

5.0 Vergleich verschiedener Bodenbearbeitungsmassnahmen

Die vergleichende Untersuchung verschiedener Bearbeitungsverfahren nicht nur im Hinblick auf Erosion, sondern auch im Hinblick auf die Veränderungen von Bodenstruktur und Nährstoffhaushalt, Krankheiten und Schädlingsbefall auf Unkrautbesatz und letztlich auf die Ertragsbildung gehörte zu den wichtigsten Aufgaben des Projektes. In Bodenbearbeitungsversuchen wurden entsprechende Systemanalysen am IAPAR in Londrina auf einem Oxisol (1977 bis 1984) und in Rolândia auf einem Alfisol (1977 bis 1981) durchgeführt.

Untersucht wurden die konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Scheibenpflug, die Minimalbodenbearbeitung mit dem Grubber und die Direktsaat mit einem Fräsrillengerät (siehe Abschnitte 4.3, 4.4 und 4.7). Die traditionelle Bodenbearbeitung (1 mal schwere Scheibenegge, 3 bis 4 Eggengänge) konnte nicht berücksichtigt werden, obwohl dieses Verfahren heute noch verbreitet in Paraná Anwendung findet und es noch erosionsfördernder ist als die konventionelle Bearbeitung mit dem Scheibenpflug. Der Versuch in Londrina wurde wesentlich intensiver durchgeführt als der in Rolândia und dauerte drei Jahre länger. Für den Versuch in Rolândia liegen daher keine Ergebnisse zur Infiltration, Bodentemperatur und zum Bodenabtrag vor.

Detaillierte Angaben zur Versuchstechnik und Durchführung finden sich in Anhang B.

5.1 Physikalische Bodeneigenschaften

Trockendichte und Porenvolumen

Beim Oxisol haben alle Bearbeitungsverfahren zu einer Verdichtung des unter natürlichen Verhältnissen sehr lockeren Oberbodens geführt (Abb. 5.1). Dabei lagen die Trockendichten unter Direktsaat im Bereich 0 bis 20 cm am höchsten, während es unter konventioneller Bearbeitung zur Bildung einer Pflugsohle im Bereich 20 bis 30 cm Bodentiefe kam. Die Werte bei Grubberbearbeitung lagen zwischen denen der beiden anderen Verfahren. Gleiche Verhältnisse wurden auf dem Alfisol festgestellt.

Unterhalb einer Trockendichte von $1,20 \text{ g/cm}^3$ sind keine Probleme bei der Durchwurzelbarkeit sowie Luftversorgung zu erwarten. Erst bei Dichten über $1,25 \text{ g/cm}^3$ scheint das Wachstum der Wurzeln behindert zu werden. Wie im fol-

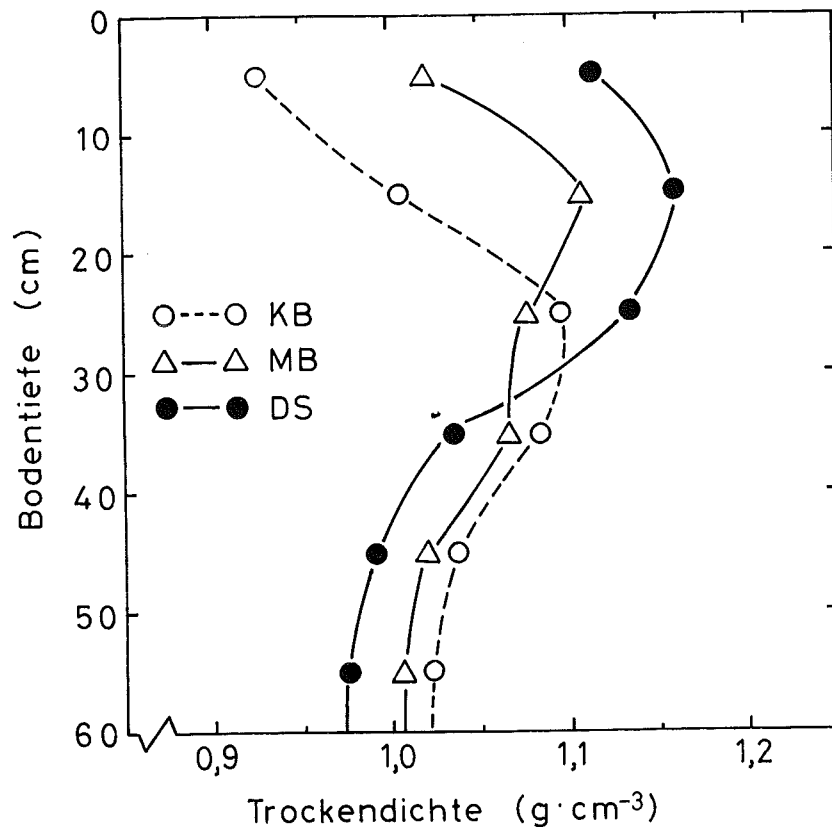


Abb. 5.1: Trockendichte nach sieben Jahren differenzierter Bodenbearbeitung. (KB = konventionelle Bearbeitung; MB = minimale Bearbeitung; DS = Direktsaat) Oxisol, Londrina. (Derpsch et al., 1986)

genden Abschnitt gezeigt wird, ist die höhere Dichte im Oberboden unter Direktsaat für eine höhere Wasserretention verantwortlich und damit eher günstig zu beurteilen. Auffällig ist jedoch die relative Zunahme der Trockendichte und problematischer scheint hier für das Wurzelwachstum der abrupte Wechsel der Trockendichte unter konventioneller Bearbeitung beim Übergang vom Oberboden in die Schicht 20 bis 30 cm (»Pflugschle«, s. Abschnitt 5.7).

Durch Befahren der Flächen mit schweren Maschinen (Mähdrescher, Lastwagen) besteht unter Direktsaat die Gefahr, daß langfristig eine zunehmende Verdichtung im Oberboden das Wurzelwachstums behindert. Deshalb wird versucht, durch Ausrüstung der Sämaschinen mit starren Zinken in den Drillreihen den Oberboden unterhalb der Saatgutablage streifenweise zu lockern.

Die Trockendichte ist keine statische Größe, sondern sie kann sich im Laufe der Vegetationszeit verändern (Abb. 5.2).

Eine an den Horizonten orientierte Probenahme im Bearbeitungsversuch Londrina ergab, daß unter Direktsaat die maximalen Dichten $1,27 \text{ g/cm}^3$ (im Bereich 10 bis 15 cm Bodentiefe) und unter konventioneller Bearbeitung $1,29 \text{ g/cm}^3$ (im Bereich 20 bis 25 cm Bodentiefe) betragen können.

Das Porenvolumen verhält sich analog zur Trockendichte (Tab. 5.1). Das höchste Gesamtporenvolumen wurde unter konventioneller Bearbeitung gemessen, das

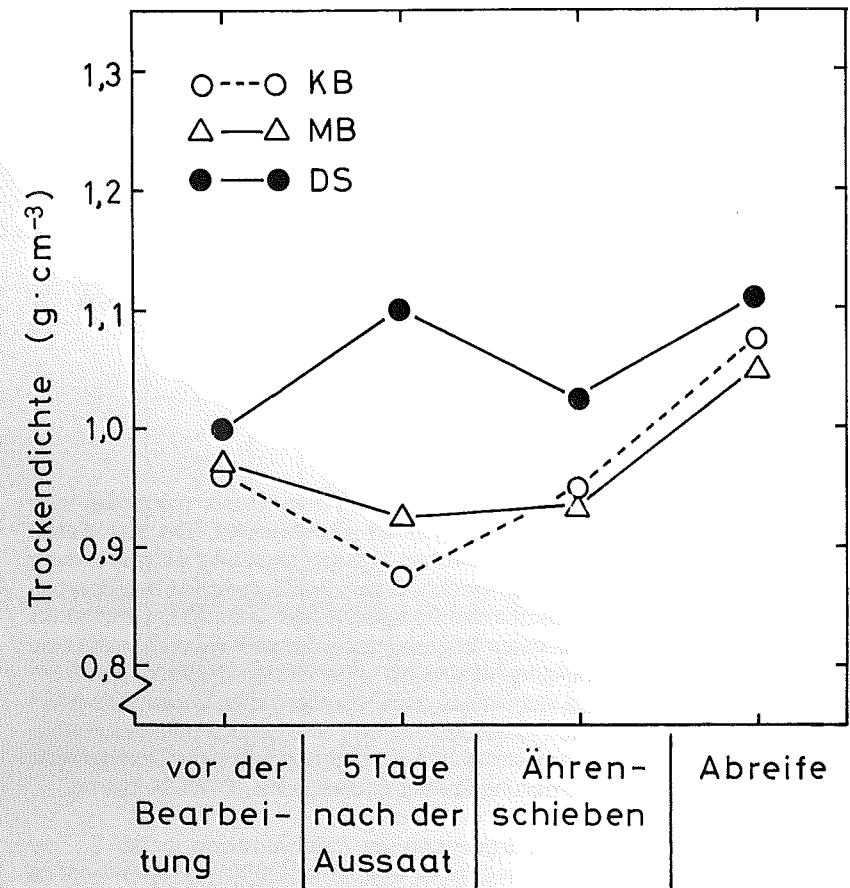


Abb. 5.2: Trockendichte im Oberboden (0–18 cm) während der Vegetationsperiode von Weizen nach drei Bearbeitungsverfahren. (KB = konventionelle Bearbeitung; MB = minimale Bearbeitung; DS = Direktsaat) Oxisol, Londrina. (Sidiras, 1984)

niedrigste unter Direktsaat. Unterschiede sind vor allem durch die Verminderung des Grobporenanteils nach reduzierter Bodenbearbeitung zu erklären. Der Anteil an Mittelporen nahm unter Direktsaat zu, während es keine Unterschiede beim Feinporenanteil gab. Ähnliche Ergebnisse wurden auch für den Alfisol beobachtet. Beide Böden weisen demnach eine ausreichend hohe Porosität auf, so daß selbst unter sehr feuchten Bedingungen nicht mit Luftmangel zu rechnen ist.

Tabelle 5.1 Gesamtporenvolumen und Porenverteilung in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Oxisol, Londrina

| Bearbeitungsverfahren | Gesamtporenvolumen Vol.-% | Grobporen ($>50\mu\text{m}$) Vol.-% | Mittelporen ($50-0,2\mu\text{m}$) Vol.-% | Feinporen ($<0,2\mu\text{m}$) Vol.-% |
|-----------------------|------------------------------|---|--|--|
| <u>3-10 cm</u> | | | | |
| Konv. Bearb. | 68,8 | 32,4 | 15,1 | 21,3 |
| Grubber | 65,9 | 26,7 | 17,7 | 21,5 |
| Direktsaat | 62,8 | 18,1 | 22,8 | 21,9 |
| <u>12-20 cm</u> | | | | |
| Konv. Bearb. | 66,0 | 27,1 | 14,6 | 24,3 |
| Grubber | 62,0 | 19,4 | 17,3 | 25,3 |
| Direktsaat | 60,3 | 17,0 | 16,4 | 26,9 |

(Derpsch et al., 1986)

Wasserhaushalt

Sieben Jahre nach Versuchsbeginn wurde auf dem Oxisol (Londrina) eine umfangreiche Probenahme mit Stechzylindern durchgeführt. Die aus diesen Daten gewonnenen Beziehungen zwischen Wassergehalt und Saugspannung (pF-Kurve) sind in Abb. 5.3 wiedergegeben. Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten wurden vor allem in den Bodenschichten 0 bis 10 cm und 10 bis 20 cm ermittelt, wobei die Direktsaat aufgrund des höheren Feinporenanteils eine deutlich höhere Wasserhaltekapazität aufwies. In der Bodenschicht 20 bis 30 cm lagen dagegen umgekehrte Verhältnisse vor. Der untersuchte Oxisol wies einen für Tonböden typischen hohen Totwasseranteil und eine geringe nutzbare Feldkapazität (nFK) auf. Aus den dargestellten Kurven ergeben sich keine Unterschiede in der nFK, die für alle Bearbeitungsverfahren etwa 8 bis 10 Vol.-% betrug.

Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse der Porenverteilung in Tab. 5.1, die einen höheren Mittelporenanteil und damit eine höhere nFK unter Direktsaat im Oberboden zeigten. Diese Resultate wurden zu einem anderen Zeitpunkt gewonnen, so daß die Diskrepanzen vielleicht durch die unterschiedlichen Entnahmepunkte zu erklären sind.

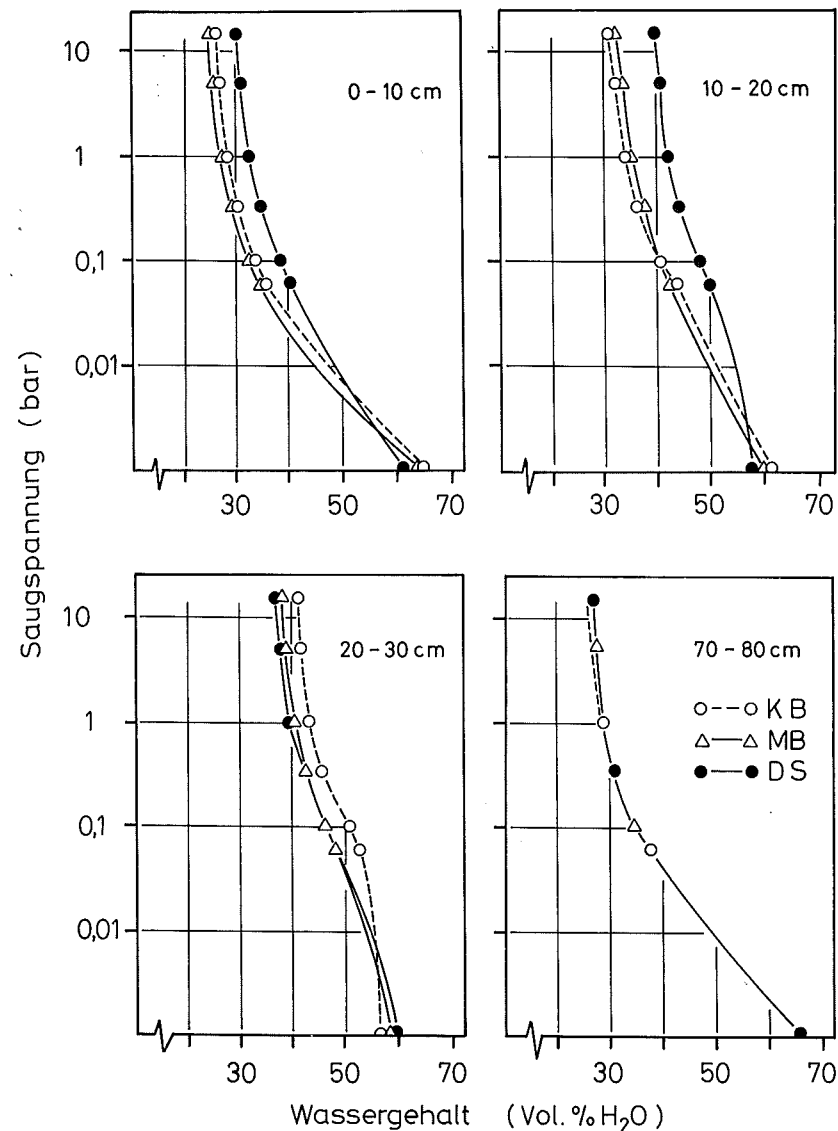


Abb. 5.3: Beziehung zwischen Bodenwassergehalt und Saugspannung verschiedener Bodenschichten, Oxisol, Londrina (KB = konventionelle Bearbeitung; MB = minimale Bearbeitung; DS = Direktsaat) (Roth, 1985)

Untersuchungen zum pflanzenverfügbaren Wasser unter Feldbedingungen wurden am Standort Londrina (Oxisol) im Jahr 1981 durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messungen werden für die Vegetationsperiode von Weizen in Abbildung 5.4 dargestellt. Das pflanzenverfügbare Wasser wird in Prozent der nFK angegeben; 0 % entspricht dem permanenten Welkepunkt und 100 % der Feldkapazität. Dabei betrug die im Feld gemessene FK 31 bis 35 Vol.-% für unverdichtete Horizonte und 39 bis 40 Vol.-% für dichtere Horizonte (Oberboden bei Direktsaat; Pflugsohle bei konventioneller Bearbeitung).

