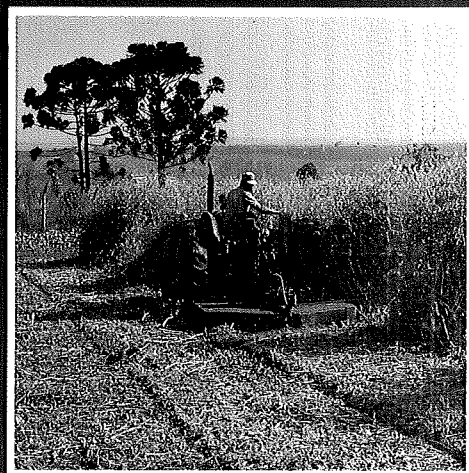
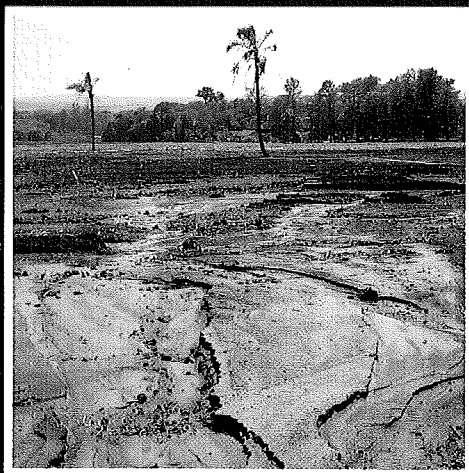




*Erosionsbekämpfung  
in Paraná, Brasilien:  
Mulchsysteme, Direktsaat  
und konservierende  
Bodenbearbeitung*

*R. Derpsch, C.H. Roth, N. Sidiras und U. Köpke*



Erosionsbekämpfung in Paraná, Brasilien:  
Mulchsysteme, Direktsaat und konservierende Bodenbearbeitung

Legenden für Titelfotos

links oben: Schwere Erosionsschäden in Hanglage.

rechts oben: Mulchen von Ölrettich mit dem Sichelmäher. Wachsende Pflanzen und Pflanzenreste bieten guten Erosionsschutz.

links unten: Direktsaat von Sojabohnen in eine Schwarzhafer Mulchdecke. Ganzjähriger Bodenschutz.

rechts unten: Konservierende Bodenbearbeitung mit dem Grubber. Ein großer Teil der Pflanzenrückstände bleibt an der Bodenoberfläche.

Fotos: R. Derpsch

# Erosionsbekämpfung in Paraná, Brasilien: Mulchsysteme, Direktsaat und konservierende Bodenbearbeitung

Derpsch R., Roth C.H., Sidiras N., Köpke U.  
unter Mitarbeit von  
Krause R. und Blanken J.

Eschborn 1988

## CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**Erosionsbekämpfung in Paraná, Brasilien: Mulchsysteme, Direktsaat und konservierende Bodenbearbeitung**/[Hrsg.: Dt. Ges. für Techn. Zusammenarbeit (GTZ); Bundesministerium für Wirtschaftl. Zusammenarbeit]. R. Derpsch ... - Rossdorf: TZ-Verl.-Ges., 1988

(Schriftenreihe der GTZ; Nr. 205)  
ISBN 3-88085-357-6 (GTZ)

NE: Derpsch, Rolf [Mitverf.]; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit <Eschborn>: Schriftenreihe der GTZ

### Herausgeber:

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH  
Dag-Hammarskjöld-Weg 1+2, Postfach 5180, D 6236 Eschborn 1

### Autoren:

Derpsch R., Roth C.H., Sidiras N., Köpke U.  
unter Mitarbeit von Krause R. und Blanken J.

### Redaktion:

Holtkamp S.

### Zeichnungen:

Irmtraut Rathjens, Heike Faust, Ulrike Walbaum, Sabine Mecke, Gunda Kolb

### Druck:

typo-druck-rossdorf, Bruchwiesenweg 19, D 6101 Roßdorf

### Vertrieb:

TZ-Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 1164, D 6101 Roßdorf

ISBN 3-88085-357-6

ISSN 0723-9637

1/7820/1

Alle Rechte der Verbreitung einschließlich Film, Funk und Fernsehen und des auszugsweisen Nachdrucks sowie Speicherung auf Datenträger vorbehalten.

## Inhalt

	Seite
1.0 EINLEITUNG	19
2.0 STANDORTBESCHREIBUNG	21
2.1 Boden und Oberflächengestaltung	23
2.2 Klima und Witterung	28
2.3 Bodennutzungsformen und Betriebsstruktur	33
2.4 Ausmaß der Bodenerosion und Formen der Erosion	41
2.5 Zusammenfassung	46
3.0 GRUNDLAGEN DER EROSIONSBEKÄMPFUNG — PROJEKTANSATZ	49
4.0 BODENBEARBEITUNGSVERFAHREN AM EROSIONSGEFÄHRDETEN STANDORT	55
4.1 Aufgaben und Ziele	55
4.2 Traditionelle Bodenbearbeitung mit der schweren Scheibenegge	57
4.3 Konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Scheibenpflug	59
4.4 Minimalbodenbearbeitung mit dem Grubber	60
4.5 Untergrundlockerung	61
4.6 Wenig verbreitete Bodenbearbeitungsverfahren	63
4.7 Direktsaatverfahren	64
4.8 Leistung und Kraftstoffverbrauch	66
4.9 Verfügbare Feldarbeitstage	68
4.10 Zusammenfassung	70
5.0 VERGLEICH VERSCHIEDENER BODENBEARBEITUNGSMASSNAHMEN	73
5.1 Physikalische Bodeneigenschaften	73
5.2 Chemische Bodeneigenschaften	91
5.3 Biologische Bodenaktivität	97
5.4 Bodenerosion	100
5.5 Krankheiten und Schädlinge	106
5.6 Unkräuter	109
5.7 Ertragsbildung und Ertrag	112
5.8 Zusammenfassung	117

	Seite
6.0 BEDEUTUNG DER GRÜNDÜNGUNG	119
6.1 Sommerfrüchte oder Winterfrüchte als Gründüngung	122
6.2 Eigenschaften verschiedener Wintergründungsarten	123
6.3 Infiltration und Erosion als Funktion der Mulchauflage	139
6.4 Vorfruchtwirkung der Gründüngung	142
6.5 Verfahren des mechanischen und chemischen Mulchens	145
6.6 Zusammenfassung	147
7.0 BEDEUTUNG DER FRUCHTFOLGE	149
7.1 Traditionelle Monokultur	149
7.2 Fruchtfolgegestaltung	150
7.3 Einfluß der Fruchtfolge auf den Ertrag	151
7.4 Andere Wirkungen der Fruchtfolge	154
7.5 Bewährte Fruchtfolgen in Südbrasilien	161
7.6 Zusammenfassung	165
8.0 WIRTSCHAFTLICHKEIT	167
8.1 Bodenbearbeitung und Direktsaat	167
8.2 Gründüngung	172
8.3 Fruchtfolgen und Anbausysteme	174
8.4 Kosten/Nutzen-Analyse	175
8.5 Zusammenfassung	192
9.0 KOMBINATION VON DIREKTSaat, GRÜNDÜNGUNG UND FRUCHTFOLGE IN DER PRAXIS	195
9.1 Entwicklung der Direktsaat in Brasilien	196
9.2 Voraussetzungen für die Direktsaat	198
9.3 Maschinen	200
9.4 Unkrautkontrolle	205
9.5 Direktsaat und Fruchtfolge in der praktischen Durchführung	207
9.6 Eignung für Kleinbetriebe	209
9.7 Vor- und Nachteile der Direktsaat	211
9.8 Zusammenfassung	213
10.0 INTEGRIERTE EROSIONSKONTROLLE	215
10.1 Zusammenfassung	225

	Seite
11.0 KÜNFTIGE FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE, AUSBLICK, ANWENDUNGSTRANSFER	227
LITERATURVERZEICHNIS	233
ANHANG	245
A Projektbeschreibung, Mitarbeiter und Counterparts	247
B Versuche: Material und Methoden	251
C Versuchsergebnisse	259
D Praktische Hinweise	263

## Vorwort

Die Regierungen der Bundesrepublik Deutschland und Brasiliens haben von 1977 bis 1985 auf dem so vordringlichen Gebiet der Bekämpfung der Bodenerosion ein gemeinsames Projekt im südbrasilianischen Bundesstaat Paraná erfolgreich durchgeführt.

Einzelergebnisse des Projekts sind bisher in zahlreichen Arbeiten und in verschiedenen Sprachen veröffentlicht bzw. in Kongressen vorgetragen worden. Es fehlt jedoch eine Schrift, die die gesammelten Versuchsergebnisse und Erfahrungen überschaubar im Gesamtzusammenhang analysiert, dokumentiert und deren Umsetzung in die Praxis ableitet.

Diese Lücke soll mit der vorliegenden Schrift geschlossen werden. Mit dieser Arbeit werden Wissenschaftler und Praktiker angesprochen, die in der Pflanzenproduktion in den Tropen und Subtropen engagiert sind. Nicht zuletzt soll die Schrift als Beratungshilfe zur schnellen Verbreitung von Maßnahmen der Erosionsbekämpfung in Brasilien zur Verfügung gestellt werden.

Es werden leider immer wieder Verfahren der Bodenbearbeitung aus gemäßigten Zonen ohne die erforderlichen Anpassungsprozesse in den Tropen und Subtropen eingeführt. Der Boden wird — seiner schützenden Pflanzendecke entblößt — offen liegen gelassen. Der so den Witterungsbedingungen ausgesetzte Boden wird der Erosion und Bodendegradierung preisgegeben. Für das Nachlassen der Bodenfruchtbarkeit und in der Folge der abnehmenden Pflanzenerträge bis zur Zerstörung des Bodens in erosionsgefährdeten Gebieten gibt es in der Vergangenheit und Gegenwart genügend Beispiele. Die Bodenerosion im Mittelmeergebiet hat bereits in der Antike die Bodendecke bis zum Ausgangsgestein abgetragen. Diesem irreversiblen Prozeß kann in den meisten land- und forstwirtschaftlich genutzten Gebieten Südamerikas, Afrikas und Asiens durch eine standortgerechte Nutzung, insbesondere durch eine konsequentere Bedeckung des Bodens, entgegengewirkt werden.

