

- SCHEFFER F & SCHACHTSCHABEL P (1992) Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- SCHMIDT SK (1988) Degradation of Juglone by Soil Bacteria. *Journal of Chemical Ecology* 14, 1561
- SILANDER JA, FOX LR & TRENBATH BR (1985) The Ecological Importance of Insect Frass: Allelopathy in Eucalyptus. *Oecologia* 67, 118
- SINGH, J und LAKSHMINARAYANA K (1992) Effect of allelopathic rhizosphere of *Acacia nilotica* on *Rhizobium* cowpea. In: P. Tauro and S.S. Narwal (eds.): Allelopathy in agroecosystems (agriculture and forestry). Proceedings, First National Symposium, February 12-14, 1992 held at CCS Harayana Agricultural University, Hisar-125 004, India. Indian Society of Allelopathy, CCS Harayana Agricultural University, Hisar: 146.
- STOWE LG (1979) Allelopathy and its Influence on the Distribution of Plants in an Illinois Old-Field. *Journal of Ecology* 67, 1065
- VILES AL & REESE RN (1996) Allelopathic Potential of *Echinacea Angustifolia* D.C. *Environmental and Experimental Botany*, 36,39
- WALLER GR, KIMARI D, FRIEDMAN JN & CHOU CH (1986) In: PUTNAM AR & TANG CS (eds). The Science of Allelopathy. Chichester (Wiley), pp 243-270
- WANG D, OLOFSDOTTER M (1996) Growth Characters of Allelopathic and Non-Allelopathic Rice. First World Congress on Allelopathy, Book of Abstracts, University of Cadiz
- WEIDENHAMMER JD (1996) Distinguishing Resource Competition and Chemical Interference: Overcoming the Methodological Impasse. *Agronomy Journal* 88, 866
- WIEGARD E & JUTZI SC (1996) Allelopathy or Decomposition Effects. First World Congress on Allelopathy, Book of Abstracts, University of Cadiz, 200
- WILLIAMSON GB, RICHARDSON DR & FISCHER NH (1992) Allelopathic Mechanism in Fire-Prone Communities. In: Allelopathy- Basic and Applied Aspects; RIZVI SJ & RIZVI V, (eds), Chapman and Hall, London
- WILLIS RJ (1994) Terminology and Trends in Allelopathy. *Allelopathy Journal* 1,1; 6
- WINK M (1983) Inhibition of Seed germination by Quinolizidine Alkaloids. *Planta* 158, 365

**Polykultursysteme in Zentral-Amazonien - ein Beispiel aus dem bilateralen Tropenökologie-Programm des BMBF**

R. Lieberei, P. Schmidt, K. Voß

Institut für Angewandte Botanik  
Universität Hamburg, Marseiller Straße 7, 20305 Hamburg

L. Gasparotto

Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazonia EMBRAPA  
km 24, AM 010, 69 000 Manaus-AM, Brasilien

**Zusammenfassung**

Im Rahmen der Entwicklung von Konzepten zur nachhaltigen Landnutzung in Zentralamazonien werden experimentelle Mischkultursysteme angelegt und auf ökologische Stabilität und landwirtschaftlichen Ertrag geprüft. Vegetationskundliche Arbeiten, bodenbiologische Studien und Bilanzierung der mineralischen Nährlemente erlauben erste Aussagen zu Regulationsfaktoren in agroforstlichen Anlagen. Die Leguminose *Pueraria phaseoloides* erweist sich als geeigneter Managementfaktor für die Polykultursysteme, kann jedoch auch einen Konkurrenten um Nährlemente darstellen. Der mikrobielle Titer zur Knöllchenbildung an *Pueraria phaseoloides* ist bis zu acht Monaten nach Brandrodung sehr eingeschränkt, die morphologisch intakten Sporen der arbuskulären Mykorrhizapilze aus dem Oberboden sind nach Brandrodung abgestorben. Die natürlich vorkommenden Leguminosen der Primärwälder und der Brachevegetation wurden aufgenommen, ihre potentielle Einsatzmöglichkeit für Polykultursysteme ist weitgehend ungeklärt.

## Summary

Experimental polyculture systems have been established in central Amazonia in order to test their suitability for sustainable land use. Comparative studies on vegetation, on soil microbiological aspects and the quantification of mineral nutrients allow first approaches to understand regulating factors of the agroforestry systems. The leguminous plant *Pueraria phaseoloides* reveals to be a suitable management factor in plant polycultures, but it turned out to act also as competitor for mineral nutrients. Up to eight months after slash and burn treatment the soil microbial titer for nodulation of *P. phaseoloides* is very low, the morphologically intact spores of arbuscular micorrhizal fungi of the topsoil are dead. The naturally occurring leguminous plants of the primary and secondary forest were listed. Their potential as factor for polyculture systems has so far not been evaluated.

