

## Die Niederschlagsenergie verschiedener Regner und ihr Einfluß auf die Bodenverschlämmung

Aus dem Institut für den wissenschaftlichen Film, Göttingen  
und dem Institut für Bodenbearbeitung, Völkenrode

Die künstliche Beregnung hat die Aufgabe, Lücken in der natürlichen Wasserversorgung der Pflanzen durch Ergänzung des Bodenwasservorrates zu schließen und den Pflanzen während ihres Wachstums ein ausreichendes Wasserangebot sicherzustellen.

Die Düsen der üblichen Beregnungsgeräte erzeugen einen kontinuierlichen Wasserstrahl, der sich in der Luft unter dem Einfluß der Strahlgeschwindigkeit, des Luftwiderstandes und der Schwerkraft in Wassertropfen der verschiedensten Größenordnungen auflöst. Sowohl aus bodenkundlichen als auch aus pflanzenbaulichen Gründen muß angestrebt werden, daß die Regner das gespendete Wasser möglichst gleichmäßig und ohne Schädigung der Bodenstruktur auf die Beregnungsfläche verteilen. Dieses Ziel sucht man durch Wahl einer angemessenen Niederschlagsmenge in der Zeiteinheit und durch Beeinflussung des vom Regner erzeugten Tropfengemisches zu erreichen.

Von den Strukturschäden durch Regenfall sind die Verschlammungserscheinungen besonders gefährlich, weil sie durch das Abschließen des Bodens gegen die Atmosphäre den Gasaustausch hemmen und beim Abtrocknen eine Kruste bilden, die einen nachteiligen Einfluß auf den Aufgang und die Entwicklung der Saat ausüben kann. Die Gefahr von Verschlammungen und Verkrustungen trifft in erster Linie für unbedeckten Boden zu. Eine geringere Rolle spielen sie dagegen bei der Beregnung von geschlossenen Pflanzenbeständen, wo die fallenden Tropfen von den Stengeln und Blättern der Pflanzen aufgefangen werden und auf diese Weise ihre Fallenergie vor dem Auftreffen auf den Boden verlieren. Die Fallenergie der Tropfen ist aber eine der wesentlichen Ursachen für die Bodenverschlammung.

Auf Anregung des Kuratoriums für Technik in der Landwirtschaft, Fachgebiet Bewässerung und Beregnung, wurden Untersuchungen über den Einfluß der gebräuchlichen Beregnungsweisen auf die Bodenverschlammung durchgeführt. Zur Lösung dieser Frage war es notwendig, zuerst die Vorgänge bei der Strahlaulösung an Regnerdüsen näher zu untersuchen und in den erzeugten Regenschauern die Niederschlagshöhe, die Tropfengröße und die Tropfengeschwindigkeit zu messen. Auf Grund dieser Werte wurde dann die Niederschlagsenergie ermittelt, die als Grundlage für die Beurteilung der Bodenverschlammung durch die verschiedenen Beregnungsweisen diene.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden folgende Regengeräte untersucht:

\*) Die Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit dem KTL, Abteilung Bewässerung und Beregnung (Dr. G. Schönopp), durchgeführt und sind mit ERP-Mitteln durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziert worden.



Abb. 1: Diskontinuierliche Strahlaulösung 3 m vom Düsenmund einer 10-mm-Düse, Betriebsdruck 2,4 atü, Zeitdehneraufnahme 1500 B/s

- a) Ein Drehstrahlregner mit 20-mm-Düse. Betriebsdruck 2,6 atü, Umdrehungsgeschwindigkeit: 1,8 Minuten. Der Betriebsdruck wurde absichtlich so niedrig gewählt, um ein grobes Tropfengemisch zu erhalten.
- b) Derselbe Drehstrahlregner mit einer 14-mm-Düse. Betriebsdruck: 3,8 atü, Umdrehungsgeschwindigkeit: 1,7 Minuten.
- c) Ein Langsam- oder Schwachregner mit 7-mm-Düse. Betriebsdruck: 4,2 atü, Umdrehungsgeschwindigkeit: 1,5 Minuten.
- d) Ein Wasserstaubregner mit 2,5-mm-Düse. Betriebsdruck: 2,5 atü.

### Methoden zur Untersuchung der Strahlaulösung und der Tropfengemische an Regnerdüsen

Für die Güte der Wasserverteilung eines Regners ist eine wirkungsvolle Auflösung des Wasserstrahles von größter Bedeutung. Die Vorgänge, die eine Zerteilung des kontinuierlich ausströmenden Wassers verursachen, beginnen infolge der Wandreibung bereits in der Düse und steigern sich nach dem Austritt des Strahles aus der Düse noch weiter. Die Beobachtung mit dem Auge läßt den Vorgang der Strahlaulösung zwar in groben Zügen erkennen, vermittelt aber keinen Einblick in dessen Einzelheiten. Da die Zusammensetzung des Tropfengemisches, wie es den Boden trifft, von der Strahlaulösung abhängt, waren zuerst Untersuchungen über die Vorgänge bei der Strahlaulösung durchzuführen. Diese Untersuchungen konnten zum Teil mit denselben Meßmethoden vorgenommen werden, wie die späteren Messungen an den Tropfengemischen. Im allgemeinen wird die Tropfengröße eines Regens mit dem von Wiesner [1] entwickelten Tropfenspurverfahren gemessen. Die Regentropfen werden hierbei auf präpariertem Papier aufgefangen und aus den entstandenen Spuren die Tropfengröße bestimmt. Dieses verhältnismäßig einfache Verfahren eignet sich in erster Linie für mittlere Tropfengrößen und mittlere Niederschlagsdichten, wie sie der natürliche Niederschlag in der Regel liefert. Doch ist dieses und die bisher bekannten Verfahren, welche mit ähnlichen Auffangmethoden arbeiten, für hohe Niederschlagsdichten, in denen sehr kleine und große Tropfen gemischt vorkommen, weniger geeignet.

Da nun beide Tropfenarten in Tropfengemischen von Regnern gleichzeitig anzutreffen sind, mußte ein Verfahren angewandt werden, das die Messung aller Tropfengrößen mit gleicher Zuverlässigkeit gestattet. Diese Forderung erfüllt am besten ein photographisches Verfahren, weil es bei Anwendung geeigneter Aufnahmeanordnungen eine direkte Messung der Tropfengröße und der Fallgeschwindigkeit zuläßt. Auf dieser Grundlage haben Laws [2] ein Meßverfahren für die Untersuchung natürlicher Niederschläge und Green [3] eine Methode zur Untersuchung von Tropfengemischen an Regnern entwickelt.

Die eigenen Untersuchungen über die Strahlaulösung wurden zuerst mit Einzelbildaufnahmen und dann mit Zeitdehneraufnahmen durchgeführt. Letztere sollten einen Einblick in die Vorgänge bei der Strahlaulösung vermitteln. Sie wurden mit einer Zeiss-Ikon-Normalfilm-Zeitdehnerkamera mit einer Bildfrequenz von 1500 B/s und einer Belichtungszeit von  $10^{-4}$ s durchgeführt. Neuerdings können mit speziell entwickelten, und mit der Aufnahmekamera gekoppelten Blitzlampen noch kürzere Belichtungszeiten erzielt werden. Auf den so gewonnenen Zeitdehneraufnahmen ist die diskontinuierliche Auflösung des Wasserstrahles sehr deutlich zu erkennen (Abb. 1). Sie ermöglichen außerdem die Messung der Strahlgeschwindigkeit.

