

## Quantitative Erfassung der Bodenerosion auf Maisflächen unter verschiedenen Anbaumethoden\*

von

GEORG FÖRSTER

Mit einer Abbildung, sechs Fotos und vier Tabellen

### Vorwort

Der Gedanke, mich mit der Erfassung und Quantifizierung der Bodenerosion auseinanderzusetzen, kam nicht plötzlich. Da ich seit meiner Kindheit mit der Landwirtschaft verbunden bin, wurde ich zwangsläufig auf das Problem Bodenerosion aufmerksam. Angesichts der ständig steigenden Maisanbaufläche und der damit verbundenen hohen Bodenabtragung führte ich im Jahr 1985 eine Untersuchung über Erosionsprozesse auf Ackerflächen unter verschiedenen Anbaumethoden durch. Gegenstand der Untersuchung war ausschließlich die aktuelle Bodenerosion durch oberflächlich abfließendes Niederschlagswasser, die anhand der einzelnen Abtragsereignisse quantitativ erfaßt wurde. Fast alle ackerbaulich genutzten Flächen, insbesondere die intensiv genutzten Felder und Hanglagen unterliegen einer mehr oder weniger starken Schädigung durch Bodenerosion. Da nun einerseits die landwirtschaftliche Nutzfläche jährlich abnimmt, andererseits die Bodenerosion aufgrund moderner Bewirtschaftung (schwere Maschinen, Monokulturen, spätdeckende Pflanzen) ständig zunimmt, ist eine Erforschung unbedingt erforderlich.

### 1 Schäden durch Bodenerosion

Durch die Bodenerosion wird Oberboden abgetragen und umgelagert, d. h. der wertvollste Teil des Ackerbodens, humus- und nährstoffreiches Material, wird abgeschwemmt und ist in den meisten Fällen für immer der agrarischen Nutzung entzogen. Der Abtragung steht zwar die Bodenneubildung gegenüber, doch in den meisten Fällen läuft die Bodenneubildung um ein Vielfaches langsamer ab als die Abtragung. Durch dieses Mißverhältnis von Abtragung und Bodenneubildung

\*) Zusammenfassung einer Magisterarbeit, die am Institut für Geographie der Universität Erlangen-Nürnberg im Jahr 1986 abgeschlossen wurde.

kommt es am Oberhang zu Profilverkürzungen (gekappede Bodenprofile) und häufig auch längerfristig zu einer Änderung des Bodentyps. Wird das abgeschwemmte Material am Hangfuß abgelagert, erfolgt Akkumulation durch Überschüttung, was häufig zu Vernässungen führt. Neben dem mineralischen Feinmaterial (hauptsächlich Schluff und Ton) gehen auch Humus und eine Reihe von Nährstoffen verloren. Der Rückgang des Humusgehaltes bewirkt eine Verschlechterung der Bodenstruktur, was wiederum eine Erhöhung der Erosionsanfälligkeit zur Folge hat.

Die Nährstoffauswaschung bzw. die Abspülung von Dünger bringt ebenfalls viele Probleme mit sich. Die abgeschwemmten Boden- und Düngermassen belasten nach ihrer Einleitung unsere Oberflächengewässer, zum Teil sogar schon das Grundwasser und tragen zu deren Eutrophierung bei. Ein weiterer Problemkreis ist die Schwebstoffbelastung. Durch das abgespülte Material kommt es zu Verunreinigungen und zur Verschlammung der Wasserläufe, was hohe wasserwirtschaftliche Schäden zur Folge hat.

## 2 Faktoren, Prozesse und Formen der Bodenerosion im Allgemeinen

### 2.1 Faktoren der Bodenerosion

Ein Bodenerosionsvorgang wird durch viele verschiedene Faktoren und deren Wechselbeziehungen bestimmt und ist daher in seiner Gesamtheit komplex. Er stellt eine Funktion von Erosivität (Erosionsfähigkeit) und Erodierbarkeit (Erosionsanfälligkeit) dar. Folgende vier Grundfaktoren, von denen sich jeder aus einer Anzahl von Größen zusammensetzt, kennzeichnen die Bodenerosion:

- Niederschlag
- Boden
- Relief
- Vegetation (Bodennutzung und -bedeckung)

Der Grundfaktor Niederschlag ist hierbei für die Erosivität, die Grundfaktoren Relief, Boden und Vegetation für die Erodierbarkeit verantwortlich. Aus diesen Hauptfaktoren ergibt sich in Anlehnung an N. HUDSON (1973, S. 45/46) aus R. G. SCHMIDT (1979) die Bodenverlustgleichung.

Der formelhafte Ausdruck  $A = f(R, K, L, S, P, C)$  entspricht der Bodenverlustgleichung von W. H. WISCHMEIER/D. D. SMITH (1962) aus R-G. SCHMIDT (1979).

Erläuterungen: A = mittlerer jährlicher Bodenverlust

R = Niederschlagsfaktor

K = Bodenfaktor

L = Hanglänge

S = Hangneigung

P = Faktor für Bodennutzung

C = Bodennutzungsfaktor

Der *Niederschlag* bzw. die Niederschlagsmenge und -dauer beeinflussen Auslösung und Höhe der Bodenerosion. Nur Dauer- und Starkregen können unter bestimmten Bedingungen Bodenerosion auslösen. Um Aussagen über die Erosionswirkung eines Niederschlags machen zu können, muß man die Niederschlagsintensität, die sich aus Niederschlagsmenge und -dauer errechnet, bestimmt werden. Die Erosionsanfälligkeit eines *Bodens*, d. h. die Widerstandskraft eines Bodens gegen die Abspülung, wird im wesentlichen durch die Korngrößenverteilung im Oberboden, durch verschiedene Bodenstrukturmerkmale und durch die Bodenwasserbedingungen bestimmt. Das *Relief* beeinflusst vor allem über die Hangneigung in starkem Maße die Erosionsanfälligkeit eines Bodens. Weitere wichtige Parameter sind Hanglänge, Hangform und Exposition. Der Faktor *Vegetation* ist sicherlich derjenige der vier Grundfaktoren, der vom Menschen in größerem Ausmaß steuerbar ist. Im Gegensatz zur Dauervegetation ist beim Ackerbau, infolge des Fruchtwechsels, der Boden bestimmte Zeiten im Jahr nur unzureichend bedeckt oder völlig unbedeckt. In dieser vegetationslosen Zeit ist der Ackerboden stark erosionsanfällig, da die schützende Vegetationsdecke fehlt. Eine geschlossene Vegetation hingegen schützt den Boden in hohem Maße vor Abtrag, denn sie