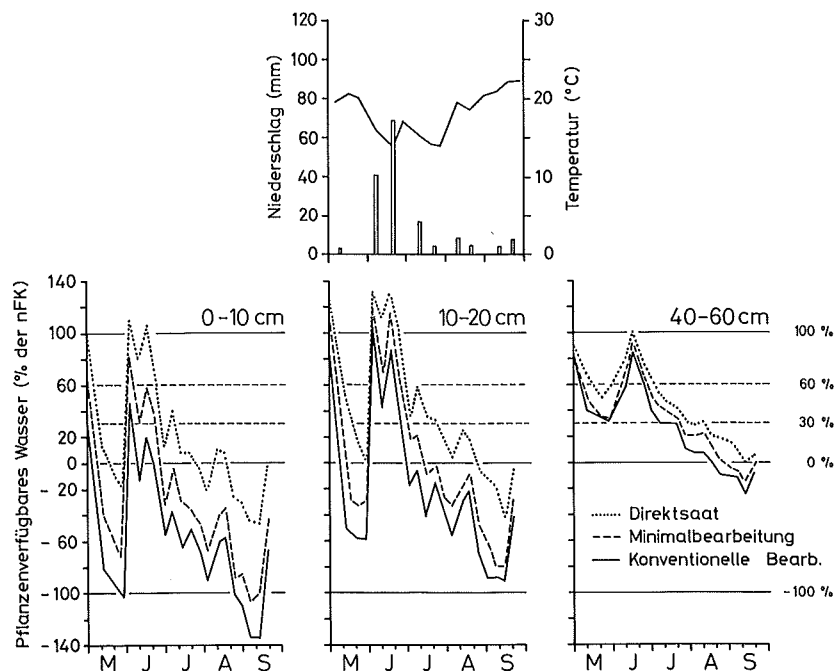


Abb. 5.4: Pflanzenverfügbares Wasser in verschiedenen Bodentiefen während der Vegetationsperiode von Weizen 1981 für drei Bodenbearbeitungsverfahren auf einem Oxisol. (Derpsch et al., 1986)

Im trockenen Winter 1981 war schon nach relativ kurzer Zeit in den Tiefen 0 bis 10 cm und 10 bis 20 cm unter konventioneller Bearbeitung sowie Minimalbearbeitung kein verfügbares Wasser mehr vorhanden, bis auf zwei Niederschlagsereignisse im Juni. Nach Direktsaat, die eine deutlich höhere Wasserverfügbarkeit aufwies, wurde lediglich im September in den Tiefen 0 bis 10 cm und 10 bis 20 cm kein verfügbares Wasser mehr bestimmt. Ebenso konnten am Standort

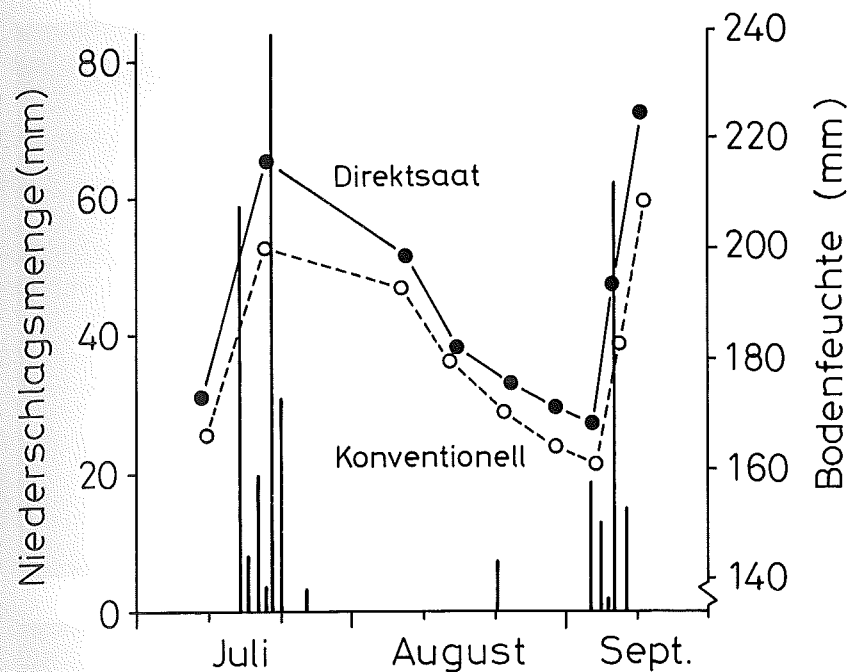


Abb. 5.5: Wassergehalt in der Schicht 30–80 cm unter Direktsaat und konventioneller Bearbeitung sowie Niederschläge während der Vegetationszeit von Weizen 1978, Alfisol. (Kemper und Derpsch, 1981)

Rolândia (Alfisol) durchgeführte Neutronensonden-Messungen in 30 bis 80 cm Bodentiefe eine höhere Wasserverfügbarkeit unter Direktsaat im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung nachweisen (Abb. 5.5).

Eine höhere Wasserverfügbarkeit unter Direktsaat konnte aber auch in der regenreichen Jahreszeit während der Vegetationsperiode von Sojabohnen festgestellt werden (Sidiras et al., 1983). Die höhere Wasserverfügbarkeit muß dabei, wie dies auch schon von Blevins et al. (1971) beschrieben wurde, im wesentlichen auf die Verminderung von Evaporationsverlusten durch den Schutz der Mulchdecke zurückgeführt werden. Wie gezeigt wurde, gibt es zwar eine höhere Wasserretention unter Direktsaat, jedoch nicht unbedingt eine Erhöhung der nFK. Ein weiterer wichtiger Grund ist die höhere Infiltration unter Direktsaat, wodurch insgesamt mehr Wasser in den Boden gelangt und verfügbar wird.

Dies ist für die landwirtschaftliche Praxis von großer Bedeutung, da die höhere Wasserverfügbarkeit nach Direktsaat vor allem in den häufig auftretenden dreibis sechswöchigen Trockenperioden wesentlich zur Ertragssicherung beitragen



Abb. 5.6: Felddaugang von Weizen nach Direktsaat (98%).



Abb. 5.7: Felddaugang von Weizen nach konventioneller Bodenbearbeitung (15%).

Die Aussaat beider Parzellen (Abb. 5.6 und 5.7) erfolgte am 17. 4. 79 in den trockenen Boden. In den folgenden Tagen regnete es 13,4 mm. Bilder am 2. 5. 79, Oxisol, Londrina. (Photos: R. Derpsch)

kann. Die günstigere Wasserversorgung bringt noch weitere praktische Vorteile. So ist die zur Aussaat verfügbare Zeitspanne bei Direktsaat höher. Während bei konventioneller Bearbeitung schon 3 bis 6 Tage nach einem Niederschlag die Austrocknung des Oberbodens keine sichere Aussaat mehr ermöglicht, kann unter Direktsaat je nach Mulchschicht noch 6 bis 12 Tage danach ausgesät werden. Dabei wird das Risiko eines Fehlschlages der Aussaat wegen Wassermangels verringert (Abb. 5.6 und 5.7). Andererseits kann die höhere Wasserverfügbarkeit unter Direktsaat die Abreife verzögern. Schließlich dürfte der ausgeglichener Wasserhaushalt unter Direktsaat zu einer Erhöhung der biologischen Bodenaktivität führen, mit entsprechenden Auswirkungen, vor allem auf die Stickstoffdynamik (siehe Abschnitt 5.2).

Die Werte bei Bearbeitung mit dem Grubber nehmen auch hier eine Zwischenstellung ein.

Hydraulische Leitfähigkeit

Die hydraulische Leitfähigkeit gibt Aufschluß über die Wasserbewegung im Boden. Hohe Leitfähigkeiten beinhalten eine schnelle Wasserbewegung, was z. B. für die Infiltration von Niederschlagswasser oder die Anlieferungsrate von Wasser zu den Pflanzenwurzeln von Bedeutung ist.

Leitfähigkeitsbeziehungen wurden für den Oxisol nach der Methode von Hillel et al. (1972) erstellt. Daraus ergab sich, daß die Leitfähigkeitswerte im gesättigten Boden (K_s = gesättigte Leitfähigkeit) extrem hoch waren ($2,2 \times 10^4$ bis $6,5 \times 10^7$ cm/d). Ein Stau von Infiltrationswasser ist demnach nicht zu erwarten.

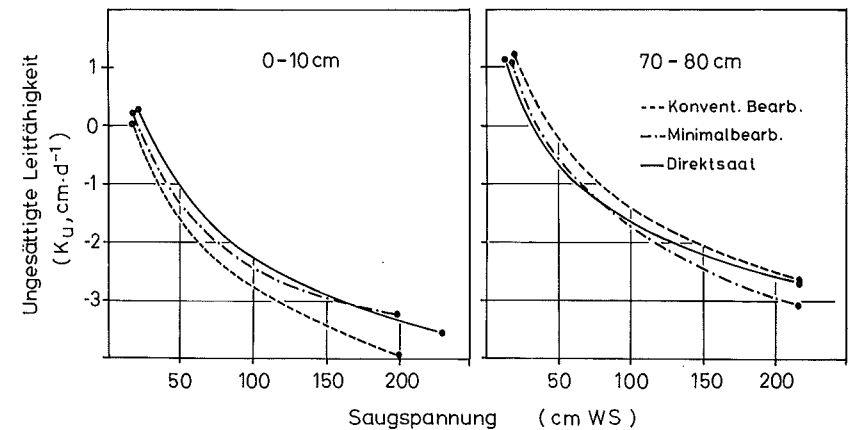


Abb. 5.8: Leitfähigkeit im ungesättigten Feuchtezustand des Oxisols in Londrina (Roth et al., 1987a)

Meist befindet sich der Boden im ungesättigten Zustand, wodurch die Leitfähigkeit stark herabgesetzt wird. Ein Einfluß der Bodenbearbeitung auf die ungesättigte Leitfähigkeit K_u konnte für den untersuchten Saugspannungsbereich (0 bis 250 cm WS) nicht beobachtet werden (Abb. 5.8). Lediglich in dem oberen Horizont scheint die Minimalbodenbearbeitung die Leitfähigkeit vermindert zu haben. Deutlicher dagegen sind die Horizontunterschiede, wobei generell die Bodenbearbeitung unabhängig vom Bearbeitungssystem zu einer Verringerung der Leitfähigkeit geführt hat.

Jedoch deuten die Steigungen der Kurven darauf hin, daß bei höheren Saugspannungen (> 250 cm WS) die Leitfähigkeit unter Direktsaat im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung und zur Bearbeitung mit dem Grubber zunehmend höher wird. Dies bedeutet, daß unter Direktsaat die Wasseranlieferungsrate an die Pflanzenwurzeln höher sein könnte.

Bodentemperatur

Die Bodentemperatur spielt neben dem Wasserhaushalt für das Pflanzenwachstum und für die biologische Bodenaktivität eine wichtige Rolle. Gerade an tropischen Standorten können die optimalen Keimtemperaturen überschritten werden, was nachteilig auf Keimung und Jugendentwicklung der Kulturen wirkt. Untersuchungen haben gezeigt, daß die optimalen Keimtemperaturen von Sojabohnen bei 32° C liegen (Delouche, 1970) und schon bei 40° C kritische Werte erreicht werden.

Im Tagesverlauf wurden aufgrund der Mulchauflage die geringsten Temperaturen und Temperaturschwankungen im Direktsaatsystem gemessen (Abb. 5.9). Aber auch während der gesamten Vegetationsperiode von Sojabohnen lagen die

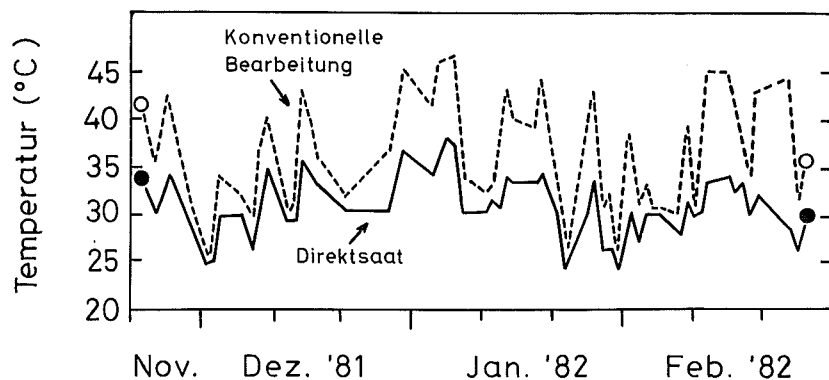


Abb. 5.9: Bodentemperaturen in 3 cm Tiefe, gemessen jeweils um 14.00 Uhr für konventionelle Bearbeitung und Direktsaat während der Vegetationsperiode von Sojabohnen 1981/82. (Sidiras und Pavan, 1986b)

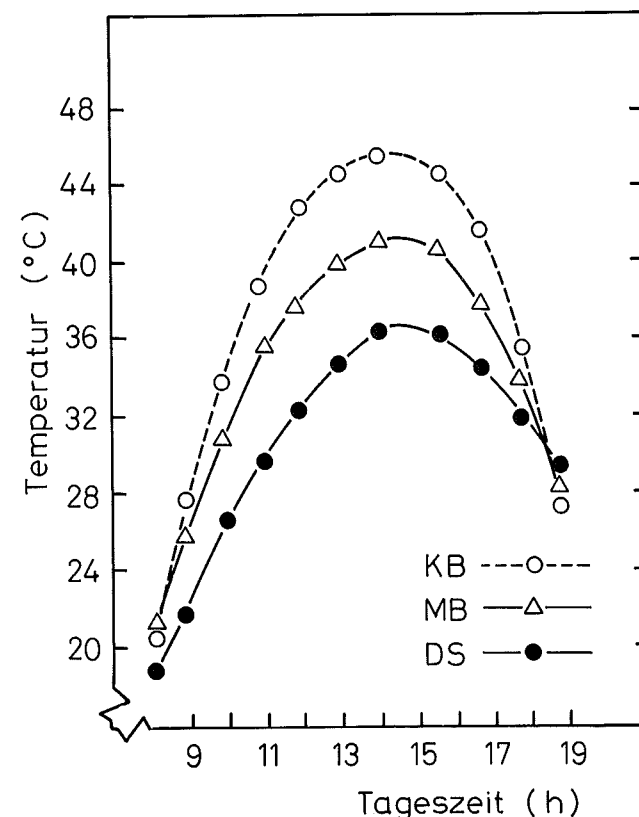


Abb. 5.10: Bodentemperaturen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tageszeit (3 cm Bodentiefe, 30. 12. 1981) (KB = konventionelle Bearbeitung; MB = minimale Bearbeitung; DS = Direktsaat) (Sidiras und Pavan, 1986b)

Bodentemperaturen unter Direktsaat niedriger als unter bearbeitetem Boden und schwankten in der Mittagszeit um den für das Wachstum optimalen Bereich von 32° C. Dagegen stiegen die Temperaturen bei konventioneller Bearbeitung oft über 40° C und erreichten einen Höchstwert von 47° C (Abb. 5.10).

Dies hat nicht nur die schon erwähnten Auswirkungen auf das Wachstum der Keimlinge und Wurzeln, sondern bei zu hohen Temperaturen wird auch die mikrobielle Tätigkeit stark beeinträchtigt. Gleichzeitig verursachen höhere Temperaturen höhere Evaporationsverluste, so daß es unter konventioneller Bearbeitung zur schnelleren Austrocknung des Oberbodens kommen kann, was wiederum zu einer Verminderung des Feldaufganges führen kann.

Die Mulchauflage im Direktsaatsystem führt allerdings zu einer höheren Frostanfälligkeit.

Aggregatstabilität

Der Widerstand von Aggregaten gegen den Aufprall von Regentropfen spielt bei unbedecktem Boden eine entscheidende Rolle bei der Ausbildung von Verschlammungen und Krusten an der Bodenoberfläche. Je höher die Aggregatstabilität ist, desto geringer ist der Oberflächenabfluß als Folge von Verschlammungen (Roth et al., 1986).