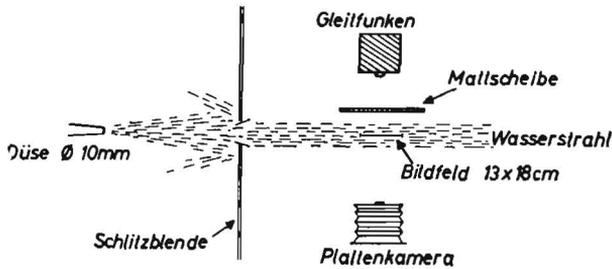


Abb. 2: Aufnahmeanordnung zur Bestimmung der Tropfengröße mit dem Funkenblitz

Die Einzelbildaufnahmen hatten die Aufgabe, die Tropfenformen und -größen sowie die Tropfendichten in genau begrenzten Schichten des Wasserstrahls zu ermitteln. Je nach Düse und Oberflächenbeschaffenheit der Bohrung beginnt die Strahlauflösung direkt am Düsenmund oder in dessen unmittelbarer Nähe. Unter Vernachlässigung des Reibungswiderstandes im Regner beträgt die Austrittsgeschwindigkeit des Wasserstrahles bei einem Betriebsdruck von 3,2 atü 25 m/s ( $v = 2gh$ , wobei  $g =$  Erdbeschleunigung und  $h =$  Druck in mm WS), so daß die Untersuchungsmethoden für Geschwindigkeiten von 20 bis 25 m/s und — bei Steigerung des Druckes — für noch höhere Geschwindigkeiten geeignet sein müssen. Für die Untersuchung so schneller Vorgänge kommen nur kinematographische Verfahren mit hohem Auflösungsvermögen in Betracht. Denn bei einer Austrittsgeschwindigkeit des Wasserstrahles von 25 m/s und einem Abbildungsmaßstab von 1 : 1 bestehen folgende Beziehungen zwischen Belichtungszeit und Bewegungsunschärfe:

Belichtungszeit	Bewegungsunschärfe
10 <sup>-3</sup> s	25 mm
10 <sup>-4</sup> s	2,5 mm
10 <sup>-5</sup> s	0,25 mm
10 <sup>-6</sup> s	0,025 mm

Die Meßgenauigkeit ist außerdem von dem Verhältnis Objektgröße : Bewegungsschärfe abhängig. Hat z. B. ein Tropfen von 5 mm Durchmesser eine Geschwindigkeit von 25 m/s, so beträgt die Bewegungsunschärfe bei einer Belichtungszeit von 10<sup>-6</sup>s bereits 0,5 %, bei einem Tropfen von 0,5 mm jedoch schon 5 % des Durchmessers.

Für eine Meßauswertung dieses Vorgangs genügen jedoch Aufnahmen mit einer Belichtungszeit von 10<sup>-6</sup>s, da bei kleinen Tropfen die Geschwindigkeit erheblich geringer ist als bei großen Tropfen. Infolgedessen tritt hier auch nur eine kleine Bewegungsunschärfe auf.

Bei den Einzelbildaufnahmen wurde als Lichtquelle ein Funkenblitzgerät nach dem System des Toepler'schen Gleitfunken verwendet. Mit diesem konnte bei einer Kondensatorspannung von 20 000 Volt die erforderliche Belichtungszeit von 10<sup>-6</sup>s erreicht werden (Abb. 2). Die Versuchsanordnung wurde so gewählt, daß der Aufnahmebereich zwischen Funkenblitz und Kamera lag. Ferner wurde vor das Blitzgerät eine Mattscheibe aufgestellt, welche durch den Funkenblitz angeleuchtet wurde und das Licht für die Aufnahme diffus zerstreute. Diese Form der Gegenlichtaufnahme hat sich für derartige Untersuchungen sehr gut bewährt. Der Kameraver-

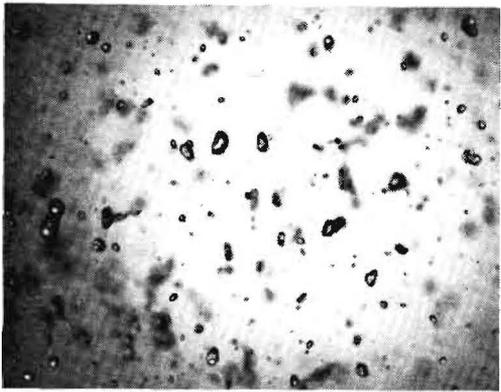


Abb. 3: Tropfenformen im Wasserstrahl einer Regnerdüse 8 m vom Düsenmund (10-mm-Düse, 2,4 atü)

schluß war mit dem Auslösekontakt des Blitzgeräts gekoppelt und die Öffnungszeit so eingestellt, daß der Blitz gut in das offene Objektiv fiel. Die Aufnahmen wurden bei Dunkelheit vorgenommen. Jedoch bringen auch noch Aufnahmen bei Dämmerung mit einer Beleuchtungsstärke von 4000 lm/m<sup>2</sup> gute Ergebnisse, sofern die Genauigkeit der Synchronisation von Kamera und Blitzgerät die Einstellung der kürzesten Verschlusszeit erlaubt. Bei der Auswertung mußten die Eigenarten photographischer Schnitte beachtet werden, da durch diese nur die Tropfen im Tiefenschärfebereich des Objektivs maßstabgerecht abgebildet werden. Daher mußten alle unscharf abgebildeten Tropfen bei der Ausmessung ausgeschieden werden. Zur Erleichterung der Auswertung wurden die Aufnahmen in verhältnismäßigen Maßstab projiziert und die Durchmesser der Tropfen ausgemessen. — Die Aufnahmen mit dem Funkenblitz haben den Nachteil, daß bei normalen Niederschlägen die Ausbeute je Aufnahme sehr gering ist, weil sich nur wenige Tropfen in dem abgebildeten Raum befinden; daher ist meist eine große Zahl von Aufnahmen für ein zuverlässiges Ergebnis notwendig. Dieses Kurzzeitaufnahmeverfahren läßt sich in erster Linie dort vorteilhaft anwenden, wo Tropfenhäufigkeit und Tropfengeschwindigkeit sehr groß sind, also etwa für alle Untersuchungen in unmittelbarer Nähe der Düse. Außerdem ist dieses Verfahren unentbehrlich für alle Messungen zum Erfassen der Tropfenform (Abb. 3).

