

3.0 Grundlagen der Erosionsbekämpfung - Projektansatz

Wird der Boden bearbeitet und die Pflanzenreste vergraben, ist die nackte Oberfläche den aufprallenden Regentropfen schutzlos ausgesetzt. Nach Angaben von Meyer und Mannering (1967) entspricht die Aufprallenergie (oder kinetische Energie) der Regentropfen, die in einem Jahr auf einen Hektar Land fallen, in etwa der Energie, die durch 50 Tonnen Dynamit freigesetzt wird. Diese Aufprallenergie zerkleinert die Bodenaggregate in winzige Teilchen, die sehr schnell nach Einsetzen eines Regens die drainierenden Grobporen verstopfen und eine oberflächige Verschlammung verursachen, wodurch eine rasche Infiltration des Niederschlagswassers verhindert wird (Abb. 3.1 und 3.2). Das abfließende Wasser reißt den Boden mit sich und führt zu Erosionsschäden unterschiedlichen Ausmaßes.

Wischmeier und Smith (1961) faßten die **Faktoren**, die zu Erosion führen, zu einer Bodenabtragungsgleichung (Universal Soil Loss Equation, USLE) zusammen. Mit ihr läßt sich der durchschnittliche jährliche **Bodenabtrag** A in t pro ha schätzen.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

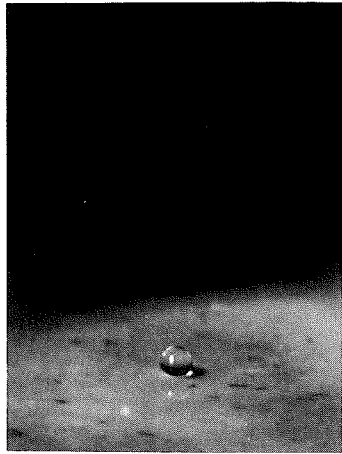
Im folgenden werden die einzelnen Faktoren in Anlehnung an Schwertmann (1982) erläutert:

R = **Regenfaktor** (Erosivity):

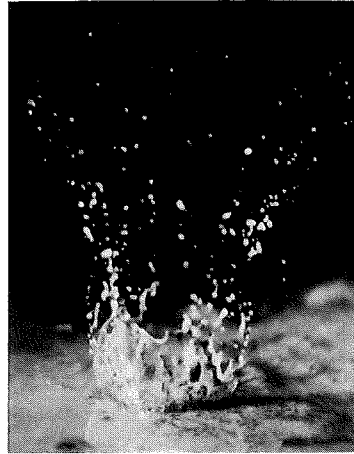
Neben der Niederschlagsmenge geht in diesen Faktor auch die kinetische Energie der aufprallenden Regentropfen ein. Die kinetische Energie wird vor allem durch die Tröpfchengröße und die Intensität der Niederschläge beeinflusst.

K = **Bodenerodierbarkeitsfaktor** (Erodibility):

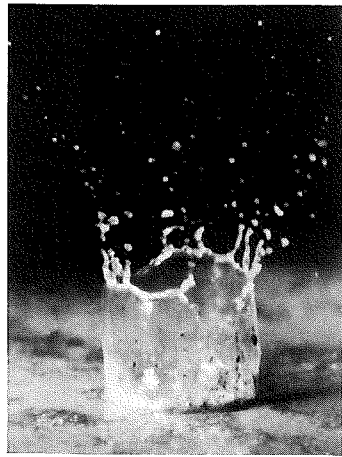
Dieser Faktor spiegelt die besonderen Bodeneigenschaften wieder. Je leichter die Bodenaggregate zerteilbar und die Bodenpartikel getrennt werden und je weniger wasserdurchlässig ein Boden ist, desto höher ist der Bodenerodierbarkeitsfaktor. Schluffreiche sowie sandige, humusarme und verdichtete Böden sind besonders leicht erodierbar und in hohem Maße erosionsgefährdet.



1



3



2



4

Abb. 3.1: Nackter Boden ist der kinetischen Energie aufrallender Regentropfen schutzlos preisgegeben. Die Bilder (1–4) zeigen den Aufprall eines Regentropfens von ca. 3,2 mm Durchmesser auf nackten, nassen Boden. Die Aufprallgeschwindigkeit beträgt etwa 9 m/s. Die Kraft wirft nasse Erde und Wasser in alle Richtungen nach außen auf einen Radius von 0,6 bis 1,5 m. Der resultierende Krater ist etwa 4 mal so groß wie der Regentropfen.
(Photos: Naval Research Laboratory/USDA – Soil Conservation Service, zur Verfügung gestellt von J. K. Mitchell)

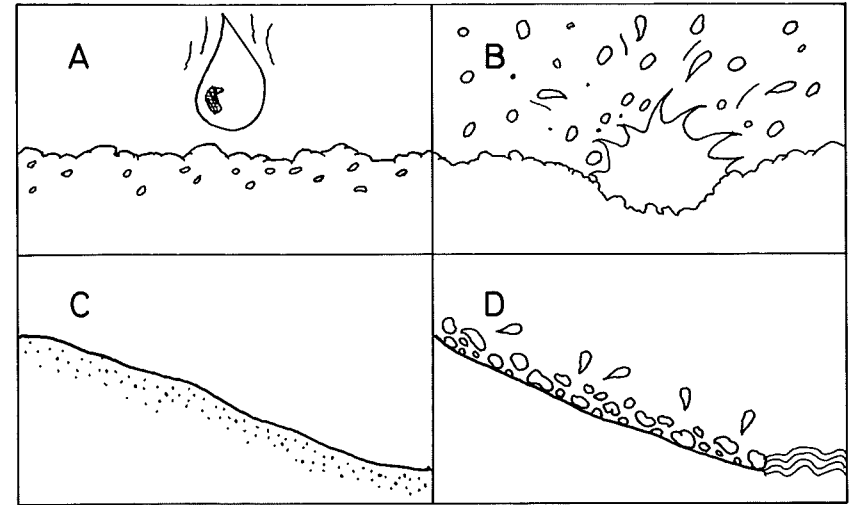


Abb. 3.2: Ablauf des Erosionsprozesses. Durch den Aufprall des Tropfens auf den unbedeckten Boden (A) werden die Bodenaggregate in winzige Teilchen zerkleinert (B), die die Bodenporen verstopfen und einen oberflächigen Abfluß des Niederschlagswassers erzwingen (C). Das abfließende Wasser reißt Bodenteile mit sich, die bei geringer Fließgeschwindigkeit an tieferen Stellen abgelagert werden (D).