Erosionsbekämpfung bedeutet jedoch nicht nur Erhaltung des Produktionspotentials und der Bodenfruchtbarkeit für spätere Generationen, sondern sie ist auch eine wirksame Maßnahme zur Sicherung von Arbeitsplätzen und zur Verhinderung der Landflucht.

Außerdem hat Bodenerosion zur Folge, daß Bodenteile an unerwünschten Stellen abgelagert werden, mit den daraus sich ergebenden Schadwirkungen für Stromerzeugung, Trinkwasserversorgung, Erholungsgebiete usw., was erhebliche Staatsausgaben nach sich zieht.

Neben den ökologischen sind deshalb die volkswirtschaftlichen Vorteile einer wirksamen Erosionsbekämpfung von übergeordneter Bedeutung.

Dieses Handbuch vermittelt Erfahrungen und Handlungsanweisungen für einen kostensparenden und wirksamen Erosionsschutz in Paraná.

Jürgen Möhling  
Ref. 123, Lateinamerika-Süd  
BUNDESMINISTERIUM  
FÜR WIRTSCHAFTLICHE  
ZUSAMMENARBEIT (BMZ)

## Danksagung

Die in dieser Schrift wiedergegebenen Versuchsergebnisse hätten nicht ohne die aktive Mitwirkung und Unterstützung des IAPAR (Fundação Instituto Agronômico do Paraná) und insbesondere der Kollegen der Abteilung Bodenkonservierung erzielt werden können. Das IAPAR besaß als Partnerorganisation die erforderliche personelle und materielle Infrastruktur für eine effiziente Arbeitsweise und gewährte den deutschen Fachkräften die bestmöglichen Arbeitsbedingungen.

Weiterhin erfuhr das Projekt Unterstützung durch die brasilianische Regierung, die Universitäten, die Genossenschaften, den landwirtschaftlichen Beratungsdienst, durch Industrie und Handel sowie durch praktische Landwirte.

Es wäre unmöglich, alle Personen und Institutionen, die zur erfolgreichen Durchführung des Projektes und zur Erstellung dieser Arbeit beigetragen haben, aufzuzählen. Es sei deshalb allen, die in der einen oder anderen Weise die Arbeit unterstützt haben und zur Erzielung der hier aufgeführten Ergebnisse beigetragen haben, herzlich gedankt.

## Verzeichnis der Institutionen

ACARPA	Associação de Crédito e Assistência Rural do Paraná (EMATER — Paraná), Curitiba.
CNPT	Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, EMBRAPA, Passo Fundo.
DERAL	Departamento de Economia Agrícola, Secretaria da Agricultura, Curitiba.
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (in jedem Staat).
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília.
EMBRATER	Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasília.
EMPASC	Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária, Florianópolis.
FIBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.
IAPAR	Fundação Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina.
IITA	International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.
SEPLAN	Secretaria de Planejamento, Brasília.
SEAG	Secretaria da Agricultura do Paraná, Curitiba.
USDA	United States Department of Agriculture, Washington, USA.



## Abkürzungen

AK	Arbeitskraft
B	Bodenbearbeitung
DB	Deckungsbeitrag
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DS	Direktsaat
FK	Feldkapazität
FM	Frischmasse
GD	Grenzdifferenz
KAK	Kationenaustauschkapazität
KB	Konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Pflug
MB	Minimale Bodenbearbeitung mit dem Grubber
Mio	Million
nFK	nutzbare Feldkapazität
Pfl.	Pflanze
PR	Paraná
PTO	Power take off (Zapfwelle)
PWP	permanenter Welkepunkt
rel.	relativ
RS	Rio Grande do Sul
SAE	Society of Automotive Engineers (USA)
SC	Santa Catarina
SP	São Paulo
TB	Traditionelle Bodenbearbeitung mit der schweren Scheiben- egge
TKG	Tausendkorngewicht
TM	Trockenmasse
UK	United Kingdom (Großbritannien)
ü. N. N.	über Normalnull
US	United States (USA)
USLE	Universal Soil Loss Equation
>	größer als
<	kleiner als

## Einheiten

a	Jahr
d	Tag
dt	Dezitonne (100 kg)
EI <sub>30</sub>	Erosivitätsindex
h	Stunde
ha	Hektar
J	Joule
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kW	Kilowatt 1 kW=1,36 PS
l	Liter
meq	Milliequivalent
mg	Milligramm
mm	Millimeter
pF	Wasserpotential, Saugspannung = log. cm Wassersäule
ppm	parts per million (Teile in einer Million)
PS	Pferdestärke 1 PS=0,736 kW
psi	pounds per square inch
s	Sekunde
t	Tonne
tm	Tonnenmeter
μM	Mikromole
μm	Mikrometer
upm	Umdrehungen pro Minute
US \$	United States Dollar
Vol.-%	Volumenprozent

## 1.0 Einleitung

*„Unter Bodenerosion werden alle jene Erscheinungen der Abtragung und Akkumulation verstanden, die den Haushalt der Landschaft über ein naturgegebenes Maß hinaus verändern. Sie werden vom Menschen ausgelöst und durch Wasser, Wind und Schwerkraft bewirkt“.*  
(Richter, 1978)

Oft wird die Bodenerosion durch Wasser als eine unvermeidbare Begleiterscheinung des Ackerbaus in Hanglagen angesehen. Der Bodenabtrag ist aber kein unvermeidbares Naturereignis. Nach Lal (1982) ist das Auftreten von Erosionsschäden auf ackerbaulich genutzten Flächen nichts anderes als ein Symptom dafür, daß ein für den Standort und das Ökosystem nicht angepaßtes Anbausystem zur Anwendung gekommen ist. Nicht die Natur (Oberflächengestaltung und Niederschlagsintensität), sondern eine fehlerhafte Wirtschaftsweise des Menschen ist für die Erosion und die dadurch entstandenen Schäden verantwortlich zu machen. Der Landwirt kann über eine standortgerechte Landbewirtschaftung dem Erosionsprozeß erfolgreich entgegenwirken.

Der Boden ist ein kurzfristig nicht erneuerbares Gut, das nur in begrenzter Menge zur Verfügung steht. Ziel der Erosionsbekämpfung ist es deshalb, den Boden am Ort seiner Entstehung zu belassen, um eine kostengünstige und dauerhafte Agrarproduktion zu ermöglichen und Belastungen der Umwelt zu reduzieren.

Die Tropen und Subtropen sind, aufgrund der dort herrschenden Niederschlagsverhältnisse, außerordentlich erosionsgefährdet, so daß der Boden nicht längere Zeit schutzlos, von der Pflanzendecke entblößt, den Witterungseinflüssen preisgegeben werden darf (Andreae, 1965). Das fehlende Verständnis für die Bedeutung der Bodenerosion unter feuchtwarmen Bedingungen hat in den Tropen und Subtropen zu weitverbreiteten Erosionserscheinungen, Bodendegradierung und Abnahme der Bodenfruchtbarkeit geführt.

Wassererosion wird durch abfließendes, nicht infiltrierendes Oberflächenwasser ausgelöst. Gelingt es, den Oberflächenabfluß zu minimieren, d. h. die Infiltration zu erhöhen, so wird die Erosionsgefahr weitgehend beseitigt. Maßnahmen der Erosionsbekämpfung müssen deshalb darauf abzielen, die Erosion am Ort der Entstehung zu unterbinden, indem die effektive Infiltration erhöht wird.

Die Bodenbedeckung mit Pflanzen oder Pflanzenresten ist der weitaus wichtigste Faktor, der die Infiltration und die Bodenverluste durch Erosion beeinflusst. Viele Faktoren wie Humusgehalt, Kalkversorgung, Aggregatstabilität usw., die ebenfalls einen Einfluß im Erosionsprozeß haben, sind oft in ihrer Wirkung für den Erosionsschutz überbewertet oder in kein sachgerechtes Verhältnis zur besonderen Bedeutung der Bodenbedeckung gesetzt worden. Jeder Versuch, die Erosion bei hohen Niederschlagsintensitäten in Hanglage bei unbedecktem Boden zu verhindern, ist ungenügend und muß langfristig zum Scheitern verurteilt sein.

Mit dem Projekt „Erosionsbekämpfung in Paraná“ sollten in Zusammenarbeit mit der brasilianischen Partnerinstitution Direktsaat-Mulchsysteme auf der Grundlage von Gründüngung, Fruchtfolge und reduzierter Bodenbearbeitung weiterentwickelt werden. Die Anbausysteme sollten auch bei extremen Niederschlagsverhältnissen und hügeliger Oberflächengestaltung einen wirksamen Erosionsschutz bieten, die Fruchtbarkeit der Böden erhöhen und die Erträge der wichtigsten Kulturen steigern.

In Paraná nimmt die Erosion mit steigendem Mechanisierungsgrad und mit der Intensität der Bodenbearbeitung zu. Kleinbäuerliche Betriebe haben im allgemeinen durch die geringere Intensität der Bodenbearbeitung weniger erosionsfördernde Produktionsweisen als mechanisierte Betriebe. Deshalb wurden vor allem Produktionssysteme für Betriebe entwickelt, die zumindest auf einen Schlepper und eine Sämaschine zurückgreifen können. Da die Bodenerosion auf mittleren und großen Betrieben verstärkt auftritt, wurde dieser Zielgruppe besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Der Boden muß auch nachfolgenden Generationen als Grundlage für die Erzeugung von Nahrungsmitteln zur Verfügung stehen. Soll eine explosionsartig wachsende Bevölkerung auch in Zukunft ernährt werden, so muß die Ertragsfähigkeit des Bodens dauerhaft erhalten und gesteigert werden. Die Bekämpfung der Bodenerosion hat darüber hinaus in der Landwirtschaft grundlegende Bedeutung, weil sie die Voraussetzung für das Wirksamwerden aller anderen Produktionsfaktoren ist.

