

6.0 Bedeutung der Gründüngung

Unter Gründüngung versteht man das Einmischen von unreifen, eigens zum Zweck der Düngung angebauten Pflanzen in den Boden. Im weiteren Sinne gehört auch das Unterpflügen von Futterpflanzenstoppeln, Unkrautbewuchs und Rübenblatt zum gleichen Verfahren (Bäumer, 1978). Bei Anwendung neuerer Anbaumethoden, wie zum Beispiel Direktsaat, hat sich gezeigt, daß keine Nachteile dadurch entstehen, daß die Pflanzenreste an der Oberfläche belassen werden und auf biologischem Wege in den Boden gelangen (Heinzmann, 1985; Derpsch et al., 1985). Werden Gründüngungspflanzen speziell zur Bodenbedeckung und zum Schutz des Bodens gegen Erosion ausgesät, werden sie auch als **Begrünungspflanzen** oder **Bodenbedeckungspflanzen** bezeichnet. Bei Nutzung der kurzen Zeitspanne zwischen zwei Hauptfrüchten wird im allgemeinen die Bezeichnung **Zwischenfrucht** verwendet. In dieser Arbeit wird generell der Begriff Gründüngung benutzt, auch wenn die Pflanzen zum Teil oder vorwiegend für den Bodenschutz angebaut und nicht eingearbeitet wurden.

Die wirtschaftliche ackerbauliche Nutzung vieler nährstoffarmer und sandiger Böden mit geringem Gehalt an organischer Substanz wurde in vielen Teilen der Welt erst nach Einführung der Gründüngung möglich. Leguminosen haben dabei den Vorteil, daß sie in der Lage sind, den Stickstoff symbiotisch aus der Luft zu binden. Aber auch Nichtleguminosen sind als Gründüngung geeignet und tragen u. a. dazu bei, Nährstoffauswaschung und -verlagerung zu verhindern, festgelegte Nährstoffe wie Phosphor zu mobilisieren, den Boden mit organischer Substanz anzureichern und Unkräuter zu unterdrücken. Bei der geringen Kationenaustauschkapazität der meisten Böden in Brasilien kommt der Zufuhr an organischer Substanz eine besondere Bedeutung zu. Hohe Temperaturen und Feuchtigkeit führen aber insbesondere bei intensiver Bodenbearbeitung zu einem sehr schnellen Abbau der organischen Substanz. Der Gehalt an organischer Substanz eines Bodens kann in den Tropen deshalb nicht allein durch Anwendung der Gründüngung angehoben werden, sondern das gesamte Anbausystem muß an die gegebenen Bedingungen angepaßt werden. Monokulturen müssen durch Fruchtfolgen ersetzt werden, in denen massenwüchsige Arten, wie zum Beispiel Mais, im Wechsel mit Gründüngung und anderen Hauptfrüchten angebaut werden. Die Bodenbearbeitung sollte dabei auf das notwendige Minimum reduziert werden. Die Beschattung des Bodens durch wachsende Pflanzen oder durch Pflanzenreste hat in den Tropen und Subtropen eine außerordentlich große Bedeutung und ist bisher in Paraná viel zu wenig berücksichtigt worden (siehe Abschnitt 5.1). Die Gründüngung kann einen wichtigen Einfluß bei

der Reduzierung der Bodentemperatur und bei der Förderung der Bodenlebewesen haben. Vor allem spielt die Gründüngung eine zentrale Rolle bei der Verhinderung des Aufpralls der Regentropfen auf den Boden, was zur Erhöhung der Wasserinfiltration und damit zur Reduzierung der Erosion führt (siehe Abschnitt 5.4).

Die starke Zunahme der Mineraldüngeranwendung führte dazu, daß die Gründüngung, die seit den Anfängen der Landwirtschaft erfolgreich eingesetzt wurde, immer mehr in Vergessenheit geriet. Nachdem durch Anwendung von Mineraldünger eindrucksvolle Mehrerträge erzielt werden konnten, setzte sich die Meinung durch, daß durch Gründüngung nur sehr viel geringere und längerfristige Ertragssteigerungen möglich wären. Zum Teil waren die Erwartungen an die Gründüngung zu hoch. Durch Gründüngung werden dem Boden mit Ausnahme von Stickstoff bei Leguminosen keine Nährstoffe zugeführt. Allerdings läßt sich durch einige Gründüngungsarten, die ein hohes Phosphoraufschlußvermögen haben (z. B. Lupinen), die Verfügbarkeit von P deutlich steigern.

Durch Anwendung der Gründüngung sollte nicht der Ersatz der Mineraldüngung, sondern deren Ergänzung angestrebt werden. Aufgrund der positiven Wechselwirkung zwischen Mineraldüngung und Gründüngung ist es bei Anwendung der kombinierten Düngung möglich, höhere Erträge als bei der alleinigen Anwendung von Mineraldünger oder von Gründünger zu erzielen (Debruck und v. Boguslawski, 1979).

Zu Projektbeginn stellte sich das Problem, daß in Paraná nur wenige Arten bekannt waren, die als Gründüngung für den Anbau in den Wintermonaten in Frage kamen. Das Projekt stellte sich deshalb von Anfang an die Aufgabe, Wintergründungsarten für die speziellen Klima- und Bodenbedingungen Paraná zu selektieren. Die entsprechenden Versuche wurden mit Hilfe der IAPAR-Außenstationen, der Genossenschaften und des Beratungsdienstes in Londrina, Paranaíba, Cascavel, Guarapuava, Ponta Grossa, Castro und Francisco Beltrão (siehe Abb. 2.6) angelegt. Anbau, Umfang und Dauer der Versuche waren in den verschiedenen Versuchsorten unterschiedlich. Insgesamt wurden 96 Arten und verschiedene Sorten dieser Arten aus dem gemäßigten Klimabereich, aber auch einige aus den Tropen und Subtropen auf ihre Eignung als Wintergründung in Kleinparzellen geprüft. Dabei wurden in wöchentlichen Messungen der Bodenbedeckungsgrad, die Wuchshöhe, die Verunkrautung und der Schädlingsbefall bonitiert (Abb. 6.1). Die 96 geprüften Arten wurden aufgelistet und grob bewertet (Derpsch et al., 1984). Die Arten mit der besten Anbaueignung wurden in Großparzellen auf ihre Vorfruchtwirkung zu den wichtigsten Sommerfrüchten geprüft. Die 16 in der Gesamtwertung am besten für Paraná geeigneten Gründüngungsarten werden in Abschnitt 6.2 näher beschrieben.

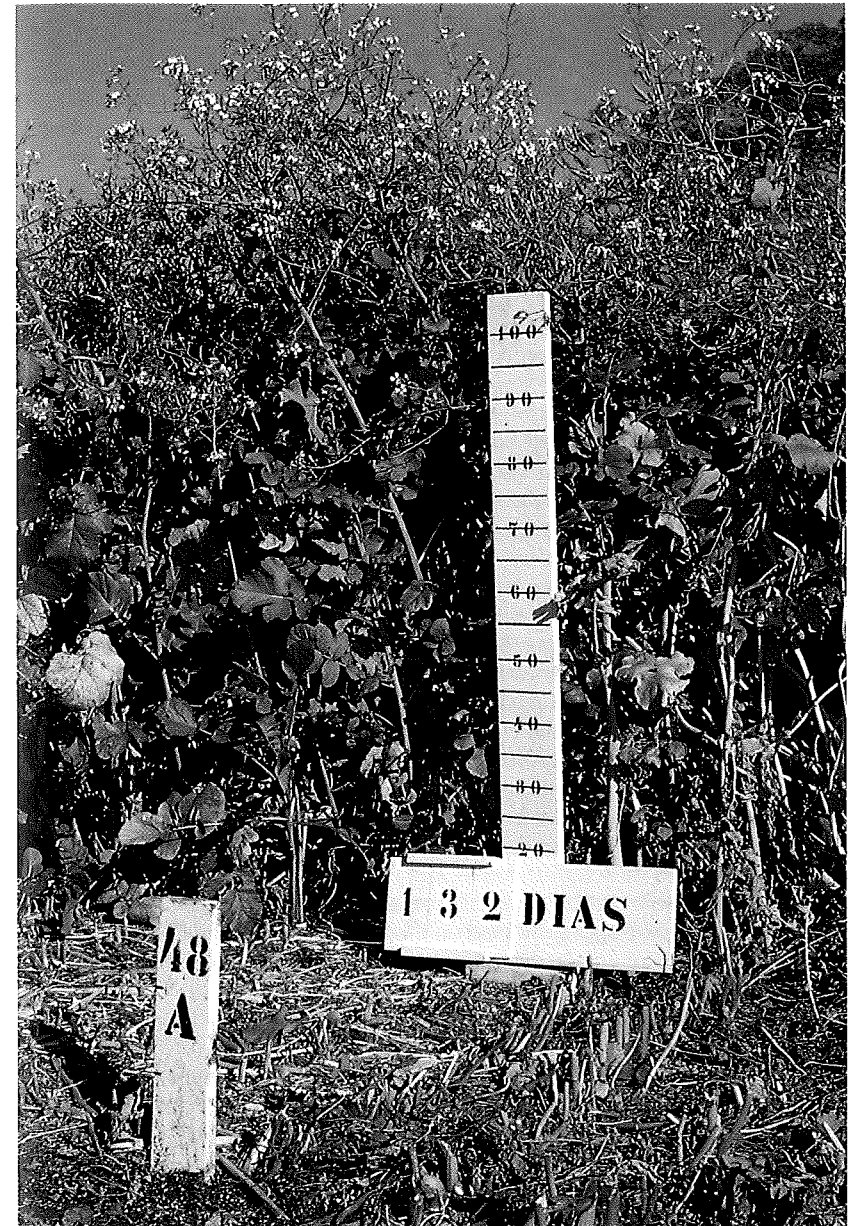


Abb. 6.1: Ölettich gehört zu den ertragreichsten Gründüngungsarten in Paraná.

(Photo: R. Derpsch)

6.1 Sommerfrüchte oder Winterfrüchte als Gründüngung

Es kommt in Paraná immer wieder die Frage auf, warum die Gründüngung im Winter erfolgen soll, wo durch Trockenheit und Frost ein gewisses Anbauisiko besteht, und nicht im Sommer, wo ideale Wachstumsbedingungen herrschen. Zudem stehen für den Sommeranbau mehr Arten zur Verfügung, die nachweislich eine positive Wirkung auf die wichtigsten Kulturpflanzen zeigen. Der Grund für die Propagierung von Winterfrüchten als Gründüngung ist, daß im Sommer die gesamte Ackerbaufläche von Paraná für den Anbau von Verkaufsfrüchten, insbesondere Mais, Sojabohnen, Phaseolusbohnen, Reis, Baumwolle und andere Kulturen wie Maniok, Kartoffeln, Erdnuß, Rami und Sonnenblumen genutzt werden muß. Wie sich in der Praxis immer wieder gezeigt hat, ist der Landwirt selten bereit, auf den Anbau von Verkaufsfrüchten zu verzichten, um statt dessen eine Kultur anzubauen, die Kosten verursacht und dann eingearbeitet und nicht geerntet werden soll. In Paraná besteht jedoch die Möglichkeit, zwei Kulturen pro Jahr anzubauen. Im Winter liegen ca. 80 % der Ackerbaufläche (etwa 5 Mio ha) brach. Lediglich 20 % werden vorwiegend mit Weizen bzw. etwas Gerste, Hafer und Roggen bebaut. Somit kann die Gründüngung zu einer Zeit erfolgen, in der der Boden ungenutzt der Erosion, Nährstoffauswaschung und Verunkrautung ausgesetzt wäre.

Unter bestimmten Bedingungen kann jedoch auch der Anbau von Sommergründungspflanzen empfohlen werden. Werden zum Beispiel Phaseolusbohnen um die Jahreswende geerntet, ohne daß die Absicht besteht, eine zweite Verkaufsfrucht anzubauen, könnte eine Sommergründüngung mit *Dolichos lab-lab*, *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria paulinea*, *Stizolobium deeringianum* (*Mucuna pruriens*) etc. ausgesät werden. Auch nach einer frühen Sojabohnen- oder Maisernte kommen einige dieser Arten in Frage, die Aussaat sollte jedoch noch im Februar stattfinden, um die hohen Niederschläge und Temperaturen im Sommer und frühen Herbst für das Wachstum zu nutzen. Dabei muß jedoch darauf geachtet werden, daß die Sommerunkräuter im Januar/ Februar sehr aggressiv wachsen, so daß ihre Unterdrückung sichergestellt sein muß.

Weiterhin kann die Gründüngung mit Sommeranuellen auch im Mischanbau mit Verkaufsfrüchten wie zum Beispiel Mais und Kaffee geschehen. Durch Anbau von *Dolichos lab-lab* oder *Stizolobium deeringianum* zwischen den Kaffeereihen kann der Boden bedeckt gehalten, wirksam vor Erosion geschützt und gleichzeitig Stickstoff gebunden werden. Im beschatteten Boden wurde trotz Verdunstung durch die Pflanzen eine höhere Bodenfeuchte gemessen als im unbedeckten Boden. Daneben wird die biologische Aktivität des Bodens gefördert. Für die Aussaat dieser Arten zwischen den Maisreihen wird normalerweise die Handsämaschine benutzt (siehe Abschnitt 2.3, Abb. 2.12). Dabei wird die Gründüngung

70 Tage (frühe Maissorten) bis 100 Tage (späte Sorten) nach der Maisaussaat ausgebracht. So wird vermieden, daß eine zu wüchsige Gründüngung zu Ernteschwernissen führt.

Versuche haben gezeigt, daß es auch möglich ist, *Canavalia ensiformis* (35.000 Pflanzen/ha) zwischen den Reihen von Mais gleichzeitig auszusäen, was zu Ertragssteigerungen bei Mais und zu einem geringeren Unkrautdruck führte. Die Kreativität von Landwirten und Forschern hat hier ein weites Feld, um immer neue Systeme zu entwickeln und in die Praxis umzusetzen, die zu einer wirtschaftlicheren, rationelleren und ökologisch angepaßten Landwirtschaft führen.

6.2 Eigenschaften verschiedener Winter-Gründüngungsarten

Trockenperioden von 2 bis 6 Wochen kommen in Paraná öfter vor; Nachtfröste sind in Südparaná die Regel, treten aber auch in Nordparaná immer wieder auf. Daher wurde bei der Selektion von geeigneten Gründüngungsarten für den Anbau in der kühlen Jahreszeit ganz besonders auf **Trockenresistenz** und **Frostresistenz** geachtet.

Das Problem der Trockenheit kann durch Anwendung der Direktsaat gemindert werden, da hier immer günstigere Feuchtigkeitsbedingungen im Vergleich zu bearbeitetem Boden festgestellt wurden (siehe Abschnitt 5.1). Allerdings führt die Mulchschicht zu einer höheren Frostanfälligkeit der Pflanzen, was in besonders kalten Regionen von Südparaná von Nachteil sein kann.

Die Gründüngungsarten sollten möglichst ohne Düngung wachsen, da eine zusätzliche Investition das Interesse der Landwirte an dieser Maßnahme verringern und die Wirtschaftlichkeit reduzieren würde. Es wurde davon ausgegangen, daß die Gründüngung dort zum Einsatz kommt, wo bereits Sojabohnen, Weizen oder andere Verkaufsfrüchte angebaut werden und daß entsprechende Kalkungen zur Anhebung des pH-Wertes und zur Neutralisierung von toxischem Aluminium (zumindest im Oberboden) sowie eine mittlere Phosphorversorgung aufgrund entsprechender Düngung bereits erreicht sind.

Von den verschiedenen Arten, die für den Winteranbau in Frage kommen, stellt Raps die höchsten Ansprüche an die Nährstoffversorgung, insbesondere an Stickstoff. Bei dieser Art müssen mindestens 30 kg N/ha zur Aussaat oder nach der Aussaat als Kopfdüngung gegeben werden, sobald sich die ersten Mangelerscheinungen zeigen. Aber auch andere Gründüngungsarten reagieren auf Düngung mit höheren Trockenmasseerträgen.

Eine weitere Eigenschaft, die Gründüngungspflanzen mit sich bringen müssen, ist eine ausreichende Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge. Eine erhöhte Anfälligkeit reduziert die Trockenmasseerträge und erhöht die Produk-

tionskosten aufgrund der erforderlichen Bekämpfungsmaßnahmen. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, wurden die auf den Versuchen angebauten Arten nicht gegen Krankheiten und Schädlinge behandelt. Gelegentlich, insbesondere bei erhöhter Stickstoffdüngung oder Trockenheit, konnte Blattlausbefall bei Raps beobachtet werden. Sonnenblumen wurden manchmal von Raupen (*Chlosyne laccinia saundersii*) befallen. Lediglich Lupinen zeigten sich krankheitsanfälliger. Die Lupinenkrankheiten werden von Frey (1985) im einzelnen beschrieben.