LS = **Hangfaktor** (Slopefaktor):

Hangneigung und Hanglänge bestimmen den Hangfaktor. Je steiler und länger der Hang ist, desto größer sind Geschwindigkeit und Menge des abfließenden Wassers. Das Transportpotential von Fließgewässern wächst überproportional mit der Abflußgeschwindigkeit.

C = **Bearbeitungs- und Bodenbedeckungsfaktor**
(Crop management factor):

Je schlechter die Bodenoberfläche durch wachsende Pflanzen oder Pflanzenrückstände gegen Regen geschützt ist, desto höher ist der Faktor C. Das Pflanzenmaterial an der Oberfläche fängt die Aufprallenergie der Regentropfen auf und verhindert so die Zerkleinerung der Aggregate, die Verstopfung der Poren und die Oberflächenverschlammung. Der Faktor berücksichtigt außerdem den Bearbeitungszustand des Bodens. Intensive Bodenbearbeitung und starke Zerkleinerung der Bodenaggregate führen zu einer Erhöhung von C und damit zu höherem Abtrag (A).

P = **Erosionsschutzfaktor** (Conservation practices):

Dieser Faktor bezieht sich auf Erosionsschutzmaßnahmen wie die Anlage von Terrassen oder Konturdämmen, hangparallele Bearbeitung, Streifenanbau usw.

Die Bodenabtragungsgleichung wurde speziell für die Verhältnisse in den USA entwickelt und ermöglicht dort eine verhältnismäßig zuverlässige Vorhersage von Erosionsverlusten. Dabei kann zur statistischen Bearbeitung auf eine außerordentlich große Anzahl von Einzelmessungen über lange Zeiträume zurückgegriffen werden. Diese Voraussetzungen werden in den Entwicklungsländern kaum erfüllt. Trotzdem versuchen viele Wissenschaftler, so schnell wie möglich die erforderlichen Informationen zur Aufstellung der Bodenabtragungsgleichung durch Anlage von Feldversuchen zu gewinnen.

Leprun (1981) faßte die bestehenden Zweifel zur Übertragbarkeit der Gleichung auf die Verhältnisse in Brasilien wie folgt zusammen:

- Der Faktor R, der in den USA ermittelt wurde, ist bezüglich seiner Übertragbarkeit auf Gebiete mit höheren Niederschlagsintensitäten bislang nicht eingehend überprüft worden.
- Gleiche Einwände bestehen für die Bestimmung von K mit der für die Verhältnisse der USA entwickelten Nomogramm-Methode.
- LS ist der besonders problematische Faktor der Gleichung. Ein falsch eingeschätzter Faktor LS muß bei der Extrapolation der Bodenverluste aus Standardparzellen auf andere topographische Verhältnisse zu Fehlschätzungen des Abtrages führen.

Obwohl die Bodenabtragungsgleichung sehr nützlich für die Vorausschätzung von Bodenverlusten durch Erosion sein kann, wird sie oft mißbraucht und falsch interpretiert (Phillips und Phillips, 1984). Zum Beispiel verlassen nicht alle Erosions-sedimente, die am Hang gelöst werden, das Feld. Auch stehen (weder in Brasilien noch in den USA) ausreichend erforschte und zuverlässige C-Faktoren für die verschiedenen Formen der Direktsaat und der Minimalbodenbearbeitung zur Verfügung.

Für Brasilien müßte viel Forschungsarbeit geleistet werden, bevor die Bodenabtragungsgleichung zuverlässige Ergebnisse liefern könnte. An zahlreichen Institutionen in Brasilien werden solche Untersuchungen bereits durchgeführt.

Unabhängig davon darf jedoch nicht übersehen werden, daß die **Bodenabtragungsgleichung kein geeignetes Instrument** ist, Maßnahmen der Erosionskontrolle zu entwickeln. Einzelmaßnahmen bedürfen gesonderter Untersuchungen, die sich nach den jeweiligen Standortverhältnissen zu richten haben. Genau in diesem Bereich bestand in Südbrasilien ein Informationsdefizit, das durch die Projektarbeiten vermindert werden sollte. Aufgrund der bereits festgestellten fort-

geschrittenen Erosionsschäden in Südbrasilien waren sofortiges Handeln und die Umsetzung der bereits gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis erforderlich. Daneben waren weitere Zusammenhänge wissenschaftlich zu untersuchen, um einen wirksamen Bodenschutz mit geeigneten Anbausystemen für die Standortbedingungen des Projektgebiets zu entwickeln. Diese Anbausysteme sollten

- den direkten Aufprall von Regentropfen auf die Bodenoberfläche reduzieren,
- die Trennung von Bodenpartikeln verringern,
- die Wasserinfiltration in den Boden erhöhen und
- die Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses verlangsamen.

4.0 Bodenbearbeitungsverfahren am erosionsgefährdeten Standort

4.1 Aufgaben und Ziele

Auf landwirtschaftlichen Betrieben in Südbrasilien wurde den Auswirkungen der Bodenbearbeitung bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Häufig herrscht die Meinung vor, daß die Bodenbearbeitung eine äußerst einfache Aufgabe sei, die keine besonderen Kenntnisse erfordert, da sie ja seit Jahrhunderten von Bauern ohne jegliche Ausbildung praktiziert wurde. Die von europäischen Siedlern in Brasilien eingeführten Bodenbearbeitungsverfahren nach dem Prinzip des »reinen Tisches« (Abb. 4.1), die für eine störungsfreie Ablage des Saatgutes von Vorteil sein können, sind bei der Oberflächengestaltung und den Niederschlagsverhältnissen in Paraná ungeeignet.



