

**Zeitschrift:** Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie  
**Herausgeber:** Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel  
**Band:** 21 (1980)  
**Heft:** 1-2

**Artikel:** Probleme der Simulation erosiver Niederschläge : Versuche auf Bodenerosion-Testflächen  
**Autor:** Schmidt, Reinhard-Günter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1088878>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

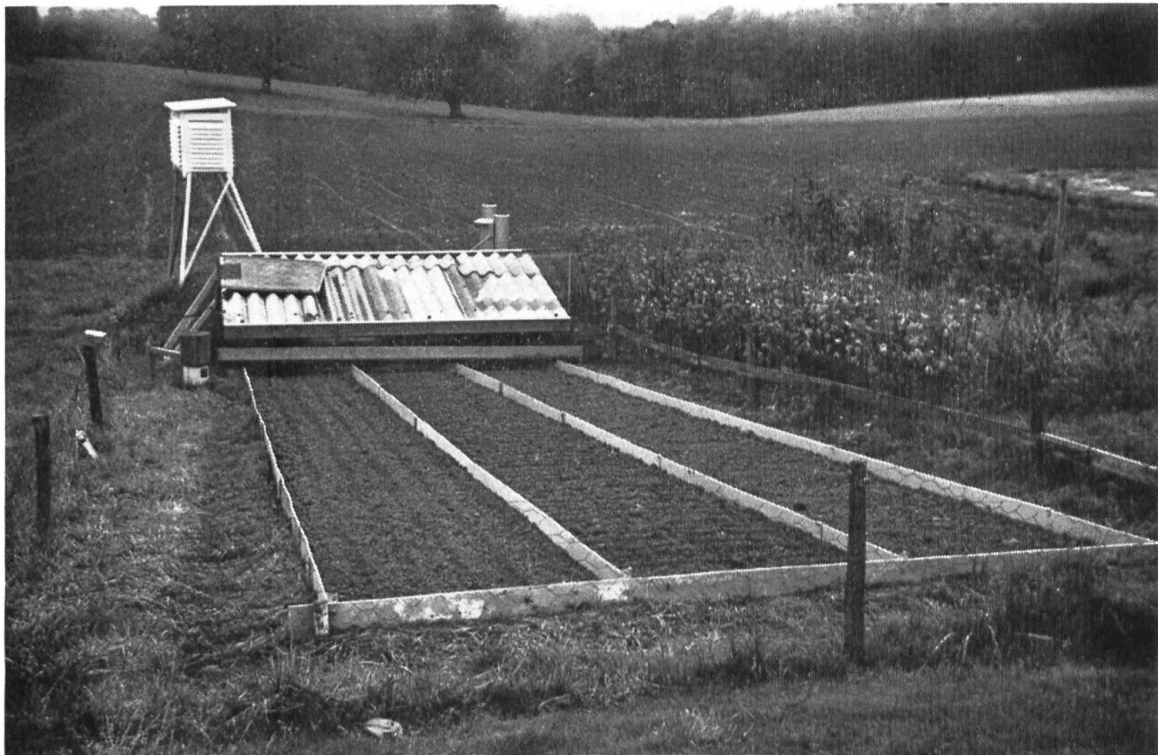
# Probleme der Simulation erosiver Niederschläge

Versuche auf Bodenerosions-Testflächen

REINHARD-GÜNTER SCHMIDT

## 1 Problemstellung

Seit 1975 werden im Untersuchungsgebiet «Möhliner Feld» zwischen Rheinfelden und Wallbach (Schweiz) Messungen, Kartierungen und Beobachtungen zur Erforschung der Bodenerosion auf Ackerflächen durchgeführt (*R.-G. Schmidt 1979*). Dabei werden neben Feldmessungen mit Materialfangkästen, Erosionsmessstäben und Schadenskartierungen auch Untersuchungen mit Hilfe von Testflächen vorgenommen. Sie dienen vor allem der Schaffung von Grundlagendaten über die Zusammenhänge zwischen den einzelnen am Bodenabtrag beteiligten Faktoren und deren Einfluss auf den Umfang der Bodenschädigung. Unter natürlichen Voraussetzungen und messbaren Randbedingungen können auf Testflächen – entsprechend ihrer instrumentellen Ausstattung – einzelne Abtragsereignisse detailliert erfasst und analysiert werden.



*Abb. 1:* Testfläche T2. Im Vordergrund sind die drei Versuchsparzellen zu sehen; rechts P2/1, die richtungslos bearbeitete und vegetationsfreie Bezugsparzelle, in der Mitte P2/2, hangparallel bearbeitet, links P2/3, im Gefälle bearbeitet. Im Hintergrund sind der Unterstand, in dem der Abtrag aufgefangen wird, ein Regenschreiber, ein Regennmesser und eine Wetterhütte zu erkennen.

Das Möhliner Feld besteht aus zwei genetisch einander ähnlichen naturräumlichen Einheiten: Der schwach reliefierten und nur geringe Hangneigungen aufweisenden Niederterrasse (NT), deren fluvioglaziale Schotter von meist sehr geringmächtigem Schwemmlöss überdeckt sind, und der mit einer 12 bis 15 m mächtigen Lössschicht bedeckten Hochterrasse (HT), die vergleichsweise stark zertalt ist und viele kleine Mulden aufweist. In jeder der beiden Einheiten befindet sich eine Testfläche; sie repräsentiert die entsprechenden Standortverhältnisse.

Jede Testfläche (s. Abb. 1) besteht aus drei Messparzellen (1 m breit, 10 m lang), die nach Neigung, Exposition und Bodenart völlig gleichartig sind und sich lediglich in der Bearbeitungsrichtung unterscheiden:

- P/1 ist eine Brachparzelle, sie ist richtungslos bearbeitet, immer vegetationsfrei und bildet die Bezugsbasis für die Bewertung der Messergebnisse,
- P/2 ist quer zum Gefälle bearbeitet,
- P/3 in Gefällsrichtung.