## Einleitung

Der Landverbrauch in den feuchten Tropen Südamerikas schreitet trotz vieler internationaler und nationaler Bemühungen zur Entwicklung von neuen Nutzungskonzepten unverändert voran (Assis Costa 1996, Fearnside 1996). Neben den zahlreichen Nutzungen für Bodenschatzabbau und Weidewirtschaft entwickelt sich vor allem aus der massiven Zuwanderung der Bevölkerung aus den Trockengebieten des Nordostens sowie aus den sozialen Konfliktgebieten Südbrasiliens ein wesentlicher Landbedarf (Fearnside 1986). Die Anlage von Kautschuk-, Ölpalmen-, Kakao- und Cupuacu-Plantagen, wie in den siebziger Jahren vorgesehen, hat sich nicht als stabil erwiesen. Zu den allgemein bekannten und weitgehend beschriebenen Schwierigkeiten, auf sehr sauren, nährstoffarmen Böden langfristige Monokulturen anzulegen (Szott et al. 1991), kamen insbesondere phytopathologische Probleme des Kautschukbaumes (Lieberei 1994) und des Kakaos hinzu, später auch der Ölpalme. Durch krankheitsbedingte Verminderung und Verzögerung der pflanzlichen Produktion und durch den erforderlichen Mehraufwand für die Aufrechterhaltung und Pflege der Kulturen waren viele Kleinbauern gezwungen, hochverschuldet die Siedlungsvorhaben aufzugeben. Die Alternativen bestehen letztlich nur darin, in die Armutsviertel der Städte zu ziehen oder im Regenwald Wanderfeldbau (shifting cultivation) zu betreiben. Ca 70 % der derzeitigen brasilianischen Rodungsflächen sind durch diese spontane Kolonisation bedingt (Mertins 1991). Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken, ist dringend erforderlich, in starkem Maße standortspezifische land- und forstwirtschaftliche Nutzungssysteme für bereits gerodete und degradierte Flächen in Zentralamazonien zu entwickeln (Junk 1989, Mertins 1991). 1989 wurde das brasilianische Konzept der Monokulturplantagen für kleinbäuerliche Siedlungsprogramme aufgegeben. Das bis dahin für Kautschukanbau und Ölpalmenkultur in Zentralamazonien zuständige Forschungszentrum (CNPSD, Manaus) der landwirtschaftlichen Untersuchungsanstalt EMBRAPA wurde thematisch neu ausgerichtet auf die Untersuchung agroforstlicher Nutzungssysteme. Es entstand das heutige agroforstliche Forschungszentrum CPAA, Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazonia.

## Agroforstsysteme

Agroforstliche Systeme sind auf langfristige, nachhaltige Nutzung ausgerichtete Kombinationssysteme aus kurzlebigen und perennierenden Pflanzen. Sie sind entweder zonal gegliedert und zum selben Zeitpunkt aus Baumkulturen und kurzlebigen Nutzpflanzen oder Wiesen aufgebaut oder es handelt sich um eine Rotationsform der Agroforstnutzung. In dem Fall wechseln Baumkulturen mit anderen Nutzungsformen über längere Zeiträume ab (Nair 1991).

Vor allem zonale Agroforstsysteme tragen den Boden- und Klimabedingungen in Zentralamazonien Rechnung. Die Böden sind stark sauer, haben eine geringe Kationenaustauschkapazität, Phosphordefizienz und hohe Aluminiumtoxizität. Sie sind in der Regel sehr erosionsgefährdet und enthalten wenig organischen Kohlenstoff. Bedingt durch starke Niederschläge werden die eingetragenen Nährstoffe aus den sauren Böden schnell wieder ausgewaschen (Szott et al. 1991). Aus biologischer Sicht muß ein System entwickelt werden, welches die Nährstoffverluste durch effiziente Aufnahme in die Pflanzen minimiert, gleichzeitig erosionshemmend ist, dabei aber auch genügend Biomasse produziert um einerseits Nährstoffe einzulagern, andererseits landwirtschaftlich verwertbare Produkte zu liefern.

Viele empirische Arbeiten zu lokal angepaßten Agroforstsystemen werden derzeit durchgeführt, allerdings ist die Komplexität der abiotischen und biotischen Faktoren, welche die Erfolge solcher Systeme bestimmen, sehr groß. Grundsätzliche Daten zu standortspezifischen abiotischen Faktoren sind in der Regel bekannt, allerdings fehlen oft die Kenntnisse zu den potentiell einsetzbaren, standortadaptierten Nutzpflanzen. Über die bodenmikrobiologischen Verhältnisse sowie über die faunistischen Komponenten der Nutzsysteme sind kaum Daten verfügbar.

Agroforstsysteme sollen grundsätzlich dazu genutzt werden, den Nährstoffzyklus zu verbessern. - Durch Kombination von tiefwurzelnden Bäumen mit flachwurzelnden Pflanzen wäre es möglich, die Nährstoffverluste über Auswaschung in tiefe Schichten zu mindern (Schroth 1996), über die Streubildung durch Blätter tiefwurzelnder Pflanzen und der Nährstofffreigabe bei Streuabbau wird der Nährstoffkreislauf gesichert und erweitert.

- Durch Eintrag organischer Substanz in den Mineralboden über Sproß und Wurzel ist die Bildung der organischen Bodensubstanz und damit die Minderung der Auswaschung von mineralischen Nährstoffen möglich.
- Durch Einsatz stickstofffixierender Pflanzen ist eine Anreicherung bodenorganischer Komponenten erzielbar.

Um Aussagen über Nutzungsmöglichkeiten und über Grenzen der Nutzung machen zu können, sind detaillierte Kenntnisse über

- die abiotischen Standortfaktoren
- die biotischen Standortfaktoren und
- die interorganismischen Wechselwirkungen und deren Regelfaktoren erforderlich.

Zur qualitativen Erfassung und zur Quantifizierung von Regelfaktoren in solchen komplexen Nutzungssystemen wurde auf einer ehemaligen Regenwaldfläche der Terra firme, etwa 30 km nordöstlich von Manaus im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung, Forschung, Wissenschaft und Technologie geförderten Programmes zur angewandten Tropenökologie (SHIFT) eine agroforstliche Versuchsfläche angelegt.

### Das SHIFT-Programm

Bereits vor dem Umwelt-Gipfel 1992 in Rio de Janeiro zielten nationale und internationale Aktivitäten darauf hin, Konzepte zur nachhaltigen Landnutzung zu erstellen, z.B. das 1991 in Kraft gesetzte „Pilotprogramm zur Bewahrung des brasilianischen Regenwaldes“ zwischen Brasilien und den G7-Staaten sowie die seit 1989 bestehende bilaterale Forschungskooperation „SHIFT“ zwischend Deutschland und Brasilien. SHIFT („Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics“) ist auf Ökosysteme Amazoniens und der Küstenwälder konzentriert. Wie stets in anwendungsbezogenen Arbeiten ist die Verknüpfung von grundlagenorientierten Arbeiten zur Erfassung unbekannter Faktoren (hier biotische und abiotische Regulationsfaktoren der tropischen Ökosysteme) mit der Bearbeitung der Wechselbeziehung zwischen Nutzer und zu nutzendem System erforderlich. Derart komplexe Aufgaben sind nur in interdisziplinären Arbeitsansätzen lösbar und umsetzbar.