Abb. 4.1: Eine unbedeckte, glatte, feingekrümelte Bodenoberfläche begünstigt das Auftreten der Erosion. (Photo: R. Derpsch)

Eine zweckmäßige, das heißt standortgerechte und fruchtartenspezifische Bodenbearbeitung kann nur durchgeführt werden, wenn deren Aufgaben und Ziele klar definiert werden. Im allgemeinen gilt der Grundsatz: „Je intensiver die Bodenbearbeitung, desto größer ist die Gefahr von Erosionsschäden“.

Nach Krause und Lorenz (1979) sind die Ziele der Bodenbearbeitung unter allen Klimabedingungen gleich, aber ihre Rangfolge ist unterschiedlich. In Anlehnung an diese Autoren lassen sich die Ziele wie folgt formulieren:

- Vernichtung und Unterdrückung von Unkräutern,
- Schaffung günstiger Keim- und Wachstumsbedingungen für die Kulturpflanzen (Saatbettbereitung),
- Erhaltung des Bodens am Standort der Kulturpflanze.

Je nach Bodenbeschaffenheit, Fruchtart und betriebsspezifischen Gegebenheiten können für Paraná weitere Ziele definiert werden (Mazuchowski und Derpsch, 1984):

- Einarbeitung und Vermischung von Kalk, Dünger und Pflanzenschutzmitteln in den Boden,
- Einarbeitung von Pflanzenresten,
- Einebnung des Bodens für eine einwandfreie Arbeit der Maschinen von der Saat bis zur Ernte,
- Schaffung besonderer Oberflächenstrukturen, zum Beispiel gewellte Oberfläche für den Anbau von Zuckerrohr und Kartoffeln,
- Vorbereitung des Geländes für die Bewässerung,
- Beseitigung von Oberflächenverkrustungen zur Förderung des Feldaufgangs,
- Beseitigung von Verdichtungen,
- Rückverdichtung des Bodens, wenn dieser sich in zu lockerem Zustand befindet,
- Erhöhung der Wasserspeicherung.

Um schädigende Nebenwirkungen der Bodenbearbeitung wie zum Beispiel Verdichtungen, Erosion usw. zu vermeiden, sollten die Ziele mit der geringsten Zahl von Arbeitsgängen nach dem Prinzip: „Soviel wie notwendig, aber so wenig wie möglich“, erreicht werden (Kahnt, 1976). Dies ist in Paraná besonders wichtig, denn aufgrund der Bodenbeschaffenheit brauchen große und sehr feste Kluten nur kurze Zeit den Witterungseinflüssen ausgesetzt zu werden (Anfeuchten — Trocknen — Quellen — Schrumpfen), um zu zerfallen (Abb. 4.2).

Für eine Bearbeitung, die darauf ausgerichtet ist, den Boden zu erhalten und Erosionsschäden zu vermeiden, wird häufig der Begriff konservierende Bodenbearbeitung („Conservation tillage“) verwendet. Die **konservierende Bodenbearbeitung** ist ein Verfahren, bei dem aus Ernterückständen der Hauptfrucht



Abb. 4.2: Große, feste Erdklumpen fallen durch Quellen und Schrumpfen in kürzester Zeit auseinander. (Pflügen am 21. 10., 50 mm Regen am 4. 11., 24 mm Regen am 8./9. 11., Photo am 11. 11. 1980) (Photo: R. Derpsch)

und/oder Zwischenfrucht durch Vermischung mit dem Boden eine oberflächen-nahe Mulchschicht erstellt wird oder bei dem diese Rückstände ohne Einarbeitung als Mulch an der Oberfläche belassen werden. In bzw. durch Mulchschichten werden Saat- oder Pflanzgut abgelegt (Sommer et al., 1986).

Allmaras und Dowdy (1985) bezeichnen als „conservation tillage“ diejenigen Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren, bei denen nach der Aussaat mehr als 30 % der Bodenoberfläche mit Pflanzenresten bedeckt sind.

4.2 Traditionelle Bodenbearbeitung mit der schweren Scheibenegge

Die traditionelle Grundbodenbearbeitung wird in Paraná mit der schweren Scheibenegge durchgeführt (Abb. 4.3). Das Gerät besteht aus 12 bis 24 Scheiben mit einem Durchmesser von 61 bis 66 cm, die V-förmig an einem verstellbaren Rahmen angebracht sind. Jede Scheibe ist mit 60 bis 100 kg belastet. Trotzdem dringt das Gerät nicht tiefer als 10 bis 13 cm in den Boden ein. Zur Einebnung des Geländes folgen anschließend 2 bis 4 Bearbeitungsgänge mit der leichten



Abb. 4.3: Die schwere Scheibenegge, das am häufigsten verwendete Bodenbearbeitungsgerät, führt zu erheblichen Erosionsschäden in Paraná. (Photo: C. Roth)

Scheibenegge (Scheibendurchmesser 46 bis 51 cm, 20 bis 40 kg Auflast je Scheibe).

Die schwere Scheibenegge darf nicht mit der extrem schweren Scheibenegge verwechselt werden, die das gleiche Konstruktionsprinzip aufweist (Scheibendurchmesser 76 bis 91 cm, 140 bis 300 kg Auflast je Scheibe). Die extrem schwere Scheibenegge wird für die tiefere Bodenbearbeitung in speziellen Kulturen wie Zuckerrohr verwendet. Sie führt zu einem sehr hohen Kraftstoffverbrauch und wird nicht für einjährige Kulturen empfohlen.

Unkrautbekämpfungs- und Zerkleinerungswirkung der schweren Scheibenegge sind gut. Da die Schlepperräder den Unterboden verdichten und die Egge den Oberboden sehr feinkrümlig hinterläßt, liegt immer leicht erodierbares Lockermaterial an der Oberfläche, welches vom hangabwärts fließenden Wasser mitgerissen werden kann. Es kommt daher zu starken Erosionsschäden.

Aufgrund der einfachen Handhabung und der guten Unkrautbekämpfung des Gerätes hat dieses Bodenbearbeitungsverfahren in der Praxis die größte Verbreitung erreicht. Etwa 70 % der gesamten Anbaufläche in Paraná werden mit der schweren Scheibenegge bearbeitet.