Die von den Parzellen oberflächlich abfließende Erosionsmasse (Wasser + Substrat) wird in einem Unterstand aufgefangen und kann dann bodenphysikalisch und -chemisch untersucht werden. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der wichtigsten Daten der beiden Testflächen.

Tab. 1: Kenndaten von T 1 und T 2

Kriterium	Testfläche T 1	Testfläche T 2
Lage	Niederterrasse	Hochterrasse
Neigung	8°	7,5°
Exposition	N	WNW
Bodentyp	Lockerbraunerde	anthrop. gestört
Bodenart (Oberb.)	u – t'L	1'U
Trockenraumgew.	ϕ 1,06 g/cm <sup>3</sup>	ϕ 1,35 g/cm <sup>3</sup>
Porenvolumen	ϕ 58 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	ϕ 48 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>

Will man nun auf solchen Testflächen allein unter natürlichen Niederschlägen systematisch die Wirkung einzelner Faktoren genauer untersuchen, so ist dafür eine sehr lange Messdauer notwendig, bis einigermaßen abgesicherte Ergebnisse erzielt sind. Diese Zeit kann in der Regel weder finanziell noch personell aufgebracht werden; zudem liegt seit langem in der Forschung – besonders in der anwendungsorientierten – die Tendenz, immer schneller immer fundiertere Ergebnisse zu produzieren. Für die Untersuchungen auf Testflächen bedeutet das, die (für die Forschung) meist nicht ausreichende Zahl erosiver Niederschläge durch entsprechende simulierte zu ergänzen. Im Untersuchungsgebiet «Möhliner Feld» konnte für einige Versuche eine Beregnungsanlage eingesetzt werden. Im folgenden wird nun anhand der Messergebnisse dargestellt, was diese Anlage für die Fragestellung der Testflächen zu leisten vermag und was nicht.

## 2 Niederschlagssimulation

Es gibt zwei grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten, Niederschläge zu simulieren:

1. Erzeugung einzelner Tropfen am unteren Ende eines Tropfenbildners, z.B. aufgehängte Baumwollfäden oder Kapillaren; dieses Prinzip wird meist ohne bzw. ohne veränderbaren Wasserdruck eingesetzt.
2. Verwendung von Sprühdüsen, die unter regulierbarem Wasserdruck stehen und viele Tropfen gleichzeitig bilden.

Beide Möglichkeiten haben das Problem gemeinsam, Starkregen mit bestimmter Intensität und Struktur, d.h. Tropfengrösse, -verteilung und -fallgeschwindigkeit zu erzeugen, der natürlichen Starkregen weitgehend entspricht.

Die im Möhliner Feld eingesetzte Anlage wurde von *J. Karl* und *H. Toldrian* (1973) entwickelt und ist der 2. Kategorie zuzuordnen<sup>1</sup>. Sie besteht aus einem in U-Form zusammensetzbaren Rohrsystem, das um die zu beregnende Fläche (max. 100 m<sup>2</sup>) gelegt wird; darauf werden in regelmässigen Abständen 70 cm hohe Standrohre mit Durchflussbegrenzer und jeweils einer Niederdruckdüse gesetzt, die im Halbkreis bzw. an den Eckpunkten im Viertelkreis sprühen. Die Niederschlagsintensität ergibt sich aus der Anzahl der eingesetzten Düsen. So erbringen bei 100 m<sup>2</sup> Beregnungsfläche 22 Düsen 1,65 mm/min, 11 Düsen auf der gleichen Fläche 0,83 mm/min. Die Wasserversorgung der Anlage erfolgt durch eine Benzinmotorpumpe aus einem Wasserbehälter (Gummicontainer) oder direkt aus einem Gewässer. Die Wassermenge wird über eine Wasseruhr, die «tatsächliche Regenmenge» auf der Messfläche mit Regenmessern bestimmt. Der Vorteil dieser Anlage ist nach *J. Karl* und *H. Toldrian* (1973) vor allem darin zu sehen, dass innerhalb kurzer Zeit vergleichbare Messungen unter verschiedenen äusseren Bedingungen durchgeführt werden können.

### 21 Versuchsanordnung (s. Abb. 2)

Die Versuche wurden vom 18.–20. 4. 77 durchgeführt. Die Parzellen waren Ende September des Vorjahres gepflügt, geeggt und entsprechend dem im Kap. 1 angeführten Muster bearbeitet worden, wobei auf den Parzellen 2 und 3 jeder Testfläche Wintergerste gesät wurde. Zum Versuchszeitpunkt hatte sich der Boden bereits gesetzt bzw. verdichtet und war durch einige Abtragsereignisse während der Wintermonate verschwemmt. Die Wintergerste stand auf T1 etwa 10–15 cm, auf T2 5–10 cm hoch.

Die Wasserversorgung erfolgte von einem Hydranten über Feuerweherschläuche zu einem bei der Testfläche aufgestellten Gummicontainer mit einem Fassungsvermögen von 5000 Litern. Von dort wurde das Wasser über eine Wasseruhr in das

<sup>1</sup> Diese Anlage wurde freundlicherweise von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg – Abt. Landespflege – zur Verfügung gestellt. Der Forschungsanstalt und besonders Herrn *Dr. O. Schwarz* sei an dieser Stelle herzlich für ihr Entgegenkommen und ihre Hilfsbereitschaft gedankt.

Beregnersystem gepumpt. Die U-förmige Kardanrohrleitung war an der Längsseite der Testfläche auf 12 m, an der oberen Schmalseite auf 5 m ausgelegt. Die Standrohre mit den Regnerdüsen wurden zu beiden Seiten aufgestellt: Je 5, im Abstand von 2 m und auf Lücke mit der gegenüberliegenden Reihe.