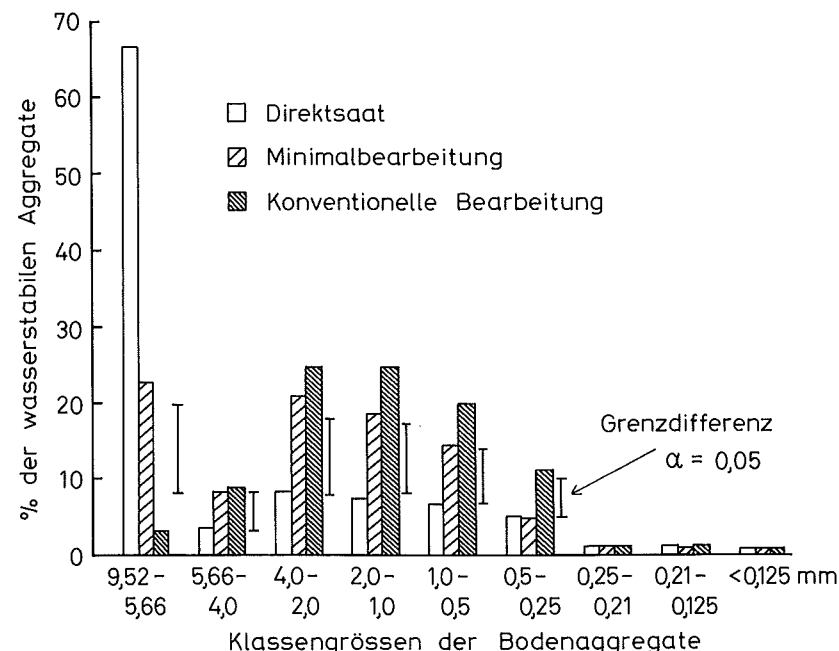


Abb. 5.11: Verteilung der wasserstabilen Aggregate (Einwaage: 100 g Aggregate der Klasse 5,66–9,52 mm) in den Bodentiefen 0 bis 10 cm nach vierjähriger Bodenbearbeitung mit Scheibenpflug, Grubber und Direktsaat, Oxisol (Sidiras et al., 1982)

Die Aggregatstabilität kann also als ein Indikator für die Erosionsanfälligkeit eines Standortes angesehen werden. Die Bodenbearbeitungsverfahren hatten einen markanten Einfluß auf die Aggregatstabilität (Abb. 5.11). In der Bodenschicht 0 bis 10 cm waren nach Direktsaat noch 67 % der ursprünglich eingewogenen Aggregate der Klasse 9,52 bis 5,66 mm wasserstabil geblieben, während unter der Minimalbearbeitung und der konventionellen Bearbeitung nur noch 23 % bzw. 3 % der Aggregate in dieser Klasse wiedergefunden wurden. Die Aggregate

waren zerfallen und damit hauptsächlich in den Klassen 4,0 bis 2,0; 2,0 bis 1,0 sowie 1,0 bis 0,5 mm verteilt. In der Bodenschicht 11 bis 20 cm lag für konventionelle Bearbeitung und Minimalbearbeitung eine ähnliche Verteilung vor, jedoch waren die Unterschiede im Vergleich zur Direktsaat niedriger, die in der Klasse 9,5 bis 5,66 mm nur noch 20 % Aggregate aufwies. Diese Abnahme der Aggregatstabilität kann auf eine entsprechende Abnahme des Humusgehalts sowie der biologischen Aktivität zurückgeführt werden.

Aufgrund der höheren Aggregatstabilität ist die Gefahr der Verschlammung unter Direktsaat vergleichsweise gering. Auch bedingt eine höhere Aggregatstabilität, daß dem Bodenabtrag größerer Widerstand geleistet wird.

Beschaffenheit der Bodenoberfläche

Neben der Aggregatstabilität ist für die Verschlammung und Bildung von Oberflächenabfluß auch die Beschaffenheit der Bodenoberfläche von großer Bedeutung. Dabei wird zwischen der Oberflächenrauigkeit und der Bedeckung mit Pflanzenresten unterschieden. Der erste Faktor ist vor allem für die Bremsung des Oberflächenabflusses von Bedeutung, wogegen der Bodenbedeckungsgrad Verschlammung und Krustenbildung beeinflusst. Beide Faktoren sollten möglichst hoch sein.

Reliefmessungen an der Bodenoberfläche nach Bearbeitung mit der schweren Scheibenegge, dem Scheibenpflug und dem Grubber ergaben die höchste Oberflächenrauigkeit nach der Grubberbearbeitung (Abb. 5.12). Gleichzeitig wurde beobachtet, daß der Grubber bis zu 80 % der Pflanzenreste an der Bodenoberfläche hinterließ, während nach der schweren Scheibenegge und dem Scheibenpflug 31 % bzw. 37 % der Pflanzenreste gemessen wurden. Allerdings werden sowohl die Oberflächenrauigkeit als auch der Bodenbedeckungsgrad durch die nachfolgende Sekundärbearbeitung mit leichten Scheibeneggen vermindert.

Während zwei Vegetationsperioden von Sojabohnen wurde der Bodenbedeckungsgrad zu sechs verschiedenen Stadien geschätzt. Zu allen Zeitpunkten wurden die höchsten Bedeckungsgrade unter Direktsaat festgestellt. Dies war bedingt durch den hohen Anteil an Pflanzenresten auf der Bodenoberfläche und durch die größere Wüchsigkeit der Sojabohnen (Tab. 5.2). Die geringsten Bedeckungsgrade wurden nach der Aussaat gemessen, das heißt zur Zeit der höchsten Niederschlagsintensitäten im Oktober und November, wenn die größte Erosionsgefährdung besteht.

Infiltration

Für den Erosionsprozeß ist entscheidend, wieviel Niederschlagswasser in den Boden einsickert. Je höher die Infiltrabilität des Bodens ist, umso niedriger ist die Bildung von Oberflächenabfluß, der meistens die Ursache für das Auftreten von Erosion ist. Somit bietet sich die Messung der Infiltrabilität als eine schnelle und

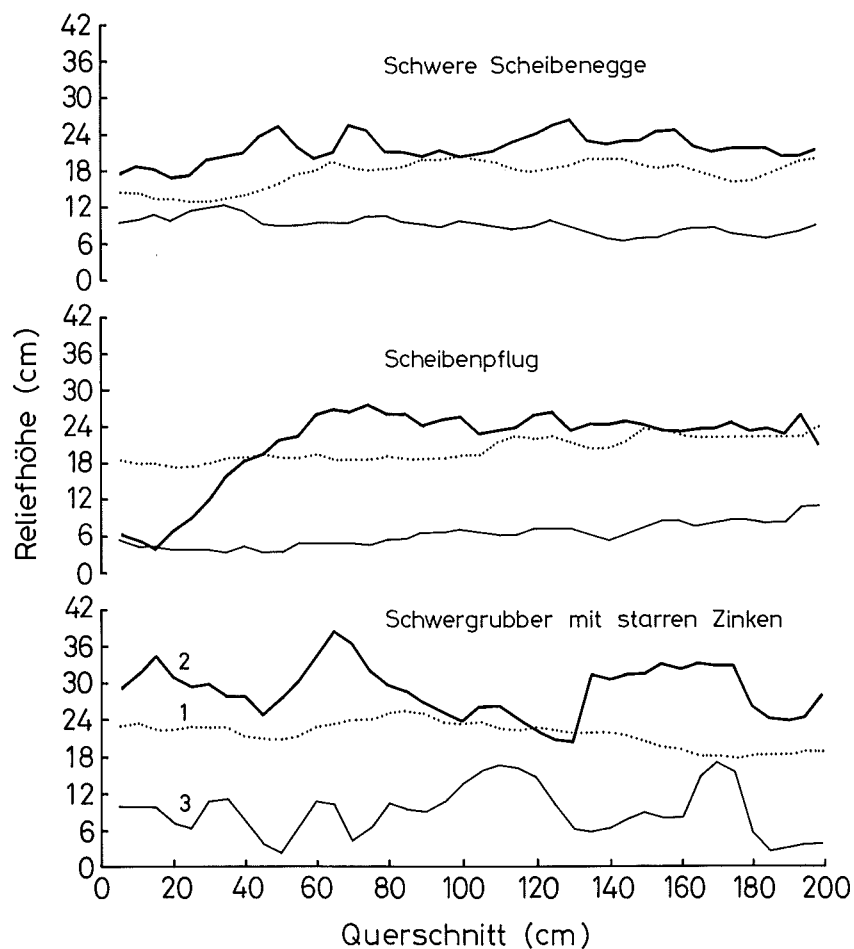


Abb. 5.12: Relief des Bodens nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Oxisol, Londrina).
 1 = ursprüngliche Bodenoberfläche
 2 = erhöhte Bodenoberfläche nach Bodenbearbeitung
 3 = Relief unterhalb der gelockerten Bodenschicht
 (Hoogmoed und Derpsch, 1985)

brauchbare Methode an, spezifische Aussagen über die Erosionsanfälligkeit einzelner Bodentypen und Bodenbearbeitungsverfahren treffen zu können.

Ziel war es, die Infiltration unter möglichst natürlichen Bedingungen zu bestimmen. Dafür kam die Messung unter simuliertem Niederschlag in Frage, weil hier-

Tabelle 5.2 Bodenbedeckung durch Pflanzenreste und wachsende Sojabohnen in drei Bearbeitungsverfahren. Mittelwerte 1982/83 und 1983/84.

| Wachstumsstadien der Sojabohne | Konventionelle Bearbeitung % | Grubberbearbeitung % | Direktsaat % |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------|--------------|
| 1. Brache vor Bearbeitung | 59 | 78 | 89 |
| 2. Aufgang | 7 | 9 | 57 |
| 3. Blüte | 78 | 89 | 96 |
| 4. Kornfüllung | 67 | 83 | 97 |
| 5. Abreife | 59 | 70 | 89 |
| 6. Brache nach Ernte | 84 | 92 | 97 |
| Mittelwerte | 59 | 70 | 88 |

(Roth et al., 1986)

bei der für die Infiltration entscheidende Vorgang des Aufpralls von Regentropfen und die dadurch bedingte Oberflächenverschlämzung bei gleichzeitig konstant gehaltenen Niederschlagsverhältnissen möglich wird. Herkömmliche Ringinfiltrometer werden dieser Forderung nicht gerecht und wurden nur zur Charakterisierung des Einflusses der Profileigenschaften auf die Versickerung verwendet.

Bei der Regensimulator-Methode wird die Infiltration als Differenz zwischen der mit dem Regensimulator applizierten Niederschlagsmenge und des an Miniparzellen gemessenen Oberflächenabflusses berechnet. Zur Simulation der Niederschläge wurde am Institut für Bodenwissenschaften der Universität Göttingen ein geeigneter Regensimulator entwickelt, der in Anhang B näher beschrieben wird.

Um den Einfluß der drei untersuchten Bearbeitungsverfahren auf die Infiltrabilität und somit auf die Erosionsanfälligkeit beurteilen zu können, wurden zahlreiche Messungen unter natürlichen Bedingungen während der Vegetationsperiode der Sojabohnen in einem regenreichen Jahr (1982/83, 1140 mm) und in einem Trockenjahr (1983/84, 779 mm) durchgeführt. Im regenreichen Jahr wurde zu allen Zeitpunkten die niedrigste Infiltrationsrate unter konventioneller Bearbeitung beobachtet, während die Direktsaat immer die höchsten Raten aufwies (Abb. 5.13).

Die Minimalbearbeitung lag stets zwischen konventioneller Bearbeitung und Direktsaat. Besonders erosionsanfällig war der Standort während des Aufgangs der Sojabohne (1982/83), wo für alle Bearbeitungsverfahren die niedrigsten Infiltrationsraten gemessen wurden. Dagegen wiesen die beiden Brachen die höch-

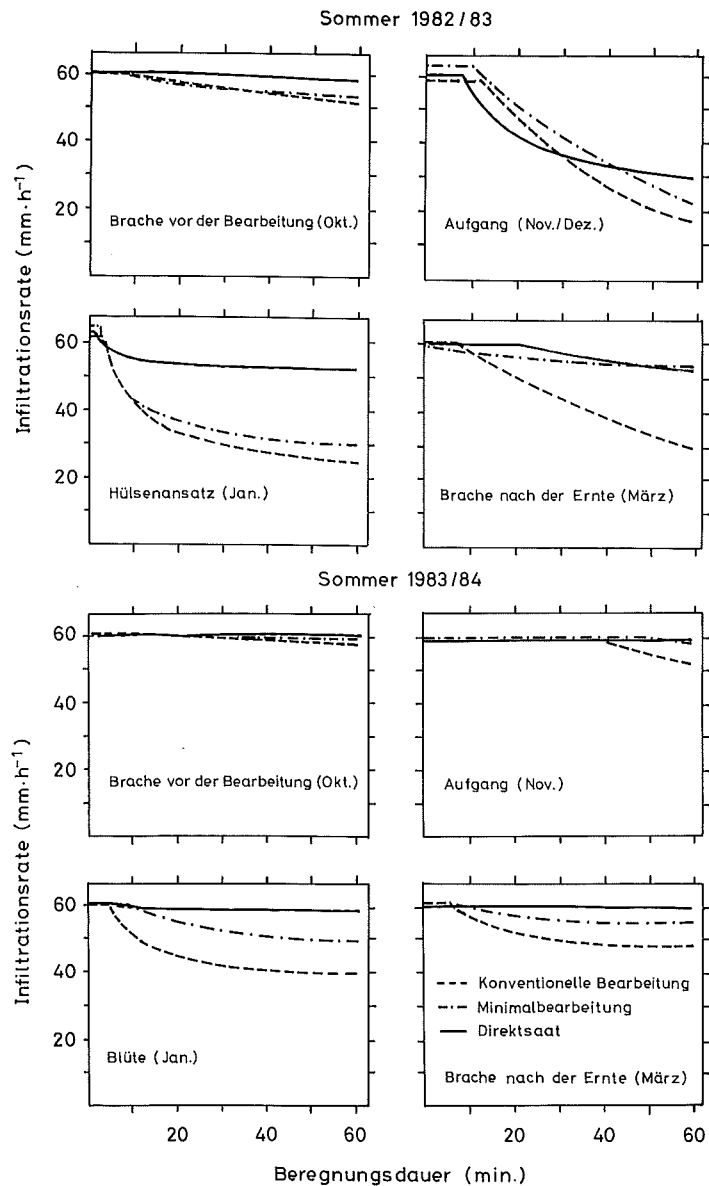


Abb. 5.13: Infiltrationsraten des Oxisols in Abhängigkeit von der Beregnungsdauer bei verschiedenen Wachstumsstadien der Sojabohnen im Sommer 1982/83 (feucht) und 1983/84 (trocken). (Roth et al., 1986)

sten Infiltrationsraten auf. Im Trockenjahr konnten die Unterschiede zwischen den einzelnen Bearbeitungsvarianten bestätigt werden, jedoch lagen die Infiltrationsraten insgesamt höher.

Die Ergebnisse der Infiltrationsmessungen stimmten jedoch nur zum Teil mit den gemessenen Bodenbedeckungsgraden überein (Tab. 5.2). Um den Grad der Verschlämmung besser zu kennzeichnen, wurde deshalb ein Index errechnet. Dieser setzt sich zusammen aus der Summe der einen Monat vor den jeweiligen Messungen aufgetretenen Erosivität (EI_{30} -Index, nach Wischmeier und Smith, 1958), korrigiert um den tatsächlichen Bodenbedeckungsgrad während des betrachteten Monats. Zwischen diesem Index und der Gesamtinfiltration wurden hochsignifikante Korrelationen gefunden (Abb. 5.14). Die Unterschiede der Trockendichten (Abb. 5.1) und der Grobporenanteile (Tab. 5.1) haben dagegen die Infiltration kaum beeinflusst.

Offensichtlich wird also die Infiltrabilität und damit die Erosionsanfälligkeit primär von den Verhältnissen an der Bodenoberfläche bestimmt, nämlich von der Bildung einer mehr oder weniger ausgeprägten Oberflächenverschlämmung als

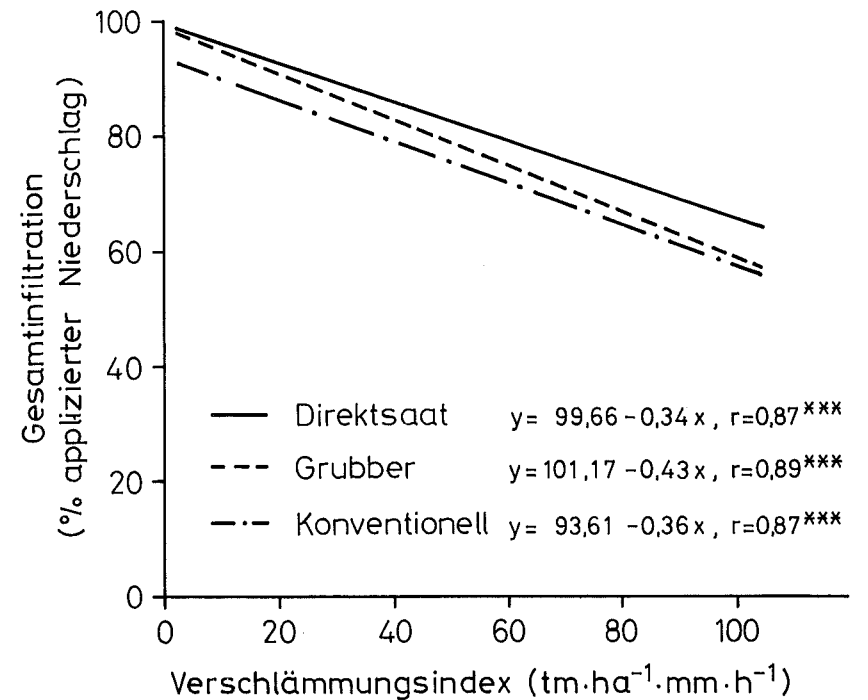


Abb. 5.14: Beziehungen zwischen einem Verschlämmungsindex und der Gesamtinfiltration in drei Bodenbearbeitungssystemen. Oxisol, Londrina. (Roth et al., 1986)

Folge der Erosivität der Niederschläge und der Bodenbedeckung. Damit wird die von anderen beschriebene Bedeutung der Bodenbedeckung für den Erosionsprozeß (zum Beispiel Mannering und Meyer, 1963; Lal, 1976) für den Standort Londrina bestätigt.

