

4.5. Vegetationsgestaltung

4.5.1. Einleitende Betrachtung

"Wenn man in den Tälern von Aragua (Venezuela) die Indigofelder, statt sie aufzugeben und brachliegen zu lassen, nicht mit Getreide, sondern mit anderen nährenden Pflanzen und Futterkräutern anpflanzt, wenn man dazu vorzugsweise Gewächse aus verschiedenen Familien nähme, und solche, die mit ihren breiten Blättern den Boden beschatten, so würden allmählich die Felder verbessert und ihnen ihre frühere Fruchtbarkeit zum Teil wiedergegeben werden."

A. von Humboldt (1767-1835)¹⁾

Über 180 Jahre ist es schon her, seitdem Alexander von HUMBOLDT bei seiner Reise durch die Tropen Südamerikas diese Feststellung getroffen hat. Trotzdem fanden solche Ansätze bis in jüngste Zeit keinen Eingang in die Entwicklungsstrategien für die Landwirtschaft der Tropen.

Erst in den letzten Jahren, unter dem Eindruck zunehmender ökologischer Schäden, knapp werdender, nicht erneuerbarer Ressourcen und des Scheiterns der Grünen Revolution in den kleinbäuerlichen Betrieben der Tropen, findet ein Umdenken statt. Es setzt sich mehr und mehr die Erkenntnis durch, daß Reinbestände einzelner Feldfrüchte, verbunden mit dem Einsatz intensiver mechanischer Bodenbearbeitung, mineralischer Düngung und chemischem Pflanzenschutz, ein zwar "modernes", aber unzureichendes Mittel darstellen, um die Fruchtbarkeit und Produktivität tropischer Standorte zu erhalten und zu verbessern (JANZEN, 1973; IGBOZURIKE, 1977). "Neue", den speziellen Bedingungen der Tropen angepaßte Anbau- und Betriebssysteme werden entwickelt und wiederentdeckt, wobei den neuen Entwicklungsansätzen gemeinsam ist, daß die landwirtschaftlichen Aktivitäten in den Zusammenhang der soziokulturellen und ökonomischen Faktoren auf der einen und der ökologischen Erfordernisse und Gegebenheiten auf der anderen Seite gestellt werden. Die Nachhaltigkeit der Produktion erhält Priorität gegenüber kurzfristigen Erträgen und Gewinnen (IGBOZURIKE, 1977; EGGER, 1982; ALTIERI et al., 1983; KOTSCHI und ADELHELM, 1984).

Der Vegetationsgestaltung, d.h. der Zusammensetzung und dem strukturellen Aufbau der Agrarvegetation, kommt dabei eine bedeutende Rolle zu.

1) Aus: "Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent" in: "Süd-amerikanische Reise" von A.von HUMBOLDT, Safari-Verlag, Berlin 1979, S. 211

Einhellig wird an landwirtschaftliche Vegetationsformen der Anspruch gestellt, daß sie eine hohe Vielfalt (Diversität) aufweisen sollen, die sich in Charakter und Zusammensetzung an natürlichen Ökosystemen orientiert. Die Forderung basiert auf der Hypothese, daß eine hohe Diversität in der Regel auch mit einer hohen Stabilität verbunden ist. Ferner wird davon ausgegangen, daß natürliche Vegetationsformen den standörtlichen Verhältnissen durch gemeinsame Entwicklung (Ko-Evolution) so angepaßt sind, daß sie ein Optimum an Produktivität und Stabilität erreichen. So wird z.B. angenommen, daß es zu einem dynamischen Gleichgewicht zwischen Schaderregern und Nützlingen bzw. Pflanzen gekommen ist, oder daß ein Ökosystem Mechanismen und Kreisläufe entwickelt hat, um die begrenzenden Wachstumsfaktoren eines Standorts optimal zu nutzen (z.B. hoher Nährstoffumsatz zum Ausgleich geringer Nährstoffmengen im Regenwald). Die dominierenden Merkmale und Lebensformenmuster standorttypischer Ökosysteme werden folgerichtig als Modelle für die Entwicklung landwirtschaftlicher Systeme betrachtet, oder anders ausgedrückt: Die annähernde Simulation der natürlichen Ökosysteme durch landwirtschaftliche Produktionssysteme dient als Ausgangspunkt für die Entwicklung geeigneter Ansätze der Landnutzung in den Tropen (UHL und MURPHY, 1981; ALTIERI et al., 1983).

Als Orientierungshilfe und Zielvorstellung, welche Produktivität mit innovativen, naturnahen Agroökosystemen erreicht bzw. angestrebt werden sollte, dienen die Werte natürlicher, standortentsprechender Pflanzengesellschaften (siehe hierzu auch Kap. 2.2.).

Von vornherein ist klar, daß jede Art der Landwirtschaft - auch eine ökologisch orientierte - von der Vielfalt naturbelassener Ökosysteme wegführt, denn Landwirtschaft bedeutet schon per definitionem Systemveränderung mit dem Ziel, eine für den Menschen möglichst weitgehend nutzbare Nettoproduktion zu erwirtschaften.

Eine im obigen Sinne ökologisch orientierte Landwirtschaft ist aber - im Gegensatz zu vielen "modernen" Kulturformen - bemüht, das Ausmaß der Störungen und Eingriffe in die Ökosysteme von Anfang an möglichst gering zu halten bzw. wieder zu verringern.

Dies geschieht in der Absicht, sich die Regelmechanismen und Produktivkräfte der standortspezifischen Ökosysteme zunutze zu machen und die Agroökosysteme bzw. Humanökosysteme dadurch bereits in der Grundauss-

legung zu stabilisieren.¹⁾

Ein solches Vorgehen setzt Kenntnisse über die Wasser-, Nährstoff-, Biomasse- und Energieflüsse und die Speicher im Naturhaushalt voraus. Auch Grundkenntnisse und Beobachtungen der Zusammenhänge und Strukturen in natürlichen Ökosystemen im allgemeinen und des spezifischen, individuellen Standorts im besonderen sind dazu nötig (siehe auch Kapitel 2.).

Im folgenden wird der Versuch unternommen, einige dieser Zusammenhänge anhand der klassischen, ökologisch angewandten Systemtheorie und ihrer Hypothesen (z.B. der Diversitäts-Stabilitäts-Theorie) darzustellen und zu diskutieren.

4.5.2. Zum Wesen von Ökosystemen

4.5.2.1. Die Regulation von Ökosystemen

Aussagen über die Belastbarkeit oder die Stabilität von Ökosystemen zu treffen, ist eines der schwierigsten Aufgabengebiete der Ökologie (ARNDT, 1981). Je mehr Kenntnisse jedoch über die Anordnung und die Beziehungen von Komponenten eines Ökosystems vorliegen (Systemidentifikation), desto eher sind auch Voraussagen möglich.

Nach außen hin funktionieren die Systeme wie eine Einheit, die mit anderen Einheiten bzw. der Umwelt in Wechselbeziehung steht (HART, 1980).

In sich selbst stellen sie ein komplexes Wirkungsgefüge zwischen Organismen untereinander und ihrer anorganischen Umwelt, dem Biotop, dar.

Einen wichtigen Regelmechanismus in Ökosystemen stellt das Prinzip der negativen Rückkoppelung dar, wodurch eine Regelgröße (Output) direkten Einfluß auf den Regler (Input) nimmt, der wiederum seine Größe steuert.

1) Betriebsfremde, externe Hilfsmittel wie z.B. Pflanzenschutzmittel, mineralische Handelsdünger, Maschineneinsatz zur Bodenlockerung usw. werden von vornherein auf eine Hilfs- oder Ergänzungsfunktion beschränkt. Sie sind nicht Grundlage des Produktionsprozesses, sondern werden nur dort eingesetzt, wo die Eigenregulation und Stabilität der Systeme aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung oder sonstiger Einflüsse unvollkommen bleibt (z.B. Nährstoffexport durch Handel, Bodenveränderungen durch den Anbau kurzlebiger Kulturen). Externe Ressourcen und Betriebsmittel sollten nur so eingesetzt werden, daß die natürlichen Regelmechanismen gestärkt, nicht aber unterbrochen und ersetzt (substituiert) werden (siehe unten, Abb. 4.5.a., 4.5.b.).

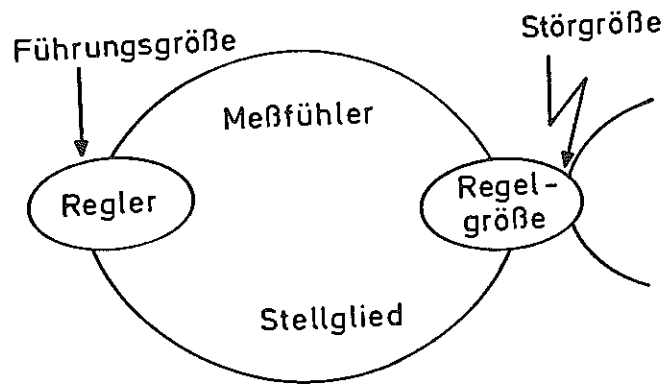


Abb. 4.5.a.: Kybernetisches Modell eines rückgekoppelten Regelkreises (nach ARNDT, 1981)

In einem Ökosystem bestehen nun äußerst viele solcher Regelkreisläufe, und es sind in der Regel um so mehr, je mehr Komponenten (z.B. Pflanzen- und Tierarten) einem System angehören, so daß schließlich ein vernetztes System von Regelkreisen vorliegt.

Der in Abbildung 4.5.b. dargestellte Ausschnitt aus einem vernetzten Regelsystem zeigt die Regelung eines qualitativen Merkmals (Bodenstruktur). Die Streu sorgt für die Nährstoffe, die Energie und günstige, klimatische Bedingungen des Bodenlebens. Dieses lockert und lüftet den Boden und schafft damit günstige Bedingungen für die Nährstoffmineralisierung, die Durchwurzelung und Nährstoffaufnahme, wodurch wiederum das Wachstum der Vegetation und damit der Schutz des Bodens und die Streubildung gefördert wird (positive Rückkopplung).

Im unteren Teil (2.) von Abb. 4.5.b. werden die funktionalen Beziehungen durch vollständige Rodung der Waldvegetation stark beeinträchtigt, das Bodenleben wird kaum noch mit Streu versorgt und nimmt ab. Der Boden verhärtet und wird verdichtet; ein vermehrter Oberflächenabfluß ist die Folge. Auch die Nährstoffauswaschung, welche durch die in zeitlicher und räumlicher Ausdehnung reduzierte Durchwurzelung mit annuellen Kulturen

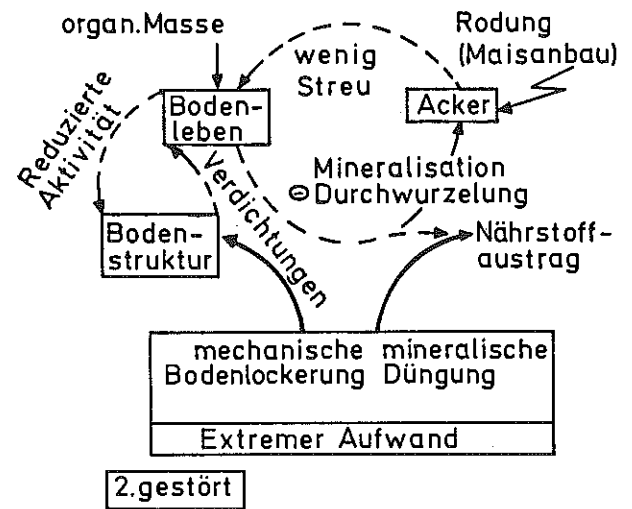
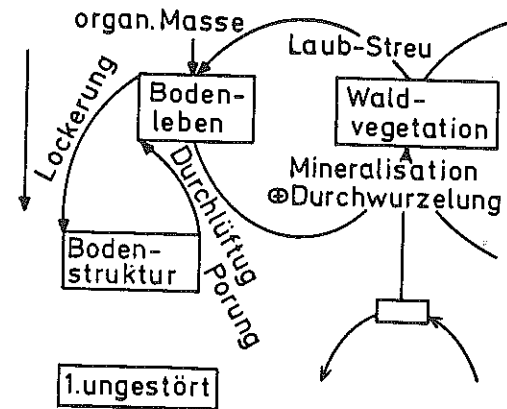


Abb. 4.5.b.: Regelkreise in einem stark vereinfachten Ausschnitt aus einem Gesamtsystem im tropischen Wald.
 1. Im natürlichen Zustand
 2. Einfluß der Störgröße Rodung (annuelle Kultur)

gefördert wird, nimmt stark zu. Das System¹⁾ ist aus dem Gleichgewicht geraten und kann in seinen wesentlichen Funktionen nur durch externen Aufwand (Inputs wie z.B. Mineraldüngung, mechanische Bodenlockerung) stabilisiert und gestützt werden.

Eine negative Rückkopplung liegt vor, wenn z.B. durch den verstärkten Anbau einer Pflanzenart ein Schadorganismus gefördert wird. Seine Zunahme, die zunächst auf der Zunahme seiner Wirtspflanzen beruht, führt nun zum Rückgang der Wirtspflanzen, wodurch sich der Schädling selbst seine Lebensgrundlage entzieht und sehr stark abnimmt. Die Wirtspflanzen können sich dann wieder ausbreiten, bis sie erneut von der Zunahme der Schädlinge kontrolliert werden usw.

4.5.2.2. Stabilität und Diversität

Das in Abb. 4.5.a. dargestellte Prinzip der rückgekoppelten Regelkreise führt in den Subsystemen und in den Ökosystemen insgesamt zu einem Pendeln um einen Gleichgewichtszustand, den man als **dynamisches Gleichgewicht** bezeichnet. Die Stabilität eines Ökosystems ergibt sich aus dessen Fähigkeit, in einem Gleichgewicht zu verharren bzw. nach Störungen wieder in den Gleichgewichtszustand zurückzufinden (MARGALEFF, 1969; ARNDT, 1981). Dies geschieht durch Strukturen, die Störeinflüsse von außen abschwächen (z.B. Bodenbedeckung gegen Regenaufprall und Boden-erhitzung), sie rückgängig machen (z.B. Nährstoffreserven, die einen Kahl-fraß relativ schnell ausgleichen helfen) oder durch Strukturen, die Störungen innerhalb des Systems durch negative Rückkopplung ausgleichen (z.B. Kontrolle einer Massenvermehrung von Schädlingen durch Zunahme der Parasiten dieser Schaderreger oder längerfristig durch Änderung der Be-standeszusammensetzung (GIGON, 1974).

Für das Verständnis des Verhaltens von (Agro-)Ökosystemen ist es wichtig zu wissen, daß es verschiedene Typen von Ökosystemen gibt, die sich in ihrer Grundstruktur und in ihrem Verhalten bezüglich der Stabilität unterscheiden:

1) Ackerbausystem mit annuellen Kulturen

Zum einen existieren **in Entwicklung begriffene Ökosysteme**, die sich **bei wechselnden Umweltfaktoren** gebildet haben und die (noch) nicht ausgereift sind. Sie haben eine geringe bis mittlere Artenzahl, und die Beziehungen der Arten und Elemente des Systems weisen (noch) rela-tiv wenig vernetzte Verknüpfungen unter sich selbst, dafür aber rela-tiv viele Beziehungen nach außen auf. Die auftretenden Arten sind weithin Generalisten (breites Wirkungsfeld), und ihr Vorkommen wird stark von der physikalischen Umwelt beeinflusst.

In solchen Systemen ist die Wahrscheinlichkeit von Massenvermehrungen einzelner Arten relativ hoch, d.h. die Schwankungen um einen Gleichgewichtszustand können recht groß sein (relativ instabile Gleichge-wichte). Dafür besitzen solche Systeme eine relativ große Elastizität ("Gummi"), weil Generalisten andere Funktionen mit übernehmen kön-nen.

Den zweiten Typ von Ökosystemen stellen **ausgereifte Klimaxökosyste-me** dar, die sich **unter konstanten Umweltbedingungen** entwickelt haben und eine hohe Artenvielfalt (Diversität) besitzen. Zahlreiche vernetzte Beziehungen zum System führen zu einer hohen Eigenregula-tion, die relativ wenig von äußeren Einflüssen abhängt (Austauschvor-gänge mit der Umwelt sind auf das Notwendigste Beschränkt). Die biologischen (inneren) Faktoren treten als Regulatoren in den Vorder-ground. Die Schwankungen um die Gleichgewichtslage sind gering, Mas-senvermehrungen sehr selten. Ein solches Ökosystem ist sehr stabil, aber auch sehr unelastisch ("Glas"), da Spezialisten gestörte Funktio-nen anderer Komponenten nur bedingt mitübernehmen können (ELLEN-BERG, ODUM zit. in ARNDT, 1981).

In Tabelle 4.5.1. sind vereinfacht und verallgemeinert die zwei beschrie-benen Typen mit einigen wichtigen Eigenschaften dargestellt.¹⁾

1) Die Realität ist zwar meist komplizierter - so kann z.B. die Arten-diversität in gestörtem bzw. genutztem Grasland höher sein als in un-gestörtem -, als Arbeitshypothese leistet das Modell aber gute Dienste.

Tab. 4.5.1.: Einige Eigenschaften zweier Ökosystemtypen (verändert nach ARNDT, 1981, und ODUM, zit. ebenda)

Merkmale	Ökosystem in Entwicklung	Klimaxökosystem
(Produktivität)	(groß)	(gering) (siehe 4.5.2.3.)
Nahrungskette	linear	vernetzt
organische Gesamtsubstanz	wenig	viel
Nährstoffe	frei verfügbar	inkorporiert
Artendiversität	klein	groß
Wirkungsbreite der Organismen	groß, generell	klein, speziell
Nährstoffkreislauf	offen	geschlossen
Austauschgeschwindigkeit mit der Umwelt	schnell	langsam
Symbiosen, Parabiosen	unentwickelt	entwickelt
Nährstoffspeicherung	gering	groß
Entropie (nicht verfügbare Energie)	groß	gering
Elastizität (Stabilität)	groß	gering
Beständigkeit (Stabilität) Festigkeit	klein	groß

Alle vorkommenden Ökosysteme stellen Formen dieser zwei Typen und deren Übergangsformen dar.

Im Bereich der Tropen findet sich der erste Typ vor allem in den stark wechselsfeuchten Randtropen und in den vom täglichen Frost heimgesuchten Hochgebirgslagen.

Der tropisch-immergrüne Regenwald stellt das typische Beispiel für den zweiten Ökosystemtyp dar, der sich unter dem einmalig gleichförmigen Klima der inneren Tropen zu einem voll ausgereiften System, d.h. zu einem Klimaxsystem im absoluten Sinne, entwickeln konnte.¹⁾

1) Der Klimaxbegriff wird nicht immer einheitlich gebraucht. Meist bezeichnet er die Lebensgemeinschaft, die sich auf einem bestimmten Standort unter ungestörten, natürlichen Verhältnissen bildet (bilden würde) und sollte dann als "standörtliche Klimaxform" oder "-lebensgemeinschaft" bezeichnet werden.

Unabhängig von der jeweiligen Ausprägung der Ökosysteme nennt GIGON, (1974) folgende Kriterien, die für die Stabilität von besonderer Bedeutung sind:

- **Kreislaufprinzip:** Es ermöglicht die Existenz von ökologischen Systemen bei sehr geringem Stoffimport und ohne Ansammlung von "Abfall".
Beispiel:

Belassen von Biomasse und Ernterückständen und die Rückfuhr aller Verarbeitungsrückstände und Verdauungsrückstände in das System (z.B. über Kompost)

- das **Kapital** (an Nährstoffen) soll **groß** sein im Vergleich zu den zirkulierenden Stoffen im Umlauf.

Beispiel:

Importe und Exporte (Entzüge) eines Systems können Schwankungen unterliegen. Wenn die Kapitalreserve im System hoch ist, wirken sich diese kaum auf dieses aus, d.h. Nährstoffe einer Ernte z.B. können - ohne das System tiefgreifend zu beeinflussen, entnommen werden, wenn die Reserven im Boden und/oder Vegetationsspeicher relativ groß sind.

- die **Pufferungskapazität**, das heißt die Fähigkeit, Ungleichgewichte in der Umwelt bzw. in den Umweltfaktoren abzufuffern, soll gut ausgeprägt sein.

