtbiomasse und Wurzel/Sproß-Verhältnis der Vegetation zum Ende der Versuchsdauer (April 1995, 0 - 100 cm Bodentiefe, eingeklammerte Werte beinhalten schnellwüchsige Pionierpflanzen).

	Exp 4a		Exp 9a	
	Biomasse gesamt [t*ha ⁻¹]	Wurzel/Sproß	Biomasse gesamt [t*ha ⁻¹]	Wurzel/Sproß
Cap	49,1 (56,5)	0,9 (0,7)	87,0 (95,4)	0,7 (0,6)
gebr	26,8 (31,6)	2,4 (1,5)	50,9 (52,6)	2,3 (2,1)
entst	17,7	2,7	38,1	1,9
P,E	9,4	3,1	25,3	3,6
P,E,R	10,7	2	26,1	3,1

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

NUÑEZ (1995), FEARNSIDE & GUIMARÃES (1996) und KATO (1998 a,b) beobachteten tendenziell eine analoge Verringerung des WSV. Das WSV dieser Studie lag in Vegetationen gleichen Alters jedoch durchgehend höher (Abbildung 36). Der Grund hierfür liegt in der angewendeten Aufnahmemethodik zur Bestimmung der Wurzelbiomasse. Wie in Abschnitt 5.3.2 demonstriert, wurden mit der Monolithmethode wesentlich höhere Biomassen ermittelt als mit der Bohrkernmethode, die die Wurzelbiomasse der Sekundärvegetationen unterschätzte.

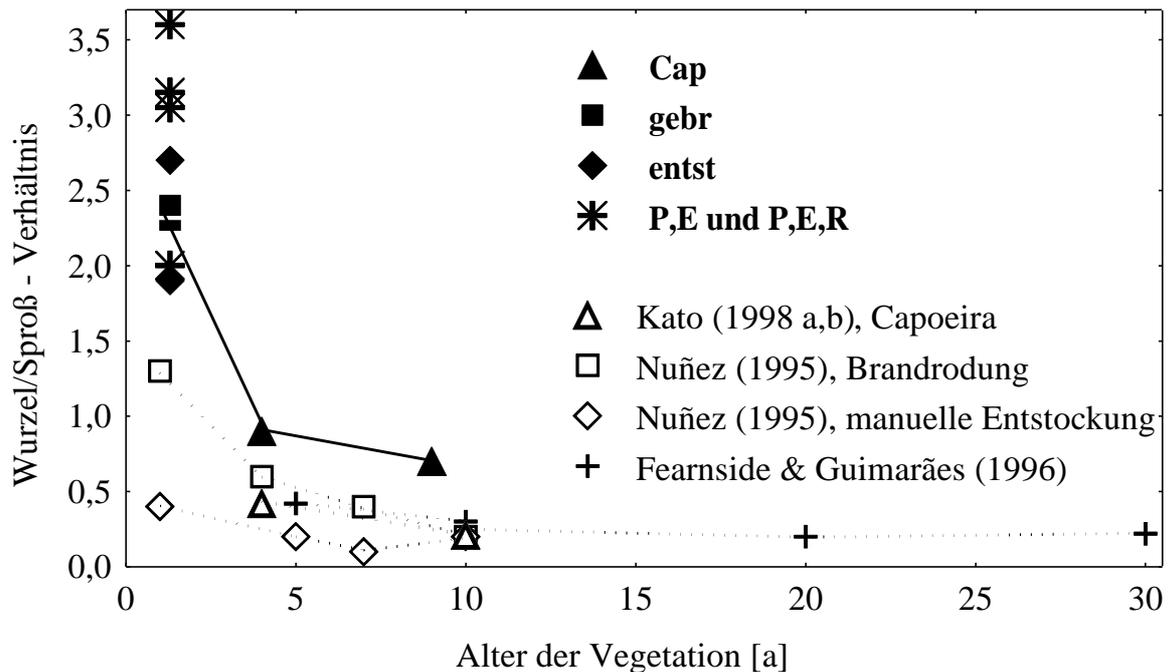


Abbildung 36: Wurzel/Sproß-Verhältnisse dieser Untersuchung im Vergleich mit Literaturdaten.

Die Biomassen der Vergleichsstudien wurden mit der Bohrkernmethode erhoben. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit legt die Sekundärvegetation also erhebliche Biomassen unterirdisch fest, was in der Literatur aufgrund methodischer Verfahrensweisen häufig unterschätzt wird.

Im Hinblick auf die durchgeführten Behandlungen läßt sich feststellen, daß die manuelle Brandrodung der traditionellen Wald-Feld-Wechselwirtschaft das ressourcenschonendste Verfahren zur Erhaltung der unterirdischen Biomassevorräte darstellt. Manuelles Fällen mit anschließender manueller Entstockung hingegen vermindert die Vorräte schon um bis zu 44 % und maschinelle Rodung mit Einsatz von Pflug und Egge um bis zu 71 % der unterirdischen Ausgangsmasse. Desweiteren führt die Verringerung der Schwach- und Grobwurzelvorräte zu einer Reduktion der Feinwurzelproduktivität, die um so ausgeprägter ist, je stärker die Verringerung der Wurzelmasse durch die Behandlung ist. Das Feinwurzelsystem stellt mit 8 bis 10 % zwar nur eine kleine Fraktion der Gesamtmasse der (Ausgangs)Vegetation dar. Aber durch Phasen zyklischen Wachstums und verstärkter Mortalität findet in ein jährlicher Eintrag von wenigstens $1,4 - 2,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ Feinwurzeln in den Boden statt (Abschnitt 9.2). Dies entspricht immerhin 35 - 57 % der gesamten Feinwurzelmasse bis 50 cm Bodentiefe. SANTANTONIO (1990) stellt heraus, daß aufgrund der kurzen Lebensspanne und der ausgeprägten Saisonalität des Feinwurzelwachstums langfristig hohe Einträge organischen

Materials in den Boden stattfinden. Diese Einträge sind höher als die durch die Schwach- und Grobwurzeln, was auf das langsamere Wachstum der gröberen Wurzeln zurückgeführt wird. Mittel- bis langfristig führt die mechanisierte Flächenvorbereitung über die extreme Verringerung der Wurzelmasse und Einschränkung der oberirdischen Wuchsleistung zu stark verminderten Biomassevorräten in ober- und unterirdischen Fraktionen der Sekundärvegetation. Darüber hinaus verringert sich der kontinuierliche Eintrag organischen Materials durch Rhizodeposition in den Boden aufgrund verminderter Feinwurzelproduktivität erheblich.

9.6 Konsequenzen für die Landnutzung und das Brachemanagement

Eine intensive Regeneration der Sekundärvegetation, verbunden mit hoher Biomasseproduktion im Anschluß an die Kulturphase, ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Erhaltung der Systemproduktivität in der traditionellen Wald-Feld-Wechselwirtschaft. Zwischen der oberirdischen Produktionsleistung und den Wurzelvorräten unter der Sukzessionsfläche besteht eine direkte Abhängigkeit, was auf die Energiespeicherung in Speicherorganen des Wurzelsystems zurückgeführt wird. Aufgrund der charakteristischen Eigenschaft der Vegetation, sich durch vegetatives Wachstum auf den Flächen erneut einzustellen, fällt deshalb einem schonenden Umgang mit dem Wurzelsystem eine Schlüsselrolle bei der nachhaltigen Bewirtschaftung der landwirtschaftlich genutzten Flächen zu. Neben der oberirdischen hängt auch die unterirdische Produktivität der Sekundärvegetation entscheidend von dem Entwicklungsstand des Wurzelsystems zum Zeitpunkt der Rodung ab. Da alle Rodungsverfahren unweigerlich zur Verminderung der Feinwurzelmasse führen, muß diese im Laufe der Regeneration durch Neubildung ersetzt werden. Auch hier besteht eine positive Abhängigkeit des Wachstums zu der vorhanden Wurzelmasse.

Die manuelle Brandrodung stellt unter allen getesteten Flächenvorbereitungen das schonendste Verfahren dar, da sie im Vergleich zu einer unbehandelten Sekundärvegetation die geringsten Schädigungen des Wurzelsystems verursacht. Auf den brandgerodeten Flächen wurden die höchsten Produktionsleistungen beobachtet. Im Hinblick auf eine langfristige landwirtschaftliche Nutzung im System der Wald-Feld-Wechselwirtschaft gibt es unter den Flächenbehandlungen dieser Untersuchung keine andere Alternative.

Nach DENICH (1989) reichen die ortsüblichen Brachezeiten von 4 - 5 Jahren jedoch nicht aus, um genügend P und K in der oberirdischen Phytomasse für die Anbauphase zu akkumulieren. Nach HÖLSCHER (1995) treten zudem erhebliche Nährstoffverluste durch den

Brand der gefälltten Vegetation auf. So ergibt sich die Notwendigkeit nach Alternativen zum gegenwärtigen Nutzungssystem zu suchen, die einerseits einen schonenden Umgang mit dem Wurzelsystem gewährleisten und andererseits zur Erhöhung des Nährstoffangebotes bzw. zur Verringerung von Nährstoffverlusten führen. Ein Weg in diese Richtung wäre die von KATO (1998a) und KATO (1998b) vorgeschlagene Wald-Feld-Wechselwirtschaft mit Verzicht auf den Brand. Die oberirdische Phytomasse wird gehäckselt und als Mulch, der langsam seine Nährstoffe an den Boden abgibt, auf die Kulturflächen verteilt. Damit wäre ein Nutzungssystem geschaffen, daß sowohl den Ansprüchen der Kulturpflanzen als auch der vegetativen Regeneration der Sekundärvegetation Rechnung trägt. Einen alternativen Ansatz verfolgte BRIENZA Jr. (1999) mit schnellwachsenden Anreicherungspflanzen in der Sekundärvegetation. Ziel dieses Ansatzes war es, die Nährstoffanreicherung über eine höhere Produktionsleistung der oberirdischen Vegetation zu erreichen und über die Verkürzung der Brachezeit die Nutzungsintensität der Fläche zu intensivieren. Dieses Brachemanagement beinhaltet keine schädigenden Eingriffe in das Wurzelsystem der natürlichen Brachevegetation und ist somit positiv zu beurteilen. Trotzdem sollte Berücksichtigung finden, daß bei anhaltend kurzen Brachephasen, die Stärkespeicher der natürlichen Vegetation möglicherweise nur unvollständig aufgefüllt werden. So könnte dieses Management über die Zeit zur Verringerung der Regenerationskapazität der spontanen Sekundärvegetation und damit zu schleichender Degradation des Agroökosystems führen. Diese Gefahr wird verstärkt wenn, wie KATO (1998a) und KATO (1998b) vorschlagen, eine zusätzliche Erhöhung der Nutzungsintensität über eine Verlängerung der Kulturphasen erreicht werden soll.

Mit zunehmender Intensität der Rodungsverfahren verringert sich die Regenerationskapazität der Vegetation erheblich. Flächen, auf denen mechanisierte Flächenbearbeitungen sowie wiederholte manuelle Entstockungen durchgeführt und auf denen dann über mehrere Jahre ausdauernde Kulturen bewirtschaftet wurden, sind nach BAAR (1997) in ihrer Artenvielfalt äußerst reduziert und nahezu frei von Holzarten der Brachevegetation. Diese Ergebnisse decken sich mit denen der vorliegenden Untersuchung. Die resultierende Reduktion der Strukturvielfalt als auch der ober- und unterirdischen Produktivität der Vegetation zeigen, daß diese Verfahren zu extrem degradierter Brachevegetation führen, die ihre Funktion im kleinbäuerlichen Nutzungssystem nicht mehr erfüllen kann. DIEKMANN (1997) wies unter mehrjährig bewirtschafteten Kulturflächen im gleichen Untersuchungsgebiet eine verminderte mikrobielle Aktivität im Boden nach und führt eine dadurch verringerte Nährstoffverfügbarkeit für die Kulturpflanzen an. Nach VAN NOORDWIJK et al. (1991)

führt die Extraktion von Grobwurzeln in Verbindung mit Bodenbearbeitung dazu, daß z.T. tiefreichende Kanäle im Boden, die durch abgestorbene Grobwurzeln entstanden, zerstört werden. Die Autoren stellen dies als einen erheblichen Nachteil für das Wurzelwachstum sowie die N-, P- und Wasserversorgung von Kulturpflanzen auf solchen Flächen dar.

Es liegt praktisch keine Literatur über mechanisierte Flächenrodungsverfahren vor, die Bezug nimmt, auf die Zerstörung des Wurzelsystems und den daraus resultierenden Auswirkungen auf die Regeneration von tropischer Sekundärwaldvegetation. In einem Nebenaspekt beziehen sich JANSSEN & WIENK (1990) auf dieses Thema. Sie bestätigen, daß auf mechanisch gerodeten Flächen in Surinam das Wurzelsystem der Ausgangsvegetation eine Schwierigkeit für den regelmäßigen mechanisierten Anbau darstellt. Selbst nach 2jähriger Bewirtschaftung und nach mehrfachem Maschineneinsatz war der Boden nicht von den Wurzeln der Waldvegetation befreit. Als negative Folgeeffekte werden beschrieben, daß die Boden- und Bodenaufgeflora der natürlichen Waldvegetation unter den Bedingungen der mechanisierten Bewirtschaftung vollkommen verschwanden. Es wurden hohe Nährstoffverluste durch Auswaschung aufgezeigt. Abgesehen von Phosphor, wurden für die K-, Mg- und Ca-Vorräte im Boden nach 1 Jahr starke Verringerungen beschrieben. Als eine Folge der Bodenbearbeitung traten auf sandigen Böden bereits nach wenigen niederschlagsfreien Tagen Trockenerscheinungen an den Kulturpflanzen auf. Die Autoren kommen zu der Einschätzung, daß anhaltender mechanisierter Anbau in den feuchten Tropen nur unter hohem maschinellen und materiellem Input und nur von besonders geschultem Personal erfolgreich verwirklicht werden kann. Übertragen auf die Gegebenheiten in Igarapé Açu kann festgestellt werden, daß weder der Ausbildungsstand des landwirtschaftlichen Personals noch die maschinellen oder materiellen Voraussetzungen der kleinbäuerlichen Betriebe ausreichend sind, um diesen Forderungen Rechnung zu tragen. SCATENA et al. (1996) hingegen favorisieren in Pará die mechanisierte Bearbeitung der Sekundärvegetation und den Anbau semipermanenter Kulturen als eine Möglichkeit kleinbäuerlicher Betreiber, kurzfristige Einkommenssteigerungen zu erzielen. Die Untersuchungen vernachlässigen jedoch die Funktion der Brache im System des 'shifting cultivation'. Besonders kritisch zu beurteilen ist der Vorschlag, nur junge Vegetationen mechanisch zu bearbeiten.

Dem Landwirt, der sich entschließt, semipermanente Kulturen wie Maracujá oder Pfeffer zu kultivieren und die Flächenvorbereitung maschinell vorzunehmen, kann nach Stand der Ergebnisse dieser Untersuchung nur empfohlen werden, bei der Auswahl der Sekundärvegetation auf eine ältere Brache zurückzugreifen. Der erhöhte Arbeitsaufwand bei der Rodung

und Bodenbearbeitung und die möglichen zusätzlichen Kostenbelastungen dürften sich auf lange Sicht auszahlen. Das weiterentwickelte Wurzelsystem der älteren Brache trägt dann entscheidend dazu bei, die Regeneration der Sekundärvegetation zu beschleunigen, wenn diese Fläche nach wenigen Jahren der Nutzung aufgegeben wird. Die Produktivität der künftigen Sekundärvegetation bleibt auf diese Weise erhalten und der Landwirt kann die Fläche auch noch zukünftig im traditionellen Nutzungssystem der Wald-Feld-Wechselwirtschaft zur landwirtschaftlichen Produktion einsetzen.

Zur Beurteilung von Sekundärwaldflächen bietet sich nach den Ergebnissen dieser Arbeit an, neben dem Bestandesalter des oberirdischen Aufwuchses auch das Entwicklungsstadium des Wurzelsystems als aussagekräftigen Parameter für die Eignung einer Vegetation im zur landwirtschaftlichen Nutzung heranzuziehen. Im Hinblick auf den positiven Zusammenhang zwischen Wurzelvorräten im Boden und der Regenerationsleistung der Vegetation könnte erwogen werden, durch gezielte Beprobungen des Wurzelsystems zusätzliche Kriterien für die Eignung einer Brache als Ausgangsbasis für eine produktive Folgevegetation zu dienen. Die Beprobung könnte in kurzer Zeit nach der Monolithmethode über Wurfsieben direkt im Feld durchgeführt werden. Gerade wenn das Alter der Vegetation und die Nutzungsgeschichte der Fläche nicht genau bekannt sind, können so wichtige Hinweise für die zukünftige Produktivität einer Folgevegetation gewonnen werden.

9.7 Schlußfolgerungen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß der in dieser Arbeit angewendete Ansatz ober- und unterirdische Parameter des Wachstums der Sekundärvegetation zu erheben und vergleichend zu betrachten, zu klaren Aussagen über die unterschiedlichen Effekte verschiedener manueller und maschineller Flächenvorbereitungen geführt hat.

Die arbeitsintensive Erfassung der Wurzelvorräte mit der Bohrkern- und der Monolithmethode hat sich gelohnt, weil nur über die exaktere Abschätzung der Fein-, Schwach- und Grobwurzelvorräte Verbindungen zwischen oberirdischer Regenerationsleistung und unterirdischen Wurzelmassen hergestellt werden konnten. Zudem konnten über den Vergleich der Ergebnisse der Bohrkern- mit der Gazebeutelmethode die Produktionsleistungen des Feinwurzelsystems verifiziert werden.

Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit betrachtet stellen die in dieser Arbeit angewendeten mechanisierten Flächenvorbereitungen so intensive Eingriffe in das Agroökosystem dar, daß eine Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes kurz- und mittelfristig nicht möglich ist. Auch wiederholte manuelle Entstockungen sind als Dauermaßnahme abzulehnen, da sie unweigerlich zur Verminderung der Regenerationskapazität der Brachevegetation führen.

Die Abhängigkeit der vegetativen Regenerationsleistung der Sekundärvegetation von der Entwicklung des Wurzelsystems, muß bei der Auswahl eines Landnutzungssystems stets berücksichtigt werden. Deshalb sollten alternative Verfahren entwickelt und angewandt werden, die eine intensive Bodenbearbeitung ausschließen und ausreichend lange Brachephasen garantieren, um die Stärkespeicher des Wurzelsystems der Sekundärvegetation aufzufüllen.

Für die Zukunft besteht weiterer Forschungsbedarf zur TNC-Speicherung in den unterirdischen Pflanzenorganen und zu deren Rolle im Hinblick auf die Regenerationsleistung der Vegetation. Es sollten Forschungen angestellt werden, die die Überdauerungsfähigkeit des Wurzelsystems während der Kulturphase untersuchen, und zwar im traditionellen System der Wald-Feld-Wechselwirtschaft sowie in Nutzungssystemen mit verlängerter Kulturphase. Die Intensität der Wurzelatmung könnte in diesem Zusammenhang wichtige Hinweise liefern. Für die Nährstoffbilanz des Systems wäre wichtig zu wissen, wie hoch der Nährstoffeintrag durch die zyklische Mortalität der Feinwurzeln im Boden ist. Weiterhin sollte die Untersuchung des Wurzelsystems auch in größere Bodentiefen ausgedehnt werden, um Aussagen über Tiefenwachstum, Einträge organischen Materials, Wasseraufnahme besonders in der Trockenzeit und den Nährstoffzyklus innerhalb des landwirtschaftlichen Nutzungssystems machen zu können.

10 Zusammenfassung

'Shifting cultivation' ist in den Tropen eine weitverbreitete Landnutzungsform kleinbäuerlicher Betriebe. Die Systemproduktivität dieses traditionellen Bewirtschaftungssystems kann nur sichergestellt werden, wenn auch die Regeneration der Brachvegetation gewährleistet ist. Immer häufiger findet ein Übergang von der traditionellen Bewirtschaftung zu Systemen mit höherer Nutzungsintensität z.T. mit mechanisierter Flächenbearbeitung statt. Ziel dieser Untersuchungen war es, Aussagen darüber zu treffen, wie verschiedene Flächenvorbereitungsverfahren die ober- und unterirdische Regeneration der Brachvegetation beeinflussen. Die Ergebnisse wurden hinsichtlich der Nachhaltigkeit der Behandlungen beurteilt.