- mindert die Prallwirkung der Regentropfen
- fördert die Versickerung des Niederschlagswassers
- verzögert den Oberflächenabfluß
- hält die Bodenkrume fest und
- stützt durch die Wurzelmasse das Bodengefüge.

Neben der Art der Feldfrucht sind die Feldbearbeitung, insbesondere der Bearbeitungszustand und die Bearbeitungsrichtung, für die Höhe der Erosionsschädigung ausschlaggebend.

## 2.2 Prozesse der Bodenerosion

Die Prozesse der Bodenerosion sind im wesentlichen durch die Auslösung der Abspülung und durch den anschließend einsetzenden Oberflächenabfluß gekennzeichnet. Bei Dauerregen kommt es zunächst zur Prallwirkung und zur Aufnahme der Regentropfen im Boden. Diese Aufnahme erfolgt solange, bis die Infiltrationskapazität des Bodens überschritten wird. Bei fortgesetztem Regen wird die Feldkapazität überschritten, d. h. der Boden ist wassergesättigt. Auf der Bodenoberfläche baut sich ein dünner Wasserfilm auf, während es gleichzeitig zur Planschwirkung kommt. Bei andauerndem Niederschlag setzt schließlich der Oberflächenabfluß ein. Bei Starkregen läuft der Vorgang zunächst ebenso ab wie bei Dauerregen. Der Unterschied besteht jedoch darin, daß bei Starkregen der Oberflächenabfluß unabhängig davon einsetzt, ob die tieferen Bodenhorizonte schon wassergesättigt sind. Mit der Bildung eines geschlossenen Wasserfilms setzt schließlich der Oberflächenabfluß ein,

wobei die Ersoivität durch die Planschwirkung und die dadurch verursachte Turbulenz des abfließenden Wassers stark erhöht wird. Entlang von Furchen, Rinnen und Fahrspuren bilden sich erste feine Abflußlinien. Der sich hangabwärts bewegende Wasserfilm besitzt durch seine kinetische Energie gewisse Schleppkräfte. Der Boden setzt durch Bindigkeit und Aggregatstabilität diesen Schleppkräften zwar einen Widerstand entgegen, jedoch mit hangabwärts zunehmendem Abfluß überschreitet die Fließgeschwindigkeit einen bestimmten Wert und es kommt auch ohne Planschwirkung zur Erosion. Die Wasserbewegung, der Strömungsdruck und die Fließwirbel reißen Feinmaterial hoch und spülen es hangabwärts – SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL – (1976).

### 2.3 Formen der Bodenerosion

In der Literatur werden die Formen, die durch die Bodenerosion entstehen, sehr verschieden bezeichnet und typisiert. SCHMIDT (1979) schlägt folgende Formensystematik, die drei Gruppen unterscheidet, vor:

- Flächenhafte Formen
- Lineare Formen
- Flächenhaft-lineare Formen.

Die *flächenhaften Formen*, zu denen die Verspülung und die Flächenspülung zugeordnet werden, sind dadurch gekennzeichnet, daß die Bodenpartikel nur über kurze Distanzen umgelagert werden. Abtragung und Ablagerung wechseln kleinräumig ab, so daß es zu einer Nivellierung des Ackermikroreliefs und zuweilen auch zu einer Sortierung des Materials kommt. Die Rillen-, Rinnen- und Grabenerosion bilden jeweils *lineare Erosionsformen* aus. Die Rillenerosion ist die kleinste linienhafte Hohlform und tritt häufig auf Ackerflächen auf. Die Rillen haben Ausmaße von 1 - 15 cm Tiefe und maximal 25 cm Breite. Bei der Rinnenerosion haben die linearen Hohlformen eine Tiefe von 15 - 50 cm überschritten. Die Schäden können nicht mehr durch Bearbeitung mit landwirtschaftlichen Geräten beseitigt werden. Die flächenhafte Rinnenerosion, bei der Rinnen von mehr als 200 cm ausgespült werden, sind zwar der Form nach linear, die Wirkung aber ist flächenhaft. Sie zählt ebenso wie die Rinnenspülung zu den *flächenhaft-linearen Erosionsformen*. Die Rinnenspülung ist durch ein Netzwerk von Hohlformen mehr oder minder stark miteinander verbunden. Durch die Dichte des Netzes ist die Abtragungswirkung flächenhaft. Ein weiteres charakteristisches Merkmal ist die Häufung von kleinen Rillen, die gleichmäßig über eine größere Fläche verlaufen.

## 3 Ziele und Probleme der Bodenerosionsuntersuchung

Durch die Komplexität der am Bodenerosionsprozeß beteiligten Faktoren und der Problematik, sie zu messen, müssen folgende Aspekte betrachtet werden:

- Die Untersuchung der an der Bodenerosion beteiligten Faktoren kann nur auf Testflächen erfolgen. Hierbei müssen sämtliche Rahmenbedingungen bekannt bzw. meßbar sein.
- Die quantitative Erfassung der Bodenverluste ist nur punktuell auf kleinen Flächen meßbar.
- Die Übertragung der punktuellen Messungen auf eine größere Fläche ist nur möglich, wenn es sich bei dem Standort der Messung um einen repräsentativen Standort handelt.