## 2.0 Standortbeschreibung

Der Bundesstaat Paraná, der zu den drei südlichsten Staaten Brasiliens gehört (Abb. 2.1), umfaßt mit 199.362 km<sup>2</sup> fast die gleiche Fläche wie die Bundesrepublik Deutschland. Auf nur 2,4 % der Gesamtfläche Brasiliens werden hier rund 25 % der Körnerproduktion des Landes und ein Drittel aller landwirtschaftlichen Exportprodukte erzeugt. Der Staat zählt 7,6 Millionen Einwohner, von denen 41 % auf dem Lande leben. Durch Paraná läuft der Wendekreis des Steinbocks. Er trennt tropisches Klima im Norden vom subtropischen Klima im Süden.

Geomorphologisch läßt sich der Staat Paraná von Osten nach Westen in fünf Zonen gliedern (Abb. 2.2): Die Küstenzone am Atlantischen Ozean (litoral), die Gebirgszone (serra do mar), das erste Plateau (I. Planalto), das zweite Plateau (II. Planalto) und das dritte Plateau (III. Planalto). Im nordwestlichen Bereich des dritten Plateaus liegt das Caiuá-Sandsteingebiet, in dem die Bodendegradierung am meisten vorangeschritten ist, so daß dort fast ausschließlich extensive Weidewirtschaft betrieben wird.

Die dieser Arbeit zugrundeliegenden Untersuchungen wurden überwiegend im Norden von Paraná im III. Planalto auf Böden durchgeführt, die sich aus basaltischem Ausgangsgestein (Basaltdecken aus dem Trapp/Trias) entwickelten.

Die Küstengebirge und die nach Westen abfallenden Plateaus bewirken, daß fast alle Wassereinzugsgebiete des Staates nach Westen in den Paranáfluß entwässern. Dieser mündet etwa 1.200 km südlich bei Buenos Aires in den Atlantischen Ozean.

Ursprünglich waren 84 % der Fläche Paraná mit tropischem und subtropischem Naturwald bedeckt. Im Zuge der Besiedlung wurde die Waldfläche bis 1965 auf 24 % reduziert (Maack, 1968). Insbesondere durch den Weizen- und Sojaboom nahm sie bis 1979 weiter bis auf etwa 9 % ab. Einschließlich der aufgeforsteten Flächen betrug die mit Wald bedeckte Fläche in Paraná im Jahr 1984 nur noch 7 %.

Insgesamt werden heute etwa 6,5 Millionen ha ackerbaulich genutzt. Wegen der mit dem herkömmlichen Ackerbau verbundenen Bloßlegung, intensiven Bearbeitung und Lockerung des Bodens (Einsatz der schweren Scheibenegge und des Scheibenpflugs, Vollmechanisierung) kommt es bei den vorherrschenden Hangneigungen, Niederschlagsintensitäten und Anbaumethoden (Anbau von 2 Kultu-

ren und zweimalige Bodenbearbeitung pro Jahr) zu immer stärkeren Erosionschäden.

Die Versuchsstation des IAPAR in Londrina liegt auf 23° 23'S Breite und 51° 11'W Länge, 566 m über NN. Der Urwald wurde dort um 1940 gerodet. Das Versuchsgelände diente von 1940 bis 1973 als Kaffeepflanzung. Ab 1973 wurden acker- und pflanzenbauliche Versuche, auch mit einjährigen Kulturen, durchgeführt. Die ersten Versuche im Rahmen der deutsch-brasilianischen Zusammenarbeit wurden 1977 angelegt.



Abb. 2.1: Lage des Bundesstaates Paraná innerhalb Brasiliens



Abb. 2.2: Geomorphologie des Staates Paraná (nach Maack, 1968)

Am zweiten Versuchsstandort Rolândia, 35 km westlich von Londrina, wurde der Urwald etwa zur gleichen Zeit gerodet. Die Beseitigung der Kaffeesträucher erfolgte hier 1975, nachdem ein außergewöhnlich starker Frost die Plantagen dezimiert hatte. Daraufhin setzte der Weizenanbau im Winter und der Sojabohnenanbau im Sommer im Direktsaatsystem ein. Die Versuche in Rolândia wurden von 1977 bis 1981 auf der Fazenda Marta durchgeführt.

### 2.1 Boden und Oberflächengestaltung

Der Staat Paraná weist aufgrund der geologischen Formation vorwiegend eine stark hügelige Oberflächengestaltung mit einer durchschnittlichen Hangneigung der Ackerflächen von 9 % auf (Abb. 2.3). Ebenes Land kommt mit Ausnahme kleinerer Flächen, insbesondere an Flußläufen, kaum vor.



Abb. 2.3: Die hügelige Oberflächengestaltung und hohe Niederschlagsintensitäten führen zu einem hohen Erosionspotential. (Photo: R. Derpsch)

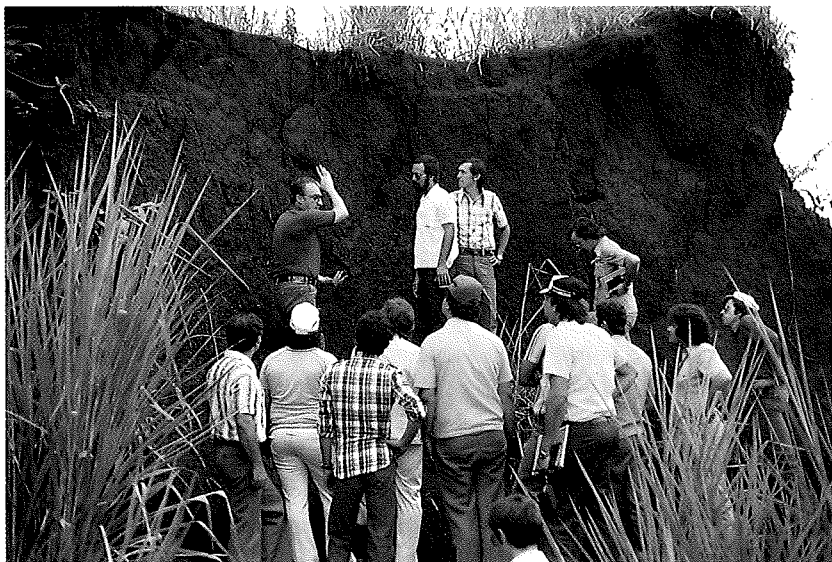


Abb. 2.4: Wissenschaftler des IAPAR bei der Betrachtung des Bodenprofils eines nährstoffarmen Latossolo Roxo (Oxisol). (Photo: B. Kemper)

Die Versuchsstandorte Londrina und Rolândia im Norden von Paraná liegen im weitaus größten Plateau, in dem sich etwa zwei Drittel der Böden aus basaltischem Ausgangsmaterial (Larach et al., 1984) als Latossolo Roxo (Oxisol) und Terra Roxa Estruturada (Alfisol) Böden entwickelten. Diese Rotlehme sind auch die wichtigsten Bodentypen, die dort aufgrund der Hangneigung für den Anbau von einjährigen Kulturen geeignet sind. Der Oxisol (Abb. 2.4) kommt vor allem auf den Hangkuppen mit einer Hangneigung von weniger als 6 % vor und umfaßt in Paraná etwa 2,9 Mio ha. Der Alfisol (Abb. 2.5) kommt insbesondere im Hügelland mit mehr als 6 % Hangneigung vor und umfaßt etwa 3,5 Mio ha.

Beide Rotlehme weisen Tongehalte von 50 bis 80 % auf. Die Tonminerale bestehen überwiegend aus Kaolinit. Hämatit ist das wichtigste Eisenoxyd in der Tonfraktion. Die Böden sind sehr tiefgründig (Oxisole bis zu 20 m und mehr) und besitzen günstige physikalische Eigenschaften (hohes Porenvolumen, hohe Permeabilität und hohe Infiltrationsraten). Ein bis zwei Tage nach einem Starkregen kann der Boden befahren und bearbeitet werden, ohne Strukturschäden hervorzurufen. Die Bodenbearbeitung kann jedoch nur mit selbstreinigenden Geräten (Scheibenpflug, Scheibenegge, Grubber) erfolgen, da die Böden aufgrund des kaolinitischen Tons extrem klebrig sind.

Auffällig für diese Böden ist die niedrige Trockendichte ( $0,93$  bis  $1,19 \text{ g/cm}^3$ ) und der entsprechend hohe Gesamtporenanteil (57 bis 69 %). Eine Besonderheit des Oxisols, vor allem im B-Horizont, ist die starke Aggregation (Fe und Al Oxide) in sehr stabile, ultrafeine, etwa feinsandgroße Granularaggregate („Kaffeepulver-Struktur“). Dadurch verhält sich dieser Boden im niedrigen pF-Bereich trotz des hohen Tongehaltes wie ein Sandboden.

Die wichtigsten bodenchemischen und bodenphysikalischen Kenndaten der beschriebenen Böden können den Tabellen 2.1 und 2.2 entnommen werden. Bodenchemisch zeigt der Alfisol günstigere Werte als der Oxisol. Letzterer weist im Oberboden einen pH-Wert im mäßig sauren Bereich auf, der zum Unterboden in den stark sauren Bereich abfällt. Die Kationenaustauschkapazität ist sehr niedrig und nimmt mit zunehmender Tiefe ab. Eine detaillierte Beschreibung und Kartierung der Böden von Paraná ist von Larach et al. (1984) erstellt worden.

Neben den bereits erwähnten Böden treten in Paraná eine Reihe weiterer Bodentypen auf. Die Bezeichnung und Verbreitung dieser Böden ist der Tabelle 2.3 zu entnehmen.