Im allgemeinen konnten die Gründungsarten mit sehr geringen Kosten angebaut werden. Bei Verzicht auf die Bodenbearbeitung fielen neben Kosten für Saatgut nur noch die Aussaatkosten an. Um die Unkräuter abzutöten, reichte meistens eine Spritzung mit dem sehr preiswerten Pflanzenschutzmittel 2,4-D. Eine weitere Pflege war nicht notwendig. Nach der Blüte fielen dann wieder Kosten für das Mulchen an. Mit Gründüngung konnte in Paraná oft eine höhere Rentabilität als durch den Anbau von Weizen erzielt werden (Abschnitt 8.2). Eine Übersicht über Eigenschaften und Anbaubedingungen der wichtigsten Gründungsarten für Paraná zeigt Tabelle 6.1. Weitere Informationen über Anbaubedingungen können der Arbeit von Derpsch und Calegari (1985) entnommen werden.

Die untersuchten Arten sind nicht für alle Regionen gleich gut geeignet. Sonnenblumen können nur in den weniger frostgefährdeten Gegenden angebaut werden. Blaue Lupinen, Saatwicken, Serradella, Weidelgras und Ackerspörgel sind vorwiegend für Südparaná geeignet. Dieselben Arten, die für Südparaná in Frage kommen, können auch in den Staaten Santa Catarina und Rio Grande do Sul angebaut werden. In einigen Regionen von São Paulo und Mato Grosso do Sul können dieselben Arten wie in Nordparaná angebaut werden. Voraussetzung dabei ist, daß die durchschnittlichen Niederschläge von April bis September höher sind als etwa 500 mm.

Masseproduktion

Die in Paraná möglichen Trockenmasseerträge durch Gründüngung schwanken aufgrund der unterschiedlichen Boden- und Klimabedingungen zwischen 1 und 7 t/ha. Im Durchschnitt liegt der erzeugte Trockenmasseertrag des Sprosses bei etwa 3 t/ha. Die Wurzelmasse der Gründungsarten schwankt zwischen 0,5 und 3 t/ha und liegt im Mittel bei etwa 1,6 t/ha. Das bedeutet, daß die insgesamt durch Gründüngung erzeugte Trockenmasse bei günstigen Anbaubedingungen einer Stallmistdüngung von 20 t/ha gleichkommen kann. In der Gründüngung sind jedoch noch die leicht zersetzbaren Bestandteile enthalten, die im Stallmist im Laufe der Rotte abgebaut wurden.

Die in Londrina von 1982 bis 1984 auf Großparzellen von je 150 m² erreichten Grün- und Trockenmasseerträge sind der Tabelle 6.2 zu entnehmen. Im Jahre 1982, in dem es nach der Aussaat 6 Wochen lang nicht regnete, wurden trotz ungünstiger Witterung Trockenmasseerträge von 4,75 t/ha bei Ölrettich (siehe

Tabelle 6.1 Eigenschaften und Anbaubedingungen der wichtigsten Gründungsarten für Paraná

| Arten | Saatzeit | Wachstumszyklus bis Vollblüte (Tage) | Saatgutmenge kg/ha | Trockenmasseertrag ¹ t/ha | Anbaubietz ² |
|---|---------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Weißer Lupine (<i>Lupinus albus</i> L.) | März–Mai | 120 | 140 | 2–5 | N, S |
| Gelber Lupine (<i>Lupinus luteus</i> L.) | März–Mai | 140 | 50–140 | 2–6 | N, S |
| Blaue Lupine (<i>Lupinus angustifolius</i> L.) | März–Mai | 120 | 65–140 | 2–6 | S |
| Winterwicke (<i>Vicia villosa</i> Roth.) | März–Mai | 120–180 | 50 | 2–7 | N, S |
| Saatwicke (<i>Vicia sativa</i> L.) | März–Mai | 130–170 | 80 | 2–5 | S |
| Platterbse (<i>Lathyrus sativus</i> L.) | März–Mai | 90–120 | 120 | 2–3 | N, S |
| Serradella (<i>Ornithopus sativus</i> Brot.) | März–Mai | 150–200 | 30 | 2–6 | S |
| Raps (<i>Brassica napus</i> L.) | April–Mai | 120–150 | 10–15 | 2–6 | N, S |
| Ölrettich (<i>Raphanus sativus</i> L. var. ol. Metzg.) | April–Mai | 120 | 12–20 | 2–6 | N, S |
| Schwarzhafer (<i>Avena strigosa</i> Schieb.) | März–Juni | 120–140 | 60 | 2–6 | N, S |
| Hafer (<i>Avena sativa</i> L.) | März–Juni | 120 | 70–75 | 2–5 | N, S |
| Byzantin-Hafer (<i>Avena byzantina</i> C. Koch) | März–Juni | 120 | 70–75 | 2–5 | N, S |
| Roggen (<i>Secale cereale</i> L.) | April–Mai | 100–110 | 60–90 | 2–4 | N, S |
| Einj. Weidelgras (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.) | März–Juni | 150–170 | 30 | 2–6 | S |
| Ackerspörgel (<i>Spergula arvensis</i> L.) | März–April | 70–90 | 20 | 1,5–3 | S |
| Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i> L.) | Feb–Apr/ Aug–Sep | 100–120 | 30–50 | 2–4 | N, S |

¹ Ermittelt auf Großparzellen oder Erfahrungswerte der Genossenschaften

² N = Nordparaná, S = Südparaná

Alle Arten können in 20 cm Reihenabstand ausgesät werden (Derpsch und Calegari, 1985)

Tabelle 6.2 Trockenmasse- und Frischmasseerträge einiger Wintergründungsarten (Anbau ohne Düngung mit Ausnahme von Weizen und Raps, die 30 kg N/ha erhielten).

| Arten | Trockenmasse t/ha | | | | Frischmasse Mittel |
|---|-------------------|------|------|--------|-----------------------|
| | 1982 | 1983 | 1984 | Mittel | |
| Gelbe Lupine (<i>Lupinus luteus</i> L.) | 1,94 | 2,17 | 0,91 | 1,67 | 13,93 |
| Weißer Lupine (<i>Lupinus albus</i> L.) | 2,71 | 3,68 | 1,99 | 2,79 | 14,71 |
| Winterwicke (<i>Vicia villosa</i> Roth.) | 1,59 | 0,53 | 0,91 | 1,01 | 4,69 |
| Platterbse (<i>Lathyrus sativus</i> L.) | 2,06 | 1,10 | 1,47 | 1,54 | 4,99 |
| Roggen (<i>Secale cereale</i> L.) | 3,33 | 2,91 | 1,86 | 2,70 | 6,24 |
| Schwarzhafer (<i>Avena strigosa</i> Schieb.) | 5,59 | 4,34 | 2,40 | 4,11 | 15,31 |
| Weizen (<i>Triticum aestivum</i> L.) | 1,96 | 2,80 | 1,56 | 2,11 | 2,93 |
| Ölrettich (<i>Raphanus sativus</i> L. var. ol. Metzg.) | 4,75 | 6,93 | 3,40 | 5,03 | 35,19 |
| Raps (<i>Brassica napus</i> L.) | 2,22 | 3,55 | 1,23 | 2,33 | 12,98 |
| Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i> L.) | 3,24 | 1,84 | 4,60 | 3,23 | 14,83 |
| Winterbrache | – | 0,27 | 0,11 | 0,19 | 0,86 |

Aussaattermine: 1982 am 12. 4. – sechs Wochen Trockenheit nach der Aussaat
 1983 am 28. 4. – viel Niederschlag während der gesamten Vegetationsperiode
 1984 am 18. 4. – normaler Niederschlag in den ersten 30 Tagen. Danach kein Regen bis zum Schnitt.

Abb. Titelseite) und 5,59 t/ha bei Schwarzhafer erzeugt. Bei den anderen Arten schwankten die Erträge zwischen 1,6 und 3,3 t/ha. Im sehr niederschlagsreichen Jahr 1983 brachten dieselben Arten Höchsterträge. Schwarzhafer lieferte dabei einen Ertrag von 4,34 t/ha und Ölrettich 6,93 t/ha. Lediglich im extrem trockenen Jahr 1984, in dem es nur in den ersten 30 Tagen nach der Aussaat regnete, wurde der Masseertrag dieser beiden Arten von den sehr trockenresistenten Sonnenblumen übertroffen.

Sproß- und Wurzelmasse, Stickstoffgehalt und das C/N-Verhältnis verschiedener Gründungsarten sind Tabelle 6.3 zu entnehmen.

Tabelle 6.3 Sproß-, Wurzelmasse, Stickstoffgehalt und C/N-Verhältnis verschiedener Gründungsarten nach einer Vegetationszeit von 139 Tagen (Sonnenblumen 125 Tage).
 Aussaat 12. 4. 1982, Londrina.
 Anbau ohne Düngung (Ausnahme Weizen und Raps: 30 kg N/ha).

| Arten | Sproßtrockenmasse | | Wurzel- masse (TMO-90 cm) kg/ha | Gesamt-N | | C/N-Verhältnis |
|---|-------------------|------|--|------------------|-------------------|----------------|
| | kg/ha | % | | Wurzeln kg/ha | Pflanzen kg/ha | |
| Weißer Lupinen (bitter) (<i>Lupinus albus</i> L.) | 2710 | 18,0 | 1500 | 33 | 23 | 20 |
| Winterwicke „Ostsaat“ (<i>Vicia villosa</i> Roth) | 1590 | 16,8 | 1580 | 27 | 15 | 16 |
| Platterbse „Seda Sec 21“ (<i>Lathyrus sativus</i> L.) | 2060 | 23,9 | 1270 | 28 | 22 | 17 |
| Roggen „Rhenania“ (<i>Secale cereale</i> L.) | 3330 | 41,8 | 1450 | 17 | 42 | 25 |
| Schwarzhafer „Comum“ (<i>Avena strigosa</i> Schieb.) | 5590 | 23,2 | 3080 | 50 | 28 | 31 |
| Weizen „Mitacoré“ (<i>Triticum aestivum</i> L.) | 1960 | 78,0 | 1490 | 24 | 38 | 26 |
| Ölrettich „Siletina“ (<i>Raphanus sativus</i> L. var. ol. Metzg.) | 4750 | 13,0 | 1760 | 34 | 21 | 20 |
| Raps „Jumbo“ (<i>Brassica napus</i> L.) | 2220 | 14,8 | 1980 | 39 | 16 | 21 |
| Sonnenblume „Estanzuela“ (<i>Helianthus annuus</i> L.) | 3240 | 18,2 | 2300 | 25 | 54 | 33 |

* nur Stroh

Einige Nichtleguminosen lieferten höhere Gesamtstickstoffmengen als die Leguminosen. So betrug die Gesamtstickstoffmenge der Sproß- und Wurzelmasse von Lupinen 90 kg N/ha, die von Ölrettich dagegen 135 kg N/ha und von Schwarzhäfer 147 kg N/ha. Schwarzhäfer und Ölrettich sind offenbar besonders geeignet, den in den Unterboden verlagerten Stickstoff aufzunehmen und Auswaschungsverluste zu vermeiden oder zu reduzieren.

Darüber hinaus führte die Wurzelmasse der Gründüngung zu einer biologischen Bodenlockerung und zu einer besseren Bodengare (Abb. 6.2).



Abb. 6.2: Die Gründüngung (Raps) führte zu einer biologischen Bodenlockerung (rechts), während das Pflügen nach Weizen (links) große Kluten hinterließ.

(Photo: R. Derpsch)

Wachstumsgeschwindigkeit

Ein schnelles Wachstum der Pflanzen und damit eine rasche Bodenbedeckung ist zur Verringerung der Erosionsgefahr vorteilhaft. Pflanzen mit einer hohen Konkurrenzkraft setzen sich besser gegen das Unkraut durch und unterdrücken es, womit erhebliche Kosteneinsparungen für dessen Beseitigung sowohl während der Vegetationsperiode als auch nach dem Einmulchen erreicht werden können.

Der Bedeckungsgrad des Bodens wurde über wöchentliche Bonituren während der gesamten Vegetationsperiode verfolgt (Abb. 6.3). Ölrettich hatte die größten Zuwachsraten. Aufgrund der sehr geringen Niederschläge im Jahr 1978 (41 Tage ohne Niederschlag nach der Aussaat) war die Wachstumsgeschwindigkeit insge-

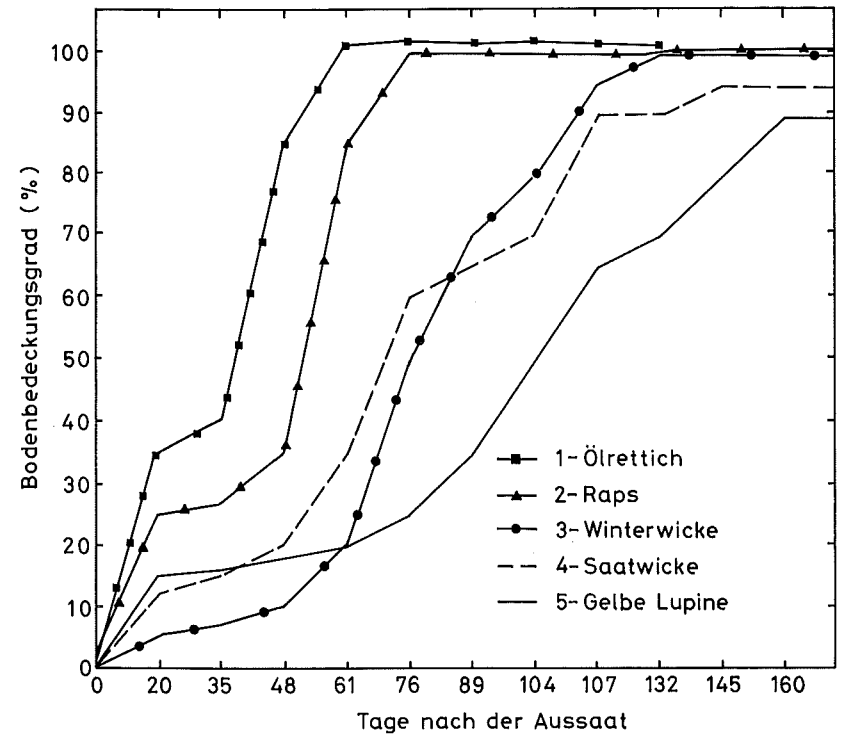


Abb. 6.3: Bodenbedeckungsgrad verschiedener Gründüngungsarten im Laufe der Vegetationsperiode. Aussaat am 5. 4. 1978. (Derpsch und Alberini, 1982)

samt geringer als in Jahren mit normalem Niederschlag. Ölrettich erreichte nach 46 Tagen 80 % Bodenbedeckung und in 61 Tagen 100 % Bodenbedeckung. Die Winterwicke benötigte dagegen 104 Tage, um eine 80 %ige Bodenbedeckung zu erreichen.

Im Jahr 1979 fielen im April und im Mai insgesamt 232 mm Niederschlag. Dies führte zu einem extrem schnellen Wachstum des Ölrettichs, der in lediglich 28 Tagen 80 % und in 42 Tagen 100 % Bodenbedeckung erreichte. Die Winterwicke erreichte in diesem Jahr eine 80 %ige Bedeckung in 95 Tagen. Trotzdem ist die Winterwicke für den Bodenschutz gut geeignet, weil sie einen langen Wachstumszyklus von etwa 6 Monaten hat und bei Einsetzen der Starkregen im September noch immer einen guten Schutz bietet.

Beschattung und Unkrautunterdrückung

Neben einer ausreichenden Temperatur bedürfen viele Unkrautsamen der Licht- einwirkung für die Keimung. In Versuchen in Paraná wurde gezeigt, daß die

Beschattung des Bodens einen unkrautunterdrückenden Einfluß auf einige Arten (wie z. B. *Galinsoga parviflora*, *Sonchus oleraceus* und *Emilia sonchifolia*) haben kann (Almeida und Rodrigues, 1985). Diese Beschattung kann durch schnell und dicht wachsende Gründüngungsarten, aber auch durch deren Rückstände nach dem Mulchen erreicht werden. Die Beziehung zwischen Mulchmenge und Unkrautunterdrückung wurde bereits dargestellt (Abb. 5.25).