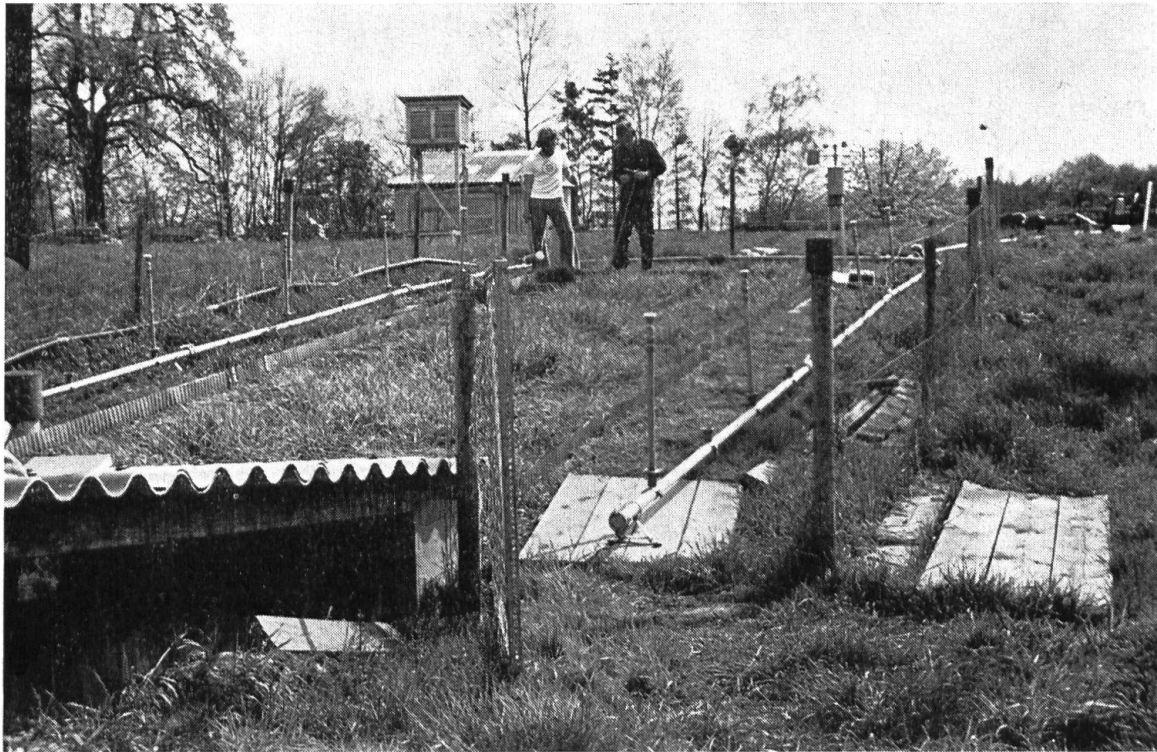


Abb. 2: Testfläche T1 mit der aufgestellten Beregnungsanlage. Um die Messparzellen ist das auf kleinen Standfüßen ruhende Rohrsystem mit den aufgesetzten Standrohren und Regnerdüsen ausgelegt. Die Wasserversorgung erfolgt von dem Gummicontainer am rechten oberen Bildrand.

Die theoretisch berechnete Gesamtfläche müsste nach dieser Versuchsanordnung 50 m<sup>2</sup> betragen, der Niederschlagswert der einzelnen Parzelle anhand der Wasseruhrdaten leicht zu berechnen sein. Die tatsächliche Regenmenge auf den Parzellen wurde zusätzlich aus dem Durchschnittswert von 4 Regenmessern bestimmt.

Das über die Ablaufbleche in den Unterstand einfließende Erosionsgut jeder Parzelle wurde mit vorbeschrifteten und nummerierten Eimern aufgefangen. Dabei wurde – soweit das durchführbar war – die Einlaufzeit nach Beregnungsbeginn pro Liter notiert. Ausserdem registrierte ein Schreiber während des Vorgangs den mit einer Neutronensonde gemessenen Gang der Bodenfeuchte. Die Versuchsdauer wurde für den ersten Durchgang auf 60 min bei T1 und auf 30 min bei T2 festgesetzt, entsprechend der Erosionsanfälligkeit der beiden Flächen; die Dauer der Folgeversuche richtete sich nach der anfallenden Abtragsmenge.

## 22 Versuchsablauf (s. Abb. 3)

Am 18. 4. 77 wurde die Anlage aus dem Kaiserstuhl angefahren und von 4 Mitarbeitern auf T1 aufgebaut und angeschlossen. Am 19. 4. erfolgte der Standort-

wechsel zu T2, am 20. 4. Abbau und Rücktransport. Insgesamt wurden 5 Beregnungen durchgeführt, davon 3 auf T1.

#### Kurze Beschreibung der wichtigsten Merkmale der einzelnen Versuche:

Zu Beginn und am Ende jedes Versuchs wurde der Stand der Wasseruhr notiert und die entsprechenden Zeitpunkte auf dem Bodenfeuchte-Schreibstreifen markiert. Die Abflussmenge und -geschwindigkeit wurde mit Hilfe einer Stoppuhr und der Verwendung kalibrierter Auffangbeimer bestimmt.