Da Ringinfiltrationsmessungen noch verbreitet herangezogen werden, um Aussagen über die Erosionsanfälligkeit eines Standortes zu machen, wurden mit diesen in Londrina vergleichende Untersuchungen zu dem Regensimulator durchgeführt. Die Ringinfiltrationsmessungen lieferten genau umgekehrte Ergebnisse. So ist, im Gegensatz zu den Regensimulatorbestimmungen, die höchste Infiltrationsrate unter konventioneller Bearbeitung beobachtet worden, die niedrigste unter Direktsaat. Insgesamt liegen die Infiltrationsraten um ein Vielfaches über den Raten, die mit dem Simulator gemessen wurden. Offensichtlich ist also der für den Erosionsprozeß entscheidende Vorgang der Verschlämmung in den Ringen nicht erfolgt. Deshalb können Ergebnisse von Ringinfiltrationsmessungen nur mit großer Vorsicht zur Beurteilung der Erosionsanfälligkeit herangezogen werden (Sidiras und Roth, 1987).

Dagegen spiegeln die Ringinfiltrationsmessungen die Porenverhältnisse im Boden wieder und es wurden signifikante Korrelationen zwischen dem Grobporenanteil und der Infiltration gefunden. Strukturveränderungen, wie sie von der Traktorspur während der Aussaat (= Verdichtungen) verursacht werden, wirken sich deutlich auf das Infiltrationsverhalten aus (Abb. 5.15). Dabei war dies für das

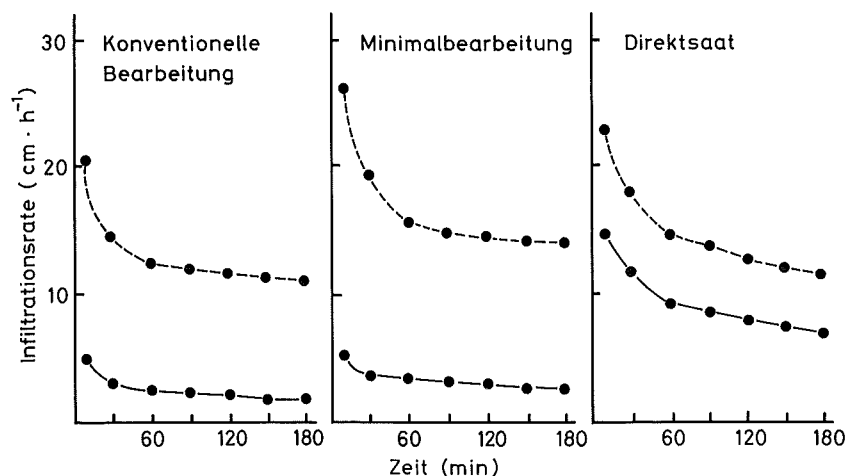


Abb. 5.15: Infiltrationsraten (Ringinfiltrationsmeter) eines Oxisols nach verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren. Messungen nach der Sojaernte, neben und während der Aussaat verursachten Traktorspuren, unverdichtet, - - - - -, verdichtet, ———. (Sidiras und Vieira, 1984)

Pflanzenwachstum eher von Vorteil, weil aufgrund der Veränderung der Porenverteilung der Anteil pflanzenverfügbaren Wassers unter der Traktorspur vor allem unter konventioneller Bearbeitung erhöht wurde (Sidiras und Vieira, 1984).

5.2 Chemische Bodeneigenschaften

Unterschiedliche Bearbeitungsverfahren können bodenchemische Eigenschaften auf verschiedene Weise beeinflussen. So kann z. B. der Gehalt an Nährstoffen im Oberboden durch die mischende und einarbeitende Wirkung des Pfluges und bedingt auch des Grubbers direkt beeinflusst werden, so daß es zu unterschiedlichen Konzentrationsgradienten kommen kann. Andererseits können Maßnahmen der Bodenbearbeitung indirekt über die daraus resultierenden Veränderungen der Bodenstruktur auf die chemischen Bodeneigenschaften einwirken.

Außerdem bewirken Veränderungen in der Bodenstruktur und im Wasserhaushalt eine unterschiedliche biologische Bodenaktivität, die sich ihrerseits stark auf die Nährstoffdynamik, insbesondere N und P, auswirkt. Deshalb wurden nach vier Jahren unterschiedlicher Bearbeitung bodenchemische Analysen von Proben aus den Bearbeitungsversuchen in Londrina und Rolândia durchgeführt. Da die Minimalbearbeitung immer eine intermediäre Stellung einnahm, werden zur Vereinfachung nur die Ergebnisse der Varianten mit konventioneller Bearbeitung und Direktsaat gegenübergestellt.

Organische Substanz

In Abb. 5.16 sind die C-Gehalte in den verschiedenen Bodenschichten für den Oxisol und den Alfisol wiedergegeben. In beiden Fällen ist unter Direktsaat nach nur vier Jahren unterschiedlicher Bearbeitung ein deutlich höherer Gehalt an organischer Substanz festzustellen. Dies ist vor allem auf die fehlende Vermischung bei gleichzeitig geringerer Belüftung infolge der Bodenruhe unter Direktsaat zurückzuführen. Da die Pflanzenreste an der Bodenoberfläche bleiben, ist der Kontakt zum Boden und damit der mikrobielle Abbau stark herabgesetzt. Die Zunahme an organischer Substanz unter der Bodenoberfläche ist dagegen vermutlich auf Wurzelreste zurückzuführen, die unter Direktsaat wegen der geringeren Luftführung langsamer abgebaut werden.

Die Erhöhung des Gehaltes an organischer Substanz hat mehrere positive Effekte. Die Wasserretention wird verbessert, die Aggregatstabilität erhöht und vor allem nimmt die Austauschkapazität des Bodens zu, was für die sorptionschwachen Oxisole von großer praktischer Bedeutung ist und eine nicht unerhebliche Zunahme der Bodenfruchtbarkeit darstellt.

Eine starke Abnahme des Humusgehaltes unter konventioneller Bearbeitung im Vergleich zur Direktsaat hat auch Lal (1985) für Nigeria beschrieben.

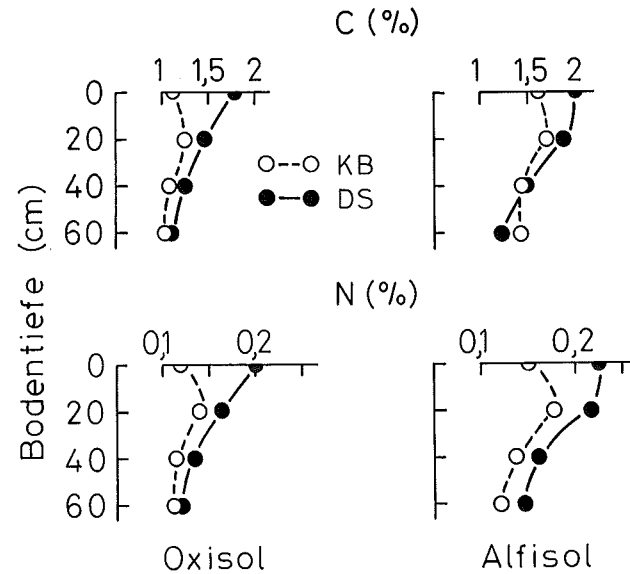


Abb. 5.16: Gehalte an organischer Substanz (C%) und an Gesamtstickstoff (N%) nach 4 Jahren unterschiedlicher Bodenbearbeitung. (KB = konventionelle Bearbeitung; DS = Direktsaat) (Sidiras und Pavan, 1986a)

Stickstoff

Analog zu den C-Gehalten lagen auch die N-Gehalte unter Direktsaat deutlich höher (Abb. 5.16). Gleichzeitig kam es zu einer geringfügigen Verengung des C/N-Verhältnisses unter Direktsaat. Höhere N-Gehalte sagen noch nichts über die Verfügbarkeit von Stickstoff in der Form von Nitrat oder Ammonium aus. Während des Sojawachstums wurden deshalb Messungen des Nitratgehaltes in drei Bodentiefen für den Standort Londrina durchgeführt. Der Nitratgehalt lag zum ersten Termin kurz nach der Weizenernte unter konventioneller Bearbeitung am höchsten, unter Direktsaat, bedingt durch höhere N-Entzüge bei der Ernte am niedrigsten (Abb. 5.17). Danach stiegen die Nitratgehalte unter Minimalbodenbearbeitung bis zum 2. und bei Direktsaat bis zum 3. Termin deutlich an, um dann auf etwa 30 kg Nitrat /ha am 4. Termin abzufallen. Unter konventioneller Bearbeitung begann diese Abnahme schon nach dem 1. Termin und setzte sich bis zum 5. Termin fort. Die starke Abnahme der Nitratwerte, vor allem zwischen den 2. und 4. Terminen, geht mit dem Hauptwachstum der Sojabohnen einher und spiegelt die Auswirkung von unterschiedlicher N-Nachlieferung aus dem Boden und unterschiedlicher N-Entzüge durch die Sojabohnen wieder. Während der Abreife, vor allem aber nach der Ernte und der Bodenbearbeitung für den Weizen, also vom 4. bis zum 6. Termin, stieg der Nitratgehalt um das Vierfache, wobei hier die

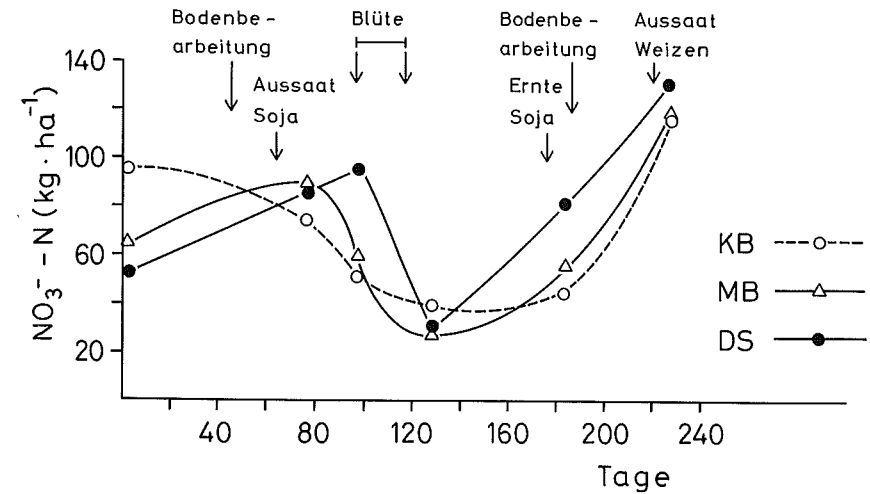


Abb. 5.17: Nitrat-Stickstoffgehalte ($\text{NO}_3\text{-N}$) in 0-90 cm Tiefe während der Vegetationszeit von Sojabohnen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Oxisol. (Heinzmann, 1984)

Gehalte trotz der gesteigerten Mineralisation unter konventioneller Bearbeitung immer am niedrigsten lagen. Insgesamt waren demnach die Nitratgehalte während des Sojawachstums bei Direktsaat am höchsten. Vermutlich trugen hier günstigere Feuchte- und Temperaturverhältnisse sowie der höhere Gehalt an organischer Substanz stärker als die durch Bodenbearbeitung bedingte Belüftung und Vermischung zur N-Mineralisation bei. Eine Betrachtung der Tiefenverteilung des Nitrates (Abb. 5.18) zeigt, daß es vor allem unter konventioneller Bearbeitung während der ersten drei Termine zu erheblichen Verlagerungen in die Bodenschicht 60 bis 90 cm kam.

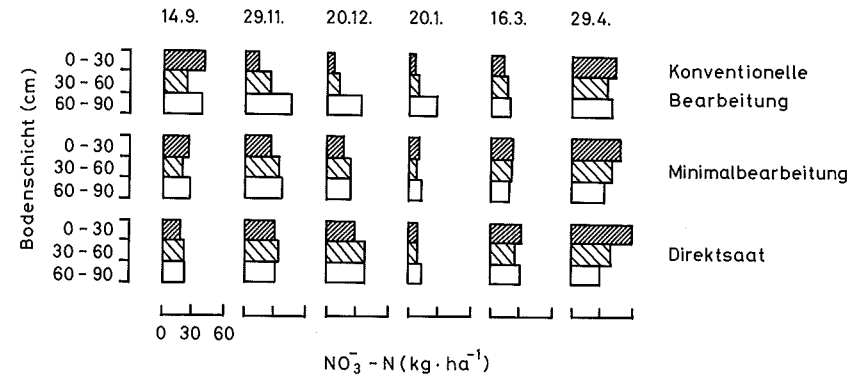


Abb. 5.18: Verteilung des Nitrat-Stickstoffes ($\text{NO}_3\text{-N}$) in drei Bodenschichten während der Vegetationszeit von Sojabohnen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Oxisol, Londrina (Heinzmann, 1984)

Anders dagegen scheinen die Verhältnisse beim Mais zu sein. Muzilli et al. (1983) wiesen nach, daß Mais nach Direktsaat in einer Mais/Weizen-Folge N-Mangel in den Blättern aufwies. Der N-Gehalt in den Blättern betrug im Mittel 2,95 % nach Direktsaat, dagegen 3,32 % nach konventioneller Bearbeitung. In einer Soja/Weizen/Mais-Fruchtfolge konnten keine Unterschiede festgestellt werden.

Für die landwirtschaftliche Praxis bedeutet dies, daß zu Mais unter Direktsaat entweder eine höhere Stickstoffdüngung gegeben werden muß oder Leguminosen in die Fruchtfolge hereingenommen werden müssen. Zur Sojabohne dagegen erscheint eine Startgabe nicht notwendig, auch sollten unter Direktsaat vor Sojabohnen keine Leguminosen als Winterfrüchte angebaut werden.

Phosphor

Im Oxisol waren die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphat unter Direktsaat doppelt so hoch wie unter konventioneller Bearbeitung, beim Alfisol in der Schicht 0 bis 20 cm sogar viermal höher (Abb. 5.19).

Neben der Bedeutung als Nährstoff spielt eine gute P-Versorgung eine große Rolle bei der Knöllchenbildung und -aktivität der Leguminosen, wodurch die N_2 -Fixierung verbessert und die Ertragsfähigkeit gesteigert wird. Dementspre-

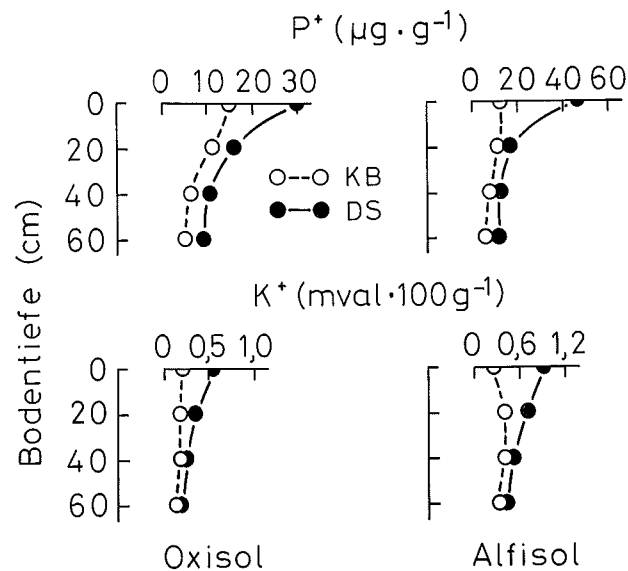


Abb. 5.19: Gehalt des Bodens an pflanzenverfügbarem Phosphor (Bestimmung nach Mehlich) und Kalium nach 4 Jahren unterschiedlicher Bodenbearbeitung (KB = konventionelle Bearbeitung; DS = Direktsaat) (Sidiras und Pavan, 1986a)

chend wurden bei Sojabohnen höhere Phosphatgehalte nach Direktsaat (0,76 % P) im Vergleich zu Minimalbodenbearbeitung (0,72 % P) und konventioneller Bearbeitung (0,70 % P) gefunden (Heinzmann, 1984). Muzilli (1983) machte ähnliche Beobachtungen bei Mais, der nach Direktsaat höhere P-Gehalte in den Blättern aufwies.