Sowohl lebende Pflanzen als auch Pflanzenreste können darüber hinaus eine allelopathische Wirkung auf Samen oder andere Pflanzen ausüben. Unter **Allelopathie** versteht man jeden direkten oder indirekten Einfluß einer Pflanze auf eine andere Pflanze, der auf chemische Verbindungen zurückzuführen ist, die von den Pflanzen erzeugt werden (Rice, 1974, 1979). Es werden dabei Substanzen aus Sproß- oder Wurzelteilen, aber auch aus Pflanzenresten ausgewaschen, die das Wachstum anderer Pflanzen beeinträchtigen können. Untersuchungen am IAPAR zeigten zum Beispiel, daß Unkrautsamen von *Bidens pilosa*, die mit einer 10 %igen Lösung von Extrakten aus Raps, Ölrettich und Lupinen angefeuchtet wurden, nicht keimten. Exsudate aus Raps beeinträchtigten auch die Keimung von *Brachiaria plantaginea*, *Cenchrus echinatus* und *Euphorbia heterophylla*. Auch Weizen-, Triticale-, Hafer- und Roggenexsudate beeinflussten die Keimung der genannten Unkrautarten mehr oder weniger stark (Almeida und Rodrigues, 1985).

In Feldversuchen führten Schwarzhafer, Ölrettich und Roggen zur wirksamsten Unkrautunterdrückung (Tab. 6.4). Die hohen Trockenmasseerträge bei Schwarz-

Tabelle 6.4 Unkrautbesatz nach Anbau von Wintergründung im Vergleich zur Vorfrucht Weizen bzw. Winterbrache (Mulchen der Gründüngung am 3. 9. 82).

| | 15. 9. 82 Unkrautbesatz % Bodenbedeckung | 30. 9. 82 Frischmasse der Unkräuter g/m ² | 15. 10. 82 Bonitierung* |
|---------------|--|--|----------------------------|
| Winterbrache | 71 | 296 | 8 |
| Weißer Lupine | 9 | 22 | 4 |
| Winterwicke | 1 | 9 | 2 |
| Platterbse | 5 | 26 | 3 |
| Roggen | 1 | 6 | 2 |
| Schwarzhafer | 0,1 | 0,2 | 1 |
| Weizen | 57 | 154 | 7 |
| Ölrettich | 0,1 | 0,2 | 2 |
| Raps | 0,5 | 16 | 3 |
| Sonnenblume | 26 | 28 | 3 |

* 1 = unkrautfrei – 9 = sehr hoher Unkrautbesatz

hafer (5,59 t/ha) bewirkten, daß bis 6 Wochen nach dem Schnitt der Gründüngung und zum Zeitpunkt der Aussaat von Sojabohnen und Mais (Mitte Oktober 1982) kein Unkraut beobachtet werden konnte. Unter praktischen Anbaubedingungen bei Direktsaat bedeutet das, daß die Aussaat der Sommerkulturen zunächst ohne Anwendung von Herbiziden erfolgen kann. Später auftretende Unkräuter können bei Bedarf gezielt mit selektiven Mitteln bekämpft werden. Die unkrautunterdrückende Wirkung von Schwarzhafer konnte noch nach der Ernte der Nachfrucht Sojabohnen beobachtet werden (Abb. 6.4).



Abb. 6.4: Die unkrautunterdrückende Wirkung von Schwarzhafer ist auch nach der Ernte der Nachfrucht Sojabohnen noch deutlich erkennbar. (Photo: R. Derpsch)

Andere Untersuchungen in Paraná bestätigten, daß durch Winterbrache eine Vermehrung der Unkräuter stattfindet und daß der Winteranbau den Unkrautdruck reduziert. Während 1984 in Londrina 7 Tage nach dem Schnitt der Gründüngung bei Schwarzhafer und Raps keine Unkräuter festgestellt werden konnten, war die Bodenoberfläche der Bracheparzelle zu 56 % mit Unkräutern bedeckt. Eine Zählung der Unkräuter 58 Tage nach dem Schnitt der Winterarten zeigte lediglich 2 Unkräuter pro m² bei Ölrettich und 5 Unkräuter pro m² bei Schwarzhafer, dagegen 83 Unkräuter pro m² nach Winterbrache (Abb. 6.5). Eine weitere Messung wurde 85 Tage nach dem Schnitt durch Feststellung der Unkrautfrischmasse, getrennt nach Unkrautarten, vorgenommen. Die höchsten Frischmasseerträge konnten zu diesem Zeitpunkt nach Lupinen mit 1.613 g/m², gefolgt von Winterbrache mit 1.541 g/m² gemessen werden. Nach Schwarzhafer wurde der geringste Frischmasseertrag mit 361 g/m² gemessen (Tabelle 6.5).

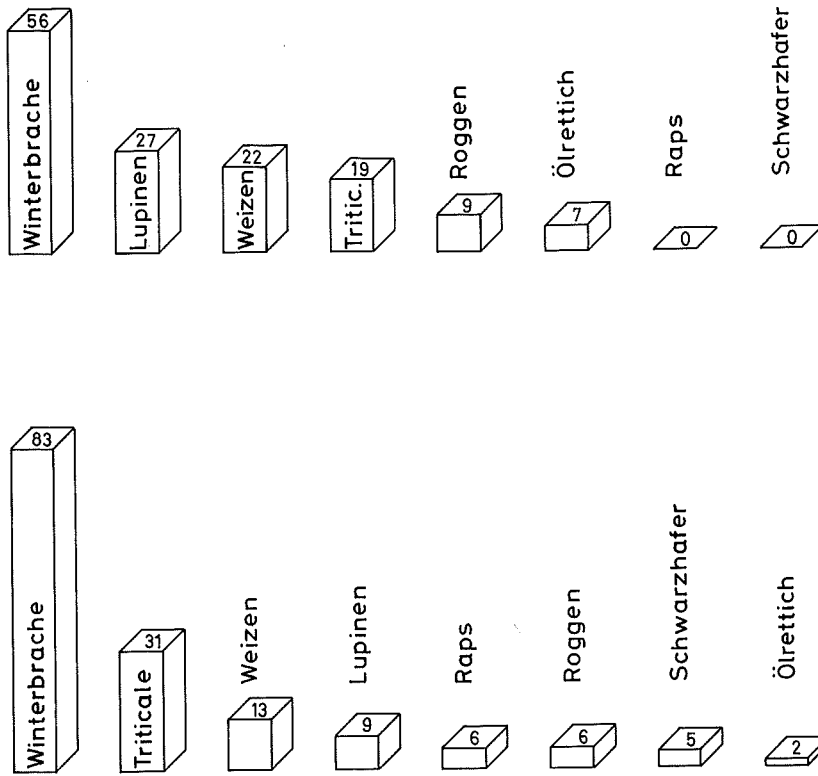


Abb. 6.5: Unkrautbedeckungsgrad (%) 7 Tage nach dem Schnitt (oben) und Unkrautbesatz (Anzahl der Unkräuter/m²) 58 Tage nach dem Schnitt der Gründüngung (unten). (Almeida und Rodrigues, 1985)

Nach Lupinen bestand die Unkrautflora fast ausschließlich aus *Brachiaria plantaginea*, während nach Roggen und Weizen sich insbesondere *Digitaria horizontalis* und breitblättrige Unkräuter entwickelten.

Auch die Saatkichte und der Reihenabstand der Gründüngung haben einen Einfluß auf die Unkrautunterdrückung. Während weiße Lupinen bei 51 cm Reihenabstand und 20 Pflanzen je laufenden m zwei Monate nach der Aussaat noch keinen geschlossenen Bestand und eine geringe Wuchshöhe zeigten, wurde nach Aussaat mit 17 cm Reihenabstand und 5 Pflanzen je laufenden m bereits nach 45 Tagen eine vollkommene Bodenbedeckung und das doppelte Höhenwachstum beobachtet. Abbildung 6.6 zeigt den Einfluß der Aussaatdichte auf den

Tabelle 6.5 Frischmasseertrag der Unkräuter und Anteile der wichtigsten Unkräuter 85 Tage nach dem Schnitt der Wintergründüngung

| Arten | Frischmasse der Unkräuter g/m ² | Unkrautarten (%) | | |
|----------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|---|
| | | <i>Brachiaria plantaginea</i> | <i>Digitaria horizontalis</i> | <i>Bidens pilosa</i> / <i>Richardia brasiliensis</i> / Andere |
| Brache bzw. Unkrautbewuchs | 1541 | 11 | 4 | 63 |
| Lupinen | 1613 | 88 | 4 | 3 |
| Weizen | 1347 | 36 | 31 | 5 |
| Triticale | 1269 | 10 | 18 | 15 |
| Raps | 987 | 44 | 34 | 4 |
| Ölrettich | 861 | 38 | 41 | 3 |
| Roggen | 695 | 13 | 17 | 23 |
| Schwarzhafer | 361 | 49 | 13 | 13 |
| | | | | 12 |
| | | | | 1 |
| | | | | 20 |
| | | | | 51 |
| | | | | 11 |
| | | | | 0 |
| | | | | 33 |
| | | | | 4 |
| | | | | 10 |
| | | | | 4 |
| | | | | 8 |
| | | | | 6 |
| | | | | 7 |
| | | | | 14 |
| | | | | 14 |
| | | | | 21 |

(Almeida und Rodrigues, 1985)



Abb.6.6: Einfluß der Aussaatdichte auf den Bedeckungsgrad. Links Lupinen bei 51 cm Reihenabstand (40 Pfl./m²), rechts bei 17 cm Reihenabstand (30 Pfl./m²), 58 Tage nach der Aussaat. (Photo: R. Derpsch)

Bedeckungsgrad etwa zwei Monate nach der Aussaat. Es wird deshalb empfohlen, die Wintergründung mit engen Reihenabständen und hohen Aussaatmengen zu säen.

Die Monokultur mit Winterbrache führt unweigerlich zu erhöhtem Unkrautbesatz. Bei Anwendung von geeigneten Gründungsarten in Verbindung mit der Fruchtfolgegestaltung kann der Unkrautbesatz in Direktsaat soweit reduziert werden, daß die sporadisch auftretenden Unkräuter kostengünstiger mit der Handhacke (ca. 4 Manntage/ha) beseitigt werden können als durch Anwendung von Herbiziden.

Einfluß auf Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit

Da unter den Klimabedingungen Parana's auch in der regenreichen Jahreszeit immer wieder Trockenperioden auftreten, ist die Erhaltung der Bodenfeuchtigkeit von großer Bedeutung, um hohe Erträge bei den Kulturpflanzen erzielen zu können.

Etwa 6 Wochen nach dem Mulchen der verschiedenen Gründungsarten wurden die Sommerfrüchte Sojabohnen, Mais und Phaseolusbohnen in Direktsaat quer zu den Gründungsparzellen ausgesät. Während der Vegetationsperiode der Sommerfrüchte 1982/83 wurde die Bodentemperatur täglich um 14 Uhr

in 3 cm Tiefe gemessen (Abb. 6.7). Auf einer zusätzlichen Parzelle ohne Bodenbedeckung waren die Bodentemperaturen im Vergleich zu den Vorfrüchten Lupinen oder Schwarzhafer immer am höchsten. Ende Januar erreichte die Bodentemperatur unter nacktem Boden 50,2 °C. Solch hohe Bodentemperaturen haben einen negativen Einfluß auf das oberflächennahe Wurzelwachstum und auf die biologische Bodenaktivität. Bei Leguminosen wird die Funktion der Knöllchenbakterien gestört. Sojabohnensamen, die einer Temperatur von über 40° C ausgesetzt werden, keimen nicht mehr (Hatfield und Egli, 1974). Treten solch hohe Temperaturen bei der Aussaat von Sojabohnen auf, können beträchtliche Keimungseinbußen bis zum Verlust des Saatgutes auftreten. Dies zeigt die Bedeutung einer bodenbedeckenden Mulchschicht in wärmeren Breiten.

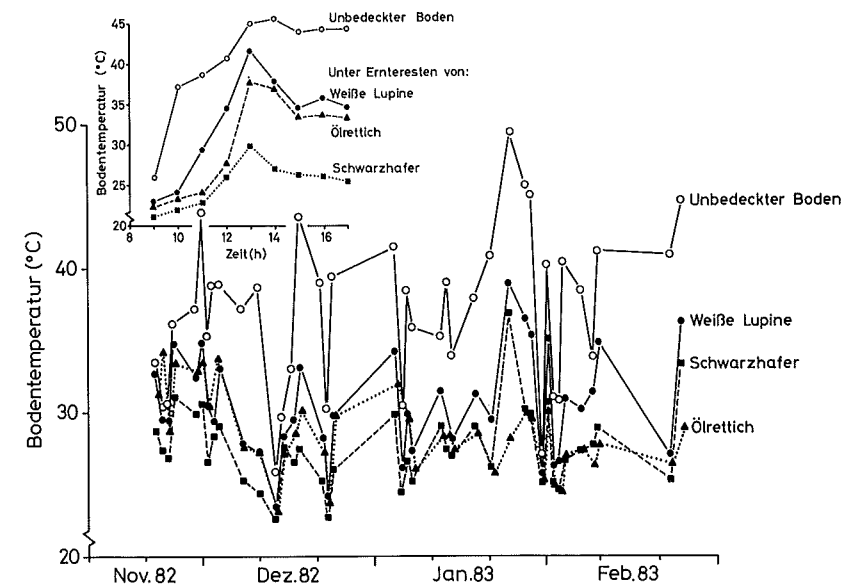


Abb. 6.7: Bodentemperatur in 3 cm Tiefe während der Vegetationsperiode von Mais, gemessen unter Mulch von Lupinen, Schwarzhafer und Ölrettich im Vergleich zu unbedecktem Boden. Oben: Tagesverlauf der Bodentemperaturen. (Derpsch et al., 1985)

Unter nacktem Boden wurden Bodentemperaturen von 26 bis 50,2° C gemessen. Dagegen betrug der Temperaturbereich unter Schwarzhafermulch lediglich 22,6° C bis 37° C. Die Temperaturamplitude unter nacktem Boden betrug 24° C, aber nur 14,4° C unter Schwarzhafer.

Außerdem wurden die Temperaturen im Tagesverlauf von 9 bis 17 Uhr gemessen (Abb. 6.7). Um 13 Uhr betrug die Bodentemperatur unter Schwarzhafermulch nur 29,8° C im Vergleich zu 37,4° C unter Ölrettichmulch, 41,2° C unter Lupinenmulch und 44,8° C unter unbedecktem Boden (Derpsch et al., 1985).

Die Bodenfeuchtigkeit wurde jede Woche gravimetrisch in den Tiefen 0 bis 10 cm und 10 bis 20 cm bestimmt. Die höchsten Feuchtigkeitswerte wurden während der Vegetationsperiode der Sojabohne unter Schwarzhafermulch und die niedrigsten unter Platterbsen- und Ölrettichmulch gemessen (Abb. 6.8).

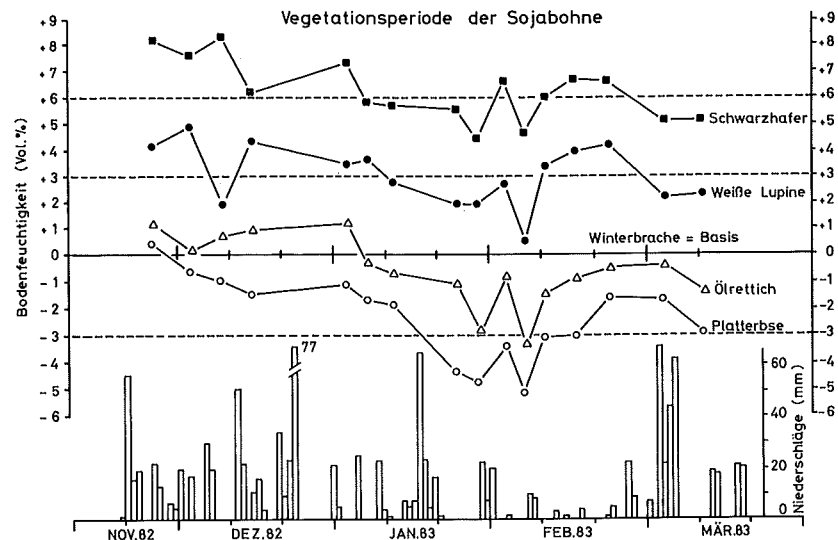


Abb. 6.8: Einfluß verschiedener Mulchauflagen von Winter-Gründungspflanzen auf die Bodenfeuchtigkeit in 0–10 cm Tiefe unter Sojabohnen. (Bezug: Winterbrache = 0) (Derpsch et al., 1985)

Die Bodenfeuchtigkeit unter Schwarzhafermulch war in 0 bis 10 cm Tiefe 4,4 % bis 8,3 % höher im Vergleich mit der Winterbrache. Die Evaporation wurde durch den Einfluß von Schwarzhafermulch und Lupinenmulch erheblich reduziert. Andererseits wurden nach Platterbsen und Ölrettich im Vergleich zu der Winterbrache geringere Wassergehalte gemessen. Auch bei Mais war die Bodenfeuchtigkeit nach Schwarzhafermulch im Vergleich zur Winterbrache um 3 % bis 7,4 % höher. Die niedrigsten Werte wurden nach Platterbsen gemessen.