##### T1 (1) 18. 4. 77

- 10 Regnerdüsen
- 60 min Beregnungsdauer
- 5,44 m<sup>3</sup> laut Wasseruhr
- 77,5 mm Gesamtniederschlag nach Regenmesser ( $\phi$ )
- nennenswerter Abfluss nur auf P1/1
- Bemerkungen: Geringfügiger «Abfluss» setzte sofort ein durch direktes Hineinregnen auf die Auffangbleche, z.T. windunterstützt

##### (2) 19. 4. 77

- 10 Regnerdüsen; die 4 Eckpunkte mit Viertelkreisdüsen versehen
- 16 min Beregnungsdauer; Abbruch ohne Registrierung des noch nachlaufenden Wassers
- 1,45 m<sup>3</sup> laut Wasseruhr
- 22,5 mm Gesamtniederschlag nach Regenmesser ( $\phi$ )
- nennenswerter Abfluss nur auf P1/1

##### (3) 19. 4. 77

- 15 Regnerdüsen
- 3 min Beregnungsdauer
- 0,48 m<sup>3</sup> laut Wasseruhr
- 7,5 mm Gesamtniederschlag nach Regenmesser ( $\phi$ )
- sehr rascher und starker Abfluss auf P1/1

##### T2 (4) 19. 4. 77

- 10 Regnerdüsen
- 30 min Beregnungsdauer
- 2,51 m<sup>3</sup> laut Wasseruhr
- 39,0 mm Gesamtniederschlag nach Regenmesser ( $\phi$ )
- Abfluss auf allen Parzellen, am meisten auf P2/1; lange Nachlaufzeit

##### (5) 20. 4. 77

- 10 Regnerdüsen, aber stark gedrosselt
- 15 min Beregnungsdauer
- 1,09 m<sup>3</sup> laut Wasseruhr
- 17,0 mm Gesamtniederschlag nach Regenmesser ( $\phi$ )
- Abfluss auf allen Parzellen, relativ gleichmässig verteilt

Das Erosionsgut jeder Beregnung wurde im Labor jeweils ausgewogen, seine Wasser- und Substratanteile bestimmt (Trocknung bei 105° C) sowie die Korngrössenzusammensetzung (Siebung und Pipettenanalyse).

## 23 Messergebnisse

In den Tabellen 2 und 3 sind die Ergebnisse der fünf Beregnungsversuche zusammengefasst. Hier zeigt sich für T1, dass der Schutz der jungen Wintergerste auf



Abb. 3: Beregnungsanlage in Betrieb. Der Regen wird halbkreisförmig und im Bogen von den Niederdruckdüsen ausgepüht.

den Parzellen P1/2+3 offenbar schon voll wirksam ist, jedenfalls sind Abfluss und Abtrag vernachlässigbar gering. P1/1 reagiert dagegen auf die unterschiedlichen Regenmengen und -intensitäten deutlich. Bei (1) mit 77,5 mm in 60 min, was eine Intensität von 1,29 mm/min ergibt, fließen 63 l oberflächlich ab und führen 1072 g Substrat (=1072 kg/ha) mit. Die Abtragsdichte, als Mass für die Belastung des Abflusses durch Bodenmaterial, beträgt 17 g/l. Aus Abbildung 4 ist zu entnehmen, dass der Abfluss mit 25 min eine lange Anlaufzeit benötigt, bis er in Gang kommt, und erst nach knapp 50 min rasch und gleichmässig erfolgt. Mit 39,5 Vol. % hat die Bodenfeuchte zu Beginn der Beregnung einen relativ hohen Ausgangswert, steigt dennoch innerhalb von 10 min bereits auf 43 Vol. % (58% Porenvolumen und sehr gutes Wasseraufnahmevermögen!), danach nur noch geringfügig. Das Maximum wird erst 18 min nach Ende der Beregnung mit 43,7 Vol. % erreicht. Der Boden ist damit beinahe wassergesättigt. Die Bodenfeuchte bleibt bei den folgenden beiden Versuchen fast unverändert hoch und sorgt für ein sehr rasches Einsetzen des Oberflächenabflusses (s. Abb. 4). So kommt bei (2) mit 1,34 mm/min nach nur 16 min ein Abfluss von 39 l mit 268 g Materialmenge zusammen, bei der unmittelbar anschliessenden Beregnung (3) mit der hohen Intensität von 1,99 mm/min bereits nach 3 min ebenfalls 39 l, aber etwa die doppelte Substratmenge. Bei (3) fließen rund 52% vom Niederschlag oberflächlich ab!

Im Gegensatz zu T1 lösen die Simulationsregen auf T2 Abtrag auf allen drei Parzellen aus (vgl. Tab. 3). Hier reicht die etwas lückenhafte Bestockung der Winter-

Tab. 2 Meßergebnisse der Berechnungen (1) bis (3) auf T1 und 2 Vergleichsereignisse unter natürlichen Niederschlägen (N1, N2)

Nr.	NIEDERSCHLAG			ABTRAG							BODENFEUCHTE					
	Bauer (min)	Menge (mm)	Inten- sität (mm/min)	Menge pro P (1)	davon auf P	Abfluß abs. (1)	in% v.N.	Eros.masse (g)	Mat.menge (g) bzw. (kg/ha)	Abtr.- dichte (g/l)	z.Beg. N (Vol%)	Ende N (Vol%)	Diff (Vol%)	Maximum Wert (Vol%)	nach (min)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
(1)	60	77.5	1.29	775	P1/1	63.0	8.1	64 039	1 072	17	39.5	43.5	4.0	43.7	78	
					P1/2	3.9	0.5	3 864	12	3						
					P1/3	1.9	0.2	1 920	22	12						
(2)	16	22.5	1.34	225	P1/1	39.1	17.4	39 394	268	7	42.5	43.0	0.5	43.5	36	
					P1/2	0.3	0.1	328	2	7						
					P1/3	0.8	0.3	765	5	7						
(3)	3	7.5	1.99	75	P1/1	38.9	51.9	39 509	616	16	43.5	43.5	0.0	-	-	
					P1/2	2.1	2.8	2 149	2	1						
					P1/3	0.6	0.8	601	3	5						
N1	45	10.8	I <sub>30</sub> 0.25	108	P1/1	20.4	18.9	20 933	533	26	-	-	-	-	-	
N2	35	21.2	I <sub>30</sub> 0.70	212	P1/1	33.6	15.8	35 261	1 666	50	-	-	-	-	-	
			I <sub>max</sub>		P1/2	37.8	17.8	39 655	1 833	48						
			1.25		P1/3	31.6	14.9	32 177	568	18						