4.3 Konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Scheibenpflug

Unter konventioneller Bodenbearbeitung wird in Paraná das 20 bis 25 cm tiefe Pflügen mit dem Scheibenpflug (Abb. 4.4) verstanden.

Für Versuchs- und Forschungszwecke geht man davon aus, daß nach der Grundbodenbearbeitung mit dem Scheibenpflug die Einebnung im allgemeinen mit 2 Eggenstrichen (leichte Scheibenegge) erfolgt, obwohl in der Praxis gewöhnlich mehr Arbeitsgänge durchgeführt werden.

Der Scheibenpflug weist in Brasilien einen Scheibendurchmesser von 66 bis 71 cm auf. Die an die Dreipunkthydraulik gekoppelten Geräte haben 2 bis 5 Scheiben mit einem Gesamtgewicht von 100 bis 200 kg pro Scheibe und die gezogenen Geräte 3 bis 7 Scheiben mit einem Gesamtgewicht von 250 bis 430 kg pro Scheibe.

Weniger als ein Viertel der Ackerfläche von Paraná werden heute mit dem Scheibenpflug bearbeitet. Gründe dafür sind geringe Schlagkraft und hoher Kraftstoffverbrauch. Außerdem wird bei trockenem Boden selten die erwünschte Arbeitstiefe von 20 bis 25 cm erreicht. Die exakte Einstellung des Gerätes erfordert besondere Kenntnisse. Hinzu kommen Anforderungen an ein besseres Management, das sicherstellt, daß auf jedem Schlag zwischen 2 Konturdämmen der



Abb. 4.4: Mit dem Scheibenpflug wird die konventionelle Bodenbearbeitung durchgeführt. (Photo: R. Derpsch)

Boden alternierend hangabwärts und hangaufwärts geschüttet wird. Das Schütten hangaufwärts ist nicht immer problemlos. Die nicht parallel laufenden Konturdämme bereiten weitere Schwierigkeiten, die aber auch bei anderen Bodenbearbeitungsgeräten auftreten.

Der **Scharpflug** hat in Paraná (außer bei tierischer Anspannung) nie größere Verbreitung gefunden. Einerseits ist der Einsatz kurz nach der Rodung des Urwalds wegen der zurückbleibenden Wurzelmassen nicht möglich (der Scheibenpflug rollt darüber), andererseits verkleben die tonreichen Oxisole und Alfisole das Streichblech, so daß der Boden lediglich aufgerissen und nicht einwandfrei gewendet wird. Erst bei Tongehalten unter 30 % ist eine saubere Pflugarbeit möglich (Hoogmoed, 1982).

Solche Verhältnisse treffen für die Mehrheit der Böden in Paraná nicht zu. Auch bei den Scheibenpflügen haftet der Boden während der Bearbeitung an den Scheiben. Durch die rotierende Arbeitsweise der Scheiben sind diese jedoch stärker selbstreinigend, womit eine gute Pflugarbeit bei Bearbeitung im günstigen Feuchtigkeitsbereich möglich wird.

Häufig wird in der brasilianischen Literatur ein zweimaliges Pflügen vor der Aussaat empfohlen. Dies mag von der aus Europa bekannten Bodenbearbeitung (Herbstfurche oder Frühjahrsfurche bzw. Schäl- und Pflügen) herrühren. Marques und Bertoni (1961) wiesen bereits frühzeitig darauf hin, daß durch zweimaliges Pflügen ein erhöhter Bodenverlust durch Erosion hervorgerufen wird, die Erträge aber im Vergleich zum einmaligen Pflügen gleich bleiben. Darüber hinaus verbietet sich ein zweimaliges Pflügen schon wegen der hohen Kosten.

4.4 Minimalbodenbearbeitung mit dem Grubber¹⁾

Der Grubber war bis 1975 in Brasilien praktisch nicht bekannt. Es wurden lediglich einige Untergrundlockerer mit maximal 3 oder 4 Zinken eingesetzt. Sie arbeiteten im Prinzip ähnlich wie der Grubber, waren jedoch aufgrund der großen Zinkenabstände weniger für die Grundbodenbearbeitung geeignet und ermöglichen nur eine ungenügende Unkrautbekämpfung. Seit Ende der 70er Jahre werden in Brasilien verschiedene Grubbertypen angeboten (sowohl der amerikanische Typ mit halbstarren, C-förmigen Zinken als auch der europäische Typ mit starren Zinken), die aber nicht immer den gestellten Anforderungen entsprechen. Um eine verstopfungsfreie Arbeit zu gewährleisten, ist eine Rahmenhöhe von 70 bis 80 cm und eine Verteilung der Zinken auf 3 bis 4 Balken erforderlich. Weiterhin darf für eine ausreichende Unkrautbekämpfung bei Verwendung von Meißel-

¹⁾ Anmerkung: Nach heutigem Verständnis kann der Begriff Minimalbodenbearbeitung im Zusammenhang mit Grubberbearbeitung Mißverständnisse hervorrufen. Da bei Projektbeginn das Bearbeitungsverfahren so eingeführt und zudem in mehreren Veröffentlichungen unter diesem Begriff dargestellt wurde, wird auch hier so verfahren.

scharen und bei einer Bearbeitungstiefe von 20 cm ein Strichabstand von 20 bis 25 cm nicht überschritten werden (Hoogmoed und Derpsch, 1985). Für die Durchführung der Bodenbearbeitungsversuche wurde ein vierbalkiger Grubber mit 20 cm Strichabstand und 70 cm Rahmenhöhe mit Ringelwalze und Drahtwälzgege als Nachlaufgeräte aus Deutschland eingeführt. Das Gerät wurde mit einer Arbeitstiefe von 18 bis 22 cm eingesetzt, wofür bei 11 Zinken ein Leistungsbedarf von 110 PS erforderlich war (Grubbertyp A, Abb. 4.9 und 4.10).