Stickstoff-Dynamik

Es wurde bereits dargestellt, daß Leguminosen, aber auch Nicht-Leguminosen, erhebliche Mengen an Stickstoff im Aufwuchs akkumulieren können (Tab. 6.3). So übertrafen Schwarzhafers und Ölrettich mit 147 bzw. 135 kg N/ha sogar die Lupine

mit 90 kg N/ha. Diese teilweise hohen Mengen an N sowie das unterschiedliche C/N-Verhältnis der verschiedenen Mulcharten führen zur Frage, wie sich die Unterschiede in der N-Freisetzung auf die Sommerkulturen in Direktsaat auswirken, wenn die Pflanzenreste an der Oberfläche bleiben und nicht eingearbeitet werden. Deshalb wurde 1982/83 im Gründüngungsversuch die N-Dynamik nach Schwarzhafers, Ölrettich, Winterwicke, Lupine, Weizen und Brache in ihrer Wirkung auf die Sommerfrüchte Sojabohnen, Mais, Phaseolus-Bohnen (Aussaat in Direktsaat) verfolgt.

Nach dem Schnitt der Winterkultur bis nach der Ernte der Sommerkulturen wurden die Nitratgehalte im Boden zu 9 Terminen gemessen. Die niedrigsten Nitratgehalte traten zum Zeitpunkt des Mulchens unter Schwarzhafers (ca. 30 kg/ha), die höchsten nach Brache (ca. 90 kg/ha) auf (Abb. 6.9).

Sofort danach setzte eine deutliche N-Mineralisierung ein, die nach knapp 56 Tagen bei Ölrettich zu einer Verdreifung des Nitratgehalts im Boden führte. Auch nach Lupine, Schwarzhafers und Winterwicke wurde viel Nitrat-Stickstoff freigesetzt. Hingegen gab es nach Brache nur eine geringfügige Nachlieferung von Nitrat.

Einige Wochen nach der Aussaat der Sommerkulturen setzte einerseits eine verstärkte N-Aufnahme ein, andererseits kam es zu erheblichen Nitratverlagerungen in tiefere Bodenschichten. Zum Zeitpunkt des Hauptwachstums nahm Mais die höchsten Mengen an Nitrat auf, so daß drei Monate nach dem Schnitt der Winterkulturen in der gesamten Tiefe von 0 bis 90 cm nur noch 30 kg NO₃/ha vorhanden waren.

Nach der Ernte der Sommerkulturen kam es vor allem nach Schwarzhafers zu erneuter N-Mineralisierung, da offensichtlich das weitere C/N-Verhältnis eine länger anhaltende Mineralisierung bewirkte (Abb. 6.9). Ebenfalls konnte nach der Ernte der Sojabohnen ein Nitratschub beobachtet werden, der auf die Mineralisierung der Sojabohnen-Erntereste zurückgeführt werden kann (Abb. 6.10). Nach der Ernte der Sommerkulturen wies meistens die Sojabohnen-Variante den höchsten Nitratgehalt auf. Zu diesem Zeitpunkt hatte eine erhebliche Verlagerung von Nitrat in den Unterboden stattgefunden. Offensichtlich wurden große Mengen des aus der Mineralisation des Mulches der Winterkulturen freiwerdenden Nitrats nicht von den Sommerkulturen aufgenommen und gingen verloren.

Aus diesen Ergebnissen ist für die Praxis zu folgern, daß nach Gründüngungsarten mit engem C/N-Verhältnis (< 23, zum Beispiel Lupine, Winterwicke, Ölrettich) wegen der starken Mineralisierung zum frühestmöglichem Termin gesät werden sollte, um die Nitratverluste zu minimieren. Insbesondere sollten dann Kulturen mit hohem Stickstoffbedarf (z. B. Mais) folgen.

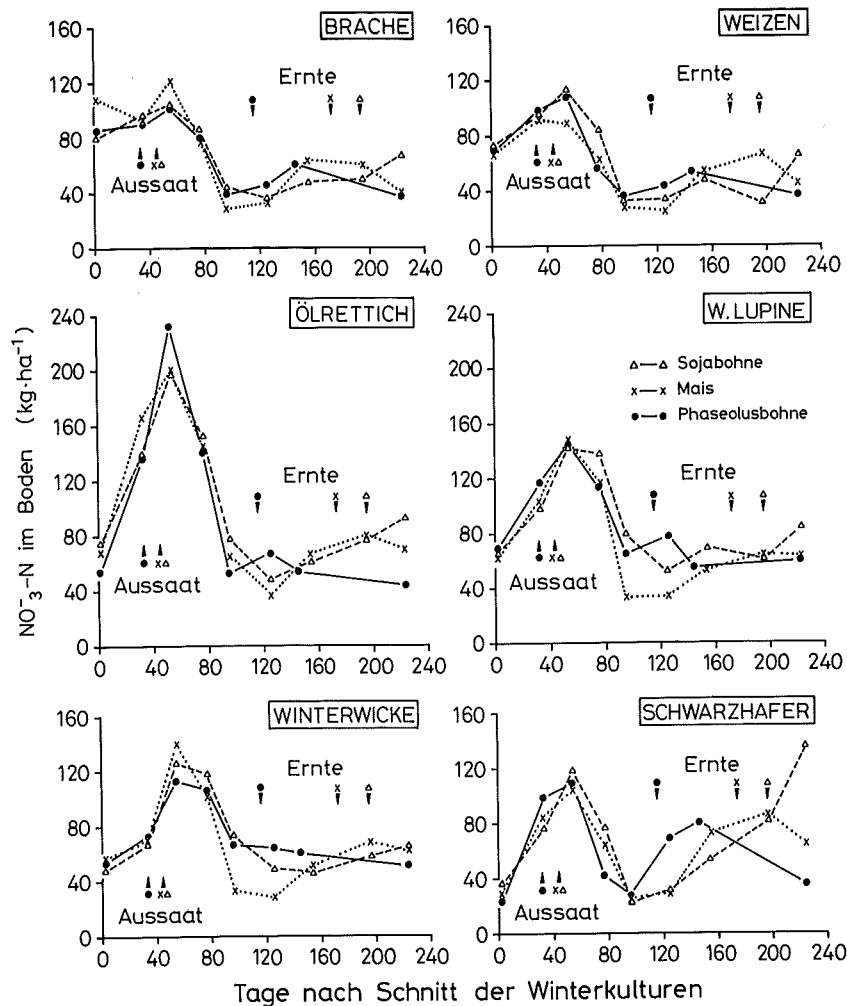


Abb. 6.9: Verlauf des Gehalts an Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$) im Boden vom Schnitt (Mulchen) der Winterkulturen bis nach Ernte der Sommerkulturen Sojabohne, Mais und Phaseolusbohne. Tag 0 = 3. 9. 1982 (Heinzmann, 1985)

Bei Leguminosen als Sommerkulturen sollten Vorfrüchte mit einem weiten C/N-Verhältnis (> 25 , zum Beispiel Roggen, Schwarzhafer) angebaut werden, da diese sonst wegen zu hoher Nitratgehalte in ihrer symbiotischen N_2 -Fixierung gehemmt werden. Von einer N-Startgabe ist in jedem Falle abzuraten. Eine sich langsam abbauende Mulchschicht (zum Beispiel Schwarzhafermulch, C/N-Ver-

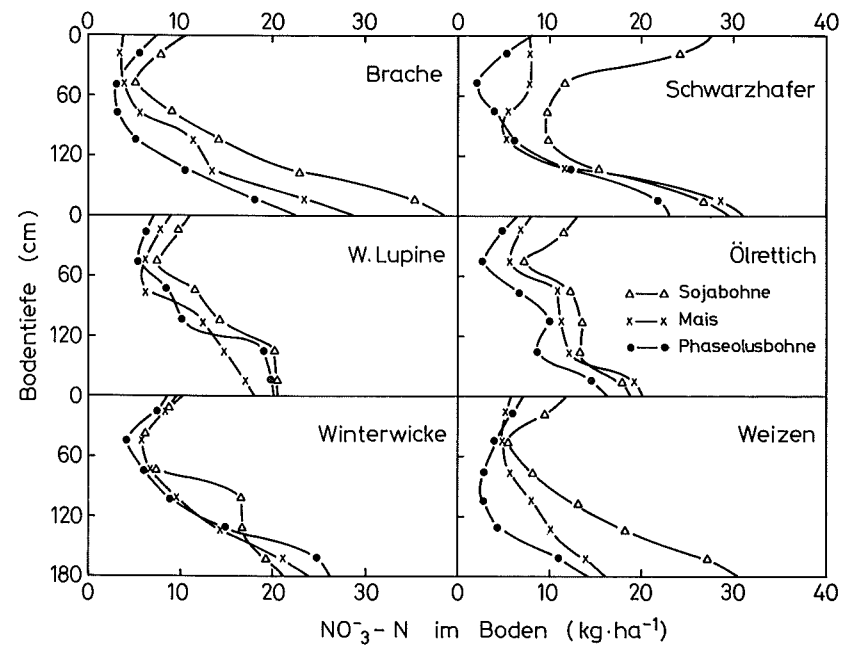


Abb. 6.10: Tiefenverlagerung von Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$) nach der Ernte von Sojabohnen, Mais und Phaseolusbohnen (Sommerfrüchte) in Abhängigkeit von unterschiedlichen Vorfrüchten bzw. Brache (Winterfrüchte) (Heinzmann, 1985)

hältnis ca. 30) hat dabei den Vorzug des wirksameren Erosionsschutzes, der besseren Unkrautunterdrückung und der Unterstützung der N_2 -Fixierung aufgrund ausgewogener Bodentemperatur und -feuchte. Außerdem ist noch mit einer positiven Vorfruchtwirkung auf die folgende Winterkultur zu rechnen.

Weiterhin wurde festgestellt, daß die Mineralisierung der Pflanzenrückstände mit einem C/N-Verhältnis unter 25 auch bei Hinterlassung der Reste an der Oberfläche sehr rasch abließ und eine Einarbeitung überflüssig machte.

6.3 Infiltration und Erosion als Funktion der Mulchauflage

Die Beziehung zwischen Bodenbedeckung und Erosion wurde bereits dargestellt (siehe Abschnitt 5.4). Aufgrund ihrer zentralen Bedeutung sollen die Zusammenhänge noch einmal erläutert werden.

Der Aufprall der Regentropfen auf den unbedeckten Boden zerkleinert die Bodenaggregate in winzige Teilchen, die bald nach Einsetzen eines Regens die

drainierenden Grobporen verstopfen und eine Verschlammung der Bodenoberfläche verursachen. Dadurch wird eine schnelle Infiltration des Niederschlagswassers verhindert. Im allgemeinen weisen die Böden in Paraná ein hohes Porenvolumen auf, so daß unter Pflanzenbewuchs hohe Infiltrationsraten gemessen werden. Die erwähnte Verschlammung verhindert die Wasserinfiltration in den Boden, auch wenn der Unterboden noch Wasseraufnahmefähig ist. Sie bewirkt den oberflächigen Abfluß des Niederschlags und reißt den Boden mit sich, was je nach Hangneigung und Niederschlagsintensität zu Erosionsschäden unterschiedlichen Ausmaßes führt.

Ist der Boden dagegen mit Pflanzen oder Pflanzenresten bedeckt, dann wird die Aufprallenergie der Regentropfen durch die Pflanzenmasse aufgefangen und das Wasser läuft langsam bis zur Bodenoberfläche, wo es dann ungehindert in den Boden einsickert, da das Porensystem intakt geblieben ist. Mit Infiltrationsmessungen konnte nachgewiesen werden, daß unabhängig vom Bodenbearbeitungsverfahren bei 100 %iger Bodenbedeckung auch bei Niederschlägen von 60 mm/h noch eine vollständige Wasserinfiltration in den Boden gewährleistet ist, während auf unbedecktem Boden lediglich eine Infiltration von 20 bis 25 % des Niederschlags gemessen wurde (Abb. 5.21). Auf unbedecktem Boden fließen dabei 75 % eines 60 mm/h Niederschlags oder 450.000 Liter Wasser je ha und Stunde oberflächlich ab. Dieses abfließende Wasser steht den Pflanzen nicht zur Verfügung und reißt in seiner Abwärtsbewegung den Boden mit sich. Gleichzeitig verursacht das abfließende Wasser den raschen Anstieg von Bächen und Flüssen und in Extremfällen Überschwemmungen. Die in Paraná durchgeführten Untersuchungen bestätigen, daß die **Bedeckung des Bodens mit Pflanzen oder Pflanzenresten der wesentliche Faktor ist, welcher den Erosionsprozeß maßgeblich beeinflusst** und der es ermöglicht, die Erosionsschäden drastisch zu reduzieren.

Erst bei fehlender Bodenbedeckung gewinnen andere Faktoren wie Aggregatstabilität, Oberflächenrauigkeit, Porenvolumen, Humusgehalt usw. eine Bedeutung für Infiltrabilität und Erosion.

Um eine ausreichende Bodenbedeckung zu erzielen, müssen Fruchtfolgesysteme unter Einschluß von Gründüngung und Mais zur Anwendung kommen, die eine Erzeugung von großen Mulchmengen ermöglichen. Schwarzhafer als Wintergründüngung bietet aufgrund der hohen Masseproduktion und der langsamen Zersetzung der Rückstände einen besonders guten und lang anhaltenden Schutz (Abb. 6.11).

Da sich die Pflanzenreste der verschiedenen Arten unterschiedlich schnell zersetzen, kann der Bodenschutz über längere oder kürzere Zeiträume anhalten. Auch die Pflanzenarchitektur und spezielle Wachstumseigenschaften können einen Einfluß auf die Infiltration haben. Beispielsweise schützt bei gleichem Masseertrag Getreidestroh mit seinen dünnen und leichten Halmen und dem weiten



Abb. 6.11: Vier bis sechs Tonnen Stroh pro ha sind für eine vollständige Bedeckung des Bodens und 100%ige Wasserinfiltration notwendig. Hier: Phaseolusbohne in Direktsaat nach Schwarzhafer. (Photo: R. Derpsch)

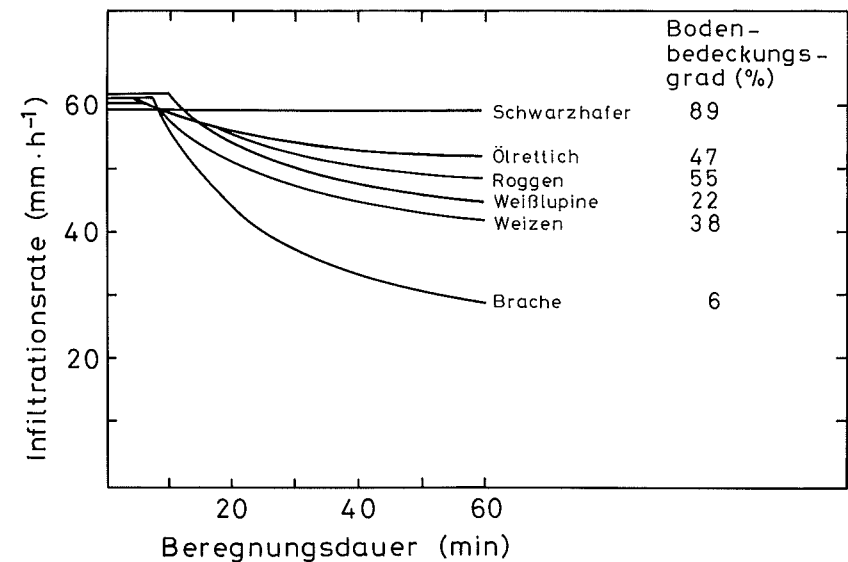


Abb. 6.12: Infiltrationsrate in Abhängigkeit von verschiedenen Winterkulturen und Brache. Oxisol, Londrina (Roth, 1985)

C/N-Verhältnis den Boden besser und länger als Sonnenblumen, die dicke Strünke aufweisen und deren Blätter sich sehr rasch zersetzen.

