

4.4. Gründüngung

"Alle aber sind sich darüber einig, daß nichts gedeihlicher sei als die Saat der Lupine, wenn man dieselbe, ehe sie Hülsen bildet, mit dem Pflug oder der zweizinkigen Hacke untergräbt oder Büschel davon, die man abgeschnitten an den Wurzeln der Bäume und Weinstöcke unter die Erde bringt ... sie düngt so gut wie Mist." (PLINIUS, 79 n.Chr.) 1)

4.4.1. Einleitung und Definition

4.4.1.1. Einleitung

Verfahren der Gründüngung sind seit altersher überliefert und wurden schon von Griechen und Römern (RANJAN, 1980) mit Vicia faba, Phaseolus sp. und Lupinus sp. angewandt. Im Reisanbau des alten China spielen sie schon seit Jahrhunderten eine bedeutende Rolle (KING, 1911; FAO, 1979). Auch hier wurden und werden vornehmlich Leguminosen wie Melilotus sp., Crotalaria sp., Sesbania sp. etc. eingesetzt.

In Afrika ist die Gründüngung in autochthonen Landnutzungssystemen mit intensiver Bodennutzung ebenfalls zu finden. LUDWIG (1967) beschreibt z.B. den Anbau von Leguminosen (Crotalaria striata, Tephrosia erecta) und von Compositen (Erigeron bonariensis, Vernonia sp.), die als Gründüngungspflanzen (Untersaaten) in die reifenden Hirsefelder eingesät werden. Auch die Düngung mit Baumlaub spielt eine Rolle.

In Indien ist die "Blattgründüngung" (Gliricidia sepium etc.) seit altersher ebenso verbreitet wie der Anbau von Gründüngungspflanzen wie Crotalaria juncea, Sesbania sp., Phaseolus sp. und anderen Arten, die, früher noch mehr als heute, auch als Nahrungsfrüchte einen Nutzen ermöglichen sollten (ARAKERI et al., 1962).

In Europa wurden mit Leguminosen (Lupinus sp.) als Gründüngungspflanzen auf leichten Sandböden so außerordentlich gute Ergebnisse erzielt (SCHULTZ-LUPITZ, 1895), daß man vorübergehend sogar das Vieh abschaffte.

1) Zit. in KAHNT (1983)

Die daraufhin erfolgte Ausbreitung dieses Verfahrens hat jedoch auch gezeigt, daß die Ergebnisse nicht beliebig reproduzierbar waren, sondern daß die Wirkungen in hohem Maße standortabhängig sind (HOWARD, 1943), was sich auch für die Tropen bestätigte (YOUNG, 1976).

Bei der Beurteilung der Eignung von Gründungsmaßnahmen spielt der natürliche Standort also eine große Rolle.

Das Gleiche gilt für den Standortbegriff im weiteren Sinne, denn auch die innerbetrieblichen Verhältnisse, die technischen Möglichkeiten (Handhacke, Ochsenanspannung, Saattechnik) und die (traditionelle) Bereitschaft und Fähigkeit zum Umgang mit Gründungsverfahren müssen berücksichtigt werden.

Es ist deshalb angeraten, sich bei der Lektüre der folgenden Ausführungen stets die lokalen Verhältnisse vor Augen zu halten, um davon ausgehend diejenigen Elemente und Verfahren herauszugreifen, die unter den gegebenen Verhältnissen praktikabel erscheinen.

4.4.1.2. Definition

Unter Gründung im engeren Sinne versteht man den Anbau von Pflanzen, meistens von Leguminosen, mit dem Ziel, diese dann in den Boden einzuarbeiten (YOUNG, 1976).

KAHNT (1983) definiert Gründung als "die Einarbeitung von noch nicht abgestorbener, grüner, wasserreicher, mit Zucker, Stärke, Eiweiß und Stickstoff angereicherter und wenig verholzter Pflanzen in den Boden bzw. die Abtötung von zum Zeitpunkt der Bodenbearbeitung noch lebender Pflanzenwurzeln".

Die letzte Definition, von der im folgenden ausgegangen wird, umfaßt auch die in den Tropen üblichen Verfahren der **Grünblattdüngung** und die Verfahren der **Kulturbrachen**, d.h. von Verfahren, die durch die Einsaat von Gründungspflanzen die (Kurz-) Brachen produktiver gestalten und eine hohe Biomasseproduktion zur Einarbeitung anstreben. (Im standortgerechten Landbau (SGL) wird dies oft auch als "Intensiv-Gründungsbrache" bezeichnet (KOTSCHI et al., 1982; EGGER, 1983).)

Bei Verwendung strauchiger Arten (z.B. Cajanus cajan, Tephrosia vogelii, Acioa baterii etc.) und längerer Wachstumszeit (ca. 1-2 Jahre) spricht man besser von "mehrsaisonaler (intensiver) Buschbrache".

4.4.2. Allgemeine Prinzipien

4.4.2.1. Pflanzenwahl

In einem ersten Schritt ist zu prüfen, welche Gründungspflanzen für den Standort geeignet sind (pflanzenbauliches Inventar). Vor allem Niederschläge und die Niederschlagsverteilung (evtl. auch Bewässerungsmöglichkeiten) sind zu berücksichtigen. Spezielle Bodenverhältnisse (Azidität, Feuchtehaushalt, Profilaufbau, Textur etc.) sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

Gründungspflanzen sollten möglichst viele der folgenden Eigenschaften aufweisen.¹⁾

Von den genetischen Eigenschaften her sollten sie

- a) eine hohe Biomasseproduktion in relativ kurzer Zeit erbringen,
- b) den Boden schnell bedecken (DERPSCH und KEMPER (1979) verwenden hierzu als Maß die Zeit, bis zu der 80 % des Bodens bedeckt sind),
- c) die am Standort dominanten bzw. schädlichen Unkräuter kontrollieren und unterdrücken,
- d) eine hohe Blattproduktion und relativ geringe Anteile schnell verholzender Stengel liefern,
- e) möglichst tiefwurzelnde Eigenschaften besitzen (Pfahlwurzel) oder sonst den Boden intensiv durchwurzeln können,
- f) ein hohes Nährstoffaufschlußvermögen besitzen,
- g) N-fixierende Eigenschaften haben (Leguminosen),
- h) eine hohe Affinität zu Mykorrhiza haben, um das Inokulum im Boden zu verbessern.

1) Durch den Anbau mehrerer Pflanzen (Gemenge) sind verschiedene Anforderungen meist leichter zu erfüllen.

In bezug auf die phytosanitären Anforderungen sollten die Gründungs-
pflanzen

- i) robust und unempfindlich sein,
- k) eine hohe Krankheits- und Schädlingsresistenz besitzen,
- l) nicht Wirtspflanzen von Krankheitserregern und Schädlingen sein, welche die lokal üblichen Kulturpflanzen gefährden (im Idealfall Feindpflanzen wie z.B. Luzerne und Kompositen gegen Nematoden).

Vom ackerbaulichen Standpunkt ist zu fordern, daß

- m) der Anbau relativ wenig Arbeit erfordert und mit geringem speziellen "know-how" zu bewerkstelligen ist,
- n) das Saatgut billig ist und einfach - möglichst am Ort - erzeugt werden kann (Verfügbarkeit),
- o) die Gründungs-pflanze kontrollierbar ist und bleibt und nicht außer Kontrolle gerät (Verunkrautungsgefahr!),
- p) die Gründungs-pflanze auch eine Nutzung als Futterpflanze erlaubt oder sonst eine Nebenfunktion erfüllt (z.B. kleinkörnige Leguminosen).

Für Untersaaten und für Einsaaten in Dauerkulturen ergeben sich spezielle Anforderungen, wie z.B. die Verträglichkeit mit den Deck- oder Leitkulturen, d.h. Wasserverbrauch, Wuchstyp und Wachstumsrhythmus sollte dem eines "idealen" Mischkulturpartners entsprechen. Bezüglich der Wachstumszeit sollten sie sich gut in die Fruchtfolgen einpassen lassen. Bei Einsaat in Dauerkulturen kann Selbstaussaat sehr vorteilhaft sein.

4.4.2.2. Pflanzdichte (Saatstärke)

Bei Gründungsansaaten muß immer ein dichter, enger Bestand angestrebt werden, da bei hohem Populationsdruck auf die vorhandenen Wachstumsfaktoren höhere Flächenerträge erzielt werden als bei relativ niedrigen Populationsdichten (WILLEY und OSIRU, 1972; BEETS, 1982).

Während in annuellen Kulturen mit Samen- und Fruchtproduktion darauf geachtet werden muß, daß genügend Wasser verbleibt, um die Ertragsbildung über die generativen Organe sicherzustellen, ist das bei Gründungs-saaten, wo es vor allem auf eine hohe Grün- bzw. Trockenmasseproduktion ankommt, weit weniger der Fall. Die Saatstärke bei Gründungs-saaten liegt meist deutlich höher als z.B. bei Körnernutzung.

Sehr anschaulich werden diese Zusammenhänge im folgenden Versuch von BABALOLA und OPUNTA (1981) verdeutlicht (Abb. 4.4.a).

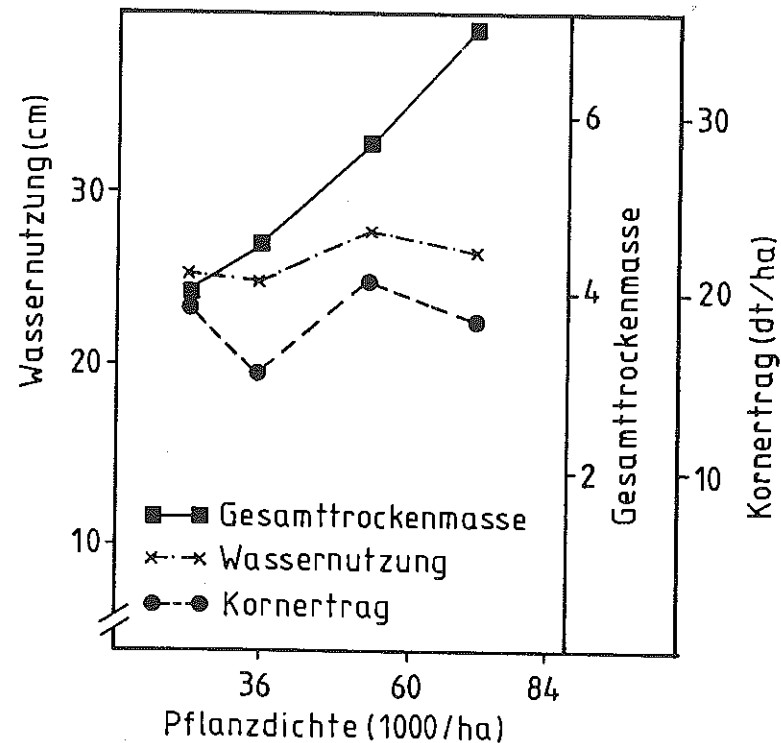


Abb. 4.4.a.: Auswirkungen der Pflanzdichte auf Trockenmasse- und Korn-
ertrag in der zweiten Anbausaison (kleine Regenzeit), bei
Mais; 2-jähriger Versuch, Ibadan, Nigeria (BABALOLA und
OPUNTA, 1981)

Während die Kornerträge des Maises wegen Wasserstreß bei der höchsten Pflanzdichte schon rückläufig waren, konnte in bezug auf die Trockenmasseproduktion noch eine Steigerung erreicht werden (mehr Biomasse zur Gründüngung).

Bei Leguminosen sind hohe Pflanzdichten nach Untersuchungen von GRAHAM (1981) auch wegen höherer Stickstoffbindung vorteilhaft. Er fand, daß die Stickstoffbindung von Phaseolus-Leguminosen mit den höchsten gewählten Pflanzdichten größer war als bei geringeren Bestandesdichten.

Wenn die Wasserversorgung des Standorts allerdings zu früher oder permanentem Wasserstreß bei den Gründüngungspflanzen führt (geringere Produktivität, geringere N-Fixierung über Rhizobien (GRAHAM, 1981)), so ist es besser, die Gründüngungspflanze zu wechseln (trockenresistentere Sorten oder Arten) als die Bestandesdichte zu lockern, denn die sollte in jedem Fall so gewählt werden, daß möglichst früh eine vollständige Bodenbedeckung erreicht wird.

Eine dichte Ansaat ist auch notwendig, um die auflaufenden Unkräuter zu unterdrücken, wobei besonders auf die lokal als sehr schädlich eingestufte Unkräuter zu achten ist (meist perenne Arten mit vegetativen Vermehrungsorganen).

Ein begrenzter Durchwuchs lokal geduldeter, "nobler" - also wenig schädlicher - Unkräuter ist tolerierbar und auch kaum zu verhindern. Sie können den Biomasseumsatz fördern und außerdem wichtige ökologische Funktionen erfüllen (z.B. Tagetes minuta als Nematodenfeindpflanze in den Bergen von Ruanda (EGGER, 1983)).

Viele Gründüngungspflanzen neigen aufgrund ihres Wildcharakters zu frühzeitiger Verholzung. Das gilt besonders für staudige¹⁾ und buschartige Pflanzen wie zum Beispiel Tephrosia, Cajanus, Sesbania etc. Durch dichte, enge Saat wird die Verholzung und das Dickenwachstum der Stengel unterdrückt und ein hoher, beschattender Wuchs gefördert. Die krautigen und dünnen Stengel lassen sich leicht abschlagen, einarbeiten und zersetzen sich besser im Boden. Der Arbeitsaufwand wird gesenkt, die Arbeit wird erleichtert (NEUMANN, 1983; persönl. Mitteilung).

1) Nach WALTER (1964) sind gerade Stauden in der Lage, bereits im ersten Vegetationsjahr sehr hohe Biomasse mengen zu produzieren.

4.4.2.3. Ansaat, Inokulation und Pflege

Der Anbau einer Gründüngung sollte keine besonderen Anforderungen an den Betriebsleiter stellen und sollte möglichst einfach und problemlos sein, damit sie vom Bauern, der ja kurzfristig keinen unmittelbaren Nutzen aus ihr ziehen kann, auch akzeptiert wird.

Trotzdem ist darauf zu achten, daß dichte und gute Bestände erzielt werden, denn ist dies nicht der Fall, so können die negativen Wirkungen einer Gründüngung leicht die Oberhand gewinnen (Erosion, entgangener Nutzen, Nährstoffaustrag statt -anreicherung, keine Förderung des Bodenlebens, Verunkrautung usw.). Eine Bodenbearbeitung - und sei sie nur flach und oberflächlich - ist in den meisten Fällen anzuraten oder sogar geboten. Auf erosionsgefährdeten und verschlammenden Böden ist Mulch nützlich; er schützt den Boden und fördert den Aufgang der Ansaat (siehe Kapitel Mulch).

Bei Leguminosen führt die Hartschaligkeit des Saatguts oft zu sehr ungleichem oder geringem Auflaufen. In solchen Fällen empfiehlt sich Heißwasserbehandlung oder die Behandlung mit verdünnter Schwefelsäure zur Förderung der Keimfähigkeit.

Eine Düngung der Gründüngungsflächen scheidet unter kleinbäuerlichen Betriebsverhältnissen der Tropen in der Regel aus, da generell von Düngerknappheit ausgegangen werden muß.

Wo möglich, kann mit leichten Stallmistgaben aber eine gute Wirkung erreicht werden, wie das von HOWARD (1943) in Indien sehr erfolgreich praktiziert wurde. Gerechtfertigt sind Düngergaben (P, Stallmist, Kompost) vor allem, wenn die Gründüngung Meliorationscharakter hat, das heißt, wenn stark degradierte, arme Böden wieder ackerfähig gemacht werden sollen und ohne diese Maßnahmen keine geschlossenen Bestände zu erzielen sind.

Ob eine **Inokulation** von Leguminosensaatgut sinnvoll ist, hängt von vielen Faktoren und deren Zusammenwirken ab (siehe Kap. 4.6.3.). Die Frage, ob diese Technologie angewendet werden soll oder nicht, ist im kleinbäuerlichen Sektor auch meist theoretischer Natur, denn in der Praxis fehlt es meist an Saatgut und den dazugehörigen lokal effektiven Rhizobiumstämmen.

In China wurde ein Verfahren entwickelt, das auch den Kleinbauern erreichen kann (FAO, 1979a).

Methode:

- a) Die Pflanzen werden vorsichtig ausgerissen, wenn sie die maximale Rhizobienaktivität zeigen (etwa zur Blüte).
Dann werden die Pflanzen im luftigen Schatten getrocknet und die Knöllchen zur Bereitung des Inokulums entfernt.
- b) Die gemahlene Knöllchen werden mit sterilem, kaltem Wasser gemischt und 1 % Zucker, 1 % Stärke (Hefe) und Dikaliumhydrogenphosphat (K_2HPO_3) werden dazugegeben (letzteres kann durch Superphosphat ersetzt werden, das auf pH 7 neutralisiert ist).
- c) Die zu beimpfenden Samen werden 3 bis 4 Stunden der Sonne ausgesetzt und dann 20 Stunden gewässert. Danach werden sie mit dem Inokulum vermischt.
Da die teilweise gekeimten, beimpften Samen zur Verklumpung neigen, werden sie mit Reisspelzen oder ähnlichem (z.B. Torf, Sägemehl) vermengt, um das Ausbringen zu erleichtern.
- d) Werden die Samen nicht unmittelbar nach der Beimpfung gebraucht, so wird auf die Wässerung verzichtet und nur mit dem Inokulum gemischt.

Eine **Unkrautbekämpfung** ist bei der Wahl geeigneter Gründungs-pflanzen und richtiger Aussaat nicht erforderlich. Wenn die Niederschläge jedoch ausbleiben oder der Bestand sich nur sehr langsam entwickelt, ist auf stark verunkrauteten Schlägen u.U. eine selektive Unkrauthacke angebracht. (Nur besonders aggressive, gefährliche Unkräuter bekämpfen.)

Der **Aussaatzeitpunkt** ist sehr wichtig für das Gelingen der Gründung. So entwickelte Mucuna utilis in Ruanda nur einen befriedigenden Bestand, wenn sie zu Beginn der großen Regenzeit ausgesät wurde und ausreichend Niederschläge für ihre Entwicklung zur Verfügung standen (EGGER, 1983). Bei der Ansaat mehrsaisonaler Intensivbuschbrache hat es sich bei bimodaler Niederschlagsverteilung bewährt, sie zur kleinen Regenzeit auszusäen, so daß sie zunächst mit dem Unkraut aufwachsen kann, das in der Trockenzeit weitgehend abstirbt. Mit dem Beginn der nächsten Regenzeit entwickeln sich die grüorgebliebenen strauchartigen Pflanzen dann sehr rasch und stark und ergeben einen dichten, guten Bestand (NEUMANN und PIETROWICZ, 1983).

4.4.2.4. Einarbeitung

Um einen optimalen Gründungeffekt zu erzielen, soll die Grünmasse in ihrer vollen vegetativen Entfaltung eingearbeitet werden (Leguminosen zur Blüte¹⁾, Gräser etwas früher), denn die Pflanze ist dann reich an Zuckern, Energie und leicht löslichen N-Verbindungen; Lignin- und Zellulosegehalte sind noch gering.