Tab. 3 Meßergebnisse der Berechnungen (4) und (5) auf T2 und 2 Vergleichsereignisse unter natürlichen Niederschlägen (N3, N4)

Nr.	NIEDERSCHLAG			ABTRAG							BODENFEUCHTE					
	Dauer (min)	Menge (mm)	Inten- sität (mm/min)	Menge pro P (1)	davon auf P	Abfluß abs. (1)	in% v.N.	Eros.masse (g)	Mat.menge (g) bzw. (kg/ha)	Abtr.- dichte (g/l)	z.Beg. N (Vol%)	Ende N (Vol%)	Diff (Vol%)	Maximum Wert (Vol%)	nach (min)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
(4)	30	39.0	1.30	390	P2/1	139.4	35.7	139 406	46	0.3	38.5	39.5	1.0	40.0	36	
					P2/2	55.6	14.3	55 660	19	0.3						
					P2/3	57.8	14.8	57 829	12	0.2						
(5)	15	17.0	1.13	170	P2/1	39.8	23.4	39 845	22	0.6	39.0	39.5	0.5	40.0	24	
					P2/2	30.2	17.8	30 228	13	0.4						
					P2/3	29.6	17.4	29 607	11	0.4						
N3	15	4.6	0.15 I <sub>max</sub> 0.29	46	P2/1	4.8	10.5	4 852	32	7	33.0	34.0	1.0	34.7	30	
N4	35	16.5	I <sub>30</sub> 0.53 I <sub>max</sub> 1.10	165	P2/1	77.3	46.8	90 433	13 137	170	-	-	-	-	-	
					P2/2	72.1	43.7	84 857	12 759	177						
					P2/3	70.4	42.7	85 251	14 830	211						

gerste (geschädigt durch Vogelfrass) offenbar noch nicht aus, den Abfluss auf P2/2+3 zu verhindern. Bei der 30-minütigen Beregnung (4) mit 1,30 mm/min fließen auf P2/1 139 l (=35,7% v. Niederschlag) ab, auf P2/2+3 immerhin noch etwa 40% davon. Auffallend ist, dass dabei nur 46 g, bzw. 19 und 12 g Substratmenge transportiert werden, was sich auch in der Abtragsdichte unter 1 g/l ausdrückt. Ebenfalls Bemerkenswertes zeigt Abb. 4 zu diesem Versuch: der Abfluss setzt bei P2/1 17 min nach Beregnungsbeginn ein und hört erst nach 70 min wieder auf. Bei P2/2+3 liegen die entsprechenden Zeiten bei 21 min für den Beginn und 51 min für das Abflussende. Die Nachlaufzeit ist also auf T2 ganz erheblich, während sie bei T1 keine Rolle spielt. Die Bodenfeuchte steigt bei der Beregnung (4) von 38,5 Vol. %, einem für den Standort hohen und nahe der Feldkapazität liegenden Wert, nur noch um 1 Vol. % und erreicht kurz nach dem Versuch mit 40 Vol. % ihr Maximum. Die Beregnung (5) zeigt bei geringerer Regenintensität, -menge und -dauer tendenziell dem Versuch (4) entsprechende Ergebnisse.

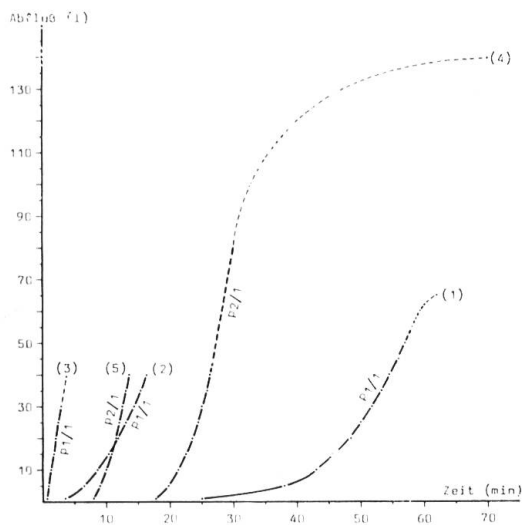


Abb. 4: Abflussverhalten der Parzellen P1/1 und P2/1 bei den 5 Beregnungsversuchen

Über das bisher zum Abflussverhalten der Parzellen P1/1 und P2/1 Gesagte hinaus lassen sich aus der Abbildung 4 noch folgende allgemeine Erkenntnisse für die beiden Testflächenstandorte ableiten:

1. Der Boden von T1 ist relativ widerstandsfähig gegenüber der Bodenerosion. Das zeigt die zeitliche Verzögerung des Abflussbeginns (1) und die geringe Steigung der Kurve (= geringe Abflussrate). Bei (2) setzt bei sehr hoher Bodenfeuchte der Abtrag zwar relativ rasch ein, aber die Steigung der Kurve ist noch deutlich geringer als die der übrigen drei und nur unwesentlich grösser als die von (1).
2. Erst bei hoher Bodenfeuchte *und* grosser Niederschlagsintensität setzt der Abfluss sofort und mit hoher Abflussrate ein, s. (3).
3. Der Standort T2 ist wesentlich erosionsanfälliger. Der Abtrag setzt nicht nur schnell ein, sondern erreicht auch rasch eine *gleichmässig hohe* Abflussrate, s. (4) und (5).
4. Bei den Versuchen (3), (4) und (5) stellt sich nach unterschiedlich kurzer Zeit eine *gleiche* hohe Abflussrate von ca. 13,5 l/min ein.

