

Die Nachhaltigkeit ackerbaulicher Nahrungsmittelproduktion in den humiden Tropen Zentral- und Westafrikas

The Sustainability of Agricultural Food Commodity Production in the Humid Tropics of Central and Western Africa

Von Samuel C. Jutzi¹

1 Einleitung

Tropischer Regenwald ist die Klimaxvegetation des humid-tropischen Tieflandes, in dem die Wasserversorgung das Pflanzenwachstum im Ablauf des Jahres kaum je limitiert. Da auch die Temperatur das Pflanzenwachstum nicht einschränkt, weist die natürliche Vegetation dieser Regionen ein Produktionspotential auf, das weit größer ist als das jeder anderen Ökologie (HILL, 1990). Die Ausschöpfung dieses Potentials wird im wesentlichen gesteuert von der Dynamik, mit der die pflanzlichen Nährstoffe im System Regenwaldecke-Boden kreisen, zumal die Böden unter tropischen Regenwäldern nur beschränkt Nährstoffe pflanzenverfügbar lagern und nachliefern können.

Wird die Waldvegetation mit Grasland oder Ackerkulturen ersetzt, verschwinden die erwähnten Produktivitätsvorteile des Regenwaldstandortes weitgehend, da seine negativen boden- und ökologiegebundenen Faktoren produktivitätsbestimmend werden: fortgeschrittene Verwitterung charakterisiert die dominanten Böden der humiden Tropen, sie weisen eine geringe Kationenaustauschkapazität, tiefe Nährstoffreserven und geringes Wasserhaltevermögen auf und sind anfällig auf Verdichtung sowie auf Erosion im Gefolge hoher Niederschlagsintensitäten; sie sind häufig stark sauer, was phytotoxische Aluminium-, Eisen- und/oder Mangan-Konzentrationen fördern kann. Wichtige Nährstoffe sind — nach dynamischer Auswaschung — entweder völlig ungenügend in der Bodenlösung vorhanden oder werden pflanzenunverfügbar festgelegt (Phosphor, Zink,

¹ Prof. Dr. Samuel C. Jutzi, Fachgebiet Feldkulturen der Tropen und Subtropen, Fachbereich Internationale Agrarwirtschaft, Gesamthochschule - Universität Kassel, Steinstraße 19, D-3430 Witzenhausen

Molybdän,...). Hohe Temperaturen und ebensolche Niederschläge führen zu beschleunigtem Abbau der organischen Materie im und auf dem Boden, was Erosionsgefährdung, Nährstoffverluste und Krusten- und Kompaktzonenbildung weiter fördert. Diese Prozesse sind hauptverantwortlich dafür, daß die Erträge von Feld- und Graslandkulturen nach der Regenwaldrodung von anfänglich befriedigendem Niveau bei mangelndem Einsatz von Düngemitteln im allgemeinen drastisch absinken.

Die in den humiden Tropen weltweit und traditionell verbreitete Praxis der Busch- und Baumbrache nach kurzer feldbaulicher Landnutzung belegt zunächst, daß die kollektive geschichtliche Erfahrung einen kontinuierlichen Ackerbau im kleinbäuerlichen, subsistenzorientierten Sinn in den humiden Tropen ohne zeitweisen Einsatz des Baumes auf derselben Fläche nicht zuläßt. Die moderne Agrarforschung hat deutliche Hinweise erarbeitet, daß dieser Schluß nicht nur für die subsistenz-orientierte, sondern zumindest teilweise auch für die kommerzielle ackerbauliche Nutzung unter Einsatz moderner Produktionsmittel im Grundsatz korrekt ist (VERGARA, 1987; KANG und VAN DEN BELT, 1990; SANCHEZ et al., 1985; SANCHEZ, 1987; YOUNG, 1986). Zudem erzeugt die Tatsache, daß die zunehmende Landverknappung das Brachlegen von Ackerfläche im erforderlichen Ausmaß in Zukunft nicht mehr erlauben wird, einen beträchtlichen Handlungsbedarf zur Bereitstellung von technischen und biologischen Alternativen. Dies gilt insbesondere im kleinbäuerlichen Bereich mit seinem beschränkten Zugang zu betriebsexternen Produktionsmitteln.

Dieser Bericht kommentiert wichtige Erfahrungen in der feldbaulichen Nutzung humid-tropischer Böden in Zentral- und Westafrika mit Hauptgewicht auf der Erfordernis der Nachhaltigkeit dieser Nutzung. In Afrika war die jährliche Zunahme der Entwaldung im Jahrzehnt 1980/90 mit 1,7% (47000 km²) prozentual deutlich höher als in Asien (1,4%, 47000 km²) und in Lateinamerika (0,9% 73000 km²) (BMZ/FAO, 1990). Die afrikanischen Regenwälder werden also schneller in feldbauliche Systeme „konvertiert“ als jene der anderen tropischen Kontinente. Außerordentlich stark betroffen von der Entwaldung ist der Regenwald an der Westküste Afrikas mit 5,1% jährlicher Flächenabnahme (Tab. 1).

Tab. 1: Afrika: Fläche und Flächenentwicklung geschlossener Wälder, 1985.

Region	Fläche geschlossener Wälder ('000 ha)	Jährliche Entwaldung ('000 ha)	Jährliche Veränderung (%)
West-afrikanische Küste	13.752	703	-5,1
Zaire-Becken	171.540	351	-0,2
Ost-Afrika (Madagaskar)	12.957	105	-0,8
Total	198.249	1.159	-0,6

Quelle: BROWN und WOLF, 1985

Letztere Zahlen werden offensichtlich von neueren Schätzungen (BMZ/FAO, 1990) sogar noch weit übertroffen. Der afrikanische Regenwald bedeckt ungefähr 31% der gesamten afrikanischen Waldfläche von 645 Mill. ha (LAULY und CLEMENT, 1979) und 27% der globalen Regenwaldfläche (BENE et al, 1977).