Die Versuchsstandorte lagen im Munizip Igarapé Açu, in der Zona Bragantina, Pará, Brasilien. In kleinbäuerlichen Betrieben wurden zwei Sekundärvegetationen im Alter von 3 und 8 Jahren ausgewählt. In jeder Altersstufe wurde ein Feldexperiment angelegt, in dem die unter- und oberirdische Regeneration der Vegetationen nach vier verbreiteten, landwirtschaftlichen Flächenvorbereitungsverfahren beobachtet wurde. Die Behandlungen verliefen wie folgt:

- A) Manuelles Fällen der Vegetation, anschließend Brand der getrockneten Vegetation;
- B) Manuelles Fällen der Vegetation, kein Brand, anschließend manuelle Extraktion der verbliebenen Baumstümpfe (Entstockung);
- C) Maschinelles Fällen der Vegetation, kein Brand, anschließend Pflügen und Eggen;
- D) Maschinelles Fällen der Vegetation mit der Schneidwalze (Rolofaca), anschließend Pflügen und Eggen.

Innerhalb von 16 Monaten Versuchsdauer wurden in Abhängigkeit von den Behandlungen I) die Vorratsveränderungen der Fein-, Schwach- und Grobwurzeln, II) die Feinwurzelproduktion, III) die oberirdische Produktionsleistung ausgewählter Baum- und Straucharten der Vegetation und des Bestandes beobachtet. In ergänzenden Versuchen wurden IV) die Lokalisation der Stärkespeicherorgane sowie V) die Regenerationsfähigkeit von Sproß- und Wurzelteilstücken verschiedener Arten der Sekundärvegetation untersucht.

Die Vorräte der Fein- und Schwachwurzeln betragen zu Versuchsbeginn in der 3jährigen ungestörten Ausgangsvegetation 5,4 und in der 8jährigen 8,0 t*ha⁻¹. Beim Übergang von der Regenzeit bis zum Ende der Trockenzeit kam es zu einer Abnahme der Vorräte, die sich dann mit zunehmenden Niederschlägen in der folgenden Regenzeit wieder erhöhten. Ab- und

Zunahmen in der unbehandelten Ausgangsvegetation betragen (3- bzw. 8jährige Vegetation) -1,6 bzw. +4,3 t*ha⁻¹ und -1,0 bzw. +4,1 t*ha⁻¹. Der Jahresnettozuwachs betrug 2,7 bzw. 3,0 t*ha⁻¹. Als Untergrenze des Fein- und Schwachwurzelabbaues in der unbehandelten Sekundärvegetation durch mikrobielle Umsetzung sowie durch die Mikro- und Mesofauna wurden 1,4 - 2,1 t*ha⁻¹a⁻¹ ermittelt.

Der Bodenhorizont der intensivsten Durchwurzelung war in oberflächennahen Schichten des Bodens lokalisiert. Aus diesem Grund wurden in diesem Tiefenbereich auch die höchsten behandlungsbedingten Verluste an Wurzelmasse beobachtet. Die Abnahmen der Wurzelvorräte wurden durch besonders intensive Verminderung der lebenden Schwach- und Grobwurzelvorräte in den mechanisierten Behandlungen bestimmt, deren Rückgänge 73 - 91 % ausmachten. Die Gesamtwurzelvorräte bis in 1 m Tiefe betragen am Ende der Versuchsdauer (3- bzw. 8jährige Vegetation): Unbehandelte Sekundärvegetation 23,6 bzw. 35,5 t*ha⁻¹, Brandrodung 19,2 bzw. 35,9 t*ha⁻¹, manuelle Entstockung 13,2 bzw. 25,5 t*ha⁻¹, maschinelle Rodung mit Schneidwalze, Pflug und Egge 7,9 bzw. 20,1 t*ha⁻¹.

Die behandlungs- und klimabedingten Feinwurzelverluste wurden innerhalb des Beprobungszeitraumes von einem Jahr nur nach der Brandrodung komplett ausgeglichen und sogar ein Zuwachs gegenüber der gerodeten Ausgangsvegetation erzielt. Alle anderen Behandlungen führten innerhalb eines Jahres Wachstum zu Verlusten. Die Differenz zur Ausgangsvegetation betrug nach (3- bzw. 8jährige Vegetation): Brandrodung +0,2 bzw. +0,8 t*ha⁻¹, manueller Entstockung -0,3 bzw. -0,3 t*ha⁻¹, maschineller Rodung, Pflug und Egge -1,6 bzw. -1,4 t*ha⁻¹, maschineller Rodung mit Schneidwalze, Pflug und Egge -0,7 bzw. -1,2 t*ha⁻¹.

Die Wurzelmassennettoproduktion, ermittelt mit Gazebeuteln, betrug innerhalb von 360 Tagen in den unbehandelten Sekundärvegetationen beider Experimente jeweils 4,3 t*ha⁻¹. Die Produktionsleistungen in den Behandlungen der 3- und 8jährigen Ausgangsvegetation waren: Brandrodung 3,9 bzw. 3,3 t*ha⁻¹, manuelle Entstockung 3,1 bzw. 4,2 t*ha⁻¹, maschinelle Rodung, Pflug und Egge 1,1 bzw. 2,1 t*ha⁻¹, maschinelle Rodung mit Schneidwalze, Pflug und Egge 1,6 bzw. 3,0 t*ha⁻¹. Das intensivste Wachstum der Wurzellänge und Wurzelmasse wurde in den oberen 10 cm des Boden beobachtet. Da genau in diesem Bereich die Behandlungen mit Bodeneingriffen besonders wirksam wurden, traten insbesondere nach Maschineneinsatz starke Produktivitätsrückgänge auf. In beiden Experimenten wurden Phasen

verstärkten Wurzelwachstums in der regenreichen Jahreszeit und Wachstumsstagnation in der regenarmen Jahreszeit beobachtet.

In den ersten 90 bis 180 Tagen wurden in allen Behandlungen besonders feine Wurzeln mit hoher spezifischer Länge produziert. Dieses Wachstumsmuster wird als Nährstoffaneignungsmechanismus der Vegetation interpretiert und trägt dazu bei, daß potentielle Wurzelräume nach Störungen schnell besiedelt und Nährstoffverluste durch Auswaschung minimiert werden. In der unbehandelten Ausgangsvegetation hingegen, in der keine Störungen verursacht wurden, blieb das Verhältnis der Wurzellänge zur Wurzelmasse über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant.

Der vegetative Austrieb an Baumstümpfen und die Triebentwicklung durch Wurzelbrut war die vorherrschende Regenerationsform der Sekundärvegetation. Am Beispiel ausgewählter Arten wurde gezeigt, daß das Trieb- und Durchmesserwachstum durch die Behandlungseffekte z.T. stark limitiert wurde. Die unterschiedlichen Regenerationskapazitäten erklärten sich dabei aus artspezifischen Mustern der Bestockung mit Adventivprossen. Alle Behandlungen führten zu Rückgängen der Artenanzahl der Baum- und Strauchvegetation, die auch nach 16monatiger Regeneration nicht ausgleichen wurden.

In Abhängigkeit von der Behandlung betragen die oberirdischen Produktionsleistungen nach 16monatiger Regeneration (3- bzw. 8jährige Vegetation): Brandrodung 12,6 bzw. 16,7 t*ha⁻¹, manuelle Entstockung 4,5 bzw. 12,6 t*ha⁻¹, maschinelle Rodung, Pflug und Egge 1,5 bzw. 5,2 t*ha⁻¹, maschinelle Rodung mit Schneidwalze, Pflug und Egge 2,8 bzw. 6,0 t*ha⁻¹.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Wurzelvorräte, die unter- und oberirdischen Produktionsleistungen und die Anzahl der Baum- und Straucharten in den Feldexperimenten tendenziell in der Reihenfolge

manuelle Brandrodung > manuelle Entstockung > maschinelle Verfahren

verliefen, wobei die Werte des Feldexperimentes aus Curi (8jährige Ausgangsvegetation) stets höher lagen als die aus Cumaru (4jährige Ausgangsvegetation). Die höheren Produktionsleistungen im Feldexperiment in Curi werden auf die fortgeschrittenere Entwicklung des Wurzelsystems der Ausgangsvegetation und die daraus resultierende verbesserte Versorgung mit Speicherkohlenhydraten zurückgeführt.

Unabhängig von der Art der Flächenbehandlung führen alle Verfahren zu schädigenden Wirkungen auf das Wurzelsystem. Die Destruktivität der Eingriffe, die sich in Verringerung der ober- und unterirdischen Produktion der Brache äußern, variieren zwischen den Behandlungen beträchtlich. Das Entwicklungsstadium der Vegetation zum Zeitpunkt der Rodung ist von ausschlaggebender Bedeutung für die erneute Regeneration der Brachevegetation. Im Hinblick auf eine nachhaltige Bewirtschaftung der Sekundärvegetation ist die manuelle Brandrodung von allen getesteten Behandlungen das verträglichste Verfahren zur Kulturlächenvorbereitung. Hingegen kann keine Empfehlung zugunsten wiederholter manueller Entstockungen oder mechanisierter Flächenvorbereitung ausgesprochen werden.

11 Summary

Shifting cultivation is wide spread in the tropics. The productivity of this traditional land use system can only be sustained if the regeneration of recurrent fallow vegetation is also ensured. During the last few years, a change of the land use has been observed. The traditional management is gradually being substituted by systems of higher land-use intensity. The goal of this study was to compare different land preparation systems and to evaluate the impact on the below- and aboveground regeneration of the fallow vegetation and thus on the sustainability of the system as a whole.

The study sites were located in the municipality of Igarapé Açu, in the Zona Bragantina, Pará, Brazil. Two secondary forests, aged 3 and 8 years, were selected and two field experiments were set up. Four common agricultural site preparation methods were implemented at each site. Then, the below- and above-ground regeneration of the newly growing vegetation was observed. The treatments were as follows:

- A) manual clearing of the vegetation, then burning the dried vegetation (slash and burn),
- B) manual clearing of the vegetation, no fire, then manual extraction of the remaining stumps;
- C) mechanical clearing of the vegetation, no fire, then ploughing and harrowing;
- D) mechanical clearing of the vegetation using the rolofaca, no fire, then ploughing and harrowing.

Over the duration of 16 months we assessed the influence of I) the fine -, small - and coarse root stock, II) the productivity of the fine root system and III) the above ground productivity of the whole plant stand and selected tree and shrub species of the vegetation. In complementary studies the location of starch storage in plants was identified and the ability of vegetative regeneration of selected shoot and root fragments was examined.

Fine - and small diameter roots amounted to 5,4 and 8,0 t*ha⁻¹ in the 3-year-old and 8-year-old original vegetation, respectively. During the transition from the rainy period to the end of the dry period, the fine root stock decreased to increase again with increasing precipitation during the following rainy season. In the original 3-years-old vegetation the decrease and increase amounted to -1,6 and +4,3 t*ha⁻¹, respectively. In the 8-years-old vegetation it was -1,0 and +4,1 t*ha⁻¹, respectively. Net primary root increase per year measured between 2,7 and 3,0 t*ha⁻¹. Simultaneously, the minimum decay rate of fine and small diameter roots was estimated between 1,4 and 2,1 t* ha⁻¹a⁻¹.

Fine root losses occurred due to treatment- and climatic effects. Only following the slash-and-burn land preparation, these losses were compensated by the subterranean re-growth within the sampling period of one year. In all other treatments a net reduction of the fine root stock was observed, compared to the original vegetation. The differences were (vegetation 3- and 8-years-old, respectively): slash and burn $+0,2$ and $+0,8 \text{ t*ha}^{-1}$, manual stump removal $-0,3$ and $-0,3 \text{ t*ha}^{-1}$, mechanical clearance, ploughing and harrowing $-1,6$ and $-1,4 \text{ t*ha}^{-1}$, mechanical clearance with rolofaca, ploughing and harrowing $-0,7$ and $-1,2 \text{ t*ha}^{-1}$.

The highest rooting densities and also the biggest losses of root mass were observed in the upper soil layers. High total root stock losses in the mechanised treatments were primarily due to the disappearance of small diameter- and coarse living roots. Their decline ranged between 73 to 91 %. After 16 months of re-growth the total root stock for the 3- and 8-years-old vegetation were: original secondary vegetation $23,6$ and $35,5 \text{ t*ha}^{-1}$, slash and burn $19,2$ and $35,9 \text{ t*ha}^{-1}$, manual stump removal $13,2$ and $25,5 \text{ t*ha}^{-1}$, mechanical clearance with rolofaca, ploughing and harrowing $7,9$ and $20,1 \text{ t*ha}^{-1}$.

After 360 days of re growth fine-root net primary production (RNPP) in the 3- and 8-year-old original vegetation was $4,3 \text{ t*ha}^{-1}$. RNPP in the respective treated plots was: slash and burn $3,9$ and $3,3 \text{ t*ha}^{-1}$, manual stump removal $3,1$ and $4,2 \text{ t*ha}^{-1}$, mechanical clearance, ploughing and harrowing $1,1$ and $2,1 \text{ t*ha}^{-1}$, mechanical clearance with rolofaca, ploughing and harrowing $1,6$ and $3,0 \text{ t*ha}^{-1}$.

In the rainy season we observed periods of intensive root re-growth and in the dry season growth stagnation in both experiments. The highest production of root length and root mass was observed in the upper 10 cm of the soil. All treatments with physical impact on the root mat of the upper soil horizon resulted in a strong decline of root productivity. The most severe reduction was observed in the mechanised treatments.

During the initial phase of subterranean re-growth, fine roots of high specific length were produced in all treated plots, but not under the undisturbed vegetation. This growth pattern may be interpreted as a nutrient acquisition strategy of the disturbed vegetation. It appears that after disturbance, the initial production of very fine roots helps to quickly invade areas of low root content, thus preventing nutrient losses by leaching.

Coppice growth and sprouting were the prevalent form of regeneration of the secondary vegetation. Re-growth capacity of selected species varied, dependent on treatment and specific pattern of re-growth of the species. All treatments led to declines of the number of species of the tree - and shrub vegetation, compared to the original vegetation.

After 16 months of successional re-growth the above-ground biomass for the 3- and 8-years-old vegetation was: slash and burn 12,6 and 16,7 t*ha⁻¹, manual stump removal 4,5 and 12,6 t*ha⁻¹, mechanical clearance, ploughing and harrowing 1,5 and 5,2 t*ha⁻¹, mechanical clearance with rolofaca, ploughing and harrowing 2,8 and 6,0 t*ha⁻¹.

In summary: i) total root stock, ii) below- and iii) above-ground production and iv) the number of tree- and shrub-species in the field experiments can be ranked as follows,

slash and burn > manual stump removal > mechanical procedures.

The vigour of the Curi field experiment (8-years-old) always surpassed that of the Cumaru field experiment (3-years-old). The higher over-all productivity in Curi is assumed to have resulted from the more advanced development of the root system of the older original vegetation and seems to be related to an improved supply of stored carbohydrates for re-growth.

Irrespectively of the type of treatment, all land clearing procedures lead to damaging effects on the root system. The impact of the interventions varied considerably between the treatments. The stage of development of the vegetation at the time of clearance is of crucial importance for subsequent regeneration.

In order to create a sustainable land use system, slash and burn treatment is considered to be the most favourable procedure among all tested treatments with regard to regeneration. No recommendation can be made in favour of the mechanised procedures. Also, repeated manual stump removal will lead to a decline in the long-term productivity of the fallow vegetation and is to be judged negatively.

12 Resumo

A agricultura migratória ocupa grandes extensões nos trópicos. A produtividade deste sistema tradicional de uso da terra só pode ser sustentável se a regeneração da vegetação de pousio subsequente também for assegurada. Durante os últimos anos vem sendo observada uma mudança neste sistema de uso de terra. O manejo tradicional está sendo substituído gradualmente por sistemas mais intensivos de uso da terra. O objetivo deste estudo foi comparar diferentes tipos de preparo de solo e avaliar seus impactos na regeneração de raízes e na fitomassa aérea de vegetações de pousio. A interpretação dos resultados levou em consideração a sustentabilidade dos tratamentos.

Os experimentos foram conduzidos nas localidades de Cumaru e Curi, no município de Igarapé Açu, Zona Bragantina, Estado do Pará, Brasil. Foram selecionadas duas vegetações secundárias com 3 e 8 anos de idade e em cada uma delas foi instalado um experimento. Quatro procedimentos comuns de preparo de área foram aplicados em cada um dos experimentos. Foram observadas a regeneração subterrânea e o desenvolvimento aéreo da nova vegetação. Os tratamentos estudados foram:

- a) derruba manual da vegetação, seguidas de secagem e queima da vegetação (derruba e queima);
- b) derruba manual da vegetação, seguido de extração manual de tocos e sem uso de fogo (destocamento manual);
- c) derruba mecanizada da vegetação com trator de lâmina frontal, seguido de aração e gradagem e sem uso de fogo; e
- d) derruba mecanizada da vegetação com trator de lâmina frontal e com rolofacas, seguido de aração e gradagem e sem uso de fogo.

Durante 16 meses, em cada área estudada foram avaliados: I) o estoque de raízes finas, médias e grossas; II) a produtividade de raízes finas; e III) as produções de biomassa aérea total da vegetação e de algumas espécies arbóreas e arbustivas selecionadas. Em estudos complementares foram identificadas partes da planta responsáveis pelo armazenamento de amido. Também foi estudada a capacidade de regeneração vegetativa de fragmentos de raízes e de galhos.

A vegetação original de pousio com 3 anos de idade apresentou $5,4 \text{ t*ha}^{-1}$ de raízes enquanto que a vegetação de 8 anos de idade mostrou $8,0 \text{ t*ha}^{-1}$. Na transição do período

chuvoso até o fim do período seco o estoque de raízes finas diminuiu e depois aumentou novamente com o aumento da precipitação pluviométrica durante a estação chuvosa seguinte. Na vegetação original a diminuição e o aumento respectivamente foram de $-1,6$ e $+4,3 \text{ t*ha}^{-1}$, na vegetação com 3 anos de idade, e de $-1,0$ e $+4,1 \text{ t*ha}^{-1}$ na vegetação com 8 anos de idade. O incremento primário de raízes por ano variou de $2,7$ a $3,0 \text{ t*ha}^{-1}$. Simultaneamente a taxa mínima de decomposição de raízes finas foi estimada entre $1,4$ e $2,1 \text{ t*ha}^{-1}\text{a}^{-1}$.

As perdas de raízes finas observadas ocorreram devido aos efeitos de tratamento e de clima. Dentro do período de amostragem (12 meses) as perdas de raízes finas foram recuperadas somente no tratamento de derruba e queima. Nos outros tratamentos observou-se uma redução do estoque de raízes finas quando comparado à vegetação original. As diferenças foram (vegetação de 3 e 8 anos de idade): derruba e queima $+0,2$ e $+0,8 \text{ t*ha}^{-1}$, remoção manual de tocos $-0,3$ e $-0,3 \text{ t*ha}^{-1}$, derruba mecânica com aração e gradagem $-1,6$ e $-1,4 \text{ t*ha}^{-1}$, derruba mecânica com rolofaca, com aração e gradagem $-0,7$ e $-1,2 \text{ t*ha}^{-1}$.

As maiores densidades de raízes e também as maiores perdas de raízes foram observadas nas camadas superiores do solo. Altas reduções do estoque total de raízes foram principalmente determinadas pelas perdas intensivas de raízes de diâmetro $> 2 \text{ mm}$. Nos tratamentos mecanizados os declínios da ordem de 73 a 91% . Após 16 meses de regeneração o estoque total de raízes nas vegetações de 3 e 8 anos de idade, respectivamente foram: vegetação secundária original $23,6$ e $35,5 \text{ t*ha}^{-1}$, derruba e queima $19,2$ e $35,9 \text{ t*ha}^{-1}$, destacamento manual de tocos $13,2$ e $25,5 \text{ t*ha}^{-1}$, derruba mecânica com rolofaca, com aração e gradagem $7,9$ e $20,1 \text{ t*ha}^{-1}$.