Beispiel:

Der Humusgehalt eines Bodens puffert Schwankungen der Niederschläge und chemische Ungleichgewichte der Bodenlösung ab. Baumüberbau über Kaffee puffert das Bestandesklima gegen äußere Klimaschwankungen (z.B. Frost, extreme Hitze) ab.

- **Koevolution der Organismen** (gemeinsame Entwicklungsgeschichte in einem gemeinsamen Lebensraum).

Beispiel:

Eine Pflanze (bzw. Pflanzengesellschaft), die sich zusammen mit einem Komplex von Schaderregern entwickelt hat, befindet sich in einem gewissen Gleichgewicht mit diesen. Wird ein Schaderreger eingeschleppt oder die Pflanze in eine andere Umwelt 'verpflanzt', ist das Risiko des Zusammenbruchs von Gleichgewichten groß.

- **Stabilisierende Wechselwirkungen** (negative Rückkopplung). Sie sind sehr bedeutend und dürfen nicht blockiert werden.

- **Diversität.** Vielfalt von Komponenten und Beziehungen (MARGALEFF, 1969).

Beispiel:

Die verschieden tiefe und intensive Durchwurzelung eines Bodens durch einen artenreichen Pflanzenbestand stellt letzterem ein höheres Nährstoffkapital zur Verfügung und ermöglicht eine Verminderung der Nährstoffauswaschung.

Je weniger dieser Kriterien in einem (Agro-)Ökosystem erfüllt werden, um so labiler ist es und um so mehr Vorsicht, Behutsamkeit und meist auch Aufwand ist nötig, um es in seinen Funktionen aufrechtzuerhalten.

MARGALEFF (1969) und ARNDT (1981) verweisen darauf, daß mit hoher Diversität (der Begriff soll im folgenden noch etwas näher erläutert werden) in der Regel mehr Stabilität verbunden ist. Ergänzend bemerken sie jedoch auch, daß dies keine generell verbindliche Regel darstellt, sondern auch andere Faktoren mitspielen können, von denen die eben aufgeführten sehr bedeutend sind.

Nach VARESCI (1980) hängt das Ausmaß der Diversität vor allem von den Standortfaktoren ab, d.h. unter konstanten, "optimalen" Bedingungen, unter denen "viele Arten dem freien Spiel ihres Vermehrungspotentials" folgen können, entwickelt ein System zwangsläufig eine hohe Diversität. Weicht einer der Standortfaktoren vom optimalen Wert ab, werden viele Arten ausgeschaltet, d.h. ein einseitig gewordenes Milieu provoziert auch einseitige Vegetationsformen.

Ausnahmen von der Regel finden sich in traditionellen Reisökosystemen, in Schilfökosystemen oder in den Mangrovenwäldern. Es handelt sich hierbei um relativ stabile Ökosysteme bzw. Agroökosysteme, die trotz relativ konstanter, günstiger Umweltbedingungen artenarm geblieben sind. Wie die folgenden Überlegungen zeigen, erweisen sich diese oft zitierten Ausnahmen bei näherer Betrachtung nur noch bedingt als solche, denn zum einen wirkt der Faktor Wasser stark einer höheren Artenvielfalt entgegen (einseitiges Milieu), zum anderen läßt sich feststellen, daß die Diversität nicht so gering ist, wie sie auf den ersten Blick erscheint, denn die genetische Vielfalt (Heterogenität) der Arten (Landsorten, Populationen) trägt in starkem Maße zur Stabilität der Systeme bei. Sie bricht zusammen, wenn die in langer Entwicklungsgeschichte mit den Systemen entstandenen Sorten oder Populationen durch genetisch einheitliche Zuchtformen ersetzt werden (Beispiel: die Reissorte IR 8).

Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß die Eintönigkeit der Systeme

nur für den Betrachter aus der Luft existiert, denn unter dem Wasserspiegel weisen die Systeme eine wesentlich höhere Vielfalt auf.

Ganzjährig günstige Umweltbedingungen bieten aber nicht nur die Möglichkeit zu großer Vielfalt, sondern stellen nach JANZEN (1973) auch einen Zwang zur Artenvielfalt dar (beispielsweise zur Kontrolle von Schaderregern).

Dieser Aspekt führt von der quantitativen Vielfalt zu einer funktionalen Vielfalt. Die Diversität, die nach VARESCI zunächst als gegeben erscheint, resultiert demnach auch aus den Funktionen im Ökosystem (MARGALEFF, 1969), wie zum Beispiel der Anpassung an die Boden- und Nährstoffverhältnisse durch differenzierte Mechanismen des Recyclings oder der Nutzung unterschiedlicher Lichtverhältnisse.

Ein dritter Gesichtspunkt der Diversität erwächst aus den Systemstrukturen, denn viele Beziehungen in einem System ergeben sich nur, wenn die Komponenten in einer gewissen Struktur angeordnet sind. (Beispiel: Halbschatten entsteht bei einer lockeren, lichten Anordnung von Bäumen; Kernschatten und volles Sonnenlicht bei einer horstähnlichen Anordnung.)

Hiermit ergibt sich ein vollständiger Begriff vom Wesen und Sinn der Diversität erst aus der Verbindung der verschiedenen Gesichtspunkte und durch deren Zusammenwirken (Abbildung 4.5.c.).

Für die Theorie ökologisch orientierter Landwirtschaft folgt daraus:

Es wird von der Hypothese ausgegangen, daß Diversität und Stabilität in engem Zusammenhang stehen und daß die standörtliche Klimaxvegetation mit ihrem Charakter und ihrer Diversität eine - bezüglich Stabilität und Produktivität - weitgehend optimale Standortanpassung vollzogen hat. Folgerichtig gilt es, diese Klimaxvegetation in den wesentlichen Komponenten, Strukturen und Funktionen zu erfassen und auf landwirtschaftliche Systeme anzuwenden.¹⁾

1) Diese Überlegung schließt nicht die Möglichkeit aus, die sich aus einer Veränderung der Standorteigenschaften z.B. durch Drainage, Terrassierung oder Bewässerung für die Gestaltung der Vegetation ergeben. Traditionell stellen solche Eingriffe, die von WISEMAN (zit. in HARRISON und TURNER, 1978) analog zu "biologisch" geprägten Intensivierungsmaßnahmen als "geointensive" Maßnahmen bezeichnet werden, ein wichtiges Mittel dar, um die Biotope zu verändern und damit auch die Vegetation bzw. das Pflanzensortiment freier und nutzbringender gestalten zu können.

Systemstabilisierende Gesichtspunkte - in der Konzeption der "standortgerechten Landwirtschaft" repräsentiert durch "essentielle Elemente"¹⁾ - sollten dabei im Interesse einer nachhaltigen Produktion im Vordergrund stehen.
 In einem zweiten Schritt ist der Ansatz dann so auszugestalten und zu modifizieren, daß eine in Art und Umfang befriedigende Produktivität erzielt wird.

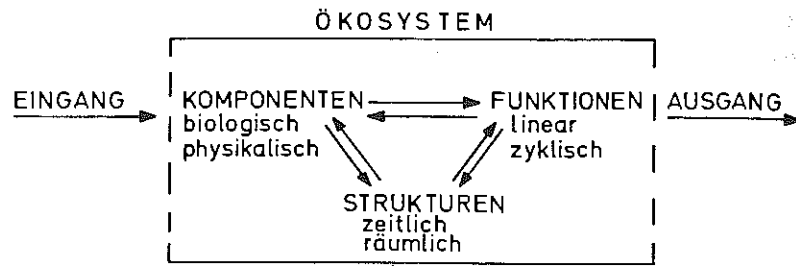


Abb. 4.5.c.: Zusammensetzung eines Ökosystems und das Beziehungsfeld der Grundelemente zueinander (in Anlehnung an HART, 1980)

4.5.2.3. Produktivität

Gegen die Grundkonzeption einer naturnahen Gestaltung der Agrarvegetation wird oft das Argument angeführt, Ökosysteme mit hoher Vielfalt besäßen nur eine sehr geringe Produktivität, einfache, "junge" Ökosysteme dagegen würden eine sehr hohe Produktivität aufweisen (MARGALEFF, 1969; ODUM, zit. in ARNDT, 1981; siehe Tab. 4.5.1. in oberster Zeile).

1) Vgl. DSE/GTZ, 1982; EGGER, 1982.

Nur so ist es zu verstehen, daß der Ökologe GIGON (1974) schreibt: "Die Erkenntnis, daß Klimaxökosysteme keine, sogenannte Wachstumsökosysteme jedoch eine sehr beträchtliche Nettoproduktion haben, führte den Menschen dazu, einfache Ökosysteme (z.B. Weizenreinkulturen) zu schaffen, da nur einfache Systeme produktiv sind."

Hierzu ist folgendes zu bemerken (siehe Abb. 4.5.d.): GIGON u.a. betrachten die Ökosysteme von außen (!) und stellen fest, daß einfache oder junge Ökosysteme einen hohen Biomassezuwachs haben (in Abb. 4.f.d. als Nettoproduktion bezeichnet bzw. mit B gekennzeichnet). Das ist der Fall, weil von der Gesamtphotosyntheseleistung (in der Abb. mit G gekennzeichnet) in einem einfachen, sich in Entwicklung befindlichen Bestand (einem halbgewachsenen Maisfeld z.B.) nur ein geringer Teil (V) wieder veratmet wird (absterbende, alte Blätter z.B., die durch Mikroorganismen zersetzt, d.h. veratmet werden. Die Nettoproduktion (B) wird dann als Produktivität bezeichnet.

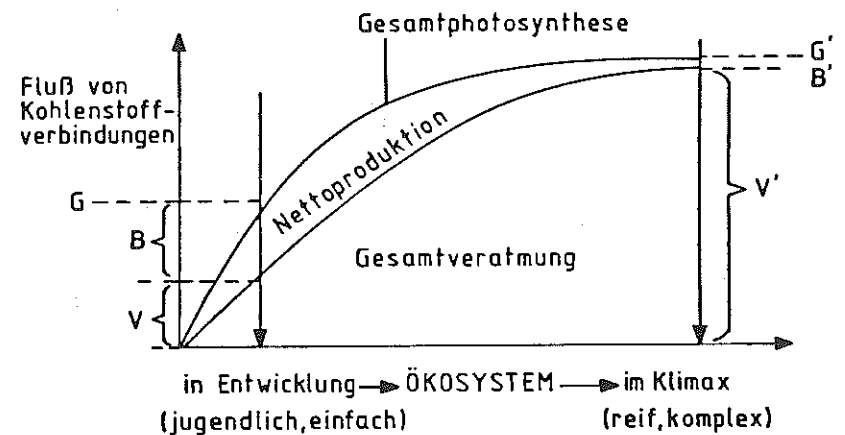


Abb. 4.5.d.: Produktion und Veratmung in natürlichen Ökosystemen verschiedener Art bzw. verschiedenen Alters (nach GIGON, 1974; leicht verändert) G, G': Gesamtbiomasseproduktion; B, B': Biomassezuwachs; V, V': Veratmung

Vollkommen anders stellt sich der Aspekt der Produktivität von Ökosystemen dar, wenn wir aus der Rolle des außenstehenden Beobachters in die Rolle der Systemkomponente wechseln und uns als Teil des Ökosystems - des Humanökosystems - begreifen.

Aus dieser Position (sie ist die einzig zulässige und richtige in diesem Zusammenhang) beteiligt sich der Mensch an der Veratmung der produzierten Biomasse. Soweit er sie nutzen kann, nimmt er sie in Form von Nahrung zu sich (CO_2 -Produktion, Energiegewinn, Wärmeproduktion) und ist damit analog den anderen Elementen des Ökosystems (Pilzen, Bakterien, Vögeln etc.) an der Gesamtveratmung beteiligt.

Aus dieser Sicht wird die Produktivität eines Ökosystems, bezogen auf den Menschen, nicht durch den Zuwachs an Biomasse (= Nettoproduktion) repräsentiert, sondern ausschließlich durch den Anteil an der Gesamtveratmung, den der Mensch sich direkt oder indirekt¹⁾ nutzbar machen kann.

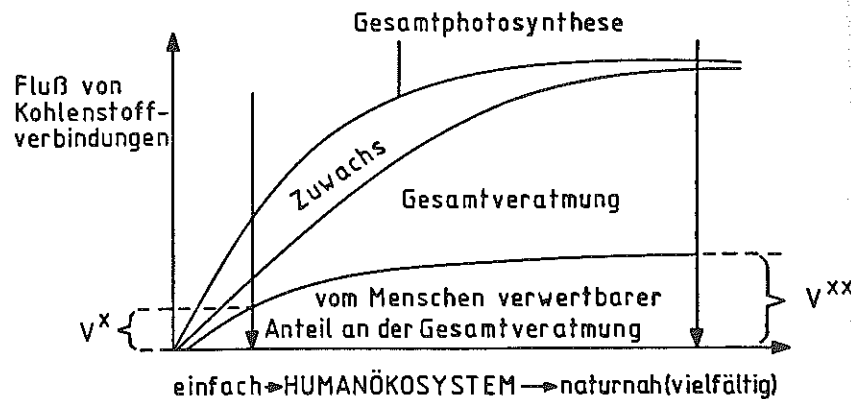


Abb. 4.5.e.: Schematisches Modell der Produktivität von Ökosystemen mit dem Anteil (V), der vom Menschen genutzt werden kann
 V^* : Anteil in einfachen Systemen; V^{**} : Anteil in vielfältigen Systemen

1) Z.B. durch technische Aufbereitung oder durch Biokonversion von Zellulose und Lignozellulose (GASPARY et al., 1982).

Wenn es dem Menschen gelingt, eine naturnahe Vegetation so zu gestalten, daß sie reich an Pflanzen ist, die für ihn verwertbar sind, kann er in einem diversifizierten System mit annäherungsweise Simulation der natürlichen Vegetationsform mehr erwirtschaften (V^{**} in Abb. 4.5.e.) als in einem unentwickelten, monokulturähnlichen System (V^*).

Es ist also falsch zu argumentieren, nur einfache Systeme seien produktiv. Im Gegenteil ist davon auszugehen, daß die eingangs des Kapitels angestellten Überlegungen mit den Gesetzmäßigkeiten des Verhaltens von Ökosystemen in Einklang stehen und aufgrund der höheren Gesamtphotosyntheseleistung diversifizierter, naturnaher Systeme sogar höhere Produktivitäten zu erzielen sind (- bei gleichzeitiger Erfüllung der Forderungen nach hoher Geschlossenheit, Stabilität und Nachhaltigkeit).¹⁾

4.5.3. Gestaltung naturnaher Agroökosysteme

4.5.3.1. Einleitung und Konzeption

Anhand eines spielerischen Beispiels mit einer noch aus wenigen Komponenten bestehenden Mischvegetation (Abb. 4.5.f.) soll der Weg zur Gestaltung naturnaher Agroökosysteme etwas erläutert werden, wobei auch klar wird, daß dieser Weg nicht einfach ist, sondern noch viel Forschung, praktische Arbeit und Erfahrung erfordert.

In einem gegebenen System übe ein Baum (B) eine beschattende Wirkung auf ein Kraut (\triangle) aus und kontrolliere den Bodenbedecker in seinem Wuchs, wodurch die Staude (S) gut gedeihen kann (Zustand I). Durch Holznutzung wird nun B entfernt und die Staude durch eine fruchttragende Staude (S') ersetzt. Die Funktion von B muß im neuen System auf irgendeine Weise ersetzt werden, was auf verschiedene Weise geschehen kann:

- a) indem Kraut \triangle durch häufiges Hacken bekämpft wird,
- b) indem man die gefälltten Bäume (B) durch Kaffeesträucher (B^*) ersetzt,
- c) es ist zu überlegen, ob Kraut \triangle nicht zu nutzen wäre.

1) Gesichtspunkte technischer oder arbeitswirtschaftlicher Effizienz bzw. Produktivität der Nutzung bleiben hier zunächst unberücksichtigt.

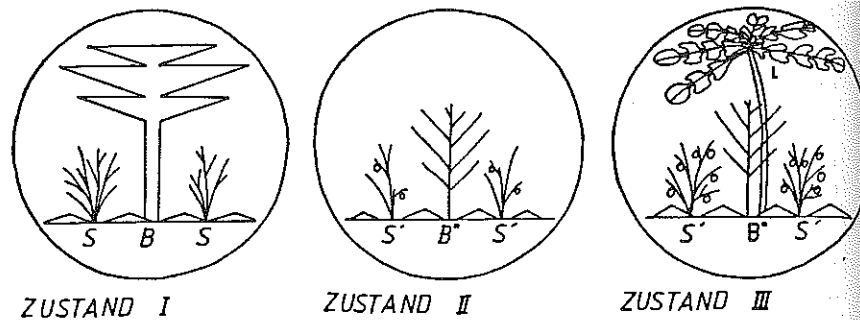


Abb. 4.5.f.: Schematisch dargestellter Ausschnitt aus einer gemischten Vegetation, bestehend aus einer fruchttragenden Staude (S), bodenbedeckendem Kraut (△) und baumartigem Gewächs (B) in verschiedenen Entwicklungsstufen (I-III)

Aufgrund der funktionalen Beziehungen und aus arbeitswirtschaftlichen Gründen wurde Entscheidung b) getroffen.

Nach kurzer Zeit stellt sich heraus, daß die Kaffeesträucher weniger Streu produzieren, als der Baum (B) dies tat. Der Humusspiegel des Systems und damit auch Nährstoffreserven, Sorptionskraft, Infiltration usw. gehen zurück. Die Bodenstruktur wird schlechter (Zustand II). Zur Lösung des neu entstandenen Problems gibt es wieder mehrere Möglichkeiten:

- a) Einfuhr von Nährstoffen und Biomasse von außerhalb und Bodenbearbeitung,
- b) Ersatz eines Teils der Kaffeesträucher durch schnell wachsende Leguminosensträucher,
- c) teilweiser Ersatz bzw. Ergänzung der Kaffeesträucher durch einen lichten, streuliefernden Überbau mit einer Baumleguminose (L).

Angenommen, der Bauer habe sich für c) entschieden und damit erreicht, daß das System wieder stabil und produktiv ist (Zustand III), so stellt sich für ihn die Frage, ob das neue System auch wirtschaftlich arbeitet und sich als insgesamt geeignet erweist.

Tut es dies, so ist der Ansatz akzeptiert; wenn nicht, muß die Suche nach Lösungen weitergehen (z.B. anderes Pflanzensortiment bei gleicher Grundstruktur).

Bereits anhand des sehr vereinfachten Beispiels wird deutlich, daß viele Faktoren in die Vegetationsgestaltung eingehen und ein Anbausystem in seiner endgültigen Form von der speziellen Situation abhängt. Außerdem wird klar, daß ein Betriebsleiter überfordert ist, wenn von ihm verlangt wird, einfach einmal auszuprobieren, denn es kann sich nach 5-10 Jahren herausstellen, daß es (noch) nicht das geeignete System war.

Für die Gestaltung naturnaher und nachhaltig produktiver Agroökosysteme bzw. Landnutzungsformen kann die natürliche Vegetation deshalb nicht einziges Leitbild sein.

Lokal oder auf ähnlichen Standorten (noch) vorhandene Strukturen autochthoner Landnutzung, die auf der Basis der standorteigenen Ressourcen über Jahrhunderte oder viele Jahrzehnte hinweg die Produktivität eines Standorts erhalten bzw. verbessern konnten, sind für die Entwicklung stabiler Anbausysteme ebenfalls von hervorragender Bedeutung, denn in solchen Nutzungssystemen werden gleichsam praxisreife Versuchsergebnisse größerer Zeiträume angeboten.¹⁾ Sie erlauben es, Entwicklungsarbeit einzusparen, davon zu lernen und die Praktikabilität - etwa der zeitlichen und räumlichen Kombination verschiedener Pflanzenarten - unmittelbar zu beurteilen.

Forschungsergebnisse aus dem Bereich der Agroforstwirtschaft und der Mischkulturen kommen als drittes wichtiges Standbein für die Konzeption innovativer Landnutzungssysteme hinzu (stets vorausgesetzt, die Erkenntnisse der allgemeinen Agrarwissenschaften und ihrer Hilfsdisziplinen einschließlich der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften werden berücksichtigt).