Damit sind von der Pflanze her gute Voraussetzungen für einen schnellen Abbau, eine rasche Mineralisierung und Nährstofffreisetzung gegeben.

Der Einarbeitungszeitpunkt darf nicht zu kurz vor der Bestellung der Nachfrucht liegen, denn bei der Umsetzung entstehende Abbauprodukte können als Hemmstoffe und Toxine die Nachfrucht schädigen. So können z.B. aromatische Säuren die Permeabilität der Wurzelzellen erhöhen und sie damit anfällig für bodenbürtige Krankheiten (Fusarium etc.) machen (LINDER-MANN, 1970).

Für den Abbau von Hemmstoffen muß genügend Zeit bleiben.

Im allgemeinen werden 3 (bis 6) Wochen in den Tropen genügen (Feuchte und Durchlüftung vorausgesetzt), um eine ausreichende Zersetzung zu gewährleisten (ARAKERI et al., 1962). Zu frühes Einarbeiten kann zum Verlust mineralisierter Nährstoffe durch Auswaschung führen. Auf leichten, sandigen Böden sind eher kurze, auf lehmig-tonigen Böden eher lange Zeiträume notwendig (KLAPP, 1967). Bei Versuchen von AGBOOLA (1975) konnte eingearbeitete Phaseolus aureus (Mungbohne) schon nach 1,5 bis 2 Wochen Stickstoff für die Begleitkultur liefern (humide Tropen). In Reiskulturen beträgt die Wartezeit nach Leguminosengründung meist nur wenige Tage.

Neben Alter (siehe Tab. 4.4.1.), Menge und Art der Gründung hängt die Umsetzung auch stark vom Boden ab.

Junge Pflanzen zersetzen sich schneller, alte lignin- und zellulosehaltige Pflanzen langsamer.

1) Bei Crotalaria juncea etwa 8 Wochen, bei Phaseolus aureus etwa 4-5 Wochen nach der Saat.

Tab. 4.4.1.: Zersetzung von Roggenpflanzen in verschiedenen Wachstumsstadien (2 g Trockenmasse nach 27tägiger Zersetzung) (WAKSMAN und TENNY zit. in HOWARD, 1943)

Wachstumsstadium	Abgegebene Kohlen- säure (mg C)	Freigesetzter NH ₄ (Stick- stoff in mg)	Festlegung von Boden- stickstoff (mg)
a) 25-35 cm hohe Pflanzen	286,8	22,2	0
b) kurz vor Äh- renbildung	280,4	3,0	0
c) kurz vor Blüte	199,5	0	7,5
d) fast reife Pflanze	187,9	0	8,9

Am Ende der Zersetzungszeit - bei jüngeren Pflanzen nach 30 Tagen (b), bei alten (d) nach 60 Tagen - waren von b) 27 % der Ausgangssubstanz in wasserunlösliche Humusformen umgewandelt, von d) 58 %. Nährstoff- freisetzung und Humusbildung sind also in gewissem Umfang gegenläufige Prozesse.

Mit einer guten Umsetzung ist zu rechnen, wenn:

- a) der Boden genügend N, P und sonstige Nährstoffe enthält (oder das Pflanzenmaterial diese in befriedigender Menge und im richtigen Ver- hältnis liefert (C/N, C/P, C/S-Verhältnis etc.)),
- b) der Boden gut durchlüftet ist,
- c) der Boden ausreichend feucht ist,
- d) die Bodentemperatur relativ hoch liegt (in den Tropen gegeben).

Trockenheit und Staunässe behindern den Abbau; letztere schafft sauer- stoffarme (reduktive) Zonen im Boden und fördert die Bildung wachstums- hemmender Stoffe.

Auch zu tiefes Einarbeiten fördert Reduktionserscheinungen und verzögert den Abbau der Grünmasse.

Die Denitrifikation wird unter anaeroben Bedingungen gefördert. Sie kann nach ALLISON (1973) schon in wenigen Minuten vollkommen sein, wenn Staunässe und optimales Nahrungsangebot für die denitrifizierenden Bakte- rien zusammentreffen. Die Wakeras arbeiten deshalb auch nie Grünmasse direkt vor der Regenzeit ein, sondern verwenden zur Regenzeit abgereifte, strohige *Crotalaria*-Rückstände und Mistkompost (LUDWIG, 1967).

Wird die Gründüngung gleichmäßig oberflächennah in lockeren und feuchten Boden gemischt, so sind die Voraussetzungen für eine gute Wirkung gege- ben.

Zum Einarbeiten wird die Gründüngung über dem Boden abgeschlagen und danach (in Kleinbetrieben mit der Hacke) in den Boden eingearbeitet, wobei auf eine gleichmäßige Verteilung und Einmischung in die Hack- furche zu achten ist. Wenn "Matratzen" entstehen, zersetzen sich diese nur langsam, und die Durchwurzelung des Bodens durch die Nachfrucht wird u.U. erheblich behindert.

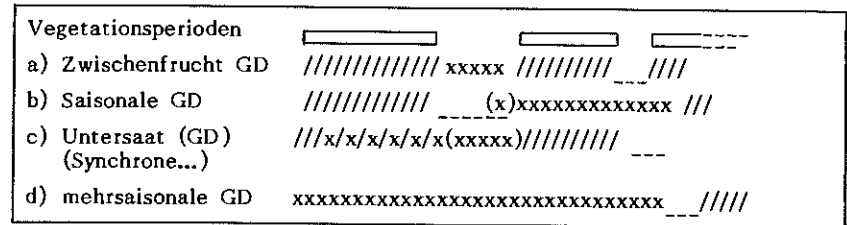
In Indien ist es üblich, mit einer Diele, die von einem Zugtier quer zum Bestand gezogen wird, die Grünmasse niederzuwalzen und anschließend in gleicher Richtung einzupflügen ("Abschleppen" möglichst morgens, in tur- geszentem Zustand). Etwas arbeitsaufwendiger ist das Abschlagen und an- schließende Ablegen in die Pflugfurche.

Für aride Gebiete wird in Indien das Einarbeiten mit der Scheibenegge empfohlen (ARAKERI et al., 1962). (Zur Einarbeitung mehrsaisonaler In- tensivbuschbrache siehe Abschnitt 4.4.3.5.).

4.4.3. Verfahren und Formen der Gründüngung

Nach der Stellung in der Fruchtfolge lassen sich folgende Formen der Gründüngung unterscheiden:

- a) Zwischenfruchtgründüngung,
- b) saisonale Gründüngung (Hauptfruchtstellung),
- c) Untersaaten (Mischkultur),
- d) mehrsaisonale Gründüngungsformen (z.B. Intensivbrache).



/// Hauptkulturen; xxx Gründüngungspflanzen; ___ un bebaut
Abb. 4.4.b.: Schema der Gründüngungsformen (GD)

Daneben lassen sich noch

- e) Blattgründung,
 - f) Wurzel(stoppel)gründung und
 - g) Unkrautgründung
- unterscheiden.

4.4.3.1. Zwischenfruchtgründung

Zwischenfruchtgründung hat den Nachteil, daß sie, im Vergleich zu saisonaler Rotation, mit mehr Bodenbearbeitung verbunden ist und damit den C-Abbau im Boden besonders intensiv anregt (KAHNT, 1983). Außer in Reiskulturen zwischen 2 Anbauzyklen (bodenphysikalische Verbesserung (s.u.)), ist sie daher in den Tropen ungeeignet, weil sie nicht dazu beiträgt, den Humusgehalt des Bodens zu schonen. Im Gegenteil ist damit zu rechnen, daß bei feuchtwarmer Witterung mit der Bearbeitung mehr Humus abgebaut wird (Dauerhumusformen) als dem Boden zugeführt wurde (vornehmlich als Nährhumus).

Diese Beobachtung wurde schon unter mitteleuropäischen Verhältnissen im Sommer gemacht (KÖHNLEIN, 1964), so daß davon ausgegangen werden muß, daß es für die Tropen vermehrt zutrifft. Versuche von BUANEC und JAKOB (1981) bestätigen diese Annahme in der Tendenz ebenso (siehe unten) wie Untersuchungen in Ibadan, Nigeria (AGBOOLA, 1975; OFORI, 1980).

Da der organischen Masse in tropischen Böden für deren Fruchtbarkeit eine Schlüsselrolle zukommt, gilt es diesen Sachverhalt zu beachten.

4.4.3.2. Die saisonale Gründüngung

Die saisonale Gründüngung, auch als Gründüngungs(kurz-)brache bezeichnet, hat den Vorteil, daß die Zeit so ausreichend bemessen ist, daß unter vielen Pflanzen gewählt werden kann. Eine saisonale Gründüngung sollte die Fruchtfolge wirksam verbessern (Tiefenwirkung, phytosanitäre Aspekte, gute Gare etc.) und viel Biomasse erzeugen. Sie soll so geplant und gezielt eingesetzt werden, daß eine gute Fruchtfolgewirkung und eine gute Gründüngungswirkung erzielt werden kann, denn nur dann ist sie für den relativ

kurzfristig planenden Bauern auch akzeptabel, der durch sie (wenn nicht Unkrautbrache die Alternative ist) immerhin eine Feldfrucht verliert. Auf einzelnen Standorten ist es möglich, die Gründüngungspflanzen in den spontan auflaufenden Unkrautbestand einzusäen (aussäen und einhacken), wodurch die Brache zu einer echten Gründüngung wird (erleichtert die Akzeptanz).

Bei starker, aggressiver Verunkrautung und relativ zögernder Entwicklung der Gründüngungssaat (stark von der gewählten Pflanzenart abhängig (BOUHARMONT, 1979)), ist eine gute Vorbereitung des Saatbeets notwendig.

Die Gründüngungswirkung (nicht Humuswirkung) ist besser, wenn die Pflanzen in grünem Zustand vor der Samenreife eingearbeitet werden (Anbauplanung).

In Versuchen von RATTRAY (1956, zit. in WEBSTER und WILSON, 1968) konnte gezeigt werden, daß die Erträge von nachgebautem Mais um 15-30 % höher lagen, wenn die Gründüngungsfrucht schon vor der Samenreife eingearbeitet wurde (Tab. 4.4.2.).

Tab. 4.4.2.: Maiserträge in Abhängigkeit vom Reifegrad der vorausgehenden Gründüngung

Gründüngungsvorfrucht	Maiserträge in bags/acre grün eingearbeitet	nach Samenernte
<i>Crotalaria juncea</i>	24,5	19,4
<i>Mucuna utilis</i>	24,3	15,8
<i>Glycine max.</i>	22,2	18,2
<i>Helianthus annuus</i>	18,0	12,0

Wo sich lokal Gewinne aus der Saatgutvermarktung erzielen lassen oder wo Gründüngung ohne einen entnehmbaren Nutzen nicht akzeptiert wird, kann es sinnvoll sein, trotzdem die Samenreife abzuwarten.

Auf Standorten in Ruanda erwies sich eine krautige, saisonale Gründüngung nur als effektiv auf relativ fruchtbaren Böden und wenn dazu eine volle Vegetationsperiode zur Verfügung stand. (Auf armen Standorten konnten nur Buschbracheformen gut Fuß fassen.) Die Trockenmasseproduktion betrug für saisonale *Mucuna utilis* 3-8 t/ha (NEUMANN und PIETROVICZ, 1983).

WEBSTER und WILSON (1968) berichten von über 30jährigen Versuchen in Ibadan (1250 mm/J.; 2 Vegetationsperioden/J.), wo durch den Wechsel von Gründüngung und Mais die Erträge stabil gehalten werden konnten (3- bis 4mal Gründüngung in 4 Jahren bzw. 8 Vegetationsperioden)¹⁾. Ohne Gründüngung waren die Erträge deutlich niedriger. (Die Versuche waren auf noch relativ fruchtbarem, frisch gerodetem Boden angelegt worden). Auch bei ähnlichen Versuchen in Zimbabwe (1650 m NN; 750 mm/J; 1 Vegetationsperiode) konnten mit saisonaler Gründüngung (*M.utilis* und *C.juncea*) sehr gute Ergebnisse erzielt werden (Tab. 4.4.3.).

Tab. 4.4.3.: Vergleich von kontinuierlichem Maisanbau und Maisanbau im Wechsel mit Gründüngung (RATTRAY und ELLIS, zit. in WEBSTER und WILSON, 1968)

System	Zeitraum	Anzahl der Maisernten	Maiserträge in bags/acre Gesamt	Mittelwert
kontinuierlich Mais	1928-50	22	132,2	6,0
abwechselnd Mais und Gründüngung	1928-50	14	186,9	13,5

Während 22 Jahren wurden mit einer regelmäßig eingeschalteten Gründüngung zwar nur 14 Maisernten erzielt. Der Ertrag war aber insgesamt trotzdem höher, weil die Ertragsfähigkeit des Bodens mit Gründüngung erhalten blieb, während Daueranbau von Mais zu einem raschen Abfall der Bodenfruchtbarkeit und geringen Erträgen führte.

Die Maiserträge in einer Rotation mit Gründüngung waren im Mittel der Jahre mehr als doppelt so hoch.

Tabelle 4.4.4. zeigt, daß die Erträge bei 2- bis 3maligem Nachbau schnell um mehr als 50 % abfielen (Kästchen in Tabelle 4.4.4.) und daß bei den Fruchtfolgen mit häufigem Maisanbau und abnehmender Häufigkeit eines Gründüngungsfruchtfolgeglieds (A-D in Tabelle 4.4.4.) das Ertragsniveau der zweifeldrigen Fruchtfolge - auch in der Stellung direkt nach der Gründung - nicht mehr erreicht wurde.

1) Auch nach Untersuchungen aus Europa ist nur dann mit einer nachhaltigen Wirkung der Gründüngung auf die Ertragsfähigkeit des Bodens zu rechnen, wenn sie in häufiger Folge angewandt wird (GLIEMEROTH, 1958).

Tab. 4.4.4.: Durchschnittliche Maiserträge (%) in verschiedenen Fruchtfolgesystemen (Mittel aus 6 Jahren) im Vergleich mit alternierendem Anbau von Gründüngung GD und Mais; A = 100 % (RATTRAY und ELLIS (1953, zit. in WEBSTER und WILSON, 1968)

Nachbau von Mais und Gründüngung	1	2	3	4
A. GD und Mais alternierend	100			
B. GD gefolgt von 2mal Mais	93,5	52,9		
C. GD gefolgt von 3mal Mais	95,6	53,5	48,2	
D. GD gefolgt von 4mal Mais	87,1	51,5	41,2	36,4

Ähnlich beeindruckende Ergebnisse durch Gründüngungsmaßnahmen erzielte RODRIGUEZ (1972) in Kolumbien (Tab. 4.4.5.). In neunjährigen Versuchen mit alternierendem Anbau von *Dolichos lablab* und Mais konnten die Maiserträge gegenüber den Varianten mit Daueranbau von Mais um 100 % gesteigert werden. Gegenüber dem Wechsel mit Unkrautbrachen erbrachte die Rotation mit eingesäter Gründüngung Mehrerträge von 60 %.

Tab. 4.4.5.: Der Einfluß von Stickstoff, Unkrautbrache und Fruchtfolgen auf den Maisertrag (t/ha). Durchschnitt von 9 Jahren (1956 bis 1964) (RODRIGUEZ, 1972)

Stickstoff kg/ha	Mais im Daueranbau	Mais/ Unkrautbrache	Mais/ Soja	Mais/ Dolichos
1. Semester (Große Regenzeit)				
0	2,95	3,69	3,28	5,91
40	4,52	4,68	4,73	6,20
80	5,52	5,66	5,38	6,23
2. Semester (Kleine Regenzeit)				
0	2,06	-	2,96	4,86
40	2,91	-	3,51	4,85
80	3,51	-	4,45	4,84

Im zweiten Semester angebaut, ist der "entgangene Ertrag" der unsicheren kleinen (Mais-)Regenzeit durch die Gründüngung leicht in Kauf zu nehmen.

Rotationsversuche von Mais mit Calopogonium, Phaseolus und Vigna in Ibadan verliefen nicht so erfolgreich (in 2jährigen Versuchen war der Ertragsgewinn bei Mais im Durchschnitt nur etwa 25 %, was den entgangenen Nutzen nicht wettmachen konnte). Untersaaten waren saisonaler GD hier überlegen (AGBOOLA und FAYEMI, 1972b).

Auch RODRIGUEZ (1972) fand in weiteren Versuchen heraus, daß Dolichos auf seinem Standort als Untersaat zu Mais hervorragende Wirkung zeigte. Bei gleichzeitiger Aussaat mit Mais (Saatstärke: 10-20 % des Mais-saatgutes) konnte Dolichos sich ab dem 5. Monat stark entwickeln und erbrachte bei Einarbeitung vor der Samenreife für die Folgefrucht Mais einen Ertrag von 41,5 dt/ha gegenüber 24 dt/ha ohne Gründüngung.

Frühere Untersuchungen von SCHAAFHAUSEN (1963) wurden dadurch bestätigt. Dieser erzielte mit Dolichos in Mais Trockenmasseerträge zwischen 7 t (Sudan) und 30-40 t (Brasilien). Die unterschiedliche Wirkung von Soja und Dolichos (in Tab. 4.4.5.) zeigt, daß ein **Experimentieren mit verschiedenen Gründüngungspflanzen** sehr lohnend sein kann. Der Erfolg von Gründüngungsmaßnahmen hängt oft davon ab, ob es gelingt, die geeignete Gründüngungspflanze zu finden (Standorteignung).

Beachte: Eine andere Nachfrucht als Mais kann zu ganz anderen Ergebnissen führen, d.h. auch Gründüngung und Nachfrucht müssen durch Probieren aufeinander abgestimmt werden.

4.4.3.3. Synchroner Gründüngung

Untersaaten (Zwischensaat) als **synchrone Formen der Gründüngung** zeigen meist eine bessere Wirkung auf den C- und N-Haushalt des Standortes (längere Bodenruhe, Beschattung, N-Fixierung).

Sie werden am besten entweder mit oder vor der Deckkultur ausgesät (Desmodium triflorum gestattete in Ibadan, Nigeria, bei geringer P, K-Düngung die Einsaat von Mais und Kuhbohne, ohne diese zu schädigen (WIJEWARDENE, 1976, zit. in OKIGBO, 1977)).

Häufig wird die Gründüngungspflanze auch mit der 1. oder 2. Unkrautbekämpfung in die Deckkultur ausgesät, die dann schon einen Vegetationsvorsprung hat (der Wasserhaushalt spielt neben der Aggressivität der Untersaat und der Verunkrautungsgefahr eine wichtige Rolle).

In Zeiten oder Gebieten, wo die Niederschlagsversorgung zur angesäten

Kultur als gesichert gelten kann, ist es sinnvoll, eine Gründüngungspflanze mit relativ kurzer Vegetationszeit gleichzeitig zu säen, da sie den Boden früh zu bedecken hilft, die Nährstoffe vor Verlust schützt, aufnimmt und den Stickstoff später wieder an die Kultur (oder Folgekultur) abgeben kann (Funktion einer "Fangpflanze" bzw. Hilfspflanze).