Ausgangspunkt für die Entwicklung eines ergiebigeren und zudem noch einfacheren photographischen Verfahrens war die Tatsache, daß Tropfen bei den üblichen Strahlgeschwindigkeiten kugelige Formen haben und bei Beleuchtung durch

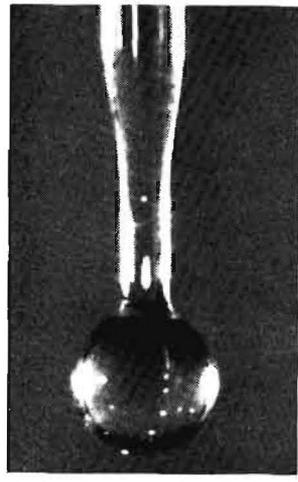


Abb. 4: Reflexionszonen als Meßmarken für die Bestimmung der Tropfengröße

zwei Lichtquellen im Gegenlicht Reflexionszonen (Abbildung der Scheinwerfer im Wassertropfen) aufweisen. Diese begrenzen bei richtiger Stellung der Lichtquellen den Durchmesser der Tropfen, daß die äußeren Ränder der Reflexe mit dem Tropfendurchmesser identisch sind (Abb. 4). Deshalb gibt auch jede photographische Abbildung der Reflexe im Schärfenbereich des Objektivs, sei es als Punkt oder als Strich, eine exakte Grundlage für die Tropfenmessung. Fällt ein in dieser Weise beleuchteter Tropfen bei geöffnetem Verschluss durch den Schärfenbereich des Objektivs, so wird er selbstschreibend in zwei parallelen Strichen (den beiden Reflexen) auf der photographischen Schicht abgebildet (Abb. 5). Um eine gute Unterscheidung von scharf und unscharf abgebildeten Tropfenspuren zu erreichen, ist es vorteilhaft, mit offener Objektivblende zu arbeiten. Die Meßfehler in der Übergangszone von scharfer zu unscharfer Abbildung sind um so geringer, je steiler dieser Übergang verläuft. Testaufnahmen haben ergeben, daß selbst bei ungeübten Auswertern ein maximaler Meßfehler von  $\pm 4\%$  nicht überschritten wird.

Die Verschlusszeit der Kamera muß so bemessen werden, daß selbst bei schwachen Niederschlägen eine ausreichende Zahl von Tropfen erfaßt werden kann. Für die Wahl des Abbil-

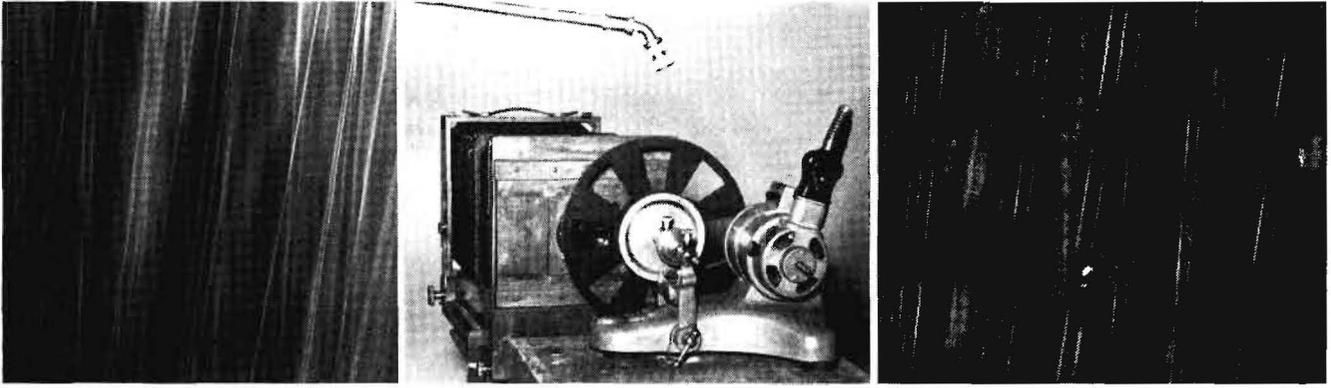


Abb. 5: Fotografische Abbildung von fallenden Wassertropfen in Form von Doppelstrichen bei Gegenlicht — Abb. 6: Meßeinrichtung zur gleichzeitigen Bestimmung von Tropfengröße und Tropfengeschwindigkeit mit Plattenkamera und Unterbrecherscheibe — Abb. 7: Meßaufnahme mit der Einrichtung aus Abbildung 6

dungsverhältnisses legt man am besten die kleinsten Tropfen zugrunde, die noch gemessen werden sollen. Die Beleuchtung des Aufnahmebereiches muß so intensiv sein, daß eine kräftige Schwärzung der photographischen Schicht durch die Reflexe der fallenden Wassertropfen erreicht wird. Bei unseren Versuchen wurden als Lichtquellen zwei 2000-W-Scheinwerfer in Gegenlichtaufstellung verwendet. Dieses Verfahren ermöglicht neben der Messung der Tropfengröße gleichzeitig die Messung der Tropfengeschwindigkeit auf ein und derselben Aufnahme. Hierzu braucht nur der Strahlengang durch eine Unterbrecherscheibe entweder unmittelbar vor dem Objektiv oder — falls es die Konstruktion der Kamera erlaubt — im Brennpunkt intermittierend abgedeckt zu werden.

Die Unterbrecherscheibe enthält Schlitze, deren Breite dem Objektivdurchmesser entsprechen muß. Die Scheibe wird so dicht wie möglich vor das Objektiv gestellt und ihre Drehzahl so bemessen, daß bei der zu erwartenden Tropfengeschwindigkeit auf dem Bild wenigstens zwei Unterbrechungen des Lichtstrahles aufgezeichnet werden. Bei den Versuchen hat sich eine Unterbrecherscheibe mit 8 Schlitzen gut bewährt. Abbildung 6 zeigt die Anordnung der Unterbrecherscheibe vor der Kamera. Eine Meßaufnahme mit diesem Verfahren ist in Abbildung 7 wiedergegeben.

Vor jeder Aufnahme müssen Kamera und Lichtquelle so angeordnet werden, daß die Bildfeldunterseite parallel zur Verbindungslinie der Reflexionszonen steht. Der Tropfendurchmesser ist dann der Abstand zwischen den beiden Schnittpunkten, die durch eine Parallele zur Bildunterkante und den Reflexionspuren gebildet werden (Abb. 8). Die beschriebene Justierung der Aufnahmeanordnung läßt sich leicht mit einer Glaskugel durchführen. Da der Abstand zwischen zwei Auslöschungen dem Weg des Tropfens zwischen zwei Dunkelstellungen der Unterbrecherscheibe entspricht, ergibt sich aus dieser Wegstrecke, ferner der Drehzahl der Unterbrecherscheibe sowie dem Abbildungsmaßstab die Tropfengeschwindigkeit.

Beispiel: Abbildungsmaßstab 1 : 1  
 Drehzahl der Unterbrecherscheibe: 3170 U/min  
 Wegstrecke für 7 Unterbrechungen: 54,2 mm  
 Zeitbedarf für 7 Unterbrechungen: 0,0165 s

$$v = \frac{54,2}{0,0165} = 3,28 \text{ m/s.}$$

#### Zusammensetzung der Tropfengemische der untersuchten Düsen

Mit Hilfe der geschilderten Meßverfahren wurden bei den eingangs genannten Regnern zuerst die physikalischen Werte für die Errechnung der Niederschlagsenergie gemessen. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurde die so ermittelte Niederschlagsenergie in Beziehung zur verursachten Bodenverschlammung gebracht.