Im Rahmen des hier dargestellten SHIFT-Projektes wird seit 1992 in Zusammenarbeit mit dem Agroforstlichen Forschungszentrum Brasiliens in Manaus, Amazonas (CPAA), dem nationalen Forschungszentrum für Amazonien (INPA) und der Universität Manaus ein Projekt zur Rekultivierung verlassener, ehemaliger Monokulturplantagenflächen durchgeführt.

Erstes Ziel des Projektes ist, die prinzipiellen Regulationsfaktoren von Pflanzenbeständen in der Primärwaldregion Zentralamazoniens zu erfassen, um aus dieser Kenntnis die grundsätzlichen Notwendigkeiten für störungstolerante und an die lokalen Bedingungen angepaßte pflanzliche Produktionssysteme ableiten zu können. Abiotische Faktoren wie Bodeneigenschaften, Nährlementbevorratung des Standortes, Sonneneinstrahlung und andere klimatische Größen und biotische Faktoren, wie z.B. Herbivoren, Pathogene, tierische Schädlinge und pflanzliche Raum- und Nahrungskonkurrenten für Nutzpflanzen, werden in Vorkommen und Auswirkung erfaßt und quantifiziert. Die Wechselwirkung der lokalen Wildpflanzen mit ausgewählten Nutzpflanzen wird analysiert. Zweites Ziel ist die Erarbeitung

eines Mischpflanzen-Nutzsystems mit nachhaltiger ökologischer Wirkung und akzeptablem ökonomischem Ertrag.

Die Kombination unterschiedlicher pflanzlicher Wuchs- und Lebensformen trägt zur Verbesserung der Ressourcennutzung bei gleichzeitiger Verringerung der Risiken von Monokulturen bei.

Die Auswahl der Pflanzen für ein solches System muß vor allem die ökosystemaren Anforderungen und die Bedürfnisse der Nutzer berücksichtigen. Ein tragfähiges Nutzungssystem für die breite Bevölkerung muß in erster Linie Pflanzen für Kleinbauern und deren Lebenshaltung aufweisen und in zweiter Linie vermarktbar pflanzliche Produkte liefern.

### Der experimentelle Rahmen

Das Experiment ist auf einer 19 ha großen Fläche ehemaligen Sekundärwaldes bei 2° 53' S, 60° W nördlich der Stadt Manaus inmitten einer Primär-Regenwaldfläche angelegt. Im Nordwesten grenzt ein kleiner ca. 10 Jahre alter Sekundärwald an die Fläche, im Osten eine nicht mehr genutzte Kautschukbaumplantage und eine Brachefläche. Das Versuchsfeld wurde vor der Nutzung planimetriert, nivelliert und in 5 Versuchsblöcke zu je 18 Parzellen à 32x48 m aufgeteilt. Nach Entnahme von Bodenproben wurden die Flächen entsprechend der "traditionellen" Brandrodungsverfahren geschlagen und die Pflanzen nach Antrocknung verbrannt. Nach dem Brennen erfolgte erneute Bodenprobennahme, um die aus der Biomasse freigesetzten und im Boden angereicherten mineralischen Nährlemente zu bestimmen sowie Mykorrhiza-Pilze zu erfassen und das noch vorhandene Potential zur Knöllchenbildung mit dem Bodendecker *Pueraria phaseoloides* zu prüfen.

Die Parzellen wurden mit Mischkulturen unterschiedlicher Nutzungsintensität bepflanzt (Tabelle 1). Alle verwendeten Pflanzen sind lokal bekannte Pflanzen (Tabelle 2). Viele davon sind derzeit noch auf der Stufe der Primärselektion, d.h. sie haben kaum Züchtungs- und Selektionsschritte erfahren. Anzucht und Vermehrung der Pflanzen wurde in der ersten Projektphase weitgehend aus Samenwildsammlungen durchgeführt.

Als experimentelle ackerbauliche Varianten sind zwei Düngestufen sowie eine bodenbiologische Variante unter Einsatz von symbiotischen vesikulär-arbuskulären Mykorrhizapilzen (VAM) eingeführt worden. Mehr als 90 % der höheren Pflanzen am Naturstandort des Amazonastieflandes sind mit VAM vergesellschaftet.

Zur Erhaltung der hohen Pflanzendiversität auf den Versuchsparzellen wurden alle nach der Brandrodung wieder aufwachsende Pflanzen erfaßt, bestimmt und der Biomassezuwachs in definierten Abständen gemessen.

Tabelle 1: Anlage des Mischkulturexperimentes

System I:	4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
-----S-----M-----P-----M-----C-----M-----P-----M-->									
	4	3	2	3	6	3	2	3	
S M P M C M P M									
+ <i>P. phaseoloides</i> als Bodendecker									
System II:	4	4	4	4	4	4	4	4	4
-----B-----U-----C-----P-----B-----U-----C-----P-->									
	7	4	7	2	7	4	7	2	
C U B P C U B P									
+ Maniok zwischen den Reihen + <i>P. phaseoloides</i> als Bodendecker									
System III:	4	5	5	7	6	5	5	7	4
-----S-----C-----CP-----Z-----S-----C-----CP-----Z-->									
	4	7	8	5	4	7	8	5	
S PC CP Z S PC CP Z									
+ Maniok, Mais, <i>Vigna</i> -Bohne (Cowpea), + <i>P. phaseoloides</i> als Bodendecker									
System IV:	4	10	10	10	10	10	4		
-----S-----MG-----PC-----A-----S----->									
	4	7	4	7	4				
PC A S MG PC									
+ spontane Vegetation zwischen den Reihen									
---									
Legende									
---- Abstände zwischen den Reihen [m]									
Abstände zwischen den Pflanzen in einer Reihe [m]									
Abkürzungen für die Pflanzenarten:									
S = Kautschukbaum, C = Cupuaçu, P = Pfirsichpalme,									
B = Paranußbaum, U = Urucum, K = Kokosnuss, Z = Citrus,									
PC = Paricá, Mg = Mahagonie, A = Andiroba, M = Papaya									