Hierzu gibt es mehrere Erklärungsmöglichkeiten. Zunächst wird unter Direktsaat weniger Phosphat vom Boden in Form unlöslicher Fe- und Al-Phosphate fixiert, weil der Phosphatdünger nicht mit dem Boden vermischt wird und damit in geringerem Kontakt zum Boden steht. Aufgrund der geringen Mobilität des Phosphats ist auch keine Verlagerung in tiefere Bodenschichten zu erwarten. Weiterhin bewirken die günstigeren Temperatur- und Feuchteverhältnisse unter Direktsaat eine höhere biologische Bodenaktivität, die ihrerseits eine höhere Phosphatverfügbarkeit mit sich bringt. Die höhere Phosphatverfügbarkeit deutet darauf hin, daß im Direktsaatsystem Phosphatdünger eingespart werden könnte. Allerdings muß gewährleistet sein, daß vor Beginn der Umstellung auf Direktsaat der Boden ausreichend mit Phosphat versorgt ist. Andernfalls empfiehlt es sich, vorher eine meliorative P-Düngung mit Einarbeitung durchzuführen (120 bis 240 kg P_{205}/ha), da später das wenig mobile Phosphat nur noch an der Oberfläche ausgebracht werden und damit schwer in tiefere Bodenschichten gelangen kann.

Basenhaushalt und pH-Wert

Eine Betrachtung der Ca- und Mg-Gehalte im Boden zeigt, daß auch hier wieder unter Direktsaat die höheren Gehalte bei beiden Bodentypen gefunden wurden (Abb. 5.20). Signifikante Unterschiede waren dabei in erster Linie in der Schicht 0 bis 20 cm zu beobachten. Das gleiche gilt auch für die K-Gehalte, die unter Direktsaat in dieser Schicht deutlich höher lagen als unter konventioneller Bearbeitung (Abb. 5.19).

Analog zu den höheren Gehalten an Basen wurde auch ein höherer pH-Wert festgestellt (Abb. 5.20). Ein Unterschied ist beim Oxisol nur in der Krume zu verzeichnen, in Übereinstimmung mit den Gehalten an Basen, während beim Alfisol die Unterschiede bis zu 60 cm Bodentiefe festgestellt werden konnten.

Aufgrund der pH-variablen Austauscher bewirkte der höhere pH-Wert höhere Kationenaustauschkapazitäten unter Direktsaat. Auch die höheren Gehalte an organischer Substanz unter Direktsaat (Abb. 5.16) dürften hierzu positiv beigetragen haben. Gleichzeitig nahm die Basensättigung um etwa 10 % im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung zu. Umgekehrt nahm die Al-Sättigung unter Direktsaat um ein Vielfaches ab, so daß für die untersuchten Böden keine Al-Toxizität zu befürchten ist.

Die Bodenfruchtbarkeit, also das Zusammenspiel aller Nährstoffe, wird demnach unter Direktsaat im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung und zur Minimalbearbeitung erhöht. Nicht nur wird die Erosion unterbunden, sondern es wird ein

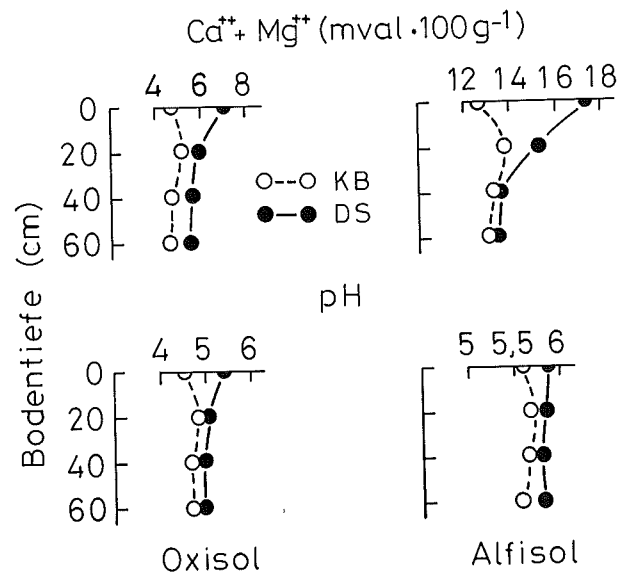


Abb. 5.20: Ca- und Mg-Gehalte des Bodens sowie pH-Werte (H₂O) nach 4 Jahren unterschiedlicher Bodenbearbeitung (KB = konventionelle Bearbeitung; DS = Direktsaat) (Sidiras und Pavan, 1986a)

Boden „gebaut“, der von seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften her betrachtet einen günstiger zu beurteilenden Standort darstellt. Dabei sind letzten Endes nicht die verfügbaren Gehalte an Nährstoffen im Boden entscheidend, sondern was tatsächlich von der Pflanze an Nährstoffen aufgenommen wird. Wie aus Tab. 5.3 entnommen werden kann, waren die Sojabohnen unter Direktsaat fast durchweg besser mit Nährstoffen versorgt als bei konventioneller Bearbeitung. Die Minimalbearbeitung nahm meist eine Zwischenstellung ein.

Tabelle 5.3 Nährstoffgehalte im Korn von Soja in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung (Oxisol, Londrina).

| | Ca % | Mg % | K % | Cu ppm | Fe ppm | Mn ppm | Zn ppm |
|----------------------------|---------|---------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Direktsaat | 0,370 | 0,290 | 2,03 | 19,2 | 134 | 56,9 | 63,6 |
| Minimalbearbeitung | 0,321 | 0,300 | 2,09 | 15,3 | 111 | 42,2 | 51,0 |
| Konventionelle Bearbeitung | 0,319 | 0,300 | 2,00 | 14,0 | 127 | 43,4 | 47,1 |
| GD: 5% | 0,010 | 0,004 | 0,02 | 0,33 | 7,1 | 1,6 | 1,4 |

(Heinzmann, 1984)

Hinsichtlich der Düngung gibt es den Ergebnissen zufolge keine Probleme bei der Umstellung auf Direktsaat. Die lange als problematisch betrachtete Frage der Kalkung kann auch als gelöst angesehen werden, da es nicht, wie befürchtet, zur Versauerung unter Direktsaat kommt. Voraussetzung hierzu ist allerdings, daß wie im Fall der P-Versorgung vor Beginn der Umstellung der Boden genügend aufgekalkt wurde. Ziel der Kalkung an diesem Standort ist es, freies Al aus dem Wurzelbereich zu eliminieren. Sollten nach Einsatz der Bewirtschaftung mit Direktsaat dennoch Al-Toxizitäten auftreten, bietet sich als Lösung die Ausbringung von Gips an. Aufgrund seiner hohen Löslichkeit ermöglicht die Tiefenverlagerung des Calciums eine Verdrängung des freien Al (Pavan, 1985). Ansonsten ist die oberflächliche Ausbringung in mehrjährigen Abständen ausreichend, um insbesondere in Maisfruchtfolgen die durch Ammoniumsulfat bedingte pH-Absenkung zu neutralisieren.

5.3 Biologische Bodenaktivität

Die Tätigkeit von Bodenlebewesen wie Arthropoden, Regenwürmern und Mikroorganismen ist für die Mineralisierung der in der organischen Substanz enthaltenen Nährstoffe unerlässlich. Auch die Verbesserung der Bodenstruktur kann durch die Bodenfauna bewirkt werden, etwa die Schaffung von Grobporen (Regenwürmer, Ameisen) oder die Stabilisierung von Aggregaten durch Ausscheidungen verschiedener Mikroorganismen.

Ausgeglichene Feuchte- und Temperaturverhältnisse sind Voraussetzungen für die mikrobielle Tätigkeit, ebenso wie eine ausreichende Durchlüftung des Bodens. Gleichzeitig muß abbaubare organische Substanz vorhanden sein, wobei deren C/N-Verhältnis sowie der pH-Wert im Boden die Zersetzbarkeit mit beeinflussen. Diese Faktoren sind, wie bereits dargestellt wurde, abhängig von den Bearbeitungsverfahren. Deshalb wurde die biologische Bodenaktivität anhand einiger durch die Bodenbearbeitungsverfahren veränderter Parameter untersucht.

Regenwürmer und Arthropoden

Bodenruhe unter Direktsaat bewirkt schon nach relativ kurzer Versuchsdauer, wie im Fall des Alfisols, eine deutliche Zunahme an Regenwürmern (Tab. 5.4). Auch durch die Bearbeitung mit dem Grubber nahm die Zahl der Regenwürmer geringfügig zu. Ebenfalls wurde bei der Zahl der Arthropoden im Boden ein deutlicher Unterschied zwischen den Bearbeitungsvarianten sichtbar (Tab. 5.5). In der Fruchtfolge Weizen/Sojabohnen konnte nach Direktsaat eine etwa fünffach und in der Fruchtfolge Gründüngung/Sojabohnen achtfach höhere Anzahl beobachtet werden. Ursache hierfür dürfte vor allem die Bodenruhe, verbunden mit ausgeglicheneren Temperatur- und Feuchteverhältnissen, gewesen sein. Die höhere Regenwurmtätigkeit unter Direktsaat ist von großer Bedeutung für die bessere

Tabelle 5.4 Einfluß unterschiedlicher Bearbeitungsverfahren auf die Zahl der Regenwürmer

| | Anzahl Regenwürmer | |
|----------------------------|---|---|
| | Oxisol* je m ² in 0–30 cm | Alfisol** je m ² in 0–10 cm |
| Direktsaat | 27,6 | 13,0 |
| Minimalbearbeitung | 5,2 | 7,5 |
| Konventionelle Bearbeitung | 3,2 | 5,8 |

* nach 4 Jahren; Voss, 1981; pers. Mitteilung
** nach 1 ½ Jahren; Kemper und Derpsch, 1981

Tabelle 5.5 Zahl der Arthropoden nach eineinhalb Jahren unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Bodenschicht 0–15 cm). Oxisol, Londrina

| | Anzahl Arthropoden/300 cm ³ Boden | | | |
|----------------------------|--|-------------|----------|--------|
| | Acarina | Collembolen | Insekten | Gesamt |
| | <u>Fruchtfolge Weizen/Sojabohnen</u> | | | |
| Direktsaat | 31 | 0 | 2 | 33 |
| Konventionelle Bearbeitung | 6 | 0 | 1 | 7 |
| | <u>Fruchtfolge Gründüngung/Sojabohnen</u> | | | |
| Direktsaat | 176 | 15 | 1 | 192 |
| Konventionelle Bearbeitung | 21 | 0 | 2 | 23 |

(Kemper und Derpsch, 1981)

Durchlüftung des vergleichsweise dichteren Oberbodens. Ebenso spielen die von Regenwürmern geschaffenen Grobporen eine große Rolle für die Infiltration von Niederschlagswasser (Ehlers, 1975).

Zelluloseabbau und CO₂-Entbindung

Neben der direkten Auszählung von Lebewesen im Boden können zur indirekten Bewertung der biologischen Bodenaktivität die Bestimmung der Bodenatmung sowie die Bestimmung des Zelluloseabbaus herangezogen werden.

Die biologische Aktivität war unter konventioneller Bearbeitung am niedrigsten, zwischen Direktsaat und Minimalbearbeitung bestanden geringe Unterschiede (Tab. 5.6). Dabei kann die unter Minimalbearbeitung beobachtete, höhere Aktivität beim Celluloseabbau auf das optimale Zusammenwirken zweier Faktoren

Tabelle 5.6 CO₂-Verbrauch* und Zelluloseabbau nach vier Jahren unterschiedlicher Bodenbearbeitung, Oxisol, Londrina (0–10 cm Bodentiefe)

| | CO ₂ -Verbrauch % | zersetzte Zellulose % |
|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Direktsaat | 5,4 | 75 |
| Minimalbearbeitung | 5,2 | 87 |
| Konventionelle Bearbeitung | 3,4 | 40 |

* Bodenatmung nach Isermeyer und Koepf (Kronen, 1984)

zurückzuführen sein. Dies sind die im Vergleich zur Direktsaat bessere Vermischung und Durchlüftung des Bodens und die im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung günstigeren Temperatur- und Feuchteverhältnisse.

Voss (persönliche Mitteilung, 1981) bestimmte unter Direktsaat 10,7 mg CO₂/100 g Boden, im Vergleich zu 8,9 unter Minimalbearbeitung und 4,4 unter konventioneller Bearbeitung.

Knöllchenbildung und Rhizobienaktivität

Während die Anzahl der Lebewesen im Boden und die biologische Bodenaktivität das Pflanzenwachstum und den Ertrag nur indirekt beeinflussen, besteht für die Leguminosen ein direkter Zusammenhang zwischen Knöllchenbildung, Rhizobienaktivität und symbiotischer N₂-Fixierung einerseits und Ertrag andererseits.

Tabelle 5.7 Verteilung der Knöllchen an Sojabohnen nach vier Jahren konventioneller Bearbeitung und Direktsaat. Oxisol, Londrina (Mittel aus n = 8)

| Bodentiefe | Anzahl Knöllchen/Pflanze | | | |
|------------|----------------------------|------|------------|------|
| | Konventionelle Bearbeitung | % | Direktsaat | % |
| 0–10 | 35 | 54,4 | 53* | 43,5 |
| 10–20 | 20 | 31,1 | 32* | 26,0 |
| 20–30 | 8 | 12,5 | 16* | 13,0 |
| 30–40 | 0,6 | 0,9 | 13* | 10,0 |
| 40–50 | 0,7 | 1,1 | 5* | 4,2 |
| 50–60 | 0,0 | 0,0 | 4* | 3,3 |
| Gesamt | 64,3 | 100 | 123,0 | 100 |

* Signifikante Unterschiede für P = 0,05 (Duncan-Test) (Voss und Sidiras, 1985)

Die Anzahl der Knöllchen war in allen Tiefen unter Direktsaat signifikant höher als unter konventioneller Bearbeitung (Tab. 5.7). Relativ betrachtet befanden sich unter Direktsaat 69,5 % der Knöllchen im Oberboden (0 bis 20 cm), gegen 85,5 % bei konventioneller Bearbeitung. Das heißt, daß in Direktsaat ein höherer Anteil an Knöllchen in der Tiefe festgestellt wurde. In beiden Fällen war die Anzahl der Knöllchen hochsignifikant mit dem Wurzelgewicht korreliert. Eine höhere Anzahl an Knöllchen sowie ein höheres Knöllchengewicht unter Direktsaat konnten von Voss und Sidiras (1985) an zwei weiteren Standorten bestätigt werden. Die Untersuchung der Rhizobienaktivität ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Bearbeitungsverfahren.

Eine höhere N_2 -Fixierung nach Direktsaat wird deshalb weniger aufgrund der Rhizobienaktivität als wegen der höheren Anzahl an Knöllchen, bedingt durch den günstigeren Temperatur- und Wasserhaushalt, zu erwarten sein.

5.4 Bodenerosion

Seit Bestehen des IAPAR beschäftigt sich die Abteilung Bodenkonservierung mit der Erfassung der Erosionsverluste unter natürlichem oder simuliertem Niederschlag. Zahlreiche Ergebnisse über Bodenverluste bei unterschiedlichen Anbausystemen für verschiedene Böden sind bisher erarbeitet worden (IAPAR, 1978, 1979, 1980; Mondardo et al., 1979; Mondardo und Biscaia, 1981).

Im Rahmen des IAPAR/GTZ-Projektes wurden einerseits die untersuchten Anbauverfahren mit indirekten Methoden (Krumenschwund, Infiltrabilität) auf ihre Eignung für den Erosionsschutz geprüft. Andererseits wurde untersucht, welche Faktoren (Bodenbedeckung, Porenvolumen usw.) für die Auslösung von Erosion eine Rolle spielen. Damit sollte ein Beitrag zu einem besseren Verständnis des Erosionsprozesses geleistet werden.