Die Wirkungen bewegter Körper hängen von ihrer Masse und ihrer Geschwindigkeit ab. Aus diesen beiden Werten können die kinetische Energie  $E$  und die Kraft  $P$  errechnet werden.

Bei den Niederschlägen von Regnern handelt es sich um Gemische verschieden großer Tropfen, deren Fallenergie sich aus folgenden Werten ergibt:

1. Den im Niederschlag vorhandenen Tropfengrößen.
2. Den Anteilen, welche die Tropfengrößen am Niederschlagsvolumen einnehmen.
3. Der Fallgeschwindigkeiten der auftretenden Tropfen.

Diese Größen ändern sich mit fortschreitender Auflösung des Wasserstrahls. Infolgedessen mußten sich die Messungen auf die gesamte Wurfweite erstrecken und unmittelbar über der getroffenen Fläche, d. h. in Bodennähe, vorgenommen werden. Bei den Drehstrahlregnern mit 14- und 20-mm-Düse lagen die Meßpunkte in Abständen von 5 m; beim Langsamregner waren die Meßpunkte 3, 5, 8, 11 und 14 m, beim Wasserstaubregner 5 m von der Düse entfernt. Zur Vereinfachung der Auswertung wurden die gemessenen Tropfendurchmesser in Größenklassen eingeteilt.

Die Zusammensetzung eines Tropfengemisches kann entweder durch die Anzahl der gefundenen Tropfen in jeder Größenklasse wiedergegeben werden, oder aber durch den Anteil den die Volumina der einzelnen Tropfenklassen am Volumen des Gesamtniederschlags besitzen. Die Aufteilung des Niederschlagsvolumens auf die Tropfenklassen hat den Vorteil, daß mit den ermittelten Werten die kinetische Energie  $E_R$  beziehungsweise der Druck des Niederschlages  $P_R$  errechnet werden kann.

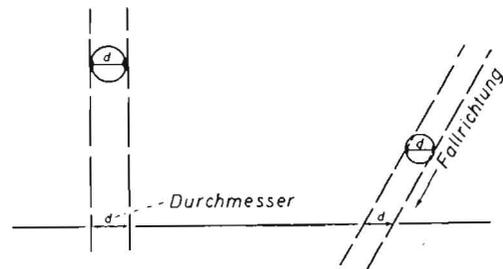


Abb. 8: Justierung der Meßeinrichtung und Ausmessen der Tropfengröße bei senkrechter und schräger Fallrichtung der Tropfen

Die Zusammensetzung der Tropfengemische der untersuchten Regner ist an anderer Stelle [6] dargestellt. Kennzeichnend für die Tropfenverteilung bei den drei Drehstrahl-Regnern ist die Tatsache, daß sich die kleinen Tropfen in Düsennähe und die großen in Düsenferne häufen. Beim ersten Meßpunkt in Düsennähe sind nur die beiden Tropfengrößen 0—0,5 mm und 0,5—1 mm vertreten, größere Tropfen fehlen dagegen ganz. Mit zunehmender Entfernung vom Regner nimmt der Anteil an kleinen Tropfen immer mehr ab, während der Anteil der großen Tropfen stark ansteigt. Der Grund hierfür liegt in der unterschiedlichen kinetischen Energie von großen und kleinen Tropfen. Denn die größere kinetische Energie der groben Tropfen befähigt diese, weiter zu fliegen als die kleinen mit ihrer geringen kinetischen Energie, so daß bei normalen Betriebsdrücken die Reichweite eines Regners in Beziehung zu der erzeugten Tropfengröße steht. Die Unregelmäßigkeiten in der Volumenverteilung am Ende der Wurfbahn sind auf vereinzelt grabe Tropfen zurückzuführen, die auch bei einem zahlenmäßig geringen Auftreten einen starken Anteil am Wasservolumen einnehmen.

Wesentlich anders als bei den drei Drehstrahl-Regnern setzt sich das Tropfengemisch der Wasserstaubdüse zusammen. Durch die Prallplatte wird der dem Standrohr entströmende Wasserstrahl in feine Tropfen zerstäubt, wobei von dem Druck des ausströmenden Wassers nur noch ein verhältnismäßig kleiner Teil für den Transport der gebildeten Tropfen übrig bleibt. Innerhalb des Wirkungsbereichs dieser Düse ist daher das Tropfengemisch verhältnismäßig gleichförmig. Es treten nur Tropfen unter 0,6 mm Durchmesser auf. Sie liegen also in der Größenordnung der kleinsten von Drehstrahl-Regnern erzeugten Tropfen.

### Regendruck und kinetische Energie der untersuchten Regner

Aus den Werten für die Tropfengröße und aus der Tropfengeschwindigkeit wurden unter Berücksichtigung der Niederschlagshöhe der Druck und die kinetische Energie errechnet, welche die Niederschläge der Regner auf den Boden ausüben.

#### a) Der Regendruck<sup>1)</sup>:

Der Regendruck wurde über den Impulssatz ermittelt.

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_k$$

$$= \frac{\pi}{6} n_1 \cdot d_1^3 + \frac{\pi}{6} n_2 \cdot d_2^3 \dots + \frac{\pi}{6} n_k \cdot d_k^3 \quad (1)$$

Hierbei ist

- V = Niederschlagsvolumen
- V<sub>1</sub> ... V<sub>k</sub> = Volumen der einzelnen Größenklassen
- d = Tropfendurchmesser
- n = Anzahl der Tropfen

Eine Vereinfachung des Rechenganges ergibt sich, wenn die absoluten Volumenwerte der einzelnen Tropfengrößen in relative Anteile am Niederschlagsvolumen umgerechnet werden. Hierzu dividiert man Gleichung (1) durch V. Es ergibt sich dann:

$$1 = \frac{n_1 \cdot d_1^3}{V / \frac{\pi}{6}} + \frac{n_2 \cdot d_2^3}{V / \frac{\pi}{6}} \dots + \frac{n_k \cdot d_k^3}{V / \frac{\pi}{6}} \quad (2)$$

Aus Gleichung 1 ergibt sich für  $V / \frac{\pi}{6}$

$$V / \frac{\pi}{6} = n_1 \cdot d_1^3 + n_2 \cdot d_2^3 + \dots + n_k \cdot d_k^3 \quad (3)$$

$$\frac{n \cdot d^3}{V / \frac{\pi}{6}} = R = 1, 2, \dots, k \quad (4)$$

Dieser relative Volumenanteil R der jeweiligen Größenklasse am Niederschlagsvolumen bildet die Grundlage für die weiteren Berechnungen.

Der Regendruck P<sub>R</sub> ist die zeitliche Änderung des Impulses der niederfallenden Regenmenge:

$$P_R = \frac{d}{dt} (mv). \quad (5)$$

Nun wächst die niederfallende Regenmenge in Abhängigkeit von der Zeit linear an. Daher ist ihre zeitliche Änderung konstant. Man kann also für dt jedes beliebige Zeitintervall wählen; der Regendruck ist dann proportional der je Zeiteinheit fallenden Regenmenge. Deshalb kann die Rechnung dadurch übersichtlicher gestaltet werden, daß zunächst der Regendruck P<sub>R</sub> berechnet wird, den eine auf eine Fläche von 1 cm<sup>2</sup> fallende Regenmenge von 1 cm<sup>3</sup>/Sekunde ausübt. Da das Tropfengemisch in verschiedene Größenklassen eingeteilt ist, wird der Regendruck zuerst für jede Größenklasse einzeln errechnet. Der Gesamtregendruck ergibt sich dann aus der Summe der einzelnen Klassenwerte.