Zusammengefaßt ergibt sich damit eine Grundkonzeption zur Vegetationsgestaltung, die auf drei wesentlichen Säulen aufbaut: der natürlichen Vegetation, den traditionellen Erfahrungen und den theoretischen und praktischen Erkenntnissen moderner Agrarwissenschaften. In Abbildung 4.5.g. ist

1) Der Wert und die Bedeutung solcher Techniken und Systeme ist durch ihr erwiesenes Funktionieren selbst begründet. Einzelne Teile oder die Grundstrukturen solcher Anbausysteme lassen sich häufig auf andere, ähnlich geartete Standorte übertragen und noch verbessern oder verfeinern.

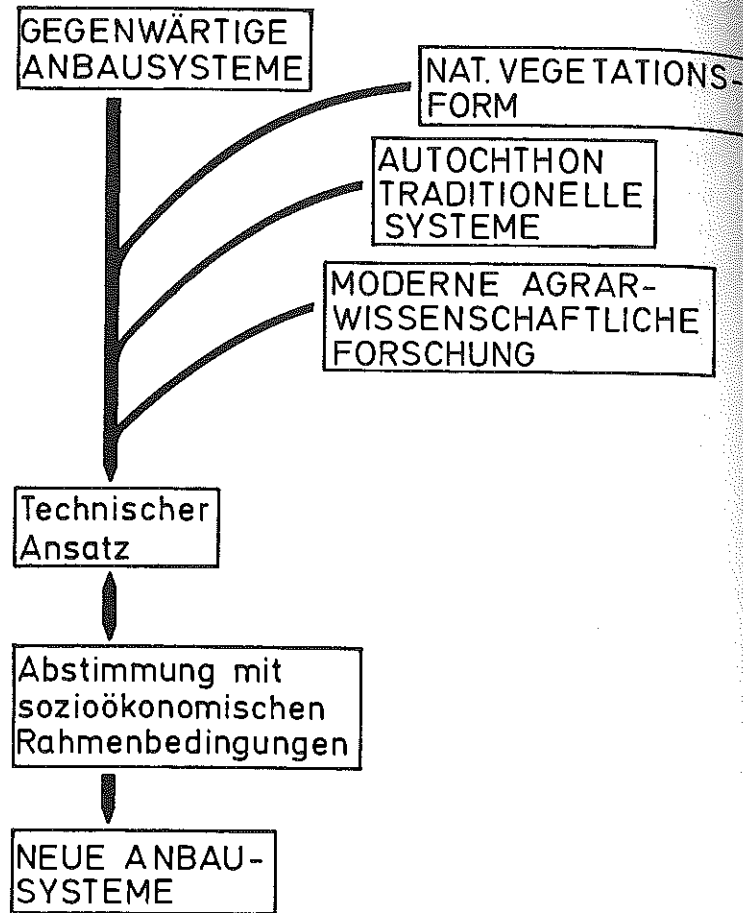


Abb. 4.5.g.: Stufen und Elemente zur Entwicklung naturnaher, nachhaltig stabiler Agrarvegetationsformen (verändert nach BEHMEL und NEUMANN, 1980)

dieser Ansatz nochmals schematisch wiedergegeben. Der Ansatz führt nie zu allgemeingültigen, sondern zu standortbezogenen Systemen, in denen die naturräumlichen und soziokulturellen Rahmenbedingungen zum Ausdruck kommen.

Beispielhaft und mit engerem Bezug zur Praxis werden im folgenden zu dem sehr weitläufigen und umfassenden Komplex der agrarischen Vegetationsgestaltung einige Aspekte von Mischkulturen und agroforstlichen Systemen angesprochen.

4.5.3.2. Mischkulturen¹⁾

Feldbestände, in denen verschiedene Nutzpflanzenarten während eines Teils oder während der gesamten Vegetationszeit in der Weise zusammen heranwachsen, daß sie sich gegenseitig beeinflussen, nennt man Mischkulturen. Sie sind natürlichen Vegetationsformen ähnlicher als Reinkulturen mit nur einer Pflanzenart und werden in traditionellen, auf eine nachhaltige Produktion ausgerichteten Landbausystemen der Tropen sehr häufig angewandt.

Seit einigen Jahren hat sich auch die Agrarforschung zunehmend diesen Anbauformen und dem Studium agroforstlicher Systeme zugewandt. Die bislang erzielten Ergebnisse bestätigen die Hypothese einer möglichen höheren Produktivität und Stabilität der Systeme. Auch Leitlinien zur Gestaltung von Mischkulturen lassen sich schon ableiten und sollen deshalb in knapper Form skizziert werden, bevor dann am Beispiel der Zusammenhänge zwischen Vegetationsform und Schaderregerverhalten exemplarisch gezeigt werden soll, wie vielfältig und komplex die Einflüsse und Möglichkeiten sind, die sich alleine schon durch eine leichte Veränderung der Artendiversität und -anordnung für ein pflanzenbauliches Management ergeben bzw. welche Regelmechanismen durch einseitige Vegetationsformen blockiert sein können.

Kurzfristig betrachtet liegt der Vorteil von Mischkulturen aus landwirtschaftlicher Sicht vor allem darin begründet, daß sie gegenüber Rein-

1) Auf eine umfassende Darstellung des Themas Mischkulturen wird verzichtet, da zu diesem Thema in den vergangenen Jahren mehrere Publikationen erschienen sind, in denen die Mischkulturproblematik umfassend dargestellt wurde (PAPENDICK et al., 1976; BEETS, 1982; STEINER, 1982).

beständen höhere und auch zuverlässigere Erträge bringen. Insbesondere bei der Kombination von Leguminosen und Nicht-Leguminosen wurde dieses Verhalten häufig beobachtet (TRENATH, 1974).¹⁾

Man erklärt sich die Ertragsvorteile von Mischkulturen vor allem damit, daß Mischbestände die Wachstumsfaktoren (z.B. Licht, Wasser, Nährstoffe) besser, das heißt vollständiger, nutzen können als Reinbestände, weil sie in der zeitlichen Abfolge, in räumlicher Hinsicht und/oder prinzipiell verschiedene Ansprüche an den Standort stellen. Obgleich Mischungen dadurch einen höheren Nachfragedruck auf die Standortfaktoren ausüben, konkurrieren benachbarte Pflanzen verschiedener Arten meist weniger um die Wachstumsfaktoren als Pflanzen der gleichen Art; das heißt, die Konkurrenz zwischen den Arten (interspezifische Konkurrenz) ist kleiner als die zwischen Pflanzen gleicher Art (intraspezifische Konkurrenz). Auf den gemeinsamen Lebensraum bezogen folgt daraus, daß die Arten teilweise unterschiedliche ökologische Nischen besiedeln.

Günstige Beeinflussungen oder hemmende Wirkungen zwischen den Pflanzen (Allelopathien) können in Mischkulturen ebenfalls zum Tragen kommen und werden genutzt oder sollten verhindert werden (siehe hierzu z.B. RICE, 1979 und KNAPP, 1980).

Je weniger stark die Konkurrenz zwischen den Arten und je mehr komplementäre und stimulierende Beziehungen sich zwischen den Pflanzen ergeben, um so erfolgreicher ist eine Mischkultur. Aufgrund der Ansprüche der Pflanzen²⁾ und der Kenntnis ihrer Eigenschaften ist es somit möglich, eine Vorauswahl pflanzenbaulich eventuell geeigneter Kombinationen zusammenzustellen. Gültige Aussagen über Eignung und Erfolgsaussichten solcher Kombinationen lassen sich mit Sicherheit aber nur auf der Basis von Anbauversuchen am jeweiligen Standort treffen.

1) Als Maß für den Vergleich von Rein- und Mischkulturen hat sich die sogenannte "Land Equivalent Ratio" (LER) eingebürgert, wobei der LER wie folgt bestimmt wird:

$$LER = \frac{Y_i M}{Y_i R} + \frac{Y_j M}{Y_j R}$$

Y = Ertrag in kg/ha M = Mischkultur
i, j = 2 Kulturpflanzen R = Reinkultur

Beispiel: LER = 0,5 + 0,75 = 1,25

Ein LER von 1,25 bedeutet, daß für Reinkulturen 25 % mehr Fläche notwendig wäre, um den Ertrag der Mischkultur zu erzielen (STEINER, 1982).

2) Siehe hierzu z.B. FAO (1978a) und die tabellarische Übersicht über die Ansprüche der bedeutendsten Kulturpflanzen im dortigen Anhang und DUKE (1978).

Bei der Arbeit vor Ort kann davon ausgegangen werden, daß in traditionellen Betriebssystemen bereits günstige Mischkultursysteme selektiert wurden, die überdies den Vorteil haben, daß sie den soziokulturellen Rahmenbedingungen wie z.B. den Ernährungsgewohnheiten und den Anbautechniken schon angepaßt sind (STEINER, 1982).

Vorhandene Mischkultursysteme und Pflanzenkombinationen sollten deshalb prinzipiell gut studiert, analysiert und beobachtet werden, bevor man daran geht, das Bestehende zu "verbessern" oder neue Systeme zu entwickeln (BEETS, 1982).

Bezüglich der Weiter- und Neuentwicklung von Mischkultursystemen lassen sich aus bisher durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen einige hilfreiche Grundregeln ableiten. So sind nach WILLEY (zit. in STEINER, 1982) erfolgreiche Kombinationen um so wahrscheinlicher, wenn die Mischpartner deutliche Verschiedenheiten aufweisen. Besonders die folgenden Merkmale der Verschiedenheit erwiesen sich als pflanzenbaulich bedeutend:¹⁾

- tiefwurzelnd/flachwurzelnd
- lichtbedürftig/schattentolerant
- hochwüchsig/niederwüchsig
- lange Vegetationszeit/kurzer Wachstumszyklus
- Leguminose/Nicht-Leguminose

Anhand der letztgenannten Eigenschaft läßt sich besonders gut veranschaulichen, wie die Kombination von Pflanzen mit teilweise unterschiedlichen Ansprüchen und Eigenschaften sich auswirken kann:

Wächst eine annuelle Leguminose zeitgleich mit einer anderen Kulturpflanze heran, so kann die Leguminose nur sehr wenig Stickstoff an die Nachbarpflanzen abgeben (FAYEMI, 1972a). Erst die Pflanzen der Nachfrucht können in der Regel den fixierten Stickstoff der Leguminosen aufnehmen. Trotzdem ziehen zeitgleich in Mischkultur heranwachsende Pflanzen Vorteile aus der Nachbarschaft von Leguminosen.

Dieser zunächst etwas verwunderliche Sachverhalt ist auf die Tatsache

1) Sozioökonomisch bedeutende Kriterien können sein: Verkaufsfrucht/Subsistenzfrucht; Futterpflanze/Nahrungspflanze; Pflanze mit/ohne Ertragsrisiko; arbeitsintensiv/arbeitsextensiv.

zurückzuführen, daß ihnen neben Leguminosen im Vergleich zu Nicht-Leguminosen relativ mehr Bodenstickstoff zur Verfügung steht, weil die Leguminosen eine zusätzliche, andere Stickstoffquelle, nämlich den Luftstickstoff, besitzen. Sie konkurrieren deshalb kaum um den Stickstoff der Bodenlösung bzw. sie besiedeln bezüglich des Wachstumsfaktors Stickstoff eine andere ökologische Nische.

DE WIT et al. (1966) konnten dies in Gefäßversuchen mit *Glycine javanica* (*G. wightii*) und *Panicum maximum* sehr anschaulich demonstrieren.¹⁾ In einem Ersatzversuch pflanzten sie Gräser und Leguminosen in ein stickstoffarmes Substrat, in dem Rhizobien für *G. javanica* fehlten (R_0N_0), das heißt, die Leguminose konnte keinen Luftstickstoff binden. In diesen Gefäßen und in dem Gefäß, das nur mit Stickstoff gedüngt war (R_0N_1), konkurrierten die Pflanzen um Bodenstickstoff. Der relative Gesamtertrag lag etwa bei 1 (Abb. 4.5.h.; untere Kurven). Die anderen Gefäße wurden mit Rhizobien beimpft (R_1N_0 ; R_1N_1), fixierten zusätzlich Luftstickstoff und erzielten höhere Stickstoff- und Trockenmasseerträge. Insbesondere auf dem stickstoffarmen Medium (oberste Kurve; R_1N_0) wurde der relative Gesamtertrag deutlich um 50 % und mehr verbessert.

Durch günstige räumliche Anordnung der Kulturen läßt sich oft eine bessere Lichtausnutzung erzielen. So hat es sich z.B. bei Maniok/Erdnuß-Mischkulturen bewährt, den Maniok in Doppelreihen anzubauen, weil dadurch die Unterkultur mehr, die Oberkultur aber noch ausreichend Licht erhält. Während Maniok bei den Pflanzmustern 1 x 1 m bzw. 2,0 x 0,5 m jeweils gleiche Erträge hatte, konnte der Ertrag der in Zweier- und Dreierreihen angebauten Erdnuß bei Doppelreihenanordnung von Maniok deutlich verbessert werden, wodurch insgesamt ein höherer Ertrag zustande kam (GIAT, 1980). Entsprechende Ergebnisse wurden in Indien mit Sorghum und Soja erzielt (Tab. 4.5.2.).

Das Mischungsverhältnis der Arten zueinander (Abb. 4.5.h.) und die Wahl der absoluten Populations- bzw. Pflanzdichte sind weitere bedeutende Gesichtspunkte. So erzielten WILLEY und OSIRU (1972) mit einer Mischung aus 2/3 Mais und 1/3 Bohnen die besten Erträge; der insgesamt beste Ertrag konnte aber erst durch eine deutliche Erhöhung der Pflanzdichte gegenüber den Reinkulturen erzielt werden.

1) Siehe Abb. 4.5.h. nächste Seite

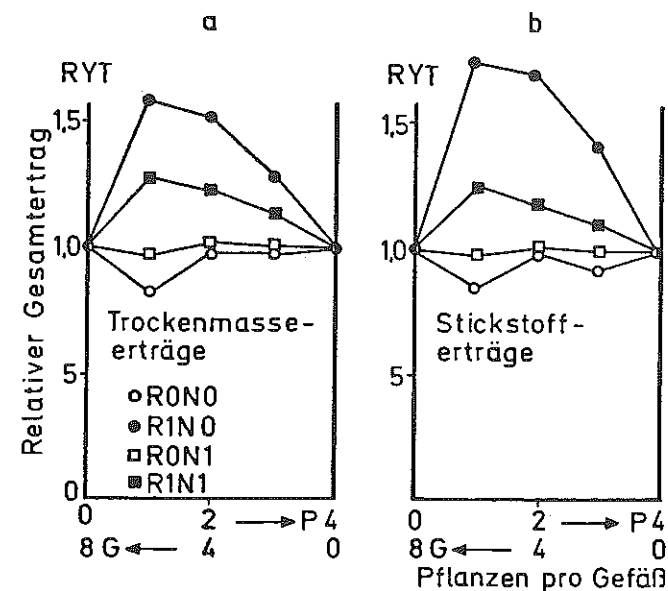


Abb. 4.5.h.: Durchschnittliche relative Gesamterträge (RYT oder LER) von *Panicum maximum* (P) und *Glycine javanica* (G) in unterschiedlichem Mischungsverhältnis. (a) Trockenmasse-Erträge, b) Stickstoff-Erträge (nach DE WIT et al., 1966)

Tab. 4.5.2.: Einfluß der Pflanzenanordnung bei konstanten Populationsdichten (180.000 Pflanzen/ha) von Sorghum auf dessen Kornertrag (dt/ha)* (DE, 1980, zit. in STEINER, 1982)

Pflanzenanordnung von Sorghum	Sorghumkorn- ertrag (dt/ha)
gleichmäßige Reihen 45 cm	44,1
gleichmäßige Reihen 60 cm (+ 1 Reihe Soja Mischkultur)	42,4
Doppelreihen 30-30-60-30-30 cm (+1 Reihe Soja Mischkultur)	43,7
Doppelreihen 30-30-60-30-30 cm (+ 2 Reihen Soja Mischkultur)	42,8
Doppelreihen 30-30-90-30-30 cm (+ 2 ")	43,4

* Durchschnitt von 20 Versuchen 1974-1977

Die relativen Saat- und Pflanzzeitpunkte - falls diese variabel zu gestalten sind - können das Verhalten von Mischbeständen ebenfalls stark beeinflussen (z.B. Aussaattermin von Bohnen in Maniok oder Mais).

Auch die Sortenwahl kann starken Einfluß auf die Mischkulturen nehmen. So erwiesen sich relativ kurzwüchsige Maissorten mit aufrechter Blattstellung als geeigneter für den Mischanbau mit Leguminosen als hochwüchsige Typen mit schlaffem Blatt (WAHKA et al., 1981).

Für Maniokmischkulturen eignen sich aufrechte, spät verzweigende Wuchsformen besser als früh verzweigende Buschtypen (LEIHNER, 1983).

Tagneutrale Sorten lassen sich leichter in Mischkulturen einpassen als solche, bei denen noch die photoperiodischen Ansprüche berücksichtigt werden müssen.

4.5.3.3. Wirkungen von Mischkulturen auf Krankheiten und Schädlinge

Schon einleitend sei angemerkt, daß Mischkulturen sowohl fördernd als auch hemmend auf Schaderreger wirken können, wobei die günstigen, d.h. die befallsmindernden, Wirkungen in der Regel überwiegen. Traditionelle Mischkultursysteme befinden sich mit ihrer Umwelt häufig noch in einem relativ stabilen ökologischen Gleichgewicht und beherbergen eine reichere Nützlingsfauna als Reinkulturen (PIMENTAL u.a., zit. in HASSE, 1981).

Feldversuche der vergangenen Jahre konnten diese Beobachtung wiederholt bestätigen, d.h. mit Mischkulturen kann Massenvermehrungen einzelner, bestimmter Krankheiten und Schädlinge gezielt vorgebeugt werden (PERRIN, 1977; ALTIERI, 1979).

Die dabei wirksamen Mechanismen sind zwar noch weithin ungeklärt, eine ganze Anzahl grundsätzlicher Zusammenhänge konnte aber auch schon aufgedeckt werden.

Als erste Grundvoraussetzung für das Wirksamwerden eines Schadorganismus muß gegeben sein, daß dieser überhaupt in der Lage ist, eine Wirtspflanze aufzufinden und zu befallen. Tagaktive Schädlinge bedienen sich dazu häufig visueller Reize (z.B. der Blattfarben), wie PROKOPKY et al. (1983) dies bei der Kohlflyge (*Delia radicum*) nachweisen konnten.

Wenn nun die Wirtspflanze zwischen anderen Pflanzen steht (besonders wirksam ist der Schutz für Unterkulturen, die im Schutz einer Deckkultur heranwachsen), kann sie durch diese getarnt sein und ist schwerer vom

Schädling aufzufinden.

Auf den Philippinen beispielsweise konnten wichtige Schädlinge der Vignabohnen (Bohnenfliege, Thripse, Blattläuse) von diesen abgehalten werden, wenn sie in 15-60 cm hohe Reisstoppel gesät wurden (HASSE, 1981).

Auch der farbliche Untergrund (Hintergrund) von Pflanzen kann für das Auffinden eine große Rolle spielen. So ist der Befall mit Blattläusen (*Aphis fabae*) bei Ackerbohnen (*Vicia faba*) deutlich geringer, wenn der Boden zwischen den Pflanzen nicht unbedeckt, sondern zum Beispiel mit Hafer bewachsen ist (WAY, zit. in HASSE, 1981).

Viele Schädlinge werden auch durch den Geruch von Wirtspflanzen angelockt. Durch Mischanbau mit anderen Pflanzen kann ein solcher Duft aufgehoben oder abgeschwächt werden, so daß ein Schädling die gesuchte Pflanze nur schwer auffinden kann. Die Fraßschäden durch den Blattkäfer (*Phyllotreta cruziferae*) konnten bei Kohl z.B. um 75 % reduziert werden, wenn Tomaten oder Tabak dazwischengepflanzt waren (TAVAHNAINEN und ROOTS, zit. in STEINER, 1982).

Bei einigen Pflanzen ist der Geruch für bestimmte Schädlingsgruppen so unangenehm und stark, daß sie von Beständen mit solchen Pflanzen abgeschreckt werden (**Repellent-Wirkung**). Solche Eigenschaften werden z.B. dem Zitronengras (*Cymbopogon citratus*), Zwiebeln, Knoblauch, Tagetes, Minzearten und verschiedenen Kräutern zugeschrieben (MARTIN und RUBERTE, 1979; HASSE, 1981).