Depois de 360 dias de regeneração a produção primária de raízes finas (PPRF) em ambas vegetações originais foi de $4,3 \text{ t*ha}^{-1}$. A PPRF nas vegetações com 3 e 8 anos de idade, respectivamente foram: derruba e queima $3,9$ e $3,3 \text{ t*ha}^{-1}$, destacamento manual de tocos $3,1$ e $4,2 \text{ t*ha}^{-1}$, derruba mecânica, com aração e gradagem $1,1$ e $2,1 \text{ t*ha}^{-1}$, derruba mecânica com rolofaca, com aração e gradagem $1,6$ e $3,0 \text{ t*ha}^{-1}$. Foram observados, em ambos os experimentos intenso crescimento radicular nos períodos de estação chuvosa e uma estagnação do crescimento durante a estação seca. As maiores produções de comprimento e de biomassa de raízes foram observadas nos primeiros 10 cm de profundidade do solo. Todos os tratamentos com impacto físico no material radicular do horizonte superior do solo resultaram

em fortes declínios de produtividade de raízes. As reduções mais intensas foram observadas nos tratamentos mecanizados.

Durante a fase inicial de regeneração subterrânea foram produzidas raízes finas com grandes comprimentos específicos em todos os tratamentos, mas isto não ocorreu sob a vegetação não perturbada. Este padrão de crescimento é interpretado como um mecanismo da vegetação para aquisição de nutrientes. Admitindo isto, após os distúrbios a produção inicial de raízes muito finas ajuda a invadir rapidamente áreas de baixa densidade radicular e, desta forma, diminui as perdas de nutrientes por lixiviação.

O crescimento por rebrotação de toco de raízes grossas foi a forma que prevaleceu na regeneração da vegetação secundária. A capacidade de regeneração das espécies selecionadas variou devido aos tratamentos aplicados e ao padrão específico de cada espécie. Todos os tratamentos conduziram ao declínio do número de espécies de árvores e arbustos, comparados à vegetação original.

Após 16 meses de regeneração a biomassa aérea nas vegetações com 3 e 8 anos de idade foram respectivamente: derruba e queima 12,6 e 16,7 t*ha⁻¹, destacamento manual de tocos 4,5 e 12,6 t*ha⁻¹, derruba mecânica, com aração e gradagem 1,5 e 5,2 t*ha⁻¹, derruba mecânica com rolofaca, com aração e gradagem 2,8 e 6,0 t*ha⁻¹.

Resumidamente pode-se dizer que: i) o estoque total de raízes, ii) as produções abaixo e acima do solo e iii) o número de espécies arbóreas e arbustivas nos experimentos de campo apresentaram tendências na seguinte ordem:

derruba e queima > destacamento manual de tocos > procedimentos mecânicos.

Os valores do experimento de campo do Curi (com 8 anos de idade) sempre ultrapassaram os do experimento de campo do Cumaru (com 3 anos de idade). As mais altas produtividades no Curi supõe-se que foram baseadas num desenvolvimento mais avançado do sistema radicular da vegetação original e devido a um melhor suprimento de carboidratos estocados nas raízes grossas.

Independente do tipo de tratamento, todos os procedimentos conduziram a efeitos prejudiciais ao sistema radicular. O impacto das intervenções variou consideravelmente entre os tratamentos. O estágio de desenvolvimento da vegetação no momento de preparo da área tem grande importância para a regeneração subsequente.

Para criar um sistema de uso da terra sustentável, o tratamento de derruba e queima foi considerado o procedimento mais favorável em relação a todos os demais tratamentos testados. Porém, nenhuma recomendação pode ser feita em favor dos procedimentos mecanizados. A longo prazo os repetidos destacamentos manuais de tocos conduzirão a um declínio da produtividade da vegetação de pousio e isto é considerado negativo.

13 Zitierte Literatur

- Ackermann, F. L. (1969). *Esbôço para a geologia entre a cidade de Belém-Rio Gurupi e Atlântico- Rio Guamá*. Belém, Universidade Federal do Pará.
- Arunachalam, A., Pandey, H.N., Tripathi, R.S. & Maithani, K. (1996). Biomass and production of fine and coarse roots during regrowth of disturbed subtropical humid forest in north-east India. *Vegetatio* 123: 73-80.
- Baar, R. (1997). *Vegetationskundliche und -ökologische Untersuchungen der Buschbrache in der Feldumlagewirtschaft im östlichen Amazonasgebiet*. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen 121. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen, 202 S.
- Bell, T.L., Pate, J.S. & Dixon, K.W. (1996). Relationships between fire response, morphology, root anatomy and starch distribution in south-west Australian Epacridaceae. *Annals of Botany* 77: 357-364.
- Berish, C.W. (1982). Root biomass and surface area in three successional tropical forests. *Canadian Journal of Forest Research* 12: 699-704.
- Berish, E.W. & Ewel, E.W. (1988). Root development in simple and complex tropical successional ecosystems. *Plant and Soil* 106: 73-84.
- Bloomfield, J., Vogt, K. & Vogt, D. (1993). Decay rate and substrate quality of fine roots and foliage of tropical tree species in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Plant and Soil* 150: 233-245.
- Böhm, W. (1979). *Methods of studying root systems*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Böhringer, A., Leihner, D. & Böcker, R. (1995). Shoot biomass of natural stump regrowth in cropping systems in the subhumid forest savanna mosaic zone of west africa. *Der Tropenlandwirt, Beiträge zur tropischen Landwirtschaft und Veterinärmedizin* 96: 225-239.

- Braune, W., Lehman, A. & Taubert, H. (1979). Pflanzenanatomisches Praktikum: Einführung in die Anatomie der Vegetationsorgane der höheren Pflanzen. Fischer, Stuttgart, New York.
- Brienza Jr., S. (1999). Enrichment of fallow vegetation in traditional slash and burn agriculture with fast growing leguminous trees. Dissertation in Vorbereitung, Georg-August-Universität, Göttingen.
- Cavelier, J. & Estevez, J. (1996). Fine root biomass in three successional stages of an andean cloud forest in Columbia. *Biotropica* 28: 728-736.
- Clausing, G. (1994). Frühe Regeneration und Wiederbesiedlung auf Kulturfleichen der Wald-Feld-Wechselwirtschaft im östlichen Amazonasgebiet. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen 97. Diplomarbeit, Georg-August-Universität, Göttingen, 151 S.
- Coutts, M.P. (1987). Developmental processes in tree root systems. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 761-767.
- Cuevas, E. & Medina, E. (1988). Nutrient dynamics within amazonian forests. II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia* 76: 222-235.
- da Silva, B.N.R. & Carvalho, J.d.S. (1986). Os solos da Amazônia oriental. In: Pesquisas sobre utilização e conservação do solo na Amazônia oriental, 15-43. EMBRAPA, CPATU, GTZ, Belém.
- Denich, M. (1989). Untersuchungen zur Bedeutung junger Sekundärvegetation für die Systemproduktivität im östlichen Amazonasgebiet, Brasilien. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen 46. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen. 265 S.
- Denich, M. (1991). Die Sekundärvegetation nach flächenhafter Entwaldung - Ein Beispiel aus dem östlichen Amazonasgebiet Brasiliens-. In: Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen 60, 31-46. Göttingen.
- Denich, M. & Vlek, P.L.G. (1996). Die Nutzung der Brachevegetation ohne den Einsatz von Feuer als effektives Ressourcenmanagement in der Feuerumlagewirtschaft

Ostamazoniens. Proceedings von der 40. Jahrestagung in Hohnheim, Kurzfassungen der Vorträge und Poster. Gießen, 281-282.

Denich, M., Vlek, P. L. G. & Fölster, H. (1996). Abschlußbericht der 1. Projektphase des SHIFT Vorschungsvorhabens 0339389A. Sekundärwald und Brachevegetation in der Kulturlandschaft des östlichen Amazonasgebietes -Funktion und Manipulierbarkeit-. Göttingen, IAT, IBW, Universität Göttingen. 139 S.

DIAS, Delta-T Handbook (1990). Cambridge.

Diekmann, U. (1997). Biologische und chemische Bodencharakteristika zur Beurteilung der nachhaltigen Produktivität von Landnutzungssystemen in der Zona Bragantina, Ost-Amazonien. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen. 189 S.

Diniz, T. D. (1986). Pesquisas sobre utilização e conservação do solo na Amazônia oriental. EMBRAPA, CPATU, GTZ, Belém. 3-15.

Duivenvoorden, J.F. & Lips, J.M. (1995). A land-ecological study of soils, vegetation, and plant diversity in Columbian Amazonia. The Tropenbos Foundation, Wageningen.

Erdmann, T.K., Nair, P.K. & Jenkins, W.J. (1993). Effects of frequency and cutting height on reserve carbohydrates in *Glyricidia sepium*. *Forest Ecology and Management* 57: 45-60.

Eschrich, W. (1976). Strasburger's Kleines Botanisches Praktikum für Anfänger. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. New York.

FAO (1997). State of the world's forests. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Fearnside, P.M. (1995). Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon Forest. *Forest Ecology and Management* 80: 21-34.

Fearnside, P.M. & Guimaraes, W.M. (1996). Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 80: 35-46.

- Fittkau, E.J. (1971). Ökologische Gliederung des Amazonas-Gebietes auf geochemischer Grundlage. *Münsteraner Forschungen für Geologische Paläontologie* 20: 35-50.
- Fölster, H. & Faßbender, H. (1984). Ökopedologische Grundlagen der Bodennutzung in den Tropen und Subtropen. Vorlesungsskript. 199 S.
- Gale, M.R. & Grigal, D.F. (1987). Vertical root distribution of northern tree species in relation to successional status. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 829-834.
- Garcia Restom, T. (1998). Recuperação do sistema radicular em uma floresta secundária na Amazônia oriental. In: Gascon, C. & Montinho, P. (Hrsg.) *Floresta Amazônica: Dinâmica, Regeneração e Manejo*, 145-153. INPA.
- Gehring, C., Denich, M., Kanashiro, M. & Vlek, P.L.G. (1999). The response of a secondary vegetation in eastern Amazonia to relaxed nutrient availability constraints. *Biogeochemistry* (in print).
- Goldammer, J.G. (1990). Waldumwandlung und Waldverbrennung in den Tiefland-Regenwäldern des Amazonas-Beckens: Ursachen und ökologische Implikationen. In: Hoppe, A. (Hrsg.) *Amazonien: Versuch einer interdisziplinären Annäherung*, 119-140. *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg i.Br.*
- Golley, F.B., McGinnis, J.T., Clements R.G., Child, G.I. & Duever, M.J. (1990). The structure of tropical Forests in Panama and Colombia. *Biocycle* 19: 693-696.
- Goss, M.J. (1991). Consequences of the activity of roots in soil. In: Atkinson D. (Hrsg.) *Plant root growth. An ecological perspective. Special publication number of the British Ecological Society*, 171-186. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, Paris, Berlin, Vienna.
- Gower, S.T. (1987). Relations between mineral nutrient availability and fine root biomass in two Costa Rican tropical wet forests: A hypothesis. *Biotropica* 19: 171-175.
- Grace, J., Lloyd, J., McIntyre, J., Miranda, A.C., Meir, P., Miranda, H.S., Nobre, C., Moncrieff, J., Massheder, J., Malhi, Y., Wright, I. & Gash, J. (1995). Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science* 270: 778-780.

- Greig, N. (1993). Regeneration mode in neotropical Piper: Habitat and species comparisons. *Ecology* 74: 2125-2135.
- Hölscher, D. (1995). Wasser- und Stoffhaushalt eines Agroökosystems mit Waldbrache im östlichen Amazonasgebiet. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen. 133 S.
- Hölscher, D., Möller, R.F., Denich, M. & Fölster, H. (1997). Nutrient input-output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 47: 49-57.
- Hueck, K. (1966). Die Wälder Südamerikas. Ökologie, Zusammensetzung und wirtschaftliche Bedeutung. G. Fischer Verlag, Stuttgart.
- IBGE (1993). Censo agropecuário. Pará, Rio de Janeiro.
- IDESP (1991). Anuário Estatístico do Estado do Pará. Belém, Pará.
- Ingleby, K., Diagne, O., Deans, J.D., Lindley, D.K., Neyra, M. & Ducouso, M. (1997). Distribution of roots, arbuscular mycorrhizal colonisation and spores around fast-growing tree species in Senegal. *Forest Ecology and Management* 90: 19-27.
- INPE (1999). Extent of deforestation in Brazilian Legal Amazonia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo.
- IITA (International Institute of Tropical Agriculture). (1981). Automated and semi-automated methods for soil and plant analysis. Manual series 7. 33 S.
- Jacobi, I. (1997). Der Beitrag von Keimlingen zur Regeneration der Brachevegetation im östlichen Amazonasgebiet. Dissertation, Universität Hamburg. 148 S.
- Janssen, B.H. & Wienk, J.F. (1990). Mechanized annual cropping on low fertility acid soils in the humid tropics. A case study of Zanderij soils in Suriname. *Agricultural University Papers*, Wageningen.

- Jones, M., Sinclair, F.L. & Grime, V.L. (1998). Effect of tree species and crown pruning on root length and soil water content in semi-arid agroforestry. *Plant and Soil* 201: 197-207.
- Jordan, C.F. (1990a). Nutrient cycle processes and tropical forest management. In: Gomez-Pompa A., Whitmore, T.C. & Hadley M. (Hrsg.) *Rain Forest Regeneration and Management*, 159-180. UNESCO.
- Jordan, C.F. (1990b). An amazonian rainforest. The structure and function of a nutrient stressed ecosystem and the impact of slash-and-burn agriculture. UNESCO, Athens, USA.
- Jordan, C.F. & Escalante, G. (1980). Root productivity in an Amazonian Rain forest. *Ecology* 61: 14-18.
- Kangas, P. (1992). Root regrowth in a subtropical wet forest in Puerto Rico. *Biotropica* 24: 463-465.
- Kato, M.S.A (1998 a). Fire-free land preparation as an alternative to slash and burn agriculture in the Bragantina region, Eastern Amazon: Crop performance and phosphorus dynamics. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen. 144 S.
- Kato, O. R. (1998 b). Fire-free land preparation as an alternative to slash and burn agriculture in the Bragantina region, Eastern Amazon: Crop performance and nitrogen dynamics. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen. 132 S.
- Kauffman, J.B. (1991). Survival by sprouting following fire in tropical forest in the Eastern Amazon. *Biotropica* 23: 219-224.
- Kauffman, J.B., Cummings, D.L., Ward, D.E. & Babbitt, R. (1995). Fire in the Brazilian Amazon: Biomass, nutrient pools and losses in slashed primary forests. *Oecologia* 104: 397-408.
- Kinsman, S. (1990). Regeneration by fragmentation in tropical montane forest shrubs. *American Journal of Botany* 77: 1626-1633.

- Kleikamp, B. (1991). Biometrische Parameter junger Buchen (*Fagus silvatica* L.) in Abhängigkeit vom Lichtgenuß. Diplomarbeit, Georg-August-Universität, Göttingen. 77 S.
- Klinge, H. (1976a). Nährstoffe, Wasser und Durchwurzelung von Podsolen und Lataosolen unter tropischem Regenwald bei Manaus/Amazonien. *Biogeographica* 7: 45-58.
- Klinge, H. (1976b). Bilanzierung von Hauptnährstoffen im Ökosystem Tropischer Regenwald (Manaus) - vorläufige Daten. *Biogeographica* 7: 59-77.
- Klinge, R. (1998). Wasser- und Nährstoffdynamik im Boden und Bestand beim Aufbau einer Holzplantage im östlichen Amazonasgebiet. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen 122, Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen. 260 S.
- Köppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate. In: Handbuch der Klimatologie, Band 1, Teil C. Geiger & Bornträger, Berlin.
- Kummerow, J., Castillanos, J., Mass, M. & Larigauderie, A. (1990). Production of fine roots and the seasonality of their growth in a Mexican deciduous dry forest. *Vegetatio* 90: 73-80.
- Kutschera, L. (1991). Short review of the present state of root research. In: Plant roots and their environment, 1-7. Elsevier, Amsterdam, London, New York, Tokyo.
- Lugo, A.E. (1995). Management of tropical biodiversity. *Ecological Applications* 5: 956-961.
- Mackensen, J., Hölscher, D., Klinge, R. & Fölster, H. (1996). Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 86: 121-128.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, San Diego.
- Miyanishi, K. & Kellman, M. (1986). The role of root nutrient reserves in regrowth of savanna shrubs. *Canadian Journal of Botany* 64: 1244-1248.

- Mooney, H.A. & Gartner, B.L. (1991). Reserve economy of vines. In: Putz, F.E. & Mooney, H.A. (Hrsg.) *The biology of vines*, 161-179. Cambridge Press, Cambridge.
- Nepstad, D.C., Uhl, C. & Serrão, A.S.E. (1991). Recuperation of a degraded Amazonian landscape: Forest recovery and agricultural restoration. *Ambio* 20: 248-255.
- Nepstad, D.C., Uhl, C., Pereira, C.A. & da Silva, J.M.C. (1996). A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos* 76: 25-39.
- Núñez, J. B. H. (1995). Fitomassa e estoque de bioelementos das diversas fases da vegetação secundária, provenientes de diferentes sistemas de uso da terra no Nordeste Paraense, Brasil. Magisterarbeit, Universidade Federal do Para (UFPA). 184 S.
- Okano, K. & Omae, H. (1996). Quantitative estimation of physiological functions of various roots with different diameters in the root system of the tea tree. *Japanese Journal of Crop Science* 65: 605-611.
- Parrotta, J.A. & Lodge, D.J. (1991). Fine root dynamics in a wet forest following disturbance in Puerto Rico. *Biotropica* 23: 343-347.
- Prieß, J. (1996). Wurzeldynamik und Zersetzeraktivität in Ca-defizitären Böden unter tropischem Feuchtwald, Venezuela. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen. 152 S.
- Raich, J.W. (1980). Fine roots regrow rapidly after forest felling. *Biotropica* 12: 231-232.
- Rego, R.S., da Silva, B.N.R. & Raimundo, S.O. (1993). Detailed soil survey in an area in the municipality of Igarapé Açu, Pará. In: Junk, W.J. & Bianchi, H.K. (Hrsg.) *Summaries of lectures and posters presented at the first SHIFT-workshop in Belém, March, 8-13, 1993*, CNPq, IBAMA, BMFT, Geesthacht.
- Richter, O. (1985). *Simulation des Verhaltens ökologischer Systeme: mathematische Methoden und Modelle*. VCH, Weinheim, Deerfield Beach, Florida.
- Richter, O. & Söndergarth, D. (1990). *Parameter estimation in ecology: the link between data and models*. VCH, Weinheim, Basel, Cambridge, New York.

- Riede, K. (1990). Die amazonischen Regenwälder als Labor der Evolution. In: Hoppe, A. (Hrsg.) Amazonien: Versuch einer interdisziplinären Annäherung, 93-113. Berichte der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg i.Br.
- Sørensen, T. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. *Biologiske Skrifter* 5: 1-34.
- Saldarriaga, J.G. & Uhl, C. (1990). Recovery of forest vegetation following slash-and-burn agriculture in the upper Rio Negro. In: Gomez-Pompa, A., Whitmore, T.C. & Hadley M. (Hrsg.) Rain Forest Regeneration and Management, 303-313. UNESCO.
- Sanchez-Gallen, I. & Alvarez-Sanchez, J. (1996). Root productivity in a lowland tropical rain forest in Mexico. *Vegetatio* 123: 109-115.
- Sanford, R. L. (1985). Root ecology of mature and successional Amazon forests. Dissertation, University of Berkeley, California. 135 S.
- Sanford, R.L. (1990). Fine root biomass under light gap openings in an Amazon rainforest. *Oecologia* 83: 541-545.
- Santana, A. C (1990). Diagnóstico sócio-econômico da pequena agricultura de Igarapé Açu. Magisterarbeit, Faculdade das Ciências Agrárias do Pará, Belém. 60 S.
- Santantonio, D. & Grace, J.C. (1987). Estimating fine-root production from biomass and decomposition: compartment flow model. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 900-908.
- Santantonio, D. (1990). Modeling growth and production of tree roots. In: Dixon, R.K., Meldahl, R.S., Ruark, G.A. & Warren, W.G. (Hrsg.) Process Modeling of Forest Growth Responses to Environmental Stress, 124-141. Timber Press Inc, Portland, Oregon.
- Scatena, F.N., Walker, R.T., Homma, A.K.O., Deconto, A.J., Ferreira, C.A.P., Carvalho, R.D., Darocha, A.C.P.N., Santos, A.I.M.D. & Deoliveira, P.M. (1996). Cropping and fallowing sequences of small farms in the "terra firme" landscape of the Brazilian Amazon: A case study from Santarem, Para. *Ecological Economics* 18: 29-40.