Tabelle 2: Liste der Nutzpflanzen und deren Nutzung

Umgangs- sprachliche Bezeichnung	Wissenschaftlicher Name	Pflanzenfamilie	Nutzung	
Kautschukbaum	<i>Hevea brasiliensis</i> (Adr.Juss.) Muell. Arg.	Euphorbiaceae	Latex zur Gummiproduktion, Öl aus Samen, Holz	
Cupuaçu (noch kein deutscher Name)	<i>Theobroma grandiflorum</i> (Willd. ex Spreng.) K. Schum.	Sterculiaceae	Pulpa (Säfte, Eiscreme, Desserts), (Samen ggf. für Schokolade)	
Pfirsichpalme	<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	Arecaceae	Palmherzen, Früchte, Tierfutter (Blätter), Nahrungsmittelfarbe (Fruchtfleisch), Flechtmaterial, Holz	
Paranußbaum	<i>Bertholletia excelsa</i> Humb. & Bonpl.	Lecythidaceae	Paranüsse, Holz	
Urucum Orleansbaum	<i>Bixa orellana</i> L.	Bixaceae	Farbstoffe für Lebensmittel, z.B. Lippenstifte, Sonnenschutzmittel	
Kokospalme	<i>Cocos nucifera</i> L.	Arecaceae	Öl, Kopra, Kokosmilch, Lebensmittel Webmaterial, Fasern, Bauholz, Spanplattenmaterial	
Citrus	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Rutaceae	Früchte, Öl, Pectin	
Paricá	<i>Schizolobium amazonicum</i> Duke	Caesalpiniaceae	Bauholz, Holzkohle	
Mahagoni	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Meliaceae	Edelholz	
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae	Bauholz, Öl	
Papaya	<i>Carica papaya</i> L.	Caricaceae	Früchte, Papain, Carpin, Futter	
Cassava	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Euphorbiaceae	Stärke, Blätter als Gemüse	
Maniok				
Bohnen	<i>Vigna sinensis</i> L.	Fabaceae	Grünfutter, Stärke	
Mais	<i>Zea mays</i> L.	Poaceae	Lebensmittel, Stärke, Speiseöl, Tierfutter	
Kudzu	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth.	Fabaceae	Bodendecker	Spontane Vegetation
Mehrere Arten des Sekundärwaldes und krautige Wildpflanzen, viele Gräser; dominant: <i>Homolepis aturensis</i> (Kunth) Chase				

### Bodeneigenschaften

Bei den Böden des Untersuchungsstandortes handelt es sich um typische nährstoffarme, ferralitische Tonböden der Terra-firme-Standorte (IPEAAOc 1972), die im Bereich ab etwa 10 cm keine deutliche Horizontabfolge aufweisen. Der Boden wird als Xanthic Ferralsol klassifiziert.

Tabelle 3: Kennzeichnung des Mineralbodens auf der gedüngten Versuchsfläche bei pflanzenbezogener Probennahme

	Oberboden 0-30 cm, 60 cm Stammentfernung von <i>T. grandiflorum</i> nach Schmidt (1996)	Vergleich Regenwaldboden 0 - 30 cm nach Klinge (1976)
Trockengewicht (humusfrei) t/ha	2.193	3.349
Humus t/ha (C x 1,72)	87,5	113
C/N	12,7 - 15,9	15,4
pH (H <sub>2</sub> O)	3,6 - 5,2	/
pH (KCl)	3,7 - 4,8	3,3 - 3,7
N kg/ha	4.270	4.263
P kg/ha	11,9	71
K kg/ha	20,6 - 38,2	58
Ca kg/ha	14,9 - 114,8	0
Mg kg/ha	3,7 - 32,5	17
Na kg/ha	/	35
Mn kg/ha	1,9 - 2,5	/
Fe kg/ha	5,1 - 7,1	/
Al kg/ha	81,9 - 120,4	/

### Natürliche Vegetation der Bracheplätze und daraus ableitbare potentielle Nutzpflanzen für Polykultursysteme

Die tropischen Regenwälder sind durch eine sehr hohe Artendiversität gekennzeichnet (Klinge 1971, Preisinger et al. 1994). Die dichte und geschlossene Waldvegetation ist reich an endemischen Arten. Licht dringt kaum bis an den Boden vor, die Gliederung in viele Schichten (bodenlebende Pflanzen, Sträucher, Lianen, Epiphyten, Bäume) führt zu einer großen Zahl unterschiedlicher pflanzlicher Wuchsformtypen. Der Boden ist sehr arm an Nährstoffen, die überwiegende Nährstoffmenge ist im lebenden Pflanzenkörper festgelegt: 75 % im Pflanzenkörper, 17 % in der zersetzenden Biomasse, 8% im Boden. Die freigesetzten Nährstoffe werden durch sehr effektive Recyclingsysteme dieses heterogenen Bestandes in die lebende Biomasse zurückgeführt (Klinge 1976). Bei Umwandlung der Primärwälder in Agroforstsysteme ist es überaus wichtig, diese Nährstoff-Rückgewinnungssysteme mit

aufzubauen, auch wenn die Diversität der eingesetzten Pflanzen nicht einmal im Ansatz mit der Primärwalddiversität vergleichbar ist (Tabelle 4). Aus diesem Grund wurden in der Versuchsfläche nach Brandrodung die nachwachsende spontane Vegetation nicht entfernt, sondern vegetationskundlich aufgenommen und hinsichtlich der Eignung auf Nährstoffbindung bewertet.

Tabelle 4: Diversität der Vegetation

Vegetation	Artenzahl	Leguminosae
Primärwald	465 (502)	37: 19 Caesalpiniaceae 18 Mimosaceae (62)
Brachevegetation/ Sekundärwald	185	8 Fabaceae
Versuchsfläche (Plantage)	75	5 Fabaceae

Fläche 1.600 m<sup>2</sup>, Preisinger (unveröffentlicht), in Klammern die Zahlen nach Klinge (1972).