Ist ein Bestand schon befallen, so kann Mischanbau der Ausbreitung und Vermehrung eines Schadorganismus entgegenwirken (gilt vor allem für wenig bewegliche und bodenbewohnende Schaderreger; PERRIN, 1977). Neben einer reicheren Antagonistenfauna stellt die Gegenwart von Nicht-Wirtspflanzen häufig eine **mechanische Barriere** für die Ausbreitung von Schaderregern dar. So verfangen sich beispielsweise die Raupen des ostasiatischen Maiszünslers (*Ostrinia furnacalis*), welche sich an einem Seidenfaden von einer Maispflanze zur anderen tragen lassen, zu einem hohen Prozentsatz in den dazwischen kultivierten Erdnußpflanzen und waren bei der weiteren Suche nach einer neuen Maispflanze in erhöhtem Maße den im bodennahen Erdnußbestand lauernden, räuberisch lebenden Insekten (Prädatoren) ausgesetzt (HASSE, 1981).

Ein weiterer Kontrollmechanismus ergibt sich aus der Tatsache, daß die Wirtspflanzen in Mischbeständen räumlich weiter verteilt sind, wodurch Schädlinge bedeutend längere Zeit unterwegs sein müssen, um Wirte zu

finden oder zu wechseln. DETHIER (zit. in HASSE, 1981) führt in diesem Zusammenhang Beispiele von Schmetterlingslarven an, die gezwungen sind, als Raupen zu einer weiteren Wirtspflanze zu wandern, da eine alleine dem Gelege als Nahrungsgrundlage nicht ausreicht. Bei diesen Wanderungen nimmt die Chance, nicht von einem Räuber erwischt zu werden, mit zunehmender Wegstrecke rapide ab.

Die durch Mischbau gegenüber Reinkulturen experimentell erzielte Reduktion von Schädlingen betrug meist etwa 30-60 Prozent, das heißt, eine vollkommene Befallsfreiheit ist kaum zu erwarten ¹⁾ und ist auch nicht nötig, denn eine solche Reduktion, verbunden mit einer Stabilisierung des Befalls auf einem relativ niedrigen Niveau, reicht häufig schon aus, um wirtschaftlich bedeutsame Schäden zu verhindern. Das gilt vor allem für Schädlinge, die quantitative Schäden wie z.B. Blattfraß anrichten, denn viele Pflanzen vertragen beachtliche Fraßschäden, ohne im Ertrag negativ darauf zu reagieren (FRYER und MATSUNAKA, 1977).

Die vielleicht bedeutendste pflanzenschützerische Wirkung von Mischkulturen liegt darin, daß die Gefahr von Massenvermehrungen einzelner spezialisierter Schädlinge, durch die oft unberechenbare Schäden in katastrophalem Ausmaß entstehen, stark verringert wird.

Wie Ergebnisse aus Tansania zeigen, ist Mischbau an sich aber noch keine Gewähr für geringeren Schädlingsbefall, denn die falsche Kombination am ungeeigneten Standort kann auch zu Mißerfolgen führen. So wurde der Befall von Baumwolle durch den Baumwollkapselwurm *Heliothis armigera* (polyphag) in Tansania gefördert, wenn die Baumwolle in Staffelmischkultur ("relay-cropping") mit Mais angebaut wurde (nicht so jedoch im ursprünglich traditionellen System mit Sorghum). Da der Schädling im semiariden Klima Tansanias eine Diapause einlegt, gehen die natürlichen Feinde in der Trockenzeit ebenfalls sehr stark zurück, was zur Folge hat, daß sich der Baumwollkapselwurm mit Beginn der neuen Saison sehr schnell und relativ unbehelligt am Mais vermehren kann und danach mit einer schon hohen Ausgangspopulation die für ihn ebenfalls als Wirt dienende Baumwolle befallt.

Im Süden Ugandas, wo ein mehr stetiges, feuchtes Klima herrscht, konnte

1) Untersuchungen von EWEL et al. (1982) deuten eher darauf hin, daß verschiedenartige Mischkulturen an einem Standort eine etwa konstante Befallsquote auf niedrigem bis mittlerem Niveau aufweisen.

sich der Schädling unter sonst gleichen Bedingungen nicht so vermehren, denn sowohl der Schädling als auch seine natürlichen Feinde waren hier ganzjährig aktiv (SOUTHWOOD und WAY; REED, beide zit. in STEINER, 1982).

Das Beispiel zeigt, daß die Wirkungszusammenhänge relativ kompliziert sein können und daß neben der Lebensweise von Schädling und Nützlichling auch der Standort berücksichtigt werden muß.

Nematoden nehmen eine gewisse Sonderstellung unter den Schädlingen ein und können beim Übergang zu permanenter Landnutzung ein großes Problem werden. Wenn in einem solchen Fall keine resistenten Sorten zur Verfügung stehen, bleibt den Kleinbauern oft nur die Wahl zwischen langen Anbauphasen (2-3 Jahre) oder aber einer Bekämpfung durch Maßnahmen der Fruchtfolge- und Vegetationsgestaltung. VARMA et al. (1978) z.B. konnten den Nematodenbefall bei Auberginen deutlich verringern, wenn sie diese in Mischkultur mit Tagetes oder Sesam anbauten (Tabelle 4.5.3.). Tagetes und Sesam gelten als Feindpflanzen der pflanzenschädigenden Nematoden und sind geeignet, nematodenverseuchte Böden wieder gesund zu machen. Nach Untersuchungen beim IITA (1976) in Nigeria gilt das z.B. auch für *Arachis hypogaea*, *Stylosanthes gracilis*, *Centrosema pubescens*, *Pueraria phaseoloides*, *Desmodium trifolium*, *Amaranthus* sp., *Paspalum notatum* und *Digitaria decumbens*. Auch *Tripsacum laxum* (ein Schnittgras) soll diese Eigenschaft besitzen (PRINZ, 1983).

Bezüglich der Wirkung von Mischkulturen auf das Auftreten von Krankheiten liegen weniger Untersuchungen vor als bei Schädlingen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß Mischbestände weniger unter Krankheiten leiden als Reinbestände mit gleicher Populationsdichte (mit Ausnahmen). STEINER (1982) zitiert Ergebnisse von BURDON et al., die hauptsächlich vier Mechanismen dafür verantwortlich machen:

- a) In einem Mischbestand sind weniger Pflanzen, die für das gleiche Pathogen anfällig sind und folglich auch weniger, die zur Vermehrung einer Krankheit beitragen. (Beides hindert eine Krankheit an der raschen Ausbreitung.)
- b) Der weitere räumliche Stand der Wirtspflanzen erhöht die Entfernung, die das Inoculum (Sporen, Zoosporen etc.) zurücklegen muß. Damit ist in der Regel eine Reduzierung des Inoculums und ein geringerer Befall verbunden.

- c) Resistente Pflanzen können wie ein Fliegenfänger wirken und Krankheitserreger auf ihrem Weg zur nachbarlichen Wirtspflanze abfangen.
- d) Gegenseitiger Schutz der Pflanzen spielt möglicherweise auch eine Rolle.

Tab. 4.5.3.: Wirkungen der Mischkultur von *Tagetes patula* bzw. *Sesamum indicum*¹⁾ auf den Nematodenbefall und den Ertrag von Auberginen (*Solanum melongena*) (VARMA et al., 1978)

Behandlung	Nematodenbefallsindex 2)	Larvenpopulation in 100 ml Boden	Auberginen- ertrag kg/Parzelle
1. Auberginenreihen (60 cm Abstand) <i>Tagetes</i> zwischen die Reihen gepflanzt	1,5	13	9,1
2. <i>Tagetes</i> u. Auberginen in den Reihen alternierend gepflanzt	1,3	17	9,1
3. Eine Tagesreihe zwischen 2 Reihen gepflanzt, die alternierend mit <i>Tagetes</i> und Auberginen bepflanzt waren	1,2	22	9,5
4. wie 1., aber mit Sesam als Mischpartner ¹⁾	1,2	13	11,3
5. wie 2., aber mit Sesam als Mischpartner	1,8	15	9,7
6. wie 3., aber mit Sesam als Mischpartner	1,2	18	10,8
7. mit Aldicarb (Nematizid) behandelte Auberginenreihen mit 60 cm Abstand	1,2	16	12,7
8. Kontrolle (Auberginenreihe mit 60 cm Abstand)	4,8	69	6,9
GD (5 %)	0,95	10	2,0

1) ist ökonomisch besonders interessant

2) Befallsindex von 1 = kein Befall bis 5 = schwerer Befall

Tabelle 4.5.4. zeigt Ergebnisse von Mischkulturversuchen im tropischen Hochland von Bolivien, wo das Auftreten von Kartoffelkrankheiten im Misanbau deutlich geringer war.

Tab. 4.5.4.: Auswirkung verschiedener Mischkulturen auf den Anteil kranker Kartoffelpflanzen¹⁾ (Schweizerische Stiftung zur Förderung des biologischen Landbaus, 1981)

Behandlung	% kranke Kartoffelblätter (Viren, Pilze)
Kartoffeln (Reinkultur)	21
Kartoffeln und Lupinen (Reihen alternierend)	10
Kartoffeln und Bohnen (Reihen alternierend)	10
Kartoffeln und Lupinen (in der Reihe gemischt)	16
Kartoffeln und Bohnen (in der Reihe gemischt)	12
GD (P = 0,05)	7,6

1) Standort Pairumani, Bolivien, 2630 m. ü.M.

Am ehesten treten befallsmindernde Effekte bei bodenbürtigen Krankheiten auf, wobei die weitere räumliche Trennung hierbei die Hauptrolle zu spielen scheint. Beispielhaft sei hierzu ein Versuch aus Syrien angeführt, wo der Befall von *Cajanus cajan* mit der Welkekrankheit (*Fusarium* sp.) durch Misanbau mit Sorghum sehr deutlich vermindert wurde (ICRISAT, 1982).

Antibiosiseffekte im Bereich der Rhizosphäre, die dann als Barrieren wirken können, sind möglich, aber nicht nachgewiesen.

Je nach Klima, Bestandesklima und Zusammensetzung von Mischbeständen können verschiedene Wirkungen eintreten. So kann der Befall von Maniok mit Mehltau (*Oidium manihotis*) in Kombination mit Mais zunehmen, während mit Bohnen eine deutliche Befallsminderung beobachtet wurde. Bei wenig schattentoleranten Unterkulturen führt eine Deckkultur häufig zur Zunahme pilzlicher Erkrankungen, während bei anderen Kulturen der Befall vermindert sein kann, weil die Sporenausbreitung mittels vom Boden

aufspritzender Regentropfen geringer ist.

Allgemein gilt, daß generelle Voraussagen wegen der komplizierten Zusammenhänge selten möglich sind. Es ist deshalb zu empfehlen, mit verschiedenen Kombinationen und Pflanzmustern zu experimentieren, um für verschiedene Standorte (Klimazonen) günstige Kombinationen zu entwickeln. Durch die Verwertung der Ergebnisse von ökologisch ähnlichen, anderen Standorten und auf der Basis des Studiums von Biologie und Vermehrung der wichtigsten Krankheiten kann die Identifikation erfolgreicher Anbausysteme beschleunigt werden.

Risikovermindernd für den Anbau wirkt sich aus, daß es oft zu kompensatorischen Effekten kommt, d.h. wenn eine Art geschädigt wird, so produziert die andere mehr (PERRIN, 1977).

4.5.3.4. Agroforstwirtschaft

Die Stagnation der Agrarproduktion zum einen und die Zerstörung natürlicher Ressourcen durch das Vordringen des Menschen in Grenzlagen und in die tropischen Wälder auf der anderen Seite führte bei Forst- und Agrarfachleuten zur Suche nach neuen Wegen und zu einer Rückbesinnung auf traditionell verbreitete, nachhaltig produktive Landnutzungsformen der Agroforstwirtschaft (von MAYDELL, 1981). Es handelt sich dabei um eine Landnutzungsart, bei der Bäume mit kurzlebigen Kulturen und/oder Weide kombiniert werden. Die Kombination von Acker- und Forstkulturen (agroforstliche Systeme) bzw. von Forstkulturen und Tierhaltung (sylvopastorale Systeme) kann gleichzeitig oder gestaffelt erfolgen und hat in der Regel zum Ziel, eine hohe Produktion mit Sicherheit und Nachhaltigkeit der Produktion zu verbinden (BUDOWSKY, 1981).

Von seiten der Forstwirtschaft ging die Entwicklung zu integrierten Systemen vor allem vom "Taungya"-System aus, einem Aufforstungsverfahren, bei dem der Boden in neuen Pflanzungen für die erste Zeit Ackerbauern überlassen wird, um dort, zwischen den jungen Bäumen Kulturen anzubauen, bis die Baumbestände sich schließen. Die Pflege der Bestände und die ackerbaulichen Aktivitäten ergänzen sich in diesen Systemen. Als Beispiel sei hier der Anbau von *Gmelina arborea* (ein wertvolles Gehölz zur Papierherstellung) angeführt. Bei Versuchen in Nigeria konnte in den er-

sten drei Jahren Yam und Mais in diesen Pflanzungen angebaut werden, ohne daß ihr Ertrag signifikant geringer gewesen wäre als beim sonst üblichen traditionellen Anbau (OJENIYI und AGBEDE, 1980). METZNER (1982) diskutiert anhand zahlreicher Beispiele aus Indonesien Perspektiven, Möglichkeiten und Probleme solcher Systeme.

Handelt es sich beim "Taungya"-System noch um eine zeitlich begrenzte Integration von Ackerbau und Forstwirtschaft, so konzentrieren sich neuere Forschungen darauf, eine permanente, komplementäre Verbindung von Forstwirtschaft, Ackerbau und Viehhaltung zu schaffen, wobei man sich bei der Entwicklung ebenfalls auf die natürlichen Vegetationsformen und auf bodenständige Ansätze stützt.

Die konzeptionellen Überlegungen und Gesichtspunkte, die bei der Gestaltung produktiver Mischkultursysteme eine Rolle spielen (siehe oben), gelten auch in agroforstlichen Systemen, und selbstverständlich sind auch bei diesen günstige und ungünstige Kombinationen möglich, wie die Ergebnisse in der folgenden Tabelle 4.5.5. verdeutlichen.

Tab. 4.5.5.: Ertrag von agroforstlichen Produktionssystemen unter Kokospalmen (t/ha) (NAIR, 1977, zit. in SALAS und FASSBENDER, 1981)

		Produktion	
		Kokos	Unterkultur
Riesenyam	<i>Amorphophallus companulatus</i>	13,46	16,82
Maniok	<i>Manihot utilisima</i>	14,82	16,78
Süßkartoffeln	<i>Ipomoea batatas</i>	8,38	11,96
Großer Yam	<i>Dioscorea alata</i>	13,61	17,01
Yam	<i>Dioscorea esculenta</i>	9,26	11,57
Chin. Kartoffeln	<i>Coleus barbatus</i>	7,32	11,26
Ginger	<i>Zingiber officinarum</i>	8,61	13,25
Großkürbis	<i>Curcuma longa</i>	10,94	14,84

Das Neue an agroforstlichen Systemen gegenüber Systemen mit nur kurzlebigen, meist krautigen Pflanzen ist, daß diese durch die Baumintegration eine größere Ausdehnung in räumlicher und zeitlicher Hinsicht erfahren, wodurch sich zwangsläufig auch Charakter und Qualität des Agroökosystems verändern.

Das Biomassevolumen wird größer, der Stockwerkaufbau wird ausgeprägter, die Durchwurzelung differenzierter und tiefer, neue mikroklimatische Bedingungen werden geschaffen, äußere Einflüsse wie Licht, Regen und Wind werden stufenweisen gemindert usw. In Abbildung 4.5.i. sind einige der Wirkungen und Einflüsse dargestellt, die eine Baumintegration mit sich bringen kann. Sie sind vor allem dann sehr vielfältig, wenn es sich um Bäume mit Mehrfachnutzung handelt.

Da agroforstliche Pflanzenbestände eine lange Lebensdauer haben und als Produktions- bzw. Agroökosysteme langfristig angelegt sind, müssen im Vergleich zu annuellen Mischkulturen einige Dinge besonders beachtet werden:

Bei der Auswahl der Bäume ist sehr gründlich zu prüfen, ob sie für den Standort geeignet sind. Ihr Gedeihen hängt viel stärker von Klima, Boden (Bodentyp, Bodenart) und Grundwassersituation ab, als dies bei annuellen Kulturen der Fall ist, für die oberflächlich und kurzfristig relativ leicht ein geeignetes Milieu geschaffen werden kann (siehe hierzu auch MONGI und HUXLEY, 1979).

Die Wachstumsgeschwindigkeit der Bäume und die verschiedenen Entwicklungsphasen sollten ebenso bekannt sein wie der Licht- und Raumbedarf in bestimmten Altersstufen und die Schnitt- und Pflegeansprüche bzw. die Schnittverträglichkeit. Weitere wichtige Punkte zur Beurteilung der Eignung zu bestimmten Zwecken, wie beispielsweise Heckenanbau oder Feldüberbauung, sind das Wurzelsystem, das flach, tief, verzweigt oder pfahlähnlich sein kann, die Stammhöhe, die Art der Belaubung, die leicht oder geschlossen, fiederblättrig oder großblättrig sein kann, die Streuproduktion (Menge, Qualität, Zeitpunkt) und die Formen der Nutzung und Nebennutzung. Viele dieser Eigenschaften lassen sich durch gezieltes Befragen der Bauern vor Ort oder im Heimatgebiet der Gehölze erkunden, soweit sie nicht aus vorhandener Literatur entnommen werden können.

Die Baumart, die alle Anforderungen gleichzeitig erfüllen kann, wird es kaum geben. Es kommt deshalb darauf an, vorab die wichtigsten Funktionen und Eigenschaften, die der Baum haben sollte, in einer Rangordnung zu definieren. Erst auf der Basis einer solchen situationsbezogenen Matrix ist es möglich, die jeweils günstigste Baumart oder Kombination von Gehölzen zu identifizieren.

Ein Baum, der in und an Feldern wachsen soll, muß beispielsweise ganz andere Anforderungen erfüllen als ein Baum, der primär der Aufforstung

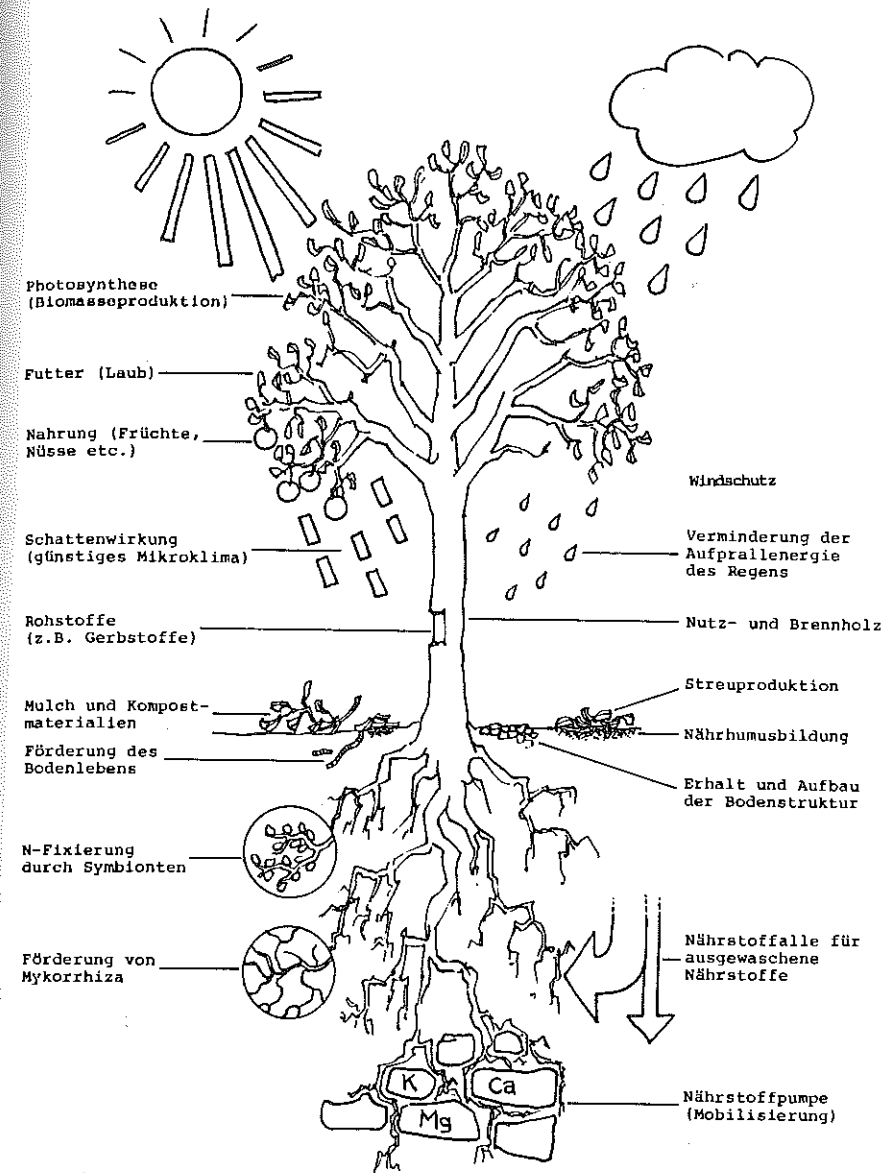


Abb. 4.5.i.: Der Baum als multifunktionale Komponente landwirtschaftlicher Anbausysteme

labiler Hanglagen dient und dessen Nutzungsmöglichkeiten erst an zweiter Stelle, hinter dem Erosionsschutz, eine Rolle spielen, etwa um auch der lokalen Bevölkerung einen Nutzen aus der Aufforstungsmaßnahme zu verschaffen und sie somit daran zu beteiligen (Nußbäume, Latexproduktion, Schellackgewinnung usw.).