Die Agrarforschung hat sich in Afrika intensiv mit der feldbaulichen Landnutzung in den humiden Tropen befaßt, und es besteht erstens ein breiter Konsens, daß eine starke Baumkomponente die Nachhaltigkeit der kleinbäuerlichen landwirtschaftlichen Bodennutzung in diesen Regionen mit zu gewährleisten hat. Da die Regenwaldkonversion zweitens in Afrika in einem gewissen Gegensatz zu SO-Asien (Plantagen) und besonders Lateinamerika (kleinere bis mittlere kommerziell angelegte Betriebe, Rinderproduktion) durch subsistenz-orientierte Kleinbauern erfolgt, ist der Ansatz kaum bestritten, wonach in der Agrarproduktion der humiden afrikanischen Tropen Technologien sehr geringen externen Aufwandes (*low-external-input*) langfristig von fast ausschließlicher Relevanz sein werden. Drittens wird die Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktion unter erhöhter Flächenproduktivität mit einem hohen Grad an genetischer und anbautechnischer Vielfalt, Faktor-Interdependenz und Integration in der Nutzung pflanzen- und tiergenetischer Ressourcen am humid-tropischen Standort verbunden. So wie die hohe Stabilität des Tropenwald-Ökosystems in seiner Diversität begründet ist, wird also Diversität auch als produktionsstabilisierend im humid-tropischen landbaulichen System erachtet.

2 Die Zerbrechlichkeit humid-tropischer Ökosysteme im Hinblick auf ihre landwirtschaftliche Nutzung

Der tropische Regenwald ist typischerweise ein sich selbst tragendes ökologisches System, das sich über die Jahre hinweg auf einem hohen Niveau der Flächenproduktivität halten kann. Die hohe Stabilität des Regenwald-Ökosystems beruht auf seiner ausgeprägten biologischen Diversität, die komplexe und wirksame Regelmechanismen gewährleistet (LAL, 1986a). Obschon dem Regenwald beträchtliche Mengen an eßbaren und anderen verwertbaren Produkten ohne Schaden entnommen werden können, kann er realistisch gesehen nicht Grundlage der Agrarentwicklung einer humid-tropischen Region mit drängenden Problemen der Bereitstellung von Nahrungsmitteln und landwirtschaftlichen Rohstoffen sein (BROWN und WOLF, 1985; DE T. ALVIM, 1978).

Da im tropischen Regenwald nur ein geringer Teil der Photosyntheseprodukte in verwertbares Holz geleitet wird (3,4% der Gesamtproduktion nach WADSWORTH, 1983), ist er auch bezüglich forstwirtschaftlicher Landnutzung speziell humid-tropischen Waldpflanzungen um ein Mehrfaches unterlegen. Es besteht also das Paradoxon, daß der tropische Regenwald trotz seiner überlegenen Biomasse-Produktionskraft weder in der Nahrungsmittel- noch in der Holzproduktion spezialisierten Landnutzungssystemen gewachsen ist — was wohl als übergeordneter Grund seines Verschwindens zu gelten hat.

Der hohen Stabilität des natürlichen humid-tropischen Ökosystems und seinem hohen Produktionspotential steht in beträchtlichem Kontrast seine Tendenz, die Produktivkraft nach größeren Eingriffen verhältnismäßig schnell einzubüßen, gegenüber. Dabei sind es die gleichen Faktoren, welche hohe Wachstumsraten fördern, die auch die inhärente Neigung feucht-tropischer Gebiete zur ökologischen Verarmung steuern: hohe Temperaturen und reichliche Wasserversorgung, die die Verwitterung von Muttergestein und Böden und den Abbau organischer Substanz beschleunigen, erhöhen auch die Neigung zu Nährstoffverlusten durch Auswaschung und oberflächlichen Abtrag in abfließendem Wasser. Schwere Regenfälle führen bei ungenügendem vegetativen Schutz zu Boden- und Nährstoffabtrag, was zu weiter beschleunigter Bodenverarmung führt. Ebenso kann ungeschützte Einstrahlung auf freien Boden zu starken Schäden an Boden, Kulturpflanzen und Bodenlebewesen über exzessive Bodentemperaturen und Wasserentzug führen.

Die Böden des tropischen Regenwaldes sind charakterisiert durch einen hohen Anteil wenig aktiver Tonmineralien. Die Tonfraktion besteht zumeist aus Kaolinit und Halloysit mit Eisen- und Aluminium-Hydroxiden. Die Bodenordnungen Ultisole und Oxisole in dieser Kategorie umfassen allein 2/3 aller humid-tropischen Böden (SANCHEZ, 1976). Die zentral- und westafrikanischen Regenwaldböden sind generell eher kiesig, sauer und von schwacher Fruchtbarkeit. Eine Besonderheit in dieser Region ist es, daß 130 Millionen ha bewaldete Fläche *in-situ* entwickelte Verdichtungshorizonte aufweisen (OBENG, 1978; LAL, 1986b), die jede Art von Vegetation in der Nutzung des Wurzelraumes beeinträchtigen.

Die Hauptprozesse der Bodenverarmung im konventionellen Feldbau nach Regenwaldrodung sind:

a Rückgang im Gehalt an bodenbürtiger organischer Substanz im Gefolge hoher Temperaturen und guter Wasserversorgung sowie ungenügender Nachlieferung aus der vegetativen Decke. Die Mineralisationsrate von organischer Bodensubstanz kann bis viermal höher sein als in ähnlich genutzten Böden gemäßiger Breiten (JENKINS und AZANABA, 1977). Feldbaulich genutzte Böden der humiden Tropen weisen damit tiefere Gehalte an organischer Substanz auf als gemäßigte Böden, was höhere Anfälligkeit auf Wassererosion (LAL, 1976), geringeres Wasserhaltevermögen, geringere Kationenaustauschkapazität, höhere Verkrustungstendenz und Absinken des pH zur Folge hat;

b Tonverlagerung. Die Verlagerung von Tonmineralien in tiefere Bodenhorizonte ist ein wichtiger Bodenverarmungsprozeß humid-tropischer Böden. Während massive Tätigkeit von Bodenlebewesen unter der Regenwalddecke solches Material aus der Tiefe wieder hochbringt (NYE, 1955), geschieht dies unter Feldkulturen in Monokulturen wegen eingeschränkter Bodenfauna in ungenügendem Ausmaß, was zur Anreicherung grobkörniger Materie und zu entsprechender qualitativer Verarmung des Oberbodens führt;