Die Entwicklung von neuen Grubbertypen wurde von Firmen in Rio Grande do Sul, in Zusammenarbeit mit dem GTZ/IAPAR-Projekt, in Angriff genommen. Die mit 7 Zinken ausgestatteten Geräte (25 cm Strichabstand) arbeiten bei Schleppebreiten von ca. 180 cm noch spurdeckend. Die Zinken sind verstellbar, so daß das Gerät mit 6 Zinken auch als Streifengrubber einsetzbar ist und dann mit den weitverbreiteten 60 PS-Schleppern gezogen werden kann (Abb. 4.5)

Der Grubber wird in Brasilien nur einmal gefahren, gefolgt von 1 bis 2 Eggenstrichen mit der leichten Scheibenegge. Ein kreuzweises Befahren ist aufgrund der durch Konturdämme bedingten geringen Schlagbreite nicht möglich und auch bodenbedingt nicht erforderlich, da eine gute Krümelung in einem Arbeitsgang erreicht wird. Durch Hinterlassung von Pflanzenresten an der Oberfläche wird ein ausreichender Erosionsschutz erzielt (Abb. 4.6). Diese Rückstände erfordern jedoch den Einsatz von Sämaschinen mit Scheibenscharen. Trotz der Vorzüge des Grubbers im Hinblick auf eine bodenschonende Bearbeitung ist es bisher nicht gelungen, ein breites Interesse für das Gerät zu wecken. Nur etwa 0,5 % der Fläche von Paraná werden zur Zeit mit dem Grubber bearbeitet. Dies liegt vermutlich daran, daß bisher nur wenig über den Grubber und seine Vorteile bei den Landwirten bekannt ist, die Landmaschinenindustrie Pflüge und schwere Scheibeneggen gut verkauft und die Kosten und Risiken der Einführung eines neuen Konzeptes gescheut werden. Auch mag die geringere Wirkung bezüglich der Unkrautkontrolle gegenüber Scheibengeräten eine Rolle spielen.

Die doppelt so hohe Flächenleistung und ca. 30 % Kraftstoffersparnis im Vergleich zum Pflug (Abschnitt 4.8) sowie die im Vergleich zur schweren Scheibenegge und dem Pflug wesentlich bessere Bodenkonservierung lassen die künftige Durchsetzung dieses Konzeptes der Bodenbearbeitung erwarten.

4.5 Untergrundlockerung

Die Untergrundlockerung mit Bearbeitungstiefen von mehr als 35 cm ist in Paraná von Landmaschinenindustrie und -handel immer wieder propagiert worden. Die untersuchten Oxisole und Alfisole wiesen aber lediglich in 10 bis 25 cm Tiefe eine Verdichtung auf und zeigten im Unterboden eine ungestörte Struktur mit hohem Makroporenanteil. In sehr seltenen Fällen sind Verdichtungen in tieferen Schichten festgestellt worden.



Abb. 4.5: Neu entwickelter Grubber in Brasilien. Durch Abnahme eines Zinkens kann das Gerät als Streifengrubber verwendet werden und benötigt dann nur 60 PS Zugkraft. (Photo: R. Derpsch)



Abb. 4.6: Pflanzenrückstände an der Bodenoberfläche sorgen nach dem Einsatz des Grubbers für eine gute Bodenkonservierung. Bearbeitungsversuch Rolândia nach einer Durchfahrt mit Nachlaufgeräten. (Photo: R. Derpsch)

Untersuchungen aus dem Staat São Paulo zeigen, daß ein Befahren mit der schweren Scheibenegge nach der Untergrundlockerung die Wirkung dieser tiefen Bearbeitung aufhebt. Ähnliche Erfahrungen wurden in den USA gemacht, wo empfohlen wird, die Nachbearbeitung nach der Untergrundlockerung so durchzuführen, daß die Schlepperräder mindestens 30 cm von der durch Zinken aufgerissenen Furche entfernt bleiben, um die Wiederverdichtung zu vermeiden (Anonym, 1976). Das ist in der Praxis nur selten möglich. Untersuchungen am IAPAR haben gezeigt, daß die Untergrundlockerung weder zur Verbesserung der Bodenstruktur noch zur Erhöhung der Erträge beitragen konnte (Vieira, 1984). Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, daß bei den sehr tonreichen Böden regelmäßige Trockenperioden für Bodenrisse sorgen, die über 40 cm tief gehen und eine natürliche Lockerung verursachen. Die Untergrundlockerung ist daher in Paraná nur in seltenen Fällen gerechtfertigt.

4.6 Wenig verbreitete Bodenbearbeitungsverfahren

Neben den bisher beschriebenen Bodenbearbeitungsverfahren werden andere Geräte in geringem Umfang eingesetzt. Hervorzuheben ist der **Spatenpflug**, der statt Scharen oder Scheiben mit spatenförmigen, nicht wendenden Werkzeugen ausgestattet ist und eine Kombination zwischen Grubber und Pflug darstellt. Wegen der einfachen Bauweise und der im allgemeinen verstopfungsfreien Arbeit wird das Gerät zunehmend eingesetzt. Da viele Pflanzenrückstände und eine sehr raue Bodenoberfläche hinterlassen werden, ist anzunehmen, daß eine bessere Bodenkonservierung als mit dem Pflug erreicht werden kann.

Die **Fräse** hat wenig Eingang in die Praxis gefunden. Sie wirkt stark erosionsfördernd und ist vorwiegend im Gemüsebau vorzufinden.

Seit Herstellung der **Federzinkenegge** in Paraná ab Mitte der 70er Jahre findet auch dieses Gerät zunehmend Interesse. Da die Zinken jedoch bei hoher Mulchauflage verstopfen, ist die Federzinkenegge für eine konservierende Bodenbearbeitung weniger geeignet.

Dagegen kann die **Kreiselegge** auch bei hohen Mulchmengen eingesetzt werden. (Hoogmoed, 1982). In einem Arbeitsgang können im allgemeinen die gleichen Wirkungen wie mit zwei Eggenstrichen der Scheibenegge erreicht werden. Die Kreiselegge scheint für die konservierende Bodenbearbeitung geeignet, wird jedoch in Brasilien bisher nicht hergestellt. Der Import von Maschinen ist nicht möglich oder extrem teuer.

In geringem Umfang wird in Brasilien die **Rüttelegge** eingesetzt, die jedoch bei einer Mulchauflage die Pflanzenreste sammelt und vor sich her schiebt. Dasselbe gilt für die **Zinkenegge**, die vor allem bei tierischer Anspannung Einsatz findet.