Ein Ziel der Untersuchung war die *Sammlung von Grundlagendaten* über den Bodenerosionsprozeß. Dabei standen folgende Messungen im Vordergrund:

- Welche Niederschlagsereignisse führen zu Bodenabtrag? Sind auslösende Schwellenwerte für Intensität, Menge und Dauer erkennbar?
- Welche Korngrößen werden vorzugsweise transportiert?
- Welchen Einfluß hat der Bodenfeuchteausgangswert bei einem Abtragsereignis?
- Welche Beziehung besteht zwischen Abflußmenge und Menge des transportierten Materials?

Aufgrund der Messungen während des gesamten Meßzeitraums wurde die Schädigung, also das *Ausmaß der Bodenerosion* innerhalb einer Vegetationsperiode erfaßt. Dabei wurde folgenden Fragen nachgegangen:

- Unter welchen äußeren Bedingungen kommt es zu besonders großen Abtragschäden?
- Durch Addition der Daten der einzelnen Abtragsereignisse wurde die Höhe der Schädigung insgesamt festgestellt.
- Der absolute Bodenabtrag wurde in Beziehung zur Bodenbildung gesetzt:
- Durch Vergleich der Niederschlagsdaten der letzten Jahre für die Station Erlangen wurde ermittelt, ob 1985 ein repräsentatives Jahr für den Bodenabtrag war.

Ein weiteres Ziel meiner Untersuchung war das *Testen von „alternativen Anbauverfahren“* im Maisbau. Im einzelnen handelte es sich bei den alternativen Anbaumethoden um eine

- Müllkompostauflage und eine
- Untersaat mit Erdklee.

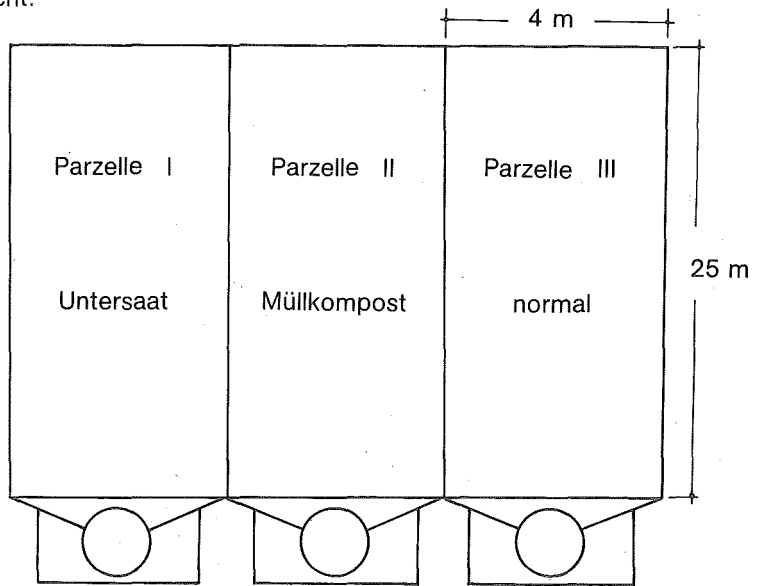
Durch den Vergleich mit der herkömmlich bestellten Parzelle wurde ermittelt, welches Anbauverfahren die Erosionsschädigungen um wieviel verringerte.

#### 4 Angaben zur Testfläche – Aufbau der Versuchsanlage

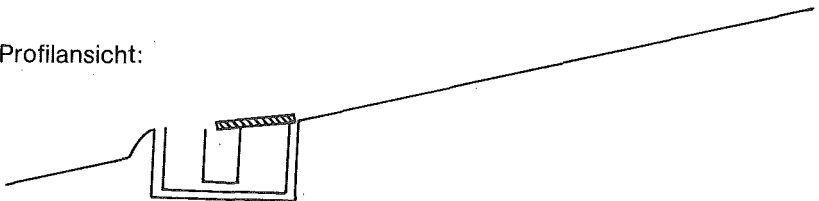
Um eine Testfläche zu errichten, sind bestimmte Voraussetzungen zu erfüllen. Der Standort sollte so gewählt werden, daß die Fläche ein einheitliches Gefälle aufweist, nur nach einer Seite exponiert und nach allen Seiten wind- und regenoffen ist. Eine Zufahrtsmöglichkeit für die Installation und Betreuung der Meßstation sowie die Erlaubnis des Besitzers, Grabungen vorzunehmen, sind ebenfalls erforderlich. Alle Voraussetzungen waren gegeben. Die Testfläche lag im Oberen Keuper (Feuerletten) innerhalb eines 1,3 ha großen Feldes, ca. 5 km östlich Erlangens, in

Abb. 1: Erosionsmeßanlage

Daraufsicht:



Profilansicht:



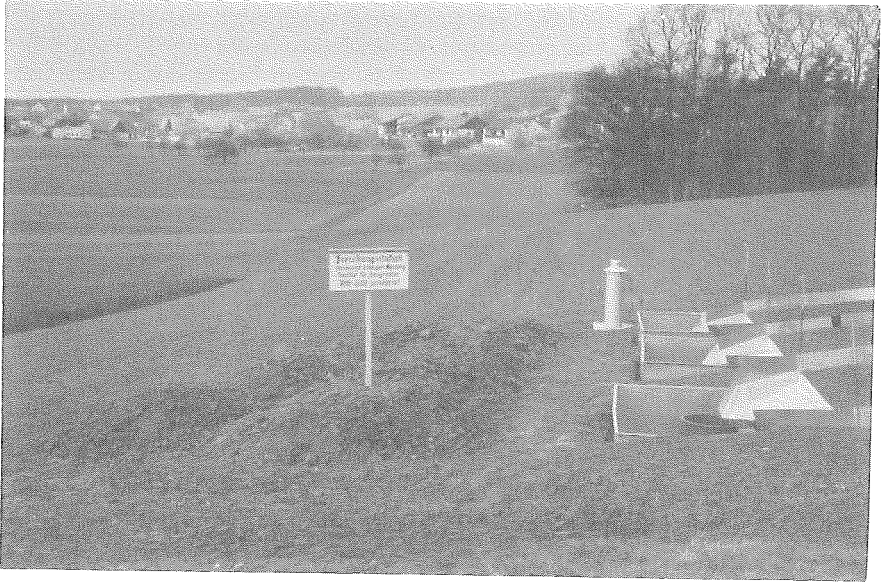
320 – 330 m über NN. Über dem Feuerletten lagert eine ca. 1 m mächtige „Lößlehm-Schicht“, auf der sich eine mesotrophe Ackerbraunerde mit einem Ap-Bv-BvC-C Profil entwickelt hat. Das langjährige Mittel der Station Erlangen (die dem Testfeld nächstliegende Station) weist einen Niederschlag von 652 mm auf. Die Daten zur Gewitterhäufigkeit zeigen ein frühsummerliches Maximum im Juni und Juli auf.