Abb. 2.5: Terra Roxa Estruturada (Alfisol)

(Photo: B. Kemper)

Tabelle 2.1 Kennwerte des Oxisols, Londrina

Bodentyp: Typic Haplothox (Oxisol), U.S. Soil Taxonomy

Latosolo Roxo distrófico, Ausgangsgestein: Basalt, Hangneigung: 6%

Horizont	Bodentiefe cm	pH H <sub>2</sub> O	Kationenaustausch- kapazität meq · 100 <sup>-1</sup> g Boden	Basen- sättigung	C	Ton	Schluff	Trocken- dichte	Bodenfeuchtigkeit	
									FK*	nFK**
Ap <sub>1</sub>	0-8	5,9	14,2	67	1,6	76	13	0,96	33,5	10,6
Ap <sub>2</sub>	8-20	5,1	11,7	49	1,6	79	13	1,16	43,0	9,2
B <sub>1</sub>	20-45	4,7	8,1	39	0,2	82	10	1,02	40,5	11,9
B <sub>2</sub>	45-120	4,6	7,3	23	0,5	81	11	1,05	37,0	7,4

Tabelle 2.2 Kennwerte des Alfisols, Rolândia

Bodentyp: Rhodic Paleudalf (Alfisol), U.S. Soil Taxonomy

Terra Roxa Estruturada, Ausgangsgestein: Basalt, Hangneigung: 8%

Horizont	Bodentiefe cm	pH H <sub>2</sub> O	Kationenaustausch- kapazität meq · 100 <sup>-1</sup> g Boden	Basen- sättigung	C	Ton	Schluff	Trocken- dichte	Bodenfeuchtigkeit	
									FK*	nFK**
Ap <sub>1</sub>	0-8	6,1	18,9	72	1,9	69	17	0,93	33,0	11,3
Ap <sub>2</sub>	8-20	5,9	17,0	75	1,2	71	15	1,19	41,0	10,3
B <sub>1</sub>	20-45	5,3	11,9	65	0,6	77	12	1,01	40,5	11,2
B <sub>2</sub>	45-120	5,4	11,4	71	0,3	80	10	1,01	41,5	11,9

\* FK Feldkapazität bei 0,1 bar

\*\* nFK nutzbare Feldkapazität = Differenz im Bodenwassergehalt zwischen FK und PWP (15 bar)  
(Kemper und Derpsch, 1981)



Tabelle 2.3 Flächenanteile der wichtigsten Bodentypen im Staat Paraná

Bodenbezeichnung		%
abnehmende Nutzungsintensität	Alfisols (Terra Roxa Estruturada)	18
	Oxisols (Latossolo Roxo)	15
	Oxisols (Latossolo Vermelho Escuro)	12
	Inceptisols (Cambissolo)	12
	Ultisols (Podzólico Vermelho Amarelo)	15
	Entisols, Inceptisols (Solos Litólicos)	16
	Andere Böden	12
		100

(Gonçalo S. Farias de, 1983, pers. Mitteilung)

## 2.2 Klima und Witterung

Der gesamte Nordwesten von Paraná gehört dem subtropisch-feuchten, mesothermischen Klimagebiet (Cfa, Klimaklassifikation nach Köppen, 1931) mit heißen Sommermonaten und seltenen Frösten im Winter an. Die Jahresdurchschnittstemperaturen betragen im Norden (Londrina, 566 m ü.N.N.) 20,7° C und im Süden (Ponta Grossa, 880 m ü.N.N.) 17,6° C. (Abb. 2.6) Die Niederschläge zeigen nördlich des 24. Breitengrades eine Tendenz zur Konzentration in den Sommermonaten, sind aber über das ganze Jahr verteilt. Der zentral-südliche Bereich besitzt ein subtropisches, sehr feuchtes, mesothermisches Klima (Cfb) mit frischen Sommermonaten ohne trockene Jahreszeit. Starke Fröste in den Wintermonaten sind hier die Regel. Der verbleibende schmale Küstenstreifen hat tropisches, sehr feuchtes und frostfreies Klima (Af) ohne trockene Jahreszeit. Detaillierte Angaben zum Klima können der Abb. 2.7 entnommen werden.

Die während der Projektlaufzeit von 1977 bis 1984 registrierten monatlichen Niederschlagsmengen von Londrina sind der Abb. 2.8 zu entnehmen. Auffallend sind die starken Abweichungen der Niederschläge der einzelnen Jahre im Vergleich zum langjährigen Mittel (Tab. 2.4).

Bei einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 1622 mm in Londrina beträgt die durchschnittliche Evapotranspirationsrate ca. 1000 mm. Das bedeutet einen erheblichen Niederschlagsüberschuß. Aufgrund der Abweichungen in der Niederschlagsverteilung können jedoch Feuchtigkeitsdefizite zu jeder Jahreszeit auftreten, was bei einjährigen Kulturen ein nicht zu unterschätzendes Anbaurisiko bedeutet.

Af  
Tropisches, sehr feuchtes, frostfreies Klima.  
Keine trockene Jahreszeit.

Cfa  
Subtropisches, feuchtes, mesothermisches Klima mit heißen Sommermonaten und seltenen Nachfrösten. Nördlich des 24. Breitengrades zeigt sich eine Tendenz zur Konzentration der Niederschläge in den Sommermonaten.  
Keine trockene Jahreszeit.

Cfb  
Subtropisches, sehr feuchtes, mesothermisches Klima mit frischen Sommermonaten, starken und häufigen Nachfrösten. Keine trockene Jahreszeit.

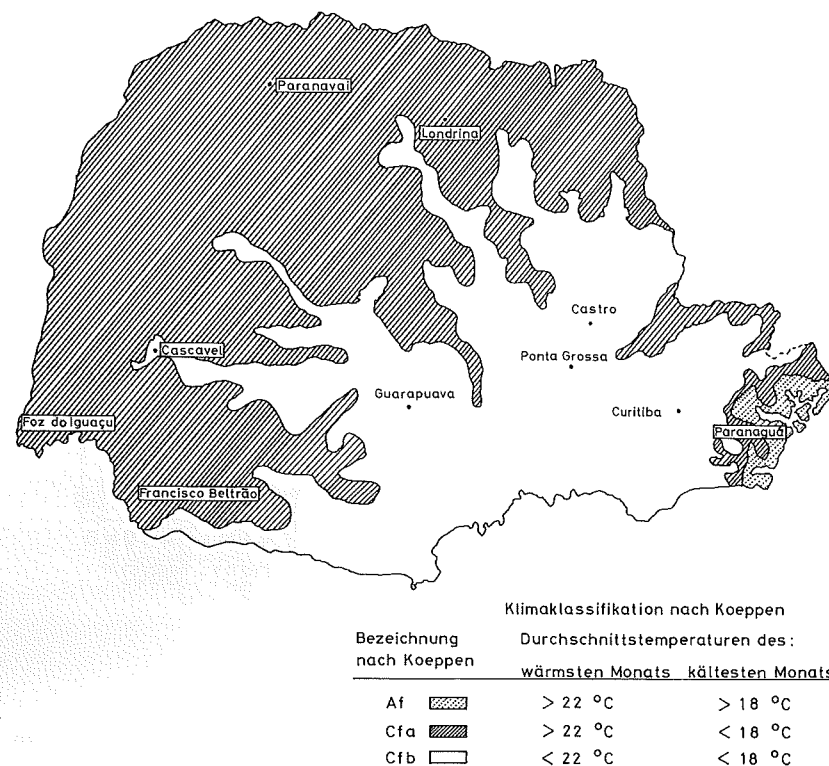


Abb. 2.6: Klimaeinteilung von Paraná nach Köppen (nach Godoy und Correa, 1976)



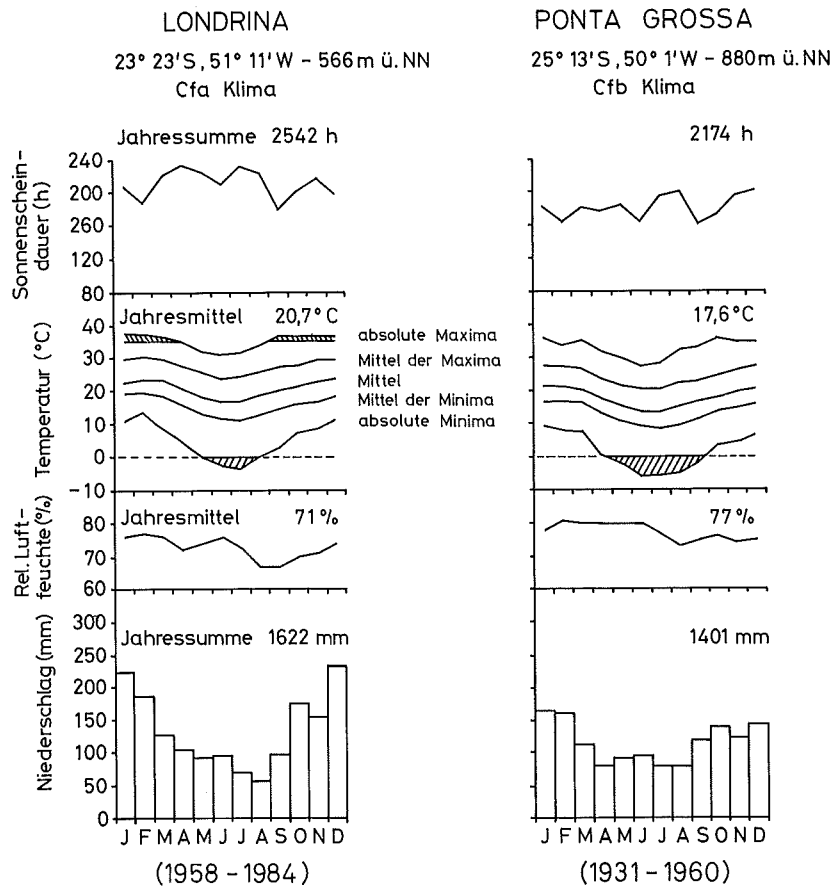


Abb. 2.7: Klimatische Kenndaten für die Standorte Londrina (Cfa Klima) und Ponta Grossa (Cfb Klima)  
 (Antonio R. Correa, 1985, persönliche Mitteilung.  
 Aus: Arquivo do INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, Ministerio da Agricultura, Unveröffentlicht).