Die auf der Brachefläche und an die Experimentalfläche angrenzenden Primär- und Sekundärwaldflächen enthalten vorwiegend holzige Leguminosen, deren Nutzungspotential weitgehend unbekannt ist (Tabelle 5).

Tabelle 5: Beispiele für die Leguminosen auf der Experimentalfläche vor der Rodung sowie auf einer angrenzenden 10 jährigen Sekundärwaldfläche und dem angrenzenden Primärwaldrand

Mimosaceae	Caesalpiniaceae	Fabaceae
<i>Inga stipularis</i> D.C.	<i>Bauhinia</i> spp.	<i>Dipterix odorata</i>
<i>Inga disticha</i> Benth.	<i>Cassia hoffmannae</i> giana	(Aubl.) Willd
<i>Inga vera</i> Willd.	Marth.	<i>Derris floribunda</i>
<i>Inga</i> spp.	<i>Sclerolobium paraense</i> Huber	(Benth.) Ducke
<i>Acacia adhaerens</i> Benth.	<i>Swartzia ulei</i> Harms	<i>Platymiscium duckei</i>
<i>Mimosa duckei</i> Huber	<i>Eperua bijuga</i>	<i>Mucuna</i> spp.
<i>Mimosa</i> spp.	Marth. ex Benth.	<i>Machaerium froesii</i> Rudd.
<i>Parkia cachimbaensis</i> H.C.Hopkins	<i>Peltogyne</i> spp.	<i>Machaerium floribundum</i> Bth.
<i>Piptadenia graveolens</i> Miq.		<i>Machaerium multifoliatum</i> Ducke
<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.		<i>Machaerium microphyllum</i> (E.Mey)Standl.
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke		<i>Ormosia</i> spp.
		<i>Dalbergia</i> spp.
		<i>Diploropis</i> spp.

nach Preisinger (unveröffentlicht)

Die nach der Brandrodung auf den Flächen auftretende spontane Vegetation ist gekennzeichnet durch die stark verzweigenden kleinwüchsigen Bäume der Gattung *Vismia* und durch das Horstgras *Homolepis aturiensis*. Vor allem *Vismia guianensis* zeichnet sich durch sehr raschen Wuchs und starke Biomassebildung in kurzen Zeiträumen aus (siehe Tabelle 6).

### Nutzungssysteme

Die angestrebten Nutzungssysteme sollen nachhaltige Bewirtschaftung einer ehemaligen Regenwaldfläche der Terra firme-Regenwälder Zentralamazoniens erlauben. Bei der Konzipierung solcher Nutzungssysteme müssen vor allen Dingen die potentiell einsetzbaren Pflanzen in ihrer Eigenschaft und Variabilität erfaßt werden. Die Beurteilungskriterien von Pflanzen für den Einsatz in langfristig tragfähigen Systemen geht über deren Produktionsleistung weit hinaus. Agroforstliche Systeme, in der Regel kombiniert aus kurzlebigen Pflanzen mit perennierenden Holzgewächsen, durchlaufen in ihrer Entwicklung drei klar unterscheidbare Stadien:

#### 1. Die Etablierungsphase der Anlage:

In dieser Phase kommt der Erstellung nährstoffbindender Systeme höchste Priorität zu. Pflanzen mit dem Potential zur Bildung oberflächennaher Wurzeln und mit der Fähigkeit zur schnellen Bildung großer Wurzelbiomasse sind erforderlich. Da nach der Brandrodung keine Beschattung durch Vegetation vorhanden ist, müssen diese Pflanzen eine hohe Toleranz gegen direkte Sonneneinstrahlung und gute Resistenz gegen kurzfristige Wasserdefizite aufweisen. Weiterhin ist rasche Biomasseproduktion notwendig, um Speicher für die akkumulierten Mineralelemente zu bieten. Sofern die Pflanzen nicht als direkt verwertbares Material wie Nahrungsmittel oder Brennholz in Frage kommen, ist es notwendig, möglichst stark laubbildende Arten zu verwenden, da diese den aufgenommenen Nährstoff recht einfach über anschließende Mulchung an andere, langsamer wachsende Pflanzen weitergeben. Die Blätter dürfen keine stark abbauhemmenden Substanzen enthalten, da eine zu langsame Abbaurate die Freisetzung der in der Blattmasse vorhandenen Mineralelemente verzögert. Neben diesen Eigenschaften sollte eine möglichst geringe Anfälligkeit gegen Schaderreger und Fraßfeinde vorliegen, vor allem sollten Schaderreger oder Fraßfeinde solcher „Hilfspflanzen“ im Agrarökosystem nicht gleichzeitig die vorgesehenen Nutzpflanzen befallen können.

Da die arbuskuläre Mykorrhiza weit verbreitet ist und die Funktion der Mykorrhizapilze in der raschen Nährstoffaufnahme immer wieder diskutiert wird, sollte auch auf eine ausgesprochen hohe Fähigkeit zur Mykorrhizabesiedelung der Wurzeln geachtet werden. Die Assoziation der Nutzpflanzen mit Mykorrhiza ist, ebenso wie die Assoziation der Leguminosen mit Rhizobien, auf der Brandrodungsfläche sehr stark vom Infektionspotential des Bodens bestimmt. Bei obligat mykotrophen Nutzpflanzen wie z.B. *Carica papaya* muß auf ein hohes Maß infektionsfähiger Sporen im Substrat geachtet werden.

Das Infektionspotential des Bodens kann durch die starke Hitzeentwicklung im Oberboden beeinträchtigt werden. Die Sporen der arbuskulären Mykorrhizapilze werden durch die Brandrodung weitgehend abgetötet. Auch sechs Monate nach der Brandrodung sind noch keine infektiösen Mykorrhizasporen im Oberboden vorhanden (Feldmann et al. 1995), allerdings treten, offensichtlich bedingt durch mykorrhizabesiedelte pflanzliche Diasporen wie die unterirdischen Ausläufer von *Vismia guianensis*, schnell wieder autochthone Mykorrhizapilze auf.