Der Einfluß verschiedener Gründungsarten im Vergleich zu Weizen und Winterbrache auf die Infiltrationsrate kann Abb. 6.12 entnommen werden. Die Messungen wurden 90 Tage nach dem Schnitt der Gründüngung gemacht, als die Pflanzenreste bereits einen unterschiedlichen Zersetzungsgrad hatten. Alle Winterkulturen zeigten dabei gegenüber Brache eine höhere Infiltration. Es wurde eine signifikante Korrelation zwischen Bodenbedeckung und Infiltration festgestellt.

6.4 Vorfruchtwirkung der Gründüngung

Um die Gründüngung wirksam in einer Fruchtfolge einordnen und ökonomisch bewerten zu können, ist es erforderlich, ihre Vorfruchtwirkung auf die Verkaufserträge kennenzulernen.

Die Vorfruchtwirkung der selektierten Gründüngungspflanzen sowie der Winterbrache und des Weizenanbaus wurde zu den drei wichtigsten Hauptkulturen Mais, Sojabohnen und Phaseolusbohnen von 1982 bis 1984 auf dem Versuchsgelände des IAPAR geprüft. Details zur Versuchsdurchführung werden im Anhang B wiedergegeben.

In beiden Versuchsjahren konnten signifikante Ertragsunterschiede aufgrund der Nachwirkung der verschiedenen Gründüngungsarten festgestellt werden (Abb. 6.13). Bei Mais werden lediglich die Erträge des ersten Anbaujahres aufgeführt, da im zweiten Jahr der Versuch sehr stark durch Befall von *Spodoptera frugiperda* beeinträchtigt wurde.

Im Mittel beider Jahre wurden die höchsten **Sojabohnenerträge** mit 2,67 t/ha nach Schwarzhafer (*Avena strigosa*) erzielt. Der Ertrag lag mit 0,77 t/ha signifikant über dem Durchschnittsertrag aller anderen Behandlungen (Abb. 6.13 und 6.14).

Bei **Phaseolusbohnen** wurden im Mittel von zwei Jahren die höchsten Erträge ebenfalls nach Schwarzhafer (0,74 t/ha) und Örettich (*Raphanus sativus*) (0,67 t/ha) erzielt. Nach Winterbrache wurden lediglich 0,4 t/ha geerntet. Nach Sonnenblumen (*Helianthus annuus*) blieben die Erträge sogar unter 0,4 t/ha. Die Phaseolusbohnerträge nach Schwarzhafer und Örettich waren 57 bzw. 42 % höher im Vergleich zum Mittel aller anderen Behandlungen (Abb. 6.13 und 6.15).

Mais brachte bei Verzicht auf eine N-Düngung die höchsten Erträge nach Lupinen (6,41 t/ha) und Winterwicke (6,32 t/ha). Diese Erträge waren signifikant höher als die Erträge nach den Gramineen Weizen, Schwarzhafer und Roggen, aber auch gegenüber Platterbsen (*Lathyrus sativus*) und Sonnenblumen (Abb. 6.13).

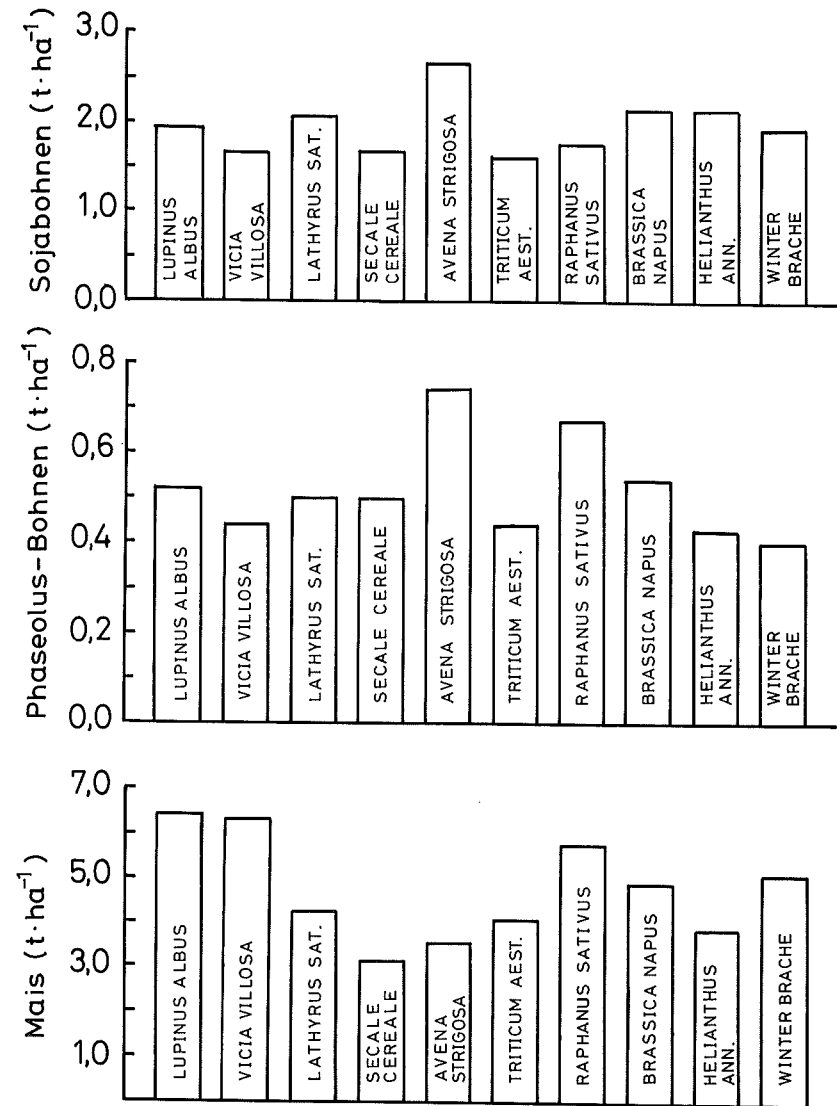


Abb. 6.13: Erträge von Sojabohnen, Phaseolusbohnen und Mais in Abhängigkeit von verschiedenen Wintergründungsarten im Direktsaatsystem (Derpsch et al., 1986)



Abb. 6.14: Sojabohnen nach Schwarzhafer (rechts) und Lupinen (links).
(Photo: R. Derpsch)



Abb. 6.15: Entwicklung von Phaseolusbohnen nach Schwarzhafer (Vordergrund) im Vergleich zu anderen Gründüngungsarten (Hintergrund) 60 Tage nach der Aussaat.
(Photo: R. Derpsch)

Trotz eines langsamen Anfangswachstums von Mais nach Ölrettich (es wird eine Allelopathie vermutet) wurde ein hoher Maisertrag von 5,8 t/ha geerntet. Dies wird auf den hohen N-Gehalt (135 kg/ha) zurückgeführt, der in der Pflanzen- und Wurzelmasse von Ölrettich gefunden wurde (siehe Abschnitt 6.2).

Die Ergebnisse zeigen, daß eine Wintergründung bei entsprechender Auswahl wesentliche Ertragssteigerungen bei den Hauptfrüchten hervorrufen kann. Die Nutzung der Wintergründung in der Fruchtfolgegestaltung kann zu wirtschaftlich besseren Ergebnissen führen als die weitverbreitete Winterbrache und auch als Weizen (siehe Abschnitt 8.3), wobei die bodenkonservierenden Leistungen noch nicht berücksichtigt sind.

6.5 Verfahren des mechanischen und chemischen Mulchens

Wenn die Pflanzenmasse der Gründüngung als bodenschützende Mulchauflage an der Oberfläche belassen werden soll, so kann die Abtötung mechanisch oder chemisch erfolgen. Unter den mechanischen Verfahren werden in Paraná der Sichelmäher, die Messerwalze oder die Scheibenegge verwendet. Mähbalken und Kreiselmäher sind in Brasilien wenig verbreitet.

Sichelmäher oder Mulchmäher

Am häufigsten wird der Anbau-Sichelmäher (Steinmetz, 1982) für das Mulchen verwendet (siehe Abb. Titelblatt). Die horizontal rotierenden Messer sind an einer vertikalen Achse angebracht und werden von der Zapfwelle angetrieben. Mit Doppelrotoren wird eine Schnittbreite von ca. 3 m erreicht (Zwillings-Sichelmäher). Bei geeigneter Konstruktion wird das Schnittgut gleichmäßig auf der Oberfläche verteilt.

Brasilianische Fabrikate bewirken im allgemeinen die Ablage im Schwad. Die seitlichen Schienen der Geräte hinterlassen in der Regel Spuren an der Bodenoberfläche, wobei die Pflanzenrückstände beiseite geschoben werden. An den unbedeckten Stellen wird dann das schnellere Keimen von Unkräutern ermöglicht. Viele dieser Geräte bedeuten zudem ein Sicherheitsrisiko für Benutzer und Dritte.

Messerwalze

Die Messerwalze wurde in Brasilien weiterentwickelt. Auf dem Walzenmantel sind Stahlmesser angebracht, die für ein Schneiden oder zumindest starkes Knicken der Pflanzen sorgen und eine Abtötung gewährleisten (siehe Abb. 6.16). Die Geräte werden mit Arbeitsbreiten von 1 bis 4 m geliefert und haben einen verhältnismäßig geringen Zugkraftbedarf. Gründüngungspflanzen wie Schwarzhafer, Roggen oder Lupinen werden gleichmäßig bei minimaler Zerkleinerung auf den Boden gelegt. Dies ist bei Anwendung der Direktsaat von großer Bedeutung, weil der Boden gut bedeckt bleibt. Die Verrottung der Pflanzen erfolgt langsamer, so



Abb. 6.16: Messerwalze beim Mulchen von Schwarzhafer. Gleichmäßige Bodenbedeckung, geringfügige Zerkleinerung. (Photo: R. Derpsch)

daß die Mulchdecke einen länger andauernden Schutz bildet. Aufgrund der Vorteile dieses Gerätes, das auch für die tierische Anspannung verwendet werden kann, sollte die Messerwalze bevorzugt benutzt werden. Nur bei kurzwüchsigen Pflanzen wird keine zufriedenstellende Arbeit geleistet, weil die in Abständen von etwa 30 cm angebrachten Messer nicht voll zur Wirkung kommen können.

Scheibenegge

Das Mulchen kann in konventioneller und minimaler Bodenbearbeitung auch mit einer Scheibenegge erfolgen. Falls im Direktsaatsystem kein anderes Gerät zur Verfügung steht, kann, je nach Gründüngungsart und Pflanzenmasse, notfalls auch die Scheibenegge für das Einmulchen Verwendung finden. Das Gerät wird dann so eingestellt, daß die Scheiben praktisch über die Bodenoberfläche hinwegrollen. Eine angehängte Cambridgewalze kann die Wirkung deutlich verbessern. In Direktsaat sollte das Gerät aber möglichst nicht benutzt werden, da sich das Aufkratzen des Bodens durch die Scheiben nachteilig auswirkt.

Chemische Abtötung

Leguminosen wie Lupinen und Wicken, Kreuzblütler wie Raps und Ölrettich, aber auch Sonnenblumen (*Compositae*) können kostengünstig mit 1 bis 2 l/ha des Herbizides 2,4-D abgetötet werden. Damit werden gleichzeitig dikotyle Unkräuter

erfaßt. Die Aussaat der Nachfrucht sollte frühestens 12 Tage nach der Ausbringung des Präparates erfolgen, um den weitgehenden Abbau des Wirkstoffes im Boden abzuwarten.

Gramineen wie Hafer, Roggen und Weidelgras, aber auch Unkräuter, können praktisch in jedem Wachstumsstadium bis kurz vor der Reife mit spezifischen Herbiziden wirksam abgetötet werden. Der Vorteil der chemischen Bekämpfung liegt in der hohen Flächenleistung. Aus ökologischen und gesundheitlichen Gründen ist jedoch den mechanischen Verfahren des Mulchens der Vorzug zu geben.

6.6 Zusammenfassung

Die Gründüngung hat eine zentrale Bedeutung in der Bodenkonservierung, da durch die wachsenden Pflanzen oder durch die Pflanzenreste der Aufprall von Regentropfen auf die nackte Bodenoberfläche verringert, die Trennung von Bodenpartikeln reduziert, die Wasserinfiltration erhöht und die Geschwindigkeit des Abflusses verlangsamt wird. Untersuchungen in Paraná haben bestätigt, daß die Bedeckung des Bodens mit Pflanzen oder Pflanzenresten der wesentliche Faktor ist, welcher den Erosionsprozeß auf einem Standort maßgeblich beeinflusst und es ermöglicht, die Erosionsschäden drastisch zu reduzieren. Die höchsten Infiltrationsraten wurden bei Bedeckung des Bodens mit Schwarzhafermulch (89 % Bodenbedeckung), gefolgt von Ölrettich- und Roggenmulch gemessen. Die weitaus niedrigste Infiltrationsrate hatte Winterbrache (6 % Bodenbedeckung durch aufgewachsenen Unkraut).

In Paraná wurden 16 von insgesamt 96 geprüften Arten für den Winteranbau selektiert. Es sind dies: weiße, gelbe und blaue Lupine, Saatwicke, Winterwicke, Serradella, Platterbse, Roggen, Schwarzhafer, Weißhafer, Byzantina-Hafer, einjähriges Weidelgras, Ölrettich, Raps, Ackerspörgel und Sonnenblume. Es wurde ausschließlich mit Winterarten gearbeitet, weil im Sommer die gesamte Anbaufläche mit Verkaufsfrüchten genutzt wird, im Winter dagegen etwa 80 % der Flächen brachliegen.

Je nach Witterung reicht der Wachstumszyklus der selektierten Gründüngungsarten von 70 bis 200 Tagen. Die Trockenmasseerträge des Sprosses schwanken dabei zwischen 1 und 7 t, die der Wurzelmasse zwischen 0,5 und 3 t/ha.

Die verschiedenen Arten zeigten sehr unterschiedliche Wachstumsraten. Unter günstigen Bedingungen erreichte Ölrettich bereits nach 42 Tagen eine vollständige Bodenbedeckung. Eine gute Beschattung des Bodens führte zu einer wirksamen Unkrautunterdrückung.

Mulchart und -mengen hatten einen entscheidenden Einfluß auf die Bodentemperatur und -feuchtigkeit. Während die Mittagstemperaturen unter nacktem Boden im Bereich zwischen 26 und 50,2° C während der Vegetationsperiode von Mais lagen, erreichten sie unter Schwarzhafermulch lediglich 22,6 bis 37° C. Das führte dazu, daß während der ganzen Vegetationsperiode die Bodenfeuchte unter Schwarzhafermulch am höchsten war.

Einige der selektierten Gründungsarten zeigten eine ausgeprägte positive Vorfruchtwirkung. Die höchsten Sojabohnenerträge mit 2,67 t pro ha wurden nach Schwarzhafer erzielt. Dieser Ertrag war 0,77 t höher als das Mittel aller anderen Behandlungen. Bei Phaseolusbohnen wurden die höchsten Erträge ebenfalls nach Schwarzhafer (0,74 t pro ha) und Ölrettich (0,67 t pro ha) erzielt. Nach Winterbrache wurden lediglich 0,4 t pro ha geerntet. Mais brachte bei Verzicht auf eine N-Düngung mit 6,41 und 6,32 t pro ha die höchsten Erträge nach Lupinen bzw. Winterwicke.

Dementsprechend können Leguminosen als Gründüngung vor Mais und wüchsige Nichtleguminosen als Gründüngung vor der Hauptfrucht Sojabohnen empfohlen werden.

7.0 Bedeutung der Fruchtfolge

Unter Fruchtfolge versteht man einen regelmäßigen und geordneten Wechsel im Anbau verschiedener Kulturarten in zeitlicher Aufeinanderfolge auf einem gegebenen Standort (Geisler, 1980).

Mit der Fruchtfolge wird unter anderem das Ziel verfolgt, bestmögliche Wachstumsbedingungen einer Kulturart durch Anbau nach geeigneten Vorfrüchten zu schaffen, eine optimale Nutzung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit zu erreichen und die rechtzeitige Durchführung aller Bestells-, Pflege- und Erntearbeiten unter Vermeidung extremer Arbeitsspitzen sicherzustellen. Daneben soll eine wirkungsvolle Unkraut- und Schädlingsbekämpfung bei geringem Kostenaufwand gewährleistet werden (Steinhauser et al., 1972).

Monokultur dagegen ist der jährlich wiederkehrende Reinanbau derselben einjährigen Nutzpflanzenart auf der gleichen Fläche oder der langjährige Reinanbau von Dauerkulturen. Monokulturen sind im allgemeinen einem höheren Krankheits- bzw. Schädlingsdruck ausgesetzt.