c Strukturelle Verarmung und Bodenverdichtung. Die strukturelle Bodenverarmung ist die Folge des Zusammenwirkens von Verlusten an organischer Substanz und Tonmineralien und vom Rückgang biologischer Bodenaktivität und äußert sich in Krusten- und Kompaktzonenbildung, reduzierter Wasserinfiltration, reduziertem Wasserhaltevermögen, erhöhter Loslöse-Neigung von Bodenaggregaten und erhöhter Wasserablauf- und Erosionsneigung. Die Kompaktzonenbildung ist in diesem Prozeß von ernsthafterer Bedeutung als häufig angenommen und besonders gravierend bei Maschineneinsatz in Bodenbearbeitung und Ernte;

d Bodenerosion. Die Bodenerosion steht in direkter Beziehung zur Stärke der vegetativen Decke über dem betroffenen Boden. Feldkulturen können in Monokultur den erforderlichen Bodenschutz teils überhaupt nicht (z.B. vor und unmittelbar nach der Saat) und oft selbst im vollen Wachstum nicht genügend gewährleisten;

e Nährstoffverluste. Die Entnahme von Pflanzennährstoffen aus der Bodenlösung durch die Acker- oder Weidekultur, durch Auswaschung im Bodenprofil und im oberflächlich ablaufenden Wasser, durch Bodenabtrag sowie durch Übergang in die Gasphase (N) übersteigt unter konventionellem Ackerbau bei weitem die Nährstoffmengen, die von außen dem Ackerboden im kleinbäuerlichen Afrika zugeführt werden (MCINTIRE, 1985). Von besonderer Bedeutung sind die Nährstoffverluste durch vertikale Verlagerung im Bodenprofil in Abwesenheit der nährstoffpumpenden, tiefwurzelnden Baumvegetation.

Die wichtigsten Gründe, die die skizzierten Bodenverarmungsprozesse bedingen, sind die Intensivierung der Bodennutzung, wie sie von zunehmendem Bevölkerungsdruck diktiert wird, kontinuierlich hohe Temperaturen und hohe Regenintensitäten, vermehrte Nutzung von Grenzböden, Regenwaldkonversion in Acker- und Weideland, mechanisierte Bodenbearbeitung, Anbau von Feldfrüchten in Monokultur und damit Vereinseitigung des Ökosystems. Besonders gravierend im humid-tropischen Bereich ist die mechanische Regenwaldentfernung für die Fruchtbarkeit des Standortes (Kompaktzonenbildung, mechanische Störungen des Bodenprofils, Nährstoffentfernung in aufgehäufter gefällter Vegetation), sowie auch der Gebrauch des Feuers im selben Prozeß: da im Gegensatz zum wechselfeuchten Savannen-Ökosystem die Regenwaldvegetation entwicklungsgeschichtlich das Feuer nicht kennt, eliminiert dieses die Vegetation sehr wirkungsvoll und führt zu einer sehr empfindlichen Phase des völlig mangelhaften vegetativen Bodenschutzes. Zu erwähnen ist auch der Effekt von Agrochemikalien auf die biologische Bodenaktivität. So hat die Anwendung von DDT in Nigeria bei Mais die Bodenfauna nachhaltig beeinträchtigt, was zum Kollaps der Bodenstruktur mit den verbundenen negativen Folgen auf die Pflanzenproduktion führte (CRITCHLEY et al., 1979; PERFECT et al., 1981).

Die konventionelle, Monokultur-orientierte ackerbauliche Produktion auf humid-tropischen Böden ist also mit so großen Risiken verbunden, daß ihre Nachhaltigkeit in Frage gestellt ist. Soll die ackerbauliche Nutzung dieser Böden längerfristig ohne

Ressourcengefährdung erfolgen, sind Anbautechnologien erforderlich, die über die konventionellen Ansätze hinausgehen.

3 Grundsätze der nachhaltigen feldbaulichen Nutzung humid-tropischer Böden

Unter der Voraussetzung, daß die Regenwaldrodung bodenschonend erfolgt ist (manuelle Rodung ist der mechanischen Rodung in dieser Beziehung überlegen) und unter der Voraussetzung, daß die Nährstoffversorgung der angebauten Feldkulturen rechtzeitig und umfassend durch die Zufuhr von Düngemitteln sichergestellt wird, kann auch im humid-tropischen Bereich kontinuierlich konventioneller Ackerbau unter Erzielung hoher Flächenerträge und unter Förderung der pflanzenbaulich wichtigen Bodeneigenschaften betrieben werden. In einer der wenigen Langzeitstudien zu diesem Thema haben SANCHEZ und Mitarbeiter (1982) nicht nur die technische Nachhaltigkeit eines solchen konventionellen Ansatzes, sondern auch seine Wirtschaftlichkeit für einen typischen, sauren, unfruchtbaren Ultisol des peruanischen Amazonasbeckens nachgewiesen. Eine erste wichtige Einschränkung für die Verallgemeinerung ihrer Resultate führen die Autoren selber an: da sie auf ebenem Gelände gearbeitet haben, hatten sie sich mit dem Problem der Bodenerosion bei der intensiven Abfolge von Feldfrüchten in Monokultur (mit den unvermeidlichen Perioden ungeschützt liegenden Bodens) nur am Rande zu befassen. Eine zweite Einschränkung, die besonders mit Bezug auf die afrikanischen Verhältnisse greift, ist die Tatsache, daß Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit der für das vorgeschlagene intensive Anbausystem erforderlichen Düngemittel generell und speziell für den Kleinbauern nicht gegeben sind (MCINTIRE, 1985; FOX und KANG, 1977).