Die Ergebnisse der Korngrössenanalyse des abgetragenen Materials sind in der Abbildung 5 dargestellt, jeweils im Vergleich zur Bodenart des obersten Standorthorizonts. Auf T1 ist das Ausgangssubstrat mit durchschnittlich 24,2% Sand, 44,2% Schluff und 31,6% Ton als schwach toniger Lehm ( $\tau'L$ ) anzusprechen. Das Abtragsmaterial hat in allen Fällen einen höheren Schluffanteil, ist aber nur in zwei Fällen einer anderen Bodenart zuzuordnen, nämlich dem stark schluffigen Ton ( $\bar{u}T$ ). Hier deutet sich offenbar ein schwach überproportionaler Schlufftransport an.

Die entsprechende Überprüfung für T2, dessen Ausgangssubstrat sich aus 10,2% Sand, 77,7% Schluff und 12,1% Ton zusammensetzt (= schwach toniger Schluff), ergibt, dass das Abtragsmaterial in allen Fällen einen erheblich höheren Ton- und einen wesentlich geringeren Schluffanteil aufweist, der Ton also überproportional abtransportiert wird (Bodenart überwiegend schluffiger und stark schluffiger Ton).

### 3 Bewertung der Berechnungen

Die folgende Bewertung hat zum Ziel, aufzuzeigen, wo die technischen und methodischen Stärken und Schwächen dieser Berechnungsanlage beim Einsatz auf Bodenerosions-Testflächen liegen. Die technische Bewertung ergibt sich aus der praktischen Anwendung bei den fünf Versuchen, die methodische aus dem Vergleich der erzielten Ergebnisse mit den unter natürlichen Niederschlägen gewonnenen Erkenntnissen aus mehreren Messjahren.

Der *Transport* der Anlage kann durch einen VW-Bus mit Einachs-Anhänger oder einen Transporter mit langem Radstand erfolgen und ist damit relativ leicht zu bewerkstelligen. Der *Aufbau* und Anschluss ist bei drei Mitarbeitern und unter der Voraussetzung, dass man direkt bis an den Einsatzort fahren kann, bequem in 2 bis 2½ Std. möglich. Das grösste Problem dürfte dabei in der *Wasserbeschaffung*

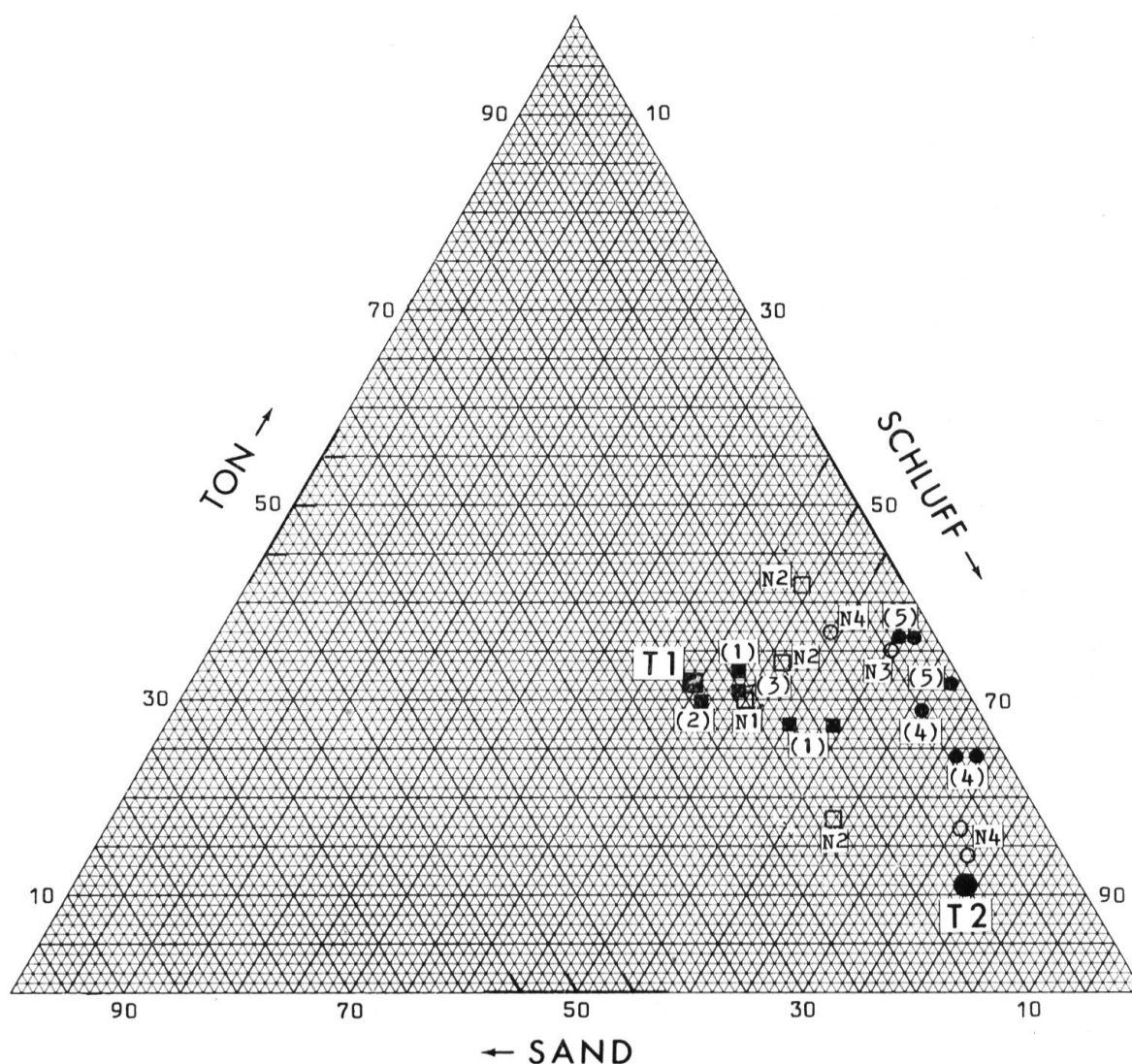


Abb. 5: Körnungsartendreieck mit Darstellung der Korngrössenzusammensetzung des Ausgangssubstrats und des abgetragenen Bodenmaterials der beiden Standorte T1 und T2

bestehen, vor allem, wenn kein Hydrant in der Nähe ist und das Wasser mit Tankfahrzeugen herangeschafft werden muss. Ausserdem braucht der Gummicontainer (Wasserbehälter) immer eine horizontale Unterlage, damit er stabil liegen bleibt.