AGBOOLA und FAYEMI (1972a) führten Versuche mit Leguminosenuntersaaten zu Mais durch. Die Leguminosen (Vigna unguiculata, Phaseolus aureus und Calopogonium mucunoides) wurden gleichzeitig mit Mais (30 x 90 cm) im März ausgesät (30 x 30 cm). Wie Tabelle 4.4.6. zeigt, verursachten die Untersaaten keine Ertragseinbußen. P.aureus (kurzlebig; schon nach 7 Wochen maximale N-Fixierung) konnte schon in der ersten Vegetationsperiode bis August den Mais mit Stickstoff versorgen, so daß der Ertrag dieser Variante ohne N-Düngung dem der Varianten ohne Untersaaten mit 45 bzw. 90 kg N/ha entsprach.

Tab. 4.4.6.: Einfluß von Leguminosenuntersaaten auf den Maisertrag in kg/ha (1. Vegetationsperiode) (AGBOOLA und FAYEMI, 1972a)

Mineral. Dünger kg N/ha	keine Leguminose	Vigna unguiculata	Phaseolus aureus	Calopogonium mucunoides
-	1790 c ^{x)}	1850 bc	3080 a	1850 bc
45	3080 a	2750 ab	3070 a	3050 a
90	3420 a	2750 ab	2750 ab	3070 a
135	2580 b	2920 ab	1960 bc	2920 ab

x) Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant voneinander verschieden (p = 0,05)

Die anderen Untersaaten (Vigna und Calopogonium) bewirkten dagegen erst in der zweiten Vegetationsperiode (Augustaussaat) einen deutlichen Ertragszuwachs auf die Folgefrucht, die nicht gedüngt und ohne Untersaat angebaut wurde (Tab. 4.4.7.). Gegenüber der Kontrolle ohne Untersaat waren die Erträge nach Gründüngungsuntersaat höher. P.aureus zeigte nur noch sehr geringe Wirkung (ihre Wirkung war schon in der 1. Vegetationsperiode deutlich geworden; Tab. 4.4.6.). Am deutlichsten war der Gründüngungseffekt bei C.mucunoides, die auch den höchsten Grünmasseertrag gebracht hatte.

Tab. 4.4.7.: Einfluß von ungedüngten Leguminosenuntersaaten in Mais auf den Ertrag der Nachfrucht Mais in kg/ha (AGBOOLA und FAYEMI, 1972a) 1)

keine	Leguminosenuntersaat in der Vorfrucht Mais		
	<i>V. unguiculata</i>	<i>p. aureus</i>	<i>C. mucunoides</i>
1210	1970	1510	2120

Zweijährige Anbauversuche auf einem Nachbarstandort mit etwas höherer Bodenfruchtbarkeit brachten Ergebnisse, die ebenfalls deutlich für die Untersaat von Gründüngungspflanzen sprachen. (Tab. 4.4.8.). Schon ab dem 2. Anbaujahr waren die Ergebnisse mit Untersaaten durchgehend besser.

Tab. 4.4.8.: Auswirkung verschiedener Maisanbauverfahren auf den Korn-ertrag (kg/ha) auf einem "Ferruginous soil" in Ibadan/ Nigeria (AGBOOLA und FAYEMI, 1972b)

Anbausaison	ohne Le- guminose	<i>Vigna</i> ung. Untersaat/ Gründüngung	<i>Calopog. muc.</i> Untersaat/ Gründüngung	<i>Phaseolus aur.</i> Untersaat/ Gründüngung
1. Saison 1966	2520 a	2670 a	2690 a	2800 a
2. Saison 1966	1190 b	1150 b	2000 a	1150 b
1. Saison 1967	1610 b	2390 a	2560 a	2550 a
2. Saison 1967	710 b	1270 a	1270 a	1230 ab
Durchschnitt	1510 b	1870 ab	2240 a	1930 ab

Vigna und *Phaseolus* waren schon im Seneszenzstadium (abgereift) bei der Einarbeitung (also nach der Definition nur noch bedingt als Gründüngung anzusehen), während *Calopogonium* noch im Wachstum war.

P. aureus lieferte in allen vier Saisonen durchschnittlich 3,3 dt/ha Korn-ertrag. *Vigna* kam nur jeweils in der 1. Saison zur Reife (Erträge 3,8 und 3,0 dt).

Der Versuch bestätigt die Ergebnisse von RATTRAY (1956) (Tab. 4.4.2.), wonach die Gründüngungswirkung bei Körnerleguminosen nach Entnahme einer Ernte geringer ist, da energie- und N-reiche Verbindungen dann schon vermehrt in die Körner eingelagert sind (hier bei *Vigna* und

1) Einarbeitung als Gründüngung: Trotz der Einarbeitung der Maistrückstände mit der Gründüngung erst kurz vor der 2. Aussaat entstand auf dem Standort keine Ertragsminderung (grobe Bodentextur).

Phaseolus). Außerdem ist zu erkennen, daß die Gründüngungswirkung mit wiederholter Anwendung gegenüber der Kontrolle vorteilhafter wird (siehe Buchstaben, die die Signifikanz anzeigen).

Bei Versuchen mit Leguminosenuntersaaten auf ungedüngten Standorten in den Hochlandtropen Boliviens ergab sich folgendes Bild (Tab. 4.4.9.):

Tab. 4.4.9.: Auswirkungen 14 verschiedener Untersaaten zu Mais auf den Maisertrag, die Futtererträge und die Bodenbedeckung auf einem Standort in Bolivien (PAIRUMANI, 2620 m ü.M., 1979/80; SCHWEIZERISCHE STIFTUNG..., 1981)

Art der Untersaat	Ertrag Mais/ ¹⁾ Körner t/ha	Ertrag Futter 2. Schnitt FS/t/ha ²⁾	% Bodenbe- deckung der Untersaat ohne Unkraut
<i>Medicago lupulina</i>	6,35	9,00	47
<i>Medicago sativa</i>	7,47	10,24	31
<i>Lotus corniculatus</i>	6,63	3,67	3
<i>Trifolium pratense</i>	6,49	10,40	40
<i>Trifolium repens</i>	5,74	7,23	37
<i>Trifolium resupinatum</i>	6,26	4,60	13
<i>Trifolium alexandrinum</i>	6,18	9,87	23
<i>Trifolium subterraneum</i>	7,10	4,03	24
<i>Trifolium hybridum</i>	7,12	5,10	4
<i>Melilotus albus</i>	7,72	5,97	46
<i>Anthyllis vulneraria</i>	7,03	5,63	3
<i>Onobrychis viciolia</i>	9,66	4,20	3
<i>Vicia sativa</i>	5,36	15,62 ³⁾	23
<i>Vicia villosa</i>	8,70	20,43	61
ohne Untersaat	5,67	2,00	42 ⁴⁾
GD (P 0,05) Arten	2,90	3,60	19

1) Maissorte: Compuesto 13; 2) FS: Frischgewicht; 3) nur 1. Schnitt; 4) nur Unkraut

Besonders die Untersaat von Zottelwicke (*Vicia villosa*) erwies sich hier als äußerst günstig. Sie beeinflusste den Maisertrag deutlich positiv und lieferte außerdem viel Futter und eine relativ dichte Bodenbedeckung.

Der günstigste Aussaatzeitpunkt war nach der Unkrauthacke zu Mais (Mais 25 cm Höhe). Die Untersaaten, die nach der Maisernte den Boden bedeckten, wurden als Futter genutzt und verbesserten die Futtergrundlage gegenüber traditionellen Verfahren erheblich.¹⁾

Weitere Untersuchungen ergaben, daß es außer auf die Wahl der geeigneten Untersaat auch auf die geeignete Deckfruchtsorte ankommen kann (Abb. 4.4.c.). Ohne Untersaat war die Sorte AYCHASARA die geeignetste; mit Untersaat war die Sorte CHOCLERO eindeutig günstiger.

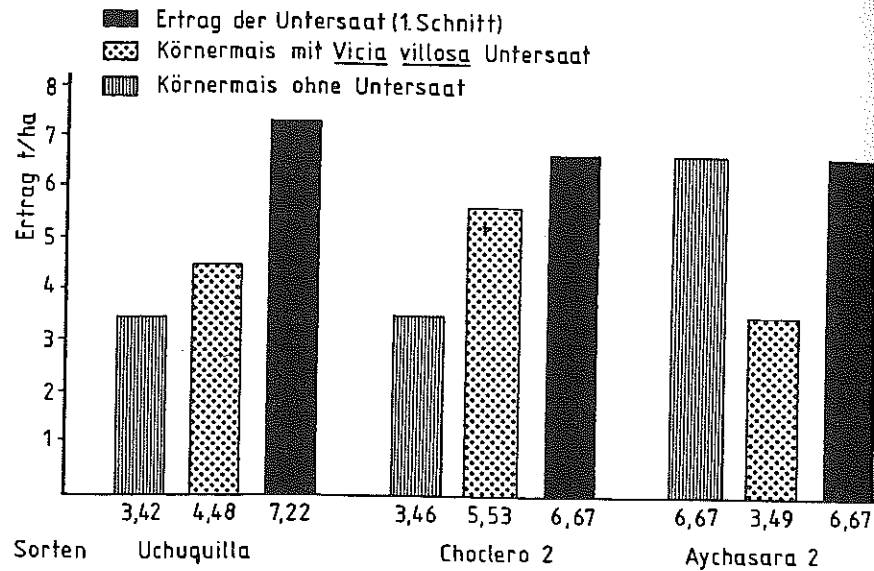


Abb. 4.4.c.: Wirkung von Untersaat mit Zottelwicke auf den Ertrag von 3 verschiedenen Maissorten. Molino Blanco/Bolivien, (2820 m ü.M., 1979/80) (nach SCHWEIZER, STIFTUNG ZUR FÖRDERUNG DES BIOLOGISCHEN LANDBAUS, 1981)

1) Nach KAHNT (1983) kann bei ordentlicher Stallmistbereitung mit einer 40prozentigen Rückfuhr des Grün-Futterstickstoffs gerechnet werden.

In noch höheren Lagen hat es sich bewährt, Zottelwicke als Untersaat zu Gerste zu verwenden. Die Ergebnisse bestätigen die Forschungen von DO VAN LONG (1978), der das Konkurrenzverhalten von *V. villosa* und *Stellaria media* zu Hafer untersuchte und ebenfalls kaum Konkurrenz feststellen konnte, obwohl beide in erheblichem Umfang Biomasse produzierten.

Andere Methoden, synchron Gründüngungsmasse zu erzeugen, sind aus dem Reisanbau bekannt. Im Süden Chinas ist es gebräuchlich, *Sesbania cannabina*, die überflutungstolerant, säuretolerant und alkalinitätsverträglich ist (FAO, 1979a), auf speziellen, gut gedüngten Anzuchtbeeten heranzuziehen (während der Reis auf den Feldern heranwächst) und dann in den Reis zu pflanzen.

Das Verhältnis von Anzuchtbeet zu Reisfeld beträgt etwa 1 : 50, die Saatstärke etwa 0,5 - 0,7 kg/100 m².

Nach einem Monat haben die Sesbania-Pflanzen eine Höhe von etwa 15 cm, und wenn sie 10-15 cm höher sind als der nun bereits reife Reis, werden sie in diesen ausgepflanzt (Reihen von 3 x 0,25 - 0,35 m). Wenn sie festgewachsen sind, werden sie geköpft, damit sie sich gut verzweigen und eine reichliche Blattmasse erbringen.

Der Reis wird geerntet, und die Sesbania wächst noch etwa 10-15 Tage alleine weiter. 3 Tage vor der zweiten Reisaussaat wird sie eingearbeitet und bringt 15-22 t/ha Frischmasse, also den Ertrag einer regulären Gründüngungsansaat.

Die N-Ernte der Blattmasse ist etwa 80 kg/ha, wovon ungefähr 40 % für die Nachfrucht verwertbar sind, was zu erheblichen Düngereinsparungen führt.

Trotz vermindelter mineralischer N-Düngung (45 statt 75 kg) war der Ertrag bei Versuchen in China mit 50 dt/ha um 20 % höher als in der Kontrolle ohne Sesbania.

Ein solches Verfahren ist für Standorte geeignet, wo zwei Reiskulturen pro Jahr möglich sind.

Die Wirkung auf Standorten, wo nach Reis andere Kulturen folgen, ist noch zu untersuchen.

Die Anzucht im Saatbeet hat den Vorteil, daß a) eine mögliche Verunkrautung durch Sesbania vermieden wird (REHM und ESPIG, 1976) und b) die Pflanze nur einen Monat auf dem Reisfeld steht (FAO, 1979a), wodurch sie wenig Konkurrenz zum Reis darstellt.

Die im Mulchkapitel beschriebenen, ähnlichen Verfahren des "Alley-cropping" von *Leucaena* und Mais lassen sich auch für Gründungsmaßnahmen anwenden (siehe Kapitel 4.3.).

4.4.3.4. Gründüngung mit *Azolla* in Reis

Ein weiteres bedeutendes Verfahren der Gründüngung in Reis ist die Verwendung von *Azolla*¹⁾.

Azolla ist eine auf seichten Wasseroberflächen (5-15 cm) wachsende Assoziation des Wasserfarns *Azolla* sp. mit der blau-grünen Alge *Anabaena azollae* Strasburger. Die Alge wächst in Blatthöhlen des Farns und ist befähigt, bedeutende Mengen an Stickstoff zu fixieren, die sie an den Farn abgibt. Der Farn kann dadurch sehr gut wachsen und sorgt seinerseits für optimale Lebensbedingungen der Stickstoff fixierenden Alge.

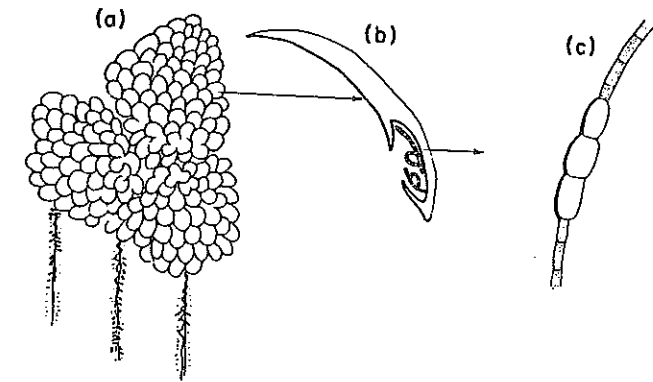


Abb. 4.4.d.: Wasserfarn *Azolla pinnata* R.Br. a) x 10 und b) Blatt mit Höhle und blau-grüner Alge; c) *Anabaena azollae* Strasburger (x 1000)

Die Wurzeln des Farns (a) hängen lose in das Wasser (1-2 cm lang bei *A.pinnata*) und können im Schlick wurzeln. Wenn sie den Kontakt zu freiem

1) Da *Azolla* in Publikationen der FAO (HAMDI, 1982; FAO, 1979; FAO, 1979a; IRRI, 1979) und bei GUTBROD (1982) ausführlicher behandelt wird, beschränken sich die Ausführungen auf das Wesentliche.

Wasser verlieren, stirbt die Pflanze ab (GUTBROD, 1982).

6 Arten des Wasserfarns sind bekannt: sie unterscheiden sich in Größe, Farbe, geographischer Verbreitung und auch in ihren Umweltansprüchen.

A.filiculoides Lam. (Verbreitung: Südamerika und Süden Nordamerikas)

A.caroliniana Willd. (Süden USA, Mexiko, Karibik)

A.mexicana Presl. (Norden Südamerikas, Süden Nordamerikas)

A.mircophylla (tropisches und subtropisches Amerika)

A.pinnata R.Br. (Asien, Australien, Afrika)

A.nilotica Decaisne (Nil, Nordafrika)

(A.pinnata und A.filiculoides sind die wirtschaftlich bedeutendsten Vertreter.)

Azolla gedeiht bei Temperaturen von 10-30° C. Das Optimum für A.pinnata liegt bei 25-30° C (FAO, 1979): A.mexicana kann auch höhere Temperaturen vertragen, A.filiculoides hat ihr Optimum unter 25° C (16-21° C) (GUTBROD, 1982). Bei 5° C stellt Azolla das Wachstum ein.

Die **Lichtansprüche** sind je nach Herkunft und Art bei etwa 18.000-45.000 Lux im optimalen Bereich (ungefähr 50 % des vollen Tageslichtes), die Grenzen liegen bei mindestens 5000 Lux und maximal 100.000 Lux.

Der **pH** soll möglichst bei 5-7 liegen.

Salinität hindert Azolla am Wachstum. Am besten sind Gehalte von 0,1 %. Bei 1,3 % Salzgehalt tritt der Tod ein (HAMDI, 1982).

Die **relative Luftfeuchte** liegt optimal bei 80-90 %. Bei 60 bzw. 100 % relativer Luftfeuchte stellt Azolla das Wachstum ein (FAO, 1979).

Im natürlichen Verbreitungsgebiet ist in der Regel der P-Gehalt der Gewässer für das Azolla-Wachstum limitierend (GUTBROD, 1982). In China werden die Azolla-Kulturen deshalb mit 10-12 kg P₂O₅/ha gedüngt, wobei es sich (auch nach Untersuchungen des IRRI) bewährt hat, in Abständen von 2-5 Tagen jeweils 5 x 2-2,5 kg P₂O₅ als Superphosphat oder auch als Rohphosphatsmehl auszubringen (HAMDI, 1982; FAO, 1979).

Gaben von 10 dt Stallmist/ha alle 10 Tage, Gülleeinleitung (125 - 250 l alle 5 Tage) oder Kompostgaben haben sich in China ebenfalls bewährt. Kaligaben können auf leichten, sauren Böden notwendig werden (100 kg Asche liefern ungefähr 10 kg K₂O und viele Spurennährstoffe).

Molybdän ist ein wichtiger Mikronährstoff für die N-Fixierung (Düngerform Na₂MoO₄ · 2 H₂O).

Da bei intensiver Zucht Schädlinge oder Krankheiten auftreten können, wird vielfach der Einsatz von Insektiziden empfohlen (siehe HAMDI, 1982 und

CHU, 1979). Wo nötig, kann zum Schutz der Mutterkulturen (Anzuchtbeete) nach Prognoseverfahren und Felderhebungen Carbofuran und Malathion eingesetzt werden. In China hat sich jedoch auch die vorübergehende Unterbrechung der Wasserversorgung zur Schädlingskontrolle bewährt. Die Schonung von Fröschen und räuberischen Spinnen ist ebenso von Bedeutung. Die Ameise Tetramorium guineense Farbicus kann die Lepidopteren bis zu 67 % kontrollieren (CHU, 1979).

Auch Enten auf Azollaflächen rücken Schnecken und anderen Schädlingen zu Leibe (FAO, 1979).

Die Krankheits- und Schädlingsanfälligkeit ist in der heißen Jahreszeit besonders hoch.

Die Anwendung von Azolla zur Gründüngung ist auf 3 Arten möglich:

a) als Vorfrucht, b) als "Untersaat" und c) als Nachfrucht.

Ungeachtet der Anwendungsart ist es notwendig, gesonderte Anzuchtbeete für Azolla zu schaffen.

Während Hitze- oder Kälteperioden sind spezielle Maßnahmen erforderlich, um den vegetativen Azolla-Bestand in die nächste Saison zu retten (noch kein Verfahren der generativen Vermehrung) (siehe FAO, 1979a und 1979 sowie HAMDI, 1982). Zum Schutz gegen Hitze (Erwärmung des Wassers auf mehr als 40° C) kann Azolla in hochwachsenden Reisbeständen (beschattet) gehalten werden. Auch baumumstandene flache Tümpel eignen sich: künstliche Schattendächer sind eine weitere Möglichkeit (zur Kultur von Azolla in Nährlösungen in Labors oder Gewächshäusern siehe HAMDI (1982)).