Die Versuchsanlage wurde auf einem SSW exponierten Hang mit einem durchschnittlichen Gefälle von  $8^\circ$  eingerichtet. Die Meßparzellen waren im Mittelhangbereich angeordnet. Die Hangneigung beträgt hier  $10,5^\circ$ . Es wurden drei Versuchspartzellen angelegt. Auf der Parzelle I wurde Mais in herkömmlicher Weise angebaut; auf die Parzelle II wurde zusätzlich eine Müllkompostauflage eingebracht und Parzelle III wurde mit einer Erdkleeuntersaat versehen. Die drei in Gefällsrichtung angeordneten Meßparzellen waren je 25 m lang und 4 m breit und durch Bleche begrenzt, die ein seitliches Überfließen von Oberflächenwasser verhinderten. Überleitbleche am unteren Ende der Parzellen sorgten dafür, daß das Erosionsgut verlustfrei in die unter Flur angebrachten Auffangbehälter geleitet wurde. Die Überleitbleche waren so konstruiert, daß sie einen nahtlosen Übergang von der Bodenoberfläche gewährleisten, um kein Wasser zurückzustauen oder versickern zu lassen. Die Auffangbehälter aus verzinktem Stahlblech faßten etwa 3000 l, so daß selbst bei extremen Starkregen das gesamte erodierte Material und das oberflächlich abfließende Wasser aufgefangen werden konnte. Direkt unter dem 40 cm breiten Auslauf stand außerdem jeweils eine Plastiktonne von 200 l, die für kleinere Erosionsmengen ausreichend war. Wurde mehr Material abgespült, lief die Plastiktonne über und ergoß sich in die Auffangwanne. Wichtigstes technisches Gerät war ein schreibender Regenmesser, der die Niederschlagsdaten registrierte. Durch Berechnung konnte die Niederschlagsintensität ermittelt werden.

Nach Vorbereitung der einzelnen Meßparzellen erfolgte am 27.4.1985 die Maisaussaat. Die Saat, Düngung, Unkrautbekämpfung und Ernte erfolgte nach den heute allgemein gültigen Richtlinien. Parzelle I, die herkömmlich quer zur Gefällsrichtung bestellt wurde, wurde als Normalparzelle bezeichnet.

Die Parzelle II (Kompostparzelle) wurde wie die Normalparzelle bestellt. Zusätzlich wurde eine ca. 4 cm mächtige, speziell aufbereitete Müllklarkompostauflage aufgebracht und leicht in den Boden eingearbeitet. Dies entsprach einer Menge von  $400 \text{ m}^3/\text{ha}$  bzw.  $4 \text{ m}^3/100 \text{ qm}$ . Der Kompost wurde aus folgenden Gründen gewählt:

- Eine Mulchdecke vermindert die Prall- und Planschwirkung bei Starkniederschlägen erheblich und verhindert bzw. reduziert die Erosion.
- Der Feuchtigkeitsverlust durch Verdunstung wird durch eine Kompostauflage reduziert.
- Mit mehr als 50% organischer Substanz gewährleistet der Kompost eine ausreichende Humusversorgung des Ackerbodens.



*Photo 1. Gesamtansicht der Erosionsmeßanlage*



*Photo 2. Die drei Meßparzellen, in Gefällsrichtung gesehen*



- Die organische Substanz bewirkt eine Bodenlockerung und verbessert die Bodenlüftung. Dadurch kann bei Starkregen erheblich mehr Niederschlagswasser vom Boden aufgenommen werden.
- Durch den günstigen pH 7,8 wirkt der Kompost einer weiteren Versauerung der Ackerböden entgegen.
- Die im Kompost enthaltenen Nährstoffe erübrigen bzw. reduzieren die Ausbringung von Mineraldünger.



*Photo 3. Regenschreiber*



*Photo 4. Normalparzelle*



*Photo 5. Kompostparzelle*



*Photo 6. Untersaatparzelle*

Die Untersaatparzelle (P III) wurde ebenfalls wie die Normalparzelle bestellt. Etwa vier Wochen nach der Maiseinsaat wurde zusätzlich Erdklee als eine Ganzflächenuntersaat ausgebracht.

Für eine Untersaat auf Feldern mit spät bodendeckenden Früchten wie Mais, spricht vor allem der gute Erosionsschutz. Daneben gibt es noch eine Reihe von weiteren Gründen:

- Durch die Bedeckung wird nicht nur der Bodenabtrag, sondern auch die Nährstoffauswaschung vermindert.
- Die Bodenstruktur (Krümelstabilität) und die biologische Aktivität wird unter Einsaaten verbessert (Wurzelmasse).
- Die Tragfähigkeit und damit die Befahrbarkeit der Böden bei der Ernte werden durch eine geschlossene Pflanzendecke, im besonderen bei feuchter Witterung, verbessert.
- Für die nachfolgende Kultur findet eine Nährstoffanreicherung statt, da die Leguminosenuntersaat Stickstoff aus der Luft bindet und im Boden anreichert.