Auch knöllchenbildende Bakterien sind zehn Monate nach Brandrodung nur in begrenztem Maße nachweisbar. Aus der Experimentalfläche wurden von 31 Parzellen je drei x zwei Kilogramm Erde der obersten zehn Zentimeter entnommen und für Inkulationsversuche der Leguminose *Pueraria phaseoloides* eingesetzt. Pro Bodenprobe wurden sieben Samen der Testpflanze ausgebracht. Die Inkubation der Pflanzen erfolgte unter natürlichen Klimabedingungen des Standortes in einem offenen Gewächshaus. Lediglich in Bodenproben aus 21 Parzellen trat Knöllchenbildung in den Wurzelsystemen auf. Die mittlere Knöllenzahl pro Wurzelsystem betrug 0,98, die maximale Knöllenzahl betrug 8 Knöllchen pro Wurzelsystem (zwei Pflanzen). Die Keimung der Testpflanzen war durch bodenbürtige Faktoren in 24 von 31 Ansätzen beeinträchtigt. Das Inhibitionspotential des Bodens ist ursächlich noch nicht geklärt. Auch Bodenproben des Primärwaldes und der Sekundärwaldflächen wiesen keimungshemmende Wirkung auf die Testsämlinge auf. Im Zuge der Einrichtung von Polykultursystemen sollte auf jeden Fall eine begleitende Maßnahme zur Inkulation des Bodens mit potentiellen symbiotischen Mikroorganismen vorgesehen werden (Feldmann et al. 1995). Für arbuskuläre Mykorrhiza wurde die Inkulation mit mykorrhizierten „nurse plants“ vorgenommen (siehe Feldmann et al. 1995)

#### 2. Die Übergangsphase des Nutzungssystems:

In diesem Entwicklungsabschnitt des Polykultursystems erbringen die kurzlebigen Pflanzen bereits beerntbares Gut. Die Nährstoffaustände müssen erfaßt werden, um diese Verluste durch Düngung ersetzen zu können. Rückführung von Pflanzenmaterial soll, soweit möglich, erfolgen. Dies trifft insbesondere bei stark mineralstoffhaltigen Fruchthüllen wie z.B. der Fruchtschale von *Theobroma grandiflorum*, der Cupuaçu, zu. Nach erster Ernte der anuellen Pflanzen (Mais, Bohne, Maniok) kann eine Lückenbepflanzung vorgenommen werden. Daten zur Wurzelsystemmetabolierung potentieller Nutzpflanzen fehlen weitgehend, eine vorausschauende Strategie der Pflanzungsplanung erfordert detaillierte Kenntnisse für das Wurzelsystemmanagement. Studien zu mikrobiellen Interaktionen, speziell den stickstoffbindenden freilebenden und pflanzenassoziierten Mikroorganismen stehen derzeit im Vordergrund. Die Bedeutung der Assoziation stickstofffixierender Nicht-Leguminosen mit den Pflanzensystemen muß näher untersucht werden (z.B. Zuckerrohr, Döbereiner et al. 1995). Für nachzupflanzende Kulturen gilt in der Übergangsphase, die potentiellen Schattenbedürfnisse zu berücksichtigen und gegebenenfalls schon weitentwickelte Nutzpflanzen wie etwa *Bactris gasipaes* als Schattenspender vorzusehen.

### 3. Die nachhaltige Produktionsphase:

Für die langfristige Produktion sind einerseits Düngempfehlungen auf der Basis von Nährstoffbilanzierungen zu erarbeiten, andererseits bestehen erhebliche Chancen, durch ein gezieltes Wurzelsystemmanagement Wasser- und Nährstoffversorgung zu verbessern. Die geeignete Kopplung von flach- mittel- und tiefwurzelnden Pflanzen erlaubt, Auswaschungsverluste von Nährelementen zu minimieren und Wasser aus größeren Tiefen in den kurzen Zeiten der Wasserdefizite zu nutzen (Schroth 1995). Grundsätzliche Fragen bestehen darin, welche Mechanismen den z.T. sehr intensiv wachsenden Pflanzen langfristig die Existenz auf Böden mit hoher Konzentration an Aluminium ermöglicht (Tabelle 3).

#### Einsatz von Leguminosen

Die Nutzung der Leguminosen wird vor allem unter dem Gesichtspunkt der Anreicherung organischer Bodenmasse diskutiert (z.B. Scharpenseel und Pfeiffer 1990). Die Leguminosen werden wegen der Fähigkeit zur symbiotischen Fixierung von Stickstoff als sehr geeignet für die Anreicherungsprozesse eingestuft. Auf stark nährstofflimitierten, marginalen Böden kann nicht ausgeschlossen werden, daß statt des Stickstoffs andere Nährelemente des Bodenvorrates im Unterschluß vorliegen und daher die Leguminosen in Mischkulturen nicht fördernd durch N-Anreicherung wirken, sondern gegenüber den Nutzpflanzen der Mischkultur als Konkurrenten um die limitierten Nährelemente auftreten. Der Vergleich der als Bodendecker häufig verwendeten Leguminose *P. phaseoloides* mit *Vismia guianensis*, einer Pflanze der spontanen Vegetation, die sich nach der Brandrodung stark entwickelt, ergibt, daß die Nährstoffeinlagerung in *V. guianensis* in Bezug auf N weit von der Erschöpfung der Bodenbevorratung entfernt ist, wohingegen die Akkumulation von K bereits höher liegt als die errechnete Bodenbevorratung des Oberbodens an K (Tabellen 3 und 6). Gleiches gilt für die K-Gehalte von *P. phaseoloides*. Eine nahezu gleichartige Nährstoffkonkurrenz läßt sich für Phosphat ableiten. Die Freilandbeobachtung, daß *P. phaseoloides* auf Düngung der Experimentalparzellen sehr stark mit Zuwachs anspricht, unterstützt das Postulat der Konkurrenz um die limitierenden Faktoren zwischen der Leguminose und den Nutzpflanzen der Mischkultur.