7.1 Traditionelle Monokultur

Die Rodung des Urwaldes ermöglichte in Nordparaná den Kaffeeanbau und in anderen Staaten vornehmlich den Zuckerrohranbau in Monokultur, denen dann in Südbrasilien die Weizen- und Sojabohnen-Monokultur folgte. So wird auch heute noch in Südbrasilien vom Holzzyklus, Matezyklus, Kaffeezyklus, Zuckerrohrzyklus, Weizen- und Sojabohnenzyklus gesprochen, um geschichtliche Zeiträume in der wirtschaftlichen Entwicklung des Landes zu kennzeichnen. Auch Baumwolle und Mais werden vorwiegend in Monokultur angebaut.

Der Monokulturanbau wurde durch staatliche Maßnahmen, wie z. B. die Einrichtung von Forschungsinstituten für spezielle Kulturen und durch Subventionierung des Anbaus einzelner Marktfrüchte, direkt und indirekt gefördert.

Nachteile der Monokultur sind Anfälligkeit gegen Krankheiten und Schädlinge sowie Bodenermüdung.

7.2 Fruchtfolgegestaltung

Die in den letzten Jahren am IAPAR entwickelten Fruchtfolgesysteme, die in der Praxis ihre Bestätigung gefunden haben und vor allem wirtschaftlich interessant sind, dürften in Zukunft zu einer verstärkten Abkehr von der Monokultur zu Gunsten der Fruchtfolge führen.

Für die Zusammenstellung einer Fruchtfolge eignen sich solche Kulturen besonders gut, die nachweislich eine gute Vorfruchtwirkung bringen und möglichst ohne zusätzliche Investitionen in die Mechanisierungskette der Feldwirtschaft eingefügt werden können.

Der biologische, technische, chemische und organisatorische Fortschritt sowie Veränderungen der sozioökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen erfordern eine ständige Überprüfung und Anpassung einmal entwickelter Fruchtfolgesysteme.

Generell beeinflussen folgende Faktoren die Auswahl bestimmter Kulturen durch den Landwirt:

Standortbedingte Faktoren

- Standort des Betriebes und Ökologie (Klima, Boden, Topographie, Unkräuter, Krankheiten, Schädlinge usw.) einschließlich Vegetationsperiode, Ertragspotential der Kulturen und Ertragssicherheit
- Entfernung vom Markt und Transportmöglichkeiten

Technische Faktoren

- Möglichkeit der Mechanisierung
- Verfügbarkeit von Saatgut
- Einbeziehung der Tierhaltung bzw. des Futterbaus
- Forschungs- und Beratungsintensität
- Ausbildungsstand und Managementkapazität

Sozioökonomische Faktoren und Wirtschaftlichkeit

- Markt, Vermarktungsmöglichkeiten, Marktschwankungen und Nachfrage
- Preis für Ernteprodukte, der an den Landwirt gezahlt wird
- Anbauförderungsmaßnahmen und Subventionen
- Anbauerschwernisse (erhöhte Steuern oder spezielle Gesetzgebung)
- Kosten für Produktionsmittel und Maschinen
- Verfügbarkeit und Kosten der Energie
- Größe des Betriebes und arbeitsorganisatorische Faktoren
- Lagermöglichkeiten und -kapazität für Ernteprodukte
- Arbeitskräftebedarf bzw. -verfügbarkeit und Lohnkosten
- Verfügbarkeit an Betriebsmitteln
- Kapitalverfügbarkeit bzw. Kapitalkosten

- Produktionsrisiko und Möglichkeit der Versicherung gegen Mißernten oder unerwartete Ertragseinbußen

Die erwünschte Anwendung einer Fruchtfolge durch den Landwirt kann zur Utopie werden, wenn einer oder mehrere der aufgeführten Faktoren sich ungünstig auf den Anbau an einem bestimmten Standort auswirken. Daher ist der Landwirt nicht ohne weiteres bereit, die von Forschungsinstituten und Beratungseinrichtungen empfohlenen Fruchtfolgen anzuwenden.

7.3 Einfluß der Fruchtfolge auf den Ertrag

Um den Einfluß der Fruchtfolgen auf Ertrag, Notwendigkeit der Stickstoffdüngung und Wirtschaftlichkeit genauer zu untersuchen, wurde am IAPAR in Londrina 1982 ein Fruchtfolgeversuch in drei Bodenbearbeitungssystemen (Pflug - Grubber - Direktsaat) angelegt. Folgende Fruchtfolgen wurden geprüft:

| Fruchtfolge | 1981/82 | 1982 | 1982/83 | 1983 |
|-------------|---------|--------|---------|--------|
| 1 | Soja | Weizen | Soja | Weizen |
| 2 | Mais | Brache | Mais | Brache |
| 3 | Mais | Lupine | Mais | Lupine |
| 4 | Soja | Lupine | Mais | Weizen |

Die Einzelerträge von Sojabohnen, Weizen, Mais und Gründüngung in den verschiedenen Fruchtfolgen von 1981 bis 1985 sowie Angaben zur Versuchsdurchführung können dem Anhang B entnommen werden. Obwohl der Versuch erst 1981/82 begonnen und bisher nur 4 Versuchsjahre ausgewertet wurden, konnten schon aussagekräftige Ergebnisse zum Einfluß der Fruchtfolge auf den Ertrag von Mais gewonnen werden. Es darf dabei allerdings nicht außer acht gelassen werden, daß sich z. B. Unkrautprobleme häufig erst nach vielen Jahren einstellen und eine abschließende Beurteilung der Fruchtfolgen erst nach langer Versuchsdauer möglich ist.

Kornertrag von Mais

Der Einfluß von drei Fruchtfolgen und der N-Düngung auf den Ertrag von Hybridmais (Pioneer 6872) ist in Abb. 7.1 dargestellt.

Ohne N-Düngung brachte Mais nach Sojabohnen und Lupinen im Vergleich zur Monokultur mit Winterbrache beachtliche Mehrerträge. Die Vorfrucht Sojabohne bewirkte beim Vergleich von Fruchtfolge 3 und Fruchtfolge 4 im Mittel der zwei Anbaujahre einen Mehrertrag von 0,47 t/ha. Diese Ergebnisse bestätigten Untersuchungen von Gallo et al. (1981), die in mehrjährigen Feldversuchen feststellten,

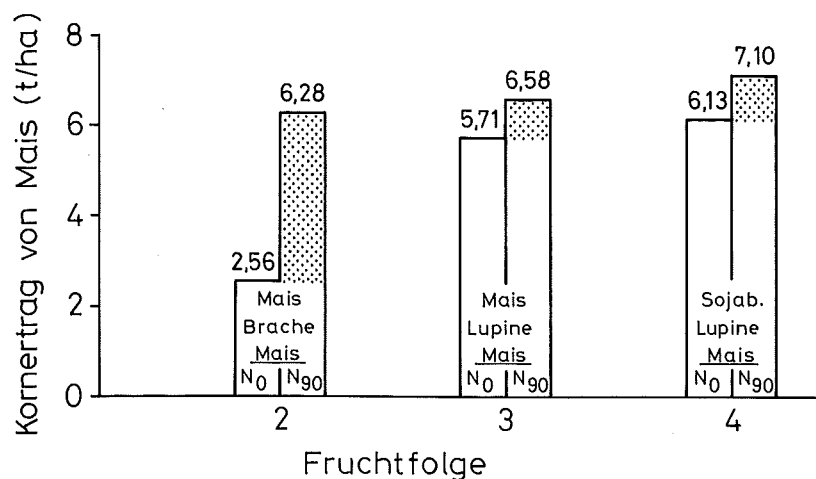


Abb. 7.1: Korntrag von Mais in drei Fruchtfolgen und zwei Stickstoffdüngungsstufen. (Mittel aus drei Bodenbearbeitungssystemen und den Ernten 1983 und 1985)

daß der Sojabohnenanbau vor Mais zu Mehrerträgen gegenüber dem Daueranbau von Mais von 0,46 t/ha führte. Auch Muzilli et al. (1983) stellten höhere Maiserträge in Fruchtfolgen mit Sojabohnen fest.

In dieser Fruchtfolge können die gleichen Maschinen für beide Früchte eingesetzt werden. Für die Maisernte ist lediglich ein Pflückvorsatz am Mähdescher erforderlich. Der Winter kann für den Anbau von geeigneten Gründüngungspflanzen oder Weizen genutzt werden. Bei Aussaat von Weizen und Gründüngung wird zusätzlich eine Sämaschine mit engen Reihenabständen (ca. 20 cm) benötigt.

Im Mittel der drei Bodenbearbeitungsverfahren wurde im Jahr 1982/83 nach Sojabohnen und Lupinen ohne N-Düngung der gleiche Ertrag erzielt wie bei Mais-Monokultur mit 90 kg N/ha als Ammonsulfat (Tab. 7.1). 1984/85 wurde dagegen bei Mais-Monokultur mit 90 kg N/ha ein Mehrertrag von 0,37 t/ha gegenüber Fruchtfolge 4 ohne N erzielt. Dies ist vermutlich auf den niedrigen Lupinenertrag im Winter 1984 (zwei Monate ohne Regen) zurückzuführen. Der Lupinenertrag (Trockenmasse) betrug 1984 in Fruchtfolge 4 1,76 t/ha gegenüber 3,11 t/ha 1982.

Durch Düngung von 90 kg N/ha wurden in Fruchtfolge 4 im Vergleich zur Variante ohne Stickstoff zusätzlich 0,97 t Mais pro ha erzeugt (Abb. 7.1). Da jedoch Ertragssteigerungen von 0,90 t/ha erforderlich sind, um die Stickstoff- und Ausbringungskosten von Ammonsulfat zu decken (siehe Abschnitt 8.4), führen die Mehraufwendungen lediglich zur Deckung der zusätzlichen Kosten. (Berech-

Tabelle 7.1 Mittlere Erträge aus drei Bodenbearbeitungssystemen (DS, MB, KB) und vier Fruchtfolgen von 1981–1985 (Körnererträge bei Sojabohnen, Weizen und Mais, Sproß-TM-Erträge bei Lupinen und Brache). Angaben in t pro ha

| Jahr | Fruchtfolgen | | | |
|-----------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1981/82 | Sojab. 1,94 | Mais 8,65 | Mais 8,65 | Sojab. 1,94 |
| 1982 | Weizen 0,75 | Brache – | Lupine 3,16 | Lupine 3,11 |
| 1982/83 | Sojab. 0,79 | Mais N–O 3,24 N–90 6,16 | Mais N–O 5,58 N–90 6,74 | Mais N–O 6,23 N–90 7,23 |
| 1983 | Weizen 1,57 | Brache – | Lupine 4,33 | Weizen 1,60 |
| 1983/84 | Sojab. 2,31 | Mais N–O 2,57 N–90 4,12 | Mais N–O 3,97 N–90 4,07 | Sojab. 1,96 |
| 1984 | Weizen 0,36 | Brache 0,75* | Lupine 1,86 | Lupine 1,76 |
| 1984/85** | Sojab. 1,89 | Mais N–O 1,85 N–90 6,40 | Mais N–O 5,85 N–90 6,42 | Mais N–O 6,03 N–90 6,96 |
| 1985** | Weizen 2,30 | Brache 2,28* | Lupine 5,11 | Weizen 2,26 |

* Trockenmasseertrag der auf Brache gewachsenen Unkräuter

** Herrn Garibaldi Batista de Medeiros wird für die Zusendung der Ertragsergebnisse nach Projektende gedankt.

nungsbasis: US \$ 97 pro t Mais und US \$ 0,955 pro kg N als Ammonsulfat). Daher kann bei ausreichender Masseproduktion von Lupinen (ca. 3 t TM/ha) in der Fruchtfolge 4 auf die Stickstoffdüngung zu Mais verzichtet werden.

Sojabohnenertrag

Auch bei Sojabohnen können in der Fruchtfolge mit Mais höhere Erträge als bei Monokultur erzielt werden. Muzilli (1981) ermittelte in mehrjährigen Versuchen in Londrina und Carambeí einen Mehrertrag von 0,33 t/ha Sojabohnen in der Fruchtfolge Sojabohnen/Weizen/Mais (2,52 t/ha) im Vergleich zu der Sojabohnen/Weizen-Folge (2,18 t/ha).

Häufig scheuen die Landwirte den Übergang von der Sojabohnen-Monokultur zur Sojabohnen/Mais-Fruchtfolge wegen der zusätzlich entstehenden Umbaukosten des Mähdeschers für den Maisdrusch. Dabei amortisieren sich diese Investitionen in kürzester Zeit. Bei den festgestellten Mehrerträgen von 0,47 t/ha Mais und 0,33 t/ha Sojabohnen werden auf einem 100 ha-Betrieb bei Anbau von 50 ha mit jeder Kultur in Fruchtfolge bereits im ersten Jahr US \$ 5.460 netto mehr erwirtschaftet (durchschnittlicher Maispreis US \$ 97 und Sojabohnenpreis US \$ 191, 67 pro Tonne).

7.4 Andere Wirkungen der Fruchtfolge

Wasserinfiltration und Bodenschutz

Um den Einfluß der Fruchtfolge auf die Bodenkonservierung genauer zu untersuchen, wurden zusätzlich Infiltrationsmessungen durchgeführt. Diese erfolgten zum Zeitpunkt der Reife der Kulturen (Sojabohnen in den Fruchtfolgen 1 und 4, Mais in den Fruchtfolgen 2 und 3) im Anbaujahr 1983/84. Vor den Messungen wurden die Pflanzen beseitigt, aber die Mulchdecke an der Oberfläche belassen.

Der Einfluß der Fruchtfolge auf die Infiltration ist bei konventioneller Bodenbearbeitung sehr viel höher als bei Direktsaat (Abb. 7.2). Die Bodenbedeckung hat einen stärkeren Einfluß auf die Infiltration als die Fruchtfolge. Die deutlich niedrigste Infiltrationsrate wurde bei bearbeitetem Boden in der Monokultur Mais mit Winterbrache gemessen, die höchste in der Fruchtfolge Sojabohnen/Lupinen/Mais/Weizen. Die niedrigeren Infiltrationsraten unter Mais sind vermutlich darauf zurückzuführen, daß selbst beim ausgewachsenen Maisbestand ein ganz erheblicher Anteil der Niederschläge direkt auf die Bodenoberfläche trifft (Quinn und Laflen, 1983), während der Sojabohnenbestand zum Stadium der Blüte die Bodenoberfläche vollkommen bedeckt.

Wie aus Abb. 7.3 zu ersehen ist, hat der Bodenbedeckungsgrad einen größeren Einfluß auf die Infiltration und den Oberflächenabfluß als die Fruchtfolge. Die Mulchauflage verhindert die Oberflächenverschlammung, die sich beim Aufprall der Regentropfen auf die unbedeckte Bodenoberfläche bildet. Diese Ergebnisse bestätigen Erkenntnisse aus bereits dargestellten Untersuchungen (Abschnitte 5.1, 5.4 und 6.3). Da die Infiltration eine dynamische Eigenschaft des Bodens ist, wäre zur abschließenden Beurteilung der Fruchtfolge hinsichtlich der Erosionsgefährdung

die Fortführung dieser Messungen erforderlich. Damit könnten auch jahreszeitliche Unterschiede der Klima- und Bodenverhältnisse berücksichtigt werden.