<sup>1)</sup> Dipl. math. L i e r, Institut für den wissenschaftlichen Film, Göttingen, möchten wir an dieser Stelle für seine freundliche Unterstützung bei den Ableitungen der Formeln danken.

Tabelle 1:

### Kinetische Energie und Regendruck von 1 cm<sup>3</sup> Niederschlag; Düse: 14 mm; Entfernung vom Regner: 15 m

Tropfen- durchmesser d mm	Tropfen- anzahl n	Tropfen- geschwin- digkeit v cm s	Rel. Volumen- anteil R	Kinetische Energie E <sub>R</sub> erg	Regen- Druck! P <sub>R</sub> cm g s <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
0,15	1	77	0,0001092	0,03	0,00084
0,25	14	118	0,007082	4,93	0,08358
0,35	15	155	0,002083	25,02	0,3228
0,45	8	189	0,002360	42,17	0,4462
0,55	7	220	0,003771	91,26	0,8296
0,65	17	249	0,01511	458,30	3,763
0,75	20	275	0,02732	1033,04	7,513
0,85	21	302	0,04177	1904,11	12,61
0,95	18	328	0,04998	2689,60	16,40
1,1	20	364	0,08620	5709,34	31,37
1,3	14	409	0,09959	6615,58	32,35
1,5	12	450	0,13110	13279,50	59,02
1,7	9	491	0,14320	17261,11	70,31
1,9	3	528	0,06664	9287,52	35,18
2,1	5	562	0,15000	23682,68	84,28
2,3	2	592	0,07879	13808,40	45,65
2,5	2	620	0,1012	19446,30	62,73
	188		1	115349,09	463,85902

$$P_R = P_{R'} \cdot h = 463,9 \cdot 0,00734 = 3,405 \frac{\text{cmg}}{\text{s}^2} \text{ Dyn}$$

Auf diese Weise ergeben sich sofort Vergleichswerte, die den Einfluß der verschiedenen Tropfenzusammensetzungen auf den Regendruck bei gleichen Niederschlagsmengen erkennen lassen. Zur Ermittlung des tatsächlichen Regendruckes brauchen dann nur noch die errechneten Werte für P<sub>R</sub> mit der je Sekunde gefallenen Regenhöhe (Regenintensität) multipliziert zu werden. Ableitung für den Rechengang:

$$\text{Es ist} \quad dt = 1 \text{ s} \quad \rho = \frac{1 \text{ g}}{\text{cm}^3} \quad dV = R \cdot 1 \text{ cm}^3$$

Damit wird

$$P_R = \frac{d}{dt} (mv) = \frac{v \cdot \rho \cdot dV}{dt} \quad (6)$$

$$= \frac{v [\text{cm/s}] \cdot 1 [\text{g/cm}^3] \cdot R \cdot 1 [\text{cm}^3]}{1 [\text{s}]} = R \cdot v \left[ \frac{\text{g cm}}{\text{s}^2} \right] \quad (7)$$

Tabelle 2:

### Kinetische Energie der untersuchten Regner auf Niederschlagsverteilung (a) und Niederschlagseinheit (b) berechnet

Düsen- ø mm	Düsen- Meß- stelle m	Niederschlags- höhen mm/s	Kinetische Energie erg 10 <sup>3</sup>	
			a Niederschlags- verteilung	b Niederschlags- einheit
1	2	3	4a	4b
20 2,6 atü	5	0,0033	0,010	30,2
	10	0,04	0,408	102,1
	15	0,12	1,438	119,8
	20	0,19	3,981	209,5
	25	0,40	7,060	176,5
14 3,8 atü	5	0,003	0,007	21,7
	10	0,0258	0,224	86,8
	15	0,0734	0,846	115,3
7 4,2 atü	20	0,116	1,885	162,5
	3	0,0033	0,006	18,7
	5	0,00667	0,023	34,4
	8	0,020	0,112	55,8
	11	0,035	0,312	89,1
Wasserstaub 2,5 mm	14	0,0725	0,966	133,2
		0,0051	0,003	6,261

$$P_R = \frac{h \text{ (cm)}}{1 \text{ (cm)}} \cdot P'_R = h \cdot P'_R \quad (8)$$

$h$  = Regenhöhe

$P'_R$  = Regendruck bei der Regenhöhe 1 (cm).

(Beispiel: siehe Tabelle 1, Spalte 6)

### b) Die kinetische Energie

Die Wassertropfen erreichen während des Fluges durch die Luft einen bestimmten Betrag an kinetischer Energie, der vom Betriebsdruck des Regners, der Schwerkraft, sowie vom Luftwiderstand abhängig ist.

Die kinetische Energie eines Körpers ergibt sich aus:

$$E = \frac{m}{2} v^2 \quad \text{erg} \left( \frac{\text{g} \cdot \text{cm}^2}{\text{s}^2} \right) \quad (9)$$

Legt man für die Masse ( $m$ ) eines Tropfengemisches die Niederschlagsmenge von  $1 \text{ cm}^3$  auf  $1 \text{ cm}^2$  Fläche (10 mm Regenhöhe) zugrunde, so ist deren kinetische Energie die Summe aus den kinetischen Energien der einzelnen Tropfen oder, wie im vorliegenden Fall, der Tropfengrößenklassen. Tabelle 1 zeigt als Beispiel die Berechnung der kinetischen Energie und des Regendruckes für die 14-mm-Düse in 15 m Abstand vom Regner. Spalte 1 enthält den mittleren Durchmesser der Tropfengrößenklassen, Spalte 2 die Tropfengeschwindigkeiten in cm/s. Die Volumenanteile  $R$  der Tropfengrößenklassen in Spalte 4 beziehen sich auf die bereits erwähnte Niederschlagsmenge von  $1 \text{ cm}^3$  auf  $1 \text{ cm}^2$ .

Die kinetische Energie in Spalte 5 ist dann:

$$E = \frac{R}{2} v^2 \quad (10)$$

und die Gesamtenergie des Niederschlages ergibt:

$$E = 115.35 \cdot 10^3 \text{ erg}$$

Ein Drehstrahl-Regner in Einzelaufstellung verteilt die gespendete Niederschlagsmenge nicht gleichmäßig über seinen Wirkungsbereich. Unmittelbar an der Düse wird die Niederschlagsmenge durch die Antriebsturbinen des Regners zuerst stark erhöht, sie fällt aber außerhalb dieses Bereiches wieder steil ab. Dann steigt bis zum Ende der Wurfbahn die Niederschlagshöhe langsam wieder an, so daß eine mehr oder weniger wellenförmige Verteilungskurve entsteht. Dieser ungleichmäßigen Wasserverteilung begegnet man durch Aufstellung von mehreren Regnern im Verband oder durch einen entsprechenden Vorschub des Einzelregners. Über den hierbei möglichen Ausgleich hat Witte [4] umfangreiche Untersuchungen veröffentlicht. Sieht man von diesen Möglichkeiten zunächst einmal ab, so kann die kinetische Energie an jedem Punkt der Strahlprojektion entweder für die Zeiteinheit oder für die Niederschlagseinheit berechnet werden. Im ersten Fall ergibt sich eine Beurteilung des Regners nach der tatsächlichen Niederschlagsverteilung während der Betriebszeit, im zweiten Fall ganz allein nach der Qualität des gespendeten Tropfengemisches. Das letztere Verfahren ist dann zu empfehlen, wenn die Wirkung des Tropfengemisches auf die Bodenverschlammung untersucht werden soll, weil dann gleiche Niederschlagsmengen zugrunde gelegt werden müssen.