## 5 Die quantitative Bodenerosion und ihre Methoden

Während des Erfassungszeitraumes vom 27.4.1985 bis zum 2.10.1985 ereigneten sich auf der Testfläche zehn auswertbare Erosionsfälle. Die Anzahl der Erosionsereignisse war für den kurzen Meßzeitraum außergewöhnlich hoch. Zu jedem einzelnen Erosionsereignis lieferte der installierte Regenschreiber die entsprechenden Aufzeichnungen. Durch Berechnung des Quotienten aus Niederschlagsmenge und Niederschlagsdauer wurde die Intensität des Niederschlags bestimmt. Nach jedem Erosionsereignis wurden die Abfluß- und Abtragsmengen gemessen. Als abgetragen galt, was das Überleitblech erreicht bzw. passiert hatte.

Zunächst wurde das Oberflächenwasser in Litern gemessen. Um eventuelles, durch den Abschöpfvorgang in Suspension geratenes Material nicht mit abzuschöpfen, mußten mehrmals Pausen eingelegt werden, damit sich das Material erneut sedimentieren konnte. Nachdem das Wasser entfernt war, konnte das eingeschwemmte Festmaterial aus den Behältern geborgen werden. Von jeweils jeder Parzelle wurde je Erosionsfall eine repräsentative Probe des abgespülten Material gezogen, um eine Korngrößenbestimmung vorzunehmen.

Die Ermittlung des Humusgehalts, Bodenfeuchtebestimmungen, Infiltrationsmessungen und Bodenverdichtungsmessungen wurden als weitere bodenphysikalische Messungen durchgeführt. Durch die Aufnahme von Bioindikatoren in bestimmten Zeitabständen wurde die Pflanzenentwicklung der einzelnen Versuchspartellen beobachtet. Unabhängig von der Erosionsschädigung wurde geprüft, in welcher Parzelle sich die Maispflanzen am besten entwickelten. Um am Ende der Vegetationsperiode eine Zahl über die Nutzungsentwicklung zu erhalten, wurde die Biomasse von fünf Reihen je Parzelle ausgewogen.

## 6 Die Erosionsereignisse

Aufgrund der Bodenabtragungsmenge lassen sich die zehn auswertbaren Erosionsereignisse während des gesamten Erfassungszeitraumes in vier Kategorien einteilen (vgl. Tab. 1):

- katastrophale Abtragereignisse (Erosionsfall 4)
- große Abtragereignisse (Erosionsfall 7)
- mittlere Abtragereignisse (Erosionsfall 1 und 2)
- kleine Abtragereignisse (die restlichen Erosionsfälle)

Bei jedem Abtragereignis wurden folgende Daten registriert:

- Die Abtragsdaten im engeren Sinn, bestehend aus Angaben über Niederschlag, Abfluß und Abtrag.

Tabelle 1: Abtragungs- und Abflussmengen

Erosionsfall	Tag	Niederschlags- menge in mm	Niederschlags- dauer in min	Menge des Erodierten Materials in kg			Menge des abgeflossenen Oberflächenwassers in l			Anteil des oberflächlich abgeflossenen Wassers vom Niederschlag in %		
				Parzelle			Parzelle			Parzelle		
				I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	21.5. - 22.5.	26,3	1170	19,2	4,8	8,8	234	178	203	8,9	6,7	7,7
2	28.5 - 29.5.	25,2	365	27,4	4,6	13,1	396	197	278	15,7	7,8	11,0
3	6.6.	11,4	320	1,8	0,2	0,6	58	24	34	5,1	2,1	3,0
4	6.6.	32,6	40	449,5	232,1	377,4	2316	1884	1992	71,0	57,8	61,1
5	24.6.	5,1	120	2,2	0,45	0,5	39	19	18	7,6	3,7	3,5
6	27.6.	4,4	105	1,8	0,15	0,2	33	11	10	7,5	2,5	2,2
7	2.7.	26,8	385	54,1	11,6	7,9	1348	709	573	50,3	26,5	21,4
8	16.7.	14,1	75	12,3	0,95	0,5	92	37	28	6,5	2,6	2,0
9	26.7. - 27.7.	10,5	110	2,7	0,2	0,1	41	19	11	3,9	1,8	1,1
10	1.8.	18,7	65	4,1	1,2	0,7	102	59	37	5,4	3,1	1,9

- Die Randbedingungen vor den erosionsauslösenden Niederschlägen, vor allem der Bodenfeuchtwert.
- Die anthropogen bedingten Randbedingungen wie Entwicklungszustand der Maispflanzen und Rauigkeit der Bodenoberfläche.
- Die Ergebnisse der Laboranalysen, insbesondere die Korngrößenzusammensetzung nach Fraktionen.

Im folgenden soll nun durch eine Gesamtbetrachtung eine Bewertung der Ergebnisse erfolgen. Zunächst möchte ich jedoch auf eine Reihe von technischen und methodischen Problemen hinweisen, da diese bei der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sind: Damit die Messungen nicht verfälscht wurden, erforderte die Bestimmung des Oberflächenabflusses eine gute Abgrenzung der Parzellen, um Zu- und Abfluß zu verhindern. Besonders wichtig war ein nahtloser Übergang von den Parzellenenden zu den Überleitblechen. Es durfte weder Wasser vor dem Blech versickern, noch durfte durch eine Stufe Material zurückgestaut werden. Meßtechnische Probleme entstehen dann, wenn verschiedene von einander unabhängige Messungen durchgeführt werden. So ist z. B. die richtige Zuordnung der Bodenfeuchte äußerst schwierig, da sich innerhalb kurzer Zeit die Werte stark verändern. Ebenso ist auf die Fehlermöglichkeit bei der Bestimmung der Niederschlagsintensität hinzuweisen (durch die Konstruktion des Regenschreibers bedingt). Methodische Probleme bei der Erosionsmessung auf Testflächen treten vor allem dann auf, wenn mehrere erosionsauslösende Niederschläge aufeinander folgen und eine Zwischenleerung nicht möglich ist. Ein weiteres Problem ist die Handhabung sehr großer Abfluß- und Materialmengen (Erosionsfall 4).