SANCHEZ und BENITES (1987) berichten denn auch von Abschlußarbeiten im Amazonasraum, die die Ressourcenknappheit nicht nur der Kleinbauern selber, sondern auch der regionalen und nationalen Wirtschaftssysteme in den humid-tropischen Gebieten berücksichtigen. Anstelle der intensiven, ausreichend gedüngten Abfolge von feldbaulichen Monokulturen treten Elemente wie gelenkte (verbesserte) Brache, Rückführung der Ernterückstände in den Boden, Reduktion oder Verzicht auf Kalkung und zugekaufte mineralische Düngemittel, strategischer Einsatz der biologischen Stickstofffixierung über den verstärkten Gebrauch von Körner-, Futter-, Weide- und Baumleguminosen, Mischkulturen und agroforstwirtschaftliche Verfahren. Für die Bodenbewirtschaftung stehen sich damit das Konzept des hohen Aufwandes (*high input*), der bodengebundene Einschränkungen für das Pflanzenwachstum mittels zugekaufter Hilfsmittel eliminiert und das Konzept des geringen Aufwandes (*low input*) gegenüber, das den Anbau von Kulturen vorsieht, die an die Bodenmängel so weit wie möglich angepaßt sind, das den Einsatz gekaufter Hilfsmittel auf das notwendige Minimum limitiert und das die Mobilisierung und die Rückführung von Pflanzennährstoffen im Anbausystem maximiert (SANCHEZ und SALINAS, 1981; LAL, 1986a). Da im Gegensatz zum geschlossenen System des Regenwaldes jede feldbauliche Landnutzung dem System Nährstoffe ent-

zieht, ist hier der völlige Verzicht auf den Einsatz von externen Düngemitteln (*zero input*) nicht realistisch.

Für die Erhaltung der nachhaltigen feldbaulichen Nahrungsmittelproduktion auf humid-tropischen Böden unter dem Vorzeichen geringen externen Aufwandes treten zusammenfassend folgende Grundsätze in Bodenbewirtschaftung und Ackerbautechnik in den Vordergrund:

a die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Bodens sind auf Kulturpflanzen-gerechtem Niveau stabil zu halten; dabei gilt als besonders wichtig die genügende Nachlieferung von organischer Substanz in den Boden;

b die genetische Vielfalt sowohl im Bereich des Pflanzenbaus wie auch des bodenbiologischen Systems und dessen Vitalität sind zu fördern; im Pflanzenbau bedeutet dies die Optimierung der Ressourcennutzung im assoziierten Anbau, wovon nicht nur Produktivitätsvorteile, sondern auch erweiterte Möglichkeiten der biologischen Kontrolle von Pflanzenkrankheiten, Schädlingen und Unkraut erwartet werden können;

c Maximierung von Nährstoffrückführung in den Boden (Bewirtschaftung von Ernterückständen, Mulchmaterial und tierischen Abfällen);

d Strategischer Einsatz des Baumes zur Mobilisierung und Rückführung von Nährstoffen aus dem Unterboden;

e Maximierung der biologischen Stickstofffixierung sowie der Nutzung weiterer biologischer Prozesse zur Förderung der Pflanzenernährung (z.B. Mykorrhiza);

f Maximierung des biologischen Bodenschutzes unter Einbindung aller relevanten Komponenten (Feldkulturen, Plantagenkulturen, weitere Baumvegetation);

g Nachweis von Wirtschaftlichkeit und sozio-kultureller Akzeptanz der gewählten Verfahren.

Es wird davon ausgegangen, daß bei Berücksichtigung solcher Grundsätze eine nachhaltige feldbauliche Nutzung humid-tropischer Böden ungefährdeter Standorte im kleinbäuerlichen Produktionssystem möglich ist. Auszuscheiden sind dabei kritische Standorte wie ausgesprochene Hang- und flutgefährdete Lagen.

4 Erfahrungen mit der feldbaulichen Nutzung humid-tropischer Böden in West- und Zentralafrika

Mechanisierter, großflächiger, auf Monokulturen angelegter Feldbau ist auch im feucht-tropischen Afrika oft versucht worden, allerdings kaum mit Erfolg. Haupthindernisse neben der geringen nativen Bodenfruchtbarkeit und der schwachen mechanischen Infrastruktur sind dabei ernsthafte Probleme der Bodenverdichtung und Wassererosion (DE WILDE, 1967; LAL, 1985).

Traditionellerweise werden Feldkulturen im humiden Afrika im Wanderfeldbau und verwandten Landbausystemen produziert. Grundnahrungsmittel sind dabei in erster Linie Banane, Wurzelfrüchte (Cassava, Yams) und andere Feldkulturen, die in Rotation mit Busch- und Baumbrache angebaut werden. Diese Anbausysteme, die im wesentlichen ohne zugekaufte Hilfsmittel auskommen, verlieren zunehmend an Produktivkraft, da die Bracheperiode wegen des Bevölkerungdruckes nicht mehr genügend lange angelegt werden kann. Von zunehmender relativer Bedeutung für die Nahrungsmittelversorgung der Kleinbauern ist deshalb der intensive Mischanbau verschiedenster Gemüse-, Gewürz-, Knollen- und anderer Feldfrüchte mit Bananen, Obst- und Handelskulturen rund um das Haus. Diese Landnutzung als Küchen- oder Hinterhofgarten ist im eigentlichen Sinn organische Landwirtschaft, in der die Voraussetzungen für wirksame Rückführung und Anreicherung von Pflanzennährstoffen im Boden gegeben sind. Die produktiven Beziehungen zwischen land- und forstwirtschaftlicher Landnutzung werden in diesen traditionellen Systemen bis in komplexe Einzelheiten wirksam zur Nahrungsmittel- und Rohstoffversorgung der Familie gebraucht (OKAFOR und FERNANDES, 1987). Im Gegensatz zum Wanderfeldbau ist die komplexe Hausgarten-nutzung in ihrer Nachhaltigkeit unter hoher Flächenproduktivität nicht gefährdet und hat damit für die weitere landwirtschaftliche Bodennutzung im feucht-tropischen Bereich Modellcharakter.