In Tabelle 2 sind die Niederschlagshöhe (Spalte 3), die kinetische Energie bei Berücksichtigung der Niederschlagsverteilung (Spalte 4a) und die kinetische Energie der Niederschlagseinheit (4b) für die drei Drehstrahl-Regner und den Wasserstaubregner angegeben. Die Werte beziehen sich auf einen stehenden Wasserstrahl ohne Strahlstörung.

In Abbildung 9 bis 11 sind die Werte für die kinetische Energie graphisch dargestellt. Die Kurven in Abbildung 9 und 10 ergeben sich, wenn die kinetische Energie auf Grund der in der Zeiteinheit an den Meßpunkten gefallenen Niederschlagsmenge errechnet wird. Die Kurven zeigen einen parabolähnlichen Verlauf. Die kinetischen Energien für dieselben Punkte, wenn sie für die Niederschlagseinheit  $1 \text{ cm}^3/1 \text{ cm}^2$  berechnet werden, zeigt Abbildung 11. Aus der Darstellung ist ersichtlich, daß sich diese Werte unabhängig von untersuchten Regnern um eine lineare Kurve anordnen. Daher

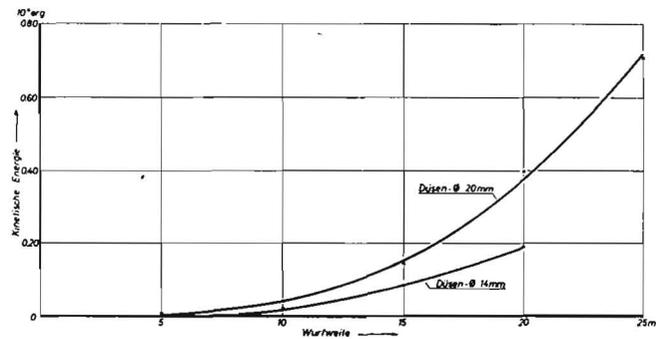


Abb. 9: Regnerabstand und kinetische Energie beim Drehstrahlregner mit 14- und 20-mm-Düse. Kinetische Energie aus Niederschlagsverteilung längs der Strahlproduktion berechnet

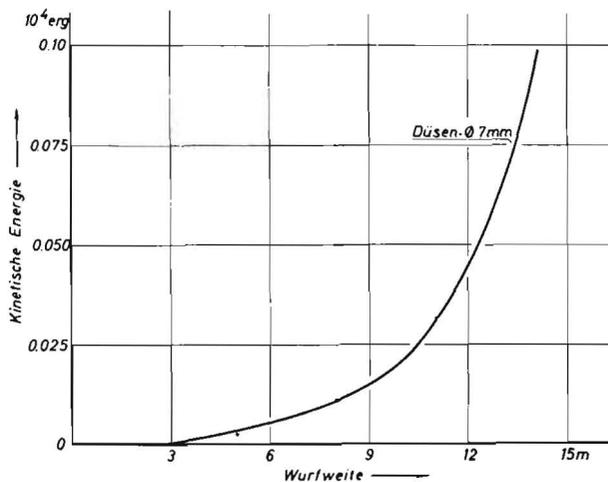


Abb. 10: Wie Abbildung 9 für Langsamregner mit 7-mm-Düse

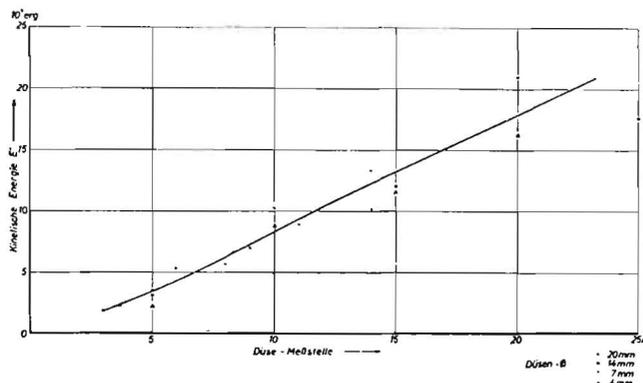


Abb. 11: Regnerabstand und kinetische Energie der untersuchten Regner. Kinetische Energie für  $1 \text{ cm}^3$  Niederschlag auf  $1 \text{ cm}^2$  (10 mm) berechnet

kann bei den untersuchten Drehstrahl-Regnern auf eine gesetzmäßige Beziehung von Wurfbreite und Niederschlagsenergie geschlossen werden.

Es zeigt sich, daß unter den bei diesen Versuchen gegebenen Bedingungen eine Verringerung der Niederschlagsenergie nur durch einen Verlust an Wurfbreite erkauft werden kann. Daher lassen sich große Wurfbreiten und geringe Niederschlagsenergie nicht miteinander vereinbaren.

### Niederschlagsenergie und Bodenverschlammung

Im Anschluß an diese Untersuchungen wurde die Bodenverschlammung durch den Niederschlag der vier Regner gemessen. Hierbei wurden Krümel verschiedener Größe aus einem sandig-tonigen Lehm beregnet und deren laufende Veränderung während der Beregnung durch Reihenbilder festgehalten. Die Punkte für diese Messungen lagen bei der 20- und 14-mm-Düse 20 m, bei der 7-mm-Düse 14 m und beim Wasserstaub 5 m vom Regner entfernt. Aus den gleichzeitig

durchgeführten Regenmessungen konnte die bis zum Verschlammungspunkt notwendige Niederschlagshöhe ermittelt und daraus die kinetische Energie berechnet werden (Tab. 3).

Aus Tabelle 3 ergibt sich:

1. Die Verwendung einer kleineren Düse verzögert die Bodenverschlammung. Dieser Unterschied tritt aber bei den untersuchten Düsen in einem Bereich auf, in dem die Regengaben, verglichen mit den praktischen Verhältnissen, noch gering sind.
2. Die Bodenverschlammung ist von der Krümelgröße abhängig. Die größeren Krümel verschlammten erst bei höheren Niederschlagsmengen.
3. Jede Krümelgröße braucht unabhängig von der Düsenart zur Verschlammung eine bestimmte kinetische Energie.