Da die beschriebenen Böden ein sehr geringes Raumgewicht und hohes Porenvolumen aufweisen, sind sie nach der Bodenbearbeitung meistens zu locker, was sich nachteilig auf das Pflanzenwachstum auswirkt. Sidiras und Vieira (1984) konnten nachweisen, daß sowohl Weizen als auch Sojabohnen und Örettich dort besser wuchsen und höhere Erträge brachten, wo die Schlepperräder den Boden während der Aussaat verdichtet hatten. Dies wird auf eine bessere Wasserführung unter dichter gelagertem Boden zurückgeführt und deutet darauf hin, daß das **Walzen** vor oder nach der Aussaat auf diesen Böden von Vorteil sein könnte.

4.7 Direktsaatverfahren

Ein Direktsaatverfahren, bei dem das Saatgut mit einem Handsäegerät (Matraca, vgl. Abb. 2.12) in den unbearbeiteten Boden abgelegt wird, ist in Paraná vor allem in Kleinbetrieben in Hanglagen seit langem weit verbreitet (Abschnitt 2.3).

Die Direktsaat der vollmechanisierten Feldwirtschaft bezeichnet ein Aussaatverfahren, bei dem das Saatgut direkt in den unbearbeiteten Boden abgelegt wird, Erntesterne der Vorfrucht auf der Bodenoberfläche verbleiben und die Unkrautbekämpfung mit Herbiziden erfolgt. Das Verfahren hatte sich bis 1984 auf ca. 300.000 ha oder 5 % der Ackerfläche von Paraná ausgedehnt.

Die Anwendung der Direktsaat wurde in Brasilien erst möglich, nachdem geeignete Herbizide verfügbar waren, die eine ausreichende Unkrautunterdrückung vor und nach der Saat ermöglichen, und nachdem geeignete Sämaschinen hergestellt wurden, die durch Pflanzenrückstände an der Oberfläche schneiden und in den festen Boden eindringen konnten.

Zunächst waren als Sämaschinen in Paraná nur Fräsrillengeräte verfügbar, die eine 5 bis 6 cm breite Rille in den Boden reißen, in die das Saatgut abgelegt wird (Abb. 4.7 und Abb. 4.8).

Mit der Einführung von Dreischieben-Drillgeräten, die die Ablage des Saatgutes in einen in den festen Boden gezogenen Säschlitz ermöglichen (Abschnitt 9.3), ist das Fräsrillenverfahren aus der landwirtschaftlichen Praxis Brasiliens verschwunden. In den im Projekt durchgeführten Versuchen mußte jedoch aus versuchstechnischen Gründen (Anbau an die Dreipunkthydraulik und beschränkte Wendemöglichkeiten in den Parzellen) das Fräsrillenverfahren eingesetzt werden.

Die Direktsaat ist im Vergleich zu den anderen Bearbeitungsverfahren als einziges in der Lage, mit der Mulchschicht die Energie aufprallender Regentropfen wirksam abzuschirmen und der Erosion erfolgreich entgegenzuwirken.



Abb. 4.7: Direktsaat von Sojabohnen mit dem Fräsrillengerät (50 cm Reihenabstand).
(Photo: R. Derpsch)



Abb. 4.8: In Direktsaat mit dem Fräsrillengerät ausgesäte Sojabohnen nach Weizen auf dem Direktsaat-Fruchtfolge-Versuch.
(Photo: R. Derpsch)

4.8 Leistung und Kraftstoffverbrauch

Die wichtigsten Geräte zur Primärbodenbearbeitung — Scheibenpflug, schwere Scheibenegge und vier Grubbertypen (Abb. 4.9 und 4.10) wurden auf Leistung und Kraftstoffverbrauch untersucht.

Der Kraftstoffverbrauch war beim Scheibenpflug am höchsten (Tabelle 4.1). Der Verbrauch der schweren Scheibenegge und des Schwergrubbers war bei einmaliger Bearbeitung deutlich geringer. Scheibenegge und Scheibengrubber ermöglichten eine etwa doppelt so hohe Arbeitsleistung wie der Scheibenpflug.

Der Kraftstoffverbrauch im Direktsaatsystem lag bei etwa einem Drittel und der Arbeitszeitbedarf bei etwa einem Viertel im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung (Abschnitt 8.1). Bei einer Energiebilanz ist jedoch der Energiebedarf zur Herstellung der Herbizide zu berücksichtigen.

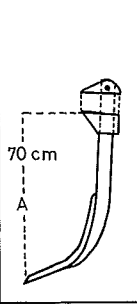
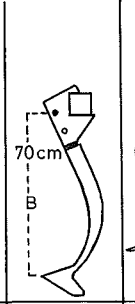
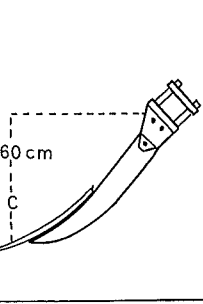
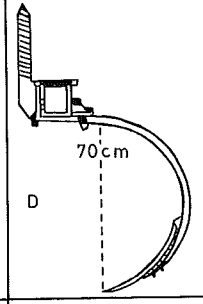
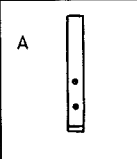
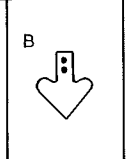
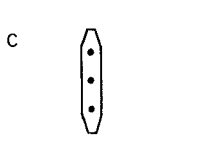
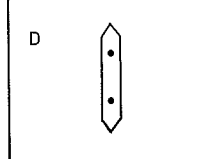
		Starre Zinken		Halbstarrer Zinken
		Senkrecht	Schräg	C-förmig
Zinken				
Schare				

Abb. 4.9: Zinkenformen der untersuchten Schwergrubber.
(Hoogmoed und Derpsch, 1985)