Verbreitet ist in der Region auch der Anbau von Feldkulturen im Mischanbau mit ausdauernden Plantagenkulturen wie Kakao, Ölpalme, Kaffee und Gummi — zumindest in der ersten Wachstumsphase einer Plantagenanlage. Der Begriff *Taungya* wird gebraucht für die Assoziation von Feldkulturen mit Schnittholz-Pflanzungen (LOWE, 1987). Wegen der generellen Verbreitung der Trypanosomiasis (Schlafkrankheit) im humiden Afrika ist die Regenwaldkonversion in Weiden für die Rinderproduktion — ein Vorgang, der ökologisch besonders anfällig ist — in dieser Region im Gegensatz zu Lateinamerika nicht von Bedeutung. Die „Öffnung“ des afrikanischen Regenwaldes erfolgt also in erster Linie zur kleinbäuerlichen landwirtschaftlichen Nutzung, gefolgt mit beträchtlichem Abstand von den Ansprüchen der Forst- und Plantagenwirtschaft.

Im Vordergrund des Interesses von Forschung und Entwicklung im Bereich der feldbaulichen Nutzung im humiden Afrika stehen heute die Konzepte der Agroforstwirtschaft, also die kombinierte land- und forstwirtschaftliche Landnutzung. Agroforstwirtschaft wird definiert als ein „System, in dem landwirtschaftliche Kulturen und Bäume unterschiedlicher Lebensdauer entweder zeitlich (in Rotation) oder räumlich (Intercropping) strategisch kombiniert werden, um den landwirtschaftlichen Flächenertrag nachhaltig auf erforderlich hohem Niveau zu halten“ (VERGARA, 1982). Es geht dabei um die verbesserte Nutzung der unter- und oberirdischen Produktionsgrundlagen, die durch den Mischanbau von Bäumen und Feldkulturen nicht nur vielfältiger und umfassender erschlossen, sondern auch wirksam geschützt werden können. In der Baumkomponente bevorzugt man Leguminosen wegen ihrer biologischen Stickstofffixierung; das tiefe Wurzelwerk der Bäume und Sträucher erschließt Wasser-

und Nährstoffressourcen im Unterboden, die der Feldkultur direkt nicht zugänglich sind; ebenso trägt das starke Wurzelwerk der Bäume und Sträucher zur strukturellen Lockerung des Bodens bei, was seine Wasserführung verbessert und Blattmaterial des Baumes, als Mulch appliziert, führt der oberflächlich wurzelnden Feldfrucht Nährstoffe und dem Boden organische Substanz und Schutz vor den negativen Effekten von Regen und Strahlung zu.

Im Gegensatz zum Wanderfeldbau, der eine agroforstwirtschaftliche Option mit zeitlich getrennter Abfolge von Feldbau und Baumkultur (Brache) darstellt, liegt das Wesen der 'modernen' Agroforstwirtschaft (VERGARA, 1987) darin, daß die beiden Komponenten strategisch und kontinuierlich auf der gleichen Fläche integriert werden. Die Baumbrache wird damit zeitlich mit der Anbauphase der Feldfrüchte synchronisiert und als eigenständige Praxis substituiert. Beispiele solch strategischen Mischanbaus im agroforstwirtschaftlichen Sinn sind das sogenannte *Alley Cropping*, Feldrandpflanzungen von Bäumen, Heckenpflanzungen und ähnliches. Das Konzept des *Alley Cropping* oder der Anlage von Feldfrüchten in Korridoren zwischen Baumreihen ist in West- und in Zentralafrika vom IITA (International Institute for Tropical Agriculture) untersucht und in Zusammenarbeit mit ILCA (International Livestock Centre for Africa) in derselben Region um die Komponente kleine Wiederkäuer zum *Alley Farming* erweitert worden (KANG und WILSON, 1987; ATTA-KRAH et al., 1986). Mit der Integration des Wiederkäuers in die sogenannte sylvo-agro-pastorale Produktion werden wichtige zusätzliche produktionsfördernde und systemstabilisierende Funktionen erschlossen. Das Konzept des *Alley Cropping* ist in der Region schon früher vorgestellt worden, z.B. in Zaire (JURION und HENRY, 1969). Seit 1989 befaßt sich ein Afrika-weites Netzwerk AFNETA, Alley Farming Network for Tropical Africa) mit der Forschung und Einführung des Alley-Farming-Konzeptes unter Beteiligung von zur Zeit 12 Ländern aus West- und Zentralafrika (ATTA-KRAH und SANGINGA, 1990).

Die Baum-/Feldfruchtkombinationen sind von der Artenzusammensetzung, von der Geometrie der Pflanzung und von der Anlage und Nutzung her außerordentlich vielfältig. Zu einem gewissen Grad imitiert somit dieses System, zwar stark modifiziert, den Poly-Kultur-Charakter des natürlichen Waldes und kommt damit der Erfordernis der möglichst großen pflanzengenetischen Diversität im Interesse der Stabilisierung des Systems Pflanzendecke — Boden entgegen. Multiple Artenbestände verschiedener Größe und Kronencharakteristik fördern die Wirksamkeit des Gebrauches des Raumes, der Strahlung, des Wassers und weiterer Produktionsgrundlagen und reduzieren den Effekt von Schädlingen (ALTIERI et al., 1987). Bei genügender Kenntnis der Raum-, Nährstoff- und Wasseransprüche der einzelnen Mischkulturpartner und bei Kenntnis ihrer relativen Verträglichkeit im assoziierten Anbau läßt sich die Artenkombination für die erwünschten Funktionen rechnerisch optimieren (Gesamterträge, Teilerträge, Bodenschutz, Nährstoffversorgung etc.) . Es geht dabei um die Reduktion von Wettbewerbseffekten oder positiv ausgedrückt um die Nutzung von Synergiepotential zwischen Bestandepartnern im weitesten Sinne (WILLEY, 1979a; 1979b; YOUNG und