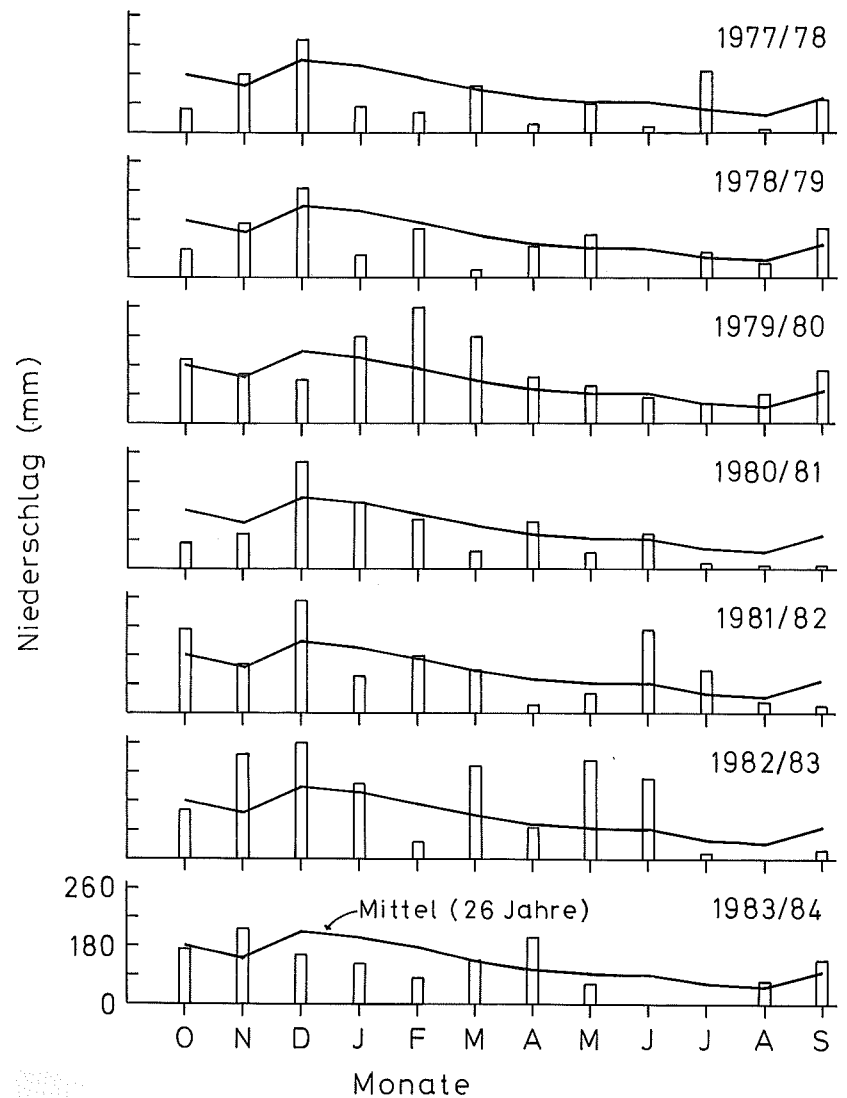


Abb. 2.8: Monatliche Niederschläge und 26jähriges Mittel am Standort Londrina (1977-1984)

Tabelle 2.4 Abweichungen der extremen monatlichen Durchschnittsniederschläge des Standortes Londrina in der Zeit von 1977–1984 vom langjährigen Mittel 1958–1983

Mittelwerte	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1958–1983	222	175	135	107	87	101	68	55	104	180	147	230
Niedrigstwerte 77/84	71	65	32	26	2	1	3	0	7	45	102	137
Höchstwerte 77/84	286	360	292	213	309	261	194	93	277	263	323	359

Quelle: IAPAR, Londrina, Area de Meteorologia, Resumos Anuais, Precipitação.

Ein weiteres Merkmal der Niederschläge sind die hohen Mengen und auch die hohen Intensitäten, die im Verlauf eines Tages eintreten können. So wurden z. B. am 19. und 20. Mai 1983 von der meteorologischen Station des IAPAR in Francisco Beltrão 213 mm in 19 Stunden gemessen. Dieser Regen wies zwischen 3 und 4 Uhr morgens eine Intensität von 50 mm in 45 Minuten und Spitzenintensitäten von 120 mm/h auf (Abb. 2.9). Eine Analyse der Niederschlagsintensitäten im Jahre 1981 in Londrina zeigte, daß in diesem Jahr 50 % aller Regen mit Intensitäten von 15 mm/h oder mehr und 15 % aller Regen mit Intensitäten von 50 mm/h oder mehr gefallen sind (Abb. 2.10).

In Paraná werden Niederschläge bis zu 250 mm in 24 Stunden registriert. Diese Angaben zeigen, daß etwa die Hälfte des Jahresniederschlags weiter Teile Europas in Südbrasilien innerhalb von 24 Stunden fallen kann. Diese extrem hohen Niederschlagsmengen und -intensitäten entsprechen jedoch durchaus den Niederschlagsverhältnissen anderer Regionen der Tropen und Subtropen und bewirken erhebliche Schäden durch Wassererosion.

### 2.3 Bodennutzungsformen und Betriebsstruktur

In den letzten Jahrzehnten unterlag die Bodennutzung in Paraná einem starken Wandel. Vor etwa 50 Jahren standen der Holz- und Erva Mate-Export (die Blätter

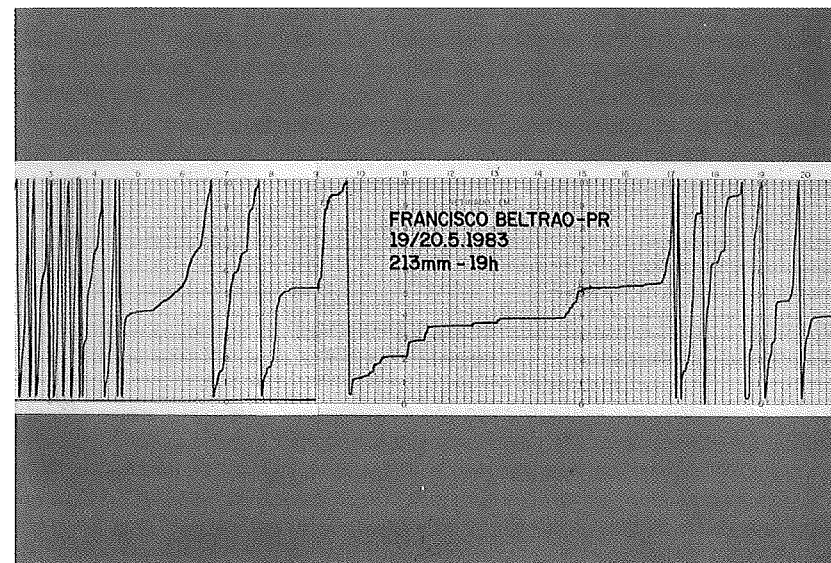


Abb.2.9: Regenschreiberaufzeichnung des Standortes Francisco Beltrão, Paraná. Am 19. und 20. 5. 1983 fielen 213 mm in 19 Stunden. Von 3 bis 4 Uhr wurden 60 mm in einer Stunde registriert. (Photo: R. Derpsch)

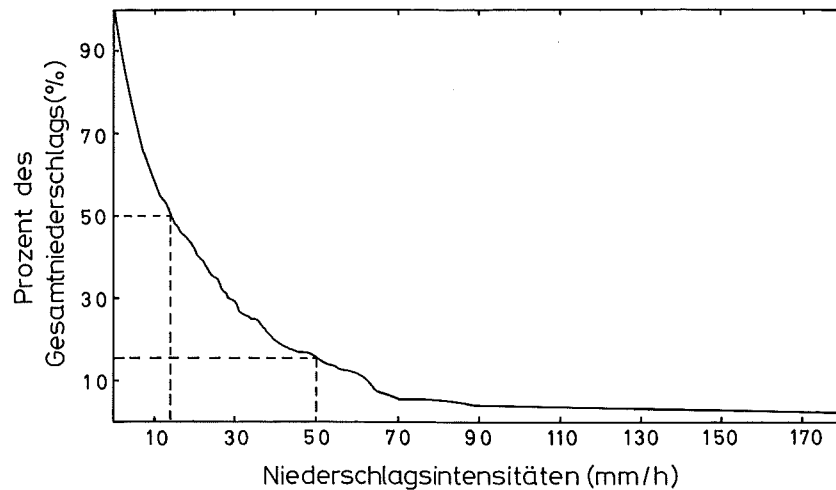


Abb. 2.10: Niederschlagsintensitäten für den Standort Londrina im Jahre 1981 in Prozent des Gesamtniederschlags (1514 mm). (Hoogmoed, 1982)

für Mate-Tee wurden vorwiegend im Naturwald gepflückt) sowie die extensive Rinderhaltung auf Naturweiden im Vordergrund. Von 1946 bis 1963 setzte dann der Kaffeeboom ein und Paraná entwickelte sich zum Staat Brasiliens mit der höchsten Kaffeeproduktion. Von 1968 bis 1978 verzehnfachte sich die Weizen- und Sojabohnenanbaufläche. Ein extrem starker Frost im Juli 1975, der viele Kaffeepflanzungen dezimierte und die durch die Energiekrise bedingte Expansion des Zuckerrohrbaus für die Alkoholgewinnung sorgten für einen weiteren Wandel in der Bodennutzung.