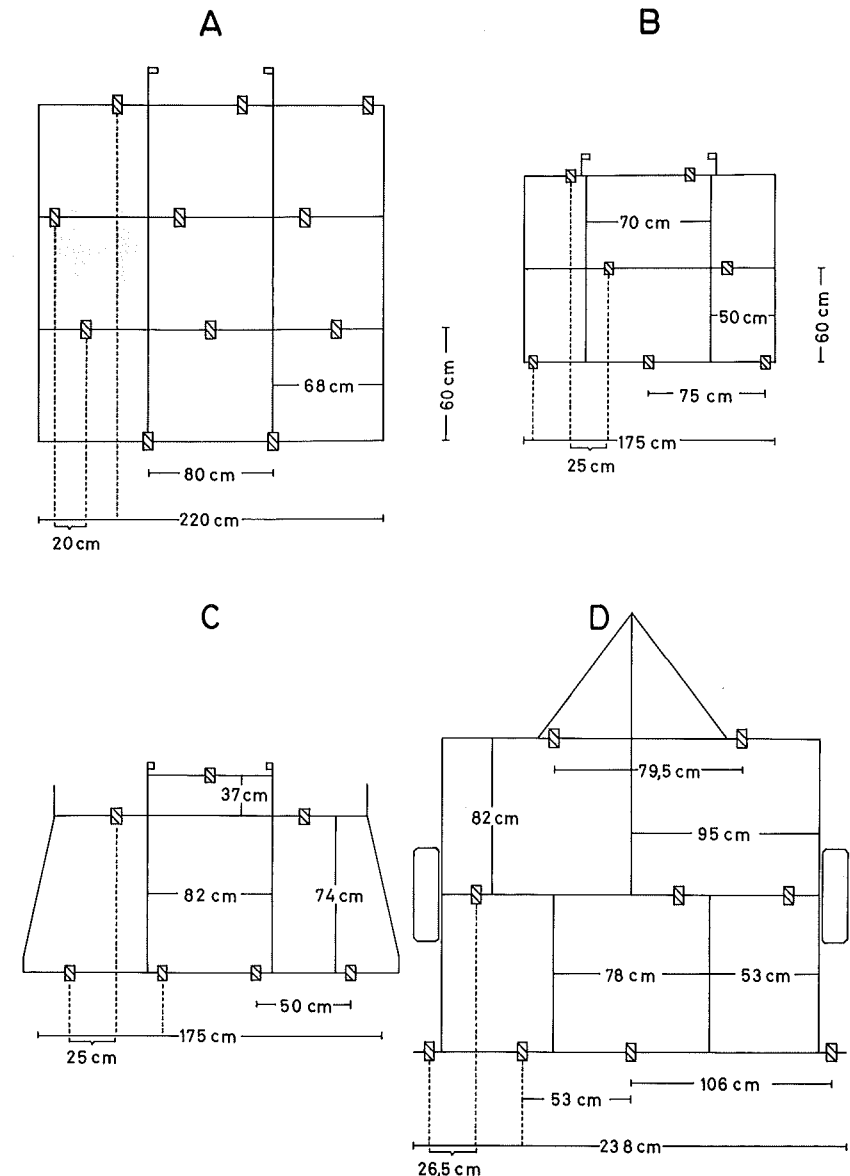


Abb. 4.10: Zinkenverteilung im Grubberahmen und Zinkenabstand bei den verwendeten Grubbertypen

Tabelle 4.1 Kraftstoffverbrauch und Arbeitsleistung verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte, Londrina

Behandlungen	Kraftstoffverbrauch		Arbeitsleistung ha/h
	l/ha	rel.	
1. Scheibenpflug	25,7	100	0,40
2. Schwere Scheibenegge	13,9	54	0,90
3. Schwergrubber A	17,1	67	0,83
4. Schwergrubber B	20,2	79	0,78
5. Schwergrubber C	17,4	68	0,87
6. Schwergrubber D	20,6	80	0,70

(Hoogmoed und Derpsch, 1985)

4.9 Verfügbare Feldarbeitstage

Die Bodenbearbeitung gehört zu den zeitaufwendigsten Feldarbeiten und muß daher sorgfältig geplant werden. Um die Tage zu ermitteln, an denen Feldarbeiten witterungsbedingt möglich sind, wurden die klimatischen Erhebungen der Standorte Londrina (Nordparaná) und Ponta Grossa (Südparaná) analysiert. Dafür standen 23 bzw. 27 Erhebungsjahre zur Verfügung. Das Jahr wurde in Zeiträume von 60 Tagen aufgeteilt, mit Ausnahme des letzten Zeitraumes, der 65 Tage hat.

Der Analyse lagen zwei Hypothesen zugrunde. Die erste Hypothese ging davon aus, daß es nicht möglich ist, die Feldarbeiten am ersten Tag nach Niederschlägen von mehr als 10 mm durchzuführen.

Mit der zweiten Hypothese (Computeranalyse) wurde auch die Verdunstung berücksichtigt. Es wurde angenommen, daß die Bodenbearbeitung nicht möglich ist, wenn dem ersten trockenen Tag drei Tage Niederschlag mit mehr als 30 mm vorangegangen sind und die Verdunstung mehr als 3 mm pro Tag am ersten und zweiten Tag ohne Regen beträgt.

In Londrina waren die durchschnittlich verfügbaren Feldarbeitstage am niedrigsten im Zeitraum Januar/Februar (16 bis 21 Tage) und am höchsten im Zeitraum Juli/August (ca. 45 Tage) (Tab. 4.2). In Ponta Grossa liegen die verfügbaren Feldarbeitstage in denselben Zeiträumen bei 20 bis 22 bzw. 42 Tagen (Tab. 4.3). Welche Zeitspannen im Rahmen einer Fruchtfolge (Vegetationszeiten-Brachezeiten) zur Verfügung stehen, kann dem Abschnitt 9.5 entnommen werden.