- Schroth, G. & Zech, W. (1995a). Above- and below-ground biomass dynamics in a sole cropping and an alley cropping system with *Gliricidia sepium* in the semi-deciduous rainforest zone of West Africa. *Agroforestry Systems* 31: 181-198.
- Schroth, G. & Zech, W. (1995b). Root length dynamics in agroforestry with *Gliricidia sepium* as compared to sole cropping in the semi-deciduous rainforest zone of West Africa. *Plant and Soil* 170: 297-306.
- Silver, W.L. & Vogt, K.A. (1993). Fine root dynamics following single and multiple disturbances in a subtropical wet forest ecosystem. *Journal of Ecology* 81: 729-738.
- Silver, W.L., Brown, S. & Lugo, A.E. (1996a). Effects of changes in biodiversity on ecosystem function in tropical forests. *Conservation Biology* 10: 17-24.
- Silver, W.L., Scatena, F.N., Johnson, A.H. & Siccama, T.G.W.F. (1996b). At what temporal scales does disturbance affect belowground nutrient pools? *Biotropica* 28: 441-457.
- Singh, J.S., Lauenroth, W.K., Hunt, H.W. & Swift, D.M. (1984). Bias and random errors in estimators of net root production: a simulation approach. *Ecology* 65: 1760-1764.
- Singh, K.P. & Srivastava S.K. (1988). Seasonal variation in the biomass and nonstructural carbohydrate content of fine roots of teak (*Tectonis grandis* L.f.) plantations in a dry tropical region. *Tree Physiology* 1: 31-36.
- Sioli, H. (1969). Entwicklung und Aussichten der Landwirtschaft im brasilianischen Amazonasgebiet. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 2: 307-326.
- Skatulla, M. (1994). Sukzession nach Dauerkultur und Shifting-Cultivation: Bedeutung der Reproduktionsbiologie holziger Arten für die Regeneration der Brachevegetationen in Ostamazonien. Diplomarbeit, Justus-Liebig-Universität Giessen. 103 S.
- Smith, D. (1981). Removing and analyzing total Nonstructural Carbohydrates from plant tissue. Research Report 41, 15 S. College of Agriculture, University of Wisconsin, Madison.
- Stark, N. & Spratt, M. (1977). Root biomass and nutrient storage in rainforest oxislos near San Carlos de Rio Negro. *Tropical Ecology* 18: 1-9.

- STATISTICA for Windows. Computer program manual, vers. 5.1. (1998). StatSoft, Inc, Tulsa, OK.
- Steen, E. (1991). Usefulness of mesh bag method in quantitative root studies. In: Atkinson D. (Hrsg.) Plant root growth. An ecological perspective. Special publication number 10 of the British Ecological Society, 75-88. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, Paris, Berlin, Vienna.
- St. John, T.V. (1983). Response of tree roots to decomposing organic matter in two lowland Amazonian rain forests. *Canadian Journal of Forestry Research* 13: 346-349.
- Strasburger, E. (1983). *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen*. Fischer, Stuttgart; New York.
- Sundarapandian, S.M. & Swamy, P.S. (1996). Influence of herbaceous species composition on fine root biomass production in disturbed and undisturbed deciduous forests of Western Ghats in India. *Acta Ecologia* 17: 163-176.
- Takahashi, H., Scott, T.K. & Suge, H. (1992). Stimulation of root elongation and curvature by calcium. *Plant physiology* 98: 246-252.
- Tennant, D. (1975). A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology* 63: 995-1001.
- Thielen-Klinge, A. (1997). Rolle der biologischen N₂-Fixierung von Baumleguminosen im östlichen Amazonasgebiet, Brasilien. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen. 201 S.
- Torquebiau, E.F. & Kwesiga, F. (1996). Root development in a *Sesbania sesban* fallow-maize system in Eastern Zambia. *Agroforestry Systems* 34: 193-211.
- Uhl, C., Clark, K., Clark, H. & Murphy, P. (1981). Early plant succession after cutting and burning in the upper Rio Negro Region of the Amazon Basin. *Journal of Ecology* 69: 631-649.
- Uhl, C. (1987). Factors controlling succession following slash-and-burn agriculture in Amazonia. *Journal of Ecology* 75: 377-407.
- USDA (1994). *Keys to Soil Taxonomy*, 6. Auflage, USDA, Washington.

- Van Noordwijk, M., Widiyanto, M., Heinen, M. & Kurniatun, H. (1991). Old tree root channels in acid soils in the humid tropics: Important for crop root penetration, water infiltration and nitrogen management. *Plant and Soil* 143: 37-44.
- Vieira, L.S., Dos Santos, W.H., Falesi, I.C. & Filho, J.P. (1967). Levantamento de reconhecimento dos solos da região Bragantina, Estado do Para. *EMBRAPA* 2: 1-63.
- Vogt, K.A., Grier, C.C., Gower, S.T., Sprugel, D.G. & Vogt, D.J. (1986). Overestimation of net root production: A real or an imaginary problem? *Ecology* 67: 577-579.
- Walter, H. & Lieth, H. (1960). *Klimadiagramm-Weltatlas*. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Walter, H. & Breckle, S. (1984). *Ökologie der Erde. Band 2, Spezielle Ökologie der Tropischen und Subtropischen Zonen*. UTB Gustav Fischer, Stuttgart.
- Watrin, O. dos Santos (1994). *Estudo da dinâmica na paisagem da Amazônia oriental através de técnicas de geoprocessamento*. Magisterarbeit, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 156 S.
- Weischet, W. (1990). Das Klima Amazoniens und seine geoökologischen Konsequenzen. In: Hoppe, A. (Hrsg.) *Amazonien: Versuch einer interdisziplinären Annäherung*, 59-92. *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg i.Br.*
- Wienecke, F. & Friederich, T. (1982). *Agrartechnik in den Tropen und Subtropen*, DLG-Verlag, Frankfurt.
- Wiesenmüller, J.D., Denich, M. & Vlek, P.L.G. (1995). Vegetative fallow regeneration in the Eastern Amazon Region, Brazil. *Proceedings of Management and rehabilitation of degraded lands and secondary forests in Amazonia*. Rio Piedras, Puerto Rico, USA, 111-114.
- Wiesenmüller, J.D., Grüneberg, W., Santos, W., Denich, M. & Vlek, P.L.G. (1998). Modeling of fine root distribution under secondary vegetation in NE Amazonia - a qualitative and quantitative assessment. A 25. *Proceedings of Third SHIFT - Workshop*, March 15-19, 1998. Manaus, Brazil.

- Withelm, D. (1993). Die Nutzung der Sekundärvegetation in der Region Igarapé Açu (Bundesstaat Pará, Brasilien) durch die lokale Bevölkerung. Diplomarbeit, Universität Hamburg. 135 S.
- Woomer, P.L., Palm, C.A., Alegre, J.C., Castilla, C., Cordeiro, D.G., Hairiah, K., Kotto-Same, J., Moukam, A., Ricse, A., Rodrigues, V. & Van Noordwijk, M. (1998). Carbon dynamics in slash-and-burn systems and land use alternatives: Findings of the Alternative to Slash-and-Burn Programme. *Advances in Soil Science* (in print).

14 Anhang

Tabelle 46: Wurzelmassendichte \pm Standardfehler in Gazebeuteln im Vorversuch zur Bestimmung der 'lag-phase'.

Verbleibdauer [d]	Tiefe [cm]	WLD [mm*cm ⁻³]	WMD [mg*cm ⁻³]
30	0-10	21,1 \pm 4,9	0,20 \pm 0,09
	20-30	5,0 \pm 0,5	0,06 \pm 0,01
	40-50	0	0
60	0-10	23,1 \pm 3,6	0,27 \pm 0,06
	20-30	9,2 \pm 1,5	0,14 \pm 0,05
	40-50	3,5 \pm 1,4	0,03 \pm 0,01

Tabelle 47: Verhältnis der Produktionsleistungen in Gazebeutel in Abhängigkeit von der Behandlung, Tiefenstufe (0 - 10, 20 - 30, 40 - 50 cm) und Verbleibdauer (90, 180 und 360 d).

Verbleibdauer [d]	90		180				360				
	WLD	WMD	WLD		WMD		WLD		WMD		
	10 zu 30	10 zu 30	10 zu 30	10 zu 50	10 zu 30	10 zu 50	10 zu 30	10 zu 50	10 zu 30	10 zu 50	
Exp 4a	Cap	3,5	4,3	7,9	7,5	5,1	8,9	3,9	8,1	3,8	7,3
	gebr	4,1	4,8	6,6	11,1	5,6	8,1	4,2	8,8	3,9	8,1
	entst	5,9	5,0	7,8	17,8	5,5	12,2	5,9	6,9	4,8	6,4
	P,E	5,7	3,7	4,0	7,5	3,7	6,0	3,6	3,4	3,4	5,6
	P,E,R	1,4	1,2	3,9	6,4	4,4	6,9	5,1	16,2	3,8	10,5
	alle Behandlungen	4,1	3,8	6,1	10,1	4,9	8,4	4,5	8,7	3,9	7,6
Exp 9a	Cap	1,7	1,4	2,4	2,6	2,4	2,4	2,2	3,2	2,2	4,4
	gebr	4,2	2,7	2,9	4,9	2,5	3,4	2,6	6,8	2,5	6,1
	entst	2,4	2,2	4,2	3,9	3,7	3,4	2,8	3,7	2,2	3,5
	P,E	2,9	1,7	2,3	5,5	1,8	3,1	4,6	5,4	2,3	3,3
	P,E,R	4,5	2,4	4,8	5,4	2,7	3,9	2,0	5,1	1,6	5,4
	alle Behandlungen	3,1	2,1	3,3	4,5	2,6	3,2	2,9	4,8	2,2	4,5

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 48: Wurzelmasse in Gazebeuteln \pm Standardfehler in Exp 4a und Exp 9a, Verbleibdauer 90 d, alle Behandlungen, Tiefenstufen 0 - 10 und 20 - 30 cm, n=12 pro Tiefenstufe, Behandlung und Experiment.

Exp	Behandlung	Tiefe	WLD	WMD (≤ 1 mm)	WMD (1-2 mm)	WMD (> 2 mm)	WMD gesamt	
		[cm]	[mm*cm ⁻³]	[mg*cm ⁻³]				
4a	Cap	10	21 \pm 4	0,48 \pm 0,09	0,02 \pm 0,01	0	0,50 \pm 0,10	
		30	6 \pm 1	0,12 \pm 0,01	0	0	0,12 \pm 0,01	
	gebr	10	106 \pm 11	0,67 \pm 0,05	0	0	0,67 \pm 0,05	
		30	37 \pm 7	0,17 \pm 0,03	0	0	0,18 \pm 0,04	
	entst	10	58 \pm 12	0,40 \pm 0,06	0	0	0,40 \pm 0,06	
		30	11 \pm 3	0,08 \pm 0,01	0	0	0,08 \pm 0,01	
	P,E	10	43 \pm 7	0,25 \pm 0,04	0	0	0,25 \pm 0,04	
		30	9 \pm 3	0,08 \pm 0,02	0	0	0,08 \pm 0,02	
	P,E,R	10	19 \pm 4	0,13 \pm 0,03	0	0	0,13 \pm 0,03	
		30	20 \pm 8	0,13 \pm 0,03	0	0	0,13 \pm 0,03	
	9a	Cap	10	12 \pm 2	0,22 \pm 0,03	0	0	0,22 \pm 0,03
			30	8 \pm 1	0,16 \pm 0,03	0,01 \pm 0,01	0	0,17 \pm 0,03
gebr		10	32 \pm 7	0,29 \pm 0,03	0	0	0,29 \pm 0,03	
		30	11 \pm 2	0,14 \pm 0,03	0	0	0,14 \pm 0,03	
entst		10	38 \pm 8	0,30 \pm 0,05	0	0	0,30 \pm 0,05	
		30	16 \pm 3	0,13 \pm 0,02	0	0	0,13 \pm 0,02	
P,E		10	12 \pm 5	0,12 \pm 0,03	0	0	0,12 \pm 0,03	
		30	4 \pm 1	0,06 \pm 0,01	0	0	0,06 \pm 0,01	
P,E,R		10	18 \pm 4	0,17 \pm 0,03	0,05 \pm 0,04	0	0,22 \pm 0,06	
		30	5 \pm 1	0,11 \pm 0,03	0	0	0,11 \pm 0,03	

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 49: Wurzelmasseendichte in Gazebeuteln \pm Standardfehler in Exp 4a, Verbleibdauer 180 d, alle Behandlungen, Tiefenstufen 0 - 10, 20 - 30 und 40 - 50 cm, n=12 pro Tiefenstufe, Behandlung und Experiment.

Exp	Behandlung	Tiefe	WLD	WMD (< 1 mm)	WMD (1-2 mm)	WMD (> 2 mm)	WMD gesamt
		[cm]	[mm*cm ⁻³]	[mg*cm ⁻³]			
4a	Cap	10	37 \pm 6	0,93 \pm 0,07	0,06 \pm 0,03	0,05 \pm 0,03	1,05 \pm 0,08
		30	6 \pm 1	0,20 \pm 0,03	0,01 \pm 0,01	0	0,21 \pm 0,03
		50	6 \pm 1	0,10 \pm 0,02	0,01 \pm 0,10	0	0,13 \pm 0,04
	gebr	10	50 \pm 8	0,46 \pm 0,06	0,01 \pm 0,01	0	0,47 \pm 0,05
		30	9 \pm 1	0,10 \pm 0,03	0,01 \pm 0,01	0	0,10 \pm 0,03
		50	6 \pm 1	0,06 \pm 0,01	0	0,02 \pm 0,02	0,08 \pm 0,02
	entst	10	83 \pm 17	0,53 \pm 0,05	0,03 \pm 0,02	0,02 \pm 0,02	0,58 \pm 0,06
		30	13 \pm 3	0,12 \pm 0,03	0	0	0,12 \pm 0,03
		50	5 \pm 1	0,05 \pm 0,01	0	0	0,05 \pm 0,01
	P,E	10	44 \pm 11	0,30 \pm 0,05	0	0	0,30 \pm 0,05
		30	12 \pm 2	0,08 \pm 0,01	0,01 \pm 0,01	0	0,09 \pm 0,02
		50	6 \pm 1	0,05 \pm 0,01	0	0	0,05 \pm 0,01
	P,E,R	10	36 \pm 9	0,32 \pm 0,04	0	0	0,32 \pm 0,04
		30	10 \pm 3	0,07 \pm 0,01	0	0	0,07 \pm 0,01
		50	6 \pm 2	0,05 \pm 0,01	0	0	0,05 \pm 0,01

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 50: Wurzelmasse in Gazebeuteln \pm Standardfehler in Exp 9a, Verbleibdauer 180 d, alle Behandlungen, Tiefenstufen 0 - 10, 20 - 30 und 40 - 50 cm, n=12 pro Tiefenstufe, Behandlung und Experiment.

		Tiefe	WLD	WMD (< 1 mm)	WMD (1-2 mm)	WMD (> 2 mm)	WMD gesamt
Exp	Behandlung	[cm]	[mm*cm ⁻³]	[mg*cm ⁻³]			
9a	Cap	10	24 \pm 5	0,19 \pm 0,03	0,01 \pm 0,01	0	0,20 \pm 0,03
		30	10 \pm 1	0,08 \pm 0,01	0	0	0,08 \pm 0,01
		50	11 \pm 3	0,09 \pm 0,02	0,01 \pm 0,01	0	0,10 \pm 0,03
	gebr	10	38 \pm 7	0,15 \pm 0,02	0,02 \pm 0,01	0	0,35 \pm 0,04
		30	18 \pm 5	0,07 \pm 0,02	0,01 \pm 0,01	0	0,08 \pm 0,02
		50	8 \pm 2	0,05 \pm 0,01	0	0	0,05 \pm 0,01
	entst	10	37 \pm 6	0,18 \pm 0,03	0	0	0,18 \pm 0,03
		30	16 \pm 5	0,08 \pm 0,02	0	0	0,08 \pm 0,02
		50	12 \pm 3	0,06 \pm 0,01	0	0	0,06 \pm 0,01
	P,E	10	21 \pm 6	0,09 \pm 0,02	0	0	0,09 \pm 0,02
		30	9 \pm 2	0,05 \pm 0,01	0	<0,01 \pm 0,01	0,06 \pm 0,01
		50	5 \pm 1	0,03 \pm 0,01	0	0	0,04 \pm 0,01
	P,E,R	10	27 \pm 7	0,09 \pm 0,02	0	0	0,09 \pm 0,02
		30	6 \pm 1	0,04 \pm 0,01	0	0	0,05 \pm 0,01
		50	5 \pm 1	0,02 \pm 0,01	0	0	0,02 \pm 0,01

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 51: Wurzelmasseendichte in Gazebeuteln \pm Standardfehler in Exp 9a und Exp 4a, Verbleibdauer 270 d, alle Behandlungen, Tiefenstufe 0 - 10 cm, n=12 pro Tiefenstufe, Behandlung und Experiment.

		Tiefe	WLD	WMD (< 1 mm)	WMD (1-2 mm)	WMD (> 2 mm)	WMD gesamt
Exp	Behandlung	[cm]	[mm*cm ⁻³]	[mg*cm ⁻³]			
4a	Cap	10	49 \pm 8	1,14 \pm 0,22	0,23 \pm 0,08	0,17 \pm 0,13	1,54 \pm 0,35
	gebr	10	58 \pm 12	0,68 \pm 0,11	0,04 \pm 0,02	0,03 \pm 0,03	0,75 \pm 0,13
	entst	10	39 \pm 6	0,33 \pm 0,05	0,01 \pm 0,01	0	0,34 \pm 0,05
	P,E	10	33 \pm 5	0,22 \pm 0,03	0,01 \pm 0,01	0	0,23 \pm 0,03
	P,E,R	10	34 \pm 5	0,27 \pm 0,04	0,02 \pm 0,02	0	0,29 \pm 0,05
9a	Cap	10	26 \pm 5	0,57 \pm 0,11	0,10 \pm 0,06	0,02 \pm 0,02	0,69 \pm 0,16
	gebr	10	32 \pm 5	0,40 \pm 0,08	0,06 \pm 0,02	0,03 \pm 0,02	0,48 \pm 0,11
	entst	10	28 \pm 6	0,26 \pm 0,03	0,01 \pm 0,01	0	0,27 \pm 0,03
	P,E	10	27 \pm 5	0,20 \pm 0,04	0	0	0,20 \pm 0,04
	P,E,R	10	29 \pm 8	0,27 \pm 0,08	0,01 \pm 0,01	0	0,28 \pm 0,07

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 52: Wurzelmasseendichte in Gazebeuteln \pm Standardfehler in Exp 4a, Verbleibdauer 360 d, alle Behandlungen, Tiefenstufen 0 - 10, 20 - 30 und 40 - 50 cm, n=12 pro Tiefenstufe, Behandlung und Experiment.