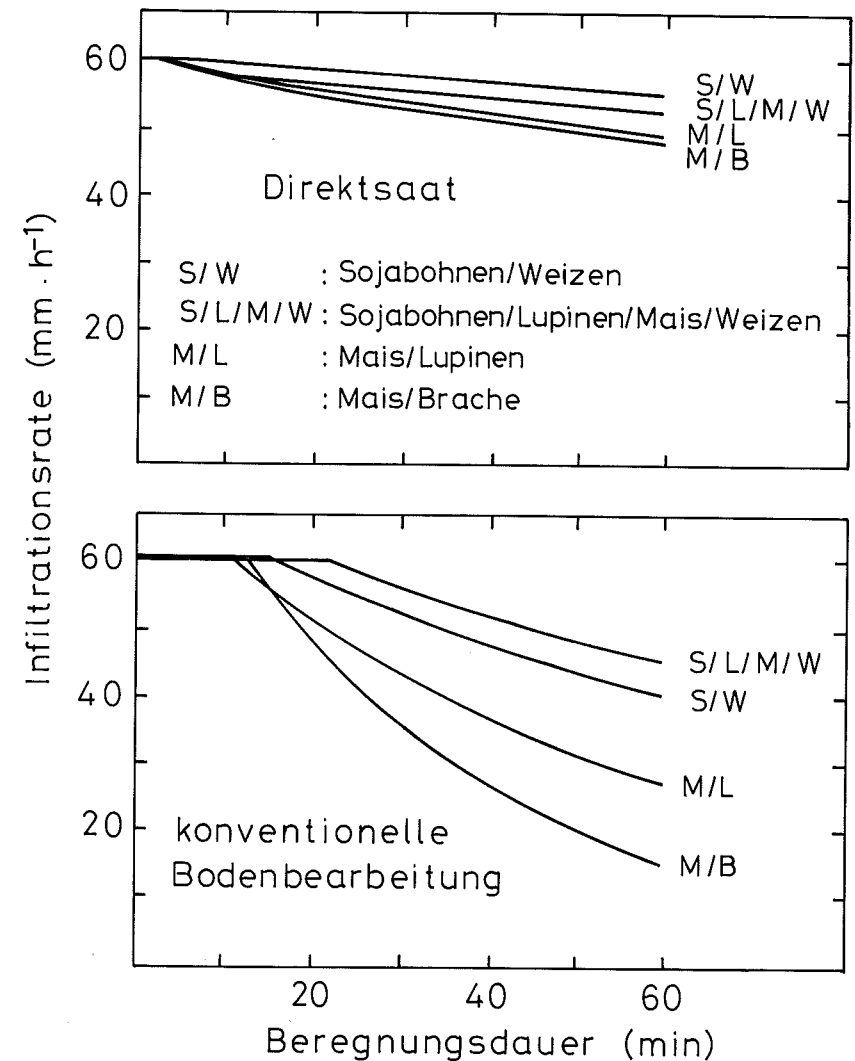


Abb. 7.2: Einfluß der Fruchtfolge auf die Infiltrationsrate nach Direktsaat und konventioneller Bodenbearbeitung bei einem simulierten Niederschlag von 60 mm/h, Oxisol (Roth et al., 1987b)

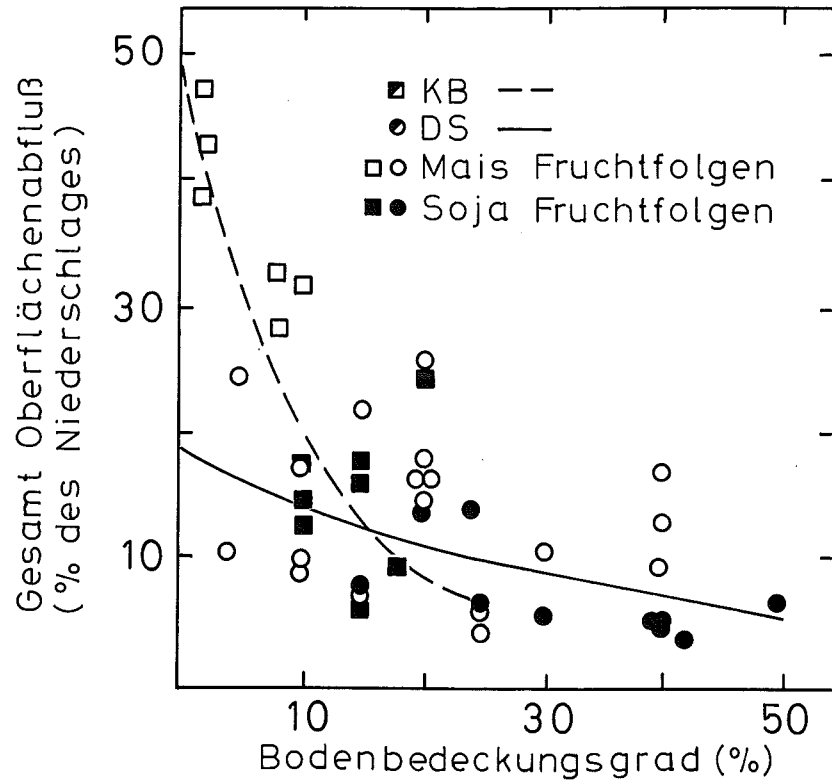


Abb. 7.3: Einfluß des Bodenbedeckungsgrades auf den Oberflächenabfluß eines Oxisol nach konventioneller Bodenbearbeitung (KB) und Direktsaat (DS) (Roth, 1984)

Krankheiten und Schädlinge

Die häufigsten Wurzelkrankheiten von Wintergetreide in Südbrasilien sind die Braunfleckenkrankheit und die Schwarzbeinigkeit (*Ophiobolus*). Sie werden durch die Pilze *Helminthosporium sativum* (*Cochliobolus sativus*) bzw. *Gaeumannomyces graminis* hervorgerufen (Diehl, 1979; Diehl et al., 1983; Reis et al., 1983).

Die Schwarzbeinigkeit vermehrte sich vor allem ab 1969 aufgrund der zu diesem Zeitpunkt einsetzenden höheren Kalkaufwendungen. In Paraná und Rio Grande do Sul häufte sich das Auftreten dieser Krankheit durch die jährliche Wiederkehr des Weizens auf derselben Fläche. In Paraná traten die erwähnten Wurzelkrankheiten vor allem in Zentral- und Südparaná auf, verbreiteten sich aber bei hoher Temperatur und Feuchtigkeit auch nach Nordparaná und Mato Grosso do Sul (Diehl et al., 1983).

Tabelle 7.2 Einfluß der Fruchtfolge auf den Befall von Wurzelkrankheiten (*Helminthosporium sativum* und *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) und den Ertrag von Weizen im Versuchsjahr 1982

| 1979 | Winterkulturen | | | 1982 | Krankheitsbefall % | Weizenkorn-ertrag t/ha | 1982 % |
|---------|----------------|---------|--------|------|--------------------|------------------------|--------|
| | 1980 | 1981 | 1982 | | | | |
| Weizen* | Weizen | Weizen | Weizen | 92 | 0,38 | 100 | |
| Weizen* | Weizen | Lupinen | Weizen | 67 | 1,04 | 277 | |
| Weizen | Hafer | Lein | Weizen | 19 | 2,18 | 579 | |
| Weizen | Lupinen | Raps | Weizen | 16 | 2,32 | 615 | |
| Weizen* | Klee | Klee | Weizen | 12 | 2,04 | 542 | |
| Weizen | Brache | Lupinen | Weizen | 7 | 2,12 | 562 | |

* Anbau von Gerste oder Weizen im Sommer wurden Sojabohne und Mais angebaut (Reis et al., 1983)

Die Schwarzbeinigkeit gehört zu den „Fruchtfolgekrankheiten“, die in der Fruchtfolgegestaltung zur Einhaltung von Anbaupausen zwingen. Wie aus Tabelle 7.2 zu ersehen ist, brachte der in Monokultur angebaute Weizen lediglich 0,38 t/ha gegenüber 2,32 t/ha bei Anbau nach Lupinen und Raps (615 % Mehrertrag). Diese Ergebnisse wurden im feuchten Jahr 1982 erzielt (Niederschlagsmenge 34 % über dem Durchschnitt). In einem trockenen Jahr (Niederschläge 50 % unter dem Durchschnitt) wurden durch Fruchtfolge Mehrerträge von lediglich 33 % erzielt.

Reis und Baier (1983) stellten fest, daß Hafer den geringsten Befall an *Helminthosporium sativum* zeigte, gefolgt von Roggen, Triticale, Weizen und Gerste (Tabelle 7.3).

Tabelle 7.3 Befall von Getreide mit *Helminthosporium sativum* bei natürlicher Infektion

| Winterkultur | Krankheitsbefall % (Mittel von 3 Sorten in 4 Wiederholungen) |
|--------------|---|
| Hafer | 4,2 d |
| Roggen | 16,2 c |
| Triticale | 30,8 b |
| Weizen | 46,7 a |
| Gerste | 49,7 a |

Kleinstbuchstaben: Signifikanz bei $P = 0,05$ (Duncan Test)
(Reis und Baier, 1983)

Diese Ergebnisse wurden von Reis und Santos (1987) bestätigt, die die monatliche Fluktuation des Befalls von *Helminthosporium sativum* (*Cochliobolus sativus*) von Juni 1982 bis Juni 1983 untersuchten und stets den höchsten Befall bei Gerste und einen wesentlich niedrigeren Befall bei Hafer feststellen (Abb. 7.4).

Neben der Anfälligkeit von Getreide untersuchten Reis und Wuensche (1984) auch die Anfälligkeit vieler anderer Pflanzen auf Wurzelkrankheiten. Sie stellten dabei fest, daß die breitblättrigen Pflanzen sehr viel weniger befallen wurden. Einen besonders geringen Befall zeigten weiße und gelbe Lupinen, Rotklee und Raps.

Aufgrund der vorliegenden Informationen sollte deshalb mindestens 3 bis 4 Jahre kein Weizen angebaut werden, um das Auftreten der Wurzelkrankheiten drastisch zu reduzieren (Diehl et al., 1983).

Sojabohnen sollten nicht nach Lupinen angebaut werden. Der Vorteil der Stickstoff-Fixierung beider Pflanzen geht verloren und auch die Vorfruchtwirkung ist

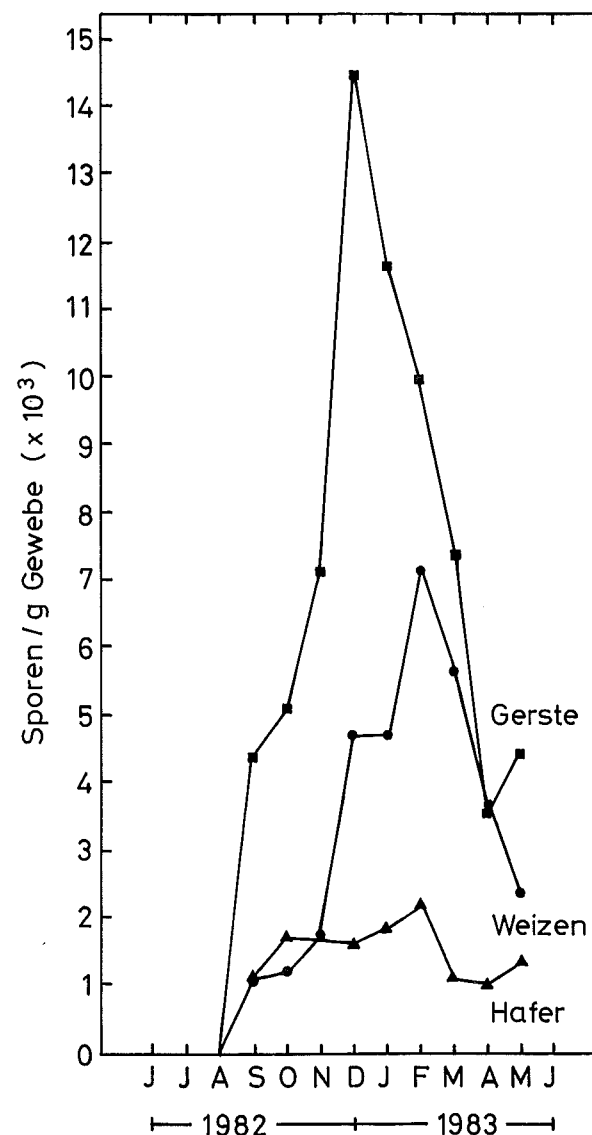


Abb. 7.4: Monatliche Fluktuation der Sporen von *Cochliobolus sativus* im Sproßgewebe von Gerste, Weizen und Hafer (Reis und Santos, 1987)

im Vergleich zu Alternativen wie Schwarzhafer und Ölrettich schlechter (siehe Abschnitt 6.4). Zudem werden beide Leguminosen oft von den gleichen Krankheiten befallen. So stellte Homechin (1984 b) fest, daß Sojabohnen in der Fruchtfolge Sojabohnen/Lupinen/ Sojabohnen sehr viel stärker von *Sclerotinia sclerotiorum* und *Rhizoctonia solani* befallen wurden als in den Fruchtfolgen Sojabohnen/Hafer/Sojabohnen, Sojabohnen/Gerste/Sojabohnen und Sojabohnen/Hafer/Mais/Sojabohnen.

Untersuchungen am IAPAR haben gezeigt, daß der Besatz mit Nematoden (*Meloidogyne sp.*) in Monokulturen (insbesondere bei Baumwolle) von Jahr zu Jahr zunimmt und an den meisten Kulturpflanzen Schäden verursacht. Auch werden die meisten Unkräuter befallen. Bisher gibt es keinen wirksamen und wirtschaftlichen chemischen Schutz. Allein die Fruchtfolge vermag die Schaderregerpopulationen auf einem niedrigen Niveau zu halten.

Unter den in Paraná angebaute Kulturarten zählt die Erdnuß neben den Sommergründungspflanzen Crotalaria und Mucuna zu den wenigen resistenten Arten. Unter den Arten für den Winteranbau zeigten Schwarzhafer und Roggen den geringsten Befall, ohne jedoch resistent zu sein. Lupinen sind gegen Nematoden besonders anfällig und sollten deshalb nicht auf verseuchten Flächen und vor Sojabohnen angebaut werden.

Alle Maßnahmen, die eine Erhöhung des Humusgehaltes des Bodens zur Folge haben, sind auf von Nematoden verseuchten Flächen angebracht, da sie die Vermehrung natürlicher Feinde (Pilze) ermöglichen und so zu einer Reduzierung der Nematodenpopulation führen können.

Es wurde gezeigt, daß besonders Schwarzhafer als Gründüngung zur Reduzierung einiger Krankheiten und Schädlinge bei Sojabohnen und Weizen beiträgt. Deshalb, aber auch aufgrund der positiven Wirkung von Schwarzhafer auf den Ertrag von Sojabohnen (siehe Abschnitt 6.4), sollte diese Art in die Fruchtfolgen eingebaut werden. Da jedoch Hafer nicht zu den selbstverträglichen Früchten zählt (Kämpf, 1983) sollten die Vorzüge dieser Kultur nicht dazu verleiten, sie jedes Jahr auf der gleichen Fläche anzubauen.

Abbau von Arbeitsspitzen

Der Abbau von Arbeitsspitzen gehört zu den wichtigsten Vorteilen der Fruchtfolge. Die Monokultur von Mais führt aufgrund der empfohlenen Saatzeiten in Nordparaná zu einer erhöhten Arbeitsspitze vom 15. September bis 31. Oktober, während die Monokultur von Sojabohnen zu einer extremen Arbeitsspitze vom 15. Oktober bis 30. November führt (siehe Abb. 7.5). Wird dieselbe Anbaufläche mit der Fruchtfolge Mais/Sojabohnen bestellt, so kann die Aussaatzeit um einen Monat verlängert werden.

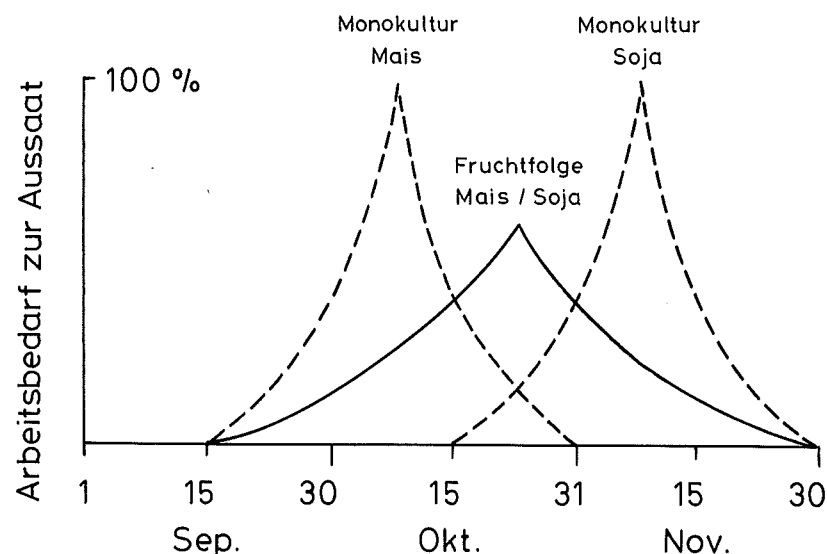


Abb. 7.5: Arbeitsspitzen während der Aussaat in Monokultur und in Fruchtfolge (Mais und Soja zu je 50% der Anbaufläche), am Beispiel der empfohlenen Saatzeiten für Mais und Sojabohnen in Nordparaná.

Dies kann mit einer besseren Arbeitsqualität bei der Aussaat verbunden sein, sowie zu einer Reduzierung des Maschinenbedarfs (Sämaschinen, Schlepper usw.) führen. Das gleiche gilt für die Pflegemaßnahmen und für die Ernte. Derselbe Mähdrescher kann bei Anwendung der genannten Fruchtfolge eine erheblich größere Fläche ernten als bei Anbau der Monokulturen. Voraussetzung ist eine geeignete Saatzeit- und Sortenwahl, um zu verhindern, daß beide Kulturen gleichzeitig zur Reife kommen.