Überprüft man die *Niederschlagsereignisse*, die Abspülungen ausgelöst haben, hinsichtlich Niederschlagsmenge, Niederschlagsdauer und Niederschlagsintensität, dann ergeben sich sehr große Schwankungen. Die Niederschlagsdaten sind in Tab. 2 zusammengestellt. Es treten weder die Niederschlagsmengen noch die Niederschlagsdauer signifikant in Erscheinung, sondern die Intensität. Eine Untergrenze der Niederschlagsmenge, bei der Erosion ausgelöst wurde, zeichnet sich bei 5 mm ab. Bei Durchsicht der Regenschreiberaufzeichnungen wurde aber auch aufgezeigt, daß mehrere Niederschlagsereignisse mit Intensitäten bis zu 13 mm bezüglich der Erosion wirkungslos blieben. Dies beweist, daß neben dem Niederschlag noch andere Parameter, wie Deckungsgrad, Bodenfeuchte usw. für eine Auslösung von Abspülvorgängen verantwortlich sind. Die größten Bodenverluste wurden durch Niederschläge verursacht, die durch sehr hohe Intensitäten gekennzeichnet waren (z. B. Erosionsfall 4).

Bei der *Korngrößenverteilung* fällt auf, daß der Sandanteil des erodierten Materials im Vergleich zum Ausgangssubstrat wesentlich höher ist. Im Gegensatz dazu sind die Schluff- und Tonanteile im erodierten Material geringer als in der Ausgangsprobe. Aus der Korngrößenanalyse kann abgeleitet werden, daß der überproportio-

Tabella 2: Niederschlagsdaten

Erosionsfall	Tag	Uhrzeit (von - bis)	Niederschlagsdauer		Niederschlagsmenge in mm	Intensität Ge- samt (mm/min)	Max. 30-min-Inten- sität (mm/min)	Max. 6-min-Inten- sität (mm/min)
			in min.	( 6 Std. 5 min) ( 5 Std. 20 min) ( 6 Std. 25 min)				
1	21.5. - 22.5.	13.45 - 9.15	1170 (19 Std. 30 min)	26,3	0,022	0,150	0,180	
2	28.5. - 29.5.	22.35 - 4.40	365 ( 6 Std. 5 min)	25,2	0,069	0,306	0,410	
3	6.6.	0.55 - 6.15	320 ( 5 Std. 20 min)	11,4	0,035	0,226	0,710	
4	6.6.	11.45 - 12.25	40	32,6	0,815	1,036	1,830	
5	24.6.	15.50 - 17.50	120	5,1	0,042	0,150	0,633	
6	27.6.	18.00 - 19.45	105	4,4	0,041	0,096	0,233	
7	2.7.	0.45 - 7.10	385 ( 6 Std. 25 min)	26,8	0,069	0,476	0,440	
8	16.7.	14.40 - 15.55	75	14,1	0,188	0,336	0,683	
9	26.7. - 27.7.	23.05 - 0.55	110	10,5	0,095	0,190	0,550	
10	1.8.	18.30 - 19.35	65	18,7	0,287	0,540	1,350	



nal hohe Sandanteil des erodierten Materials einer Sortierung entspricht. Im Akkumulationsbereich kommt es zur Sandanreicherung, während im Erosionsbereich eine Schluff- und Tonkonzentration erfolgt.

Die *Wassergehaltsmessungen* ergaben, daß das Auslösen und Auftreten von Bodenerosionsvorgängen nicht in signifikantem Zusammenhang mit der Bodenfeuchte im Oberflächen-Bodenbereich steht. Zwar wurden bei der größten Ausgangsbodenfeuchte die größten Abfluß- und Abtragungsmengen registriert, doch dürften die hohen Bodenverluste weitgehend auf die sehr hohen Niederschlagsmengen, verbunden mit hohen Intensitäten, zurückzuführen sein.

Der Vergleich der Werte aller Abtragsereignisse zwischen den einzelnen Parzellen zeigt deutlich, daß Parzelle I (Normalparzelle) bei allen Ereignissen sowohl den höchsten Abfluß, als auch den größten Bodenabtrag aufweist (siehe Tab. 3). Die

Tabelle 3: Gesamtabtragungsmengen (in kg)

Erosionsfall	Parzelle I	Parzelle II	Parzelle III
1	19,2	4,8	8,8
2	27,4	4,6	13,1
3	1,8	0,2	0,6
4	449,5	232,1	377,4
5	2,2	0,45	0,5
6	1,8	0,15	0,2
7	54,1	11,6	7,9
8	12,3	0,95	0,5
9	2,7	0,2	0,1
10	4,1	1,2	0,7
Gesamt	575,1	256,25	409,8
≙ mm Bodensäule	2,195	0,977	1,564
≙ m <sup>3</sup> /ha	21,95	9,77	15,64

jeweils größten Oberflächenabfluß- und Bodenabtragungsmengen dürften hauptsächlich auf die unbedeckte Bodenoberfläche, die stark verschwemmt und verdichtet war, zurückzuführen sein. Der maximale Abfluß von 2146 l in Verbindung mit dem maximalen Abtrag von 449,5 kg wurde beim Erosionsfall 4 auf Parzelle I gemessen. Der Gesamtbodenverlust während des Meßzeitraumes ist in Tab. 3 zusammengefaßt. Bei den zehn Abtragsereignissen von Ende April bis Anfang Oktober 1985 wurden insgesamt 1241,15 kg Erosionsmaterial aufgefangen. Rechnet man den Bodenabtrag

auf eine Fläche von 1 m<sup>2</sup>, so ergeben sich für P I 5,75 kg, P II 2,502 kg und P III 4,090 kg Bodenabtrag. Es ist allgemein üblich, den Bodenabtrag in Tonnen pro Hektar anzugeben. Folgende Werte wurden berechnet:

P I(Normalparzelle)	57,510 t
P II(Kompostparzelle)	25,625 t
PIII(Untersatparzelle)	40,980 t

Geht man von einer Bodendichte von 2,62 aus, so entsprechen die einzelnen Abträge einer Profilverkürzung der Bodensäule von

P I	2,195 mm
P II	0,977 mm
PIII	1,564 mm

Setzt man nun den Bodenabtrag des Meßzeitraumes in Beziehung zur Boden-neubildung, so wird klar, daß die ermittelten Abtragswerte Grund für eine Beun-ruhigung geben. LIPPOLT ET AL. (1963), zitiert in QUIST (1985), gehen aufgrund morphologischer Beobachtungen von einer jährlichen Boden-neubildungsrate durch Verwitterung von ca. 0,04 t/ha aus. Dies entspricht einer jährlichen Profilzunahme des A-Horizonts von 0,015 mm. Berücksichtigt man, daß meine Messungen lediglich ein halbes Jahr dauerten und die Erosionsschäden, die durch Schneeschmelze und durch die Winderosion entstehen, nicht erfaßt wurden, wird das Mißverhältnis von Bodenabtrag und Boden-neubildung noch bedenklicher. Sicherlich muß man allerdings berücksichtigen, daß die Niederschläge des Sommers 1985 und damit die Ero-sionsschädigung überdurchschnittlich hoch waren. Bei allen Abtragsereignissen war auf der Parzelle I der Bodenabtrag am größten. Vom Erosionsfall 1 bis 6 verzeich-nete jeweils die Parzelle II (Kompost) die geringsten Abtragsmengen; vom Erosionsfall 7 bis 10 dagegen die Parzelle III (Untersaat). Die Parzelle II war seit Beginn der Messung durch die Müllkompostauflage gut geschützt, die Parzelle III war zunächst ebenso unbedeckt wie Parzelle I. Die Untersaat der Parzelle III wurde etwa 4 Wo-chen nach der Maiseinsaat ausgebracht. Unter zunächst sehr ungünstigen Wite-rungsbedingungen konnte sich der Erdklee der Parzelle III erst sehr spät entwickeln. Entgegen der Empfehlung des Landwirtschaftsamtes, das eine Ausbringung der Un-tersaat aus Wachstums konkurrenzgründen erst 4 Wochen nach der Maiseinsaat emp-fiehlt, lautet aufgrund der geschilderten Erfahrung mein Rat: Gleichzeitige Aussaat von Mais und Untersaat.

Warum wurde nun auf den Parzellen II und III weniger abgetragen? Eine Reihe von Messungen wie Bodenverdichtungsmessungen, Infiltrationsmessungen und die Bestimmung des Humusgehaltes geben darauf eine Antwort. Die stärksten Boden- abschwemmungen auf Parzelle I sind neben der mangelnden Bodenbedeckung vor allem auf die unzureichende Humusversorgung zurückzuführen. Am Ende der Un-tersuchung wurden für die einzelnen Parzellen folgende Humusgehalte ermittelt: P I: 4,21 %; P II: 6,70 %; P III: 6,02 %. Die durch den geringen Humusgehalt be-

dingte schlechte Bodenstruktur der Parzelle I bewirkt eine Erhöhung der Erosionsanfälligkeit.

Die zentrale Bedeutung der organischen Substanz für die Bodenstruktur soll im folgenden erörtert werden. Durch eine Humusgabe werden das Gesamtporenvolumen und somit auch die Grobporen im Bodenkörper erhöht. Die Zunahme der Gesamtporosität bewirkt nun eine Erhöhung der Drainfähigkeit der Böden. Der Oberboden ist somit in der Lage, heftig fallende Niederschläge besser aufzunehmen und tieferen Bodenhorizonten zuzuführen. Humusarme Böden dagegen sind aufgrund ihrer geringen Durchlässigkeit nicht in der Lage, hohe Niederschlagsintensitäten aufzunehmen und schnell in den Unterboden abzuleiten. Ein großer Teil des Oberflächenwassers kann deshalb erodierend abfließen. Für die Bodenerosion ist die Wasserleitfähigkeit bzw. die Durchlässigkeit des Solums von hohem Aussagewert. Die Bestimmung der Infiltrationsrate erfolgte mit einem Doppelringinfiltrometer. Für die einzelnen Parzellen wurden am Ende der Meßperiode für eine bestimmte Wassermenge folgende Versickerungszeiten gemessen:

P I 32 min 58 sec

P II 25 min 18 sec

P III 23 min 38 sec

Die Steigerung des organischen Gehalts eines Bodens bewirkt eine sofortige Erhöhung der biotischen Aktivitäten. Unter Beteiligung des Edaphons werden die mineralischen und organischen Substanzen zu größeren Komplexen, sogenannten Aggregaten, verbunden. Die Aggregatstabilität bewirkt dann über eine Gefügeveränderung eine stabilere Bodenstruktur, welche erheblich die Erosionsanfälligkeit reduziert. Durch die verbesserten Bodenwasserbedingungen und die erhöhte Bodenatmung wird der Boden lockerer. Durch die Bestimmung des Eindringwiderstandes des Bodens mittels einer Schlagsonde wurde die relative Bodenverdichtung bzw. die Lockerheit des Bodens der einzelnen Parzellen gemessen (Tab. 4). Die geringeren

Tabelle 4: Schlagsondenmessung vom 27.9.85

	Eindringtiefe in cm		
	Parzelle I	Parzelle II	Parzelle III
Messung 1	24,2	28,6	34,7
Messung 2	25,7	30,2	30,8
Messung 3	23,3	30,7	33,2
Durchschnittswert	24,4	29,8	32,9

Die Messung der Eindringtiefe der Schlagsonde erfolgte jeweils nach 10 Schlägen von je 1 kg aus einer Fallhöhe von 1 m.