Beim Anstellen der Anlage zeigt sich dann ein erster kritischer Punkt: Der simulierte Niederschlag ist ein relativ *feiner Sprühregen*. Das hat zur Folge, dass er in hohem Masse *windempfindlich* reagiert und damit Niederschlagsmenge und -intensität auf der Versuchsfläche schwanken und schwer bestimmbar sind. Das bedeutet, dass diese Grössen nur mit *Regenmessern*<sup>2</sup> erfasst werden können, deren Aufstellung wiederum zu Störungen des Prozessablaufs auf den meist kleinen Parzellen führen kann. Im übrigen ist natürlich die Windempfindlichkeit kein spezifisches Kriterium der *Karl/Toldrian-Anlage*, sondern ein Problem der künstlichen Beregnung überhaupt und der kleiner Flächen im besonderen.

Zur Einschätzung und Bewertung der Beregnungsergebnisse sind in den Tabellen 2 und 3 je zwei Vergleichsereignisse *natürlicher* Niederschläge aufgeführt. N1 und N3 stammen vom 11. 6. bzw. 13. 7. 77, also aus der gleichen Vegetationsperiode wie die Versuche, d.h., hier liegen praktisch gleiche Bedingungen vor. N2 und N4 sind vom 21. 8. 75, alle Parzellen waren vegetationsfrei, die Bearbeitung hatte Anfang April stattgefunden, die Bearbeitungsspuren waren – nach mehreren vorherigen Abträgen – kaum mehr erkennbar.

N1 ereignet sich knapp 24 Std. nach einem ebenfalls erosiven Niederschlag von 15,8 mm, trifft also, wie auch (2), auf gut durchfeuchteten Boden; aber die Niederschlagsmenge beträgt nur die Hälfte, die Intensität mit 0,25 mm/min gar 1/5 vom Vergleichsniederschlag. Es fliesst zwar entsprechend weniger oberflächlich ab – immerhin noch 20 l – aber die transportierte Bodenmenge ist mit 533 g doppelt so gross. Noch augenfälliger wird der Unterschied bei N2, wo der Abfluss zwar in der Grössenordnung von (2) und (3) liegt, die Materialmenge aber um ein Vielfaches darüber. Auch die vergleichsweise hohen Abtragsdichte-Werte machen diesen Unterschied deutlich. Auf T2 ist das *Missverhältnis* zwischen *Abfluss* und transportierter *Substratmenge* besonders krass, vergleiche (4) und (5) in Tab. 3. Eine realistische Abfluss/Abtrag-Relation zeigt dagegen das mit (5) gut vergleichbare Ereignis N3. Die 4,6 mm fallen nach einem ebenfalls erosiven Niederschlag von 20,3 mm in der Nacht zuvor auf nassen Boden – wie auch (5) –, so dass trotz der geringen Intensität 4,8 l abfliessen und 32 g transportieren. Das ergibt eine Abtragsdichte von 7 g/l; das ist der kleinste bisher auf P2/1 jemals aufgetretene Wert! Beispiel N4 ist ein Niederschlag mit fast der gleichen Menge und Intensität wie (5) und zeigt, was bei einem Starkregen mit 16,5 mm und einer maximalen Intensität von 1,10 mm/min (bei 15 min Dauer) tatsächlich geschieht: Über 70 l Abfluss (=über 40% vom Niederschlag), mehr als 13 kg abgetragenes Bodensubstrat. Die Abtragsdichte liegt mit 170 g und mehr pro Liter zwar deutlich über dem Durchschnitt von rd. 60 g/l, stellt aber durchaus keinen Einzelfall dar.

---

<sup>2</sup> Bei konstant beregneter Fläche könnten diese Werte aus der Anzahl der Regnerdüsen und der Wasseruhrangabe ermittelt werden.

Die Diskrepanz zwischen der Wirkung der simulierten und der natürlichen Niederschläge liegt in ihrer unterschiedlichen *Struktur*. Diese konnte zwar nicht gemessen werden, aber schon dem Augenschein nach ist deutlich zu erkennen, dass der Regner einen vergleichsweise feinen Sprühregen ohne grössere Tropfen erzeugt und damit eine einseitig kleine Tropfenverteilung hat. Darüber hinaus werden die Tropfen aus ca. 80 cm Höhe in einem Bogen über die Fläche versprüht, dessen Kulminationspunkte für den grössten Teil des Regens nicht mehr als 2 m hoch liegt. Das bedeutet, dass Tropfengrösse, Tropfenverteilung und ihre Fallendgeschwindigkeit sowie die sich daraus ergebende kinetische Energie auch nicht annähernd die der natürlichen Niederschläge erreichen. Fehlende *splash-Wirkung* und damit fehlende «Bodenaufbereitung» für die Abspülung (Zerschlagung der Aggregate, Verschlammung) sind die Folge. So erklärt sich auch das völlig unrealistische Verhältnis zwischen Abfluss und abgetragener Substratmenge. Abtragsmenge bzw. -dichte in Abhängigkeit von unterschiedlichen Niederschlagsmengen und -intensitäten sind also mit dieser Beregnungsanlage nicht quantifizierbar.