Während die Fläche unter Dauerkulturen ab 1960 ständig abnahm, versechsfachte sich die Ackerbaufläche von 1950 bis 1980 auf 6 Mio ha. Damit ging die Erhöhung des Erosionspotentials einher. Der Boden wird ein bis zwei Mal pro Jahr intensiv bearbeitet, der schützenden Pflanzendecke entblößt und den Witterungseinflüssen ausgesetzt.

Die Angaben über die Anbauflächen von einjährigen Kulturen in Paraná können der Tabelle 2.5 entnommen werden. Sie schwanken je nach Erhebungsquelle von 5 bis 7 Millionen ha, was bei der Analyse der Daten berücksichtigt werden muß. Die Anbaufläche von einjährigen Kulturen, insbesondere Mais, Sojabohnen und Phaseolusbohnen, expandierte am schnellsten in der Zeit zwischen 1960 und 1970.

Obwohl Paraná nur 2,4 % der Gesamtfläche Brasiliens aufweist, wurden hier 1982/83 56 % der Weizen-, 37 % der Baumwolle-, 38 % der Soja-, 25 % der Mais-

22 % der Phaseolusbohnen- und 18 % der Kaffeeproduktion des Landes erzeugt (Sorenson und Montoya, 1984).

Im Jahr 1980 waren 70 % der Betriebe in Paraná kleiner als 20 ha (Tab. 2.6). Kleinbetriebe sind aufgrund des geringen Mechanisierungsgrades, der kleineren, oft unterteilten Flächen und der häufigen Anwendung von bodenschonenden Anbausystemen (reduzierte oder keine Bodenbearbeitung, Wanderhackbau, tierische Anspannung, Aussaat mit Handsämaschinen) weniger erosionsgefährdet. Die Erosionsprobleme sind dort am größten, wo ein hoher Mechanisierungsgrad mit schweren Maschinen erreicht wurde, also auf den mittleren und großen Betrieben. Auf diese am meisten erosionsgefährdeten bzw. -geschädigten Betriebe muß sich die Erosionsbekämpfung konzentrieren. Das sind im allgemeinen die Betriebe mit mehr als 50 ha, die eine intensive Bodenbearbeitung durchführen und 69 % der Fläche von Paraná bewirtschaften. Eine Konzentration der Erosionsbekämpfung auf Kleinbetriebe unter 20 ha würde zwar die Berücksichtigung der Mehrzahl der Betriebe bedeuten (70 %), jedoch zur Erhaltung von lediglich 16 % der Anbaufläche führen.

Neben der Betriebsgrößenstruktur sind die Flächenanteile der verschiedenen Kulturen von Interesse. Mais und Bohnen werden vorwiegend auf kleineren, Sojabohnen und Weizen dagegen auf mittleren und größeren Betrieben angebaut (Tab. 2.7).

Das Klima in Paraná ermöglicht den Anbau von zwei, unter günstigen Umständen auch drei Kulturen pro Jahr. Alle in Paraná verbreiteten Kulturen außer Weizen sind aber lediglich für den Anbau in der wärmeren Jahreszeit geeignet. Neuerdings gewinnen Hafer und Roggen für den Winteranbau und Braugerste im Süden von Paraná an Bedeutung.

Im Sommer wird die gesamte Ackerfläche mit einjährigen Kulturen genutzt, im Winter liegen jedoch 80 % der Flächen brach und sind der Verunkrautung, Nährstoffauswaschung und Erosion ausgesetzt. Das Risiko des Anbaus von Winterkulturen ist durch Frost und Pilzkrankheiten besonders hoch. Fröste können während der gesamten Vegetationsperiode auftreten, richten jedoch in der Zeit zwischen Blüte und Reife den größten Schaden an und können zu Totalverlusten führen.

Da Weizen und Sojabohnen mit denselben Maschinen ausgesät und geerntet werden können, hat der Fruchtwechsel dieser Kulturen große Verbreitung gefunden. Als der Weizenanbau in den 70er Jahren subventioniert wurde, sind diese Kulturen im Wechsel auf etwa 1,3 Mio ha angebaut worden. Die zweimalige Bodenbearbeitung pro Jahr, die den Boden lange Zeit unbedeckt dem Regen aussetzte, und die hohe Bearbeitungsintensität (schwere Scheibenegge, mehrmaliges Eggen) führten in diesem System trotz Anlage von Konturdämmen zu starken Erosionsschäden (Abb. 2.11).

Tabelle 2.5 Entwicklung der Anbaufläche der wichtigsten Kulturen in Paraná (Angabe in Hektar)

Kultur	1950	1960	1970	1983	% 1983
<b>Sommeranbau</b>					
Mais	591.861	843.932	2.121.206	2.361.800	34
Sojabohne	—	5.059	395.484	2.022.000	29
Phaseolusbohne	299.408	382.488	926.975	699.685	10
Baumwolle	72.954	151.939	373.287	440.000	6
Reis	82.651	206.694	441.645	216.400	3
Zuckerrohr	9.721	24.692	30.035	110.930	2
Maniok	18.645	28.875	87.445	69.870	1
Erdnüsse	1.617	4.000	110.167	21.340	0,3
<b>Winteranbau</b>					
Weizen	56.893	82.495	250.213	898.265	13
Kartoffeln	24.202	36.389	25.932	45.004	0,6
<b>Andere</b>	46.318*	70.663*	267.416	129.142	2
<b>Gesamt</b>	1.204.270	1.837.226	5.029.805	7.014.436	100

\* Schätzungen

Quelle: SEPLAN/SEAGRI, 1950, 1960; FIGGE, 1970; SEAG/DERAL, 1983  
Aus Sorrenson und Montoya (1984)

Tabelle 2.6 Betriebsgrößenstruktur in Paraná

Betriebsgröße ha	1960		1970		1980	
	Anzahl der Betriebe in 1.000	Fläche in Hektar in 1.000	Anzahl der Betriebe in 1.000	Fläche in Hektar in 1.000	Anzahl der Betriebe in 1.000	Fläche in Hektar in 1.000
<10	93	35	295	53	215	47
10-20	63	24	127	23	105	23
20-50	74	28	92	17	85	19
50-100	21	8	22	4	25	6
100-200	9	3	10	2	12	3
200-500	5	2	6	1	8	2
500-1.000	1	0,5	2	0,3	2	0,5
1.000-2.000	0,6	0,2	0,7	0,1	1	0,2
>2.000	0,3	0,1	0,4	0,1	0,5	0,1
<b>Gesamt:</b>	269	11.385	554	14.626	454	16.380

FIGGE Censo Agropecuario - Paraná (1960, 1970, 1980)  
Aus Sorrenson und Montoya (1984)

Tabelle 2.7 Flächenanteile der verschiedenen Betriebsgrößenklassen in Paraná für unterschiedliche Kulturen (Stand 1980)

Betriebsgröße ha	Phaseolusbohne		Mais		Sojabohnen		Weizen	
	%	Summe	%	Summe	%	Summe	%	Summe
<10	19	19	11	11	3	3	2	2
10-20	18	37	14	25	7	10	8	10
20-50	27	64	26	51	18	28	22	32
50-100	14	78	15	66	14	42	15	47
100-200	8	86	11	77	14	56	15	62
200-500	5	91	11	88	16	72	19	81
500-1.000	2	93	6	94	9	81	10	91
1.000-2.000	1	94	4	98	8	89	5	96
>2.000	6	100	2	100	11	100	4	100

Quelle: FIBGE, Censo Agropecuario - Paraná, 1980  
Aus Sorrenson und Montoya (1984)

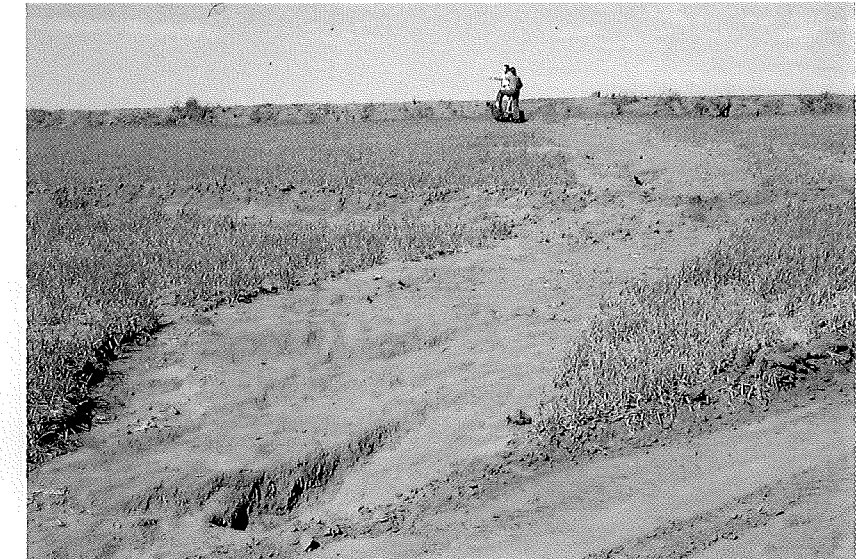


Abb. 2.11: Die Beibehaltung der traditionellen Bodenbearbeitung führt immer wieder zu Dammbürchen, die dann hangabwärts noch größere Schäden verursachen. (Photo: R. Derpsch)

In Kleinbetrieben ist die tierische Anspannung für Bodenbearbeitung und Aussaat mit einreihigen Sägeräten weit verbreitet. Mais wird auf ca. 200.000 ha mit Handsämaschinen (Abb. 2.12) oder auch mit dem Grabstock im Wanderhackbau ausgesät. Nach Schneiden und Brennen des Buschwerkes wird das Saatgut mit der Handsämaschine (Leistung 1 bis 2,5 ha/AK Tag) in den unbearbeiteten Boden abgelegt. Später aufkommende Unkräuter werden mit der Handhacke beseitigt. Die Ernte wird von Hand durchgeführt.