Exp	Behandlung	Tiefe	WLD	WMD (< 1 mm)	WMD (1-2 mm)	WMD (> 2 mm)	WMD gesamt
		[cm]	[mm*cm ⁻³]	[mg*cm ⁻³]			
4a	Cap	10	62 \pm 9	1,46 \pm 0,15	0,24 \pm 0,07	0,11 \pm 0,05	1,82 \pm 0,17
		30	23 \pm 5	0,43 \pm 0,09	0,22 \pm 0,07	0 \pm 0,07	0,76 \pm 0,16
		50	9 \pm 2	0,20 \pm 0,03	0,04 \pm 0,02	0 \pm 0,03	0,27 \pm 0,05
	gebr	10	82 \pm 10	1,34 \pm 0,15	0,26 \pm 0,07	0 \pm 0,08	1,78 \pm 0,24
		30	25 \pm 8	0,39 \pm 0,07	0,07 \pm 0,03	0 \pm 0,05	0,53 \pm 0,09
		50	11 \pm 2	0,20 \pm 0,04	0,0 \pm 0,03	\pm	0,24 \pm 0,05
	entst	10	105 \pm 13	0,99 \pm 0,08	0,05 \pm 0,02	0,09 \pm 0,09	1,13 \pm 0,09
		30	19 \pm 4	0,21 \pm 0,04	<0,01 \pm 0,01	0 \pm 0,06	0,28 \pm 0,07
		50	16 \pm 3	0,16 \pm 0,03	0	0 \pm 0,06	0,22 \pm 0,07
	P,E	10	45 \pm 6	0,40 \pm 0,05	0,10 \pm 0,03	0	0,46 \pm 0,07
		30	16 \pm 5	0,17 \pm 0,04	0,03 \pm 0,02	0	0,20 \pm 0,05
		50	14 \pm 3	0,08 \pm 0,02	0	0	0,08 \pm 0,01
	P,E,R	10	65 \pm 12	0,64 \pm 0,08	<0,01 \pm 0,01	0 \pm 0,02	0,69 \pm 0,08
		30	16 \pm 4	0,18 \pm 0,05	<0,01 \pm 0,02	0	0,22 \pm 0,06
		50	8 \pm 4	0,06 \pm 0,01	<0,01 \pm 0,01	0	0,08 \pm 0,02

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 53: Wurzelmasseendichte in Gazebeuteln \pm Standardfehler in Exp 9a, Verbleibdauer 360 d, alle Behandlungen, Tiefenstufen 0 - 10, 20 - 30 und 40 - 50 cm, n=12 pro Tiefenstufe, Behandlung und Experiment.

Exp	Behandlung	Tiefe	WLD	WMD (< 1 mm)	WMD (1-2 mm)	WMD (> 2 mm)	WMD gesamt
		[cm]	[mm*cm ⁻³]	[mg*cm ⁻³]			
9a	Cap	10	58 \pm 7	1,34 \pm 0,19	0,16 \pm 0,06	0,09 \pm 0,05	1,60 \pm 0,21
		30	27 \pm 4	0,57 \pm 0,06	0,05 \pm 0,02	0,10 \pm 0,10	0,75 \pm 0,13
		50	19 \pm 2	0,34 \pm 0,04	0,03 \pm 0,02	0	0,38 \pm 0,05
	gebr	10	69 \pm 8	1,07 \pm 0,10	0,14 \pm 0,05	0,06 \pm 0,07	1,28 \pm 0,18
		30	30 \pm 6	0,40 \pm 0,06	0,10 \pm 0,06	0,05 \pm 0,05	0,55 \pm 0,11
		50	11 \pm 1	0,19 \pm 0,02	0,03 \pm 0,02	0	0,22 \pm 0,02
	entst	10	71 \pm 10	1,30 \pm 0,12	0,15 \pm 0,05	0,05 \pm 0,02	1,49 \pm 0,17
		30	26 \pm 3	0,59 \pm 0,08	0,10 \pm 0,04	0,04 \pm 0,03	0,72 \pm 0,11
		50	20 \pm 4	0,38 \pm 0,05	0,06 \pm 0,03	0	0,44 \pm 0,06
	P,E	10	50 \pm 11	0,58 \pm 0,10	0,05 \pm 0,02	0,02 \pm 0,01	0,65 \pm 0,12
		30	12 \pm 3	0,23 \pm 0,05	0,04 \pm 0,02	0,07 \pm 0,05	0,34 \pm 0,09
		50	11 \pm 2	0,16 \pm 0,02	0,08 \pm 0,06	0,06 \pm 0,05	0,30 \pm 0,08
	P,E,R	10	62 \pm 9	0,79 \pm 0,11	0,05 \pm 0,03	0,13 \pm 0,13	0,96 \pm 0,15
		30	30 \pm 6	0,37 \pm 0,07	0,09 \pm 0,04	0,13 \pm 0,07	0,58 \pm 0,10
		50	13 \pm 3	0,21 \pm 0,04	0,06 \pm 0,04	0	0,27 \pm 0,08

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 54: Wurzelmasseindichte \pm Standardfehler in der Ausgangsvegetation des Exp 4a zu 3 Beprobungszeitpunkten (März 1994, November 1994, April 1995), 10 Tiefenstufen, alle Durchmesserklassen. Anzahl der Wiederholungen pro Tiefenstufe März 94 n=12, Nov. 94 n=15, Apr. 95 n=16.

Exp	Ernte	Tiefe [cm]	WMD					tot
			<1 mm	1-2 mm	2-5 mm	5-10 mm	<10 mm	
4a	Mär 94	5	1,86 \pm 0,24	0,36 \pm 0,24	0,28 \pm 0,45	0,76 \pm 0,13	0	0,34 \pm 0,10
		10	1,40 \pm 0,20	0,27 \pm 0,20	0,62 \pm 0,76	0,37 \pm 0,22	0	0,25 \pm 0,16
		15	0,75 \pm 0,10	0,20 \pm 0,10	0,89 \pm 0,93	0,47 \pm 0,27	<0,01 \pm 0,15	0,21 \pm 0,14
		20	0,48 \pm 0,08	0,14 \pm 0,08	0,63 \pm 1,34	0,33 \pm 0,39	0,79 \pm 0,23	0,04 \pm 0,02
		25	0,39 \pm 0,06	0,11 \pm 0,06	0,24 \pm 0,82	0,21 \pm 0,24	0	0
		30	0,30 \pm 0,07	0,12 \pm 0,07	0	0	0	0
		35	0,34 \pm 0,07	0,03 \pm 0,07	0,04 \pm 0,12	<0,01 \pm 0,04	0	0
		40	0,29 \pm 0,04	0,08 \pm 0,04	0,04 \pm 0,13	<0,01 \pm 0,04	0	0,02 \pm 0,02
		45	0,25 \pm 0,07	0,03 \pm 0,07	0,32 \pm 0,97	0,11 \pm 0,28	0	0,02 \pm 0,02
	50	0,19 \pm 0,03	<0,01 \pm 0,03	0,21 \pm 0,55	<0,01 \pm 0,16	0	0	
	Nov 94	5	1,33 \pm 0,13	0,11 \pm 0,13	0,30 \pm 0,88	<0,01 \pm 0,23	0	0
		10	1,08 \pm 0,14	0,35 \pm 0,14	0,61 \pm 0,88	<0,01 \pm 0,23	0	0,03 \pm 0,03
		15	0,67 \pm 0,06	0,08 \pm 0,06	0,30 \pm 0,80	<0,01 \pm 0,21	0	0
		20	0,43 \pm 0,07	0,18 \pm 0,07	0,08 \pm 0,19	<0,01 \pm 0,05	0	0
		25	0,29 \pm 0,04	0,10 \pm 0,04	0,23 \pm 0,40	<0,01 \pm 0,10	0	0,02 \pm 0,02
		30	0,27 \pm 0,04	0,05 \pm 0,04	0,06 \pm 0,16	<0,01 \pm 0,04	0	0,01 \pm 0,01
		35	0,21 \pm 0,05	0,08 \pm 0,05	0,01 \pm 0,04	<0,01 \pm 0,01	0	0
		40	0,19 \pm 0,04	0,08 \pm 0,04	0	0	0	0
		45	0,15 \pm 0,02	0,02 \pm 0,02	0	0	0	0,01 \pm 0,01
50		0,18 \pm 0,02	0,03 \pm 0,02	0,03 \pm 0,07	<0,01 \pm 0,02	0	0	

Fortsetzung Tabelle 54:

Exp	Ernte	Tiefe [cm]	WMD					tot
			<1 mm	1-2 mm	2-5 mm	5-10 mm	<10 mm	
			[mg*cm ⁻³]					
4a	Apr 95	5	2,32 ±0,13	0,92 ±0,13	1,03 ±1,72	<0,01 ±0,45	0	0,42 ±0,30
		10	1,99 ±0,25	0,76 ±0,25	1,11 ±1,64	1,01 ±0,41	0	0,29 ±0,14
		15	0,98 ±0,14	0,53 ±0,14	0,70 ±0,83	0,05 ±0,22	1,99 ±0,58	0,04 ±0,03
		20	0,74 ±0,09	0,23 ±0,09	1,06 ±1,90	<0,01 ±0,47	0,18 ±0,05	0
		25	0,58 ±0,11	0,29 ±0,11	0,19 ±0,53	0,65 ±0,14	2,43 ±0,70	0
		30	0,40 ±0,05	0,09 ±0,05	0,18 ±0,59	0,43 ±0,15	0	0,21 ±0,25
		35	0,31 ±0,03	0,08 ±0,03	0,10 ±0,39	<0,01 ±0,10	2,32 ±0,67	0
		40	0,23 ±0,03	0,07 ±0,03	0	0	0	0,01 ±0,01
		45	0,26 ±0,05	0,08 ±0,05	0,46 ±1,83	<0,01 ±0,47	0	0,05 ±0,04
50	0,22 ±0,04	0,04 ±0,04	0,28 ±1,13	<0,01 ±0,28	0	0,01 ±0,01		

Tabelle 55: Wurzelmasse \pm Standardfehler in der Ausgangsvegetation des Exp 9a zu 3 Beprobungszeitpunkten (März 1994, November 1994, April 1995), 10 Tiefenstufen, alle Durchmesserklassen. Anzahl der Wiederholungen pro Tiefenstufe März 94 n=12, Nov. 94 n=15, Apr 95 n=16.

Exp	Ernte	Tiefe [cm]	WMD					tot
			<1 mm	1-2 mm	2-5 mm	5-10 mm	<10 mm	
			[mg*cm ⁻³]					
9a	Mär 94	5	2,57 \pm 0,09	0,40 \pm 0,34	0	0,78 \pm 0,71	0	0,03 \pm 0,02
		10	2,35 \pm 0,07	0,82 \pm 0,40	0,31 \pm 0,24	0,56 \pm 0,54	0	0,01 \pm 0,01
		15	1,00 \pm 0,18	0,40 \pm 0,12	0,14 \pm 0,09	0	0	0,02 \pm 0,01
		20	1,52 \pm 0,20	0,13 \pm 0,51	0,20 \pm 0,13	0	0	0,05 \pm 0,04
		25	0,75 \pm 0,06	0,12 \pm 0,08	0,10 \pm 0,06	0,45 \pm 0,43	0	0,01 \pm 0,01
		30	0,67 \pm 0,51	0,71 \pm 0,09	0,45 \pm 0,28	1,37 \pm 0,94	0	0,08 \pm 0,07
		35	0,48 \pm 0,16	<0,01 \pm 0,07	0,23 \pm 0,15	1,56 \pm 1,42	0	0,02 \pm 0,02
		40	0,79 \pm 0,16	<0,01 \pm 0,18	0,41 \pm 0,39	1,63 \pm 1,16	0	0
		45	0,54 \pm 0,13	0,10 \pm 0,20	0,20 \pm 0,19	0	0	0
	50	0,38 \pm 0,06	0,21 \pm 0,06	0,14 \pm 0,14	0	0	0	
	Nov 94	5	2,04 \pm 0,04	0,79 \pm 0,46	0,49 \pm 0,26	0	0	0,01 \pm 0,02
		10	1,51 \pm 0,06	0,93 \pm 0,15	0,75 \pm 0,27	0	0	0
		15	0,93 \pm 0,04	0,51 \pm 0,14	0,09 \pm 0,06	0,39 \pm 0,43	<0,01 \pm 0,34	0,02 \pm 0,01
		20	0,70 \pm 0,03	0,38 \pm 0,11	0,43 \pm 0,24	0,55 \pm 0,43	0	0,04 \pm 0,02
		25	0,58 \pm 0,03	0,28 \pm 0,05	0,33 \pm 0,23	2,01 \pm 1,47	0	0
		30	0,47 \pm 0,97	0,12 \pm 0,04	0,70 \pm 0,42	0,41 \pm 0,32	0	0,04 \pm 0,03
		35	0,41 \pm 0,26	0,13 \pm 0,06	0,15 \pm 0,15	0,53 \pm 0,41	0	0,01 \pm 0,02
		40	0,34 \pm 0,23	0,03 \pm 0,04	0,04 \pm 0,04	1,02 \pm 1,14	1,16 \pm 0,37	0,21 \pm 0,24
		45	0,22 \pm 0,11	0,16 \pm 0,03	0,18 \pm 0,13	0	\pm 0,43	0,03 \pm 0,02
50		0,25 \pm 0,57	0,04 \pm 0,03	0,08 \pm 0,05	0	<0,01 \pm 0,21	0,03 \pm 0,02	

Fortsetzung Tabelle 55:

Exp	Ernte	Tiefe [cm]	WMD					tot
			<1 mm	1-2 mm	2-5 mm	5-10 mm	<10 mm	
			[mg*cm-3]					
9a	Apr 95	5	4,55 ±0,06	0,79 ±0,97	1,02 ±0,54	0	<0,01 ±0,53	0
		10	2,18 ±0,04	1,09 ±0,25	1,39 ±0,51	0	0	0,01 ±0,01
		15	1,79 ±0,22	0,76 ±0,23	0,79 ±0,45	0,79 ±0,64	1,28	0
		20	1,15 ±0,06	0,43 ±0,11	0,42 ±0,19	0	1,50	0
		25	1,51 ±0,05	0,34 ±0,59	0,21 ±0,10	0	0,72	0
		30	0,74 ±0,21	0,19 ±0,06	0,12 ±0,12	0	1,84 ±0,08	0
		35	0,45 ±0,22	0,06 ±0,05	0,20 ±0,20	0	0	0
		40	0,67 ±0,21	0,08 ±0,21	0,19 ±0,19	0	0	0
		45	0,44 ±0,22	0,11 ±0,06	0,15 ±0,10	0	0	0
		50	0,30 ±0,21	0,10 ±0,05	0	0	0	0

Tabelle 56: Wurzellängendichte und Wurzelmasendichte \pm Standardfehler in der Ausgangsvegetation des Exp 4a nach 1 a Regeneration (März 1994 - April 1995), Behandlungen (**gebr**, **entst**, **P,E**, **P,E,R**), 10 Tiefenstufen, alle Durchmesserklassen. Anzahl der Wiederholungen pro Tiefenstufe n=16.

Exp	Ernte	Tiefe [cm]	WLD		WMD				tot
			<1 mm [mm*cm ⁻³]	<1 mm	1-2 mm	2-5 mm	5-10 mm	<10 mm	
4a	gebr	5	194 \pm 63	1,40 \pm 0,19	0,42 \pm 0,10	0,34 \pm 0,15	0	0	0,14 \pm 0,07
	gebr	10	164 \pm 45	1,29 \pm 0,09	0,52 \pm 0,09	0,19 \pm 0,13	0,23 \pm 0,23	0	0,01 \pm 0,01
	gebr	15	47 \pm 5	0,73 \pm 0,08	0,20 \pm 0,05	0,21 \pm 0,14	0	0	0,04 \pm 0,02
	gebr	20	38 \pm 7	0,61 \pm 0,08	0,15 \pm 0,06	0,15 \pm 0,10	0,27 \pm 0,27	0	0,03 \pm 0,03
	gebr	25	26 \pm 2	0,46 \pm 0,06	0,22 \pm 0,05	0,14 \pm 0,14	0,43 \pm 0,43	0	0,07 \pm 0,06
	gebr	30	24 \pm 4	0,37 \pm 0,04	0,12 \pm 0,07	0,12 \pm 0,10	0,05 \pm 0,05	0	0
	gebr	35	15 \pm 3	0,26 \pm 0,04	0,12 \pm 0,04	0,27 \pm 0,26	0	0	0
	gebr	40	15 \pm 3	0,25 \pm 0,05	0,07 \pm 0,03	0	0	0	0
	gebr	45	10 \pm 2	0,17 \pm 0,02	0,10 \pm 0,07	0,17 \pm 0,17	0	0	0
	gebr	50	10 \pm 2	0,16 \pm 0,03	0,15 \pm 0,07	0,15 \pm 0,13	0	0	0
	entst	5	162 \pm 34	1,53 \pm 0,27	0,25 \pm 0,11	0,01 \pm 0,01	0	0	0,03 \pm 0,03
	entst	10	112 \pm 21	1,07 \pm 0,16	0,28 \pm 0,08	0,84 \pm 0,31	0,35 \pm 0,35	0	0,13 \pm 0,09
	entst	15	74 \pm 10	0,71 \pm 0,08	0,24 \pm 0,11	0,20 \pm 0,12	0	0,85 \pm 0,85	0,43 \pm 0,21
	entst	20	50 \pm 5	0,49 \pm 0,04	0,16 \pm 0,08	0,05 \pm 0,05	0	0	0
	entst	25	34 \pm 5	0,34 \pm 0,05	0,16 \pm 0,08	0	0,39 \pm 0,39	0	0
	entst	30	49 \pm 13	0,49 \pm 0,14	0,14 \pm 0,05	0,10 \pm 0,08	0	0	0
	entst	35	35 \pm 4	0,32 \pm 0,03	0,06 \pm 0,05	0	0	0	0
	entst	40	30 \pm 5	0,28 \pm 0,04	0,06 \pm 0,05	0,11 \pm 0,11	0	0	0
	entst	45	26 \pm 6	0,24 \pm 0,05	0,04 \pm 0,02	0	0	0	0,01 \pm 0,01
	entst	50	20 \pm 3	0,18 \pm 0,02	0	0	0	0	0,01 \pm 0,01

Fortsetzung Tabelle 56:

Exp	Ernte	Tiefe [cm]	WLD		WMD				tot
			<1 mm [mm*cm ⁻³]	<1 mm	1-2 mm	2-5 mm	5-10 mm	<10 mm	
	P,E	5	146 ±36	1,22 ±0,29	0,02 ±0,01	0,22 ±0,17	0	0	0,18 ±0,08
	P,E	10	64 ±14	0,57 ±0,11	0,14 ±0,09	0	0	0,62 ±0,62	0,12 ±0,09
	P,E	15	51 ±14	0,41 ±0,10	0,10 ±0,04	0,21 ±0,18	0,04 ±0,04	2,06 ±2,06	0,02 ±0,01
	P,E	20	50 ±11	0,42 ±0,08	0,05 ±0,03	0,49 ±0,49	0,19 ±0,19	0,80 ±0,80	0,01 ±0,01
	P,E	25	31 ±5	0,27 ±0,03	0,04 ±0,02	0	0,09 ±0,09	0	
	P,E	30	28 ±6	0,25 ±0,05	0,03 ±0,02	0	0	0	
	P,E	35	28 ±6	0,19 ±0,04	0,10 ±0,08	0,10 ±0,10	0,25 ±0,25	0	0,03 ±0,02
	P,E	40	27 ±6	0,18 ±0,03	0,07 ±0,03	0,14 ±0,14	0	0	0,13 ±0,10
	P,E	45	21 ±6	0,14 ±0,04	0,02 ±0,01	0,18 ±0,18	0	0	
	P,E	50	18 ±6	0,12 ±0,04	0	0,04 ±0,04	0	0	0,09 ±0,07
	P,E,R	5	136 ±23	1,30 ±0,22	0,02 ±0,01	1,00 ±0,68	0	0	0,22 ±0,20
	P,E,R	10	111 ±25	0,97 ±0,16	0,57 ±0,37	0,15 ±0,08	0	0	0,54 ±0,52
	P,E,R	15	64 ±12	0,74 ±0,13	0,09 ±0,05	0,39 ±0,22	0,27 ±0,25	0	0,07 ±0,06
	P,E,R	20	47 ±7	0,55 ±0,09	0,14 ±0,06	0,54 ±0,29	0	0	0,08 ±0,06
	P,E,R	25	45 ±10	0,49 ±0,11	0,05 ±0,03	0,18 ±0,18	0,16 ±0,16	0	0,24 ±0,23
	P,E,R	30	26 ±4	0,29 ±0,04	0,11 ±0,06	0,05 ±0,05	0	0	0
	P,E,R	35	22 ±4	0,23 ±0,04	0,06 ±0,06	0	0	0	0,02 ±0,01
	P,E,R	40	22 ±6	0,22 ±0,04	0,02 ±0,02	0,02 ±0,01	0	0	0,01 ±0,01
	P,E,R	45	19 ±4	0,19 ±0,03	0,01 ±0,01	0,08 ±0,08	0	0	0,01 ±0,01
	P,E,R	50	14 ±4	0,13 ±0,03	0,03 ±0,02	0,01 ±0,01	0	0	0

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 57: Wurzellängendichte und Wurzelmasseedichte \pm Standardfehler in der Ausgangsvegetation des Exp 4a nach 1 a Regeneration (März 1994 - April 1995), Behandlungen (**gebr**, **entst**, **P,E**, **P,E,R**), 10 Tiefenstufen, alle Durchmesserklassen.