Die Bewertung der Eignung von *P. phaseoloides* als positiver Managementkomponente im Polykultursystem beruht nicht ausschließlich auf der nährstoffakkumulierenden Eigenschaft und der potentiell daraus entstehenden Konkurrenzsituation, sondern aus einer Reihe weiterer Eigenschaften. *P. phaseoloides* weist als lianenartige Pflanze eine starke Überwachung auf und bildet eine stabile, oft über 50 cm mächtige, gut durchlüftete Bodenauflage. Aus dieser Vegetation wird kontinuierlich und in beträchtlichem Ausmaß Blattmaterial abgeworfen und in den Nährstoffzyklus zurückgeführt. Die streuersetzende Fauna ist unter der bodennahen Pflanzendecke geschützt, zudem verhindert die dicke Bodenauflage und das ausgeprägte bodennahe, flächig sich ausbreitende Feinwurzelsystem einen Nährstoffverlust durch Oberflächenabfluß und Erosion. Weiterhin werden konkurrenzende Pflanzen der spontanen Vegetation, wie z.B. das Horstgras *Homolepis aturiensis*, unterdrückt. Die komplexe

Bodenbeschattung mindert den Tagestemperaturgang im Oberboden beträchtlich und vermeidet somit temperaturbeeinflußte Aktivitätsveränderungen der Feinwurzelsysteme. *P. phaseoloides* breite sich sehr rasch flächig aus und bewirkt auf diese Weise mit der Verlagerung der eigenen Biomasse eine laterale Verteilung von Nährstoffen. Als sehr nachteilig hatte sich die Kombination von *P. phaseoloides* mit *Vigna sinensis* erwiesen, da über *P. phaseoloides* in starkem Maße auf Leguminosen spezialisierte Schädlinge im Polykultursystem angereichert wurden.

Tabelle 6: Elementgehalte in Pflanzenorganen von *Pueraria phaseoloides* (1 m<sup>2</sup>) und von *Vismia guianensis*, entnommen aus der Versuchsfläche nach 2 ½ jähriger Kulturzeit

	<i>Pueraria phaseoloides</i>			<i>Vismia guianensis</i>			
	Wurzel	Sproß	Blatt	Wurzel *	Sproß	Blatt	Blüten
Trocken gewicht (g)	24,59	162,71	114,42	218	2.186	1.152	26
K (g)	0,17	2,48	1,98	0,28	2,63	2,24	0,05
Ca (g)	0,25	1,04	0,74	0,72	2,70	2,02	0,06
P (g)	0,02	0,13	0,12	0,07	8,01	7,19	0,13
Mg (g)	0,05	0,20	0,30	0,20	1,17	1,10	0,05
C (%)	n.b.	46,9	48,0	49,8	49,0	51,4	50,9
N (%)	n.b.	1,58	3,37	0,75	0,68	2,08	1,96
C/N	n.b.	29,7	14,1	66,4	72,1	24,7	26,0

\* Gewicht geschätzt; Angaben beziehen sich auf die Gesamtbiomasse der jeweiligen Organe, die bei *V. guianensis* auf eine Pflanze, bei *P. phaseoloides* auf 1m<sup>2</sup> berechnet wurden.

Als weitere bodendeckende Leguminose für Plantagen und Polykultursysteme wird derzeit *Arachis pintoi* in Betracht gezogen. Allerdings ist das Saatgut dieser aus Argentinien und den Trockenwäldern Mittelbrasiliens stammenden Leguminose noch nicht in ausreichendem Umfang verfügbar. Außerdem fehlen derzeit noch wesentliche praktische Erfahrungen mit der Handhabung der Pflanzen und mit der ökophysiologischen und genetischen Variabilität dieser Species. Die baumförmigen, im Primärwald vorkommenden Leguminosen sind für die Polykultursysteme weitgehend ungeeignet bzw. nicht detailliert auf Einsatzmöglichkeiten geprüft. *Schizolobium amazonicum* (Caesalpiniaceae) (Tabelle 2) erwies sich als nicht verwendbar. Die Bäume erreichte mit zwei Jahren Alter bereits eine Höhe von mehr als zwölf Metern und fielen überwiegend, mit Übergang in die adulte Entwicklungsphase und der damit einsetzenden Kronenbildung, dem Windbruch zum Opfer.

Als grundsätzlich neue Entwicklung zeichnet sich derzeit die intensive Untersuchung vieler Nicht-Leguminosen der tropischen Vegetation auf das Vorliegen pflanzenassozierter Bakterien mit der Fähigkeit zur Assimilation von Luftstickstoff ab. In diesem Hinblick finden derzeit auch Untersuchungen an der Pfirsichpalme *Bactris gasipaes* (Clement 1989) statt (Tabelle 2).