Durch die Kombination verschiedener Arten lassen sich bestimmte Eigenschaften einer Baumüberbauung verstärken, mindern oder hinzugewinnen. Mit entsprechenden Pflegemaßnahmen, wie beispielsweise dem Abtrennen oberflächlich verlaufender Wurzeln im Jugendstadium oder durch ein Zurückschneiden, ist es ebenfalls möglich, Baumeigenschaften gezielt zu beeinflussen (PAP, 1985). POULSEN (zit. in FOLEY und BARNARD, 1984) beschreibt einen solchen Fall aus Ostafrika, wo die Silbereiche (*Grevillea robusta*) an den Hängen des Mount Kenia vielfach in Reihen gepflanzt oder über die Felder verstreut kultiviert wird (Dichten bis zu 100 Bäume/ha). Schon nach 5 Jahren haben die Bäume, die bis über 2000 m Höhe gedeihen, eine Höhe von 10 m erreicht, eine Krone ausgebildet und beginnen eine starke Konkurrenz für Unterkulturen darzustellen. Die Bauern schneiden die Bäume in diesem Alter total bis auf den nackten Stamm zurück, der danach überall austreibt und wie ein flaschenförmiger Busch in den Feldern steht. Das Wurzelsystem bleibt erhalten, die Krone beginnt sich wieder aufzubauen und kann nach einigen Jahren (z.B. vor Maisansaat) erneut geschnitten und gemulcht bzw. verwertet werden. Auf diese Weise wächst der Baum weiter, wird höher und dicker und im Alter von etwa 50 Jahren, meist aus besonderem Anlaß, geschlagen.

Nach BEHMEL und NEUMANN (1980) tolerieren viele tropische Bäume den vorübergehenden Verlust von über 50 % ihrer Zweige, ohne daß die Wachstumsrate spürbar beeinträchtigt wird. Im Bergland von Ruanda erwiesen sich vor allem *Grevillea robusta*, *Pinus patula*, *Sesbania sesban*, *Cedrela serrata* und *Leucaena leucocephala* als in dieser Hinsicht tolerante Arten. POUND und FERNANDEZ (1981) entfernten bei Bananenstauden laufend die schon etwas älteren, ausladenden Blätter, ohne damit Ertragseinbußen zu verursachen.

Die abgeschnittenen Zweige können als Mulch oder Gründünger wieder dem Boden zugeführt werden, wandern aber auch oft in die Tierfütterung und werden dann nur teilweise zurückgeführt. Damit die Böden nicht an Humus und energiereichen Verbindungen verarmen, ist auf eine möglichst umfassende Rückfuhr von Nährstoffen zu achten. Besonders wertvoll sind Baum-

arten, die den Humusgehalt fördern und viel Streu produzieren (Nährstoffumsatz, Düngung, Mulch und Humuswirkung). Nach NWOBOSHI (1981) scheinen die Arten diesbezüglich sehr unterschiedlich zu sein. Wie die folgende Tabelle zeigt, können *Inga*-Arten mit einer stickstoffreichen Streuproduktion von 5-8 t TM/ha und Jahr in dieser Hinsicht als ideale Vertreter gelten (Tab. 4.5.6.). Bei Messungen in Kaffeeplantagen in Indien (zit. ebenda) lieferte die Streu dieser Schattenbäume damit jährlich 134 kg N, 78 kg P_2O_5 und 22 kg K_2O pro ha. Teakpflanzungen in Nigeria lieferten etwa 5 t Streu pro ha und Jahr (NWOBOSHI, 1981).

Tab. 4.5.6.: Jährliche Streuproduktion in verschiedenen agroforstlichen Produktionssystemen in Coatepec, Mexico (kg/ha und Jahr, nach JIMINEZ und MARTINEZ, 1979, zit. in SALAS und FASSBENDER, 1981)

	1	2	3	4
Bodenflora	-	143	2600	3963
<i>Coffea arabica</i>	1104	1380	1527	2079
<i>Inga spec.</i>	4918			
<i>Inga inicuil</i>		6857		
<i>Inga leptoloba</i>			8348	
<i>Musa spec.</i>	4227			
Gesamt	10249	8380	9475	6042

Neben der Erfüllung ökologischer Ansprüche müssen Baumkulturen auch den Bedürfnissen der Bauern entgegenkommen, die mit ihnen umgehen sollen. Aus ökonomischer Sicht ist die Konkurrenz, die durch sie entsteht, immer in Relation zu den Vorteilen zu sehen, die durch das Wachstum der Bäume entstehen. Bäume, die leicht und möglichst selbst vermehrbar sind und die mehrere Nutzungsmöglichkeiten besitzen, kommen kleinbäuerlichen Bedürfnissen besonders entgegen, denn Aspekte kontinuierlicher Nutzungsmöglichkeiten sind unter solchen Verhältnissen wichtiger als der Umtrieb. Während in feuchteren Regionen (ökologisch bedingt) und in großen Betrieben (betriebswirtschaftlich bedingt) die Auswahlmöglichkeiten unter in Frage kommenden Arten noch relativ groß sind, nehmen sie mit zunehmender Trockenheit und Flächenknappheit rasch ab; das heißt, in den Feuchttropen ist die Mischung von Arten nicht nur empfehlenswert, son-

dem auch leichter praktikabel. Der Großbetrieb kann viele Arten mit spezieller Nutzung anbauen, während der Kleinbetrieb auf weniger Arten mit vielen Nutzungsmöglichkeiten zurückgreifen wird, insbesondere auf solche, die förderlich auf die Bodenfruchtbarkeit wirken (PRADEAU, 1975).

Bei der Integration von Weidehaltung und forstlichen Aktivitäten, die bei Kleinbauern mit knappem Land allerdings nur selten eine Rolle spielt, ergeben sich nach COMBE (1981) durch Baumüberbauung die in Tabelle 4.5.7. zusammengestellten Möglichkeiten und Gefahren.

Je nach Wahl der Baum- oder Straucharten werden verschiedene Funktionen erfüllt. *Leucaena*-Hecken z.B. können die Tragfähigkeit von Weideland - vor allem in Trockenperioden - deutlich verbessern (MOOG et al., 1981; PATERSON et al., 1981); die Tolerierung von Guavenbäumen auf Weiden liefert Früchte für Mensch und Tier, Brennholz mit relativ gutem Brennwert und bei relativ dichtem Stand auch noch reichlich Futter für eine Schweinemast. In der Tabelle 4.5.8. sind einige Leistungen forstlicher Komponenten auf Weideland aufgeführt.

Neben der Anpassung an den Standort ist in sylvopastoralen Systemen darauf zu achten, daß Futtergräser (-kräuter), Flurholz und Vieharten gut aufeinander abgestimmt sind (noch wenig Erfahrungen). Analog zu pflanzenbaulichen Systemen kommt es darauf an, stets die Systeme als Ganzes und nicht nur Zweierbeziehungen zu bewerten.

Wurden in den bisherigen Ausführungen fast ausschließlich rein landwirtschaftliche Gesichtspunkte dargestellt, so darf dabei doch nicht vergessen werden, daß Agroforstwirtschaft mehr beinhaltet als die Schaffung "neuer", nachhaltiger Produktionssysteme. Agroforstwirtschaft kann einen wichtigen Beitrag dazu leisten, den Druck auf die letzten tropischen Wälder zu mildern. Aus bereits verödeten Flächen kann mit Hilfe von Bäumen wieder produktives Land werden (NAS, 1979); durch den Anbau von schnellwachsenden Brennholzarten werden Wälder und wertvolle Gehölze geschont (NAS, 1980; 1983).

Im Zusammenhang mit sylvopastoralen Systemen betont COMBE (1981) denn auch, daß Agroforstwirtschaft nicht zum Ziel hat, noch existierende Wälder auszulichten und zu besiedeln, sondern sie zielt vielmehr darauf ab, die Nachhaltigkeit und Produktivität bereits bestehender, oft schon degraderter Weideländer z.B. zu verbessern. Agroforstwirtschaft ist ein wichtiges Glied in einer Kette von Maßnahmen, die geeignet erscheinen, tro-

Tab. 4.5.7.: Schutzfunktionen der forstlichen Komponente: Gegensätzliche Auswirkungen des Baumbestandes auf die Weidewirtschaft (nicht abschließende Aufzählung) nach COMBE (1981)

durch den Baumbestand beeinflusster Faktor	mögliche positive Auswirkung	mögliche negative Auswirkung
Licht	qualitativ besseres Futter durch leichte Beschattung; Schattenplätze für das Vieh;	Ertragsausfall an Futter Konzentration des Viehs unter den Bäumen
Temperatur	extrem hohe Bodentemperaturen werden verhindert	tiefe Bodentemperaturen vermindern die biologische Aktivität
Wind	Verminderung der Windgeschwindigkeit	Erhöhter Insektenbefall der Tiere
Wasser	Ausgleichung des Wasserhaushalts	Konkurrenz während der Trockenzeit, Vernäsung während der Regenzeit; Trauf
Boden	bessere Infiltration; Erosionsschutz; Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit	Bodenverdichtung unter den Bäumen, daher geringere Infiltration; lokale Stickstoffüberdüngung; langsamer Laubabbau
Vegetation	Höhere Artenzahl dank verschiedener Mikrostandorte	Einführung wertloser Unkräuter

Tab. 4.5.8.: Funktionen der forstlichen Komponenten in sylvopastoralen Systemen (ausgewählte Beispiele) (COMBE, 1981)

Funktion	Leistung	Baumarten
Produktionsfunktion (materieller Nutzen)	Futterproduktion für Viehzucht	<i>Acacia albida</i> <i>Brosimum alicastrum</i> <i>Diospyros conazotti</i> , <i>D. rosei</i> , <i>D. sonorae</i> usf. <i>Leucaena leucocephala</i> <i>Parkia africana</i> , <i>P. biglandulosa</i> , <i>P. filicoidea</i> , <i>Pithecolobium saman</i> , <i>P. jiringa</i> , <i>P. lobatum</i> usf. <i>Prosopis juliflora</i> , <i>P. chilensis</i> , <i>P. tamarugo</i> <i>Psidium guajava</i>
	Nahrungsmittelproduktion	<i>Cocos nucifera</i>
	Brenn- und Bauholzproduktion auf Weiden	<i>Cordia alliodora</i> , <i>Cedrela odorata</i> <i>Alnus acuminata</i> <i>Eucalyptus deglupta</i> <i>Pinus caribaea</i> <i>Psidium guajava</i>
	Hecken (Weide- u. Koppelgrenzen)	<i>Gliricidia sepium</i> <i>Erythrina poeppigiana</i>
	Forstliche Produktion "Forest grazing"	<i>Pinus radiata</i> , <i>P. caribaea</i> , <i>P. oocarpa</i>
Schutzfunktion (indirekter Nutzen)	Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, natürliche Düngung	<i>Alnus acuminata</i> <i>Erythrina poeppigiana</i> <i>Gliricidia sepium</i> <i>Leucaena leucocephala</i>
	Schattenspender	<i>Pithecolobium saman</i> <i>Alnus acuminata</i>

pische Wälder zu retten und ganze Agrarlandschaften ökologisch wieder zu stabilisieren. Primäres Ziel muß sein, dort wieder Bäume zu pflanzen oder in die Betriebe zu integrieren, wo ihre Beseitigung bereits zu negativen Folgen geführt hat, um über diese Maßnahme die Bodenfruchtbarkeit und die ökologischen Verhältnisse wieder zu verbessern (BUDOWSKI, 1981a; 1984). Die noch intakten Wälder sollten als noch weitgehend unerforschte, komplexe Naturräume besser geschont werden. Auch für die Holzgewinnung sind sie zu schade, und eine Nutzung sollte nach JACOBS (1984), wenn überhaupt, höchstens in der Weise erfolgen, daß Sekundärprodukte wie z.B. Duftstoffe, Arzneien, Latex, Farbstoffe usw. geerntet werden. Sekundärwälder könnten unter menschlichem Einfluß zu ergiebigen Quellen sekundärer Waldprodukte werden, die sich im Bereich der äquatorialen Wälder nach MEULENHOF und SILITONGA (1978) auf über Tausend be- laufen und deren Nutzungsertrag den der Holznutzung sogar übertreffen kann.

Da eine ausführliche Darstellung der Agroforstwirtschaft den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätte, wird zur Weiterbeschäftigung mit dem Thema auf die nachfolgenden Literaturangaben verwiesen.

- 1) Int. Tree Crops J., Berkhamsted, Great Britain (Zeitschrift)
- 2) "Agroforestry Systems", The Hague, Niederlande (Zeitschrift)
- 3) "Agro-Ecosystems", Amsterdam, Niederlande (Zeitschrift)
- 4) CATIE; 1981 (Bibliographie), siehe Literaturverzeichnis
- 5) CHANDLER und SPURGEON; 1979 (Fachtagung)
- 6) COMBE et al.; 1981 (Fachtagung)
- 7) FAO; 1982a (Zusammenstellung tropischer Frucht bäume)
- 8) GÄRTNER et al.; 1982 (Nutzpflanzen in Trockengebieten)
- 9) MAYDELL, von; 1983 (Gehölze im Sahel)
- 10) NAIR; 1980 (allgemein, Pflanzen für agroforstliche Systeme)
- 11) NAS; 1979 (tropische Leguminosen)
- 12) NAS; 1980, 1983 (Arten zur Brennholzproduktion)
- 13) SINGH; 1982 (Futterbäume)

4.5.3.5. Interaktionen zwischen Vegetationsgestaltung und Boden- oder Standortfruchtbarkeit

Besonders eng sind die Beziehungen zwischen Vegetationsform und Standortfruchtbarkeit im Bereich der feuchten Tropen. Wie bereits in Kapitel 2 dargestellt, sind die ökologischen Verhältnisse der Regenwaldtropen einzigartig auf der Welt. Es liegt nahe, daß langfristig nur eine Landnutzung Erfolg haben kann, die sich auf diese einzigartigen Verhältnisse einläßt und bestrebt ist, die Faktoren zu nutzen, die vorhanden sind und diejenigen schont, die knapp sind (Nährstoffreserven, Humus etc.).

Wie ebenso schon ausgeführt wurde, sind die typischen Böden der Regenwaldgebiete extrem sorptionsschwach und nährstoffarm und stellen somit nur wenig mehr als ein verwittertes Skelett für die Verankerung der Pflanzen und die Beherrschung von Bodenlebewesen dar. Der Wald erwächst in seiner Üppigkeit nicht aus dem Nährstoffangebot des Mineralbodens, sondern quasi aus seinen eigenen Zersetzungsprodukten und dem wenigen, das ihm mit Niederschlägen und eventuell aus tieferen Bodenschichten zugeführt wird.

Solange das waldähnliche Milieu erhalten bleibt, funktioniert dieser Kreislauf der Nährstoffe. Wird die Vegetation jedoch beseitigt und durch einfache Ackerkulturen ersetzt, so ändert sich fast alles. Die akkumulierten Nährstoffe gehen verloren, und der verbleibende Mineralboden kann weder Nährstoffe mobilisieren noch speichern und verliert auch seine für pflanzliches Wachstum günstigen physikalischen Eigenschaften.

Sehr deutlich werden diese Zusammenhänge, wenn man sich die Verteilung der Nährstoffkapitale oder -reserven auf einem Regenwaldstandort betrachtet. Über 75 % der organischen Masse, 50 % des Stickstoffs und der überwiegende Teil von P, K, Ca und Mg sind in der Vegetation gespeichert (WEISCHET, 1981). Die Vegetation selbst und die von ihr genährte Humusaufgabe (Nährstoffträger und Sorptionskörper) bestimmen den Nährstoffhaushalt. Wird sie beseitigt, verliert ein Standort seine Reserven und das angesparte Kapital geht in kurzer Zeit durch Auswaschung und Erosion verloren.

Wie der Vergleich in Tabelle 4.5.8. zeigt, können annuelle Kulturen die Funktion eines Nährstoffspeichers nicht übernehmen (nur etwa ein Zwanzigstel der Nährstoffe). Ein Bananenbestand kommt dieser Funktion zwar schon etwas näher, auch er ist jedoch noch weit davon entfernt.

Tab. 4.5.9.: Speicherung bzw. Immobilisierung von Nährstoffen in verschiedenen Vegetationsformen (kg/ha), nach ROOSE (1981)

Vegetation	dichter sekund. Regenwald Adiopodoumé (Elfenbeinküste)	Bananenkultur (Elfenbeinküste)	Mais/Sorghum Feldbestand (Elfenbeinküste)
Nährstoffe			
Biomasse t/ha	510	17,5	4,5 - 7
N μ	1400	250	50-88
P	100	31	8-11
K	600	835	55-66
Ca	1200	160	8-14
Mg	530	60	8-12
Summe Nährstoffe ohne N (kg)	2430	1086	129-191

Tab. 4.5.10.: Nährstoffgehalte (kg/ha) in den oberen 30 cm Boden (Humusschicht) auf verschiedenen Standorten Westafrikas (ROOSE, 1981)

Orte	Adiopodoumé (Elfenbeinküste)	Korhogo (Elfenbeinküste)	Saria (Obervolta)
Nährstoffe	2150 mm/J. 9 Monate humid	1350 mm/J. 5 Monate humid	830 mm/J. 4 Monate humid
Boden	Sol ferrallitique très desaturée	Sol ferrallitique ocre gravillonnaire	Sol ferrugineux
C	45 670	22 280	14 545
N	4 279	1 208	1 130
p ¹⁾	81 (1125)	58 (533)	40 (280)
K	66	173	129
Ca	151	466	1 071
Mg	151	216	319
Gesamtnährstoffe ohne N und p ²⁾	384	855	1 519

1) verfügbares P (Gesamt-P)

2) Nährstoffe, die sehr eng mit organischer Masse korrelieren

Ein wichtiges Kriterium für die Stabilität von Ökosystemen, nämlich die Forderung nach großen Kapitalreserven im Vergleich zum umlaufenden Nährstoffkapital (siehe Abschnitt 4.5.2.2.), wird auf diesen Standorten nur mit einem großen, permanenten Biomassebestand, nicht jedoch mit annuellen Kulturen erfüllt.