In China werden zur Anzucht 3-4 m² große Becken in größerer Anzahl angelegt, die mit Kompost gedüngt werden (siehe Abb. 4.4.e).

Ein Inokulum von 0,7 kg Frischmasse/m² wird ausgebracht (bei dieser Dichte optimales Wachstum) und wächst in 3 - 5 Tagen auf das doppelte Gewicht an. Nach 7-15 Tagen hat A.pinnata, wenn sich die Pflanzen bereits überlapen, die optimale Dichte (2,2 kg/m² oder 22 t/ha) erreicht und kann geerntet bzw. weiter ausgebracht werden.

A.filiculoides wird mit 0,5 kg/m² inokuliert und verdoppelt sich in 7-8 Tagen, so daß nach etwa 30 Tagen eine Menge von 6,0 kg/m² heranwächst (A.f. kann noch vertikal bis zu 15 cm Höhe weiterwachsen, A.pinnata dagegen nicht).

Das gezüchtete Inokulum wird auf die "bewässerten Brachflächen" ausgestreut und wächst nun dort heran.

SINGH (1979)¹⁾ beschrieb die indische Methode der Azolla-Gründung. Hierbei wird frische Azolla in 5-10 cm tiefes Wasser ausgestreut (ca. 100 g/m²). Mit einer leichten Phosphatdüngung (am besten geteilt 8-10 kg P₂O₅/ha) bedeckt A.pinnata dann in 10-20 Tagen das ganze Feld. Nach Ablassen des Wassers wird Azolla eingearbeitet und der Reis innerhalb der 1. Woche gepflanzt. (Das Einarbeiten hat immer eine bessere Wirkung, als wenn Azolla einfach belassen wird und sich nach Erreichen der optimalen Dichte unter N-Angabe im Wasser zersetzt, wie das bei Untersaaten oft praktiziert wird.)

Wenn wenig Wasser zur Verfügung steht, kann Azolla auf kleinen Flächen (Tümpel, Gräben) erzeugt werden und wöchentlich (unter Belastung eines Inokulums) geerntet werden. 5-10 % der Fläche reichen aus, um die ganze Fläche in 2-3 Monaten zu düngen (später auch als Kopfdüngung).

In China (FAO, 1979 und 1979a; HAMDI, 1982) wird A.pinnata als Vorfrucht, Untersaat und Zwischenfrucht kultiviert.

Im **Vorfruchtverfahren** werden die Flächen mit 0,5-0,8 kg/m² inokuliert (damit genügend Inokulum zur Verfügung steht, muß etwa einen Monat zuvor mit der Vermehrung begonnen werden; 120 m² Vermehrungsfläche je ha). Nach 6-15 Tagen wird das Wasser abgelassen, die Azolla-Gründung eingearbeitet (mit Kleinschlepper oder manuell) und der Reis gleich danach ausgepflanzt. Auf weniger fruchtbaren Böden kann das Einarbeiten auch 2- bis 3mal wiederholt werden (rasche Überstauung nach dem Einarbeiten mindert N-Verluste).

Pro Ernte liefert Azolla etwa 30-40 kg N/ha.

Bei der **Untersaat-Methode** wird Azolla nach dem Reispflanzen mit 0,5 bis 0,7 kg/m² in den Reis ausgestreut und alle 10-15 Tage von Hand in den Reissumpf eingearbeitet, wobei jeweils ein ausreichendes Inokulum zurückbleibt. Dieser Vorgang wird 3- bis 5mal bis zum Rispschieben wiederholt. (Ein Belassen von Azolla als Schwimmdecke kann zu Sauerstoffmangel und Schäden am Reis führen.)

Durch diese Praxis konnte der Reisertrag in einigen Provinzen von 36 auf mehr als 90 dt/ha verbessert werden. Tabelle 4.4.10. zeigt Ergebnisse mit etwas geringerer Wirkung von CHEKIANG (1964, zit. in CHU, 1979).²⁾

- 1) SINGH, P.K. (1979): Use of Azolla in rice production in India. Symposium on Nitrogen and Rice, Sept. 1978, IRRI, Los Banos, Philippines. In: IRRI, 1979; p. 407-418.
- 2) CHU, L.C. (1979): The Use of Azolla in Rice Production in China. Symposium on Nitrogen and Rice, Sept. 1978, IRRI, Los Banos, Philippines. In: IRRI, 1979; p. 375-394.

Tab. 4.4.10.: Auswirkungen des Zeitpunkts und der Häufigkeit der Azolla-Einarbeitung auf die Erträge von Reis und Azolla (CHEKIANG, 1964, zit. in CHU, 1979)

Behandlung	Azolla-Erträge (t/ha)						Gesamt- Ertrag	Paddy- Ertrag in t/ha
	nach 10 Tagen vor Einarbeitung	nach Einarbeitung	nach 20 Tagen vor Einarbeitung	nach Einarbeitung	nach 25 Tagen	nach 30 Tagen		
1. Keine Azolla (Kontrolle)	-	-	-	-	-	-	-	3,7
2. Natürliche Zersetzung	13,7	-	24,5	-	22,9	1,9	24,5	4,4
3. Einarbeiten von Azolla nach 20 Tagen (einmal) ^{a)}	12,4	-	21,5	-	-	-	21,5	4,4
4. Einarbeiten von Azolla nach 10, 25 Tagen (zweimal)	8,8	4,1	15,8	-	20,4	-	21,4	5,0
5. Einarbeiten von Azolla nach 10, 20, 30 Tagen (dreimal)	12,4	2,9	13,8	6,5	10,9	13,8	30,6	5,0

a) 2,9 t Mutterazolla/ha wurden am Tag des Auspflanzens von Reis ausgebracht

Beim "Enge-Doppelreihen-Verfahren" wird der Reis in Doppelreihen (13 x 6,5 cm) ausgepflanzt. Zwischen den Doppelreihen bleibt ein Abstand von 55 bis 65 cm, in dem Azolla kultiviert wird (Abb. 4.4.e.).

Bei diesem Verfahren ist es nötig, wöchentlich einmal durch die Reihen zu gehen, zu düngen (s.o.) und mit Bambusbesen die Azolla zu schlagen, damit sich einzelne Pflanzen voneinander lösen und weiterwachsen können. Bei Reife der ersten Reiskultur wird das Wasser abgelassen, um das Reisswachstum zu fördern und Azolla zu kräftigen (siehe Abbildung 4.4.e.). Mit diesem Verfahren ist es möglich, fast ganzjährig Reis und Azolla zu kultivieren. Als Reissorten eignen sich in diesem Verfahren besonders kompakte Wuchsformen mit aufrechtem, dünnen Blatt, großer Kornzahl pro Rispe und mittlerer Bestockung. Sorten mit langer Vegetationszeit nutzen den bei der Zersetzung von Azolla (N-Exkretion) frei werdenden Stickstoff besser als solche mit kurzer Vegetationszeit.

Azolla verbleibt bei diesem Verfahren als Schwimmdecke bis zum Ende der Vegetationszeit.

In China wurden mit diesem Verfahren 1976 und 1977 in großangelegten Versuchen mit 2 Reiskulturen im Durchschnitt 102 bzw. 132 dt Reis pro ha geerntet.

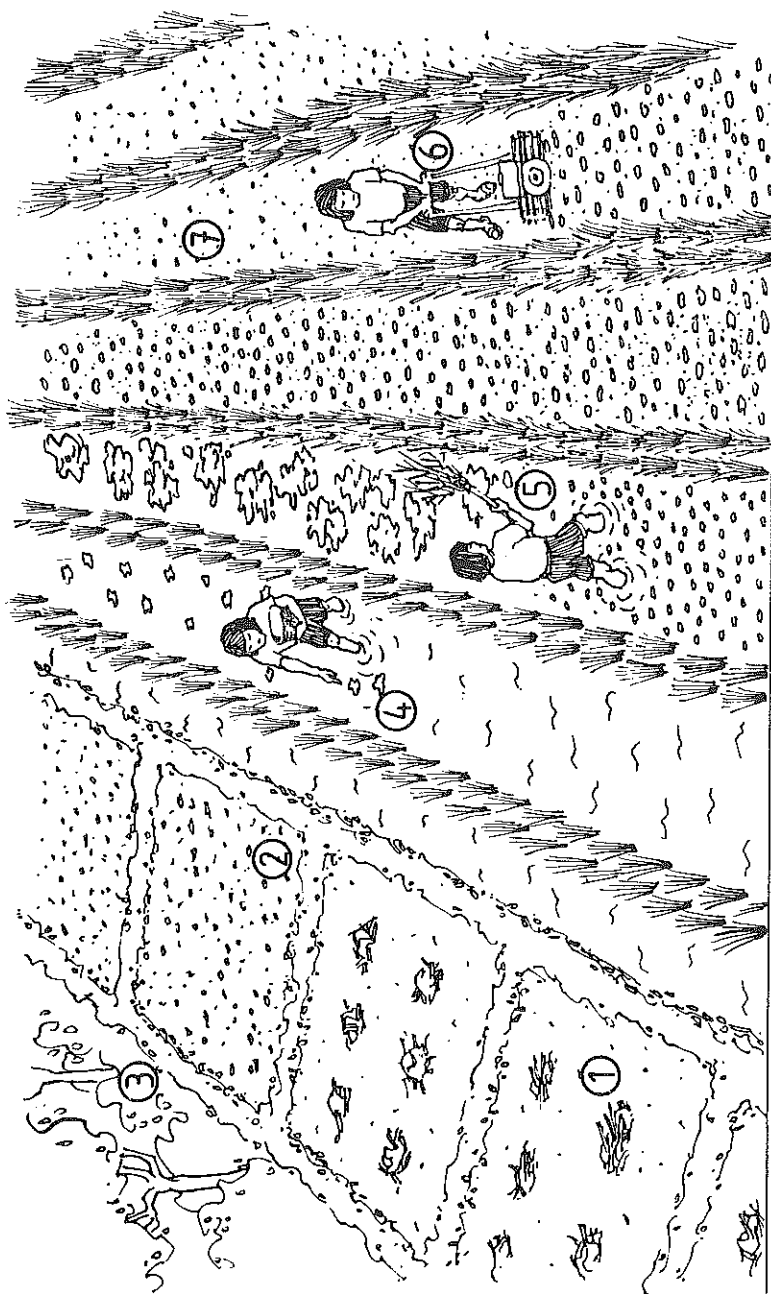


Abb. 4.4.e.: Die Anwendung von Azolla in Wasserreis (Verfahren mit engen Doppelreihen):
 1: Kompostdüngung der Anzuchtbeete; 2: Überstautes Anzuchtbeet; 3: Teilbeschattung der Anzuchtbeete;
 4: Beimpfung des Reisfeldes mit Azolla; 5: Schlagen (Lockern) der Azolla; 6: Einarbeiten (auch manuell);
 7: Beginn des neuen Zyklus

Die Azollaerträge betragen 112-149 t Frischmasse/ha (entspricht bei einem Trockenmassegehalt von 3,5 Prozent 4-5 t TM/ha mit einem C/N-Verhältnis von ungefähr 10:1). Der N-Gewinn belief sich auf durchschnittlich 224 bis 300 kg/ha (Verluste nicht berücksichtigt).

Entnahmen von Azolla zur Gründüngung anderer Flächen sind bei diesem Verfahren in gewissem Umfang möglich. (Gründüngungsgaben von 30 t Frischmasse bzw. 1,1 t TM/ha zu Mais, Weizen und Ackerbohnen ergaben in China Mehrerträge gegenüber der Kontrolle von 9,8 und 7 dt/ha).

In Brasilien konnten mit *A. filiculoides* (zwischen Vorfrucht und Reis) in 6 Wochen 50-60 kg N/ha akkumuliert werden, womit der N-Bedarf einer Reisernte von 40 dt/ha gedeckt werden kann. Durch mehrmaliges Einarbeiten (erheblicher Arbeitsaufwand) konnten Erträge bis 7 t/ha durch die Unterkultur von Azolla in Reis erzielt werden. (*A. pinnata* kann sogar bis zu 3 kg N/ha und Tag fixieren.)

In 60 Tagen wurden bei Temperaturen von 16-20° C 100 kg N/ha akkumuliert. Für eine gute Azolla-Ernte als Gründüngungsvorfrucht zu Reis war unter den Verhältnissen in Brasilien ein Zeitraum von 6-10 Wochen notwendig (GUTBROD, 1982).

In Kalifornien konnte *A. filiculoides* bei einer Inokulationsmenge von 50 g/m² in 35 Tagen 1700 kg TM bzw. 52 kg N/ha produzieren, dessen Düngewert etwa 40 kg mineralischem Stickstoff (NH₄) entsprach (ca. 25 % N-Verlust).

Tabelle 4.4.11. zeigt Ergebnisse aus Indien, wo Azolla einmal, nur unter dem Gesichtspunkt der Grünmasse- und Stickstoffgewinnung, kultiviert wurde.

Nebeneffekte der Azolla-Kultur in Reis sind: Unkrautunterdrückung, mögliche (Grün)Düngung auch anderer Kulturen, Materialgewinnung zur Kompostierung, Verwertung freier Arbeits-, Wasser- oder Flächenkapazitäten und, wie GUTBROD (1982) anführt, auch die Verbesserung der P-Verfügbarkeit für Naßreis durch Erhöhung des organisch gebundenen Phosphats im Boden.

Auch eine Verwendung als Tierfutter ist möglich und in China weit verbreitet.

Vor allem als Schweinefutter findet Azolla reichlich Verwendung. Der Anteil beträgt bis zu 50 % in der Ration, wobei Azolla im angetrockneten Zustand verfüttert wird. Nach HAMD I (1982) reichen bei guten Bedingun-

gen für Azolla schon 100 m² Azolla-Kulturfläche aus, um etwa zwei Schweine zu füttern. Bei Legehennen kann getrocknete Azolla 25-30 % des kommerziellen Hühnerfutters vollwertig ersetzen (durch Rückfuhr von Stallmist Kreislauf der Nährstoffe). GUTBROD (1982) erwähnt auch die Eignung als Fischfutter. Die Gehalte von Azolla sind in Tabelle 4.4.12. wiedergegeben.

Tab. 4.4.11.: Azolla-Erträge (Frischmasse) bei Kultivierung von Azolla zur Grünmasse- und N-Gewinnung (SINGH, 1979, zit. in HAMDI, 1982)

	Azolla-Ernte in t/ha (<i>A. pinnata</i>) auf Feldern			in Tanks		
	Inokulum	Erntemenge	Zuwachs	Inokulum	Erntemenge	Zuwachs
Ø monatlicher Ertrag	13,6	41,6	27,7	11,8	35,5	26,8
jährlicher Ertrag	164,1	497,5	333,4	141,0	461,7	321,1
jährlicher N-Ertrag in kg/ha	410	1250	840	350	1150	800

Tab. 4.4.12.: Mittlere chemische Zusammensetzung von *Azolla pinnata* (SINGH und SUBUDHI, 1978, zit. in HAMDI, 1982)

Bestandteile	in % (Trockengewicht) ¹⁾
Asche	10,5
Rohfett	3,0-3,36
Rohprotein	24 -30
Stickstoff	4 - 5
Phosphor	0,5- 0,9
Calcium	0,4- 1,0
Kalium	2,0- 4,5
Magnesium	0,5- 0,65
Mangan	0,11-0,16
Eisen	0,06-0,26
Lösliche Kohlenhydrate	3,5
Faserstoffe	9,1
Stärke	6,54
Chlorophyll	0,34-0,55

1) Trockenmassegehalt ca. 3-4 % der Frischmasse

4.4.3.5. Mehrsaisonale Intensivbuschbrachen

Da lange Brachezeiten unter dem heutigen Bevölkerungsdruck in vielen Gebieten nicht mehr möglich sind, fallen sie als Mittel zur Regeneration der Bodenfruchtbarkeit heute meist aus oder erweisen sich als nicht mehr in der Lage, diese Funktion zu erfüllen (NYE und GREENLAND, 1960; AGBOOLA, 1981 u.a.). Verkürzte Brachezeiten oder Weidebrachen können den Abbau der Bodenfruchtbarkeit nicht verhindern (NWOBOSCHI, 1981; RAMAKRISHNAN und TOKY, 1981), ja sie können der Degradation sogar Vorschub leisten (ROOSE, 1981; LAUER, 1956).

Der **mehrsaisonalen Intensivbrache** als einer Sonderform der Gründüngung liegt nun der Gedanke zugrunde, daß durch eine gezielte Kulturführung die sonst nur zögernd und spontan verlaufende Regeneration der Vegetation deutlich beschleunigt werden kann. Die Regeneration eines Standortes ist dann über eine besonders hohe Biomasseproduktion in kürzeren Zeiträumen zu erreichen (EGGER, 1983).

Im Gegensatz zu "natürlichen" Brachen, die in der ersten Zeit von flach wurzelnden Unkräutern dominiert werden (in Untersuchungen von RAMAKRISHNAN und TOKY, 1981, traf das auf einem humiden, heißen Standort in Indien bis zum 5. Jahr zu), sind Intensivbuschbrachen in der Lage, den Boden schon nach kurzer Zeit tief zu durchwurzeln.

Durch Arten, die auch in der Trockenzeit noch weiterwachsen (siehe unten), werden zusätzliche Reserven mobilisiert (EGGER, 1982).

Buschbrachen sollen aus einer Mischung verschiedener Arten zusammengesetzt sein, damit sie ökologisch stabil und klimatisch flexibel sind.

Neben der besseren Ausnutzung von Wasser und Licht schließen gemischte Bestände auch die Nährstoffreserven des Bodens besser auf. KLAPP (1967) schreibt dazu: "Es besteht ferner kein Zweifel daran, daß das arteigene Kleinleben des Wurzelbezirks in verschiedenem Maße an der Freisetzung von Nährstoffen mitarbeitet... Besonders bei geringer Zugänglichkeit der Nährstoffe tritt das unterschiedliche Aneignungsvermögen zutage" (vgl. Abb. 4.4.f.).