Beziehung zwischen Bodenbedeckung und Infiltrabilität

Es wurde bereits gezeigt, daß die Oberflächenverschlammung in Abhängigkeit von der Bodenbedeckung und der jeweiligen Niederschlagserosivität entscheidend für die Infiltrabilität und somit auch für die Erosionsanfälligkeit ist (Abb. 5.14). Mit diesen Messungen war jedoch aufgrund der sich ständig wandelnden Verhältnisse der Bodenbedeckung keine direkte Vergleichbarkeit der drei Bearbeitungssysteme gegeben.

Nachfolgend wird deshalb über Ergebnisse von Messungen der Infiltrabilität unter kontrollierten Mulchbedingungen berichtet. Dadurch konnten die Bearbeitungsmaßnahmen direkt miteinander verglichen werden und der Grenzwert der Bodenbedeckung gefunden werden, oberhalb dessen es keinen meßbaren Abfluß mehr gibt. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abb. 5.21 dargestellt.

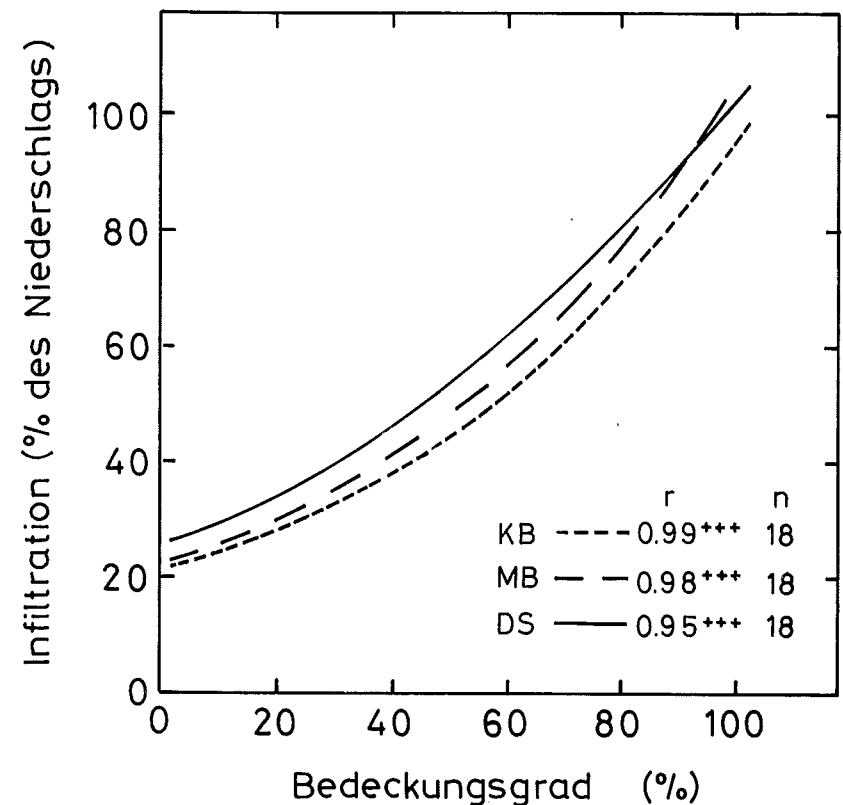


Abb. 5.21: Beziehung zwischen dem Bedeckungsgrad des Bodens und der kumulierten Infiltration (% des Niederschlags) für Direktsaat (DS), Minimalbearbeitung (MB) und konventionelle Bearbeitung (KB). (Roth et al., 1987a)

Alle drei Bodenbearbeitungsverfahren wiesen eine enge Beziehung zwischen Bodenbedeckung und Infiltration auf. Signifikante Unterschiede zwischen den Bearbeitungsverfahren bestanden nicht. Das unterschiedliche Porenvolumen scheint somit keinen Einfluß auf die Infiltration gehabt zu haben. Vielmehr ist die Infiltration durch den Grad der Oberflächenverschlammung in Abhängigkeit von der Bedeckung mit Mulch beeinflusst worden. Somit finden die bereits dargestellten Ergebnisse (Abschnitt 5.1) eine Bestätigung, ebenso wie die von Wischmeier (1973) beschriebene Beziehung zwischen Bodenbedeckung und Bodenabtrag bestätigt wird.

Der Schutz der Bodenoberfläche vor der verschlammenden Wirkung aufprallender Regentropfen ist entscheidend für die Unterbindung von Oberflächenabfluß und Erosion. Deshalb sollte der Boden möglichst vollständig mit Pflanzenresten

bedeckt bleiben. Eine vollständige Infiltration hoher Niederschlagsmengen ist nur mit 100 % Bedeckung gewährleistet (Abb. 5.21). Die dafür nötige Menge an Mulch beträgt etwa 4 bis 6 t/ha und Jahr. Diese Menge wird auch von Mannering und Meyer (1963), Hudson (1971) und Lal (1982) empfohlen. Die in Paraná erzielbaren Mengen an Strohresten von Weizen (ca. 1,5 t/ha) und Soja (ca. 2,5 t/ha) in der Weizen/Soja-Folge reichen demnach nicht aus, denn wie aus Abb. 5.22 hervorgeht, liegen die entsprechenden Bedeckungsgrade bei etwa 60 %. Diese Bedeckungsgrade sind zu niedrig, als daß sie den Oberflächenabfluß in ausreichendem Maße verhindern könnten. Die Direktsaat kann daher erst unter Einbeziehung von Fruchtfolgen mit Gründüngung und Mulch produzierenden Kulturen, wie z. B. Mais, zu einer deutlichen Reduzierung der Erosion führen.

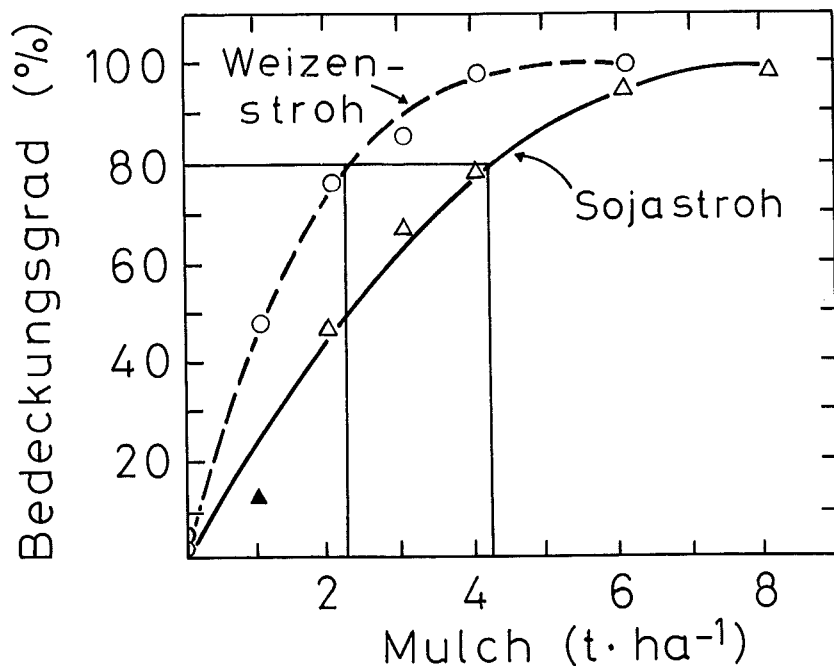


Abb. 5.22: Bedeckungsgrad des Bodens in Abhängigkeit von der Menge an Soja- und Weizenstroh (Roth et al., 1987a)

Tatsächlich zeigen Beobachtungen in der Praxis, daß in Betrieben mit ganzjähriger, vollständiger Bodenbedeckung aufgrund entsprechend ausgelegter Direktsaatverfahren mit geeigneten Fruchtfolgen selbst auf Flächen mit bis zu 15 % Hangneigung kein Oberflächenabfluß erfolgt. Langfristig besteht in solchen Fällen die Möglichkeit, einen Teil der Konturdämme wieder einzuebnen. Der entsprechende Flächengewinn und Erleichterungen der Feldarbeiten erhöhen die Wirtschaftlichkeit dieses Anbauverfahrens.

„Splash“-Erosion

Als weiteres Maß für den Grad der Erosionsanfälligkeit kann die Bestimmung der „splash“-Erosion dienen. Darunter wird der Anteil an Boden verstanden, der durch die Wirkung der Regentropfen zertrümmert und fortgeschleudert wird. Je größer die „splash“-Erosion ist, desto anfälliger muß die Bodenoberfläche gegenüber Verschlammungsvorgängen sein. Die „splash“-Erosion steht dabei in engem Zusammenhang mit der Aggregatstabilität. Gemessen wird die „splash“-Erosion mit Hilfe der „splash-meter“, trichterförmigen Gefäßen, die mit der offenen Seite nach oben in den Boden eingebracht werden und das im Spritzwasser enthaltene Bodenmaterial auffangen. Ergebnisse aus Berechnungen mit dem Regensimulator zeigten, daß die „splash“-Erosion bei konventioneller Bearbeitung um ein Vielfaches höher ist (Tab. 5.8). Die „splash“-Erosion betrug nach Direktsaat im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung nur 6 bzw. 2 % für unbedeckten bzw. bedeckten Boden. Auch die „splash“-Erosion nach Bearbeitung mit dem Grubber war erheblich geringer. Deutlich wird auch hier die Bedeutung der Bodenbedeckung, wobei die geringen Unterschiede unter konventioneller Bearbeitung auf die zum Meßtermin geringe Differenz zwischen bedeckter und unbedeckter Meßparzelle zurückzuführen sind.

Tabelle 5.8 Einfluß der Bodenbearbeitung und der Bodenbedeckung auf die Menge an „splash“ erodiertem Bodenmaterial. Mittelwerte aus drei Intensitätsstufen des Niederschlages.

| | Boden unbedeckt | | Boden mit Strohresten bedeckt | |
|--------------------|------------------|-----|-------------------------------|-----|
| | g/m ² | % | g/m ² | % |
| Konv. Bearbeitung | 3541 a | 100 | 3316 a | 100 |
| Minimalbearbeitung | 1620 a | 46 | 713 b | 22 |
| Direktsaat | 224 c | 6 | 78 c | 2 |

Kleinbuchstaben : Signifikanz bei p = 0,01 (Sidiras et al., 1984)

Auch unter natürlichem Niederschlag konnten ähnliche Ergebnisse erzielt werden. So lagen während des Hauptwachstums der Sojabohnen bei Direktsaat und Minimalbearbeitung die gemessenen Mengen an „splash“-erodiertem Bodenmaterial mit jeweils 22 % bzw. 85 % deutlich unter der konventionellen Bearbeitung (= 100 %). Die Beziehung zwischen Niederschlagsdauer und „splash“-Erosion wird in Abb. 5.23 dargestellt. Die „splash“-Erosion ist unter konventioneller Bearbeitung nicht nur höher, sondern sie steigt mit der Berechnungsdauer auch überproportional an.

Bodenverluste

Angaben verschiedener Autoren über Bodenverluste in Südbrasilien für unterschiedliche Bearbeitungsverfahren zeigen, daß in allen Fällen der höchste Bodenabtrag im traditionellen Bearbeitungssystem (schwere Scheibenegge,

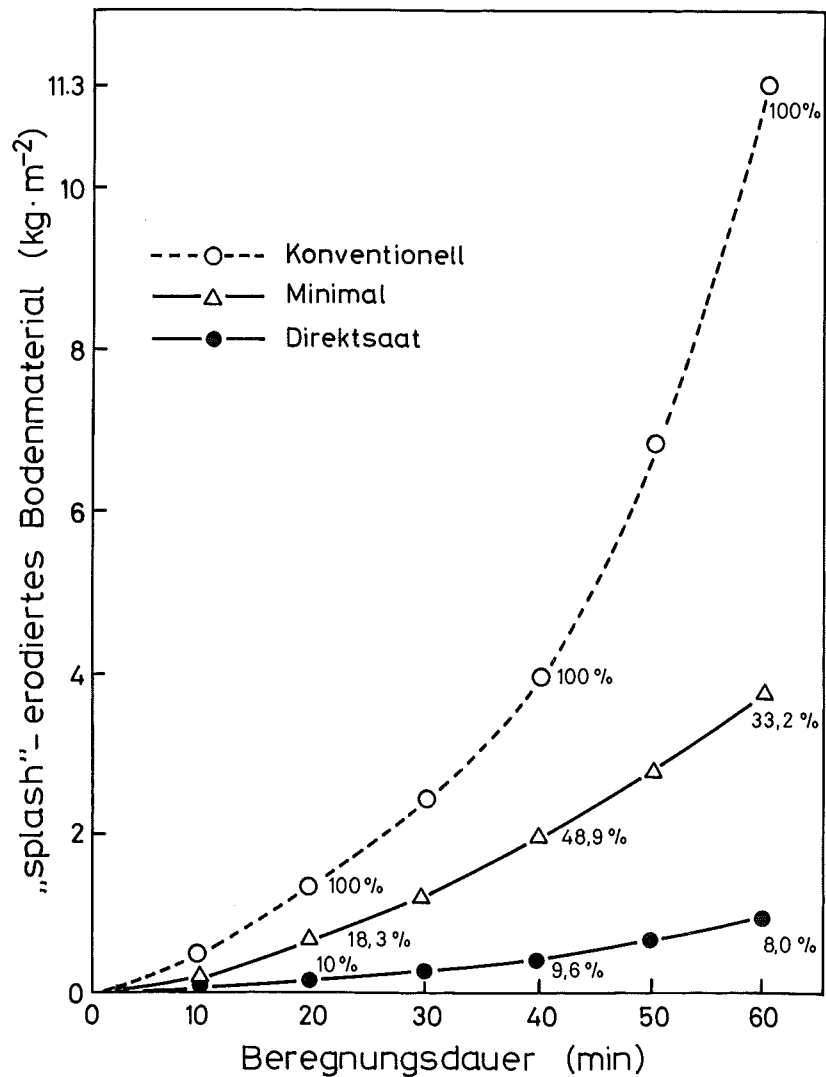


Abb. 5.23: Einfluß der Niederschlagsdauer auf das Ausmaß der „splash“-Erosion (Menge an „splash“ erodiertem Bodenmaterial) nach verschiedenen Bearbeitungsverfahren. (Niederschlagsintensität 60 mm/h) (Sidiras et al., 1984)

Tabelle 5.9 Bodenverluste durch Erosion bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung. Angaben verschiedener Autoren aus dem südbrasilianischen Raum für natürliche Niederschlagsverhältnisse. TB = traditionelle Bearbeitung, KB = konventionelle Bearbeitung, MB = Minimalbearbeitung, DS = Direktsaat

| Quelle | Bodenverluste | | | | Quotient KB/DS |
|-----------------------------|---------------|--------|-------|-------|-------------------|
| | TB | KB | MB | DS | |
| Benatti et al., 1977 | – | 40,14 | – | 13,39 | 3,00 |
| Benatti et al., 1977 | – | 3,11 | – | 2,50 | 1,24 |
| Castro et al., 1986 | 56,16 | 49,81* | 22,51 | – | – |
| Mondardo et al., 1979 | – | 1,99 | – | 0,09 | 22,11 |
| Mondardo et al., 1979 | – | 0,72 | – | 0,65 | 1,11 |
| Mondardo et al., 1979 | – | 3,35 | – | 0,24 | 13,96 |
| Mondardo et al., 1979 | – | 0,39 | – | 0,00 | – |
| Mondardo et al., 1979 | – | 1,58 | – | 1,22 | 1,30 |
| Mondardo et al., 1979 | – | 1,00 | – | 0,38 | 2,63 |
| Mondardo et al., 1981 | 57,00 | 19,00 | – | 5,50 | 3,45 |
| Saraiva et al., 1981 | – | 2,33 | 0,83 | 0,19 | 12,26 |
| Saraiva et al., 1981 | – | 8,72 | – | 0,21 | 41,52 |
| Sorrenson und Montoya, 1984 | 15,70 | 10,80* | – | – | – |
| Sorrenson und Montoya, 1984 | – | 9,10 | – | 5,60 | 1,63 |
| Sorrenson und Montoya, 1984 | – | 57,70 | – | 2,10 | 27,48 |
| Mittelwerte (n = 13) | | 11,47 | | 2,47 | 4,64 |

* nicht berücksichtigte Werte

mehrmaliges Eggen) beobachtet wurde, gefolgt von der konventionellen Bearbeitung (Tab. 5.9). Die Direktsaat erwies sich als effizientestes System zur Erosionskontrolle. Der Quotient der erodierten Bodenmenge nach konventioneller Bearbeitung und Direktsaat variiert zwischen 41,52 bis 1,11. Die großen Schwankungen in den Werten sind dabei Ausdruck unterschiedlicher Bodentypen, Hangneigungen und -längen, Kulturen, Meßverfahren und Niederschlagsintensitäten.