MURAYA, 1990). Tiefwurzelnde Baum- und Straucharten sind z.B. von Vorteil nicht nur wegen ihrer Bodenstabilisierungs- und Nährstoffpumpenfunktion, sondern auch, weil sie damit die Feldkultur weniger um Nährstoffe, Raum und Wasser konkurrenzieren und indem sie damit der Bodenbearbeitung keine mechanischen Hindernisse in den Weg legen. Werden die Hecken z.B. entlang der Höhenkurve auf Abhängen angelegt, bilden diese Reihen wirksame Strukturen für die Erosionskontrolle und stabilisieren den Aufbau von Terrassen (KANG et al., 1986). Ein weiterer Vorteil der gelenkten Verwendung des Baumes im Mischanbau mit Feldkulturen ist die Tatsache, daß, im Unterschied zum Wanderfeldbau, die Arten der zu verwendenden Bäume vom Landwirt gewählt werden können. Dabei können verschiedene Baumfunktionen gleichzeitig kombiniert werden (Bodenschutz, Früchte, Futter, Mulchmaterial, Brennholz, biologische Stickstoffbindung). Die biologische Stickstofffixierung der gebräuchlichen Leguminosen-Bäume (z.B. *Leucaena spp.*, *Gliricidia sepium*) in Kombination mit weiteren Leguminosen kann sehr hohe Werte erreichen und damit das System von der Zufuhr mineralischen N-Düngers unabhängig machen (KANG und DUGUMA, 1985). Damit ist eine wichtige Bedingung für die Nachhaltigkeit der feldbaulichen Produktion erfüllt. Nach Stickstoff ist Phosphor derjenige Nährstoff, der in allen tropischen Böden für die Entfaltung des Potentials von Kulturpflanzen in ungenügendem Maß vorhanden ist und deshalb von außen zugeführt werden muß. Die Erfahrung zeigt allerdings, daß innerhalb von Pflanzenarten beträchtliche Unterschiede zwischen Sorten und Ökotypen in externen P-Ansprüchen bestehen, so daß eine Strategie des minimalen P-Einsatzes gangbar ist (HAQUE, 1990). Ähnliches gilt für Schwefel, Kalium und wichtige Mikronährstoffe, obschon die Versorgungslücken dieser Elemente weit weniger generell und drastisch sind als jene von N und P. Experimentelle Resultate mit der Anwendung des Alley-Farming-Konzeptes zeigen, wenn die Niederschläge nicht limitierend sind, positive längerfristige Effekte des Baumes auf den Ertrag von assoziierten Feldkulturen (KANG et al., 1981; KANG und DUGUMA, 1985). Ebenso sind die Nährstoffträge in der geernteten Baum-Biomasse ganz erheblich mit Maxima 247 kg N/ha und Jahr, 20 kg P/ha und Jahr, 185 kg K/ha und Jahr, 104 kg Ca/ha und Jahr und 18 kg Mg/ha und Jahr (KANG und WILSON, 1987). Auch wenn davon ausgegangen werden muß, daß nur ein Teil dieser Nährstoffe nach dem Mulchen dieses Materials den Pflanzen zur Verfügung stehen wird, ist damit die Nährstoffpumpenfunktion des Baumes deutlich zum Ausdruck gebracht.

Der Nachweis der Nachhaltigkeit agroforstwirtschaftlicher Verfahren wie jenes des *Alley Farming* kann nur auf der Grundlage längerfristiger Prüfung erfolgen. Die Daten solcher Prüfung dürfen sich nicht auf die Erträge der beteiligten Kulturen beschränken, sondern müssen auch Aufschluß geben zu Veränderungen in wichtigen bodenbezogenen Parametern und zu der Wirtschaftlichkeit und sozio-kulturellen Akzeptanz solcher Verfahren geringen externen, aber normalerweise hohen betriebsinternen (Arbeits-) Aufwandes. KANG und Mitarbeiter (1984) berichten von einer fünfjährigen Versuchsserie, während der bei *Alley Cropping* von *Leucaena leucocephala* und Mais als Haupt-

frucht letztere eine Ertragsleistung von ungefähr 2 t/ha beibehielt, während die ungemulchte Kontrolle von 1 t/ha auf 260 kg/ha im letzten Jahr zurückfiel. Beim *Alley Cropping* Verfahren betrug nach 6 Jahren der Gehalt des Bodens an organischer Substanz 1,07% im Vergleich zur Kontrolle mit 0,65%, K stieg von 0,19 auf 0,28 me/100 g, Ca von 2,90 auf 3,45 me/100 g, Mg von 0,35 auf 0,50 me/100 g und P (Bray I) blieb auf ähnlichem Niveau in beiden Verfahren (27 vs. 26,2 ppm). Deutliche positive Effekte des Mulchens auf den Wassergehalt des Bodens wurden festgestellt. SUMBERG und Mitarbeiter (1988) und NGAMBEKI und WILSON (1984) kommen in ökonomischen Analysen des *Alley Farming* Ansatzes zu positiven Schlußfolgerungen bei einer Reihe von Aspekten der Technologie. Da es sich bei *Alley Farming* und generell bei der Agroforstwirtschaft um komplexe Technologien handelt, ist eine frühe konsequente Einbindung von Landwirten in die Entwicklung und Auswertung dieser Technologien für ihre Akzeptanz und Überführung in die Anwendung von ausschlaggebender Bedeutung.