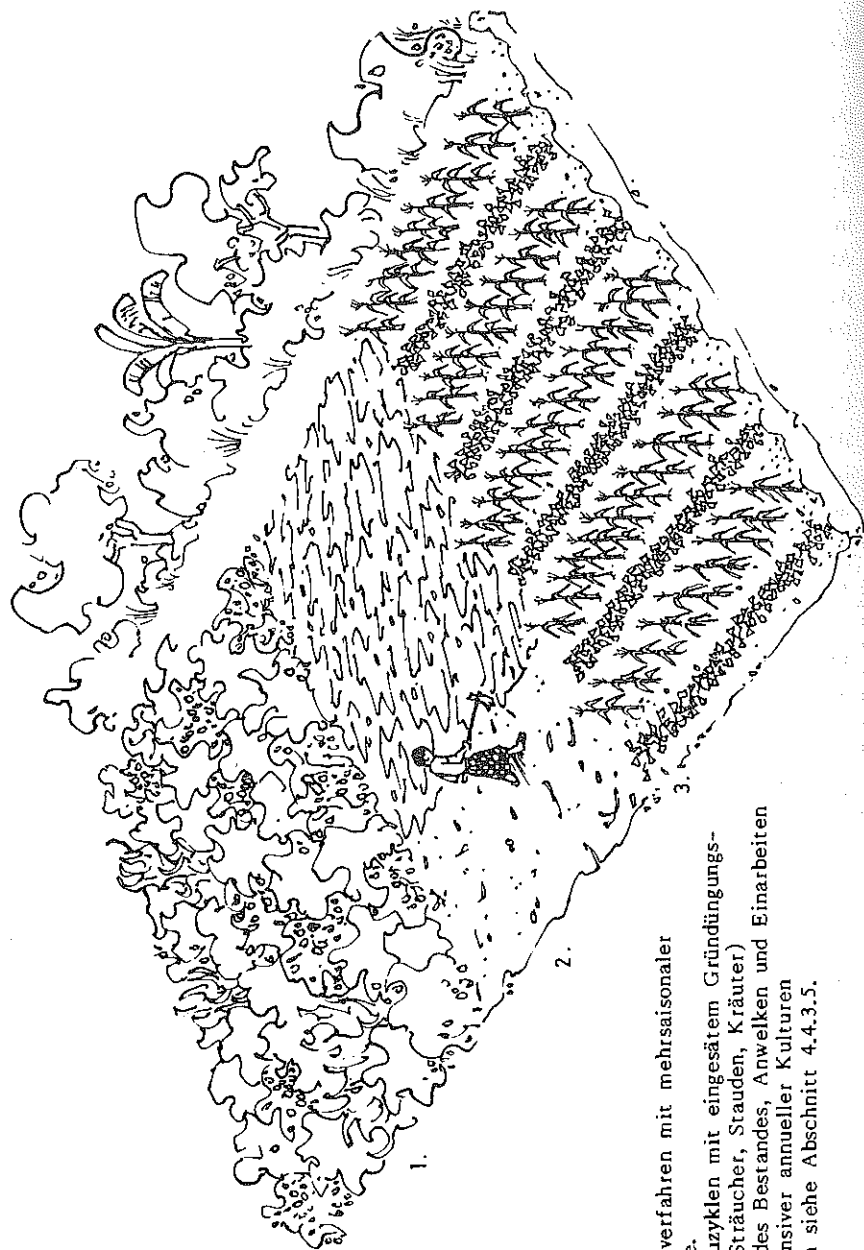


Abb. 4.4.f.:

Gründungsverfahren mit mehrsaisonaler Intensivbrache.

- 1. Zwei Anbauzyklen mit eingesättem Gründungs-
gemenge (Sträucher, Stauden, Kräuter)
- 2. Abhacken des Bestandes, Anwelken und Einarbeiten
- 3. Anbau intensiver annueller Kulturen
Erläuterungen siehe Abschnitt 4.4.3.5.

Im Rahmen der technischen Zusammenarbeit der GTZ mit Ruanda wurde in der Region Nyabisindu¹⁾ ein standortangepaßtes Buschbrachesystem entwickelt, das auf armen und mittleren Standorten Anwendung findet, wo die saisonale Mucuna-Brache sich als unzureichend erwiesen hatte.

Die zwei-saisonale Intensivbrache wird zu Beginn der kleinen Regenzeit (im Oktober) ausgesät und ist Bestandteil eines fest gefügten Rotationssystems, das als Voraussetzung für die langfristige Wirksamkeit der Maßnahme gilt.

Der Zyklus ist wie folgt:

- 1. Saison: Annuelle Kulturen (kleine Saison)
- 2. Saison: Annuelle Kulturen (große Saison)
- 3. Saison: Düngung mit 15 t Stallmist bzw. 20 t Kompost pro ha zu annuellen Kulturen
- 4. Saison: Annuelle Kulturen
- 5. Saison: mehrsaisonale Intensivbrache
- 6. Saison:

Die Ansaat besteht aus einer Mischung von Tephrosia vogelii, Cajanus cajan, Crotalaria agathifolia und anderen Crotalariaarten, Desmodium sp. und Sesbania micrantha.²⁾

Eine Ergänzung mit rankenden Leguminosen (Mucuna, Phaseolus lunatus, 40 x 40 cm) kann erfolgen (EGGER, 1981).

Die Saat wird oberflächlich 2-4 cm tief eingearbeitet und muß auf diesem Standort 14 Tage nach den ersten Regenfällen leicht gehackt werden, damit die Verweckung unterbleibt, anderes Unkraut wird toleriert.

In der kleinen Regenzeit wächst die Brache mit Begleitunkräutern auf (Bidens, Ageratum, Tagetes, Galinsoga) und entwickelt sich dann mit Beginn der großen Regenzeit zu einem dichten, guten Bestand, der nach etwa 10 Monaten eine Biomasse von 18-35 t TM erreicht hat. Nun wird die Brache abgehackt und ein bis zwei Wochen angewelkt. Verholzte Stengel, von

1) Höhenlage 1400-1700 m ü.M.; 1200-2000 mm Niederschlag jährlich, mit einer kleinen Regenzeit von Okt.-Dez., einer großen Regenzeit von Feb.-Mai und einer Trockenzeit von Juni-Sept.

2) Die in den Versuchen angewandte Mischung setzte sich wie folgt zusammen:

Cajanus cajan	450 g/100 m ²	(TKG 150 g)
Tephrosia vogelii	260 g/100 m ²	(TKG 52 g)
Crotalaria sp.	160 g/100 m ²	(TKG 23 g)
Sesbania micrantha	50 g/100 m ²	(TKG 52 g)
Desmodium distortum	13 g/100 m ²	(TKG 3,2 g)

Die Saatstärke ergibt etwa 200 Samen/m² und kann erheblich reduziert werden, ohne daß die dichte Bedeckung leidet. (Sicherheitszuschlag) (NEUMANN (1984; pers. Information)).

denen das Laub abgefallen oder leicht abzuschütteln ist, werden entnommen und als Brennmaterial verwendet. Geringe Mengen der (grobstengligen) Grünmasse dienen als Mulch in Kaffee. Der verbleibende Rest wird eingearbeitet und zersetzt sich mit der Restfeuchte und den ersten Niederschlägen der folgenden Regenzeit.

Wie Tabelle 4.4.13. zeigt, brachte die mehrsaisonale Intensivbrache eine außerordentliche Ertragswirkung (+ 380 bzw. 470 %, (4) bzw. (5)). Die Nachwirkungen auf die zweite, dritte und vierte Nachfrucht betragen nach NEUMANN (1983; persönl. Mitteilung) noch ungefähr 50, 25 und 0 % der Anfangswirkung.

Tab. 4.4.13.: Wirkungen mineralischer und organischer Düngung auf den Maisertrag zweier Standorte in Ruanda (NEUMANN und PIETROWICZ, 1983)

Behandlung	Maisertrag in dt/ha	
	Nyabitare	Gihisi
1. Kontrolle	10,03	5,81
2. 10 t Stallmist/ha	11,01	-
3. 15 t Stallmist/ha	12,88	12,54
4. Vorfrucht, 10 Monate Intensivbrache	-	28,34
5. (4) + 10 t Stallmist	-	33,12
6. 120/100/100 NPK	-	30,44
7. -/100/100 PK	-	6,64

Nach DRESSLER (1983) kann durch das Rotationssystem mit Intensivbrache auf dem Standort die gleiche Produktivität erzielt werden, wie wenn jedes Jahr 15 t Stallmist pro Hektar verabreicht würden.¹⁾

KANG und OKIGBO (1981) konnten in Südnigeria beobachten, daß in Gebieten, wo die Brachezyklen unter dem Einfluß steigender Bevölkerungszahlen immer kürzer werden, die Bauern dazu übergehen, zunehmend bestimmte Straucharten zu schonen, um damit die kürzeren Brachen zu intensivieren (Anthonata macrophylla, Acioa baterii, Alchornea cordiflora, Gliciridia

1) Zur Wirtschaftlichkeit des Verfahrens siehe Abschnitt 4.4.5.

sepium).

Die Wakaras kennen ebenfalls ein mehrsaisonales Gründüngungssystem mit Crotalaria striata D.C., die zunächst als Untersaat in Hirse gesät wird und dann etwa 9 Monate auf dem Feld bleibt, bis sie (verholzt) mit Stallkompost (tief) eingearbeitet wird. 25 % der Rotationszeit stehen ihr allein zur Verfügung (LUDWIG, 1967).

Im Licht der Versuchsergebnisse aus Ruanda verdienen solche Praktiken in Zukunft eine stärkere Beachtung.

Am Internationalen Institut für Tropische Landwirtschaft in Ibadan, Nigeria (IITA) werden derzeit Versuche mit verschiedenen Baum- und Straucharten zur Bracheintensivierung durchgeführt. Erste Ergebnisse ergaben auch hier, daß für Leucaena, Gliciridia und Cajanus mehr als eine Vegetationsperiode nötig ist, damit sie die "Feldökologie" nachhaltig beeinflussen. Gmelina arborea, Cordia allidora, Albizia falcata, Samanea saman und Cassia siamea werden derzeit auf ihre mehrjährige Brachewirkung hin untersucht (IITA, 1981; GETAHUN, 1981).

Eine den Intensivbuschbrachen ähnliche Wirkung wurde im Amazonasbecken Perus (Ultiso9ls, sL über LT) mit Pueraria phaseoloides erzielt. Ein Wechsel von zweijähriger Pueraria-Brache mit einem Jahr Anbau (bis 3 Ernten) ermöglichte Erträge, die denen nach einer 25jährigen Waldbrache entsprechen (SANCHEZ et al., 1982).

4.4.3.6. Grünblattdüngung

Nach KARUNAIRANJAN (1980) ist Grünblattdüngung "das Sammeln grüner, pflanzlicher Stoffe und deren Verwendung als organisches Düngemittel". Es ist ein vielerorts übliches Verfahren zur Ergänzung sonstiger, organischer Düngungspraktiken.

Das Verfahren ist besonders vorteilhaft in Gebieten, wo der Wasserhaushalt durch den Anbau einer Gründüngungspflanze zu sehr beansprucht würde, so daß die Wasserversorgung der Hauptkultur nicht mehr gewährleistet wäre, oder wo die Zeit nicht ausreicht, um noch eine Gründüngungspflanze anzubauen. In Indien wird das Verfahren deshalb für semiaride Standorte empfohlen (MINISTRY OF AGRICULTURE, 1975).

Häufig wird das Verfahren in Indien und China auch auf intensiv genutzten Reisböden angewendet. Es ermöglicht eine fast kontinuierliche Nutzung dieser wertvollen Felder mit "Cash-crops", während die für den Fruchtbarkeitserhalt nötige Gründüngungsmasse von anderen Flächen zugeführt wird. (Marginales Gelände, das für Ackerkulturen unbrauchbar ist, kann damit auch in die landwirtschaftliche (intensive) Produktion mit einbezogen werden.)

Die Nützlichkeit der Grünblattdüngung ist in Indien durch mehrere wissenschaftliche Untersuchungen belegt worden (REHM und ESPIG, 1976), wobei die positiven Wirkungen vor allem auf einen Nährstoffeffekt und eine kurzfristige Verbesserung der Bodenstruktur zurückgeführt werden konnten. Neben krautigen Gründüngungspflanzen spielen Baum- und Strauchleguminosen wie z.B. Gliricidia sepium, Sesbania grandiflora und Butea monosperma eine wichtige Rolle bei diesem Gründüngungsverfahren. Sesbania liefert in Java (auf den Dämmen entlang der Reisfelder kultiviert) in 6-7 Monaten Grünmasseerträge von 55 t/ha. Auch auf Sri Lanka werden Bäume und perennierende Büsche vielfach zur Gründüngung herangezogen. Die Bauern beschneiden im Oktober-November kurz nach den ersten Monsunregen die Gehölze von Wegrändern, Hangflächen und Einfriedungen und transportieren die Grünmasse mit Ochsenkarren und anderen Wagen zu ihren Feldern, wo sie diese mit einfachen Geräten (Hacken) 30 cm tief in den Ackerboden einarbeiten.

Algen und Wasserpflanzen aus kleinen Gewässern ergänzen das Grünmasseangebot (KARUNAIRANJAN, 1980).

Auf der Insel Ukara im Viktoriasee nutzen die Einwohner den Laubschnitt von zwei Dritteln der dort vorkommenden 60 Baum- und Straucharten als Futter oder Grünblattdünger (LUDWIG, 1967).

In Nigeria wird das Laub von Anthonotha macrophylla in großem Umfang zur Stallmistbereitung und Gründüngung genutzt (OBI und TULEY, 1973, zit. in OKIGBO, 1977). Die Zweigstecklinge einiger Leguminosen, die besonders leicht austreiben, werden für Heckenanpflanzungen (Garteneinfriedungen etc.) genutzt und liefern Futter, Gründüngungs- und Kompostmaterial (Baphia nitida, Gliricidia sepium, Albizia sp., Pterocarpus spp., Milletia spp.).

Im immerfeuchten Regenwald von Yurimaguas (Peru) wurden auf einem Ultisol parallel zu Versuchen über die Anwendbarkeit einer "high-external-input strategy" (SANCHEZ et al., 1982) auch Versuche zur Wirkung von

Gras- und Leguminosengrünmasse durchgeführt. Dabei konnte mit 8 t/ha Frischmasse von Pueraria phaseoloides, die aus umliegenden Baumkulturen herbeigeschafft wurden, 90 % des Ertragsniveaus der mineralisch gedüngten Varianten erzielt werden, zu denen neben den Hauptnährstoffen (siehe unten) Kalk und Spurennährstoffe, gemäß Analysen, verabreicht worden waren (siehe Tabelle 4.3.19. Kapitel Mulch).

Der Nährstoffgehalt von 8 t Pueraria betrug im Schnitt 45 kg N, 3 kg P und 30 kg K, während die Mineraldüngergaben pro Feldfrucht 40 kg N, 25 kg P und 90 kg K betragen.

Da im immerfeuchten Tropenwald Landwirtschaft ohne Baumkulturen ohnehin nicht möglich ist, steht die Grünmasseproduktion unter Baumkulturen (Hevea, Palmen etc.) nicht in Konkurrenz zum Ackerbau, es entstehen also für die Flächen keine Nutzungskosten. Die Grünmasse des Bodenbedeckers ist ein Nebenprodukt der Pflege dieser Pflanzungen.

Neben der biologischen N-Gewinnung spricht auch die weit bessere Wirksamkeit der in pflanzlicher Form verabreichten P- und K-Düngung (siehe oben) auf diesem Standort für ein solches Düngungsverfahren. Die Entzüge durch die Grünmasse sind in den Pflanzungen effektiver und mit weniger Verlusten (völlige Bodenbedeckung und Durchwurzelung) auszugleichen, als wenn die Düngung direkt zu den annualen Kulturen verabreicht würde.

Beim Reisanbau in Kambodscha konnten mit herbeigeschaffter Gründüngungsblattmasse ebenfalls sehr gute Ergebnisse erzielt werden.

Tab. 4.4.14.: Gründüngungsversuche zu Reis in Kambodscha, 1958-60 (LITZENBERGER und HO, 1961)

Düngungsvarianten	Versuch 1958		1959	1960
	Erträge in t/ha		Durchschn.	Durchschn.
	1. Ernte	2. Ernte		
a) Kontrolle	1,07	1,09	1,53	0,98
b) <u>Eupatorium</u> (20t/ha FM) 1)3)	2,76	1,08 ²⁾	2,71	1,89
c) 60/30/30 NPK	1,73	0,99	-	
d) b + c	3,40	1,45	-	

1) 20 t Grünmasse enthielten ca. 110 kg N, 12 kg P₂O₅, 87 kg K₂O
 2) Beachte, daß die Blattgründüngung keine Nachwirkung auf die Z. Reisfrucht hatte; die Düngung erfolgt jeweils zur 1. Anbauperiode
 3) 15 cm tief eingepflügt

Eupatorium odoratum ist ein in vielen Teilen Asiens gefürchtetes Unkraut (Compositae). Da es ohnehin bekämpft werden muß und zudem reichlich an Wegrändern und auf Brachflächen wächst, ist die Verwendung als Gründüngung mit geringen Nutzungskosten verbunden. Durch die Verwendung als Gründünger wird die Unkrautbekämpfung in der Regel sogar wirtschaftlicher, da außer der Verhinderung der Unkrautkonkurrenz auch noch ein Nutzen aus der Gründüngung erwächst. Den oben genannten Vorteilen einer Grünblattdüngung (Zeitgewinn, freiere Termingestaltung, Schonung des Wasserhaushalts, intensivere Nutzung (Integration) von Nebenflächen, Nutzung von Baum- und Strauchkulturen etc.) stehen auch Nachteile entgegen: Höhere Transportanstrengungen sind notwendig, der Boden wird nicht durch das Wurzelwerk der Gründüngungspflanzen aufgelockert (die Nachhaltigkeit der Wirkung ist dadurch geringer, und auf dem Standort werden weniger Nährstoffe mobilisiert, d.h. auf die Wirkung der Wurzelbiomasse insgesamt wird verzichtet.

4.4.3.7. Wurzel- und Stoppelgründüngung

Viele Autoren verweisen darauf, daß Gründüngung auf manchen Standorten Wirkung zeigt.

HOWARD (1943) schlägt deshalb vor, auf Problemstandorten die Wirkung von Wurzel- und Grünmassedüngung zu trennen, d.h. die Grünmasse z.B. mit Stroh zu kompostieren oder über Verfütterung Stallmist zu gewinnen, um "damit die Anwendbarkeit des Verfahrens in der Praxis zu erweitern".

Die Effekte der intensiven Durchwurzelung und des Nährstoffaufschlusses bzw. -recyclings bleiben bei solchen Verfahren erhalten.

Was den unmittelbaren Nutzen nur einer **Wurzelgründüngung** anbelangt, so hängt er in erster Linie von der Menge der zurückbleibenden Wurzelmasse ab.

Frühe Versuche in Europa haben auch gezeigt, daß die Art der Gründüngungspflanze dabei eine Rolle spielt (siehe Abb. 4.4.g.). Während die Gründüngungswirkung des Inkarnatklees vor allem auf die Wurzelrückstände zurückzuführen war, war es bei der Lupine umgekehrt. Die Gesamtwirkung war in jedem Fall besser.