Ein anderes Ergebnis zeigten die Versuche mit der Wasserstaubdüse. Entsprechend der geringen kinetischen Energie der Niederschlagseinheit tritt die Krümelzerstörung erst bei höheren Niederschlagsmengen auf. Legt man bei dem Versuchsboden für die Verschlammung der Krümel von 2 bis 5 mm  $\varnothing$  eine kinetische Energie von durchschnittlich  $80 \cdot 10^3$  erg zugrunde, so entspricht dieser Wert bei der 20-mm-Düse einem Niederschlag von 3,3 mm, beim Wasserstaubregner aber einem Niederschlag von ungefähr 130 mm. Ähnlich liegen die Verhältnisse auch bei den anderen Krümelgrößen.

Die enge Beziehung zwischen der kinetischen Energie eines Niederschlags und der Bodenverschlammung eröffnet die Möglichkeit, die derzeit üblichen Regner auf Grund der kinetischen Energie ihres Niederschlags einzuteilen.

Witte [4], der sich eingehend mit der Bezeichnung der verschiedenen Regnersysteme befaßt hat, schlägt in Anlehnung an den Wetterdienst eine Einteilung nach der Niederschlagsdichte in: Stark-, Mittelstark- und Schwachregner vor. Diese Bezeichnung wird dem praktischen Bedürfnis durchaus gerecht, weil ihr der je Betriebsstunde gespendete Niederschlag zugrunde liegt. Sie sagt aber wenig über die Wirkung des Niederschlags auf Boden und Pflanze aus, weil sie keine Angaben über die Eigenschaften des gespendeten Tropfengemisches macht. Eine solche Aussage ist aber nach den geschilderten Untersuchungen für die Beurteilung eines Regners von besonderem Interesse.

Daher bedarf das von Witte vorgeschlagene Schema einer Ergänzung. Die Grundlagen lassen sich aus den hier geschilderten Ergebnissen entnehmen.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, welche Forderungen an die Entwicklung einer bodenschonenden Beregnung zu stellen sind. Erste Voraussetzung hierfür ist die Erzeugung eines feinen Tropfengemisches. Dagegen konnte bei diesen Versuchen die vielfach vermutete Abhängigkeit der Bodenverschlammung von der Niederschlagsdichte nicht bestätigt werden. Darum scheinen auch die Möglichkeiten, durch eine Verringerung der praktisch notwendigen Niederschlagsdichte zu einer bodenschonenden Beregnung zu kommen, nur dann gegeben, wenn gleichzeitig auch eine Verringerung der Tropfengrößen erreicht wird.

### Zusammenfassung

Zur Klärung der physikalischen Grundlagen für eine bodenschonende Beregnung wurden an einigen Regnern eingehende Untersuchungen über die Strahlauflösung und die Zusammensetzung der Tropfengemische durchgeführt. Aus den gewonnenen Werten für die Größe und Geschwindigkeit der erzeugten Tropfen wurden der Druck und die kinetische Energie des Niederschlags der verschiedenen Regner berechnet und in Beziehung zur verursachten Krümelzerstörung gebracht.

Im Laufe der Arbeiten wurde ein fotografisches Verfahren zur gleichzeitigen Messung der Tropfengröße und Tropfengeschwindigkeit entwickelt, das sich im Gegensatz zu den bisher gebräuchlichen Auffangmethoden ohne Einschränkungen für die Messung von großen und kleinen Tropfen verwenden läßt.

Tabelle 3:

### Regenhöhe und kinetische Energie für verschiedene Düsen und Krümelgrößen beim Verschlammungspunkt

Düse	Entfernung	Krümelgröße mm					
		2—5		5—10		10—20	
mm $\varnothing$	m	h/mm	E $10^3$ erg	h/mm	E $10^3$ erg	h/mm	E $10^3$ erg
7	14	5,7	76,2	7,9	105,5	13,6	181,1
14	20	5,9	95,0	12,0	95,0	11,8	191,7
20	20	3,3	70,0	4,1	86,5	9,2	192,8

Die Untersuchungen wurden an folgenden Regnern vorgenommen:

- a) an einem Drehstrahlregner mit 20-mm-Düse,
- b) einem Drehstrahlregner mit 14-mm-Düse,
- c) einem Langsamregner mit 7-mm-Düse,
- d) einem Wasserstaubregner mit 2,5-mm-Düse.

Die Ergebnisse zeigen:

1. Die Zusammensetzung des Tropfengemisches der Regner a)–c) weist eine enge Beziehung zum Regnerabstand auf, und zwar treten in Düsenhöhe die feinen Tropfen stärker in Erscheinung als in Düsenferne, wo im Niederschlag vorwiegend große Tropfen vorherrschen.
2. Unter Bezug auf die Niederschlagseinheit  $1 \text{ cm}^3/1 \text{ cm}^2$  ergibt sich auf Grund dieses Verteilungsmerkmals ein linearer Anstieg der kinetischen Energie längs der Wurfweite.
3. Von den untersuchten Regnern erzeugt der Wasserstaub die feinsten Tropfen und infolgedessen auch den geringsten Regendruck und die kleinste kinetische Energie.
4. Bei der Beregnung von Krümelfraktionen eines sandigen Lehmbodens ergaben sich brauchbare Beziehungen zwischen der kinetischen Energie der Niederschläge, der Bodenverschlammung und der Krümelgröße. Es zeigte sich, daß jede Krümelgröße zur Zerstörung eine bestimmte kinetische Energie benötigt, die bei den größeren Krümeln wesentlich größer ist als bei den kleinen.
5. Zwischen den Regnern a), b) und c) konnten zwar Unterschiede in der kinetischen Energie der Niederschläge festgestellt werden, doch ergaben die Krümelberechnungsversuche, daß die Unterschiede bei Regengaben auftreten, die weit unter den in der Beregnungspraxis üblichen Einzelgaben liegen.

Auf Grund der dargestellten Beziehungen ergeben sich neue Möglichkeiten, die derzeit gebräuchlichen Regner nach dem Regendruck und der kinetischen Energie einzuteilen und die augenblicklich verwendete, in erster Linie nach praktischen Gesichtspunkten getroffene Einteilung zu ergänzen oder zu ersetzen.

### Schrifttum:

- [1] J. Wiesner: Untersuchungen über die mechanische Wirkung des Regens auf die Pflanze nebst Beobachtungen und Bemerkungen über sekundäre Regenwirkungen. Biedermanns Centralblatt für Agriculturnchemie, 1899, S. 178.
- [2] O. Laws: Recent studies in rain drops and erosion. Agr. Eng. 21, (1940), S. 431.
- [3] R. L. Green: A photographic technique for measuring the sizes and velocities of water drops from irrigation sprinklers. Agr. Eng. 33 [1952], S. 563.
- [4] K. Witte: Klimatologische, pflanzenphysiologische und technische Probleme der Beregnung. Heft 3 der Schriftenreihe des Kuratoriums für Kulturbauwesen Wasser und Boden, Homburg 1954.
- [5] Forschungsbericht: Untersuchungen zur Tropfengröße der Beregnung. Unter Mitwirkung des Institutes für Bodenbearbeitung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Völknerode, des Institutes für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen und des Kuratoriums für Technik in der Landwirtschaft, Fachgebiet für Bewässerung und Beregnung.
- [6] H. Frese, W. Czeratzki und H. Schladerbusch: Krümelzerstörung unter dem Einfluß verschiedener Beregnungsweisen. Zeitschr. Pflanzenern., Düng. und Bodenkunde 73 (118) (1956) S. 210.