5 Zusammenfassung

Regenwald im humid-tropischen Afrika weicht deutlich schneller als in Asien und Lateinamerika der feldbaulichen Landnutzung, in erster Linie durch kleinbäuerliche Subsistenzlandwirtschaft. Die Nachhaltigkeit der in diesem Prozess konventionell verwendeten wanderfeldbaulichen Methoden (*shifting, slash-and-burn, swidden cultivation*) ist wegen komprimierter Bracheperiode infolge zunehmenden Bevölkerungsdruckes nicht mehr gewährleistet. Ebenso ist die kontinuierliche, auf feldbaulichen Monokulturen basierende und massiven externen Düngemiteleinsetzes angewiesene Nutzung humid-tropischer Böden mit erheblichen ökologischen und wirtschaftlichen Risiken und Einschränkungen verbunden. Da die humid-tropischen Böden stark verwittert sind und damit geringe natürliche Fruchtbarkeit, geringes Nährstoff- und Wasserhaltevermögen, sowie unausgewogene Ionenverhältnisse im Austauschkomplex aufweisen, und da die kontinuierlich hohen Umgebungstemperaturen, hohen Regenmengen und Niederschlagsintensitäten die Prozesse der Bodenverarmung und des Bodenverlustes stark beschleunigen, sind sie auf maximalen biologischen Schutz für ihre Erhaltung angewiesen. In Anlehnung an die Verhältnisse des Regenwaldes, der solchen Schutz gewährleisten kann, ist die Nachhaltigkeit feldbaulicher Nutzung dieser Böden aufs engste mit ihrer synchronen Assoziation mit Baumvegetation verbunden. Pflanzen- und tiergenetisch vielfältige, auf komplexen Regelmechanismen ruhende Landnutzung geringen externen, aber normalerweise hohen betriebsinternen Aufwandes im Sinne integrierter agro-sylvo-pastoraler Systeme scheinen allein den hohen Erfordernissen der humid-tropischen Ökologie in nachhaltiger Weise gerecht zu werden. Erfahrungen in der zentral- und westafrikanischen Region mit dem Ansatz des *Alley Farming*, in dem systematisch nährstoffpumpende, bodenstabilisierende Leguminosen-Sträucher und -Bäume mit Feldkulturen kombiniert werden, lassen den Schluß zu, daß die Nachhaltigkeit kleinbäuerlicher, feldbaulicher Landnutzung in den humiden Tropen

unter geringem externen Einsatz von landwirtschaftlichen Produktionsmitteln gewährleistet werden kann.

Summary

The African humid-tropical rainforest is converted into agricultural land far more rapidly than Latinamerican or Asian rainforest. In Africa this process is primarily propelled by smallholder subsistence agriculture. The sustainability of the methods conventionally utilized in this process (shifting, slash-and burn, swidden cultivation) ist threatened by the shortening of fallow periods due to increasing rural population pressure. Similarly, continous, monoculture-based field crop production on humid-tropical soils with massive external input use is linked with considerable ecological risks and constraints. Since humid-tropical soils are strongly weathered and therefore present low inherent fertility, low nutrient and water retention capacity, and unbalanced ion load in the exchange complex, and since continously high ambient temperatures, high rainfall amounts and high rainfall intensities accelerate the processes of soil deterioration and soil loss, these soils require maximum biological protection for their sustainable utilization. In analogy to the conditions prevailing within the rainforest which can provide such soil protection, the sustainability of the soil resource in field crop production is intimately linked with its association with tree vegetation. It appears that only genetically diverse, complex, integrated tree-, crop- and animal-based land use with low-external, but normally high internal input use in the sense of integrated agro-sylvo-pastoral systems are in a position to sustainably satisfy the high requirements of the humid-tropical ecology. Experiences gathered in the Central and Western African region with the *Alley Farming* concept which systematically combines nutrient pumping and soil stabilizing legume shrubs and trees with field crops and small ruminants indicate that the sustainability of smallholder field crop based land use in the humid tropics can be assured under conditions of low external input.

Anmerkung der Redaktion: eine überarbeitete Fassung dieses Artikels erscheint in einem von Greenpeace aufgelegten Buch 'Regenwälder Zentralafrikas'

Literaturverzeichnis

1. ATTA-KRAH, A.N. and N. SANGINGA, 1990: AFNETA Annual Technical Report, 1990. IITA, ILCA, ICRAF.
2. ATTA-KRAH, A.N.; SUMBERG, J.E. and L. REYNOLDS, 1986: Leguminous fodder trees in the farming system - an overview of research at the Humid Zone Programme of ILCA in southwestern Nigeria. In: Haque, I., Jutzi, S. and P.J. Neate (eds), 1986: Potentials of forage legumes in farming systems of sub-Saharan Africa. ILCA, Addis Ababa, Ethiopia.
3. ALTIERI, M.A.; TRUJILLO, F.J. and J. FARRELL, 1987: Plant-insect interactions and soil fertility in agro-forestry systems: implications for the design of sustainable agro-ecosystems. In: Gholz, H.L. (ed). Agroforestry: realities, possibilities and potentials, pp. 7-19, Martinus Nijhoff.

4. BENE, J.G.; BEALL, H.W. and A. COLE, 1977: Trees, food and people; land management in the tropics. IDRC 084e, pp.1-52.
5. BMZ/FAO, 1990: FAO-Aktuell, Nr. 38/90.
6. BROWN, L.R. and C. WOLF, 1985: Reversing Africa's Decline. Worldwatch Paper 65. Worldwatch Institute.
7. CRITCHLEY, B.R.; COOK, A.G.; CRITCHLEY, U.; PERFECT, T.J.; RUSSEL-SMITH, A. and R. YEADON, 1979: Effects of bush clearing and soil cultivation on the invertebrate fauna of a forest soil in the humid tropics. *Pedobiologia* 19, 425-438
8. DE T. ALVIM, P., 1978: Agricultural production potential of the Amazon region. In: Sanchez, P.A. and L.E. Tergas: Pasture production in acid soils of the tropics. CIAT, Colombia.
9. DE WILDE, J.C., 1967: Experiences with agricultural development in Africa. Vols I & II. John Hopkins, Baltimore, MD.
10. FOX, R.L. and B.T. KANG, 1977: Some major fertility problems of tropical soils. In: Miscellaneous Publication 145. College of Tropical Agriculture, University of Hawaii.
11. HAQUE, I., 1990: Soil-related constraints to the production of herbaceous and tree legumes in sub-Saharan Africa and their alleviation. International Symposium on Soil Constraints on Sustainable Plant Production in the Tropics. Kyoto, Japan, 14.-16. August 1990.
12. HILL, R.D., 1990: Environments, production and resources. *Resource Mangement and Optimization*, 7 (1-4): 1-37
13. JENKINS, D.S. and A. AZANABA, 1977: Decomposition of carbon-14 labelled plant material under tropical conditions. *Soil Sci.Soc. Am. J.*41: 912-916.
14. JURION, F. and J. HENRY, 1969: Can primitive farming be modernized? Hons. Series, Brussels, 457pp.
15. KANG, B.T.; WILSON and L. SIPKENS, 1981: Alley cropping maize and *Leucaena* in southern Nigeria. *Plant and Soil* 63: 165-179.
16. KANG, B.T.; WILSON, G.F. and T.L. LAWSON, 1984: Alley cropping, a stable alternative to shifting cultivation. IITA, Ibadan, Nigeria.
17. KANG, B.T. and B. DUGUMA, 1985: Nitrogen management in alley cropping systems. In: Kang, B.T. and J. van der Heide (ed). Nitrogen management in farming systems in the humid and subhumid tropics. Institute for soil fertility, Haren, Netherlands, pp. 269-284.
18. KANG, B.T.; VADIVEL, R.; OSINUBI, O.A. and F.M. GATMAITAN JR., 1986: Establishing and managing alley cropping plots. Farming Systems Program, IITA, Ibadan, Nigeria.
19. KANG, B.T. and G.F. WILSON, 1987: The development of alley cropping as a promising agroforestry technology. In: Steppler, H.A. and P.K.R. Nair (eds), 1987: Agroforestry: a decade of development. ICRAF, Nairobi.
20. KANG, B.T. and R. VAN DEN BELT, 1990: Agroforestry systems for sustained crop production in the tropics with special reference to West Africa. In: Moore, E. (ed): Agroforestry landuse systems. NFTA, Waimanalo, Hawaii.
21. LAL, R., 1985: Mechanized tillage systems effects on physical properties of an Alfisol in watersheds cropped to maize. *Soil & Tillage Research* 6: 149-169.
22. LAL, R., 1976: Soil erosion problems on an Alfisol in Western Nigeria and their control. IITA Monograph, 1, 208 pp.