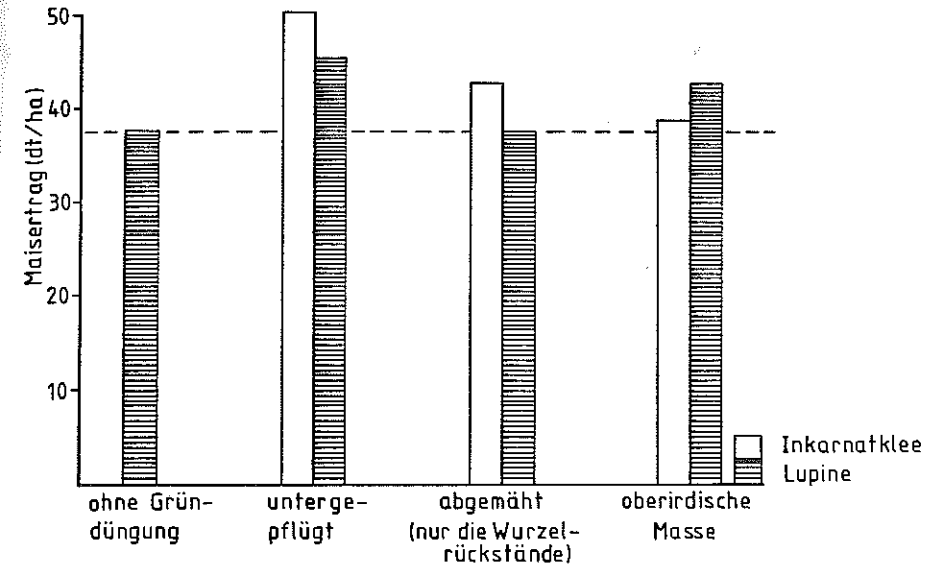


Abb. 4.4.g.: Wirkung von verschiedenen Gründüngungsteilen auf den Maisertrag bei Trifolium incarnatum und Lupinus sp. (BERKNER, 1936, zit. in BOGUSLAWSKI, 1981)

Nach BAUR (1949) kann auf europäischen Standorten mit einer 50-70 %-Wirkung der Gründüngung gerechnet werden, wenn nur die Stoppel belastet wird, weshalb von ihm generell die Verfütterung an Rinder empfohlen wurde. Aus den Tropen liegen wenige Ergebnisse zu diesem Thema vor, obwohl gerade hier wegen der intensiven Humusumsetzung nach einer Bodenbearbeitung der Gewinn durch ein solches Vorgehen besonders hoch sein kann, da dann der Boden weniger bearbeitet werden müßte.

Versuche in Indien ergaben, daß im Durchschnitt mehrerer Jahre die Gründüngungswirkung der Stoppel und des Krauts von Crotalaria auf Zuckerrohr jeweils 50 % betrug und sich diese Anteile bei Einarbeitung der ganzen Pflanze quasi addierten.

Tab. 4.4.16.: N-Fixierung durch einige Körner-, Futter- und Gründungsleguminosen in kg/ha und Jahr

	Ø	von/bis	Autor
Körnerleguminosen			
<i>Phaseolus aureus</i> (Mungbohne grün)	202	63- 342	NUTMAN (1976)
<i>Phaseolus aureus</i>	61	-	zit. in HAMDI (1982)
<i>Cajanus cajan</i> (Straucherbse)	168	96- 280	"
<i>Vigna unguiculata</i> (Augenbohne)	198	73- 354	"
<i>Canavalia ensiformis</i> (Jack-Bohne)	49	-	"
<i>Cicer arietinum</i> (Kichererbse)	103	-	"
<i>Arachis hypogaea</i> (Erdnuß)	120	72- 124	"
<i>Cyamopsis tetragonoloba</i> (Guar)	130	41- 220	"
<i>Calopogonium mucunoides</i>	202	170- 450	"
<i>Glycine max.</i> (Sojabohne)	70	64- 206	AYANABA (1980)
Futter-, Gründungsleguminosen			
<i>Centrosema pubescens</i> (alleine)	271	126- 395	"
<i>Centrosema pubescens</i> (in Mischung mit <i>P.purpureum</i>)	123	-	WHITNEY zit. in HAMDI (1982)
<i>Desmodium intortum</i> (alleine)	406	-	"
<i>Desmodium intortum</i> (in Mischung mit <i>P.purpureum</i>)	378	-	"
<i>Desmodium canum</i> (alleine)	94	-	"
<i>Desmodium canum</i> (in Mischung mit <i>P.purpureum</i>)	136	-	"
<i>Leucaena leucocephala</i>	277	74- 548	NUTMAN (1976)
<i>Sesbania cannabina</i>	442	?	"
<i>Pueraria phaseoloides</i> (Kudzu)	99	?	"
<i>Enterolobium saman</i>	150	?	"
<i>Mikanea cordata</i>	120	?	"
<i>Lotononis bainesii</i> ²⁾	62	?	"
<i>Stylosanthes</i> (sp.)	124	100- 200	TALINEAU et al. (1976)
<i>Azolla pinnata</i> ¹⁾ (im Monat)	35	30- 60	HAMDI (1982)
<i>Azolla pinnata</i> (in Reinkultur pro Jahr)	800	600-1000	"

1) *Azolla-Anabaena*-Komplex, keine Leguminose

2) verlangt spezielle Rhizobiumart

Abb. 4.4.15.: Wirkung verschiedener Pflanzenteile von *Crotalaria juncea* auf den Zuckerrohrertrag (SINGH, 1975)

Behandlung	Ertrag von Zuckerrohr in dt/ha				Durchschnitt	
	1953-54	1954-55	1955-56	1956-57	in dt/ha	in %
Kein Gründünger (Brache)	317	265	124	176	221	100
Kraut (eingepflügt)	382	350	141	188	265	120
Stoppel (eingepflügt)	348	351	153	213	267	121
Ganze Pflanze (eingepflügt)	415	383	194	241	308	140

Tastversuche zur Wirkung der Stoppel bei mehrsaisonaler Intensivbrache im tropischen Bergland von Ruanda zeigten ähnliche Ergebnisse, wodurch die Frage aufgeworfen wird, ob es nicht sinnvoller wäre, wenigstens einen Teil der oberirdischen Masse zu kompostieren oder zu verfüttern (NEUMANN, 1983; persönl. Mitteilung).

4.4.4. Wirkungen von Gründüngung

4.4.4.1. Wirkungen auf den Nährstoff- und Humushaushalt

Die bedeutendste Wirkung einer Leguminosengründüngung auf den Nährstoffhaushalt geht von der Stickstoffwirkung aus.

Je nach den Bedingungen für das Wachstum der Leguminosen können die Stickstoff-Fixierungswerte hoch oder niedrig sein. (In Versuchen konnte gezeigt werden, daß die Leguminosen unter guten Nährstoff-Bedingungen erheblich mehr Stickstoff fixieren als auf einem Mangelstandort.¹⁾)

Perennierende Pflanzen behalten auch nach der Blüte die Fähigkeit zur N-Fixierung.

Damit die Nachfrucht den Stickstoff der Leguminosen gut verwerten kann, sollen im Boden gute Bedingungen für den Abbau der Gründüngung und das Wachstum der Hauptkultur vorhanden sein, denn die Verfügbarkeit des Stickstoffs hängt stark von den Bedingungen nach der Einarbeitung ab.

1) Siehe hierzu auch Kapitel 4.6.3.

Tab. 4.4.17.: N-Fixierung von Leguminosen (kg/ha⁻¹) unter optimalem und suboptimalem Nährstoffangebot (AGBOOLA und FAYEMI, 1972a) 1)

Leguminose	Zeit bis Blüte in Wochen ²⁾	ungedüngter Boden, kein Inokulum	Boden mit N-freier Nährlösung und Inokulum
Phaseolus aureus	7	63 (100)	224 (355)
Vigna unguiculata	12	157 (100)	354 (225)
Calopogonium mucun.	14	370 (100)	450 (122)

- 1) Gewächshausversuch in Gefäßen; umgerechnet auf kg N/ha
- 2) Zeitpunkt optimaler N-Fixierung (Messung)

Hierzu durchgeführte Versuche von WEERARATNA (1979) zeigen, daß die Mineralisierung der Gründüngungsmasse unter aeroben Bedingungen (50 % Feldkapazität) deutlich besser verlief (Tab. 4.4.18.) als unter anaeroben Verhältnissen (Wassersättigung, Tab. 4.4.19.).

Tab. 4.4.18.: Gesamtverfügbarer NH₄⁺- und NO₃⁻-Stickstoff des Bodens nach Mischung mit organischer Masse während der Inkubation unter aeroben Bedingungen; in mg/100 g (WEERARATNA, 1979)1)2)

Behandlung	Inkubationszeit in Wochen							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Boden	10,3	18,0	20,9	21,7	20,7	24,3	25,1	25,8
Boden + Gliricidia	10,3	23,2	26,8	29,3	30,4	32,1	33,1	34,1
Boden + Sonnenblume	10,3	19,2	21,4	22,0	22,4	21,7	23,2	24,0
Boden + Centrosema	10,3	26,3	33,0	43,0	45,8	47,6	48,4	48,9
Boden + Calopogonium	10,3	24,5	29,9	36,0	37,6	38,8	39,8	42,1
Boden + Crotalaria	10,3	23,8	25,9	28,3	30,7	34,6	37,0	40,1
GD 5 %	-	2,7	2,4	2,5	2,2	2,4	2,6	2,5

Tab. 4.4.19.: Gesamtverfügbarer NH₄⁺- und NO₃⁻-Stickstoff des Bodens nach Mischung mit organischer Masse während der Inkubation unter anaeroben Bedingungen; in mg/100 g (WEERARATNA, 1979)

Behandlung	Inkubationszeit in Wochen							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Boden	10,3	14,8	15,4	15,4	16,3	17,1	17,3	18,2
Boden + Gliricidia	10,3	16,1	17,2	17,9	19,4	19,9	20,2	21,4
Boden + Sonnenblume	10,3	15,9	17,4	17,4	17,7	17,7	18,1	19,0
Boden + Centrosema	10,3	16,7	17,6	18,4	18,8	19,5	20,0	21,2
Boden + Calopogonium	10,3	15,0	16,1	17,3	17,8	18,8	20,6	20,9
Boden + Crotalaria	10,3	16,5	18,1	20,2	20,5	21,1	21,9	22,3
GD 5 %	-	2,1	2,5	2,6	2,9	2,6	2,8	2,9

- 1) Zugabe von 1 g gemahlener organischer Gründüngungsmasse zu 20 g Boden
- 2) Organische Masse des Versuchsbodens: 1,86 %; pH 6,4; Gesamt-N-Gehalt 0,18 %

Unter anaeroben Verhältnissen setzte die Mineralisierung nur zögernd ein, und die Menge an verfügbarem Bodenstickstoff war (auch durch Denitrifikation bedingt) zu allen Zeitpunkten geringer.

(Das Ergebnis stützt die These, wonach offene, durchlässige Böden besser für Gründüngung geeignet sind als schwere Böden mit mangelnder Wasserführung) (siehe oben).

Die genannten Versuche führen zu der Frage, wieviel des fixierten Leguminosen-Stickstoffs tatsächlich von der Feldkultur verwertet bzw. genutzt werden kann.

Neben den Bodenverhältnissen nimmt die Pflanzenart (Gründüngung und Hauptkultur) Einfluß darauf. Der Ausnutzungsgrad ist außerdem davon abhängig, ob Angebot (Mineralisation der Gründüngung) und Nachfrage (Hauptbedarf der Feldkultur) zeitlich aufeinander treffen.

Nach KLAPP (1967) kann mit einer 12- bis 50prozentigen Ausnutzung des Leguminosen-Stickstoffs gerechnet werden. KAHNT (1983) gibt 20-60 % (im Extremfall bis 80 %) an.

In Versuchen von AGBOOLA und FAYEMI (1972a) war die N-Wirkung von Calopogonium und Vigna auf die folgende Maiskultur etwa 45 kg N/ha, d.h. die Ausnutzung betrug 12-30 %.

Bei Gründüngung mit Azolla in Reis wurden Verwertungsanteile von 54 bis 76 % ermittelt (HAMDI, 1982).

Gründüngungsmasse (nährstoff- und energiereich) regt auch das Bodenleben und damit die Freisetzung von bodeneigenem Humusstickstoff an. Schon LOHNIS (1926) beschrieb diesen Vorgang und BROADBET und NORMAN (zit. in JAISWAL et al. (1971) konnten dies 1947 mit markiertem Stickstoff experimentell nachweisen. Gründüngung kann also bedeutende N-Mengen bereitstellen und mobilisieren (siehe unten), deren Wirkung sich aber meist nur auf 1-(2) Vegetationsperioden erstreckt. Eine nachhaltige, dauerhafte Verbesserung des N-Status eines Bodens ist durch Gründüngung in der Regel nicht zu erwarten.

In zweijährigen Versuchen mit Gründüngungsuntersaat auf einem sandigen Ultisol in Nigeria konnten AGBOOLA et al. (1975) sogar feststellen, daß der N-Abbau im Boden auch mit Gründüngung 2-2,5 % pro Jahr betrug und damit nicht signifikant von der Kontrolle unterschieden war.¹⁾ (Durch zusätzliche Mineraldüngung wuchsen die jährlichen Verluste auf 4,7-5,4 % an.) Nach indischer Erfahrung ist der Effekt des Abbaus von dauerhaftem Bodenhumus (Humus-Stickstoff) besonders dann gegeben, wenn relativ kleine Gründüngungsmengen in leicht zersetzlichem Zustand in den Boden gebracht werden (beschleunigte Mineralisation, geringe Humifikation) (JAISWAL et al., 1971).

Ob das auch bei mehrsaisonalen Intensivbrachen zutrifft, muß nach dem gegenwärtigen Stand der Forschungen noch offen bleiben. Es ist aber anzunehmen, daß diese Bracheform in bezug auf die Nachhaltigkeit günstiger wirkt, da der Boden unter dieser Bracheform lange ruht und hohe Biomassensmengen anfallen.

Nach JUO und LAL (1977; zit. in RAMAKRISHNAN und TOKY, 1981) wären in Westnigeria z.B. pro Jahr 16 t organische Biotrockenmasse notwendig, um den C-Status eines Ackerbodens auf dem Niveau eines Sekundärwaldes zu halten. (Im Rotationssystem mit Intensivbuschbrachen und Stallmist (siehe oben) werden diese Werte nahezu erreicht.)

Die Aussagen bezüglich des langfristigen N-Status eines Bodens gelten ana-

1) Wenn man annimmt, daß die obersten 20 cm eines Ackerbodens mit 2 % Humus davon betroffen sind, so entspräche das in etwa einer N-Mobilisierung von 50-70 kg/ha.

log für den Humusgehalt, denn der Bodenstickstoffvorrat ist bei \pm konstantem C/N-Verhältnis der organischen Substanz direkt vom Gehalt an organischer Masse im Boden abhängig.

Tab. 4.4.20.: C-Gehalt von Böden im Dauerdüngungsversuch von Pusa (Indien) nach SINGH (1967, zit. in JAISWAL et al., 1971)

Behandlung	C-Gehalt der Böden (%)			
	1940-41	1947-48	1954-55	1957-58
Kontrolle	0,223	0,212	0,229	0,280
N-P-K	0,235	0,292	0,245	0,365
Gründüngung	0,228	0,291	0,257	0,358
Gründüngung u. P_2O_5	0,300	0,315	0,261	0,430

Tabelle 4.4.20. zeigt die Ergebnisse eines Langzeitdüngungsversuchs in Indien, der im Jahre 1908 gestartet wurde. Die Gründüngung bewirkte keinen großen Anstieg des Humusgehaltes, beeinflusste ihn insgesamt aber positiv. Die Mineraldüngerwirkung war hier günstiger als auf dem feuchteren Tropenstandort Ibadan, wo sie den C-Abbau deutlich beschleunigte.

Auch bei langjährigen Fruchtfolgeversuchen in der Elfenbeinküste, bestehend aus 3- bis 4jährigen Fruchtfolgegliedern, die in den ersten 10 Jahren 1- bis 2jährige Leguminosengründungsbrachen einschlossen, wirkten die Leguminosen positiv.

Tab. 4.4.21.: Entwicklung analytischer Bodencharakteristika in einem langjährigen Fruchtfolgeversuch mit 30-50 % Leguminosenbrache (1960-70) und ohne Leguminosenbrache (1971-76) (BUANEC und JACOB, 1981)¹⁾²⁾

Jahr	Tongehalt (%)	org.Masse (%)	C/N-Verhältnis	Basensättigung m.e./100g	pH
1960	18,5	2,6	12,6	7,7	6,2
1969	18,5	2,9	11,5	8,4	6,6
1976	18,1	2,6	17,7	3,1	4,7

- 1) Versuchsstandort: Buaké, Elfenbeinküste, anthropogene Savanne; 1200 mm/J., sol ferrallitique
- 2) Die mineralische Düngung betrug etwa 18, 20, 27 kg/ha N, P, K plus Kopfdüngung (20-60 kg N) je nach Kultur. Nach 1970 wurde die N-Düngung auf 50-60 kg erhöht, um das Fehlen der Leguminosen auszugleichen.

Der Versuch zeigt, daß die Gründüngung mit Leguminosen (*Stylosanthes* sp. und *Desmodium* sp.) auf dem Feuchtsavanestandort zwar keine extremen Verbesserungen des Bodenzustandes bewirkte, sie war aber dazu in der Lage, den Fruchtbarkeitszustand des Bodens 10 Jahre lang zu halten bzw. leicht zu verbessern. Die Aufgabe der Rotation mit Leguminosen bewirkte dagegen schon nach 6 Jahren eine deutliche und rasche Verschlechterung der Humusqualität, eine geringere Basensättigung, die Erosion von Feinteilchen und eine Versauerung.¹⁾

Durch Rotation mit einjährigen Leguminosengründungsbeständen (30prozentiger Anteil in der Fruchtfolge) war es möglich, das Fruchtbarkeitspotential des Bodens mit nur geringen zusätzlichen Düngergaben aufrechtzuerhalten.

KAHNT (1983) verweist darauf, daß Gründüngung in Kombination mit reduzierter oder minimaler Bodenbearbeitung zur Humusanreicherung beitragen kann (Ergebnisse aus gemäßigttem Klima), während bei intensiver Bearbeitung eine humuszehrende Wirkung möglich ist, d.h. auch in den Tropen ist damit zu rechnen, daß die humusmehrenden und -aufbauenden Prozesse durch reduzierte Bodenbearbeitung gefördert werden.

Abschließend kann gesagt werden, daß Gründüngung die Stickstoffernährung deutlich verbessern kann, daß aber auf Grund der raschen Mineralisierung der Frischmasse und deren Wirkung auf das Bodenleben eine bedeutende Humusanreicherung in den Tropen nicht zu erwarten ist. Darin unterscheidet sich die Gründüngung von anderen Formen der organischen Düngung (Stallmist und Kompost), die neben der Nährstoffwirkung auch eine deutliche Humuswirkung zeigen, was durch Gefäßversuche von GUIRAUD et al. (1980) mit Grünmasse, Stroh und Kompost nochmals bestätigt werden konnte.

Häufig wird in der Literatur auch darüber berichtet, daß mit Leguminosengründüngung der Status des Bodens an verfügbarem Phosphor verbessert werden konnte (zuletzt KAHNT, 1983).

Auf einem Standort in Nigeria konnte mit einsaisonalen Gründüngungsanbau von *Crotalaria* der P-Gehalt eines Ackerbodens von 7,8 kg/ha auf 12,1 kg/ha verbessert werden (AGBOOLA, 1975). In einem anderen Versuch

1) Versauernde Wirkung der mineralischen Düngung und Fehlen der Rückfuhr von Basen durch die Leguminosen aus dem Unterboden.

verminderte Untersaatgründüngung mit Leguminosen zu Mais die Abnahme von verfügbarem Phosphat während 4 Vegetationsperioden um 50 %.

AGBOOLA und FAYEMI (1972b) folgerten daraus, daß die Leguminosengründüngung in der Lage war, das Phosphat in einem verfügbaren Zustand zu halten, in dem es vor Festlegung weitgehend geschützt war.