Erst oder nur wenn der Mineralboden weniger verwittert ist (z.B. in Savannen), wird der Boden zum bedeutenderen Nährstoffspeicher und die ökologische Funktion der Vegetation als Nährstoffpool geht zurück. Wie ein Vergleich dreier Oberböden aus der Regenwaldzone, der Feucht- und Trockensavanne zeigt, nimmt der Mineralstoffgehalt in den weniger verwitterten Savannenböden zu (Tabelle 4.5.9., letzte Zeile). Abgesehen von den Nährstoffen, die stark von der organischen Substanz abhängig sind (N, P), nimmt ihr Gehalt, trotz abnehmenden Humusgehaltes in den Savannenböden, deutlich zu. (Ein Vergleich der tieferen Bodenschichten mit reinem Mineralboden würde noch viel deutlicher ausfallen.)

Im Zusammenhang mit der Nährstoffsituation muß auch auf den aus praktischer Sicht sehr wichtigen Gesichtspunkt hingewiesen werden, daß die Schaffung artenreicher Vegetationsformen mit einem hohen Biomassevolumen zwangsläufig mit der Festlegung großer Nährstoffmengen verbunden ist (Tabelle 4.5.10.).

Tab. 4.5.11.: Nährstofffestlegung durch einen natürlichen Bracheaufwuchs (Sekundärwald) in verschiedenen Altersstufen in Jangambi (Zaire) nach SYS (1965, zit. in NWOBOSHI, 1981)

Alter der Buschbrache	Biomassebestand	Nährstoffe in oberirdischer Vegetation		
		N	P	K
2 Jahre	20	190	22	160
5 Jahre	112	570	32	420
9 Jahre	153	580	35	670
18 Jahre	173	700	108	820

Kurz- bis mittelfristig sind diese Nährstoffe, die von Stauden, Sträuchern und jungen Bäumen aufgenommen werden, dem Boden entzogen und reichern sich in den anfangs schnell wachsenden Beständen an. Es ist deshalb nicht in jedem Fall damit zu rechnen, daß mit der Schaffung baum-

und strauchbestandener Feldflächen auch sogleich eine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit einsetzt, sondern es muß davon ausgegangen werden, daß dies erst nach einer Übergangsphase der Fall sein wird. Je nach dem Nährstoffzustand der Böden kann es in der Aufbauphase sogar zu einem weiteren Absinken der Fruchtbarkeit kommen, weil die Nährstoff- und Humusgehalte zunächst noch weiter zurückgehen. So fallen bei der Verminderung des Anteils annueller Kulturen z.B. weniger Einterückstände an, und die jugendlichen Dauergewächse produzieren anfangs noch kaum Streu, um dies auszugleichen.

Wie RAMAKRISHNAN und TOKY (1981) in Monsungebieten Asiens feststellten, kann sich der Abbau der organischen Substanz und der Nährstoffgehalte eines Bodens bei Etablierung einer waldähnlichen Vegetation noch lange fortsetzen. Der Stickstoff- und Humusstatus fiel bei ihren Messungen noch bis ins fünfte Brachejahr nach der Anbauperiode weiter ab. Erst danach setzte wieder eine Zunahme des Humus- und Nährstoffgehaltes im Boden ein. Eine deutliche Verbesserung des Phosphat-Status setzte sogar erst nach dem 10. Jahr ein. NWOBOSHI (1981) berichtet von ähnlichen Ergebnissen aus Westafrika.

Um das Auftreten oder die Verschärfung häufig ohnehin schon vorherrschenden Nährstoffmangels zu vermeiden oder zu vermindern, können in der Aufbauphase schnellwüchsige Arten zur frühen Mulch-, Stickstoff- und Biomasseproduktion hinzugezogen werden (z.B. *Leucaena*, *Gliricidia*). Sie verleihen den Systemen schon früh eine Kreislaufdynamik. Auch der Anbau stickstoffbindender Zwischenfrucht- oder Gründüngungspflanzen ist empfehlenswert.

Mineralische Düngung in der Aufbauphase ist vor allem dann angezeigt und sinnvoll, wenn ein Standort kaum Nährstoffe mobilisieren kann (z.B. arme Oxisole) und der Aufbau eines nährstoff- und biomassereichen Agroökosystems nur sehr langsam oder, unter praktischen Gesichtspunkten, überhaupt nicht möglich wäre. Ziel eines solchen Minerale Düngereinsatzes muß es sein, die verarmten Ökosysteme in einer ersten Phase (Aufbauphase) auf ein höheres Nährstoff- und Produktionsniveau zu heben. In einer zweiten Phase (Betriebsphase) müssen die Systeme, die dann einen möglichst geschlossenen Nährstoffkreislauf aufweisen sollen, erhalten und bewirtschaftet werden (siehe auch PRINZ, 1983b). Der Einsatz mineralischer Dünger ist in diesem Fall nicht nur Ersatz für den unterbrochenen

Nährstoffkreislauf, sondern regt die Förderung und Schaffung des natürlichen Kreislaufs wieder an.

Nicht weniger bedeutend wie die Speicherfunktion ist auf sorptionschwachen Kaolinitböden die Rolle der Vegetation beim Nährstoffumsatz. Nur wenn die Böden dicht bestanden und intensiv durchwurzelt sind, lassen sich hohe Nährstoffverluste durch Auswaschung und Erosion vermeiden, denn die Pflanzenwurzeln sind - im Gegensatz zu den Kaolinitböden - äußerst effektive Nährstoffspeicher und -fänger (ROOSE, 1981).

Wie Untersuchungen von EWEL et al. (1982) ergaben, bewirken vor allem alte und heterogen zusammengesetzte Pflanzenbestände eine räumlich und zeitlich gesehen intensive Durchwurzlung (siehe auch Darstellung in Abb. 4.5.k.). Sie ermittelten die Wurzelbiomasse in 9 verschiedenen Vegetationssystemen und fanden in den obersten 25 cm Boden, je nach Pflanzenbestand, zwischen 38 g/m² und 422 g/m² Wurzelmasse (junger Mais bzw. Nachahmung einer natürlichen Sukzession mit landwirtschaftlichen Nutzpflanzen). Die Wurzeloberfläche, ein Maß für die potentielle Nährstoffaufnahme, war nur in denjenigen Systemen sehr hoch, die eine hohe Diversität und ein hohes Alter aufwiesen. Reinkulturen wie junger Mais, Süßkartoffel, aber auch die Baumpflanzung mit *Gmelina arborea*, wiesen die geringste aktive Wurzeloberfläche auf (Tab. 4.5.11.).

In Savannen oder Bergregionen mit nährstoffreicheren Mineralböden bzw. Unterböden, die sorptionsstarke Tonminerale enthalten, ist die Situation anders. Hier steht aus der Sicht der Nährstoffdynamik nicht so sehr ein dichtes, geschlossenes und permanent aktives Wurzelsystem im Vordergrund, sondern mehr das Vermögen, sich Wasser und die darin gelösten Nährstoffe aneignen zu können. Heterogene Pflanzenbestände mit ausdauernden Gehölzen sind auch in dieser Hinsicht sehr vorteilhaft. Dem permanent aktiven und weit ausgreifenden Wurzelsystem steht nämlich ein viel größeres Bodenvolumen und damit auch eine größere nutzbare Wasserkapazität zur Verfügung, ein Aspekt der Bodenfruchtbarkeit, der, vor allem unter teilweise trockenen Bedingungen, häufig ertragsbestimmend ist. In zwanzigjährigen Untersuchungen auf ferrallitischen Böden im Süden der Elfenbeinküste konnte ermittelt werden, daß annuelle Kulturen (Mais) nur über eine mittlere Bodenwasserreserve von 40-60 mm verfügten, während es Weideland auf 75-150 mm brachte. In naturnahen Beständen (Wald oder

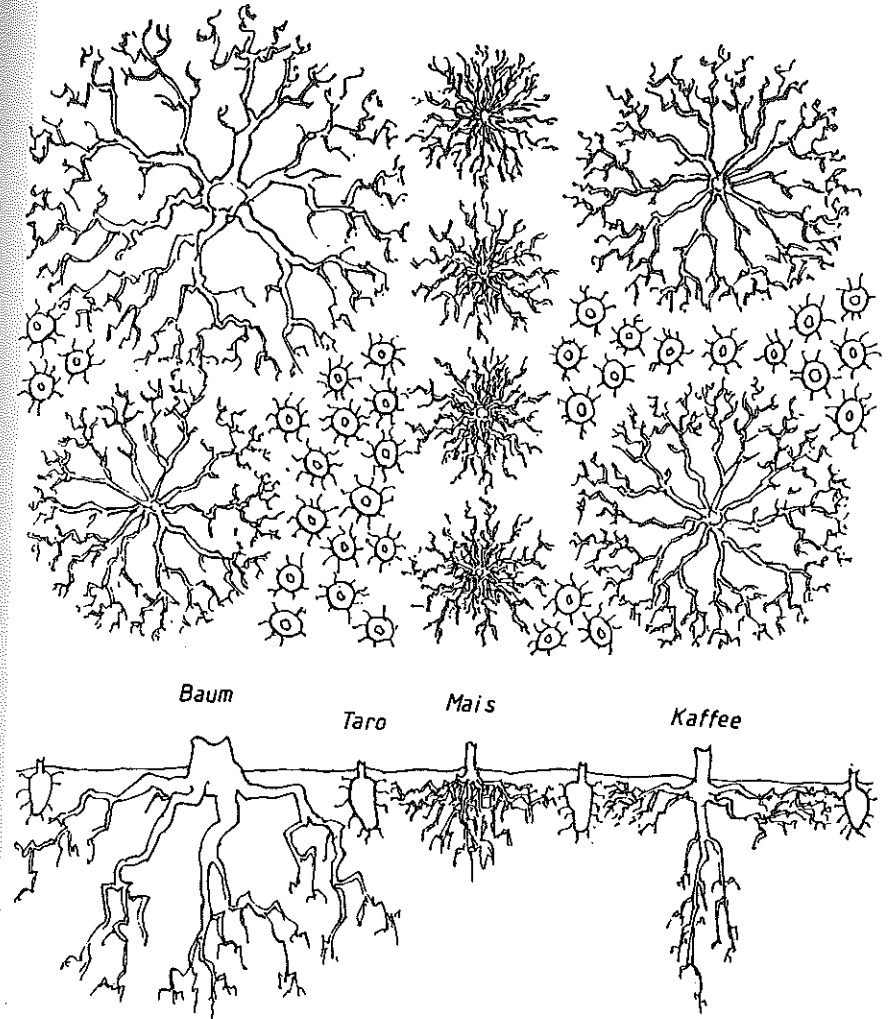


Abb. 4.5.k.: Intensive Durchwurzlung des Bodens durch Mischanbau - A) in horizontaler Ausdehnung; B) in vertikaler Ausdehnung (verändert nach DUPRIEZ und DE LEENER, 1982)

Tab. 4.5.12: Auswirkungen der Vegetationsform auf Durchwurzelung, Bodenbedeckung und Blattflächenindex (nach EWEL et al., 1982)

Vegetationsform	Wurzelbio- masse in g pro m ² 0-25 cm	Wurzelflächen- index	Bodenbe- deckung in %	Blatt- flächen- index
1 Süßkartoffel 48 Tage alt	40,6	0,55	100	2,9
2 Kakao (3x3 m) + Bananen (") + <i>Codia alliodora</i> (Baum) (6x6 m) (System 2,5 J. alt)	271,7	1,75	84	3,4
3 Kaffee (1 x 2,3 m) + <i>Erythrina poeppi- giana</i> (8,3 x 4,2 m) Baum, 2x jährlich geschnitten	234,8	1,65	96	4,0
4 Pflanzung von Bäu- men - <i>Gmelina</i> <i>arborea</i> (2 x 1 bzw. 2 x 3 m) 2,7 Jahre alt, 10 m Höhe	128,5	1,0	98	5,1
5 Natürliche Sukzes- sionsbrache etwa 1 Jahr alt, 5 m Höhe (ca. 100 Arten)	217,5	1,3	96	5,1
6 Nachahmung einer natürlichen Sukzes- sion mit Nutzpflan- zen (ca. 40 Arten) und Hilfspflanzen	421,8	1,2	98	4,2
7 junger Mais (0,9 x 0,2 m) 2 Monate alt	38,7	0,50	56	1,0
8 alter Maisbestand (3,5 Monate) stark verunkrautet	114,9	1,4	88	2,6
9 "Huerto familiar" (Gehölz-Hausgarten), Bäume, Fruchtbäume, Sträucher (Kaffee, Kakao) Gemüse etc.	307,2	2,1	100	3,9 ¹⁾

1) gemessen in Trockenzeit, Überbau z.T. laubabwerfende Arten

2) Wurzeloberfläche von Feinwurzeln in m² pro m² Boden 0-25 cm; Wurzeln
2 mm Durchmesser

Baumgewächse mit Unterkulturen) stand bei einer Durchwurzelungstiefe von 2-3,5 m ein Wasserspeicher von über 200 mm (= 1/m²) zur Verfügung. In der waldähnlichen Vegetation trat akuter Wassermangel viel seltener auf, die Produktion war sicherer und höher (ROOSE, 1981).

Zum Zwecke des Erosionsschutzes ist eine Vegetationsdecke in den Savannen mindestens ebenso bedeutend wie in den feuchteren Tropen.

Die folgenden Überlegungen führen wieder ganz in die humiden Tropen zurück. Wie bereits ausgeführt wurde, spielt neben der Wurzelmasse und dem durchwurzelten Bodenvolumen¹⁾ auch die zeitliche Kontinuität des Wurzelsystems eine wichtige Rolle. Dies wird besonders deutlich in den Überlegungen von BLUM (1981), der die Bodenfruchtbarkeit feuchtheißen Standorte aus einem thermodynamischen Blickwinkel betrachtet: Bodenfruchtbarkeit läßt sich ihm zufolge in vereinfachter Form auch als die Fähigkeit eines Systems definieren, den Pflanzen in einer gewissen Zeit eine bestimmte Menge an Nährstoffen zur Verfügung zu stellen. Da der Nährstoffumsatz in den Tropen viel schneller verläuft (Laubfall, Mineralisation, Lösung in Wasser, Mitnahme im Transpirationsstrom usw.)²⁾ kann eine geringere Nährstoffkonzentration folglich durch eine höhere Umsatzgeschwindigkeit teilweise ausgeglichen werden. In einem System mit weitgehend geschlossenem Nährstoffkreislauf ist in den Tropen bei absolut geringerer Nährstoffkonzentration also das gleiche Wachstum möglich wie in temperierten Gebieten bei höherer Nährstoffkonzentration.

Dieser thermodynamische Aspekt der Standortfruchtbarkeit kommt dann - und nur dann - zum Tragen, wenn eine dem Klima und Boden entsprechende Vegetation mit einer hohen Biomasse und einem effektiven Wurzelsystem vorhanden ist, das heißt, es muß ein naturnaher Pflanzenbestand sein, der die schnell zirkulierenden und damit häufig von Auswaschung bedrohten Nährstoffe effektiv im Kreislauf hält.

Das folgende Beispiel soll die angestellten Überlegungen verdeutlichen: Ein Maisbestand z.B. hat nur während einer relativ kurzen Zeit einen hohen Nährstoffbedarf und verlangt dann eine relativ hohe Nährstoffkonzentration, um in dieser Zeit seinen Bedarf zu decken. Sein Wurzelsystem verhält sich ähnlich; es wächst zunächst zögernd heran, durchläuft eine

1) Das durchwurzelbare Bodenvolumen wird nicht nur von der Vegetationsform, sondern auch sehr stark von den Bodeneigenschaften bestimmt. Lateritschichten, Staunässe und Flachgründigkeit z.B. können limitierend wirken.

2) Siehe Kapitel 2.2.

kurze Phase hoher Ausdehnung und Aktivität und geht dann wieder zurück (hohe Ansprüche, hohe Verluste, geringe Nährstoffzirkulation).

Ganz anders verhalten sich dagegen perennierende Kulturpflanzen (oder Mischbestände von Pflanzen mit unterschiedlichem Entwicklungsverlauf). Aufgrund des ausdauernden Wachstums benötigen sie nicht in dem Maße wie kurzlebige Kulturen hohe Nährstoffmengen in kurzer Zeit, sondern können sich bei geringerer Nährstoffkonzentration über längere Zeit versorgen. Mit ihrem dichten Wurzelwerk sind sie mehr oder weniger permanent aktiv und dadurch kontinuierlich am Biomasse- und Nährstoffumsatz beteiligt, das heißt, sie sind den standörtlichen Verhältnissen besser angepaßt als annuelle Reinkulturen.

Bei Untersuchungen über den Brandrodungsfeldbau im Amazonasbecken fanden UHL und MURPHY (1981) denn auch, daß die Nährstoffentzüge durch drei Jahre Maniokkultur je nach Nährstoff nur 3-10 % der zuvor in der Vegetation akkumulierten Nährstoffe betragen, während die Verluste durch Auswaschung sich im gleichen Zeitraum auf 10-40 % (!) beliefen.

Die Problematisierung von Verlusten, die weniger durch die Struktur von Pflanzenbeständen, sondern durch die Artenwahl bedingt sind, soll die Gedanken zur Nährstoffdynamik in tropischen Agroökosystemen abrunden. Besonders in Ökosystemen, die insgesamt arm an Nährstoffen und Mineralreserven sind, muß eine landwirtschaftlich ausgerichtete Produktion versuchen, den Export der wenigen Reserven zu vermeiden. In bezug auf die Auswahl der Nutzpflanzen ist entsprechend zu fordern, daß sie der standörtlichen Nährstoffsituation angepaßt sind.

Während in subsistenzorientierten Betrieben mit Eigenversorgung der Nährstoffhaushalt - bei entsprechender Vegetationsgestaltung und einer organisierten Düngewirtschaft - weitgehend ausgeglichen ist (LAGEMANN, 1981), ändert sich das Bild, wenn in größerem Umfang landwirtschaftliche Produkte den Betrieb (die Region) verlassen. In Betrieben, die auf Kaolinitböden wirtschaften, ist der Export eiweiß- bzw. mineralstoffreicher Ernteprodukte mit einer raschen Verarmung der Systeme verbunden, denn die Ökosysteme der feuchtheißen Gebiete sind mit Nährstoffen wie P, Mg, Ca usw. nur schwach ausgestattet. Als Marktfrüchte sollten unter solchen Bedingungen Arten angebaut werden, die den standörtlichen

Ressourcen angemessen sind, wie z.B. energieliefernde Pflanzen (Öle, Fette, Kohlenhydrate, Zellulose), denn die Ressourcen zur Energieproduktion (Licht, CO₂, Wasser) sind in den Feuchttropen reichlich und unerschöpflich vorhanden. Zumindest aus ökologischer Sicht besteht das ideale Produktionsprogramm der Regenwaldtropen demnach in der Erzeugung von Photosyntheseprodukten (oder auch von wertvollen, konzentrierten Stoffen wie etwa Arzneisubstanzen), wobei die zirkulierenden Nährstoffe quasi als Katalysatoren fungieren und in einem möglichst geschlossenen Kreislauf nur in geringem Umfang ergänzt zu werden brauchen. (Lokale Verarbeitung fördert die Rückfuhr von Nährstoffen bzw. Fabrikations-"Abfällen").

Abschließend sei zum Verhältnis von Vegetation und Standortfruchtbarkeit noch ein Gesichtspunkt mehr betriebs- oder volkswirtschaftlicher Art angeführt.

Da Dauerkulturen im Gegensatz zu rein annualen Feldkulturen weit weniger von saisonalen oder jährlichen Niederschlags- und Klimaschwankungen abhängig sind, erweisen sie sich häufig als zuverlässigere und stabilere Kulturen. Die Risiken bezüglich der Einkommens- und Versorgungslage von Betrieben können durch die Integration ausdauernder Pflanzen erheblich gemindert werden (von MAYDELL, 1981).

Ein gutes Beispiel hierfür bietet der Anbau der "falschen Banane" bzw. der Stärke- oder Faserbanane *Ensete ventricosum* in Äthiopien. Diese Bananenstaude wächst in tropischen Höhenlagen, hat eine Vegetationszeit von 7-10 Jahren und wird in dieser Zeit zusammen mit anderen Kulturen wie Mais, Kohl, Getreide, Gemüse usw. angebaut. Bis zur Ernte ihrer großen, stärkehaltigen Wurzelknolle (sie kann in Notzeiten auch jederzeit vor der Vollreife geerntet werden) schützt und befestigt die Ensete den Boden und beigeordnete Unterkulturen. Da sie außerdem sehr resistent gegen Dürre, Kälte, Hagel und andere widrige Klimaeinflüsse ist, stellt sie sowohl für die Umwelt als auch in den bäuerlichen Wirtschaften einen bedeutenden Sicherheitsfaktor dar, was unter anderem darin zum Ausdruck kommt, daß echte Hungersnöte in den Enseteanbaugebieten - im Gegensatz zu Nachbarregionen mit rein annualen Nahrungspflanzen - nicht vorkommen. Die mittleren Erträge entsprechen mit 50-100 dt/ha auf das Jahr umgerechnet durchaus denen anderer annualer Knollenpflanzen in der Region, womit auch die Ertragshöhe befriedigend ausfällt (SCHULTE-KEMNA, 1983).