7.5 Bewährte Fruchtfolgen in Südbrasilien

In Brasilien werden Fruchtfolgen zum Teil aus rein theoretischen Erwägungen zusammengestellt. Künftig sollten Erfahrungen der Praxis stärker als bisher Beachtung finden. Die vielen Landwirte können erheblich mehr Erfahrungen mit Fruchtfolgen sammeln als wenige Forscher. Der Forschung kommt die Aufgabe zu, den Vorfruchtwert der verschiedenen Kulturen und Gründüngungsarten im Detail zu untersuchen und die Zusammenhänge zu klären. Im Rahmen der am IAPAR durchgeführten Arbeiten und unter Berücksichtigung von Erfahrungen in der Praxis hat sich die zweijährige Fruchtfolge

Sojabohnen - Lupinen - Mais - Weizen

besonders gut bewährt (siehe auch Abschnitte 7.3 und 8.4). Dabei müssen frühreife Maissorten Verwendung finden. Es werden drei Verkaufsfrüchte und eine Gründüngung in 2 Jahren angebaut. Diese Fruchtfolge hat den Vorteil, daß 50 % Leguminosen und 50 % Gramineen zum Anbau kommen und Mais nach Sojabohnen und Lupinen ohne Stickstoff angebaut werden kann. Die Fläche des Betriebes wird so aufgeteilt, daß eine Hälfte im Sommer mit Mais und die andere Hälfte mit Sojabohnen bebaut wird (im Winter Weizen und Lupinen). Dies führt zu einem erheblichen Abbau von Arbeitsspitzen. Mit weniger Maschinen und einer besseren Arbeitsverteilung kann die gleiche Fläche bestellt werden. Kommt diese Fruchtfolge im Streifenanbau zur Anwendung, dann wird gleichzeitig eine bessere Bodenkonservierung erzielt (Abb. 7.6 und 7.7).

Als Nachteil hat sich gezeigt, daß bei schlechtem Management der Mais im Weizen zu einem nicht kontrollierbaren Unkraut werden kann. Dies kann jedoch vermieden werden, indem frühreife Maissorten früh ausgesät werden, so daß die Ernte spätestens bis Ende Februar oder Anfang März erfolgt. Sofort nach der Ernte muß das zum größten Teil stehende Maisstroh mit einem Sichel- oder Schlegelmäher geschnitten oder mit einer Scheibenegge mit angehängter Cambridge-Walze eingewalzt werden. Der Bodenkontakt und die relativ hohen Niederschläge im März ermöglichen eine schnelle Verrottung des Strohs und die Keimung von Ausfallgetreide. Im April, ca. 45 Tage nach Mulchen des Maisstrohs, werden dann die gekeimten Pflanzen durch erneutes Mulchen oder durch Bodenbearbeitung abgetötet. Bei Anwendung von Direktsaat kann durch eine zweite Fahrt mit dem Sichelmäher kurz vor der Weizenaussaat der gekeimte Mais beseitigt werden. Die danach noch gekeimten Maispflanzen (< 1 Pflanze/m²) entwickeln sich nach der Weizenaussaat zunächst sehr schnell, bleiben aber sehr klein und werden dann vom Weizen überwuchert. Auch bei der Weizenernte bereitet der Mais normalerweise kein Problem. In Südparraná wird der Mais in der Regel vom Frost abgetötet.

Auch die dreijährige Fruchtfolge

Schwarzhafer - Sojabohnen - Weizen - Sojabohnen - Lupinen - Mais

hat sich in der Praxis (Dijkstra, 1984) bewährt (siehe auch Abschnitt 9.5). Hier werden vier Verkaufsfrüchte und 2 Gründüngungsarten in drei Jahren angebaut, bei 66 % Sojabohnen und 33 % Mais im Sommer. Im Winter befindet sich jeweils 1/3 der Fläche unter Schwarzhafer, Weizen und Lupinen. Diese Fruchtfolge hat bereits erfolgreich Eingang in Südparraná im Gebiet der „Campos Gerais“ gefunden und weist verschiedene Vorzüge auf (Peeten, 1984). Die Aussaat von Schwarzhafer nach Mais wirft nicht die Probleme auf, die in der Fruchtfolge Sojabohnen/Lupinen/Mais/Weizen beschrieben wurden, da der Mais genauso wie

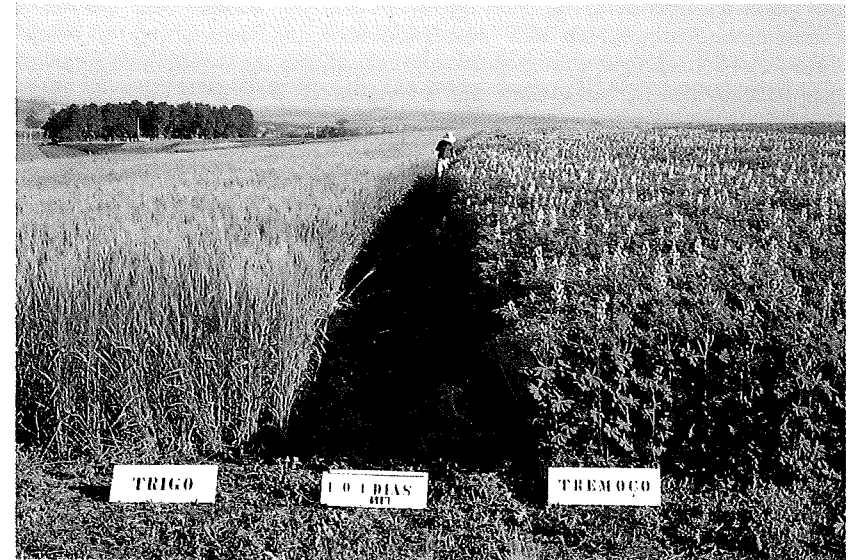


Abb. 7.6: Fruchtfolge im Streifenanbau. Im Winter Weizen – Lupinen (100 Tage nach der Aussaat) ...



Abb. 7.7: ... und im Sommer Sojabohnen und Mais im Mischanbau mit *Dolichos lab lab*. Hohe Erträge ohne Stickstoffdüngung zu Mais. (Photos: R. Derpsch)

der Hafer als Gründüngung dient und nicht beseitigt werden muß. Die starke Unkrautunterdrückung, die hohe Masseproduktion, die Reduzierung von Krankheiten und Schädlingen und die gute Vorfruchtwirkung vor Sojabohnen sind weitere Vorzüge des Schwarzhafers. Bei Anfängern im Direktsaatsystem ist diese Fruchtfolge mit Beginn zu oder nach Hafer besonders geeignet, weil die Unkrautbekämpfung einfacher und preiswerter wird. Als Nachteil dieser Fruchtfolge läßt sich lediglich aufführen, daß im Sommer nur ein Drittel der Fläche mit Mais angebaut wird und zwei Drittel mit Sojabohnen, was sich nicht so günstig wie in der ersten Fruchtfolge auf die Maschinen- und Arbeitsauslastung auswirkt.

Betrieben mit der Möglichkeit zu einer längerfristigen Planung kann folgende 4jährige Fruchtfolge empfohlen werden:

Jahr 1 + 2 **Sojabohnen - Lupinen - Mais - Schwarzhafer**
Jahr 3 + 4 **Sojabohnen - Serradella - Mais - Weizen**

Diese Fruchtfolge bietet die Vorzüge der beiden erstgenannten Fruchtfolgen ohne deren Nachteile und ist für Landwirte, die nur einen geringen Anteil Weizen anbauen möchten, besonders geeignet. Je nach Anbaugebiet und Möglichkeiten kann in dieser Fruchtfolge Serradella durch Saatwicke, Erbsen, Ölrettich oder ein Schwarzhafer/Lupinen bzw. Schwarzhafer/Saatwicke-Gemenge ersetzt werden. Es müssen frühreife Maissorten zur Aussaat kommen. Eine Versuchsphase sollte ihrer Anwendung vorausgehen.

In der Fruchtfolge

Schwarzhafer - Phaseolusbohne - Weizen - Mais

sollte aufgrund der am IAPAR durchgeführten Untersuchungen Schwarzhafer oder Ölrettich als Vorfrucht angebaut werden (siehe Abschnitt 6.4). Der kurze Wachstumszyklus der Phaseolusbohne ermöglicht zwei Ernten im Sommer. Diese Folge kann nur für Südparaná empfohlen werden, da in Nordparaná der zweite Anbau zu starkem Virusbefall führt. Hier kann dann Sonnenblume als Gründüngung oder zur Körnerproduktion eingefügt werden.

Zukünftig wird die Anwendung der Fruchtfolge im Baumwollanbau unumgänglich werden; z. B.

Lupinen - Mais und Mucuna - Baumwolle.

Die meisten Flächen sind inzwischen so stark mit Nematoden verseucht, daß die Erträge ständig sinken. Hinzu kommt, daß die Erosion im Baumwollanbau große Schäden verursacht, weil die Pflanzen keine ausreichende Bodenbedeckung

bieten. Lupinen haben als Gründüngung bereits Eingang in die Praxis gefunden und führen zu beachtlichen Mehrerträgen. Sie tragen jedoch auf von Nematoden verseuchten Flächen zu deren Vermehrung bei. Schwarzhafer oder Roggen wären unter solchen Bedingungen zur Reduzierung der Nematodenpopulation besser geeignet, wenn auch ihre Vorfruchtwirkung zu Baumwolle nicht hinreichend bekannt ist. Mais im Mischanbau mit Mucuna führt zur Unterdrückung von Nematoden und hat nachweislich einen hohen Vorfruchtwert für Baumwolle. Mucuna wächst dabei in den Winter hinein und muß geschnitten werden, bevor die Samen zur Reife kommen.

Eine weitere wichtige Kultur in Paraná ist der Trockenreis. Da jedoch kaum Informationen über geeignete Fruchtfolgen vorliegen, können hier keine Empfehlungen gegeben werden. Erst müssen durch Forschungsarbeit geeignete Vorfrüchte gefunden und der Vorfruchtwert von Reis festgestellt werden.

Hat sich ein Landwirt für ein Fruchtfolgesystem entschieden, sollte er daran festhalten, auch wenn kurzfristige Marktentwicklungen die Rückkehr zur Monokultur interessanter erscheinen lassen. Kurzfristige Entscheidungen führen zu Organisationsschwächen, die den geordneten Ablauf der Arbeiten stark beeinträchtigen. In Paraná konnte beobachtet werden, daß Landwirte, die sich für den Maisanbau entschieden hatten, kurz vor der Aussaat das Saatgut verkauften, wenn die Sojabohne einen höheren Gewinn versprach. Die Landwirte mußten sich dann mit zweitklassigem Sojasaatgut begnügen. Der bereits für Mais eingekaufte Dünger wurde zu Sojabohnen ausgebracht, was zur Verschwendung des darin enthaltenen Stickstoffs führte. Da Sojabohnen ca. 45 Tage später als Mais ausgesät werden, blieb der Boden diese Zeit offen liegen, was zu Erosionserscheinungen und Verunkrautung führte. Die für Mais bereits gekauften Herbizide mußten eingelagert werden, weil sie bei Sojabohnen zum Teil nicht angewendet werden konnten.

7.6 Zusammenfassung

In Brasilien hat die Monokultur eine lange Tradition, die auch heute noch das Denken und Handeln vieler Menschen prägt. Der Anbau in Monokultur wurde durch staatliche Maßnahmen und Subventionen direkt und indirekt gefördert.

Geeignete Fruchtfolgen können nicht auf theoretischen Überlegungen basieren, sondern sie sind das Ergebnis von langjährigen praktischen Erfahrungen und von Forschungsergebnissen. Positive Wirkungen der Vorfrucht auf die Nachfrucht müssen dabei optimal genutzt werden. Die Vorfrucht Sojabohne brachte in Paraná beim Vergleich der Fruchtfolgen Mais/Lupine/Mais und Sojabohne/Lupine/Mais im Mittel von zwei Anbaujahren einen Mehrertrag von 465 kg Mais pro ha. Mehrjährige Versuche am IAPAR haben gezeigt, daß Sojabohnen im Fruchtwechsel mit Mais und Weizen im Vergleich zu einer Sojabohnen/Weizen-Folge zu 0,33 t/ha Mehrertrag führen. In Paraná kann bei einer Sojabohnen/Lupi-

nen/Mais-Fruchtfolge auf die Stickstoffdüngung zu Mais ganz verzichtet werden. Damit werden im Vergleich zur Mais-Monokultur 90 kg N/ha eingespart.

Am IAPAR konnte der Wert der Fruchtfolge zur Erhöhung der Infiltration nachgewiesen werden. Die deutlich niedrigste Infiltrationsrate wurde bei konventioneller Bodenbearbeitung und der Monokultur Mais/Winterbrache gemessen.

Die höchsten Infiltrationen wurden in der Fruchtfolge Sojabohnen/Lupinen/Mais/Weizen gemessen. Unter Direktsaat wurden in allen Fruchtfolgen bedeutend höhere Infiltrationsraten als unter bearbeitetem Boden gemessen. Der Bodenbedeckungsgrad hatte den größten Einfluß auf die Infiltration und den Oberflächenabfluß.

Der Abbau von Arbeitsspitzen gehört zu den wichtigen Vorteilen der Fruchtfolge und kann mit einer besseren Arbeitsqualität sowie mit einer Reduzierung des Maschinenparks und des Arbeitskräftebedarfs verbunden sein.

In Südbrasilien führt die Fruchtfolge zur Reduzierung von Krankheiten und Schädlingen und damit zur Erhöhung der Erträge. Es werden in Südbrasilien bewährte Fruchtfolgen aufgeführt und deren Vor- und Nachteile diskutiert. Zu den günstigsten Fruchtfolgen gehört der Anbau von Sojabohne/ Lupine/ Mais/Weizen. Soll Schwarzhafer als Gesundungsfrucht und zur Erzeugung von Mulch eingesetzt werden, empfiehlt sich die Fruchtfolge Schwarzhafer/Sojabohne/Weizen/Sojabohne/Lupine/Mais.

8.0 Wirtschaftlichkeit

Sorrenson und Montoya (1984) haben auf der Basis der Ergebnisse der Bodenbearbeitungs- und Fruchtfolgeversuche, die von 1977 bis 1984 in Paraná durchgeführt wurden, sowie aufgrund anderer Informationen detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnungen erstellt, deren wichtigste Aussagen in diesem Kapitel wiedergegeben werden. Den Berechnungen sind die Preise von Mai 1984 (inflationsskorrigiert) zugrundegelegt; ein US-Dollar entsprach 2,70 DM.

Zunächst werden die Kosten der verschiedenen Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren miteinander verglichen und ihren Ertragseffekten gegenübergestellt (Abschnitt 8.1).

Abschnitt 8.2 befaßt sich ausschließlich mit der Wirtschaftlichkeit des Ersatzes von Winter-Verkaufsfrüchten bzw. Winterbrache durch Gründungskulturen, und Abschnitt 8.3 mit der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit verschiedener Bodenbearbeitungs-, Bestell- und Düngungsverfahren in Abhängigkeit von der Fruchtfolge.

In Abschnitt 8.4 werden die Ergebnisse einer Kosten/Nutzen-Analyse auf Einzelbetriebsebene anhand eines 150 ha Modellbetriebes und auf gesamtwirtschaftlicher Ebene anhand einer Cash-flow-Analyse dargestellt. Dabei werden die Kosteneinsparungen und Mehrerträge in der Summe der Einzelbetriebe sowie die durch Sedimentation, Wasserverunreinigung etc. außerhalb der landwirtschaftlichen Betriebe entstehenden Kosten berücksichtigt. Aufgrund von Schätzungen über die Akzeptanzraten mit und ohne fördernde Maßnahmen errechnet sich daraus die Höhe der Kosten für Beratungsmaßnahmen, die gerechtfertigt wären, um eine höhere Akzeptanz zu erreichen.

8.1 Bodenbearbeitung und Direktsaat

Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Bodenbearbeitungsmaßnahmen einschließlich Direktsaat basieren auf dem Vergleich verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte, auf Informationen aus Forschung und Beratung sowie auf den Ergebnissen der Bodenbearbeitungs- und Fruchtfolgeversuche, die von 1977 bis 1984 in Londrina durchgeführt wurden.

Schlepperstunden, Kraftstoffverbrauch und Kraftstoffkosten

Aus Tabelle 8.1 ist zu entnehmen, daß bei der Direktsaat der Bedarf an Schlepperstunden für die Bodenbearbeitung, Aussaat und Unkrautbekämpfung im Ver-