## Résumé:

Obering, H. Schladerbusch und Dr. W. Czeratzki:

„Die Niederschlagsenergie verschiedener Regner und ihr Einfluß auf die Bodenverschlümmung.“

In den Niederschlägen einiger Drehstrahlregner wurde die Größe und die Geschwindigkeit der Wassertropfen gemessen und aus beiden Werten der Druck und die kinetische Energie bestimmter Niederschlagsmengen auf den Boden errechnet. Für diese Untersuchungen wurde eine fotografische Methode entwickelt, mit welcher gleichzeitig die Tropfengröße und die Tropfengeschwindigkeit gemessen werden konnten. Um die Zusammenhänge zwischen der kinetischen Energie von Niederschlägen und der Bodenverschlümmung zu prüfen, wurden Berechnungsversuche mit Bodenkrümeln verschiedener Größe durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigten, daß die kinetische Energie ein brauchbares Maß für die Wirkung eines Regens auf die Krümelzerstörung und Bodenverschlümmung darstellt und deshalb zur Beurteilung eines Regners erfolgreicher herangezogen werden kann als die bisherigen Verfahren.

Obering, H. Schladerbusch and Dr. W. Czeratzki:

„The Kinetic Energy of various Types of Agricultural Sprinklers and its Effect on Sealing of the soil.“

The size and velocity of raindrops from rotating sprinklers were measured. The pressure and the kinetic energy of various quantities of water was then calculated from the foregoing measurements. A special photographic method of obtaining these measurements was developed for the purpose of these investigations, which enabled both, the size and the velocity of the drops to be measured simultaneously. In order that the relation between the kinetic energy of the water and the sealing of the soil could be investigated, a series of experiments were carried out with sprinklers on various soils. The results of these experiments showed that the actual kinetic energy of the water forms a very useful yardstick for determining the pulverising and sealing effect of raindrops on the soil and can, therefore, be of greater value in determining the efficiency of a sprinkler than are the methods at present in use.

Obering, H. Schladerbusch et Dr. W. Czeratzki:

«La puissance de précipitation de différents arroseurs et son influence sur la formation de terre bourbeuse.»

On a mesuré la grosseur et la vitesse des gouttelettes de quelques arroseurs rotatifs et a calculé à l'aide de ces deux facteurs la pression et l'énergie cinétique exercées sur le sol par des débits de précipitation déterminés. Une méthode photographique a été élaborée à l'aide de laquelle on a pu mesurer simultanément la grosseur des gouttelettes et leur vitesse de précipitation. Afin d'examiner les relations existant entre l'énergie cinétique de la précipitation et la transformation progressive de la terre en bourbe, on a effectué des essais d'arrosage au moyen de miettes de terre de différents grosseurs. Les résultats de ces essais montrent que l'énergie cinétique constitue une donnée permettant la détermination de l'action d'une précipitation déterminée sur la destruction des miettes et la formation de bourbe et qu'elle peut servir plus efficacement à l'appréciation d'arroseurs que les méthodes utilisées jusqu'à ce jour.

Obering, H. Schladerbusch & Dr. W. Czeratzki:

«La energía de precipitación de distintos regadores y su influencia en el encenagado del terreno.»

De las precipitaciones de algunos regadores giratorios se ha medido el tamaño y la velocidad de las gotas de agua, calculándose sobre los valores encontrados la presión y la energía cinética de determinadas cantidades precipitadas en el terreno. Se había desarrollado para estas investigaciones un método fotográfico que permite medir al mismo tiempo el tamaño y la velocidad de las gotas. Para comprobar la relación existente entre la energía cinética de las precipitaciones y el encenagado del terreno, se hicieron ensayos con grumos de tierra de diferentes tamaños. Los resultados de estos ensayos demostraron que la energía cinética es una medida útil para calcular el efecto de una lluvia en la destrucción de los grumos y en el encenagado del terreno, pudiendo servir para juzgar de la utilidad de un regador, mejor que los procedimientos hasta aquí acostumbrados.

## Landtechnische Dissertationen

In Heft 4/1955 der „Landtechnischen Forschung“ wurden erstmalig die neuen landtechnischen Dissertationen veröffentlicht. Wir setzen diese Reihe mit den seither abgeschlossenen Arbeiten fort:

### Universität Bonn

Bewer: „Über den Einfluß der Temperatur bei der Lagerung von feuchtem Getreide“  
Berichter: Prof. Dencker, Prof. Klapp

Lünningmeyer: „Verlustermittlung in der Getreideernte im feuchten Klima“  
Berichter: Prof. Dencker, Prof. Klapp

### TH Braunschweig

Ackermann: „Theoretische und experimentelle Untersuchungen über den Druckabfall bei der pneumatischen Förderung mit Mitteldruckgebläsen“  
Berichter: Prof. Segler, Prof. Schlichting

Kampf: „Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Wurfgebläsen“  
Berichter: Prof. Segler, Prof. Petermann

Wieneke: „Wickel- und Reibungsuntersuchungen an Wellen und umlaufenden Maschinenteilen“  
Berichter: Prof. Segler, Prof. Winter

### Landwirtschaftliche Hochschule Gießen

Dupuis: „Ein Beitrag zur Beurteilung der menschlichen Beanspruchung bei der Bedienung von Vierradschleppern und Geräteträgern“  
Berichter: Prof. Stöckmann, Dr. Franke

Evers: „Kennzahlen für die Auswahl von Schleudern“  
Berichter: Prof. Stöckmann, Prof. Saur

Gaus: „Beitrag zur Weiterentwicklung vollautomatischer Stallungstreuer“  
Berichter: Prof. Stöckmann, Prof. Königer

### Universität Göttingen

Böttcher: „Untersuchungen an Bodenfräsworkzeugen in einem Bodenkanal“

Berichter: Prof. Gallwitz, Prof. Tornau

Maack: „Mechanische Trennung von Kartoffeln und Steinen“

Berichter: Prof. Gallwitz, Prof. Scheffer

### TH München

Dietrich: „Untersuchungen über das Trocknungsverhalten naturfeuchten und angefeuchteten Weizen-Einzelkornes“

Berichter: Dr. Görling, Prof. von Sybel

Stolze: „Berechnung von Gleich- und Gegenstromtrocknern“

Berichter: Prof. Kneule, Dr. Görling

### TH Stuttgart

Eggert: „Die Entwicklung von Meßeinrichtungen für die Schärfe und Abnutzung von Messerschneiden, sowie insbesondere für die Bestimmung des günstigsten Watenwinkels von Mähmeserklingen“

Berichter: Prof. Fischer-Schlemm, Prof. Ehrhardt

### Bayerische Landesanstalt Weihenstephan

Gommlich: „Vergleichende Untersuchungen an Stallmistverflüssigungs- und -zerkleinerungsmaschinen“  
Berichter: Dr. Hupfauer, Prof. Rintelen

Schulz: „Untersuchungen über die Verwendbarkeit von leichtem Heizöl im Schleppermotor an Hand von 50-Stunden-Läufen bei Benutzung von verschiedenartigen Zusätzen“  
Berichter: Prof. Brenner, Dr. Hupfauer, Prof. Spengler