Abtragungsmessungen der Parzellen II und III gegenüber der Parzelle I, sowie die eben beschriebenen bodenphysikalischen Messungen, sind ein Indiz dafür, daß neben dem Grad der Bodenbedeckung die Humusversorgung der Böden für die Erosionsstabilität bzw. -labilität von entscheidender Bedeutung sind.

Um am Ende der Vegetationsperiode eine absolute Zahl über die Nutzungsentwicklung zu erhalten, wurde vor der Ernte die Biomasse von fünf Reihen je Parzelle ausgewogen. Die Pflanzen der Parzelle I wogen 69,42 kg, der Parzelle II 67,31 kg und der Parzelle III 67,60 kg. Obwohl die Anzahl der Maispflanzen der Parzelle II (127 Pflanzen) und Parzelle III (129 Pflanzen) unterschiedlich waren, produzierten beide Parzellen annähernd die gleiche Biomasse. Durch das schlechte Aufkeimen der Maispflanzen in Parzelle II traten Fehlstellen auf. Der Verlust der fehlenden Maispflanzen wurde aber durch ein besseres Wachstum der übrigen Pflanzen ausgeglichen. Der Pflanzenbestand der Parzelle I war eindeutig am besten entwickelt. Dies wird auch dadurch belegt, daß das durchschnittliche Gewicht der einzelnen Pflanzen mit 0,534 kg gegenüber 0,530 kg (Parzelle II) und 0,524 kg (Parzelle III) am größten war.

## 7 Schlußbemerkungen

Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, erlaubt die Parzellenmessung detaillierte Aussagen über den Bodenerosionsprozeß und die Höhe der Erosionsschädigung. Auch wenn diese Ergebnisse nicht ohne weiteres auf größere und damit auch komplexere Areale übertragbar sind, liefern sie dennoch Grundlagen für die weitere Erforschung der Bodenerosion.

Grundsätzlich kann man sagen, daß eine quantitative Bestimmung der Bodenerosion einen großen materiellen Aufwand sowie hohe Investitionen und auch einen großen persönlichen Einsatz erfordern. Die Zunahme der Erosionsintensität in den letzten Jahren aufgrund der „industriell geprägten“ großflächig wirtschaftenden Landwirtschaft erfordert aber dringend derartige Untersuchungen und vor allem die Erprobung erosionsmindernder Anbauverfahren.

Die Messungen ergaben, daß der Schutz vor Bodenerosion durch lebende oder tote organische Substanzen sehr wirksam ist. So läßt sich der Abtrag bei Kulturpflanzen, wie z. B. Mais, mit geringem Deckungsgrad und geringer Deckungsdauer durch Unterkulturen oder Begrünung wesentlich reduzieren. Der Unterwuchs konkurriert allerdings mit der Kulturpflanze um Nährstoffe und um Wasser und führt daher zu geringeren Erträgen. Trotz dieser relativ kleinen Mindererträge sollte aber in Anbetracht der erheblichen Bodenverluste unbedingt einer bodenerhaltenden Bewirtschaftung der Vorrang gegeben werden. Sind die Ertragseinbußen zu groß, kann die Untersaat durch tote organische Substanzen ersetzt werden. Die Schutzwirkung einer derartigen Mulchdecke, die aus kommunalen Abfällen, wie z. B.

Müll- und Klärkompost bestehen kann, ist ebenfalls beträchtlich. Allerdings muß man den Schwermetallgehalt dieser Stoffe im Auge behalten. Ein Abschwächen der Aufprallwirkung von Niederschlägen durch die Mulchauflage und die Untersaat sowie die Schaffung einer stabilen Bodenstruktur mit hoher Wasseraufnahmekapazität durch einen hohen Humusgehalt, erwiesen sich als geeignete Maßnahmen, die Erosionsschädigung merklich zu reduzieren.

Die Untersuchungen besitzen daher praktische Relevanz für die Landwirtschaft, weil einerseits der quantitative Verlust von Ackerboden bestimmt wurde und andererseits aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse über die Bodenerosion und über verschiedene Anbaumethoden konkrete Landnutzungsmaßnahmen zum Bodenerhalt vorgeschlagen werden können. Aufgrund der Untersuchungen darf die Bodenerosion in unserem Raum nicht unterschätzt werden. Zwar sind extreme Erosionsereignisse wie Gullyerosion, Schichtfluten u. ä., die in den Tropen häufig auftreten, wegen des gemäßigten Klimas selten, dennoch zeigte sich, daß der wesentliche Teil des Abtrags durch derartige, sehr seltene, katastrophale Starkregen (Erosionsfall 4) zustande kommt. Aber auch die übrigen – meist geringen – Abträge führen durch ihre Summierung zu beträchtlichen Bodenverlusten.

Zusammenfassend muß gesagt werden, daß die Bodenerosion, solange Ackerbau betrieben wird, nicht völlig zu unterbinden ist. Mit einer den Verhältnissen angepassten Anbauweise, einer entsprechenden Bodenbearbeitung und durch verschiedene bodenerhaltende Maßnahmen aber wäre das Schadensausmaß dennoch in einem erträglichen Rahmen zu halten.

## Literaturauswahl

- Quist, D.: Bodenerosion-Schäden, Ursachen und Schutzmaßnahmen. In: infoam 52, 1985, S. 9–15.
- Scheffer, F. und Schachtschabel, P.: Lehrbuch der Bodenkunde. 9. Auflage, neubearbeitet von P. Schachtschabel, H. P. Blume, K. H. Hartge und U. Schwertmann, Stuttgart 1976.
- Schmidt, R-G.: Probleme der Erfassung und Quantifizierung von Ausmaß und Prozessen der aktuellen Bodenerosion (Abspülung) auf Ackerflächen. – Dissertation bei der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel; Maulburg 1979.
- Schmidt, R-G.: Technische und methodische Probleme von Feldmethoden der Bodenerosionsforschung. In: Geomethodica, Veröffentlichungen des 8. Basler geomethodischen Colloquiums, 1983, S. 51–85.