In den Bearbeitungsversuchen konnten keine direkten Messungen von Bodenverlusten durchgeführt werden. Um dennoch indirekt zu einer Aussage zu kommen, wurde am Standort Londrina gemessen, wie stark die Bodenoberfläche während des Versuchs abgesunken war. Dazu wurde zum Ende des Versuchs die Höhe der Bodenoberfläche mit Referenzhöhen verglichen, die zu Versuchsbeginn installiert worden waren. Der Verlust wurde dann unter Berücksichtigung der mittleren Trockendichten auf eine durchschnittliche jährliche Verlustrate

umgerechnet. Sicherlich ist diese Methode nicht unproblematisch. Mit ihr konnten jedoch relative Unterschiede ermittelt werden.

Die konventionelle Bearbeitung und die Minimalbearbeitung wiesen erheblich höhere Bodenverluste auf als die Direktsaat (Tab. 5.10). In der Direktsaatvariante betragen die Bodenverluste nur ein Zehntel des Verlustes nach konventioneller Bearbeitung. Der hohe Wert von 68,2 t/ha und Jahr für die konventionelle Bearbeitung stimmt dabei auch gut mit Angaben von Freitas und Castro (1980) überein, die für Paraná eine mittlere Bodenverlustrate von 72 t/ha angeben.

Tabelle 5.10 Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Bodenverluste durch Erosion

| Konventionelle Bearbeitung | Bodenverluste (t · ha · a ⁻¹) | | Quotient KB/DS |
|-------------------------------|---|------------|-------------------|
| | Minimal- bearbeitung | Direktsaat | |
| 68,2 | 55,0 | 6,9 | 9,88 |

(Sidras, 1984)

Abschließend kann festgestellt werden, daß von allen Bodenbearbeitungsverfahren lediglich die Direktsaat die Bodenverluste so weit zu senken vermag, daß sie deutlich unter den Toleranzwerten von etwa 12 bis 13 t/ha und Jahr liegen. Dies wird vor allem durch die Bodenbedeckung bewirkt. In der bisher praxisüblichen Folge Soja/ Weizen können noch Bodenverluste von über 5 t/ha nach Direktsaat auftreten (Tab. 5.9). Deshalb müssen weitere Maßnahmen der Fruchtfolgegestaltung und Gründüngung herangezogen werden, um die Bodenverluste zu minimieren (siehe Kap. 7.0).

5.5 Krankheiten und Schädlinge

Der Einfluß der Bodenbearbeitung auf Krankheiten und Schädlinge konnte aus technischen Gründen in den beiden Bearbeitungsversuchen nicht untersucht werden. Der Vollständigkeit halber soll jedoch kurz auf diesen wichtigen Aspekt eingegangen werden, wobei Angaben anderer Autoren herangezogen werden.

Krankheiten

Prinzipiell muß man davon ausgehen, daß einige Pilzgruppen durch das Vorhandensein von Pflanzenresten auf der Bodenoberfläche (Mulch) verstärkt auftreten. Andere Gruppen, z. B. Schwäche- oder Sekundärparasiten werden dagegen aufgrund der mit der höheren Bodenfruchtbarkeit verbundenen stärkeren Wüchsigkeit der Pflanzen nach Direktsaat weniger häufig auftreten.

Bisherige Untersuchungsergebnisse aus Paraná deuten darauf hin, daß der Befall mit Schädlingen unter Direktsaat meistens geringfügig höher liegt als unter konventioneller Bearbeitung (Tab. 5.11). Für Paraná bedeutende Krankheiten (etwa *Rhizoctonia* und *Sclerotinia* bei Soja sowie *Helminthosporium* bei Weizen) werden durch die Direktsaat begünstigt. Auch bei verschiedenen Fußkrankheiten des Weizens konnte ein höherer Krankheitsbefall beobachtet werden (Mehta, 1981). Die wenigen Ergebnisse, die für die Minimalbearbeitung vorliegen, weisen auch in diesem Fall auf eine Zwischenstellung in Bezug auf den Befall mit pilzlichen Krankheitserregern hin.

Tabelle 5.11 Einfluß von konventioneller Bearbeitung (KB), Minimalbearbeitung (MB) und Direktsaat (DS) auf das Auftreten von wichtigen Krankheiten bei Sojabohnen, Mais, Weizen und Baumwolle.

| Quelle | Krankheit | Bodenbearbeitungsverfahren | | |
|---|-----------------------------------|----------------------------|-----|------|
| | | KB | MB | DS |
| <u>Sojabohnen</u> (% befallene Pflanzen) | | | | |
| Homechin, 1984 a | <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> * | 2,0 | — | 5,7 |
| Homechin, 1984 a | <i>Rhizoctonia solani</i> * | 1,8 | — | 3,0 |
| Homechin, 1984 a | <i>Macrophomina phaseoli</i> ** | 2,0 | 3,0 | 4,0 |
| Homechin, 1984 a | <i>Rosellinia sp.</i> ** | 1,0 | 2,5 | 5,0 |
| <u>Mais (% befallene Pflanzen)</u> | | | | |
| Muzilli et al., 1983 | <i>Fusarium sp.</i> * | 33,0 | — | 52,0 |
| Nazareno, 1981 | <i>Fusarium sp.</i> ** | 9,5 | — | 12,2 |
| Nazareno, 1981 | <i>Helminthosporium sp.</i> | 22,6 | — | 44,5 |
| <u>Weizen (% befallene Blattfläche bzw. Pflanzen)</u> | | | | |
| Igarashi, 1981 | <i>Puccinia sp.</i> ** | 12,2 | — | 17,2 |
| Igarashi, 1981 | <i>Puccinia sp.</i> * | 18,5 | — | 13,5 |
| Igarashi, 1981 | <i>Helminthosporium sp.</i> *** | 10,6 | — | 16,6 |
| Igarashi, 1981 | <i>Erysiphe graminis</i> *** | 6,3 | — | 3,9 |
| Igarashi, 1981 | <i>Septoria sp.</i> * | 34,1 | — | 33,3 |
| Igarashi, 1981 | <i>Ophiobolus sp.</i> * | 20,0 | — | 21,7 |
| <u>Baumwolle</u> (kranke Pflanzen/200 m ²) | | | | |
| Ruano, 1981 | <i>Colletotrichum sp.</i> | 72 | — | 170 |
| | <i>Alternaria sp. u. a.</i> | | | |

* Südparraná ** Nordparraná *** Mittelwerte für Nord- und Südparraná

Nach Homechin (1984a) und Reis (1985) spielt hierbei das Vorhandensein einer Mulchdecke die entscheidende Rolle, einmal als Ort der Überdauerung, zum anderen kommt es vom Mulch aus zur andauernden Verbreitung von Sporen.

Dies wird durch Einpflügen der Pflanzenreste unter konventioneller Bearbeitung unterbunden. Aus phytosanitären Gründen sollte daher die Direktsaat nur in Verbindung mit vielgestaltigen Fruchtfolgen zur Anwendung kommen, um so Mindererträgen vorzubeugen. Auch ein eventuell höherer Einsatz an Fungiziden muß längerfristig in Erwägung gezogen werden, da sich mit der Zeit ein höheres Inokulationspotential im Mulch aufbauen kann.

Schädlinge

Auch die Insektenpopulationen werden in Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungsverfahren beeinflusst. Verbesserte Bodenfeuchte- und Temperaturverhältnisse unter dem Mulch bei Direktsaat sind für eine Reihe von Insektengruppen förderlich, für andere dagegen nicht (Tab. 5.12). Bei Sojabohnen hat Ferreira (1984) im Mittel von drei Jahren bei Direktsaat ein erhöhtes Auftreten einiger wich-

Tabelle 5.12 Einfluß von Direktsaat (DS) und konventioneller Bearbeitung (KB) auf das Auftreten einiger Schädlinge bei Sojabohnen, Mais, Weizen und Phaseolusbohnen.

| Quelle | Schädling | Bearbeitungsverfahren | | |
|--|---------------------|--------------------------|--------|-------|
| | | KB | DS | |
| <u>Sojabohne</u> (Insekten/2m Pflanzenreihe) | | | | |
| Ferreira, 1984 | <u>Raupen:</u> | <i>Anticarsia sp.</i> | } 6,0 | 8,3 |
| | | <i>Pseudoplusia sp.</i> | | |
| | | <i>Hedylepta sp.</i> | | |
| Ferreira, 1984 | <u>Blattwanzen:</u> | <i>Nezara sp.</i> | } 6,2 | 7,7 |
| | | <i>Piezodorus sp.</i> | | |
| | | <i>Euschistus sp.</i> | | |
| Ferreira, 1984 | <u>Thrips:</u> | <i>Calliothrips sp.</i> | } 98,4 | 134,4 |
| | | <i>Frankliniella sp.</i> | | |
| <u>Phaseolusbohnen (Anzahl/m²)</u> | | | | |
| Hohmann und Carvalho, 1981 | <u>Insekten:</u> | <i>Diabrotica sp.</i> | 2,3 | 1,7 |
| | | <i>Empoasca sp.</i> | 1,6 | 0,5 |
| <u>Mais (% zerstörte Stengelspitzen)</u> | | | | |
| Carvalho und Bianco, 1981 | <u>Raupen:</u> | <i>Spodoptera</i> | 5,0 | 2,5 |
| <u>Weizen (Anteil befallener bzw. abgestorbener Pflanzen, %)</u> | | | | |
| Carvalho und Silva, 1981 | <u>Raupen:</u> | <i>Elasmopalpus sp.</i> | 22,3 | 9,8 |
| Carvalho und Silva, 1981 | <u>Blattläuse:</u> | <i>Metopolophium sp.</i> | 87,5 | 14,8 |
| | | <i>Sitobium sp.</i> | 11,7 | 1,8 |

tiger Schädlinge festgestellt, insbesondere von *Thrips ssp.* Jedoch führte dieser höhere Befall nicht zu Mindererträgen. Auch bei einem weiteren wichtigen Sojabohnenschädling, *Epinotia aporema*, wurde nach Direktsaat ein etwas höherer Befall festgestellt. Carvalho (1981) dagegen stellte bei diesen Schädlingen keinen unterschiedlichen Befall fest. Hingegen ist in Direktsaat ein geringerer Blattlausbefall im Weizen festgestellt worden (Tab. 5.12). Auch ist geringerer Befall von *Elasmopalpus*-Raupen im Weizen und von *Spodoptera*-Raupen im Mais beobachtet worden. Hier spielen vielleicht höhere Populationen an Nützlingen eine Rolle, die durch das Vorhandensein von Mulch und einer höheren Bodenfeuchtigkeit gefördert werden.

Da der Befall sehr stark von Witterungsbedingungen, Anbausystem, Fruchtfolge usw. abhängig ist, ergeben sich für die Praxis hinsichtlich der Schädlingskontrolle in der Direktsaat keine wesentlichen Veränderungen. Die Entwicklung des Schädlingsbefalls im Direktsaatsystem sollte jedoch ständig beobachtet werden und verlangt weitere intensive Forschungsarbeit.

5.6 Unkräuter

Bodenbearbeitungsmaßnahmen üben unterschiedliche Einflüsse auf die Keimung von Unkrautpflanzen aus. Die Bodenbearbeitung befördert Unkrautsamen an die Bodenoberfläche, wo diese dann unter Einfluß des Sonnenlichtes keimen (Lichtkeimer). Im Gegensatz dazu finden Dunkelkeimer bei Vorhandensein einer dichten Mulchschicht eher günstige Keimungsbedingungen. Weitere Faktoren, die die Keimung von Unkräutern beeinflussen, sind Temperatur, Bodenfeuchte und allelopathische Substanzen. Diese Faktoren werden stark durch Mulchschichten beeinflusst (Almeida und Rodrigues, 1985).

Unkrautbesatz

Beim Vergleich der drei Anbausysteme hinsichtlich des absoluten Unkrautbesatzes zeigte sich, daß die Direktsaatvariante nur etwa halb so viel Unkräuter pro m² aufwies als die konventionell bearbeitete Variante (Tab. 5.13). Der höchste Besatz wurde in der Variante mit Grubberbearbeitung beobachtet. Wichtig ist, daß nach Direktsaat das Aufkommen von *Brachiaria plantaginea* — eine sehr wüchsige und aggressive Unkrautart — sehr stark reduziert wurde.

Der erhöhte Unkrautbesatz nach Bearbeitung mit dem Grubber im Vergleich zur Bearbeitung mit Scheibengeräten (Scheibenpflug oder schwere Scheibenegge) wurde auch in anderen Versuchen beobachtet (Abb. 5.24). Dabei nahm der Besatz insgesamt mit jeder weiteren Bearbeitungsmaßnahme zu, vermutlich aufgrund des verstärkten Einsetzens der Niederschläge.

Tabelle 5.13 Einfluß der Anbausysteme auf den Unkrautbesatz 63 Tage nach den Bearbeitungsmaßnahmen.

| Unkrautart | Konventionelle Bearbeitung | Pflanzen/m ² | |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------|
| | | Grubberbearbeitung | Direktsaat |
| <i>Brachiaria plantaginea</i> | 410 | 413 | 97 |
| <i>Digitaria horizontalis</i> | 30 | 26 | 59 |
| <i>Cenchrus echinatus</i> | 35 | 106 | 43 |
| <i>Euphorbia heterophylla</i> | 22 | 20 | 1 |
| <i>Bidens pilosa</i> | 25 | 21 | 36 |
| <i>Emilia sonchifolia</i> | 53 | 79 | 52 |
| Sonstige | 25 | 19 | 32 |
| Gesamt | 600 | 684 | 320 |
| rel. | (100) | (114) | (53) |

(Almeida und Rodrigues, 1985)

Insgesamt betrachtet ist die Kombination Mulch und Herbizid in der Unkrautkontrolle wirksamer als Bodenbearbeitung und Herbizid. Jedoch besteht bei Direktsaat die Gefahr der Unkrautselektion, da einige Unkräuter in Sojabohnen-Monokultur durch Herbizide nicht erfaßt werden. So können Unkräuter wie *Euphorbia heterophylla* und *Sida spp.*, die normalerweise durch die Bodenbearbeitung kontrolliert werden, bei Direktsaat zum Problem werden (Almeida und Rodrigues, 1985). Hier helfen Maßnahmen der Fruchtfolgegestaltung, so daß die Herbizide zu den einzelnen Kulturen variiert werden können.

Herbizideffizienz

Im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung und zur Bearbeitung mit dem Grubber können einige Herbizide durch Mulch an der Bodenoberfläche im Direktsaatsystem in ihrer Effizienz gemindert werden. Dies ist darauf zurückzuführen, daß das Herbizid nur schlechten Kontakt mit der Bodenoberfläche bekommt und von der organischen Substanz absorbiert wird. Auch Nachauflauf-Herbizide können aus diesem Grund an Effizienz verlieren (Almeida und Rodrigues, 1985). Höhere Humusgehalte im Boden nach Direktsaat tragen ebenfalls zu einer Minderung der Wirksamkeit von Herbiziden bei.