SÖCHTING (zit. in FLAIG, 1978) ging dieser Frage in Laborexperimenten nach und konnte beobachten, daß die Gehalte an extrahierbarem Phosphat auf einem lateritischen Boden nach kombinierten Gaben mit einem organischen N-Dünger (hier Modellsubstanz: N-Lignine) höher waren, als wenn Phosphat alleine gegeben wurde. Nach 4 Wochen waren die Unterschiede wieder verschwunden; die Verfügbarkeit konnte durch eine erneute Zugabe organischer N-Verbindungen aber nochmals erhöht werden.

Nach BOYLE et al. (zit. in FLAIG, 1978) tragen vor allem auch die organischen Säuren, die bei der Zersetzung organischer Masse frei werden, zu einer besseren P-Verfügbarkeit bei. Vor allem 2- und 3wertige Säuren wie Zitronensäure, Apfel-, Milch- und Oxalsäure erwiesen sich in seinen Versuchen als wirksam.

Bei Leguminosen können die in die Rhizosphäre abgeschiedenen H^+ -Ionen zur Löslichkeit von (Roh-)Phosphaten beitragen.

Neben solchen bodenchemischen Erklärungsansätzen zur Verfügbarkeit von Phosphaten darf nicht vergessen werden, daß durch die Verbesserung der bodenphysikalischen Bedingungen und durch die bessere N-Versorgung nach Gründüngung natürlich auch die Durchwurzelung und Wurzelbildung im Boden verbessert wird, das heißt, durch die höhere Wurzeloberfläche und durch die intensivere Durchwurzelung des Bodens in Gründüngungsfruchtfolgen wird das P-Aneignungsvermögen insgesamt verbessert.

Diese Wirkung bezieht sich auch auf den Aufschluß anderer Bodennährstoffe wie K, Mg, Spurennährstoffe usw.

So konnte durch Intensivbrachen in Ruanda z.B. eine deutliche K-Mobilisierung erreicht werden (KOTSCHI und PIETROWICZ, 1983).

Da Gründüngungspflanzen häufig auch in Zeiten wachsen und Nährstoffe aufnehmen, in denen die Kulturpflanzen noch kaum oder nicht mehr aktiv sind, können sie auch dazu dienen, Nährstoffe zu mobilisieren und zu sammeln, um sie dann, nach der Einarbeitung, gezielt den Hauptkulturen zur Verfügung zu stellen. In diesem Fall dienen die Gründüngungspflanzen als "Fang- oder Hilfspflanzen". HOWARD (1943) bemerkte dazu: "... man soll die Pflanzennährstoffe möglichst nie sich selbst überlassen", was in diesem

Zusammenhang nichts anderes heißt, als daß Pflanzen auch als lebende Reserven und Wächter von Nährstoffen zu betrachten sind.

Da die N-Mineralisierung häufig schon eintritt, bevor die Nachfrucht den größten Bedarf hat, kommt es auch bei Gründung oft zu nicht unerheblichen Stickstoffverlusten. VALLIS und JONES (zit. in WHITNEY, 1982) machten in diesem Zusammenhang die interessante Beobachtung, daß der zeitliche Ablauf der N-Freisetzung nicht nur vom Stickstoffgehalt der Pflanzen abhängig ist (relativ schnelle Freisetzung bei N-Gehalten 1,5 %), sondern daß auch die Begleitstoffe im pflanzlichen Gewebe eine wichtige Rolle spielen können. Wurden Blätter von *Desmodium tortuosum* in den Boden eingearbeitet, so konnten schon nach 6 Wochen 24 % des N dieser Blätter in Rhodes-Gras nachgewiesen werden.

Anders bei *Desmodium intortum*. Bei dieser Pflanze kam es 4 Wochen lang überhaupt zu keiner Netto-N-Mineralisation und die Anfangsmineralisierung verlief äußerst zögernd. Erst nach 4 Wochen setzte die Mineralisierung ein und verlief dann etwa gleich wie bei *D. tortuosum*. Bei *D. intortum*, die einen hohen Anteil tanningebundenen Proteins aufweist, wirkte sich dieser Tannin-Effekt in der Weise aus, daß die N-Mineralisierung später erfolgte. Es handelte sich dabei also um so etwas wie einen "slow-release-Stickstoff" oder besser noch "retarded-release"-Stickstoff, also um leicht verfügbaren Stickstoff, der erst nach einer Verzögerungsphase frei wird. Vorausgesetzt, die Tannin-Proteine beeinträchtigen nicht das Wachstum der Pflanzen, kann ein solcher Effekt durchaus positiv sein, denn der Hauptbedarf der Kulturpflanzen liegt ja meist erst nach der Jugendphase, also relativ spät nach Einarbeitung der Gründung.

Die Löslichkeit metallischer Spurennährstoffe wird durch Gründung (über Komplex- und Chelatbildung) verbessert. Die Eisen- und Mangan-Löslichkeit kann im Zuge der Zersetzung frischer organischer Substanz unter anaeroben Verhältnissen sehr stark ansteigen, was auf eisenreichen Böden zu Toxizität führen kann (FLAIG et al., 1978).

In Indien wird Gründung auch zur Verbesserung saliner Böden eingesetzt. Wasseraufnahme aus tiefen Bodenschichten, Verminderung der Evaporation und Verbesserung der Löslichkeit von Phosphat und Spurennährstoffen sind die Hauptwirkungen. *Sesbania bispinosa* hat sich dabei als für saline, alkalische Böden geeignet erwiesen (JAISWAL et al., 1971).

4.4.4.2. Wirkung auf die Bodenstruktur

Die Bodenpflege mit Gründungspflanzen ist in erster Linie ein biologisches Verfahren. Es unterscheidet sich damit deutlich von mechanischen Verfahren der Bodenbearbeitung wie Fräsen, Hacken, Tieflockern usw.

Mechanische Bodenbearbeitung kann den Boden nur zertrümmern (und macht ihn damit erosionsanfälliger), sie kann keine natürlichen, stabilen Aggregate schaffen. Diese entstehen nur auf biologisch-chemischem Wege (KAHNT, 1983) oder durch physikalische Prozesse wie Quellung und Schrumpfung. Ein Gründungsbestand durchwurzelt und durchport den Boden intensiv und kann ihn (je länger das Wachstum, desto besser und tiefer) lockern, zerteilen und aufbereiten, so daß natürlich gewachsene Krümelstrukturen entstehen, welche die Bearbeitung des Bodens erleichtern und das Wurzelwachstum der Kulturpflanzen begünstigen.

Je besser und tiefer ein Boden durchwurzelt ist, desto besser kann die Kulturpflanze Wasser und Nährstoffe aufnehmen, erschließen und verwerten (SAUERLANDT, 1948).

Nur wenn die Pflanzen in der Lage sind, ein großes Bodenvolumen (Wasser und Nährstoffe) zu erschließen, sind optimale Erträge möglich.

Dieser Sachverhalt wird (obwohl nicht gesondert untersucht) bei den Gründungsversuchen von RODRIGUEZ (1972) mit *Dolichos lablab* deutlich (siehe Tab. 4.4.5.). Die Maiserträge in der Rotation mit der tiefwurzeln- den Leguminose waren in der 2. Saison, die von unsicheren Niederschlägen gekennzeichnet ist, deutlich besser als in den anderen Varianten, was sehr wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, daß der Mais hier ein (durch *Dolichos* erschlossenes) größeres Bodenvolumen durchwurzeln konnte, wodurch die Wasserversorgung verbessert wurde.

Eine weitere wichtige Funktion erfüllt die Gründung durch die Förderung der Lebendverbauung von Bodenteilchen in der Ackerkrume. Die Beschattung schützt zunächst das Bodenleben und nach der oberflächlichen Einarbeitung der Grünmasse kommt es zu einer raschen Vermehrung der biologischen Aktivität. Pilzhyphen und Ausscheidungen der Bodenlebewesen (Schleimstoffe und Kittsubstanzen) fördern die Krümelbildung und Aggregatstabilität (KULLMANN, 1966; WENDT und STARK, 1968; YAACOB und BLAIR, 1981).

Umfangreiche Versuchsanstellungen von KEMPER und DERPSCH (1979) im (subtropischen) Süden Brasiliens konnten die Effekte der Durchwurzelung und Förderung biologischer Aktivität auf die Infiltrationsraten in Böden, die aufgrund mechanischer Bearbeitung starke Verdichtungen im unteren Pflug-horizont aufwiesen, deutlich demonstrieren (Tab. 4.4.22.).

Tab. 4.4.22.: Infiltrationsraten auf 2 Ackerböden unter verschiedenen Kulturen in Paraná/Brasilien (KEMPER und DERPSCHE, 1979)

Infiltration (mm/h)	Kulturen	Weizen	Raps (Brassica napus)	Zottelwicke (Vicia villosa)	Rübsen (Brassica camp.)	Lupine (Lupinus luteus)	Phacelia (Phacelia tanac.)
Standort A	1)	44	79	87	103	125	183
Standort B	2)	64	303	402	-	-	-

- 1) Haplorthox (Latosole)
- 2) Rhodic Paleustalf (Terra Roxa)

Mechanische Bodenbearbeitung hatte auf diesen ursprünglich gut porösen Böden nur kurzfristige Wirkungen gezeigt. Fruchtfolgen mit Bodenbedeckern (auch minimale Bodenbearbeitung mit Mulch; siehe ebenda) verbesserten deutlich die Standorteigenschaften (Wasserhaushalt, Durchwurzelung, Erosionsminderung).

YAACOB und BLAIR (1981) untersuchten in Gefäßen die Wirkungen mehrmaligen Anbaus von Soja und Siratro (*Macroptilium atropurpureum*) und konnten mit zunehmender Anbauhäufigkeit eine schnell verlaufende und stetige Verbesserung der Aggregatbildung und Infiltration erreichen (Tab. 4.4.23.).

Tab. 4.4.23.: Wirkungen von ein- bis sechsmaligem Leguminosenanbau auf die Bildung wasserstabiler Bodenaggregate und die Infiltrationsrate (mm/min) (YAACOB und BLAIR, 1981) - Gefäßversuch

Häufigkeit des Leguminosenanbaus	% stabile Aggregate 2 mm	Infiltrationsrate (mm/min) Zeitintervall	
		0-15 min.	10-15 min.
1mal Soja	39,4	8,1	1,1
1mal Siratro	47,3	4,1	1,8
3mal Soja	58,9	12,3	1,2
3mal Siratro	57,5	10,6	1,9
6mal Soja	77,1	13,4	1,7
6mal Siratro	61,6	15,4	1,3

Durch Fruchtfolgeglieder mit Gründungspflanzen lassen sich die physikalischen Eigenschaften also relativ schnell verbessern; es muß allerdings auch beachtet werden, daß die Wirkungen (zumindest im Oberboden) auch relativ schnell wieder nachlassen - und zwar um so schneller, je höher die Temperaturen.

In Gefäßversuchen von MILLER und KEMPER (1962) konnte nach Einarbeitung von Luzerne während des gesamten Versuchszeitraums von 9 Wochen eine kontinuierliche Zunahme des Anteils wasserstabiler Aggregate um über 100 % gemessen werden. Die Temperaturen waren dabei auf konstant 25°C gehalten worden. Bei 35° C war die Zunahme an stabilen Aggregaten schon nach 4 Wochen beendet und nach 9 Wochen war der Anteil stabiler Aggregate sogar leicht geringer als in der Kontrolle (wohl weil der Abbau von bodeneigenem Humus angeregt worden war).¹⁾

YAACOB und BLAIR (1981) betonen deshalb, daß unter warm-feuchten tropischen Bedingungen nur dann mit einer nachhaltigen Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit zu rechnen ist, wenn ein Boden häufig und in regelmäßigen Abständen mit Biomasse versorgt wird (eine Erkenntnis, die nach Versuchen von GLIEMEROTH (1958) auch schon im gemäßigten Klima Gültigkeit hat).

Ein anderer Weg zur Förderung der Nachhaltigkeit der Strukturwirkung ergibt sich aus der Kombination verschiedener Materialien. In Versuchen CHARREAU (1975) auf sandigen Lehmböden (sols ferrugineux) hatten unterschiedliche pflanzliche Rückstände unterschiedlich lange Wirkung auf die Bodenstruktur. Stroh hatte - gefolgt von Kompost, Wurzelmasse und Grünmasse den anhaltendsten Effekt (gemessen 1 Jahr nach der Einarbeitung). Durch die Kombination N-reicher Grünmasse mit ligninreichem Stroh (z.B. Untersaaten in Getreide) sind mittlere Wirkungen zu erwarten, ohne daß es schon zu N-Festlegung kommt.

Häufige und intensive Bearbeitung wirkt der Bildung stabiler Krümel entgegen (YAACOB und BLAIR, 1981) und vermindert die Nachhaltigkeit organischer Dünger.

Abschließend sei in diesem Zusammenhang noch erwähnt, daß die häufig eintretenden Verbesserungen bodenphysikalischer Eigenschaften durch Gründüngung sehr stark vom Standort abhängig sind.

1) Nach 5-9 Wochen sind die meisten Bestände annualer Kulturpflanzen schon geschlossen, d.h. der Boden ist dann auch nicht mehr den heftigen Niederschlägen ausgesetzt.

So erzielten LUGO-LOPEZ et al. (1975) auf einem Ultisol sehr gute Wirkungen, während die Veränderungen auf einem Oxisol nur sehr gering waren und JAISWAL et al. (1971) berichten von Versuchen auf sandigen Alluvialböden in Indien, wo die bodenphysikalischen Eigenschaften auch nach 50 Jahren regelmäßiger Gründüngung nur gering verbessert waren. Ein Wechsel bzw. die Kombination mit Stallmist oder Stroh führt auch auf Standorten, die bei Gründüngung alleine kaum reagieren, meist zu deutlichen Verbesserungen.

4.4.4.3. Phytosanitäre Wirkungen

Die Einarbeitung von Pflanzenrückständen induziert starke Veränderungen und Reaktionen des Bodenlebens.

Als Folge davon können bestimmte Krankheiten zurückgehen, ALLISON (1973) führt Kartoffelkrebs, Schwarzbeinigkeit bei Getreide, Phymatotrichum-Wurzelfäule bei Baumwolle, Rhizoctonia solani und Fusarium solani f. phaseoli bei Bohnen an.

Nach GARRETT (1975) sind primär drei Wirkungsmechanismen dafür verantwortlich:

- direkte Beeinflussung der Parasiten in ihrer Aktivität,
- Beeinflussung ihrer Überlebensdauer,
- indirekte Wirkung auf die Pathogene über Verbesserung der Resistenzeigenschaften der Wirtspflanzen (Kulturpflanzen).

Nach Untersuchungen von LINDERMAN (1970) werden pathogene Pilzsporen und Dauerorgane durch Gründüngungszersetzung (Ausscheidungen) oft zu vegetativem Wachstum veranlaßt. Wenn diese Stimulation auftritt, bevor ein geeigneter Wirt da ist und eine Lyse der entstandenen Hyphen stattfindet, kann ein Pathogen deutlich reduziert werden, wie das z.B. bei Fusarium oxisporum gezeigt werden konnte.

Es ist aber auch möglich, daß durch die starke Zunahme des bakteriellen Bodenlebens Sklerotien schon an der Keimung gehindert werden, und wenn sie trotzdem zur Keimung kommen, sind sie erhöhten Angriffen von Antagonisten und Parasiten (Konkurrenten) ausgesetzt.

Die folgende Abbildung zeigt die Reaktion von direkten Antagonisten und vom Bodenleben allgemein (hier der Actinomyceten) auf eine Gründüngung im Vergleich zur Brache.

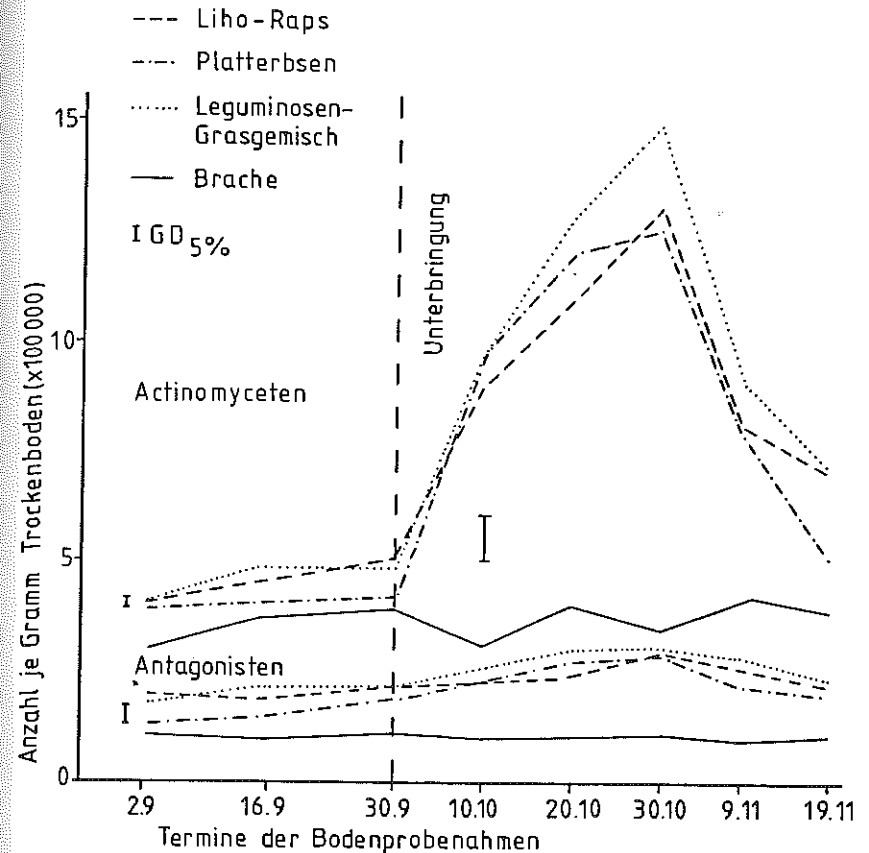


Abb. 4.4.h.: Einfluß der Gründüngung auf die Zahl von Actinomyceten Antagonisten gegen Ophiobolus graminis (Schwarzbeinigkeit) im Feldversuch (nach EHLE zit. in KAHNT, 1983)

KAHNT (1983) zitiert auch Versuche, in denen gezeigt wurde, daß durch Gründüngung nematodenfangende Pilze deutlich vermehrt werden konnten; durch den Anbau von Nematodenfeindpflanzen in der Gründüngung (Tagetes, Eupatorium, Luzerne) können diese auch direkt bekämpft werden. In Versuchen beim IITA (1977) in Nigeria erwiesen sich vor allem Pueraria phaseoloides und Stylosanthes gracilis als äußerst effektive Nematodenfeindpflanzen.

Wenn es sich um eine nur kurzfristig angebaute Zwischenfruchtgründüngung handelt, können zystenbildende Nematoden auch durch typisch nematoden-

anfällige Pflanzen bekämpft werden - nämlich dann, wenn diese nach dem Befall vor der Zystenbildung wieder vollständig abgetötet werden, so daß die Nematoden damit zugrunde gehen, weil sie ihren Entwicklungszyklus nicht durchlaufen konnten.

Gründung bewirkt nach REINMUTH (1968) generell eine Stärkung des "antiphytopathogenen Potentials" im Ackerboden, wodurch der Schadendruck verringert wird.