Als sehr nützlich hat sich dagegen die Anlage bei der Bestimmung des Abflussverhaltens (Abb. 4) erwiesen, was bei natürlichen Niederschlägen nur über höchst komplizierte Apparaturen möglich ist, oder wenn man sich zufällig während mehrerer Ereignisse im Gelände aufhält. Die im Kap. 23. angeführten Ergebnisse zum unterschiedlichen Abflussverhalten und zur maximalen Abflussrate konnten ohne die Beregnungsversuche bisher nicht ermittelt werden. Die Ableitung der höheren Erosionsempfindlichkeit vom Standort T2 deckt sich mit den Ergebnissen der mehrjährigen Messungen, wobei die Versuche allerdings nichts über das Ausmass der unterschiedlichen Anfälligkeit aussagen.

In Abbildung 5 sind neben den *Korngrössenzusammensetzungen* des Abtragsmaterials und des jeweiligen Ausgangssubstrats zum Vergleich wiederum die entsprechenden Werte von N1 – N4 eingetragen. Die im Kapitel «Messergebnisse» erkannte Tendenz, dass auf T1 mehr Schluff abgetragen wird als seinem Anteil am Ausgangssubstrat entspricht, auf T2 das gleiche für den Ton zutrifft, ist identisch mit den Ergebnissen der natürlichen Abtragsereignisse. Bei T1 ist das zwar aus den 5 Punkten noch nicht ganz eindeutig zu erkennen, aber einige zusätzliche Beregnungen würden sicher ein klares und richtiges Bild schaffen. Auch für diese Fragestellung kann die Anlage also brauchbare Erkenntnisse liefern.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die *Karl/Toldrian*-Anlage auf Testflächen für einige Probleme erfolgreich eingesetzt werden kann, besonders im Hinblick auf schnelle Erzielung von Ergebnissen, auf das rasche Erkennen von Tendenzen, wie etwa zum Abflussverhalten, zur Bestimmung der relativen Erosionsanfälligkeit oder zur Fraktionierung des transportierten Bodenmaterials. Zur Quantifizierung von Abtragsmengen, d.h. zur Feststellung, wieviel Substrat eines bestimmten Bodens unter gleichen Bedingungen (Bearbeitungszustand, Nutzung) bei einem natürlichen Niederschlag vergleichbarer Menge und Intensität tatsächlich abgetragen werden würde, liefert diese Anlage allerdings *keine* brauchbaren Ergebnisse. Aber gerade die exakte Bestimmung von Abtragsmengen ist ein ganz

wesentlicher Forschungsaspekt von Testflächenmessungen. Dass die Anlage für diese Fragestellung nicht tauglich ist, liegt vor allem an der erzeugten Regenstruktur, die wohl «innerhalb des Spektrums natürlicher Niederschläge liegt» (*J. Karl und H. Toldrian* 1973), nicht aber in dem typischer Starkregen. Derzeit wird am Geographischen Institut der Universität Basel vom Verfasser an einer Anlage gearbeitet, die gerade diesen methodischen Mangel auszuschalten versucht. Das Verfahren baut auf den Prinzipien einer von *J. de Ploey* im Labor benutzten Anlage auf<sup>3</sup>, die mit Hilfe von Kapillaren und einem Drahtgitter eine Tropfengrösse und -verteilung erzeugt, die tatsächlich innerhalb des Spektrums erosiver Starkregen liegt.

<sup>3</sup> *J. de Ploey, J. Savat und J. Moeyersons* 1976; *J. Savat & J. Poesen* 1977

## LITERATUR

- Hudson, N.* (1971): Soil Conservation. London, 320 S.
- Karl, J. und Toldrian, H.* (1973): Eine transportable Berechnungsanlage für die Messung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag. In: *Wasser u. Boden*, 25, H. 3, S. 63–65
- Karl, J. und Porzelt, M.* (1976): Vergleichende Messungen von Abfluss und Bodenabtrag. In: *Wasser + Abwasser, bau-intern*, Zs. d. Bayerischen Staatsbauver. f. Hochbau, Städtebau, Wohnungsbau usf., H. 3, S. 46–48
- Leser, H., Schmidt, R.-G. und Seiler, W.* (1979): Bodenerosionsmessungen im Hochrheintal und Jura (Schweiz). (im Druck)
- De Ploey, J. und Moeyersons, J.* (1975): Runoff creep of coarse debris: Experimental data and some field observations. In: *Catena*, 2, H. 3/4, S. 275–288
- De Ploey, J., Savat, J. und Moeyersons, J.* (1976): The differential impact of some soil loss factors on flow, runoff creep and rainwash. In: *Earth Surface Processes*, Vol. 1, No. 2, Leeds, S. 151–161
- Savat, J.* (1977): The hydraulics of sheet flow on a smooth surface and the effect of simulated rainfall. In: *Earth Surface Processes*, Vol. 2, No. 2 + 3, Leeds, S. 125–140
- Savat, J. und Poesen, J.* (1977): Splash and discontinuous runoff as creators of fine sandy lag deposits with Kalahari sands. In: *Catena*, 4, H. 4, S. 321–332
- Schmidt, R.-G.* (1975): Beitrag zur quantitativen Erfassung der Bodenerosion. Untersuchungen und Messungen in der «Rheinschlinge» zwischen Rheinfelden und Wallbach (Schweiz). In: *Regio Bas.*, XVI, S. 79–85
- Schmidt, R.-G.* (1979): Probleme der Erfassung und Quantifizierung von Ausmass und Prozessen der aktuellen Bodenerosion (Abspülung) auf Ackerflächen. Methoden und ihre Anwendung in der Rheinschlinge zwischen Rheinfelden und Wallbach (Schweiz). In: *Physiogeographica*, Bd. 1, Basel, 240 S.