Exp	Ernte	Tiefe [cm]	WLD			WMD			
			<1 mm [mm*cm ⁻³]	<1 mm	1-2 mm	2-5 mm	5-10 mm	<10 mm	tot
9a	gebr	5	155 \pm 11	2,44 \pm 0,16	0,36 \pm 0,09	0,35 \pm 0,33	0	0	0
	gebr	10	132 \pm 16	2,04 \pm 0,23	0,73 \pm 0,18	0,29 \pm 0,20	1,35 \pm 0,94	0,81 \pm 0,56	0,02 \pm 0,02
	gebr	15	110 \pm 17	1,62 \pm 0,33	0,56 \pm 0,13	0,16 \pm 0,09	0,78 \pm 0,56	1,31 \pm 1,00	0
	gebr	20	73 \pm 9	1,03 \pm 0,10	0,40 \pm 0,14	0,69 \pm 0,41	0,97 \pm 0,68	3,05 \pm 3,05	0,02 \pm 0,02
	gebr	25	56 \pm 8	0,80 \pm 0,12	0,35 \pm 0,11	0,91 \pm 0,66	0,95 \pm 0,66	0	0
	gebr	30	44 \pm 7	0,60 \pm 0,07	0,13 \pm 0,05	0,50 \pm 0,36	0,58 \pm 0,58	0	0
	gebr	35	37 \pm 6	0,55 \pm 0,07	0,38 \pm 0,10	0,37 \pm 0,20	0	0	0
	gebr	40	31 \pm 7	0,48 \pm 0,12	0,24 \pm 0,08	0,11 \pm 0,11	0,37 \pm 0,37	0,24 \pm 0,24	0,03 \pm 0,03
	gebr	45	18 \pm 4	0,28 \pm 0,07	0,10 \pm 0,08	0,35 \pm 0,28	0	0	0
	gebr	50	19 \pm 4	0,29 \pm 0,06	0,14 \pm 0,07	0,10 \pm 0,10	0	0,57 \pm 0,57	0
	entst	5	113 \pm 13	2,04 \pm 0,21	0,25 \pm 0,09	0,15 \pm 0,10	0	0	0
	entst	10	97 \pm 9	1,77 \pm 0,15	0,94 \pm 0,36	0,42 \pm 0,22	0	1,03 \pm 1,00	0
	entst	15	66 \pm 12	1,29 \pm 0,15	0,47 \pm 0,13	0,68 \pm 0,35	0,93 \pm 0,68	0	0
	entst	20	55 \pm 10	1,05 \pm 0,13	0,30 \pm 0,08	0,97 \pm 0,73	0,43 \pm 0,43	0	0,03 \pm 0,03
	entst	25	39 \pm 6	0,77 \pm 0,07	0,30 \pm 0,09	0,56 \pm 0,55	0,29 \pm 0,29	0	0,21 \pm 0,21
	entst	30	32 \pm 6	0,63 \pm 0,09	0,12 \pm 0,06	0,61 \pm 0,30	0	0	0
	entst	35	27 \pm 4	0,51 \pm 0,08	0,21 \pm 0,17	0	0,32 \pm 0,32	0	0,29 \pm 0,29
	entst	40	22 \pm 4	0,43 \pm 0,09	0,07 \pm 0,05	0	0	0	0
	entst	45	20 \pm 4	0,37 \pm 0,07	0,07 \pm 0,03	0,07 \pm 0,07	0	2,83 \pm 2,83	0
	entst	50	19 \pm 3	0,35 \pm 0,05	0,14 \pm 0,05	0,11 \pm 0,11	0,45 \pm 0,45	0	0

Fortsetzung Tabelle 57:

Exp	Ernte	Tiefe [cm]	WLD		WMD				tot
			<1 mm [mm*cm ⁻³]	<1 mm	1-2 mm	2-5 mm	5-10 mm	<10 mm	
	P,E	5	94 ±21	1,06 ±0,16	0,27 ±0,09	0,16 ±0,16	0	0	0,37 ±0,36
	P,E	10	93 ±15	1,08 ±0,14	0,39 ±0,13	0,40 ±0,27	0,88 ±0,85	0,39 ±0,38	0,54 ±0,52
	P,E	15	67 ±11	0,87 ±0,10	0,24 ±0,08	0,22 ±0,16	0	0	0
	P,E	20	78 ±18	0,99 ±0,20	0,18 ±0,06	0,22 ±0,12	0	0	0,49 ±0,48
	P,E	25	47 ±11	0,57 ±0,11	0,24 ±0,08	0,29 ±0,19	0	0	0,22 ±0,21
	P,E	30	47 ±10	0,63 ±0,14	0,24 ±0,09	0,15 ±0,09	0,90 ±0,59	0	0,17 ±0,16
	P,E	35	31 ±8	0,46 ±0,13	0,17 ±0,05	0,07 ±0,07	0	0	0
	P,E	40	37 ±13	0,52 ±0,20	0,25 ±0,09	0,18 ±0,18	1,42 ±0,98	0	0
	P,E	45	21 ±6	0,28 ±0,05	0,18 ±0,05	0,03 ±0,02	0	0	0
	P,E	50	19 ±6	0,25 ±0,06	0,18 ±0,09	0	0	0	0
	P,E,R	5	125 ±15	1,51 ±0,17	0,27 ±0,07	0,27 ±0,16	0,19 ±0,18	0	0
	P,E,R	10	128 ±19	1,51 ±0,19	0,23 ±0,09	0,71 ±0,32	0,25 ±0,15	0	0,08 ±0,05
	P,E,R	15	103 ±16	1,09 ±0,12	0,25 ±0,09	0,06 ±0,04	0	3,86 ±3,74	0,30 ±0,21
	P,E,R	20	79 ±12	0,85 ±0,10	0,13 ±0,04	0,20 ±0,16	2,03 ±1,23	0	0,10 ±0,09
	P,E,R	25	62 ±10	0,67 ±0,09	0,08 ±0,03	0,49 ±0,31	0,53 ±0,51	0	0,56 ±0,37
	P,E,R	30	46 ±8	0,48 ±0,08	0,33 ±0,08	0,04 ±0,04	1,18 ±0,98	0	0,07 ±0,07
	P,E,R	35	44 ±8	0,54 ±0,08	0,16 ±0,08	0,06 ±0,06	0	0	0,41 ±0,40
	P,E,R	40	41 ±8	0,49 ±0,09	0,05 ±0,03	0	0	0	0,09 ±0,09
	P,E,R	45	36 ±7	0,42 ±0,06	0,18 ±0,07	0,39 ±0,31	0,62 ±0,60	0	0
	P,E,R	50	25 ±4	0,31 ±0,05	0,18 ±0,06	0	0	0	0

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 58: Liste der berücksichtigten Baum-, Strauch-, Lianen-, Kraut- und grasförmigen Pflanzen in den Feldexperimenten in Cumarú (Exp 4a) und Curi (Exp 9a). Die Artenliste repräsentiert vollständig den Artenbestand der holzigen Vegetation in den Feldexperimenten. Verändert nach BAAR (1997).

Artname, z.T. aktualisiert	Familie	Umgangssprachlicher Name	Wuchsform
<i>Abarema cochleata</i> (Willd.) Barneby et Grimes	Mimosaceae	Olho de boneco	Baum
<i>Abarema jupunba</i> (Willd.) Britton et Killip.	Mimosaceae	Ingarana	Baum
<i>Annona montana</i> Macfad.	Annonaceae	Araticú do mato, Envira folha grossa	Baum
<i>Annona paludosa</i> Aubl.	Annonaceae	Envira biriba	Baum
<i>Banara guianensis</i> Aubl.	Flacourtiaceae	Andorinha, Lacre branco	Baum
<i>Batesia floribunda</i> Spr. ex Benth.	Caesalpiniaceae	Acapurana	Baum
<i>Casearia arborea</i> (L. C. Rich.) Urb.; <i>Casearia brasiliensis</i> Eichler	Flacourtiaceae	Tapichauarana	Baum
<i>Cecropia palmata</i> Willd.	Cecropiaceae	Imbaúba, Imbaúba vermelha, Imbaúba branca	Baum
<i>Chrysophyllum auratum</i> Miq.	Sapotaceae	Abiu cutite	Baum
<i>Connarus perrottetii</i> (D. C.) Planch.	Connaraceae	Muirá sacaca	Baum
<i>Cordia exaltata</i> Lam.	Boraginaceae	Freijó, Chapeu de sol	Baum
<i>Cordia nodosa</i> Lam.	Boraginaceae	Crista de galo, Pau de formiga	Baum
<i>Cordia scabrida</i> Mart.	Boraginaceae	Freijozinho	Baum
<i>Croton matourensis</i> Aubl.	Euphorbiaceae	Mavovuia, Maravuvuia	Baum
<i>Dipteryx</i> spec.	Fabaceae	Cumarú (M), Cumarú verdadeiro	Baum
<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Miers.	Lecythidaceae	Mata-matá branco, Sapucaia mirim	Baum
<i>Guarea subsessiliflora</i> C. D. C.	Meliaceae	Jatuaúba, Jituá	Baum
<i>Guatteria poeppigiana</i> Mart.	Annonaceae	Envira preta (da mata, M), Env. folha peluda, Envireira	Baum
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	Caesalpiniaceae	Jutaí, Jutaí-minima, Jutaí do campo	Baum
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Mimosaceae	Ingá vermelho (M), Ingá-xixi	Baum
<i>Inga heterophylla</i> Willd.	Mimosaceae	Ingá xixica	Baum
<i>Inga macrophylla</i> HBK	Mimosaceae	Ingá, Ingá	Baum
<i>Inga nitida</i> Willd.	Mimosaceae	Ingá de flor amarela	Baum
<i>Inga thibaudiana</i> D. C.	Mimosaceae	Ingá, Ingá pintado, Chimbillo	Baum
<i>Lacistema pubescens</i> Mart.	Lacistema/ta/ceae	Caferana	Baum
<i>Lecythis lurida</i> (Miers.) Mori	Lecythidaceae	Jarana	Baum
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	Lecythidaceae	Sapucaia	Baum
<i>Leonia cymosa</i> Mart.	Violaceae	Trapiarana	Baum
<i>Lindackeria paraensis</i> Kuhlmann	Flacourtiaceae	Farinha seca, Lindaqueria	Baum
<i>Mabea angustifolia</i> Benth.	Euphorbiaceae	Taquari (M), Canudo de pito	Baum
<i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) D. C.	Melastomataceae	Tinteiro branco, Lacre branco	Baum
<i>Nectandra cuspidata</i> (Mart. ex Nees) Nees	Lauraceae	Louro preto, Louro tamanco	Baum
<i>Nectandra</i> spec.	Lauraceae		Baum
<i>Ocotea glomerata</i> (Nees) Benth. et Hook	Lauraceae	Louro branco, Louro, Caneleira	Baum
<i>Ocotea</i> spec.1	Lauraceae		Baum
<i>Ocotea</i> spec.2	Lauraceae		Baum
<i>Poecilanthus effusus</i> (Huber) Ducke	Fabaceae	Pau amarelo, Gema de ovo	Baum
<i>Pseudima frutescens</i> (Aubl.) Radlk.	Sapindaceae	Pitambarana, Pitomba da mata, Fruta de anel	Baum
<i>Radlkoferella</i> spec.	Sapotaceae	Abiurana	Baum
<i>Richardella macrophylla</i> Pierre	Sapotaceae		Baum
<i>Rollinia exsucca</i> (D. C. ex Dunal) A. D. C.	Annonaceae	Envira, Envira bobó	Baum
<i>Saccoglottis guianensis</i> var. <i>guianensis</i> Benth.	Humiridaceae	Uchirana, Macucu murici	Baum
<i>Sapium lanceolatum</i> (M. Arg.) Hub.	Euphorbiaceae	Murupita branca (M), Murupita	Baum
<i>Sapium</i> spec.1	Euphorbiaceae	Burra leiteira	Baum

Fortsetzung 1 von Tabelle 58:

Artname, z.T. aktualisiert	Familie	Umgangssprachlicher Name	Wuchsform
<i>Sapium spec.</i> 2	Euphorbiaceae	Burra leiteira	Baum
<i>Simaba cedron</i> (Planch.) Baill.	Simaroubaceae	Pau para tudo	Baum
<i>Simaba guianensis</i> Aubl.	Simaroubaceae		Baum
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	Monimiaceae	Capitiu	Baum
<i>Swartzia arborescens</i> (Aubl.) Pittier.	Fabaceae	Pacapiá	Baum
<i>Swartzia c.f. laurifolia</i> Benth.	Fabaceae		Baum
<i>Swartzia spec</i>	Fabaceae		Baum
<i>Swartzia spec</i>	Fabaceae		Baum
<i>Tabernaemontana spec.</i>	Apocynaceae		Baum
<i>Talisia longifolia</i> (Benth.) Radlk.	Sapindaceae	Pitomba, Espeturana	Baum
<i>Talisia retusa</i> Cowan	Sapindaceae	Pitomba	Baum
<i>Talisia spec.</i>	Sapindaceae		Baum
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae	Tapiririca, Fruta de pombo, Pau-pombo	Baum
<i>Tapura amazonica</i> Poepp. et Endl.	Dichapetalaceae	Mão de gato, Pau de bicho, Manguito	Baum
<i>Thyrsodium paraense</i> Hub.	Anacardiaceae	Taquarirana, Amaparana	Baum
<i>Virola calophylla</i> Spr. ex Warb.	Myristicaceae	Ucuúba	Baum
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	Myristicaceae	Ucuúba peluda, Ucuúba folha peluda, Gordura de virola	Baum
<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy	Guttiferae	Lacre (M), Caopiá	Baum
<i>Vitex triflora</i> Vahl	Verbenaceae	Tarumã (M)	Baum
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Rutaceae	Tamanqueira, Limaozinho	Baum
<i>Alibertia myrciifolia</i> K. Schum.	Rubiaceae	Purui preto, Marmelada de cachorro	Strauch
<i>Bauhinia macrostachya</i> var. <i>tenuifolia</i> Ducke	Caesalpiniaceae	Bauhinia pau, Pé de boi	Strauch
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G. F. W. Mey.; <i>Spermacoce verticillata</i> L.	Rubiaceae	Vassoura de botao, Vassourinha de botão	Strauch
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) H. B. K.	Malpighiaceae	Muruci, Muruci do campo	Strauch
<i>Campomanesia c.f. grandiflora</i> (Aubl.) Sagot	Myrtaceae		Strauch
<i>Casearia grandiflora</i> Camb.	Flacourtiaceae	Olho de Pombo, Cascaria	Strauch
<i>Casearia javitensis</i> H. B. K.	Flacourtiaceae	Camaã	Strauch
<i>Casearia spec.</i>	Flacourtiaceae	Mata calado	Strauch
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Flacourtiaceae	Guaçatunga	Strauch
<i>Clarisia ilicifolia</i> (Spreng.) Lanj. et Rossb.	Moraceae		Strauch
<i>Clidemia hirta</i> (L.) Don.	Melastomataceae	Catinga, Pixirica	Strauch
<i>Coccoloba spec.</i>	Polygonaceae		Strauch
<i>Cordia multispicata</i> Cham.	Boraginaceae	Carú-caá	Strauch
<i>Cupania c.f. scrobiculata</i> L. C. Rich.	Sapindaceae		Strauch
<i>Cupania diphylla</i> Vahl	Sapindaceae		Strauch
<i>Erythroxylum leptoneurum</i> O. E. Schulz	Erythroxylaceae		Strauch
<i>Eugenia biflora</i> (L.) D. C.	Myrtaceae	Macucu	Strauch
<i>Eugenia c.f. albicans</i> (Berg.) Urb.	Myrtaceae		Strauch
<i>Eugenia c.f. cupulata</i> Amsh.	Myrtaceae		Strauch
<i>Eugenia flavescens</i> D. C.	Myrtaceae	Cascudinho, Itapeua	Strauch
<i>Eugenia patrisii</i> Vahl	Myrtaceae	Pitomba do mato, Pitomba	Strauch
<i>Eugenia puniceifolia</i> (H. B. K.) D. C.	Myrtaceae		Strauch
<i>Eugenia spec.</i>	Myrtaceae		Strauch
<i>Eupatorium odoratum</i>	Asteraceae		Strauch
<i>Gustavia augusta</i> L.	Lecythidaceae	Geniprana, Janiparandiba	Strauch
<i>Heisteria densifrons</i> Engler	Olaceae		Strauch
<i>Heliconia psittacorum</i> L. F.	Strelitziaceae	Bananeirinha, Bico de tucano, Pacová-catinga	Strauch
<i>Inga flagelliformis</i> (Vell.) Mart.	Mimosaceae	Ingá com estipula	Strauch

Fortsetzung 2 von Tabelle 58:

Artnome, z.T. aktualisiert	Familie	Umgangssprachlicher Name	Wuchsform
<i>Lacunaria spec.</i>	Quiinaceae	Papo de mutum, Lacunária	Strauch
<i>Miconia alata</i> (Aubl.) D. C.	Melastomataceae	Buxixu	Strauch
<i>Miconia ciliata</i> (L. C. Rich.) D. C.	Melastomataceae	Açairana, Sapatarinha	Strauch
<i>Miconia eriodonta</i> var. <i>oblongifolia</i> D. C. var. D. C.	Melastomataceae	Tinteiro	Strauch
<i>Myrcia acuminata</i> D. C.	Myrtaceae		Strauch
<i>Myrcia bracteata</i> (L. C. Rich.) D. C.	Myrtaceae	Murta, Murta peluda	Strauch
<i>Myrcia cuprea</i> (Berg.) Kiaerk.	Myrtaceae	Folha dourada	Strauch
<i>Myrcia deflexa</i> (Poir.) D. C.	Myrtaceae	Murta grande	Strauch
<i>Myrcia sylvatica</i> (G. F. W. Meyer) D. C.	Myrtaceae	Murtinha	Strauch
<i>Myrciaria floribunda</i> (West. ex Willd.) Berg	Myrtaceae	Goiabinha	Strauch
<i>Myrciaria tenella</i> (D. C.) Berg	Myrtaceae	Cambuim, Cambuhy preto	Strauch
<i>Neea</i> c.f. <i>oppositifolia</i> Ruiz et Pav.	Nyctaginaceae	Joao mole	Strauch
<i>Ouratea</i> c.f. <i>paraensis</i> Hub.	Ochnaceae		Strauch
<i>Ouratea spec.</i>	Ochnaceae		Strauch
<i>Pavonia malacophylla</i> Britton.	Malvaceae	Malva	Strauch
<i>Posoqueira latifolia</i> (Rudge) Roem. et Schult.	Rubiaceae	Açucena do mato, Folha dura	Strauch
<i>Quiina spec.</i>	Quiinaceae		Strauch
<i>Rolandra argentea</i> Rottb.	Asteraceae	Barba de barata (M), Perpétua do campo	Strauch
<i>Selaginella stellata</i> Spring.	Sellaginellaceae	Samambaia (M)	Strauch
<i>Solanum caavurana</i> Vell.	Solanaceae	Mucuracaá-rana, Caavaruna	Strauch
<i>Solanum crinitum</i> Lam.	Solanaceae	Jurubeba (M), Fruta de lobo	Strauch
<i>Solanum juripeba</i> Rich.	Solanaceae	Juúna, Jurubebinha	Strauch
<i>Solanum rugosum</i> Dunal	Solanaceae	Cajuçara, Cega-cavalo, Amor de cunhã	Strauch
<i>Solanum stramonifolium</i> Jacq.	Solanaceae	Joá, Jiló do diabo	Strauch
<i>Solanum subinerme</i> Jacq.	Solanaceae	Juúna preta	Strauch
<i>Stachytarpheta cayennensis</i> (L. C. Rich.) Vahl; <i>Stachytarpheta cajanensis</i> Vahl	Verbenaceae	Malva rinchão, Rinchão, Gervão roxo	Strauch
<i>Tabernaemontana angulata</i> Mart.	Apocynaceae	Jasmim brabo, Careté	Strauch
<i>Tabernaemontana</i> c.f. <i>laeta</i> M. Arg.	Apocynaceae	Grão de porco, Café do mato	Strauch
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Ulmaceae	Atadijo, Cupiúba, Chumbinho, Crindiúva	Strauch
<i>Triumfetta althaeoides</i> Lam.	Tiliaceae	Malva-rana, Malva-preta-comprida	Strauch
<i>Wulffia baccata</i> (L. F.) O. Kuntze	Asteraceae	Camará	Strauch
<i>Aegiphila racemosa</i> Vell.;	Verbenaceae		Liane
<i>Aegiphila cuspidata</i> Mart. ex DC.			
<i>Aristolochia</i> c.f. <i>pilosa</i> H. B. K.	Aristolochiaceae	Timbó-y, Jarrinha pilosa	Liane
<i>Arrabidaea spec.</i>	Bignoniaceae		Liane
<i>Bauhinia coronata</i> Benth.	Caesalpiniaceae	Escada de jabutí (M)	Liane
<i>Bauhinia guianensis</i> Aubl.	Caesalpiniaceae	Liane de escada	Liane
<i>Bernardinia fluminensis</i> var. <i>villosa</i> (Gardner) Planch.	Connaraceae		Liane
<i>Cassia chrysoarpa</i> Desv.; <i>Senna chrysoarpa</i> (Desv.) H. S. Irwin & Barneby	Caesalpiniaceae	Lianeó amado, Fedegoso	Liane
<i>Combretum rotundifolium</i> L. C. Rich.	Combretaceae	Escova de macaco	Liane
<i>Dalbergia spec.</i>	Fabaceae	Verônica, Veronicarana	Liane
<i>Davilla kunthii</i> St. Hil.	Dilleniaceae	Lianeó de fogo (M)	Liane
<i>Davilla rugosa</i> Poir.	Dilleniaceae	Lianeó de fogo (M), Lianeó caboclo	Liane
<i>Derris spruceanus</i> Benth.	Fabaceae	Facheiro, Timbó	Liane

Fortsetzung 3 von Tabelle 58:

Artnamen, z.T. aktualisiert	Familie	Umgangssprachlicher Name	Wuchsform
<i>Dichapetalum pendunculatum</i> (D. C.) Baill.	Dichapetalaceae		Liane
<i>Dichapetalum rugosum</i> (Vahl) Prance	Dichapetalaceae		Liane
<i>Dioclea virgata</i> (Rich.) Amshoff.	Fabaceae	Catinga de macaco	Liane
<i>Dolioscarpus brevipedicellatus</i> Garcke	Dilleniaceae	Lianeó d'água	Liane
<i>Forsteronia spec1.</i>	Apocynaceae		Liane
<i>Forsteronia spec2.</i>	Apocynaceae		Liane
<i>Forsteronia spec3.</i>	Apocynaceae		Liane
<i>Gnetum urens</i> (Aubl.) Blume	Gnetaceae	Ituá mirim	Liane
<i>Gouania cornifolia</i> Reiss.	Rhamnaceae		Liane
<i>Gouania spec1.</i>	Rhamnaceae		Liane
<i>Gouania spec2.</i>	Rhamnaceae		Liane
<i>Machaerium c.f. froesii</i> Rudd.	Fabaceae		Liane
<i>Machaerium quinata</i> (Aubl.) Sandw.	Fabaceae	Timbó bravo	Liane
<i>Machaerium spec.</i>	Fabaceae		Liane
<i>Maripa reticulata</i> Ducke	Convolvulaceae	Lianeó braza	Liane
<i>Maripa spec.</i>	Convolvulaceae	Lianeó braza	Liane
<i>Memora allamandiflora</i> Bur. et K. Schum.; <i>Bignonia allamandaeflora</i> Benth. ex Miers	Bignoniaceae		Liane
<i>Memora c.f. consanguinea</i> Bur. et K. Schum.; <i>Spathodea consanguinea</i> Klotzsch	Bignoniaceae	Lianeó de canoa	Liane
<i>Memora flavida</i> (D. C.) Bur. et Schum.	Bignoniaceae	Chico bugi	Liane
<i>Memora magnifica</i> (Mart. ex D. C.) Bur.; <i>Adenocalymna magnificum</i> Mart. ex DC.	Bignoniaceae	Lianeó caáraçaca	Liane
<i>Merremia macrocalyx</i> (Ruiz et Pavon) Donell; <i>Ipomoea glabra</i> Choisy	Convolvulaceae		Liane
<i>Micropholis spec.</i>	Sapotaceae		Liane
<i>Mikania psyllostachya</i> D. C.	Asteraceae		Liane
<i>Moutabea guianensis</i> Aubl. ex Char.	Polygalaceae	Gogó de guariba, Fruta de guariba	Liane
<i>Passiflora aroujoii</i> Sacco.	Passifloraceae	Maracujá do mato (M)	Liane
<i>Passiflora nitida</i> H. B. K.	Passifloraceae	Maracujá, Maracujá de cheiro	Liane
<i>Prionostemma spec.</i>	Hippocrateaceae		Liane
<i>Rourea c.f. doniana</i> Baker	Connaraceae		Liane
<i>Rourea c.f. ligulata</i> Baker	Connaraceae		Liane
<i>Rourea pubescens var. spadicea</i> (D. C.) Radlk.	Connaraceae		Liane
<i>Sabicea aspera</i> Aubl.	Rubiaceae		Liane
<i>Sabicea spec.</i>	Rubiaceae		Liane
<i>Securidaca c.f. bialata</i> Benth.	Polygalaceae		Liane
<i>Serjania paucidentata</i> D. C.	Sapindaceae	Guaranarana, Icutã	Liane
<i>Smilax aequatorialis</i> D. C.	Smilacaceae	Japecanga (M)	Liane
<i>Smilax c.f. salicifolia</i> Griseb.	Smilacaceae		Liane
<i>Smilax spec.</i>	Smilacaceae		Liane
<i>Stigmaphyllon martianum</i> Adr. Juss ex Char.	Malpighiaceae		Liane
<i>Stizophyllum riparium</i> (H. B. K.) Sandw.	Bignoniaceae	Lianeó taquari	Liane
<i>Strychnos parvifolia</i> D. C.	Loganiaceae	Capitão	Liane
<i>Strychnos spec.1</i>	Loganiaceae		Liane
<i>Strychnos spec.2</i>	Loganiaceae		Liane

Fortsetzung 4 von Tabelle 58:

Artnamen, z.T. aktualisiert	Familie	Umgangssprachlicher Name	Wuchsform
<i>Tetracera parviflora</i> (Rusby) Sleumer	Dilleniaceae		Liane
<i>Tetracera willdenowiana</i> Steud. ssp. <i>willdenowiana</i> Kub.	Dilleniaceae	Lianeó de água	Liane
<i>Astrocaryum mumbaca</i> Mart.	Arecaceae	Mumbaca (M)	Palme
<i>Astrocaryum tucuma</i> Mart.	Arecaceae	Tucumã (M)	Palme
<i>Desmoncus polyacanthos</i> Mart.	Arecaceae	Jacitára (M)	Palme
<i>Maximiliana maripa</i> (Corr. Serr.) Drud.	Arecaceae	Jupatí, Inajá, Maripá	Palme
<i>Amasonia campestris</i> (Aubl.) Moldenke	Verbenaceae	Mendoca, Rabo de arara	Krautartig
<i>Borreria latifolia</i> (Aubl.) K. Sch.;	Rubiaceae	Poaia do campo	Krautartig
<i>Spermacoce latifolia</i> Aubl.			
<i>Cephaelis colorata</i> Willd.;	Rubiaceae	Pespeda do mato	Krautartig
<i>Psychotria colorata</i>			
<i>Costus arabicus</i> L.	Zingiberaceae	Canarana	Krautartig
<i>Croton glandulosus</i> L.	Euphorbiaceae		Krautartig
<i>Croton lobatus</i> L.	Euphorbiaceae	Pião-rana	Krautartig
<i>Desmodium canum</i> (Gmel.) Schinz. et Mill.	Fabaceae	Pega-pega	Krautartig
<i>Ischinosiphon puberulus</i> var. <i>puberulus</i> Loes.	Marantaceae	Guarumanzinho	Krautartig
<i>Lantana camara</i> L.	Verbenaceae	Erva chumbinho, Camará, Camará de espinho	Krautartig
<i>Phenakospermum guyannense</i> (L. C. Rich.) Endl. ex Miq.	Strelitziaceae	Sororoca, Pacová-sororoca	Krautartig
<i>Sida</i> c.f. <i>rhombifolia</i> L.	Malvaceae	Malva preta (M), Malva da praia	Krautartig
<i>Sida glomerata</i> Cav.	Malvaceae	Malva peluda	Krautartig
<i>Turnera ulmifolia</i> L.	Turneraceae	Chanaria	Krautartig
<i>Andropogon bicornis</i> (Rich.) Schum.	Poaceae	Rabo de burro, Capim péba	Grasartig
<i>Cyperus luzulae</i> (L.) Retz.	Cyperaceae	Capim de botao	Grasartig
<i>Dichromena ciliata</i>	Cyperaceae	Capim estrela	Grasartig
Vahl; <i>Rhynchospora ciliata</i> Vahl			
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.;	Poaceae	Capim da roça	Grasartig
<i>Panicum sanguinale</i> L.			
<i>Fimbristylis annua</i> Roem. et Schult.; <i>Fimbristylis diphylla</i> Vahl	Cyperaceae		Grasartig
<i>Homolepis aturensis</i> (H. B. K.) Chase.	Poaceae	Pacuã, Capim pacuã	Grasartig
<i>Hyparrhenia rufa</i> (Nees) Stapf.	Poaceae		Grasartig
<i>Imperata brasiliensis</i> Trin.	Poaceae	Sapé, Assapé, Capim sapé	Grasartig
<i>Panicum cayennense</i> Lam.	Poaceae	Capim cayanna	Grasartig
<i>Panicum pilosum</i> Sw.	Poaceae		Grasartig
<i>Pariana campestre</i> Aubl.	Poaceae	Capim taboquinha, Tabocarana	Grasartig
<i>Paspalum maritimum</i> Trin	Poaceae	Capim gengibre	Grasartig
<i>Paspalum melanospermum</i> Desv. ex Poir.	Poaceae		Grasartig
<i>Setaria tenax</i> (L. Rich.) Desv.	Poaceae		Grasartig

Tabelle 59: Wuchsform, Regeneration, unterirdische Organe und spezielle Charateristica verschiedener Arten der Brachevegetation in Feldexperimenten. Daten basierend auf eigenen Untersuchungen, z.T. verändert nach DENICH (1989) und CLAUSING (1994).

v=vegetativ, g=generativ

Art	Wuchsform	Regeneration (v,g)	Wurzelsystem, unterirdische Organe	weitere Beobachtungen
<i>Abarema jupunba</i>	Baum	v	Häufig großvolumiger Wurzelstock mit langen bodennahen Ausläufern. Wurzelholz brüchig	Leguminose, Verbreitung durch Wurzelbrut, einzelne holzige Wurzeläusläufer mit Längen von 25 m beobachtet
<i>Annona montana</i>	Baum	v,g	Pfahlwurzel, sternförmiges, horizontales Sekundärwurzelsystem	
<i>Annona paludosa</i>	Baum	v,g	Pfahlwurzel nicht tiefreichend,	brüchige Horizontalausläufer
<i>Banara guianensis</i>	Baum	v	intensives, bodennahes, horizontales Grobwurzelsystem, kleiner Wurzelstock	weit verbreitet in Brachevegetation, sehr lange Wurzeläusläufer
<i>Bernadinia fluminensis</i>	Baum	v	z.T. tiefreichende Pfahlwurzel	häufig
<i>Casearia grandiflora</i>	Baum	v	Pfahl- u. Horizontalwurzeln	häufig
<i>Casearia javitensis</i>	Baum	v	Pfahl- u. Horizontalwurzeln	häufig
<i>Cassia chrysocarpa</i>	Liane	v	Wurzeläusläufer z.T. oberhalb Bodenoberfläche, Feinwurzelentwicklung an Bodenberührungspunkten	Leguminose
<i>Cecropia palmata</i>	Baum	(v) g		typische Pionierart der Region mit hohem Nährstoffgehalt
<i>Connarus perrottetii</i>	Baum	v	Verdickte wenig tiefreichende Pfahlwurzel, die in 10 - 25 cm Tiefe laterale Seitenwurzel ausbildet	
<i>Cordia multispicata</i>	Baum, Strauch	v,g		häufige Pionierart, nur in jungen Sekundärvegetationen
<i>Costus arabicus</i>	Hochstaude	v	knollige Rhizome	

Fortsetzung Tabelle 59:

Art	Wuchsform	Regeneration (v,g)	Wurzelsystem, unterirdische Organe	weitere Beobachtungen
<i>Davilla rugosa</i>	Liane	v	horizontal	Wurzelausläufer oberhalb Bodenoberfläche
<i>Inga heterophylla</i>	Baum	v	horizontal	häufige Leguminose, Wurzelsprosse stets am Ende eines Ausläufers
<i>Imperata brasiliensis</i>	Gras	v	horizontale Rhizome	teilweise starke Dominanz auf jungen Sukzessionsflächen
<i>Inga macrophylla</i>	Baum	v	horizontale, starke Adventivsprossung	häufige Leguminose
<i>Inga thibaudiana</i>	Baum	v	horizontal	häufige Leguminose, Regeneration vornehmlich aus Adventivsprossen
<i>Lacistema pubescens</i>	Baum, Strauch	v	voluminöser Wurzelstock	weit verbreitet in Brachevegetation, vermehrt sich auch durch Teilung des Wurzelstockes
<i>Lecythis lurida</i>	Baum	v	voluminöse Pfahlwurzel direkt unter Stammbasis, laterale Ausläufer eher kurz (1 m)	ausgeprägter monopodialer Habitus
<i>Lecythis pisonis</i>	Baum	v	voluminöse Pfahlwurzel direkt unter Stammbasis, laterale Ausläufer weitreichend	an einem älteren Exemplar wurden voluminöse Seitenwurzeln noch in 56 m Entfernung vom Stamm gefunden, Art z.T. wegen ihrer Früchte kultiviert
<i>Mabea angustifolia</i>	Baum	v	knollige Pfahlwurzel, kurze Seitenausläufer	hochwachsend
<i>Memora allamandiflora</i>	Baum, Strauch	v	vertikal, stark verholzte Wurzelknolle, tiefreichend	häufig,
<i>Memora flavida</i>	Baum, Strauch	v	vertikal, Wurzelknolle mit hohem parenchymatischem Anteil	häufig, voluminöse Speicherknollen mit hohem Zuckergehalt, enthält keine Stärke
<i>Miconia minutiflora</i>	Strauch	v	Wurzel mit sternförmiger Ausbreitung	Vorkommen in jungen Vegetationen, Pionierart, häufig aus Samen
<i>Miconia ciliata</i>	Strauch	g	kurzer verholzter Seitenwurzeln	

Fortsetzung 2 Tabelle 59:

Art	Wuchsform	Regeneration (v,g)	Wurzelsystem, unterirdische Organe	weitere Beobachtungen
<i>Miconia alata</i>		v,g	z.T. kleinvolumiger Wurzelstock an der Basis	
<i>Myrcia bracteata</i>	Baum, Strauch	v,g	horizontal,	häufig
<i>Myrcia sylvatica</i>	Baum, Strauch	v,g	horizontal	häufig
<i>Myrciaria tenella</i>	Baum, Strauch	v,g	horizontal	intensive Durchwurzelung mit Wurzelausträgen in kurzen Abständen
<i>Nectandra cuspidata</i>	Baum	v	Stockwerkartige, horizontale Wurzelverbreitung	Primärwaldart, auffälliges, oberflächennahes Feinwurzelsystem das sternförmig von der Hauptwurzel kurz unterhalb der Stammbasis ausgeht
<i>Phenakospermum guyannense</i>	Hochstaude	v	Rhizome horizontal	häufig, z.T. domierender Aspekt in einigen Sekundärvegetationen
<i>Rollinia exsucca</i>	Baum	v	mächtige Pfahlwurzel, z.T. tiefreichend, keine lateralen Ausläufer	häufig
<i>Rourea ligulata.</i>	Baum/Strauch	v	vertikal-tiefwurzelnd	häufig
<i>Solanum caavurana</i>	Strauch	g		Vorkommen in jungen Vegetationen
<i>Solanum crinitum</i>	Baum	v,g		Pionierart mit starkem oberirdischen Höhenwachstum
<i>Solanum juripeba</i>	Strauch	g		Vorkommen in jungen Vegetationen
<i>Tabernaemontana angulata</i>	Baum	v	Pfahlwurzel	
<i>Vismia guianensis</i>	Baum	v	horizontal, lange laterale Ausläufer	weit verbreitet in Brachevegetation

Tabelle 60: Trieblänge und Triebdurchmesser aller gemessenen Arten 465 d nach den Flächenbearbeitungen \pm Standardfehler. \leftarrow gekennzeichnete Arten wurden zur Korrelation ober- und unterirdischer Biomasse einbezogen (Abschnitt 9.3).