23. LAL, R., 1986a: Conversion of tropical rainforest: agronomic potential and ecological consequences. *Advances in Agronomy* 39: 173-264.
24. LAL, R., 1986b: Soil surface management in the tropics for intensive land use and high and sustained production. *Advances in Soil Science*, 5: 1-109.
25. LAULY, J.P. and J. CLEMENT, 1979: FAO For. Misc. Paper 79/1
26. LOWE, R.G., 1987: Development of Taungya in Nigeria. In: Gholz, H.L. (ed): *Agroforestry: realities, possibilities and potentials*. Martinus Nijhoff.
27. MCINTIRE, J., 1985: *Fertilizer use in Africa*. IFDC, Muscle Shoals, Alabama, USA.
28. NGAMBEKI, D.S. and G.F. WILSON, 1984: Economic and on-farm evaluation of alley cropping with *Leucaena leucocephala*. IITA, Ibadan, Nigeria.
29. NYE, P.H., 1955: Some soil forming processes in the humid tropics. IV. The action of soil fauna. *J. Soil Sci.* 6: 73-83.
30. OBENG, H.B., 1978: Soil, water, management and mechanization. *Afr. J. Agr. Sci.* 5: 71-83.
31. OKAFOR, J.C. and E.C.M. FERNANDES, 1987: Compound farms of southeastern Nigeria, a predominant homegarden system with crops and small livestock. *Agroforestry Systems* 5:153-168.
32. PERFECT, T.J.; COOK, A.G.; CRITCHLEY, B.R. and A. RUSSEL-SMITH, 1981: The effect of crop protection with DDT on the microarthropod population of a cultivated forest soil in the sub-humid tropics. *Pedobiologia* 21: 7-18.
33. SANCHEZ, P.A., 1976: *Properties and management of soils in the tropics*. Wiley, New York.
34. SANCHEZ, P.A. and J.G. SALINAS, 1981: Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. *Advances in Agronomy* 34: 279-406
35. SANCHEZ, P.A.; BAUDY, D.E.; VILLACHICA, J.H. and J.J. NICHOLAIDES, 1982: Amazon basin soil: management for continuous crop production. *Science* 216: 821-827.
36. SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A.; DAVEY, C.A.; SCOTT, L.C. and C.E. RUSSELL, 1985: Tree crops or soil improvers in the humid tropics. In: Cannell, M.G.R. and I.E. Jackson (eds): *Attributes of trees as crop plants*. Inst. terrestrial Ecology, Natural Environment Research Council, Huntington, England, pp. 327-350.
37. SANCHEZ, P.A., 1987: Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. In: Stepler, H.A. and P.K.R. Nair (eds): *Agroforestry: a decade of development*. ICRAF, Nairobi.
38. SANCHEZ, P.A. and J.R. Benites, 1987: Low-input cropping for acid soils of the humid tropics. *Science* 238: 1521-1527.
39. SUMBERG, J.E.; MCINTIRE, J.; OKALI, C. and A.N. ATTA-KRAH, 1987: Economic analysis of alley farming with small ruminants. *ILCA Bulletin* 28: 2-6.
40. VERGARA, N.T., 1982: *New directions in agroforestry: the potential of tropical legume trees*. EPI, East-West Centre, Hononulu, Hawaii, 36 pp.
41. VERGARA, N.T., 1987: Agroforestry: a sustainable land use for fragile ecosystems in the humid tropics. In: Gholz, H.L., *Agroforestry: realities, possibilities and potentials*, Martinus Nijhoff.

42. WADSWORTH, F.H., 1983: In: Golley, F.B. (ed): Tropical rainforest ecosystems. Elsevier, Amsterdam, pp. 278-288.
43. WILLEY, R.W., 1979a: Intercropping - its importance and research needs. Part 1: competition and yield advantages. *Field Crop Abstracts* 32(1): 1-10.
44. WILLEY, R.W., 1979b: Intercropping - its importance and research needs. Part 2: agronomy and research approaches. *Field Crop Abstracts* 32(2): 73-85.
45. YOUNG, A., 1986: The potential of agroforestry as a practical means of sustaining soil fertility. In: Prinsley, R.J. and M.I. Swift: Amelioration of soil by trees. Commonwealth Secretariat, London.
46. YOUNG, A. and P. MURAYA, 1990: SCUAF - Soil Changes under Agroforestry. ICRAF.