Viele andere forstliche Kulturen, wie z.B. *Acacia albida* und *Borassus aethiopicum*, wirken im jahreszeitlichen Ablauf ausgleichend und stabilisierend, weil sie auch in Trockenzeiten Futter, Früchte und andere Produkte liefern und somit zu einer kontinuierlichen Versorgung von Mensch und Tier beitragen.

4.5.3.6. Ansätze und Beispiele naturnaher Vegetationsgestaltung

Unter dem Zwang zunehmenden Bevölkerungsdrucks und damit einhergehender Landknappheit waren und sind die Bauern vieler tropischer Regionen gezwungen, zu mehr oder weniger permanenten Anbauformen überzugehen. Um einen, normalerweise mit dieser Umstellung verbundenen, raschen Abfall der Bodenfruchtbarkeit zu verhindern, mußten und müssen mit diesem Wechsel jedoch auch Veränderungen in der Bodenbewirtschaftung verbunden sein, denn die überlieferten Verfahren und Methoden zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit sind den neuen Verhältnissen nicht mehr angemessen und versagen.

Die Neugestaltung der Agrarvegetation stellt, den bisherigen Ausführungen zufolge, eine bedeutende Veränderung in diesem Sinne dar. Sie ist ein wichtiges Glied in einer Kette von Maßnahmen, die geeignet sind, die Standortfruchtbarkeit zu bewahren und zu pflegen.

Für den Bereich der immerfeuchten Tropen könnte eine so geschaffene, neue und standortgemäße Vegetationsform etwa wie in Abbildung 4.5.1 (B) dargestellt aussehen. Wie die vergleichende Gegenüberstellung in Abbildung 4.5.1. zeigt, ist der Vegetationsaufbau sehr stark nach der natürlichen Vegetation ausgerichtet, unterscheidet sich in der Zusammensetzung der Arten aber erheblich von dieser.

Wie zahlreiche Untersuchungen zeigen, handelt es sich bei diesem, zunächst rein theoretischen, Vegetationsmodell aber nicht nur um eine hypothetische Spielerei, sondern um Systeme, die historisch und aktuell belegt sind.

Aus den feuchten Tieflandtropen Amerikas z.B. liegen Forschungen über den ehemals dicht besiedelten Kulturraum der Mayas vor. Alles deutet darauf hin, daß sie sich auf Landbausysteme mit Mischkulturanbau von Mais, Knollenfrüchten, Leguminosen und Fruchtbäumen stützten (HARRISON und TURNER, 1978). Außerdem existierten (heute noch erkennbare) befestigte Dämme, auf denen sehr intensiver Anbau betrieben wurde, während die Kanäle zwischen ihnen zum Transport, zur Fischzucht und zur Gewinnung wertvollen Düngeschlammes dienten. Tierhaltung (Truthähne) war verbreitet. Von den wohl an die 15 Nutzbäumen der Mayas war der Ramon-Baum (*Brosium alicastrum*) der bedeutendste Nahrungsmittellieferant. Außerdem

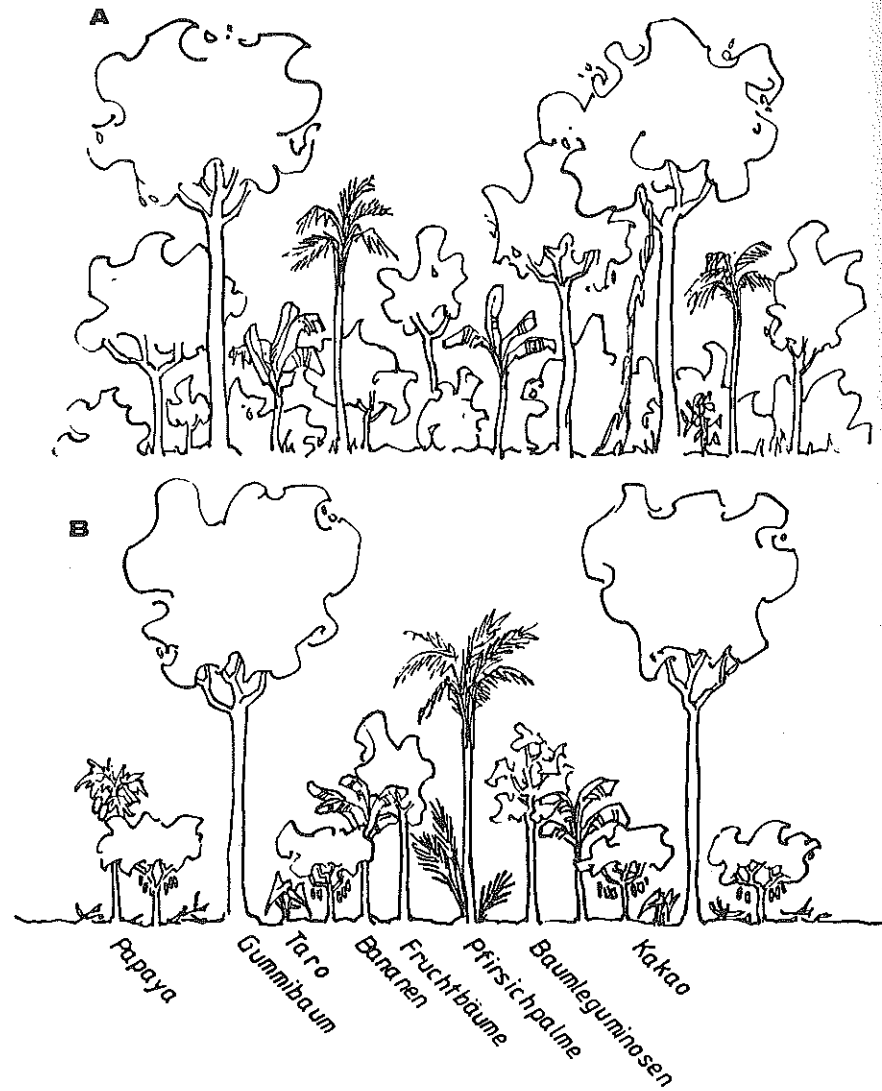


Abb. 4.5.l.: Naturnahe Vegetationsgestaltung in Regenwaldgebieten. A) natürliche Vegetation, B) Modell einer standortangepaßten Agrarvegetation

lieferte der schnittverträgliche Baum gutes Futter und Brauchholz (PARDO und TEJEDA, 1982). Je nach Siedlungsdichte, Gelände, Boden und Verkehrssituation hatten die Mayas verschiedene Systeme und Systemkombinationen, angefangen vom Brandrodungsfeldbau ("Milpa") über Dammkulturen bis hin zur Schaffung künstlicher, produktiver Regenwälder, die nach WISEMAN (1978) etwa wie in Abbildung 4.5.m. dargestellt ausgesehen haben könnten.

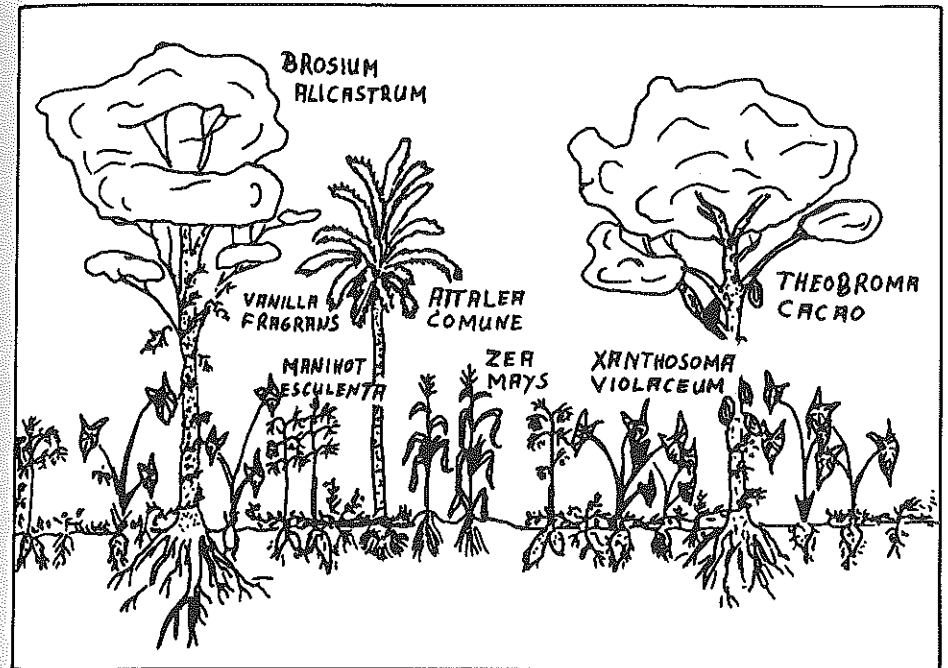


Abb. 4.5.m.: Der "künstliche Regenwaldanbau" der Mayas (Rekonstruktion nach WISEMAN, 1978)

Auch auf Java sind neben dem Trocken- und Naßreisbau Landnutzungsformen entstanden, die sehr stark agroforstlichen Charakter haben. Es handelt sich dabei um die sogenannten "Pekarangans" oder "Home-Gardens"; das sind Landstücke, die mit Bäumen, Sträuchern und jährigen Pflanzen bestanden sind und auf denen ein Haus steht. Ihre Fläche wuchs von 1940 bis 1980 von 1,5 auf über 2 Mio ha an.

Die vom Menschen geschaffene Vegetation in diesen "Gärten" hat waldähnlichen Charakter und ist nur in Gebieten mit höherer Bevölkerungsdichte entstanden, woraus gefolgert werden kann, daß es sich um eine sehr intensive Form der Landnutzung handeln muß, die produktiver und ressourcenschonender ist als die traditionelle Brachewirtschaft (CHRISTANTY, 1981).

Wie Untersuchungen von TERRA (zit. ebenda) ergaben, ist die Produktivität dieser kontinuierlich nutzbaren Kunstwälder mit einer mittleren Produktion von 4,5 Mio Kalorien und 58 kg Protein/ha¹⁾ dem Trockenreisfeldanbau, der zudem im Wechsel mit Buschbrache betrieben wird, tatsächlich deutlich überlegen. Trockenreisfelder brachten es nur auf 4,1 Mio Kalorien und 53 kg Protein/ha. Alleine der Naßreisbau mit einer Produktion von 5,2 Mio Kalorien und 113 kg Protein/ha war unter den gegebenen Bedingungen noch attraktiver.

Die Diversität der "Home-Gardens" ist sehr hoch und entspricht nach Untersuchungen, die KARYONO et al. (zit. in CHRISTANTY, 1981) in 350 Gärten durchführten, in etwa der Artenvielfalt laubabwerfender Wälder in Zentralflorida oder Ostkanada.

Tierhaltung²⁾ und organische Düngung finden sich in allen Betrieben mit "Home Gardens".

Nach SOEMARWOTO et al. (1975) müssen die "Home Gardens" als Ergebnis eines langen Evolutionsprozesses gesehen werden, der auch heute noch anhält, denn je nach der gegebenen Betriebs- oder Umweltsituation sind die "Gärten" bei gleichem Grundmuster verschieden ausgeprägt und verändern sich. Abbildung 4.5.n. zeigt schematisch das Grundmuster ihres Aufbaus.

- 1) Die Nutzung von Brennmaterial und Rohstoffen ist hierbei noch nicht berücksichtigt.
- 2) Je nach Betriebsgröße sehr verschieden von Geflügelhaltung über die Zucht von Kaninchen und Ziegen bis zur Haltung von Wasserbüffeln und Pferden.

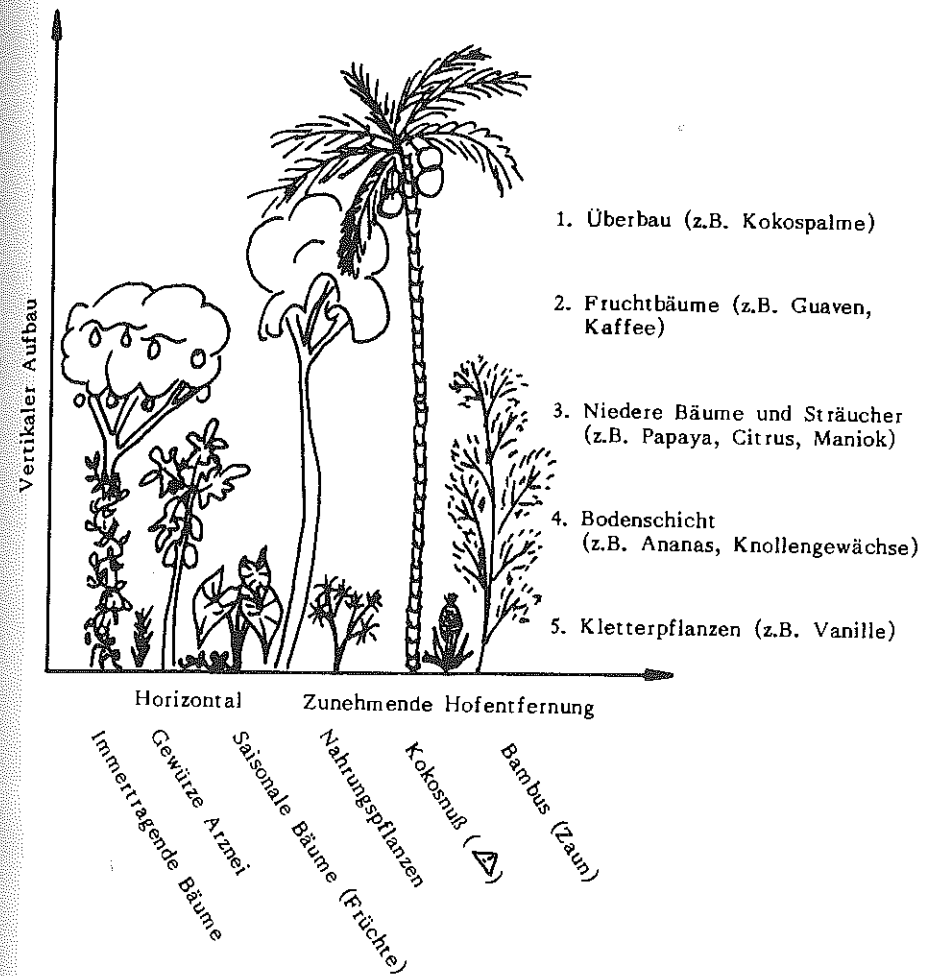


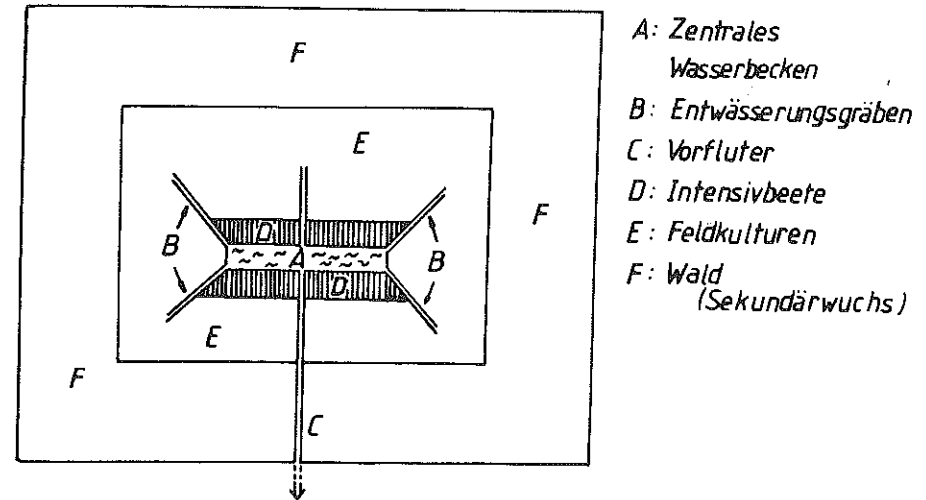
Abb. 4.5.n.: Schematischer Aufbau eines javanesischen "Hausgartens" (Home-Garden) nach Angaben von CHRISTANTY (1981) und FOLEY und BARNARD (1984)

LAGEMANN (1981) beschreibt ähnliche Anbausysteme im feuchten Tiefland Ostnigerias, wo hohe Bevölkerungsdichten auf den vorherrschenden Ultisolen ebenfalls zu ernsthaften Problemen der Bodenfruchtbarkeitspflege geführt hatten. Ähnlich wie auf Java entwickelte die ansässige Bevölkerung auch hier eine äußerst komplexe, waldähnliche Stockwerkslandwirtschaft. Nach LAGEMANN konnten diese neuen Anbausysteme ein weiteres Absinken der Bodenfruchtbarkeit nicht nur stoppen, sondern sie sogar wieder anheben. Das Anbausystem wurde ergänzt durch eine, nach LAGEMANN unbedingt notwendige Düngewirtschaft (Ziegen, Mulch etc.) und den möglichst geringen Export von Nährstoffen (durch die Ernte nur der Getreiderispen zum Beispiel). Die so geschaffenen Anbausysteme haben im Durchschnitt der Jahre 2- bis 3mal so hohe Erträge wie Flächen, die im Wechsel mit dreijähriger Buschbrache bestellt werden.

GLIESSMANN et al. (1981) entwickelten in Anlehnung an die antiken "Chinampas" oder "schwimmenden Gärten" des alten Mexikos ein Produktionssystem, das sich in der Region Tabasco bereits in Erprobung befindet. Es ist je nach Größe der Betriebe (5-15 ha) für eine oder mehrere Familien geeignet und hat stets den in Abbildung 4.5.o. dargestellten Grundaufbau, der je nach Lage und Situation der Betriebe verschieden ausgestaltet sein kann.

Nach außen hin sind die Produktionseinheiten von einem Sekundärwaldgürtel umgeben (F). Dieser Gürtel weist die höchste Diversität auf, stellt ein Refugium für Nützlinge und Prädatoren dar, dient als Genreserve zur Erhaltung natürlicher Ressourcen und liefert Holz und Sekundärprodukte. Er kann nach Bedarf mit wertvollen Gehölzen und Fruchtbäumen angereichert werden. Der darauf folgende innere Gürtel (E) ist für den Mischanbau der wichtigsten annuellen und perennen Feldkulturen (Mais, Bohnen, Kürbis, Leucaena, Papaya usw.).

In der Nähe des oder der Wasserbecken (A) befinden sich die für den intensiven Anbau genutzten Beete oder Hochbeete (D), auf denen Gemüse, Knollenfrüchte, Gewürze, Früchte, Bananen usw. angebaut werden. Sie werden mit Schlamm und Wasserpflanzen aus den Becken (z.B. Algen, Wasserhyazinthen, Azolla) und mit dem Mist von Schweinen und Geflügel gedüngt, die ebenfalls z.T. mit Wasserpflanzen gefüttert werden.



- A: Zentrales Wasserbecken
- B: Entwässerungsgräben
- C: Vorfluter
- D: Intensivbeete
- E: Feldkulturen
- F: Wald (Sekundärwuchs)

Abb. 4.5.o.: Schematische Darstellung des Grundaufbaus "ökologischer Produktionssysteme" in Tabasco/Mexiko nach GLIESSMANN et al. (1981) und NEUMANN (1979)

Ein zentrales, langgestrecktes Wasserbecken (oder auch mehrere kleine), das durch den Aushub und/oder den Bau von Dämmen geschaffen wird, nimmt über Zuleitungsgräben (B) Oberflächenwasser und darin gelöste Bodenteilchen und Nährstoffe auf. (Sie werden durch Nutzung über Fische, Enten und Wasserpflanzen wieder in den Kreislauf zurückgeführt).