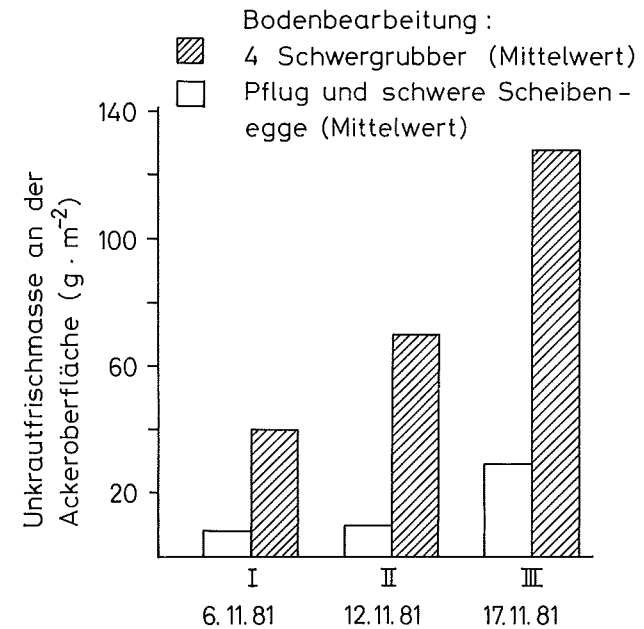


Abb. 5.24: Unkrautbesatz 6 Tage nach der Grundbodenbearbeitung zu drei unterschiedlichen Bearbeitungszeitpunkten (Derpsch et al., 1982)

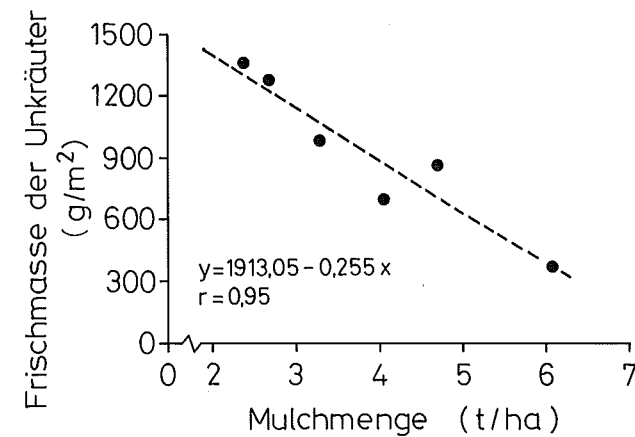


Abb. 5.25: Beziehung zwischen Mulchmenge und Unkrautbesatz (nach Almeida und Rodrigues, 1985)

Andererseits unterdrückt die Mulchschicht das Aufkommen von Unkräutern, und zwar umso mehr, je höher die Menge an Mulch ist (Abb. 5.25). Die geringere Herbizideffizienz nach Direktsaat kann somit durch die verstärkte Unkrautunterdrückung von Mulch kompensiert werden.

5.7 Ertragsbildung und Ertrag

Wurzelwachstum und -verteilung

Unterschiedliche Bodeneigenschaften bewirken ein differenziertes Wurzelwachstum, womit das Sproßwachstum und die Kornerträge beeinflusst werden können. Einerseits können der Wurzel über höhere Trockendichten und geringeres Grobporenvolumen physikalische Widerstände gesetzt werden, andererseits wirken beispielsweise Al-Toxizitäten im Unterboden als chemische Barriere.

Untersuchungen zur Wurzelverteilung von Sojabohnen, durchgeführt mit der Profilwandmethode (Köpke, 1981), zeigten deutliche Unterschiede zwischen konventioneller Bearbeitung und Direktsaat (Abb. 5.26). Unter konventioneller Bearbeitung konzentrierten sich die Wurzeln im Bereich 0 bis 15 cm, während in der Bodenschicht 20 bis 25 cm eine markante Abnahme der Wurzelmasse als Folge

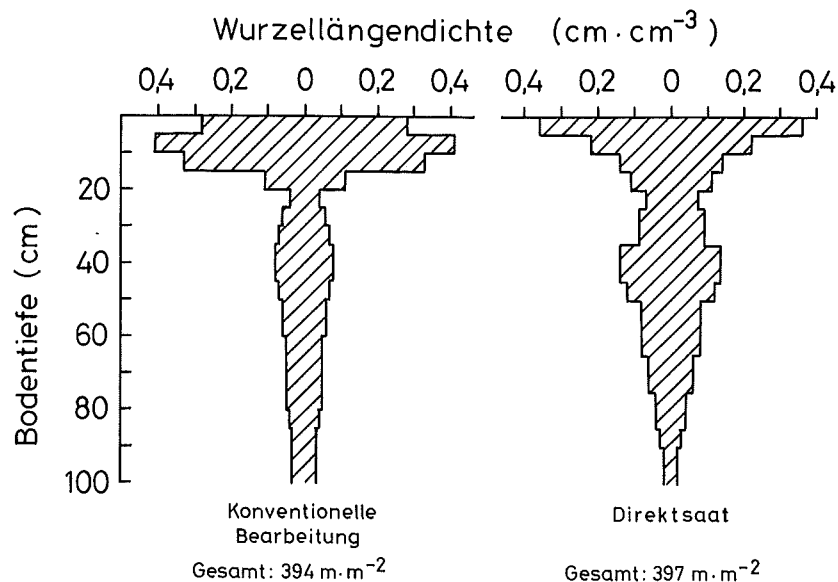


Abb. 5.26: Wurzelverteilung von Sojabohnen in Abhängigkeit von der Bodentiefe und dem Bearbeitungsverfahren. Oxisol, Londrina. (Köpke und Vieira, 1981, zit. n. Vieira, 1983)

der Pflugsohlenverdichtung erkennbar ist (siehe Abb. 5.1). Bei der Direktsaat war das Wurzelsystem gleichmäßiger verteilt und relativ hohe Wurzellängendichten wurden im Bereich 40 bis 50 cm bestimmt. Diese Verhältnisse könnten zu einer vergleichsweise günstigen Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen unter Direktsaat beitragen. Interessant ist auch, daß trotz unterschiedlicher Verteilung des Wurzelsystems im Oberboden die Gesamtwurzellänge gleich war. Die Trockendichte im Oberboden kann nach Direktsaat so weit zunehmen, daß das Wurzelwachstum langfristig beeinträchtigt werden kann. Diesem Problem kann aber technisch begegnet werden, etwa durch Sämaschinen, die zusätzlich zu den Scheibenpaaren mit Zinken zur Auflockerung des Bodens in der Pflanzreihe ausgerüstet werden.

Ertrag und Ertragskomponenten

Die Erträge aus dem Bearbeitungsversuch Londrina (Oxisol) sind für Sojabohnen und Weizen für die in Paraná übliche Soja/Weizen-Folge in Tab. 5.14 und 5.15 dargestellt. Die Ertragsunterschiede waren bei Sojabohnen besonders ausgeprägt, aber auch beim Weizen vorhanden. Direktsaat wies generell wesentlich höhere Erträge auf als die konventionelle Bearbeitung. Bei der Sojabohne und Weizen lagen die Erträge für Minimalbearbeitung im Durchschnitt zwischen den beiden anderen Verfahren.

Tabelle 5.14 Sojabohnenerträge im Bearbeitungsversuch Londrina (Oxisol, Mittelwert aller Rotationen).

| Erntejahr | Konventionelle Bearbeitung | | Minimalbearbeitung | | Direktsaat | |
|-------------|----------------------------|------|--------------------|------|------------|------|
| | t/ha | rel. | t/ha | rel. | t/ha | rel. |
| 1979 | 1,43 | 100 | 1,50 | 105 | 1,99 | 139 |
| 1980 | 2,51 | 100 | 2,85 | 114 | 3,09 | 123 |
| 1981 | 2,03 | 100 | 2,16 | 106 | 2,86 | 141 |
| 1982 | 1,34 | 100 | 1,23 | 91 | 2,03 | 151 |
| 1983 | 1,45 | 100 | 1,53 | 105 | 1,90 | 131 |
| 1984 | 1,60 | 100 | 1,85 | 116 | 2,00 | 125 |
| Mittelwerte | 1,73 | 100 | 1,85 | 107 | 2,31 | 134 |

Ergebnisse aus dem Bearbeitungsversuch Rolândia (Alfisol) zeigten im Prinzip das Gleiche (Tab. 5.16), wobei das Ertragsniveau aufgrund der höheren Bodenfruchtbarkeit insgesamt höher war und die relativen Unterschiede geringer ausfielen. In einem Fall lag der Weizenertrag bei Direktsaat deutlich niedriger als für die beiden anderen Verfahren.

Tabelle 5.15 Weizenerträge im Bearbeitungsversuch Londrina (Oxisol, Mittelwert aller Rotationen).

| Jahr | Konventionelle Bearbeitung | | Minimalbearbeitung | | Direktsaat | |
|-------------|----------------------------|------|--------------------|------|------------|------|
| | t/ha | rel. | t/ha | rel. | t/ha | rel. |
| 1978 | 1,36 | 100 | 1,28 | 94 | 1,81 | 133 |
| 1979 | 1,60 | 100 | 1,67 | 104 | 1,84 | 115 |
| 1980 | 2,25 | 100 | 2,24 | 99 | 1,97 | 87 |
| 1981 | 0,72 | 100 | 0,99 | 137 | 1,12 | 156 |
| 1982 | 0,39 | 100 | 0,48 | 122 | 0,86 | 220 |
| 1983 | 1,72 | 100 | 1,84 | 107 | 1,98 | 115 |
| Mittelwerte | 1,34 | 100 | 1,42 | 106 | 1,60 | 119 |

Tabelle 5.16 Sojabohnen- und Weizenerträge im Bearbeitungsversuch Rolândia (Alfisol, Mittelwert aller Rotationen).

| Jahr | Konventionelle Bearbeitung | | Minimalbearbeitung | | Direktsaat | |
|-------------|----------------------------|------|--------------------|------|------------|------|
| | t/ha | rel. | t/ha | rel. | t/ha | rel. |
| | | | <u>Sojabohnen</u> | | | |
| 1979 | 3,01 | 100 | 3,20 | 106 | 3,15 | 105 |
| | | | <u>Weizen</u> | | | |
| 1978 | 0,82 | 100 | 0,98 | 120 | 1,32 | 161 |
| 1979 | 3,09 | 100 | 3,12 | 101 | 2,65 | 86 |
| Mittelwerte | 1,95 | | 2,05 | | 1,98 | |

(Kemper und Derpsch, 1981)

Um zu einer für Paraná allgemeingültigen Aussage zu kommen, bedarf es einer breiteren Datenbasis. Sorrenson und Montoya (1984) haben deshalb alle Ertragsdaten aus in Paraná durchgeführten Vergleichsuntersuchungen zusammengestellt. Aus dieser Zusammenstellung (Tab. 5.17) geht hervor, daß die Direktsaat im Durchschnitt der unterschiedlichsten Standortverhältnisse für Sojabohnen 19 % Mehrertrag, für Weizen 8 %, für Phaseolus-Bohnen 4 % und praktisch gleiche Erträge für Mais lieferte. Allgemein kann festgehalten werden, daß die Direktsaat nicht zu Mindererträgen führt und besonders in Trockenjahren deutliche Mehrerträge bewirkt.

Tabelle 5.17 Zusammenstellung von Ertragsdaten und Bearbeitungsversuchen in Paraná mit konventioneller Bearbeitung (KB), Minimalbearbeitung (MB) und Direktsaat (DS)

| Kulturpflanze | Anzahl der „Versuchsjahre“ * | | | Relativerträge | | |
|-----------------|------------------------------|----|-----|----------------|-----|-----|
| | KM | MB | DS | KB | MB | DS |
| Sojabohne | 79 | 39 | 79 | 100 | 108 | 119 |
| Mais | 50 | 5 | 50 | 100 | 93 | 99 |
| Weizen | 103 | 31 | 103 | 100 | 101 | 108 |
| Phaseolusbohnen | 3 | — | 3 | 100 | — | 104 |

* Ein „Versuchsjahr“ entspricht den Ertragsergebnissen aus einem Versuch für eine Kulturpflanze/Fruchtfolge- und Bearbeitungsvariante

(Sorrenson und Montoya, 1984)

Die Ertragskomponenten werden in Tab. 5.18 und 5.19 aufgeführt. Sowohl bei Weizen wie bei Sojabohnen führten die günstigeren Feuchte- und Temperaturverhältnisse nach Direktsaat zu einem besseren Aufgang. Die Mehrerträge waren gemäß der errechneten Korrelation jedoch in erster Linie auf das Tausendkorngewicht (TKG) zurückzuführen. Die höheren Tausendkorngewichte dürften ihre Ursache in den größeren nutzbaren Wassermengen nach Direktsaat während der Kornausfüllungsphase haben.

Tabelle 5.18 Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Ertragskomponenten der Sojabohne (Oxisol, Londrina, 1980/81)

| Bodenbearbeitung | Aufgang Pfl./m ² (10.12.80) | Geerntete Pfl./m ² (21.3.81) | Hülsen/ Pflanze | Körner/ Hülse | TKG g | Gesamtertrag m ² -Schnitte g/m ² | Kornerttrag m ² -Schnitte g/m ² | Pflanzenindex (Pflanzenmasse: Körner) |
|----------------------------|--|---|--------------------|------------------|----------|--|---|---|
| Direktsaat | 72,2 | 72,6 | 20,5 | 2,7 | 137 | 576,6 | 282,2 | 1,04 |
| Minimalbearbeitung | 58,6 | 57,0 | 25,9 | 2,7 | 120 | 558,4 | 251,3 | 1,22 |
| Konventionelle Bearbeitung | 57,6 | 57,2 | 24,2 | 2,8 | 114 | 536,6 | 254,8 | 1,11 |
| GD = 5% | 4,2 | 4,4 | 4,0 | — | 8,9 | 39,8 | 16,4 | — |
| GD = 1% | 5,2 | 6,2 | — | — | 12,5 | — | — | — |

(Sidiras et al., 1982)

Tabelle 5.19 Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Ertragskomponenten des Weizens (Oxisol, Londrina, 1981)

| Bodenbearbeitung | Aufgang Pfl./m ² (17.6.80) | n. Bestockung Halme/m ² (26.7.81) | ähren- tragende Halme/m ² | Körner/ Ähre | TKG g | Gesamtertrag m ² -Schnitte g/m ² | Kornerttrag m ² -Schnitte g/m ² | Pflanzenindex (Pflanzenmasse: Körner) |
|----------------------------|---|--|--|-----------------|----------|--|---|---|
| Direktsaat | 310 | 490 | 311 | 21,0 | 30,8 | 404,9 | 132,6 | 2,05 |
| Minimalbearbeitung | 268 | 356 | 250 | 18,7 | 28,7 | 244,3 | 76,2 | 2,20 |
| Konventionelle Bearbeitung | 260 | 294 | 247 | 17,7 | 28,0 | 227,6 | 75,7 | 2,00 |
| GD 5% | 44 | 53 | 46 | 2,4 | 1,4 | 62,0 | 23,6 | 0,19 |
| GD 1% | — | 76 | 66 | 3,5 | 2,0 | 89,4 | 33,9 | — |

(Sidiras et al., 1982)

5.8 Zusammenfassung

Die Einflüsse von konventioneller Bearbeitung, Grubberbearbeitung und Direktsaat auf Boden, Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter und Ertrag werden vergleichend dargestellt.

Die Direktsaat bewirkte eine Zunahme der Trockendichte bei gleichzeitiger Abnahme des Anteils an Grobporen in den obersten Bodenschichten (0 bis 20 cm). Bei konventioneller Bearbeitung und in geringerem Maße bei Grubberbearbeitung entstand eine Verdichtung in der Schicht 20 bis 30 cm.

Aufgrund der Zunahme an Mittelporen nach Direktsaat war die nutzbare Feldkapazität höher, so daß — verbunden mit geringeren Evaporationsverlusten — größere Mengen an pflanzenverfügbarem Wasser festgestellt wurden.

Die Mulchdecke nach Direktsaat verringerte die Schwankungen der Bodentemperatur.

Höhere Bodenbedeckungsgrade und höhere Aggregatstabilität nach Direktsaat bewirkten eine höhere Infiltration der Niederschläge. Die niedrigste Infiltration wurde stets unter konventioneller Bearbeitung gemessen.

Schon nach vier Jahren Direktsaat waren die Gehalte an C, N und verfügbarem P, der pH-Wert und die Basensättigung im Oberboden deutlich höher als unter konventioneller Bearbeitung.

Die Direktsaat steigerte die biologische Bodenaktivität. Eine erhöhte Knöllchenbildung wurde bei Sojabohnen festgestellt.

Von allen Verfahren zeigte die Direktsaat die niedrigsten Erosionsverluste. Die höchsten Verluste wurden nach traditioneller Bearbeitung beobachtet, gefolgt von der konventionellen Bearbeitung und der Grubberbearbeitung. Die Erosionsanfälligkeit stand dabei in direktem Zusammenhang mit dem Grad der Bodenbedeckung durch Mulch.

Nach konventioneller Bearbeitung traten weniger Fußkrankheiten auf als nach Direktsaat, während beim Schädlingsbefall insgesamt keine wesentlichen Unterschiede bestanden.

Die Kombination Mulch und Herbizid im Direktsaatsystem war effizienter in Bezug auf Unkrautkontrolle als die Kombination Bodenbearbeitung und Herbizide bei konventioneller Bearbeitung und Grubberbearbeitung.

Im Durchschnitt aller durchgeführten Versuche in Paraná wurde festgestellt, daß nach Direktsaat 19 % mehr Sojabohnen, 8 % mehr Weizen und 4 % mehr Phaseolus-Bohnen geerntet wurden als nach konventioneller Bearbeitung. Bei Mais bestanden keine Ertragsunterschiede. Bei Grubberbearbeitung lagen die Sojaerträge im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung 8 % höher und die Maiserträge 7 % niedriger.