Obwohl dieses System zum Teil auf Flächen mit mehr als 45° Hangneigung zur Anwendung kommt, treten im allgemeinen geringe Erosionsschäden auf. Der Boden bleibt nur kurze Zeit offen und eine 3 bis 5jährige Bodenruhe ermöglicht die Bodenregeneration. Da keine schweren Maschinen auf das Feld kommen, die den Boden verdichten und die Oberfläche selten unbedeckt ist, werden hohe Infiltrationsraten ermöglicht und der Oberflächenabfluß auf ein Minimum reduziert.



Abb. 2.12: Matraca oder Saraquá. In Paraná werden jedes Jahr ca. 200000 ha Mais mit dieser Handmaschine ausgesät. (Photo: R. Derpsch)

#### 2.4 Ausmaß der Bodenerosion und Formen der Erosion

Seit 1975 werden in Paraná Erosionsmessungen durchgeführt. Für eine mittlere Hangneigung von 9 % und eine mittlere Entfernung zwischen den Konturdämmen von 22 m sind am IAPAR Bodenverluste von 2 bis 58 t pro ha und Jahr gemessen worden (Durchschnitt 13,4 t/ha). In der Praxis können durchaus Bodenverluste von 100 bis 200 t pro ha und Jahr auftreten. Das heißt 1 bis 2 cm fruchtbaren Ackerbodens gehen verloren. Bei unsachgemäßer Bodenbearbeitung und hohen Niederschlagsintensitäten sind extreme Bodenverluste von 700 t pro ha und Jahr in Südbrasilien geschätzt worden (Abb. 2.13).

70 % der Landwirte betreiben eine intensive Bodenbearbeitung mit der schweren Scheibenegge und anschließender Saatbettbereitung durch mehrfaches Eggen. Dabei müssen für einjährige Kulturen durchschnittliche Bodenverluste von 30 bis 40 t pro ha und Jahr angenommen werden.

Nach Lombardi und Bertoni (1975) betragen die tolerierbaren Bodenverluste für die tiefgründigen Oxisole 12 und für die Alfisole 13,4 t pro ha und Jahr. Unter Berücksichtigung der im allgemeinen angesetzten Neubildungsrate von weniger als 0,5 t pro ha und Jahr sind jedoch Zweifel angebracht, ob bei solchen Verlusten (ca. 1,2 mm/Jahr) die Ertragsfähigkeit der Böden dauerhaft erhalten werden



Abb. 2.13: Bodenverluste bis zu 700 t pro ha und Jahr sind auf Ackerbauflächen in Südbrasilien geschätzt worden. (Photo: E. Denardin)



kann. Darüber hinaus ist zu befürchten, daß die erosionsbedingte Umweltbelastung (Verlandung und Eutrophierung von Gewässern, Beeinträchtigung der Trinkwasserversorgung usw.) dauerhafte Schäden verursacht, die langfristig von der Gesellschaft nicht getragen werden können.

Die für den herkömmlichen Ackerbau erforderliche Bodenbearbeitung und die damit verbundene Bloßlegung des Bodens zählt zu den wichtigsten Ursachen, die zur Auslösung des Erosionsprozesses führen. Sowohl die Sedimentfracht als auch die Phosphor- und Stickstoffgehalte des Wassers im Itaipu-Staubecken in Paraná sind in Zeiten der Bodenbearbeitung und Aussaat am höchsten (Abb. 2.14).

Die kontinuierliche Degradierung der Böden in Brasilien durch die derzeit praktizierten Ackerbaumethoden spiegelt sich in der Körnerproduktion des Landes wieder, die trotz erheblich höherer Aufwendungen für Produktionsmittel von 1974 bis 1984 bei 50 Mio Tonnen stagnierte.

Der Einfluß der Bodenerosion auf die Produktivität ist in der Vergangenheit insbesondere durch die Anwendung von Düngemitteln verdeckt worden. Die Ertragssteigerungen in Paraná zwischen 1970 und 1980 von 8,4 % sind fast ausschließlich auf die Ausweitung der Anbaufläche und nur zu 0,5 % auf echte Produktivitätssteigerungen zurückzuführen (Mendes und Dossa, 1981; SEAG, 1984). Im selben Zeitraum wurde der Verbrauch von NPK-Düngern, Insektiziden, Fungiziden und Herbiziden um 444 %, 489 %, 197 % bzw. 1.346 % erhöht. Die Anzahl der Traktoren stieg um 328 % und der Wert landwirtschaftlicher Kredite um 345 %. Das Unvermögen, diese höheren Aufwendungen in entsprechende Ertragssteigerungen umzuwandeln, deutet unter anderem auf einen Verlust an Bodenfruchtbarkeit aufgrund von Erosionsschäden im gleichen Zeitraum hin (Sorenson und Montoya, 1984) (Abb. 2.15).

Am häufigsten treten in Paraná **Flächenerosion** und **Rillenerosion** auf. Die Flächenerosion zehrt fast unbemerkt und die Rillenerosion (Abb. 2.16) augenfällig an den Humus- und Mineralstoffvorräten des Bodens und reißt auch den biologisch aktiveren Boden mit sich, was zu starken Ertragsdepressionen führen kann. Bereits ein Eggenstrich mit der schweren Scheibenegge genügt in den meisten Fällen, um diese Erosionsschäden unsichtbar zu machen.

Starke Regenfälle kurz nach der Aussaat können dazu führen, daß Saatgut und junge Pflanzen durch das abfließende Wasser mitgerissen werden (Abb. 2.17), was bei der traditionellen und konventionellen Bodenbearbeitung zur Nachsaat von 5 bis 10 % der Anbaufläche in Paraná zwingt.

Die **Grabenerosion** hat eine Zerteilung der Flächen zur Folge; Traktoren können die Gräben nicht überqueren und das Land ist für die Pflanzenproduktion verloren. Daneben ist Grabenerosion häufig an Betriebsgrenzen vorzufinden, wohin

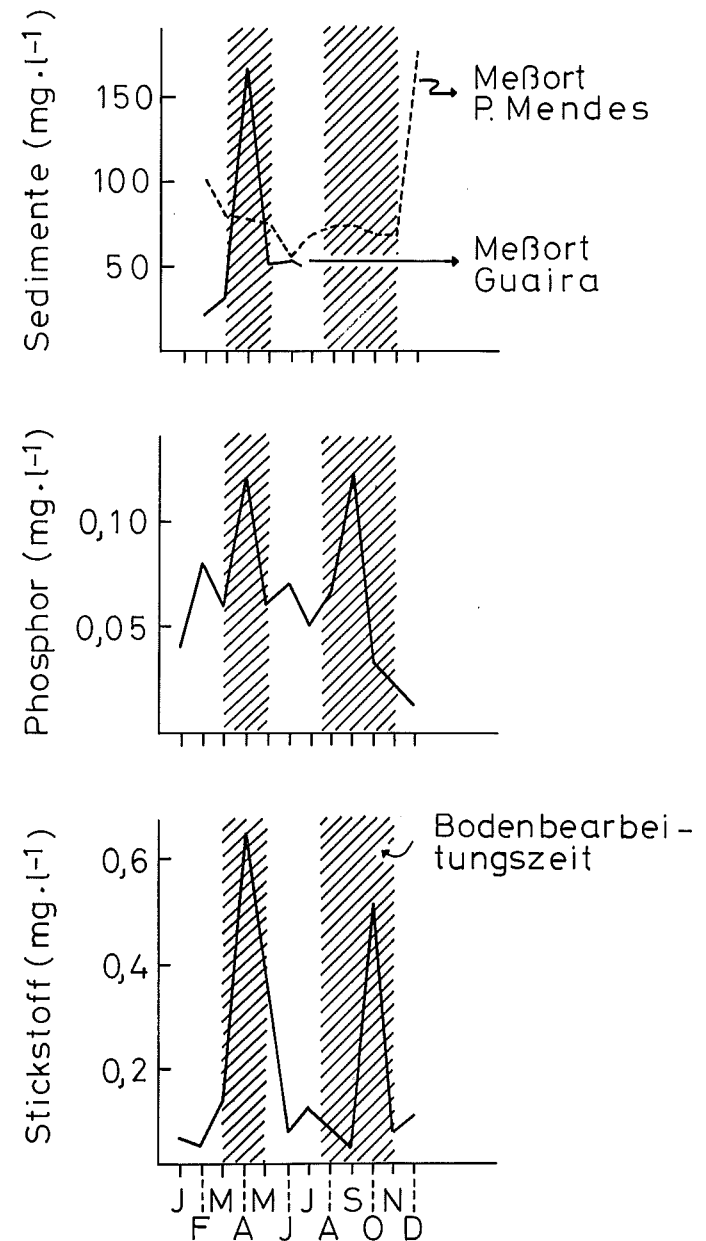


Abb. 2.14: Monatliche Schwankungen der Sediment-, Phosphor- und Stickstoffwerte des Wassers am Itaipu-Staudamm.

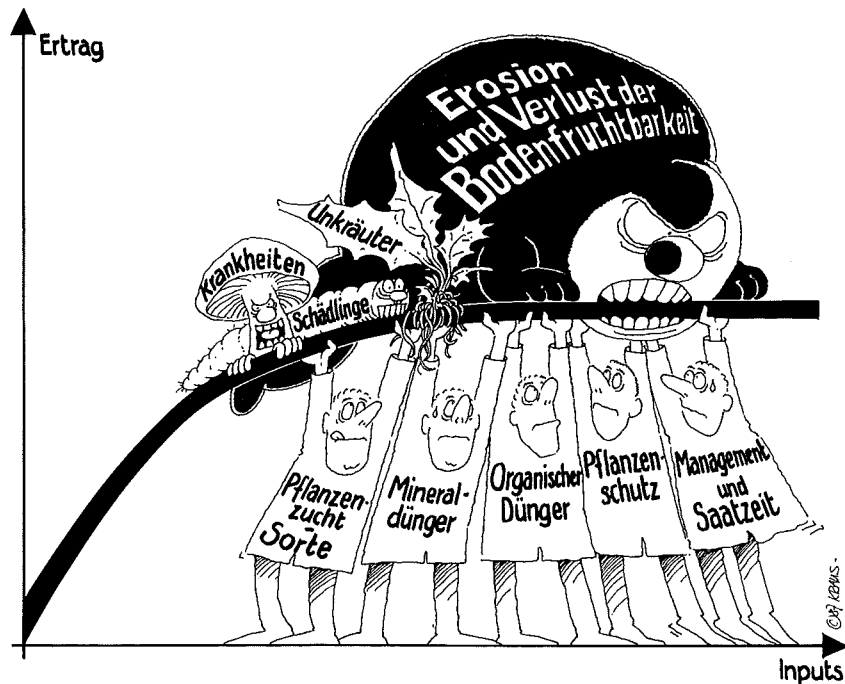


Abb. 2.15: Die Bekämpfung der Bodenerosion ist die Voraussetzung für das Wirksamwerden aller anderen Produktionsfaktoren.

das abfließende Wasser von Konturdämmen geleitet wird. In Paraná hat die Grabenerosion (Gräben tiefer als 30 cm und über 1 m breit) bereits zur Zerstörung von schätzungsweise 1,5 % der Anbaufläche oder 90.000 ha geführt (in Anlehnung an Kronen, 1986).