Nach der Sojaernte (Mitte März) bis zur Weizenaussaat (Mitte April) stehen in Londrina durchschnittlich nur 17 Feldarbeitstage zur Verfügung. In dieser Zeit lassen die Niederschläge bereits nach und Trockenperioden sind keine Seltenheit. Der Landwirt muß deshalb im allgemeinen nach nur zwei Regenereignissen seine

Tabelle 4.2 Verfügbare Feldarbeitstage, Londrina, Durchschnittswerte 1958-1981

Zeitraum (Tage)	1-60	61-120	121-180	181-240	241-300	301-365
A Tage ohne Niederschlag	29,5	41,4	46,8	49,4	42,5	38,4
B Tage mit Niederschlägen > 10 mm	13,3	7,2	5,6	3,8	8,3	12,8
C Verfügbare Feldarbeitstage Hypothese 1, A-B	16,2	34,2	41,2	45,6	34,2	25,6
D Verfügbare Feldarbeitstage Hypothese 2, Computeranalyse	20,9	34,5	40,1	45,2	35,1	28,5

Quelle: Hoogmoed, W., 1982

Tabelle 4.3 Verfügbare Feldarbeitstage, Ponta Grossa, Durchschnittswerte 1954-1981

Zeitraum (Tage)	1-60	61-120	121-180	181-240	241-300	301-365
A Tage ohne Niederschlag	31,4	40,9	44,6	47,6	41,3	41,6
B Tage mit Niederschlägen > 10 mm	11,7	7,1	6,6	5,5	8,9	10,2
C Verfügbare Feldarbeitstage Hypothese 1, A-B	19,7	33,8	38,0	42,1	32,4	31,4
D Verfügbare Feldarbeitstage Hypothese 2, Computeranalyse	21,9	33,4	37,5	42,1	32,0	31,9

Quelle: Hoogmoed, W., 1982

gesamte Weizenanbaufläche aussäen können. Dies ist bei Bearbeitung des Bodens und 4,8 bis 6,0 Schlepperstunden pro ha schwerer möglich als unter Direktsaat mit nur 2,4 Schlepperstunden pro ha (Tab. 8.1). Feldarbeiten, die nicht jahreszeitlich bedingt sind (wie z. B. Kalkung), sollten stets zu Brachezeiten mit einer hohen Zahl an verfügbaren Feldarbeitstagen durchgeführt werden (z. B. Juli bis August).

4.10 Zusammenfassung

Die von europäischen Siedlern in Brasilien eingeführten Bodenbearbeitungsverfahren des »reinen Tisches«, die für eine störungsfreie Ablage des Saatgutes von Vorteil sein können, sind bei der Oberflächengestaltung und den vorherrschenden Niederschlagsverhältnissen in Paraná ungeeignet, da sie zu starken Erosionsschäden führen.

Eine standortgerechte und fruchtartenspezifische Bodenbearbeitung kann nur durchgeführt werden, wenn deren Aufgaben und Ziele klar definiert werden. Neben der Unkrautvernichtung und Saatbettbereitung ist die Bodenerhaltung vorrangiges Ziel der Bodenbearbeitung. Die Ziele sollten mit einer möglichst geringen Zahl von Arbeitsgängen erreicht werden.

Die traditionelle Bodenbearbeitung mit der schweren Scheibenegge und anschließend 2 bis 4 Bearbeitungsgängen mit der leichten Scheibenegge ist in Paraná weit verbreitet und führt zu starken Erosionsschäden. Eine hohe Flächenleistung bei relativ geringem Kraftstoffverbrauch hat zur Ausbreitung des Gerätes geführt.

Unter konventioneller Bodenbearbeitung wird die Grundbodenbearbeitung mit dem Scheibenpflug verstanden, der 2 Eggenstriche mit der leichten Scheibenegge folgen. Weniger als ein Viertel der Ackerfläche von Paraná wird heute mit dem Scheibenpflug bearbeitet. Dies ist auf den vergleichsweise hohen Kraftstoffverbrauch und die geringe Schlagkraft zurückzuführen.

Der Scharpflug wird kaum eingesetzt. Die meist tonreichen Böden in Paraná verkleben das Streichblech, so daß der Boden lediglich aufgerissen, aber nicht einwandfrei gewendet wird.

In dieser Arbeit wird der Begriff Minimalbodenbearbeitung ausschließlich in Zusammenhang mit dem Grubber benutzt. Der Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber folgen 2 Eggenstriche mit der leichten Scheibenegge. Gegenwärtig ist der Grubber noch wenig verbreitet. Seine Vorzüge liegen in einem besseren Erosionsschutz sowie in einer doppelt so hohen Flächenleistung bei 30 % Kraftstoffersparnis im Vergleich zum Pflug. Der wichtigste Nachteil ist die im Vergleich zu den Scheibengeräten geringere Unkrautkontrolle.

Die Untergrundlockerung mit Bearbeitungstiefen von mehr als 35 cm ist in Paraná von Landmaschinenindustrie und -handel immer wieder propagiert worden. Da die Untergrundlockerung in Paraná weder zur Verbesserung der Bodenstruktur noch zur Erhöhung der Erträge beitragen konnte, wird diese kostenaufwendige Bearbeitung nicht empfohlen.

Mit Direktsaat wird ein Aussaatverfahren bezeichnet, bei dem das Saatgut direkt in den unbearbeiteten Boden abgelegt wird, Erntesterne der Vorfrucht auf der Bodenoberfläche verbleiben und die Unkrautbekämpfung mit Herbiziden erfolgt. Die Direktsaat ist als einziges Verfahren in der Lage, über eine Mulchschicht die Energie aufprallender Regentropfen ganzjährig abzuschirmen und der Erosion erfolgreich entgegenzuwirken. Die Direktsaat hatte sich bis 1984 auf ca. 300.000 ha oder 5 % der Ackerfläche ausgedehnt.

Aufgrund der günstigen physikalischen Eigenschaften der Böden in Paraná kann eine Bodenbearbeitung und das Befahren der Flächen bereits ein bis zwei Tage nach einem Starkregen erfolgen.

In Paraná sind die verfügbaren Feldarbeitstage im Zeitraum Januar/Februar (16 bis 22 Tage) am niedrigsten und im Zeitraum Juli/August (45 Tage) am höchsten. Nach der Sojaernte bis zur Weizenaussaat stehen in Londrina durchschnittlich nur 17 Feldarbeitstage zur Verfügung. Eine termingerechte Aussaat ist unter den vorherrschenden Witterungsbedingungen im allgemeinen nur im Direktsaatsystem (oder mit erhöhtem Maschineneinsatz bei Bearbeitung des Bodens) möglich.