Ein zentraler Kanal (Vorflut) schließlich sorgt für den Abfluß von Wasserüberschüssen (eventuell auch für Zufluß) in die weit verzweigten Wasserläufe des Tieflandes von Tabasco (C).

Als wesentlich für die Funktion des Systems werden eine hohe Vielfalt, ein hoher Bodenbedeckungsgrad und eine hohe Biomasseproduktion angesehen (NEUMANN, 1979; NAS, 1981).

Im Bereich der Feuchtwälder oder der Feuchtsavannen könnte eine naturnahe Vegetationsgestaltung etwa wie in Abbildung 4.5.p., auf der nächsten Seite dargestellt, aussehen. Entsprechend den natürlichen Gegebenheiten ist der Anteil hochwüchsiger Bäume geringer und Sträucher, Gräser und Kräuter nehmen vermehrt ihren Platz ein.

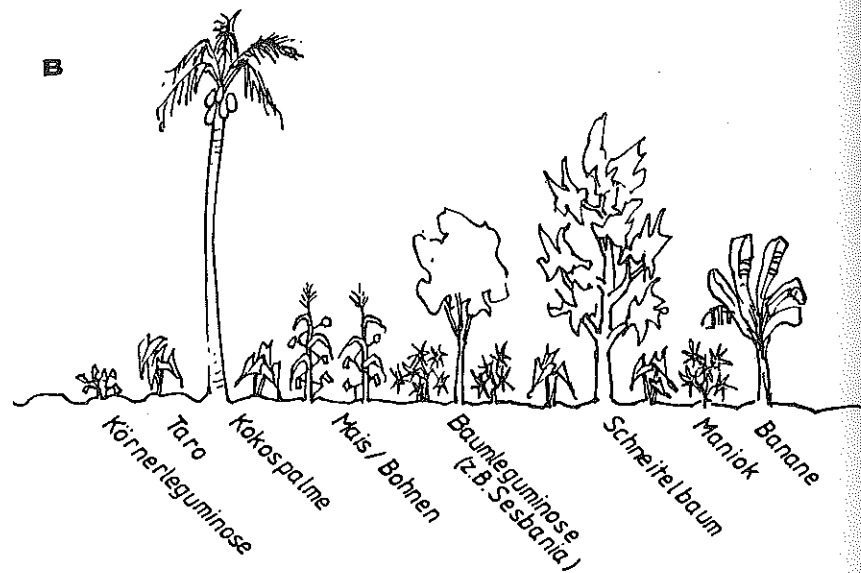


Abb. 4.5.p.: Naturnahe Vegetationsgestaltung in Feuchtsavannengebieten. A) natürliche Vegetation, B) Modell einer standortangepaßten Agrarvegetation

Verfahren des "Alley-Cropping" (siehe auch Kap. 4.3.) sind den Verhältnissen dieser Klimazone ebenfalls angemessen. Die Sträucher werden bei dieser Anbautechnik in den Reihen oder Doppelreihen eng und zwischen den Reihen weit gestellt (2-4 m und mehr), so daß in den entstehenden schmalen Gängen oder Gassen (engl. "alley") gut Kulturen wie etwa Bohnen, Mais, Süßkartoffeln usw. angebaut werden können. Während der Vegetationszeit werden die Büsche (z.B. *Leucaena leucocephala*, *Cajanus cajan*, *Gliricidia maculata*) immer wieder zurückgeschnitten und in die Kulturen gemulcht (siehe Abb. 4.5.q.), wodurch diese unter günstigen Lichtverhältnissen mit regelmäßiger Kopfdüngung heranwachsen können. Zum Ende der Vegetationszeit läßt man die Sträucher wachsen, damit sie das Restwasser im Boden noch nutzen und die Erde während der Trockenzeit schützen bzw. noch Futter produzieren (WIJEWARDENE und WAIDYANATHA, 1984).

Wie in den humiden Tropen, so basieren auch die Systeme, die für die Feuchtsavannenklimate entwickelt wurden, auf praktischen Erfahrungen bodenständiger Bevölkerungsgruppen.

Das bekannteste Beispiel aus diesem Klimabereich sind die Landnutzungspraktiken der Wakara auf der Insel Ukara im Viktoriasee, die von LUDWIG (1967) eingehend beschrieben wurden. Diesem Stamm war es gelungen, auf armen, granitischen Verwitterungsböden bis zu 500 Einwohnern pro km² aus eigener Kraft eine bescheidene Existenz zu ermöglichen. Neben einer ausgereiften Düngewirtschaft und einer angemessenen Tierhaltung trug die Gestaltung der Agrarvegetation zu dieser Leistung wesentlich bei. Sie war geprägt von Mischkulturen aus Getreiden, Knollenfrüchten und Leguminosen und der Integration von Bäumen und Sträuchern, die einzeln, an Feldrändern oder in Hecken stehend, als Früchte-, Futter- und Düngelieferanten wesentlich zur Höhe, Stabilität und Nachhaltigkeit der Erträge beitrugen.

In Abbildung 4.5.r. ist das Modell einer naturnahen Agrarvegetation für Trockensavannengebiete dargestellt. Trockenresistente Bäume mit tiefen Pfahlwurzeln und Grasbestände, in die Leguminosen und andere Kräuter eingestreut sind, bestimmen das Erscheinungsbild der Vegetation (siehe auch Kapitel 2.2.4.). Als Kulturpflanzen kommen auf relativ sandigen Böden mit geringer Wasserkapazität vor allem Pflanzen mit sehr kurzer

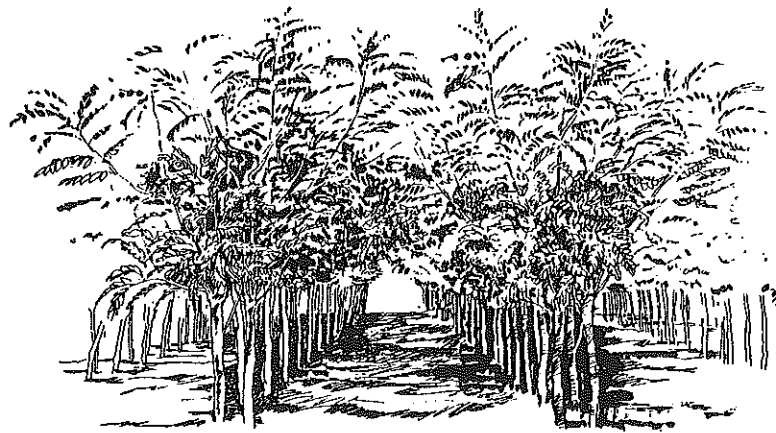


Abb. 4.5.q.: Alley-Cropping oder Gassen-Mischanbau mit *Leucaena leucocephala* in Doppelreihen (4-5 m Abstand); oben ohne Zwischenkulturen, unten geschnitten mit Zwischenkulturen (aus WIJWARDENE und WAIDYANATHA (1984), S. 28-29)

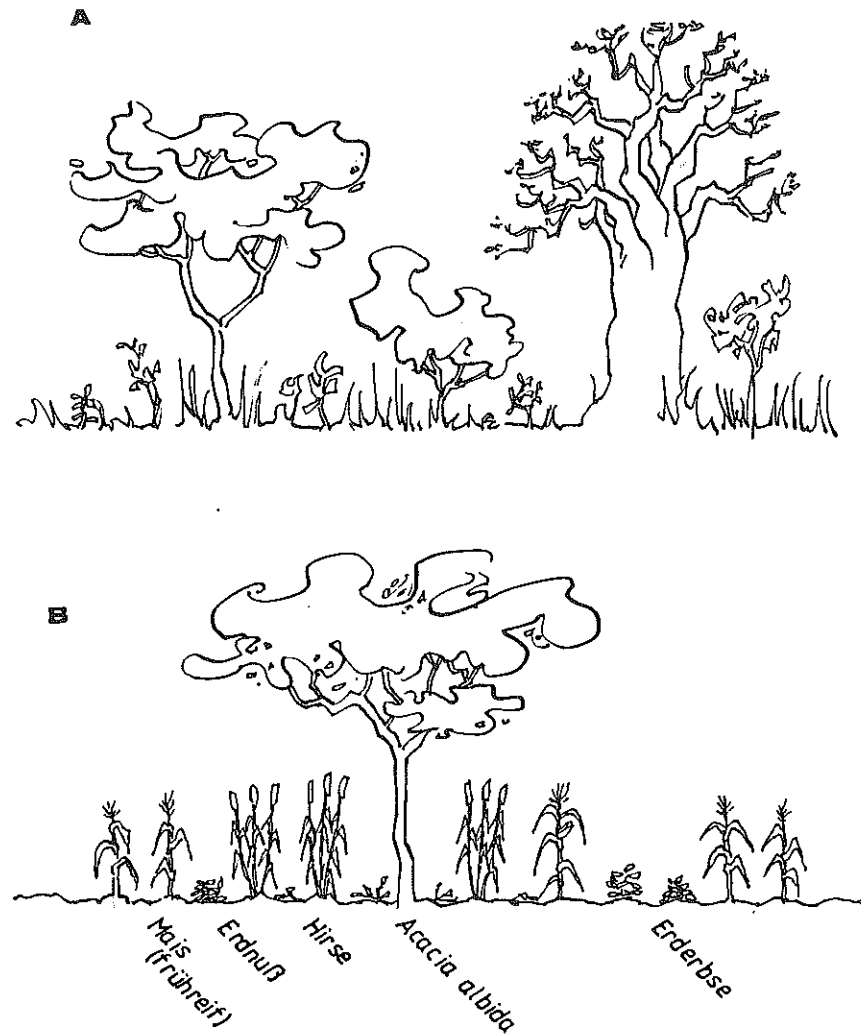


Abb. 4.5.r.: Naturnahe Vegetationsgestaltung in Trockensavannegebieten. A) natürliche Vegetation, B) Modell einer standortangepaßten Agrarvegetation (Trockenwald- oder Gehölzsavanne)

Vegetationszeit in Frage (wie z.B. Rispenhirse), während auf bindigen, tiefgründigen Böden auch noch anspruchsvollere, stark wurzelbildende Arten wie Sorghum gedeihen. Trockenresistente Kulturen im engeren Sinne (z.B. Sisal), welche sich durch spezielle morphologische oder physiologische Besonderheiten auszeichnen, sind den Standortverhältnissen besonders gut angepaßt, denn sie sind weniger von den Unregelmäßigkeiten der saisonalen Niederschlagsereignisse abhängig.

Zu dieser Gruppe gehören auch die Bäume semiarider Gebiete, von denen *Acacia albida* vielleicht der bekannteste ist. Spätestens seit den Untersuchungen von CHARREAU und VIDAL (1965) ist von dieser Baumleguminose nicht nur die Trockenresistenz, sondern auch die sehr bedeutende Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit bekannt, die diesen Baum zu einem idealen Mischkulturpartner für den Getreideanbau der Trockensavannegebiete macht. Im unmittelbaren Bereich der Akazie, die ihr Laub zur Regenzeit (!) abwirft und es in der Trockenzeit wieder ausbildet, konnten doppelte bis dreifache Hirseerträge erzielt werden wie im benachbarten Gelände abseits der Akazien. Die Qualität der Erträge (Protein- und Mineralstoffgehalte) war zudem noch besser. Ähnliche Ergebnisse wurden von TIEDEMANN und KLEMMEDSON (1973) mit *Prosopis juliflora* ("Mesquite") in semiariden Gebieten der südlichen USA erzielt. Auch sie fanden im Baumbereich einen deutlich besseren Nährstoff- und Humusstatus der Böden, welcher sich deutlich auf ihre Ertragsfähigkeit auswirkte. In Indien konnte beobachtet werden, daß die Bauern auf ihren Hirsefeldern die Mimose *Prosopis cinerea* in Bestandesdichten von über 100 Bäumen/ha tolerieren (FELKER, 1981).

Es kann als gesichert gelten, daß die Baumleguminosen mit ihren tiefreichenden Wurzeln beachtliche Nährstoffmengen mobilisieren und sie über die Streu und Humusbildung den Unter- und Nachbarkulturen zur Verfügung stellen (GIFFARD, 1968). Baumleguminosen und andere Bäume leisten somit einen sehr wichtigen Beitrag zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, zur Verbesserung des Klimas und zur landwirtschaftlichen Produktion in semiariden Gebieten. Es gibt darüber hinaus auch zahlreiche Arten, die sich durch eine Produktion auszeichnen, die es mit annuellen Kulturen durchaus aufnehmen kann. Die Baumleguminose *Prosopis tamarugo* z.B. produziert auf ihren natürlichen Standorten in Chile bis zu 60 dt TM/ha an Futterlaub und Hülsen pro Jahr und bietet damit die Grundlage einer einträglichen Schafhaltung (FELKER, 1981; FELKER und BANDURSKY, 1979).

Auch die Kombination der Baum- und Feldkulturen in semiariden Gebieten (Abb. 4.5.r.) basiert also nicht nur auf theoretisch gewonnenen Einsichten, sondern, wie anhand der Untersuchungen von PRADEAU (1975) noch einmal etwas ausführlicher dargestellt werden soll, auch auf praktischen Erfahrungen.

PRADEAU (1975) war bei Untersuchungen in Burkina Fasso (ehem. Ober-volta) aufgefallen, daß bei den Dagari viel mehr Einwohner pro km² wohnen (ca. 80) als bei den Nachbarstämmen (5-8), obwohl fast gleiche naturräumliche Gegebenheiten herrschen (5 Monate Regenzeit, 1000 mm, Parksavanne, flachgründige, lateritische Böden auf den Plateaus, lehmig, sandige Übergänge und rote Lehm Böden in den Tälern). Besonders interessierte ihn dabei die Frage, wie es den Dagari gelungen war, in nur etwas mehr als zwei Generationen (seit ihrer Zuwanderung in das Gebiet) ein System der Bodenpflege zu entwickeln, das eine für die Region außerordentlich hohe und nachhaltige Tragfähigkeit aufwies.

Neben vielfältigen und originellen Maßnahmen des Erosionsschutzes durch geophysikalische Maßnahmen (z.B. Kleinterrassen, Mikroterrassen, Steinplatten, Drainagegräben) trugen spezielle Kurzbrachen¹⁾, standörtlich unterschiedliche Fruchtfolgen²⁾ und eine Differenzierung der Betriebsfläche in innere (dauernd und intensiv genutzt) und äußere Felder (stark (1:1) genutzte Felder) zu dem höheren Produktionsniveau bei. Insbesondere auf den inneren Feldern werden eine ganze Anzahl spezieller, bodenfruchtbarkeitserhaltender Maßnahmen durchgeführt wie etwa Gründüngung (bzw. Leguminosenheudüngung), Mist- oder Kompostgewinnung und Anwendung, Mikrohügelkulturen ("Matuta"-System) usw.

Sehr auffallend und in diesem Zusammenhang besonders interessant sind auch die Maßnahmen der Vegetationsgestaltung im Gebiet der Dagari verlaufen. So bauen sie z.B. auch Marktfrüchte niemals in Reinkultur, sondern immer in Mischbeständen an, und die Bäume werden ganz gezielt und selektiv genutzt, gefördert und in die Produktionssysteme integriert. So konnte PRADEAU (1975) feststellen, daß sich die Vegetation im Siedlungsgebiet der Dagari deutlich von der Sekundärvegetation der Umgegend unterscheidet, das heißt, sowohl die Baumbestände auf den extensiv ge-

1) Erde wird vor Brachephase zu Hügeln aufgeschüttet.

2) Auf Außenfeldern, z.B. Mais/Sorghum - Erdnuß-Erberbsen - Millethirse oder auf besserem Boden Sorghum-Millet-Erdnuß/Baumwolle.

nutzten Außenfeldern als auch im näheren Siedlungsbereich sind gelenkt und vom Menschen bewußt gesteuert. Während auf den Außenfeldern vor allem Neré (*Parkia biglobosa*) und Karité (*Butyrospermum parkii*) das Bild prägten, war auf den intensiv genutzten Innenfeldern eindeutig *Acacia albida* dominierend. *Acacia albida* gilt nicht nur als nützlich (wie die anderen genannten Bäume eindeutig auch), sondern als Verbesserer des Bodens und wird deshalb unter dem Primat des Erhalts der Bodenfruchtbarkeit den anderen Nutzbaumarten vorgezogen. PRADEAU konnte beobachten, wie dieser Baum gepflanzt, auf hohen Wuchs geschnitten und gepflegt wird und im Bereich der Häuser fast dichte Bestände (z.T. Neupflanzungen) bildet.

Auf Sonderstandorten wie z.B. lateritischen, flachgründigen Böden kultivierten die Bauern speziell Lega (*Pterocarpus erinaceus*) und auf vorübergehend staunassen Talböden Togbo (*Cordia mixta*).

Bei Betrachtung der in Abschnitt 4.5.3.6. angeführten Beispiele traditioneller Intensivanbausysteme fällt auf, daß die traditionellen Ansätze wieder auf naturnahe Vegetationsstrukturen zurückgriffen, um auf ihren Feldern das nachzuvollziehen (nun aber simultan mit Ackerbau), was die natürliche Vegetation sonst in langen Brachezeiten getan hatte (Schutz des Bodens durch die Vegetation, Ansammlung von Biomasse- und Nährstoffkapital, Steigerung des Humusgehalts im Boden usw.).

Abweichend von den natürlichen Verhältnissen sind die Humanökosysteme so angelegt, daß dem Menschen als Dominante im Ökosystem mehr Nutzen daraus erwächst. Der Biomasseumlauf und damit auch der Nährstoff- und Energiekreislauf wird auf den Menschen und seine Bedürfnisse hin ausgerichtet (siehe Abb. 4.5.e.). Nutz- und Hilfspflanzen ersetzen zunehmend die Komponenten der natürlichen Vegetation. Tierhaltung, Kompostierung, Gründüngung und Mulchwirtschaft, aber auch Maßnahmen wie Terrassenbau, Drainage usw. stellen wichtige Zusatzmaßnahmen dar, um die funktionalen Lücken, welche die Agroökosysteme gegenüber den natürlichen aufweisen, zu schließen und den Biomasseumsatz zwecks besserer Ausnutzung in bestimmte Bahnen zu lenken.

4.6. Förderung und Nutzung natürlicher Symbionten

4.6.1. Allgemeines

Eine Landwirtschaft, die bestrebt ist (oder sein muß), sparsam mit nicht erneuerbaren Ressourcen umzugehen, muß auch bestrebt sein, diejenigen Ressourcen möglichst optimal zu nutzen, die ihr von Natur aus zur Verfügung stehen.

Außer der Optimierung des Nutzens aus den chemisch-physikalischen Standortfaktoren (wie z.B. des Lichts) kommt den biologischen Faktoren eine große Bedeutung zu. Mit Ausnahme des genetischen Ertragspotentials und der Selektion einiger Resistenzeigenschaften wird den biologischen Faktoren bis in die jüngste Zeit kaum Beachtung geschenkt. Die Verzinsung von eingesetzten, meist von außen in die Betriebe gebrachten Ressourcen (Dünger, Maschinenstunden, Pestizide) durch die Pflanzen bzw. das Produktionssystem hat Priorität.

Auch die Forschung beschäftigte sich mehr mit der optimalen Verwertung zugekaufter mineralischer Dünger als z.B. mit einer Verbesserung der biologischen Stickstoffbindung durch geeignete Kultur- und Pflegemaßnahmen.

Diese Prioritäten, die den Bedürfnissen kleinbäuerlicher, subsistenzorientierter Betriebe oft nicht gerecht werden, haben zur Folge daß natürliche Symbiosen und Kreislaufprozesse eher geschwächt als gefördert werden; auf ihren möglichen Nutzen wird weitgehend verzichtet.

Im Rahmen einer ökologisch orientierten, sich möglichst selbst tragenden Landwirtschaft, die bemüht ist, die Vorleistungen im kleinbäuerlichen Bereich gering zu halten, müssen vorrangig standortgegebene Ressourcen mobilisiert werden. Dem Einsatz externer Betriebsmittel kommt dabei nur eine ergänzende Funktion zu.

Dieses Ziel wird um so eher erreicht, je mehr Nutzen aus den natürlichen Symbiosen gezogen wird und je mehr es gelingt, diese Prozesse im positiven Sinne zu beeinflussen. In gleicher Weise wirkt die Unterlassung von