## Literatur

- ASSIS COSTA F DE (1996) Land tenure, forms of production and environment in the Amazon region. In: *Interdisciplinary research on the conservation and sustainable use of the Amazonian rain forest and its information requirements* (eds Lieberei R, Reisdorff C & Machado AD), pp.137-149. GKSS-Forschungszentrum Geesthacht.
- BLUM WEH (1983) Zur Bodennutzung der feuchten Tropen, dargestellt am Beispiel des Amazonasgebietes Brasiliens. Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung Reihe I (7), 7-25.
- CLEMENT CR (1989) A center of crop genetic diversity in western Amazonia. BioScience **39**, 624-631.
- DÖBEREINER J, URQUIAGA S & BODDEY RM (1995) Alternatives for nitrogen nutrition of crops in tropical agriculture. Fertilizer research **42**, 339-346.
- FEARNSIDE PM (1986) Spatial concentration of deforestation in the Brazilian Amazon. Ambio **15**, 74-81.
- FEARNSIDE PM (1996) Human carrying capacity estimation in Brazilian Amazonia: research requirements to provide a basis for sustainable development. In: *Interdisciplinary research on the conservation and sustainable use of the Amazonian rain forest and its information requirements* (eds Lieberei R, Reisdorff C & Machado AD), pp.274-291. GKSS-Forschungszentrum Geesthacht.
- FELDMANN F, GASPAROTTO L, LIEBEREI R & PREISINGER H (1995) Utilização de áreas abandonadas na Amazônia com policultivo de plantas perenes utéis. In: *Manejo e reabilitação de áreas degradadas e florestas secundárias na Amazônia*. (eds. KANASHIRO, M & PAROTTA, JA), pp. 46-56. USDA, Puerto Rico, USA.
- FELDMANN F, IDCZAK E, MARTINS G, NUNES J, GASPAROTTO L, PREISINGER H, MORAES VHC & LIEBEREI R (1995) Recultivation of degraded, fallow lying areas in central Amazonia with equilibrated polycultures: Responses of useful plants to inoculation with VA-mycorrhizal fungi. Angew. Bot. (J. Applied Bot.) **69**, 111-118.
- IPEAAOC (1972) Levantamento detalhado dos solos do IPEAAOC. In: *Instituto de pesquisas e experimentação agropecuárias da Amazônia, MA-DNPEA*, Boletim Técnico, 1, Manaus, Brasil, 63pp.
- JUNK WJ (1989) Die Rettung der tropischen Regenwälder. Grundsätzliche Bemerkungen zur Behandlung dieses Themas auf verschiedenen politischen Ebenen. Der Hochschullehrer **1**, 23-26.
- KLINGE H (1971) Struktur und Artenreichtum des zentralamazonischen Regenwaldes. Amazoniana **IV**, 3, 283-292.
- KLINGE H (1976) Bilanzierung von Hauptnährstoffen im Ökosystem tropischer Regenwald (Manaus) - vorläufige Daten. Biogeographica **7**, 59-77.
- LIEBEREI R (1994) Von der Nutzpflanze zur Kulturpflanze: Domestikationsprozesse, dargestellt am Kautschukbaum *Hevea brasiliensis*. Jubiläums-Forschungsband der Universität Hamburg, 457 - 472.
- MERTINS G (1991) Ausmaß und Verursacher der Regenwaldrodung in Amazonien - ein vorläufiges Fazit. Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung Reihe I, **19**, 15-24.
- NAIR PKR (1991) State-of-the-art of agroforestry systems. Forest Ecology and Management **45**, 5-29.
- PREISINGER H, COELHO LF, SIQUEIRA M DO S G & LIEBEREI, R (1994) Analysis of growth form types and floristic composition of the spontaneous vegetation in an agricultural test area near Manaus, Brazil. Angew. Bot. (J. Applied Bot.), **68**, 40-46.
- SCHARPENSEEL HW & PFEIFFER EM (1990) Organische Bodensubstanz und Nährstoffverfügbarkeit in den Tropen. Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung Reihe I, **18**, 53-66.
- SCHMIDT P, LIEBEREI R, BAUCH J & GASPAROTTO, L (1995) Balances of bioelements in useful tropical plants. In: *Manejo e reabilitação de áreas degradadas e florestas secundárias na Amazônia*. (eds. Kanashiro, M & Parotta, JA), pp. 207-213. USDA, Puerto Rico, USA.
- SCHMIDT P (1996) Biomasseproduktion und Mineralelementversorgung ausgewählter tropischer Nutzpflanzen im Amazonasgebiet Brasiliens. Dissertation, Fachbereich Biologie, Universität Hamburg, 304 S.
- SCHROTH G (1995) Tree root characteristics as criteria for species selection and systems design in agroforestry. Agroforestry Systems **30**, 125-143.
- SERRÃO EA & NEPSTAD DC (1996) Pastures on Amazonian Forestlands: a review of environmental and economic performance. In: *Interdisciplinary research on the conservation and sustainable use of the Amazonian rain forest and its information requirements* (eds Lieberei R, Reisdorff C & Machado AD), pp.221-2398. GKSS-Forschungszentrum Geesthacht.
- STARK NM & JORDAN CF (1978) Nutrient retention by the root mat of an amazonian rain forest. Ecology **59**, 434-437.
- SZOTT LT, FERNANDES ECM & SANCHEZ PA (1991) Soil-plant interactions in agroforestry systems. Forest Ecology and Management **45**, 127-152.

Das vorliegende Projekt wurde seitens des Bundesministeriums für Bildung, Forschung, Wissenschaft und Technik unter der Projektnummer Lieberei, FK 0339457A sowie von CNPq/IBAMA, und der EMBRAPA Brasilien gefördert.

**Giessener Beiträge  
zur Entwicklungsforschung**

Schriftenreihe des Wissenschaftlichen Zentrums Tropeninstitut  
der Justus-Liebig-Universität Giessen

**Leguminosen zur Verbesserung und  
nachhaltigen Sicherung der Agrarproduktion**

Ottow J.C.G. und J. Sauerborn (Hrsg.)

Mit Beiträgen von

Akondé P.T., Amelung W., Assefa F., Batinic T., Becker M., Bolaños-Vasquez M.C.,  
Bollini R., Diekmann K.H., Gasparotto L., Glatzle A., Gowda C.L., Haffner W., Jaritz G.,  
Johnson D.E., Jutzi S.C., Kahnt G., Kamara A.Y., Kattash G., Kleiner D., Kühne R.,  
Kusserow H., Langsdorf A., Lehmann J., Leihner D.E., Lieberei R., Müller P., Osman A. E.,  
Ottow J.C.G., Peters M., Pueppke S., Ranganathan R., Renesse D. von, Rudat H., Salifou I.,  
Sauerborn J., Schmidt P., Schroth G., Schultze-Kraft R., Steinbach J.,  
Vinuesa-Fleischmann P., Voß K., Weltzien-R. E., Werner D., Wiegard E., Zech W.

**FAL - IDZ  
-Bibliothek-**  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig

Reihe I, (Symposien) Band 24, 1997

991072