**Winderosion** spielt in Paraná nur eine untergeordnete Rolle. Gelegentlich kann auf Sandböden, insbesondere im Arenito Caiuá-Gebiet, bei anhaltend starken Winden und trockener Witterung Winderosion beobachtet werden. Auch auf den Rotlehm Böden können kurz vor Gewitterregen rote Staubwolken hochgewirbelt werden. Meistens stammt dieser Staub jedoch von stark befahrenen, unbefestigten Lehmstraßen. Voraussetzung für das Auftreten von Winderosion ist, daß

- die Windgeschwindigkeit 30 cm über dem Erdboden höher ist als 18 km/h
- der Boden frei von Vegetation, glatt, locker, trocken und feinkrümelig ist.

Die Kombination dieser Voraussetzungen ist in Paraná relativ selten. Schon die Messungen der Windgeschwindigkeit über längere Zeiträume zeigen, daß die für das Auftreten von Winderosion erforderlichen Werte nur über kürzere Zeiträume

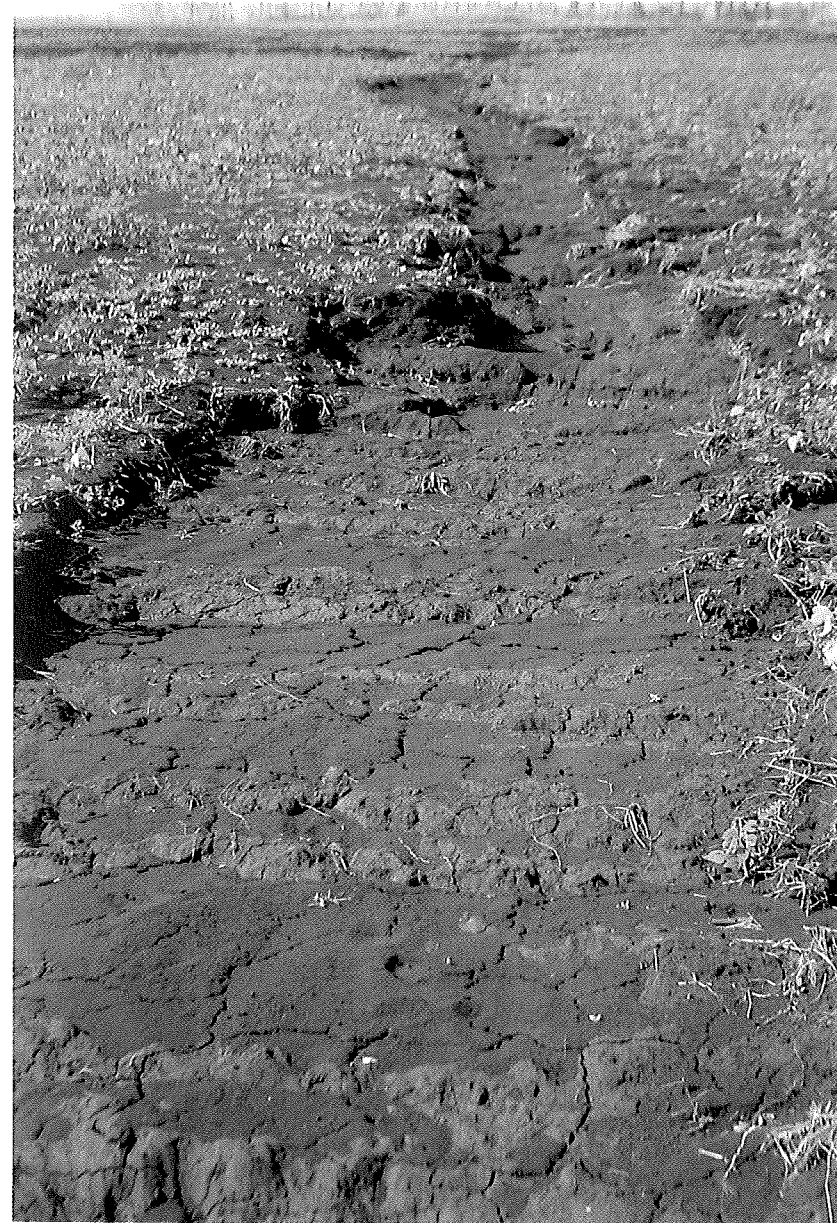


Abb. 2.16: Rillenerosion nach der Aussaat von Phaseolusbohnen.

(Photo: R. Derpsch)





Abb. 2.17: Erosionsschäden in Hanglage. Maispflanzen und fruchtbarer Boden wurden vom abfließenden Wasser mitgerissen. (Photo: M. Meiborg)

überschritten werden, obwohl durchaus Windgeschwindigkeiten über 100 km/h auftreten können. Bei feuchtem oder bedecktem Boden führt das jedoch nicht zu Erosionsschäden. Unter den gegebenen Witterungsbedingungen erfordern die durch Winderosion verursachten Schäden bislang keine gezielten Bekämpfungsmaßnahmen.

## 2.5 Zusammenfassung

Ursprünglich waren 84 % der Fläche des Staates Paraná mit Naturwald bedeckt. Im Zuge der Besiedlung und Intensivierung des Ackerbaus ist die Gesamtwaldfläche auf nur noch 7 % geschrumpft. Die Anbaufläche für einjährige Kulturen versechsfachte sich von 1950 bis 1980 auf 6 Mio ha.

Im Staat Paraná werden auf nur 2,4 % der Gesamtfläche Brasiliens rund 25 % der Körnerproduktion und ein Drittel der landwirtschaftlichen Exportproduktion des Landes erzeugt.

Die hügelige Oberflächengestaltung und die hohe Niederschlagsintensität bewirken in Verbindung mit der Bloßlegung des Bodens durch die Bodenbearbeitung ein beträchtliches Erosionspotential und eine ständige Gefährdung von Ackerflächen. Oxisole und Alfisole

gehören zu den wichtigsten Bodentypen, die für den Anbau von einjährigen Kulturen geeignet sind. Diese tiefgründigen, aus basaltischem Ausgangsgestein entstandenen Rotlehme weisen Tongehalte von 50 bis 80 % auf.

Paraná wird vom tropischen Wendekreis des Steinbocks durchquert und hat subtropisches Klima. Dementsprechend liegen die Jahresdurchschnittstemperaturen im Norden (Londrina, 566 m über NN) bei 20,7° C und im Süden (Ponta Grossa, 880 m über NN) bei 17,6° C. Bei einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von rund 1.600 mm in Londrina beträgt die Evapotranspirationsrate ca. 1.000 mm. Das bedeutet einen erheblichen Niederschlagsüberschuß. Aufgrund der Abweichungen in der Niederschlagsverteilung können dennoch Feuchtigkeitsdefizite zu jeder Jahreszeit auftreten.

Die Erosivität der Niederschläge ist durch die hohen Mengen und hohen Intensitäten gekennzeichnet. In Paraná werden Niederschläge bis zu 250 mm in 24 Stunden registriert. 15 % aller Regen fallen mit einer Intensität von mehr als 50 mm/h.

Die Ackerbaufläche von Paraná umfaßt über 6 Mio ha. Die wichtigsten Kulturen sind Mais, Sojabohnen, Phaseolusbohnen, Baumwolle und Reis im Sommeranbau sowie Weizen im Winteranbau. Im Winter liegen ca. 80 % der Flächen brach.

Die Erosionsprobleme sind auf den mittleren und großen Betrieben (> 50 ha), wo ein hoher Mechanisierungsgrad mit schweren Maschinen erreicht wurde, am größten. Diese Betriebe bearbeiten etwa 70 % der Fläche Paraná's. Kleinbetriebe sind aufgrund des geringen Mechanisierungsgrades der kleinen, oft unterteilten Flächen und der häufigen Anwendung von bodenschonenden Anbausystemen weniger erosionsgefährdet.

Flächen-, Rillen- und Grabenerosion sind in Paraná weit verbreitet. Bodenverluste von 100 bis 200 t pro ha und Jahr, in Extremfällen bis zu schätzungsweise 700 t pro ha und Jahr, können auftreten. Für eine mittlere Hangneigung von 9 % und eine mittlere Entfernung zwischen Konturdämmen von 22 m sind am IAPAR durchschnittliche Bodenverluste von 13,4 t pro ha und Jahr gemessen worden. Da auf 70 % der Ackerbaufläche eine intensive Bodenbearbeitung mit der schweren Scheibenegge durchgeführt wird, müssen bei Anbau von einjährigen Kulturen in der Praxis jedoch Bodenverluste von 30 bis 40 t pro ha und Jahr angenommen werden. Die in dem herkömmlichen Ackerbau praktizierte Bodenbearbeitung und die damit verbundene Bloßlegung des Bodens zählt zu den wichtigsten Ursachen des Erosionsprozesses.