Das schließt jedoch nicht aus, daß auch Ausnahmen (also im speziellen Einzelfall negative Reaktionen) möglich sind. LINDERMAN (1970) erwähnt in diesem Zusammenhang die Befallsförderung von Tabak mit der schwarzen Wurzelfäule (Thielaviopsis basicola (Berk.u.Br.) Ferr.) nach Vigna-Gründung.

In Rotation mit Bohnen sind Leguminosen oft Förderer von Krankheitsbefall (Nebenwirt).

Auch die Unkrautflora wird durch Gründungsmaßnahmen stark beeinflusst. Samentragende Unkräuter keimen auf und können in dichten, hochwachsenden Gründungsbeständen verdrängt bzw. mit der Gründung dann eingearbeitet werden. Wo der erste Gründungsaufwuchs als Futter genutzt wird, werden Unkräuter und eventuell schon vorhandene Samen mit dem Futterschnitt beseitigt. Wurzelunkräuter und ausläufertreibende Unkräuter können durch Gründung gefördert werden. So wirkte Mucuna-Gründung im Bergland von Ruanda fördernd auf "Chident" (Agropyron sp.), wenn sie nicht zu Beginn der Trockenperiode (das Gras freigegeben) mit dem Ungras eingearbeitet wurde (EGGER, 1983). Demgegenüber konnte Agropyron durch Intensivgründungsbrache (mit ausdauernden, hochwüchsigen Stauden) schon in 10 Monaten sehr wirksam bekämpft werden, wenn zu Beginn der Brachezeit eine starke Ausbreitung des Ungrases vermieden wurde (selektive Bekämpfung) (NEUMANN, 1983; persönl. Mitteilung).

Intensivgründungsbrache ist damit natürlicher Brache überlegen, die nach NYE und GREENLAND (1960) und NYOKA (1982) mindestens 5-10 Jahre benötigt, um schädliche Ackerunkräuter zu verdrängen (bestimmt oft Dauer der Brachezeit).

Eine genaue Beobachtung von Unkraut und Gründung ist in jedem Fall ratsam, damit nicht Schaden statt Nutzen entsteht. Die Wahl am Standort konkurrenzfähiger wüchsiger Gründungspflanzen und eventuell eine selektive Unkrautbekämpfung im jungen Bestand (die durch Reihensaat erleichtert wird) fördern die Erfolgsaussichten von Gründungsmaßnahmen.

4.4.5. Ökonomisch-betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte

Der betriebswirtschaftliche Nutzen, der aus Gründungsmaßnahmen erwächst, schwankt je nach Klima, Boden, Fruchtfolge und Art der Bewertung in sehr weiten Grenzen. Auch die innerbetrieblichen Verhältnisse und die äußeren Rahmenbedingungen der Betriebe können sehr verschieden sein. Zu den Vorteilen einer Gründungsanwendung kann gezählt werden:

- a) Sie bietet die Möglichkeit z.T. beachtlicher Ertragssteigerungen (siehe oben).
- b) Bodenphysikalische (z.T. auch chemische) Eigenschaften können deutlich verbessert werden (Infiltration, Bearbeitbarkeit, Wasserkapazität, Durchwurzelbarkeit etc.).
- c) Die Produktion von Stickstoff und relativ großen Mengen organischer Masse am Standort ist möglich (für innerbetrieblichen Kreislauf).
- d) Es entsteht kein Transportaufwand.
- e) Die Fruchtbarkeitserhaltung (bzw.) -steigerung wird aus betriebseigenen Mitteln mobilisiert (geringer Ressourcen- und Kapitalbedarf).

Es gibt aber auch Gründe und Aspekte der Gründung, die ihre Akzeptanz und Anwendung erschweren:

- a) Durch Kultivierung von Gründungsplanzen entstehen Opportunitätskosten, d.h. es entgeht Nutzen aus Kulturen, die eventuell an Stelle der Gründung angebaut werden könnten. (Bei alternativer Überlassung der Flächen zur Brache entstehen diese Kosten nicht, ja die Brache kann sogar verbessert und höherer Intensität zugeführt werden).
- b) Es entstehen Kosten für Aussaat, Saatgut und Bestellung.
- c) Insbesondere auf nicht eigenem Besitz wird Gründung als unproduktiv angesehen.
- d) Saatgutbeschaffung und -qualität stellen oft ein großes Problem dar.
- e) Es existieren relativ wenige Versuchsdaten, um regional den Wert von Gründung beurteilen zu können.
- f) Unter den Bedingungen kleinbäuerlicher Betriebsverhältnisse ist Gründungseinarbeitung (Handhacke) mit anstrengender und schwerer Arbeit verbunden.

Diese Nachteile führen dazu, daß es nicht einfach ist, Gründungsverfahren dort einzuführen, wo sie traditionell nicht vorhanden sind (OKIGBO, 1977; OFORI, 1980; DUNCAN, 1975; ARAKERI, 1962; BURNETT, 1975).

Traditionell sind Gründungsverfahren deshalb nur in Regionen zu finden, wo unter dem Druck steigender Bevölkerungszahlen die natürliche Brache unmöglich (oder zu kurz) wurde und ein Zwang entstanden war, bei gesteigerter Nutzungsintensität die Nachhaltigkeit der Bodenproduktivität sicherzustellen, z.B. auf der Insel Ukara (LUDWIG, 1967) oder in vielen Gegenden Chinas.

Wie oben angeführt (RODRIGUEZ, 1972; NEUMANN und PIETROWICZ, 1983) gibt es durchaus Standorte, auf denen die Ertragswirksamkeit einer Gründung so gut sein kann, daß der entgangene Nutzen einer oder zweier Feldkulturen durch den Mehrertrag nach Gründung voll kompensiert wird.

In der Regel ist jedoch mit einer geringeren Reaktion zu rechnen (zumindest kurzfristig), wodurch die Akzeptanz durch den Bauern, wegen des Fehlens eines unmittelbaren Nutzens, erschwert wird.

Wie der oben zitierte Langzeitversuch in Zimbabwe zeigte (Tab. 4.4.3.), sind jedoch meist längerfristige Wirkungszeiträume maßgebend. Bei diesem Versuch konnten erst in der 3. Anbausaison mit Gründung um soviel höhere Erträge erzielt werden, daß der entgangene Nutzen einer Maisfrucht dadurch mehr als kompensiert werden konnte. Nach einer Laufzeit von 22 Jahren war die Gesamtleistung des Gründungsrotationssystems gegenüber dem Anbau ohne Gründung jedoch um 43 % überlegen.

Graphisch ist dieser Sachverhalt in Abbildung 4.4.i. dargestellt.

Solche Effekte, die durch langfristige Wirkungen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit beitragen, werden schwer in die Praxis umzusetzen sein, da der Kleinbauer (oft unter ökonomischem Zwang) darauf aus ist, oder darauf angewiesen ist, zumindest das aktuelle Produktionsniveau zu erhalten.

In Indien hat man in der Beratung deshalb die Strategie verfolgt, zunächst nur auf 1/5 der Fläche eine Gründung einzuführen (wenn möglich vielleicht sogar ohne Verlust einer ganzen Hauptfrucht auf der Fläche). Nach und nach kann dann - mit den Ergebnissen der Gründungswirkung im Hintergrund - die Fläche auf 1/4 oder schließlich auf 1/3 des Landes ausgedehnt werden (MINISTRY OF AGRICULTURE, NEW DELHI, 1975).

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Gründung synchron zu Feldkulturen als Untersaaten anzuwenden. Wie die Ergebnisse von AGBOOLA und FAYEMI (1972a, b) zeigen, können dadurch bei geeigneter Pflanzenwahl und günstigen Standortbedingungen auch mit körnerliefernden Leguminosen

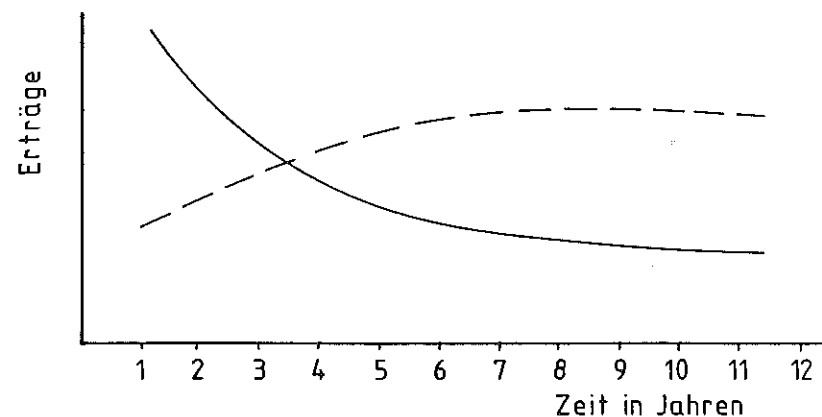


Abb. 4.4.i.: Mögliche durchschnittliche Ertragsentwicklung in einem Rotationssystem mit Gründung (-----) und ohne Gründung (—) bei langfristiger Betrachtungsweise¹⁾ (Durchschnitt aus Gesamtertragsniveau der Vegetations- und Gründungsperioden)

recht gute Ergebnisse erzielt werden (Tab. 4.4.8.). Die Gründungswirkung bleibt dabei allerdings hinter der Wirkung reiner Gründungspflanzen zurück. (So ist z.B. die N-Hinterlassenschaft in Wurzeln von Körnerleguminosen nur etwa 15 %, in Futterleguminosen 20-45 % und erst bei reiner Gründungsanwendung mit Sproß 100 % (KAHNT, 1983).)

Auch das oben beschriebene Verfahren des "Interplanting" z.B. von *Sesbania* (FAO, 1979) in Reis ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen.

Eine andere Möglichkeit, die Gründung aufzuwerten, wird traditionell in China besprochen, wo es üblich ist, die Gründungsbestände nicht direkt dem Boden zuzuführen, sondern es bei der Wirkung des Anbaus und der Stoppel zu belassen und die Grünmasse erst nach dem Umweg der Nutzung über den Tiermagen oder die Kompostierung wieder dem Boden zuzuführen (ALLISON, 1973).

Schließlich kann die Situation auch so sein, daß es zu einer konsequenten Anwendung der Gründung kaum oder keine Alternativen gibt, so daß die

ökonomischen Alternativüberlegungen mehr theoretischer Natur als von praktischer Relevanz sind.

So wird die Intensivgründungsbrache im Rahmen des standortgerechten Landbaus im zentralen Hochland von Ruanda als eine wesentliche Voraussetzung dafür angesehen, einem weiteren Abbau der Bodenfruchtbarkeit entgegenzuwirken. Das Ertragsniveau ist in diesem Gebiet bei zunehmender Landknappheit in den letzten Jahrzehnten schon auf 50 % des früheren Niveaus abgesunken (DRESSLER, 1983). Unter den herrschenden Bedingungen (hoher Bevölkerungsdruck, knappe Flächen) ermittelte DRESSLER (1983), daß in mittleren und kleinen Betrieben (0,4 - 0,8 ha) ein Rotationsverfahren mit Intensivgründungsbrache (*Tephrosia* etc., s.o.), ergänzt durch Kompost, die billigste Maßnahme für die Betriebe darstellt, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten (billiger als Stallmist, Mineral-Dünger etc.). Die arbeitswirtschaftlichen Belastungen, die durch verschiedene Gründungsverfahren in den Kleinbetrieben entstanden, sind in der folgenden Tabelle 4.4.24. wiedergegeben.

Tab. 4.4.24.: Arbeitsanfall bei Anwendung von saisonaler *Mucuna*-Gründung und bei zwei-saisonaler Intensivgründungsbuschbrache in Kleinbetrieben Ruandas (DRESSLER, 1983); AKh/1000 m²

Arbeit	<i>Mucuna</i> - Gründung (1 Saison)	Buschbrachen- Gründung (2-saisonal)
Vorbereiten der Felder	64	72
Saat mit Einarbeitung	10	8
Saarguternte ¹⁾	8	8
Abschlagen des Bestandes	-	24
Einarbeiten des Bestandes	40	40
Gesamt (AKh/1000 m ²)	122	ca. 152

1) Das Saatgut kann für die Aussaat einer gleich großen Fläche jeweils aus den bestehenden Beständen geerntet werden.

Bezüglich der Transportproblematik ist Gründüngung besonders auf haushfernen Schlägen interessant, da die Versorgung dieser Felder mit wirtschaftseigenen Düngern mit hohen Transportaufwendungen verbunden ist. Die hohen Saatgutkosten lassen sich bei Gewinnung des Saatgutes aus eige-

nen Beständen vermeiden. Nach SCHAAFHAUSEN (1963) ist das auch bei *Dolichos lablab* sehr leicht möglich.

Es gibt jedoch auch Gründüngungspflanzen und Bodenbedecker mit geringer Saatgutproduktion (YEOH CHONG HOE (1979) konnte *Pueraria triloba* und *Calopogonium caeruleum* mit voll entwickelten Sproßstecklingen in Malaysia gut vegetativ vermehren. Bei nur kurzfristigem Gründungsanbau ist das Verfahren jedoch zu aufwendig.) OKIGBO (1977) berichtet davon, daß Bauern in Nigeria zum Bepflanzen von Buschbrachen Stecklinge von buschartigen Pflanzen bevorzugen.

Aber nicht nur Saatgut kann rar und teuer sein, auch Mineraldünger sind es oft. In Yurimaguas, Peru, war die Gründüngung mit herbeitransportierter *Pueraria* allein schon aufgrund der N-Wirkung wirtschaftlich, denn die Kosten, 1 kg Stickstoff via *Pueraria* zu erzeugen (Schneiden, Sammeln, Einarbeiten), waren nicht höher als wenn der Nährstoff gekauft worden wäre (SANCHEZ und SALINAS, 1981).

Auch Wirkungen wie die Minerung und Verhütung von Erosion sollten bei der ökonomischen Beurteilung nicht außer acht gelassen werden, wie das in der Regel geschieht. Angenommen, durch den Verzicht auf Gründüngung gingen 2,5 cm Boden/ha verloren, so entspräche das bei 2 % C-Gehalt einem Verlust von etwa 500 kg Stickstoff/ha oder 575 US-\$ (zu Harnstoffpreisen von 1981) allein für diesen Nährstoff. Ein Tiefenlockereffekt würde mechanisch herbeigeführt etwa 80-100 US \$/ha kosten und zudem weniger nachhaltig sein, das heißt, neben kurzfristig betrieblicher Ökonomie darf die kurzfristig ökologische Ökonomie bei den Überlegungen nicht außer acht bleiben.

4.4.6. Zonale Gesichtspunkte

Insbesondere in den mehr oder minder immerfeuchten, inneren Tropen kommt es darauf an, die Nährstoffe auf den extrem mineralarmen und sorptionsschwachen Böden im biologischen Kreislauf zu halten (wie das auch die Natur tut).

Vom Wasser her sind günstige Voraussetzungen für einen Anbau rund um das Jahr gegeben, so daß Gründüngungspflanzen leicht in Fruchtfolgesysteme zu integrieren sind.

Mit schnell bodendeckenden Arten wie *Dolichos lablab*, *Vigna*- und *Phaseo*-

lus-Arten läßt sich der Boden zwischen zwei Anbauzyklen leicht bedecken (REHM und ESPIG, 1976). Die Nährstoffe werden damit in den Pflanzen geschützt und der Verunkrautung kann wirksam begegnet werden (was bei Überlassung an natürliche Brache überhaupt nicht der Fall wäre (NYOKA, 1982)). Schon nach wenigen Wochen kann dann eine beachtliche Biomasse zur erneuten Bestellung eingearbeitet werden. Allerdings herrscht noch keine Klarheit darüber, ob unter den fast stets feuchten Bedingungen Einarbeitung oder oberflächliches Mulchen der Grünmasse das Optimale ist. ROOSE (1981) hält es für ökologisch angemessener, auf die Einarbeitung zu verzichten und der oberflächlichen Zersetzung den Vorzug zu lassen, wie das auch im natürlichen Haushalt dieser Regenwaldzone geschieht (kaum wühlende Bodentiere) und wo ein unbedeckter Boden grundsätzlich vermieden werden sollte. Der Umsatz (zu 90-97 % durch Pilze und Bakterien) ist unter den klimatischen Bedingungen auf alle Fälle sichergestellt, was bei möglichem Nässestau in bearbeitetem Boden nicht immer gegeben ist. In den Feuchtsavannegebieten, wo zwei Ernten pro Jahr erzielt werden, finden viele Gründüngungspflanzen ihren Platz, die in den immerfeuchten Gebieten noch unter zu hohem Krankheitsdruck leiden. Die Eingliederung in Fruchtfolgen wird von der jahreszeitlich differenzierten Wasserversorgung bestimmt, die auch bei der Wahl der Gründüngungspflanzen eine zunehmende Rolle spielen muß. In der großen Regenzeit bieten sich synchrone Formen der Gründüngung (Untersaat) an, die unsichere, kleinere Regenzeit ist für saisonale Rotationssysteme geeignet. Zwischenfruchtanbau kann wegen der Wasserversorgung schon kritisch sein.

SCHAAFHAUSEN (1963) z.B. konnte Mais sehr erfolgreich mit einer Untersaat von *Dolichos* anbauen, die nach der Hauptkultur stehen blieb und als Grünfutter in der Trockenperiode verwendet werden konnte. Da Wiederaustrieb möglich ist, konnte in der kleinen Regenzeit, ohne nochmalige Aussaat und Bodenbearbeitung (humusschonend), eine biomassereiche Gründüngung heranwachsen.

Durch die Wahl geeigneter Sorten und Arten (Trockenresistenz, Wachstumszeit und Kombinationsmöglichkeit) kann den Anforderungen von Standort und Fruchtfolge in weiten Bereichen Rechnung getragen werden.

In den Trockensavannegebieten, wo nur noch eine sichere Vegetationsperiode zur Verfügung steht, sind die Opportunitätskosten einer Gründüngung besonders hoch, weshalb ARAKERI et al. (1962) in solchen Gebieten von Gründüngung abraten. Wo möglich, das heißt, wo genügend Land vor-

handen ist, sollte anstelle von Schwarzbrachen aber Gründüngung angebaut werden.

Vor allem die zuverlässige N-Wirkung auf die Nachfrucht ist auf diesen oft typischen N- und C-Mangelstandorten attraktiv, auch die Verbesserung der Durchwurzelbarkeit tonreicher B-Horizonte durch Gründüngungspflanzen führt hier oft zu spürbaren Standortverbesserungen. Positive Wirkungen auf den C-Haushalt sind dagegen (insbesondere auf sandigen Böden) nicht zu erwarten (JAISWAL et al., 1971; CHARREAU, 1975; GUIRAUD et al., 1980).

Blattgründüngung mit dem Laub trockenresistenter Baum- und Strauchleguminosen stellt eine standortgemäße Alternative zum Anbau krautiger Leguminosen dar. Bäume dienen gleichzeitig als Windbarrieren und Brennstofflieferanten und bereichern bzw. stabilisieren die Agrar-Ökosysteme. In tropischen Höhenlagen verläuft die Humusdynamik aufgrund des kühleren Klimas weniger rasant, so daß hier am ehesten auch mit positiven Wirkungen auf den Humushaushalt zu rechnen ist.