Art	Exp [a]	Behand- lung	Länge [cm]	Durchmesser [mm]	n
<i>Abarema jupunba</i>	4	gebr	239	30	1
<i>Arrabidea spec.</i> \leftarrow	4	entst	144	15	1
	4	P,E	8 \pm 2	4 \pm 2	2
	9	gebr	192 \pm 3	15 \pm 1	3
	9	entst	142 \pm 8	13 \pm 1	8
	9	P,E	115 \pm 7	10 \pm 1	7
	9	P,E,R	131 \pm 4	11 \pm 2	4
<i>Astrocaryum mumbaca</i>	4	P,E	77	7	1
	4	P,E,R	59	15	1
<i>Astrocaryum tucuma</i>	9	entst	140	29	1
	9	P,E	92	35	1
<i>Banara guianensis</i> \leftarrow	4	gebr	151 \pm 5	18 \pm 4	5
	4	entst	70 \pm 2	9 \pm 4	2
	4	P,E	26	6	1
	4	P,E,R	41 \pm 2	5 \pm 2	2
	9	entst	132	10	1
<i>Bauhinia guianensis</i>	9	gebr	449	35	1
<i>Bernadinia fluminensis</i> \leftarrow	4	gebr	98 \pm 9	10 \pm 1	9
	4	entst	49 \pm 11	9 \pm 1	11
	4	P,E	29 \pm 5	7 \pm 1	5
	4	P,E,R	32 \pm 8	7 \pm 1	8
	9	gebr	204 \pm 10	15 \pm 1	10
	9	entst	144 \pm 9	13 \pm 1	9
	9	P,E	86 \pm 10	10 \pm 1	10
	9	P,E,R	46 \pm 11	7 \pm 1	11
<i>Casearia arborea</i> \leftarrow	4	gebr	181	26	1
	4	entst	130 \pm 3	18 \pm 1	3
	9	gebr	254 \pm 3	27 \pm 2	3
	9	entst	124 \pm 4	15 \pm 2	4
	9	P,E	123 \pm 2	21 \pm 2	2
	9	P,E,R	63 \pm 3	8 \pm 1	3
<i>Cecropia palmata</i> \leftarrow	4	gebr	279 \pm 13	44 \pm 4	13
	4	entst	197 \pm 2	30 \pm 13	2
	4	P,E,R	98 \pm 3	13 \pm 1	3
	9	gebr	391 \pm 2	67 \pm 14	2
	9	entst	224 \pm 3	26 \pm 8	3
	9	P,E	147 \pm 6	17 \pm 2	6
<i>Davilla kunthii</i> \leftarrow	9	P,E,R	160 \pm 9	21 \pm 3	9
	4	gebr	234 \pm 3	12 \pm 2	3
	4	entst	58 \pm 3	8 \pm 2	3
	4	P,E,R	61	11	1
	9	gebr	219 \pm 2	12 \pm 1	2
	9	entst	115	16	1
<i>Davilla rugosa</i> \leftarrow	9	P,E	191 \pm 3	11 \pm 1	3
	9	P,E,R	54	16	1
	4	gebr	128 \pm 11	13 \pm 1	11
	4	entst	99 \pm 10	10 \pm 1	10
	4	P,E	49 \pm 10	6 \pm 1	10
	4	P,E,R	61 \pm 10	9 \pm 1	10

Fortsetzung 1 von Tabelle 60

Art	Exp [a]	Behand- lung	Länge [cm]	Durchmesser [mm]	n
<i>Davilla rugosa</i> ←	9	gebr	220 ±9	13 ±2	9
	9	entst	178 ±7	11 ±2	7
	9	P,E	107 ±8	9 ±1	8
	9	P,E,R	144 ±9	7 ±1	9
<i>Dichapetalum rugosum</i> ←	4	gebr	93 ±3	13 ±2	3
	4	entst	42 ±2	6 ±2	2
	4	P,E	10	2	1
	4	P,E,R	81 ±2	10 ±1	2
	9	gebr	103 ±4	9 ±1	4
	9	entst	97 ±4	10 ±3	4
	9	P,E	151 ±3	9 >1	3
	9	P,E,R	64 ±4	11 ±2	4
	<i>Inga macrophylla</i>	4	gebr	194	33
4		entst	61	12	1
9		P,E,R	118	22	1
<i>Lacistema pubescens</i> ←	4	gebr	136 ±12	16 ±1	12
	4	entst	82 ±10	11 ±2	10
	4	P,E	40 ±9	7 ±1	9
	4	P,E,R	41 ±9	5 ±1	9
	9	gebr	179 ±8	18 ±1	8
	9	entst	116 ±10	12 ±1	10
	9	P,E	76 ±9	8 ±2	9
	9	P,E,R	113 ±4	12 ±5	4
	<i>Lecythis lurida</i> ←	4	entst	159 ±4	22 ±5
4		P,E	224	28	1
4		P,E,R	157 ±3	18 ±4	3
9		gebr	252	23	1
9		entst	127	11	1
9		P,E	240 ±3	23 ±1	3
<i>Memora allamandiflora</i> ←	4	entst	63 ±2	9 ±1	2
	4	P,E	8 ±1	3 >1	1
	9	gebr	219 ±6	19 ±3	6
	9	entst	181 ±8	14 ±2	8
	9	P,E	186 ±9	15 ±3	8
	9	P,E,R	212 ±10	13 ±2	10
<i>Memora flavida</i> ←	4	gebr	92 ±7	13 ±2	7
	4	entst	50 ±8	10 ±1	8
	4	P,E	35 ±10	8 ±1	10
	4	P,E,R	61 ±6	13 ±2	6
	9	gebr	109 ±2	16 ±1	2
	9	entst	102 ±2	13 ±2	2
	9	P,E	32	7	1
	9	P,E,R	144 ±4	14 ±2	4
	<i>Myrcia bracteata</i> ←	4	gebr	103 ±12	11 ±1
4		entst	88 ±12	9 ±1	12
4		P,E	87 ±6	10 ±1	6
4		P,E,R	75 ±8	9 ±1	8
9		gebr	144 ±10	12 ±1	10
9		entst	96 ±10	8 ±1	9

Fortsetzung 2 von Tabelle 60

Art	Exp [a]	Behand- lung	Länge [cm]	Durchmesser [mm]	n
	9	P,E	129 ±5	14 ±1	5
	9	P,E,R	56 ±7	7 ±2	7
<i>Ocotea longifolia</i>	4	gebr	119	22	1
	4	entst	83 ±5	15 ±3	5
	4	P,E	91	16	1
	9	gebr	90	10	1
<i>Phenakospermum</i> ← <i>guyanense</i>	4	gebr	128 ±12	27 ±2	12
	4	entst	93 ±10	16 ±1	10
	4	P,E	42 ±8	10 ±1	8
	4	P,E,R	68 ±9	14 ±1	9
	9	gebr	172 ±9	35 ±5	9
	9	entst	106 ±6	15 ±1	6
	9	P,E	101 ±4	16 ±1	4
	9	P,E,R	79 ±6	13 ±2	6
<i>Richardella macrophylla</i>	9	gebr	253 ±4	26 ±4	4
	9	entst	148 ±4	17 ±2	4
	9	P,E	162 ±3	19 ±3	3
<i>Rollinia exsucca</i> ←	4	gebr	192 ±12	24 ±2	12
	4	entst	98 ±7	13 ±3	7
	4	P,E	59 ±10	8 ±1	10
	4	P,E,R	74 ±8	9 ±1	8
	9	gebr	242 ±12	32 ±3	12
	9	entst	111 ±5	12 ±1	5
	9	P,E	76 ±7	9 ±1	7
	9	P,E,R	74 ±12	10 ±1	12
<i>Rourea ligulata</i> cf.	4	P,E,R	70	8	1
<i>Solanum crinitum</i> ←	4	gebr	152 ±4	25 ±6	4
	4	entst	77 ±9	14 ±2	9
	4	P,E	69 ±10	14 ±4	10
	4	P,E,R	172 ±6	28 ±8	6
	9	gebr	299 ±10	36 ±3	10
	9	entst	189 ±8	24 ±4	8
	9	P,E	212 ±12	29 ±3	12
	9	P,E,R	220 ±12	28 ±1	12
<i>Vismia guianensis</i> ←	4	gebr	146 ±11	15 ±1	11
	4	entst	124 ±10	17 ±2	10
	4	P,E	77 ±10	10 ±1	10
	4	P,E,R	90 ±11	12 ±1	11
	9	gebr	229 ±12	18 ±2	12
	9	entst	162 ±9	19 ±2	9
	9	P,E	154 ±12	16 ±1	12
	9	P,E,R	153 ±11	15 ±1	10

manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 61: Deckungsgrad zum Versuchsende nach 465 d Wachstum in Ausgangsvegetation und Behandlungen in Exp 4a.

Behandl.	Block	Deckungsgrad %			Dominierende, zumeist holzige
		ings.	Gras	Kraut	Arten der Capoeira
Cap	1	100	<1	<1	<i>Lacistema pubescens</i> 40 %
	2	100	<1	<1	<i>Ocotea longifolia</i> 30 %, <i>Phenakospermum guyannense</i> 20 %, <i>L. pubescens</i> 20 %
	3	100	<5	1-2	<i>L. pubescens</i> 10 %, <i>V. guianensis</i> 10 %, <i>Phenakospermum guyannense</i> 10 %
	4	100	<1	5-10	<i>Abarema jupunba</i> 40 %, <i>Myrcia bracteata</i> 10 %, <i>M. sylvatica</i> 10 %, <i>Cecropia palmata</i> 10 %, <i>Lecythis lurida</i> 5 %
gebr	1	90-100	<10	<1	<i>L. pubescens</i> 50 %
	2	90	10	5-10	<i>L. pubescens</i> 10 %, <i>V. guianensis</i> 10 %, <i>P. guyannense</i> 30 %, <i>Banara guianensis</i> 10 %
	3		30	<5	
	4	80	<10	1-2	<i>L. pubescens</i> 20 %, <i>A. jupumba</i> 10 %, <i>Chrysophyllum auratium</i> 10 %, <i>Doliocarpus brevepedecilatus</i> 10 %
entst	1	90	50	<5	<i>L. pubescens</i> 10 %, <i>V. guianensis</i> 5 %
	2	70	20	1-2	<i>L. pubescens</i> 20 %, <i>V. guianensis</i> 30 %
	3	90	70	1-2	<i>P. guyannense</i> 5 %
	4	70	20	5-10	<i>Solanum caavorana</i> 10 %
P,E	1	50	40-50	<5	keine holzigen, <i>P. guyannense</i> 5 %
	2	40	35	<5	<i>L. pubescens</i> 10 %
	3	40	35	<1	<i>D. brevepedecilatus</i> + <i>L. pubescens</i> <5 %
	4	40	30	10	holzige ± 0 %
P,E,R	1	50	30	<5	<i>D. rugosa</i> 10 %
	2	60	40	<5	<i>V. guianensis</i> 10 %
	3	50	40	1-2	<i>V. guianensis</i> 5 %
	4	50	40	<5	holzige ± 5 %

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 62: Deckungsgrad zum Versuchsende nach 465 d Wachstum in Ausgangsvegetation und Behandlungen in Exp 9a.

Behandl.	Block	Deckungsgrad %			Dominierende, zumeist holzige Arten der Capoeira
		ings.	Gras	Kraut	
Cap	1	100	<1	20	<i>Eugenia biflora</i> 20 %, <i>Vismia guianensis</i> 20 %, <i>Ocotea glomerata</i> 20 %, <i>Davila rugosa</i> 10 %
	2	100	<1	10	<i>V. guianensis</i> 20 %, <i>Casearia spec.</i> 20 %, <i>Myrciaria floribunda</i> 5 %
	3	100	<1	<5	<i>V. guianensis</i> 20 %, <i>Richardella macrophylla</i> 5 %, <i>Myrcia bracteata</i> 5 %
	4	100	<1	<1	<i>V. guianensis</i> 30 %, <i>O. glomerata</i> 5 %, <i>Eugenia biflora</i> 5 %, <i>D. rugosa</i> 5 %
gebr	1	100	<5	<5	<i>Astrocaryum tucuma</i> 10 %, <i>Pavonia malacophylla</i> 30 %, <i>Lacistema pubescens</i> 5 %, <i>Wullfia baccata</i> 2%
	2	100	<5	1-2	<i>V. guianensis</i> 20 %, <i>P. malacophylla</i> 20 %, <i>L. pubescens</i> 10 %, <i>M. bracteata</i> 5 %, <i>W. baccata</i> 5 %
	3	100	<1	<1	<i>Solanum crinitum</i> 20 %, <i>V. guianensis</i> 20 %, <i>A. mumbaca</i> 5 %, <i>Maximiliana rorippa</i> 5 %
	4	100	<2	1-2	<i>V. guianensis</i> 70 %, <i>S. crinitum</i> 10 %
entst	1	100	<5	<5	<i>V. guianensis</i> 60 %, <i>P. malacophylla</i>
	2	80	<5	<5	<i>V. guianensis</i> 60 %
	3	90	10	<5	<i>V. guianensis</i> 70 %, <i>S. crinitum</i> 10 %
	4	80	10	1-2	<i>P. malacophylla</i> 10 %, <i>V. guianensis</i> 10 %, <i>S. crinitum</i> 5 %, <i>D. rugosa</i> 5 %
P,E	1	60	20	10	<i>S. crinitum</i> 10 %
	2	50	10	5	<i>P. malacophylla</i> 10 %, <i>S. crinitum</i> 5 % <i>V. guianensis</i> 5 %
	3	60	20	<5	<i>S. crinitum</i> 20 %, <i>V. guianensis</i> 20 %
	4	70	30	<5	<i>P. malacophylla</i> 20 %, <i>S. crinitum</i> 10 %
P,E,R	1	80	50	10	<i>P. malacophylla</i> 10 %, <i>W. baccata</i> 5 %
	2	90	30	<5	<i>V. guianensis</i> 60 %
	3	60	10	<5	<i>P. malacophylla</i> . 10 %, <i>V. guianensis</i> 10 %, <i>S. crinitum</i> 5 %
	4	70	10	<5	<i>V. guianensis</i> 40 %, <i>S. crinitum</i> 10 %

unbehandelte Sekundärvegetation (**Cap**), manuelle Brandrodung (**gebr**), manuelle Entstockung (**entst**), maschinelle Bearbeitung mit Pflug, Egge (**P,E**) und Schneidwalze (**P,E,R**)

Tabelle 63: Anzahl und Masse neuer Knospen und Triebe sowie neu entwickelter Adventivwurzeln an Wurzelteilstücken verschiedener Längenklassen im Freilandbeet, Regenerationsdauer 3 Monate, [⊕] Massenbestimmung erfolgte nur sofern produzierte Masse $\geq 0,01$ g.

	Längenbereich [cm]	Triebe und Knospen		Masse Triebe		Masse Adventivwurzeln [⊕]	
		Anzahl	Wurzelstücke	[g]	[n] Wurzelstücke	[g]	[n] Wurzelstücke
<i>Banara guianensis</i>	≤10	0,8	27	0,03	8	-	-
	10-30	1,1	37	0,12	14	0,16	5
	30-50	2,8	10	0,24	6	-	-
	50-100	3,7	12	1,72	8	0,31	5
	100-150	5,0	3	0,89	1	-	-
	150-200	2,3	3	1,77	2	-	-
	>200	13,0	1	1,90	1	0,12	1
<i>Lacistema pubescens</i>	≤10	0,2	13	0,12	8	-	-
	10-30	2,4	17	1,49	13	-	-
	30-50	11,0	10	1,22	6	-	-
	50-100	11,8	6	1,84	6	-	-
	100-150	15,0	1	0,16	1	-	-
	150-200	-	-	-	-	-	-
	>200	-	-	-	-	-	-
<i>Vismia guianensis</i>	≤10	1,9	24	0,08	12	-	-
	10-30	3,7	31	0,10	27	-	-
	30-50	6,5	13	0,17	13	0,01	3
	50-100	15,1	17	0,56	17	-	-
	100-150	40,3	3	2,63	3	-	-
	150-200	11,0	2	0,38	2	-	-
	>200	83,0	1	4,10	1	-	-
<i>Abarema jupunba</i>	≤10	0	4	0	4	-	-
	10-30	-	-	-	-	-	-
	30-50	2,8	6	3,88	6	-	-
	50-100	0,2	6	0,14	6	-	-
	100-150	5,0	2	7,05	2	-	-
	150-200	-	-	-	-	-	-
	>200	-	-	-	-	-	-

Fortsetzung von Tabelle 63:

	Triebe und Knospen			Masse Triebe		Masse Adventivwurzeln [⊕]	
	Längenbereich [cm]	Anzahl	Wurzelstücke	[g]	[n] Wurzelstücke	[g]	[n] Wurzelstücke
<i>Inga</i>	<10	0	5	-	-	-	-
<i>heterophylla</i>	10-30	0,1	17	0,05	1	-	-
	30-50	0,7	10	0,12	4	-	-
	50-100	2,1	11	3,87	7	-	-
	100-150	2,0	7	2,18	6	-	-
	150-200	0	1	-	-	-	-
	>200	-	-	-	-	-	-
<i>Inga</i>	<10	0	7	-	-	-	-
<i>macrophylla</i>	10-30	0	3	0	2	-	-
	30-50	0,9	11	1,56	7	-	-
	50-100	1,3	9	1,12	4	-	-
	100-150	0,2	5	1,9	3	-	-
	150-200	1,5	2	1,6	2	-	-
	>200	-	-	-	-	-	-

Danksagung

Zur Verwirklichung dieser Arbeit haben durch ihre fachliche, logistische, finanzielle und nicht zuletzt moralische Hilfestellung viele Personen beigetragen.

Bei Herrn Prof. Dr. Vlek bedanke ich mich für die freundliche Überlassung des Themas, seine fachliche Hilfe und Diskussionsbereitschaft sowie für die finanzielle Unterstützung, die besonders in der heißen Endphase der Fertigstellung der Dissertation so wichtig war.

Für die persönliche Betreuung und die logistische Hilfestellung bei der Arbeit in Brasilien möchte ich Herrn Dr. Manfred Denich und Herrn Dr. Milton Kanashiro meinen persönlichen Dank ausdrücken.

Für die fachlich fundierten Diskussionen und die Ausdauer beim Korrekturlesen der Arbeit gilt mein Dank Prof. Dr. Vlek, Dr. Manfred Denich, Silvio Brienza Jr. und Christoph Gehring. Sehr wertvoll war die Hilfestellung von Dr. Ronald Kühne, der die leidvolle Aufgabe der Korrektur der 'first final version' der Arbeit übernahm und mir bei der statistischen Auswertung stets hilfreich zur Seite stand. Für die "Feuerwehrarbeiten" unmittelbar vor der Abgabe der Dissertation danke ich Verena Leowald.

Ein dickes Dankeschön möchte ich auch an die Adresse der zahlreichen brasilianischen Helfer richten, ohne die die Feld- und Laborarbeiten für diese Studie nicht möglich gewesen wären. In diesem Zusammenhang gilt mein besonderer Dank José Carlos Santana, Senhor Manoel dos Reis Cordeiro und der 'turma do Curi'. Obrigado!

Last but not least bedanke ich mich bei meinen Freunden und Bekannten, die mir durch eine warme Sofaecke im Winter, ein geisterfrischendes kühles Bier im Sommer und den freundschaftlichen Rückhalt das moralische 'back up' für die Fertigstellung dieser Arbeit gegeben haben.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Jan Wiesenmüller
geboren am 8. September 1959
in Hildesheim/Niedersachsen
deutsche Staatsbürgerschaft
ledig, keine Kinder

Schulbildung

08/66	Einschulung in Grundschule O III, Hildesheim
08/69	Wechsel zum Gymnasium Himmelsthür, Himmelsthür
06/81	Abiturprüfung

Fachliche Aus- und Weiterbildung

10/82	Beginn des Hochschulstudiums mit dem Diplomstudiengang Chemie an der Philipps-Universität in Marburg
04/83	Beginn des Diplomstudienganges Biologie an der Universität Köln
10/83	Studienortwechsel nach Marburg an die Philipps- Universität
04/85	Vordiplomprüfung
10/85	Studienortwechsel nach Göttingen an die Georg-August-Universität
06/88	mündliche Prüfungen in den Fächern Botanik, tropische Landwirtschaft, organische Chemie
10/88-09/89	Untersuchungen für Diplomarbeit in Bolivien Thema: Untersuchungen zum Wasserhaushalt andiner Nutz- und Wildpflanzen
03/90	Erhalt des Diplomzeugnisses
10/90	Beginn des Aufbaustudienganges der Agrarwissenschaften in den Tropen und Subtropen an der Universität Göttingen
07/91	mündliche Prüfungen in den Fächern Tierernährung-, Landerschließung- und Bodenkunde in den Tropen und Subtropen

12/91-08/92	Untersuchungen für Magisterarbeit in Brasilien, Thema: "Vegetative Regeneration der Sekundärvegetation im System der kleinbäuerlichen Wald-Feld-Wechsel-Wirtschaft in Ostamazonien, Para, Brasilien"
02/93	Beginn der Promotion am Institut für Pflanzenbau und Tierproduktion der Universität Göttingen (IAT)
03/93-08/95	Untersuchungen in Brasilien für Dissertation

Berufstätigkeit

04/87-07/88	Vorbereitung, Mitarbeit und Leitung verschiedener Kurse und Übungen im Geobotanischen Institut der Georg-August-Universität Göttingen
03/91-11/91	Mitarbeit bei verhaltensphysiologischen Studien und statistischer Auswertung im Deutschen Primatenzentrum in Göttingen
01/92-01/03/99	verschiedene Anstellungen als wissenschaftlicher Angestellter und wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Pflanzenbau und Tierproduktion in den Tropen und Subtropen und im Tropenzentrum der Georg-August- Universität, Göttingen