Messungen der Größe der Regentropfen in natürlichen Regen und bei künstlicher Beregnung

MAX DIEM, Karlsruhe

Die Intensivierung der Landwirtschaft wird neben der Anwendung von künstlichem Dünger heute weitgehend durch künstliche Beregnung vorangetrieben. Damit wird ein wesentlicher Eingriff in den natürlichen Ablauf des Wettergeschehens vorgenommen und gleichzeitig der Wassergehalt des Bodens verändert. Der künstliche Regen mit willkürlich gewähltem Beginn, verschiedener Dauer, Intensität und Tropfengröße übt andere Einflüsse aus als der natürliche Regen und es erhebt sich die Frage, wieweit der künstliche dem natürlichen angepaßt werden muß und kann. Ohne umfassende Kenntnis der natürlichen Regen ist eine sinnvolle Planung der künstlichen Beregnung nicht möglich.

Natürliche Regen

1. Unterlagen

1.1 Material

Untersuchungen natürlicher Regen wurden vielfältig (1—7, 10) angestellt, sie umfassen aber zum größten Teil geographisch-klimatische Erscheinungen und beschäftigen sich hauptsächlich mit dem Starkregen. Gerade diese extremen Fälle interessieren aber unter den normalen Bedingungen nicht und wir haben deshalb für unsere Untersuchungen die mittleren Verhältnisse herangezogen, die sich aus den Aufzeichnungen des Registrierregenmessers der Wetterwarte Karlsruhe aus den Sommermonaten (15. 3.—31. 10) 1950—1954 ergaben. Die Streifen wurden nach den Richtlinien von REINHOLD (8) ausgewertet. Es sei auch hier Herrn ORR Dr. MALSCH, dem Leiter der Wetterwarte Karlsruhe, für die Bereitstellung der Registrierungen gedankt. Ergänzt wurden diese Werte durch die Veröffentlichungen von HELLMANN (3—6), die Vergleiche mit früheren Beobachtungen zulassen.

Da neben der Niederschlagsmenge und ihrer Intensität für den Vergleich mit den künstlichen Regengaben der Anteil an den verschiedenen Tropfengrößen maßgeblich ist, haben wir die Filtermethode von WIESNER (9) weiterentwickelt und zur Ergänzung der Mengen- und Intensitätsmessung herangezogen.

1.2 Methodik

Die Bestimmung der Größe der Regentropfen geht auf ROHRER (11) zurück, der sie 1859 auf einer Glasplatte auffing; WIESNER (9) verwendete 1895 Filterpapiere. Beide benutzten ihre Methode zur Bestimmung der Wirkung des Regens auf Pflanzenblätter.

Nahezu gleichzeitig haben sich LENARD (12) 1904 und DEFANT (13) 1905 mit der Frage der Tropfenmessung befaßt, beide um den Mechanismus des Regens näher zu untersuchen. Aus der weiteren Entwicklung sei nur auf (14—18) verwiesen. Alle greifen dabei auf die von WIESNER erstmalig benutzte, von DEFANT nahezu genormte Methode zurück.

Die Tropfen werden auf einem mit einer Talkum-Eosinmischung bestäubten Filter aufgefangen und durch die entstehende Verfärbung fixiert. Bei dünnen, gut saugenden Papieren verläuft der Vorgang nach Abb. 1. Der Tropfen trifft auf, breitet sich rasch aus und nach 10 Sekunden ist der Endzustand erreicht.

Bei dicken Filtern erfolgt die Ausbreitung langsam und ist oft erst nach mehreren Minuten abgeschlossen. Dabei besteht die Gefahr der Verdunstung. Der entstehende Fleckdurchmesser hängt von dem Tropfendurchmesser, seiner Fallhöhe und seiner Orientierung zum Filter beim Auftreffen ab. Trifft der Tropfen

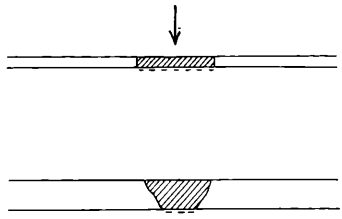


Abb. 1: Eindringen eines Tropfens in: oben: dünnes, gut saugendes Filterpapier; unten: dickes Papier. Gestrichelt unter den Tropfen, Farbfleck.

senkrecht auf das Filter auf, dann entstehen im allgemeinen kreisrunde Flecken, Zerspritzen erfolgt nur bei extrem großen Tropfen.

Zur Eichung werden Tropfen definierten Gewichts durch Abtropfen aus Glaskapillaren hergestellt. Die Schwierigkeit besteht dabei nach DEFANT (13) darin, daß die einzelnen Tropfengewichte stark variieren und nur relativ große Tropfen erzeugt werden können, die zu Fleckdurchmessern zwischen 6,6 und 65,3 mm führen. Damit muß gerade im wichtigen Bereich der kleinen Tropfen extrapoliert werden (Abb. 2).

Um die bei DEFANT und andern aufgetretenen Schwierigkeiten zu beseitigen, haben wir unsere Messungen auf handelsüblichen Filtern mit 125 mm Durchmesser aufgebaut. Die Filter werden auf einer Pfanne (Abb. 3) eingespannt, die das Färbmittel enthält. Durch einfaches Umdrehen wird das Filter hinreichend

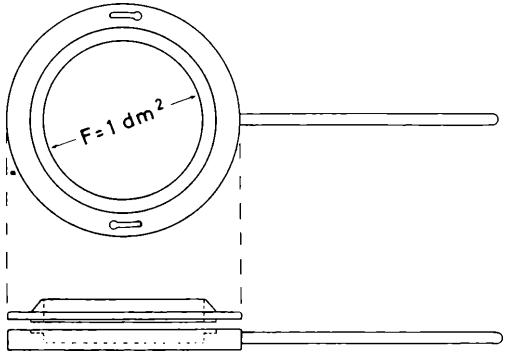


Abb. 3: Regentropfenmesser.

bestäubt und ist meßbereit. Die dem Regen ausgesetzte Fläche beträgt 1 dm^2. Als Filter hat sich Schleicher & Schüll, N. 589[1] bestens bewährt, das in der Qualität sehr gleichmäßig geliefert wird.

Die Herstellung der Tropfen zur Eichung war mit Glaskapillaren zu umständlich und ungenau. Wir haben deshalb Präzisionskapillaren aus Metall mit

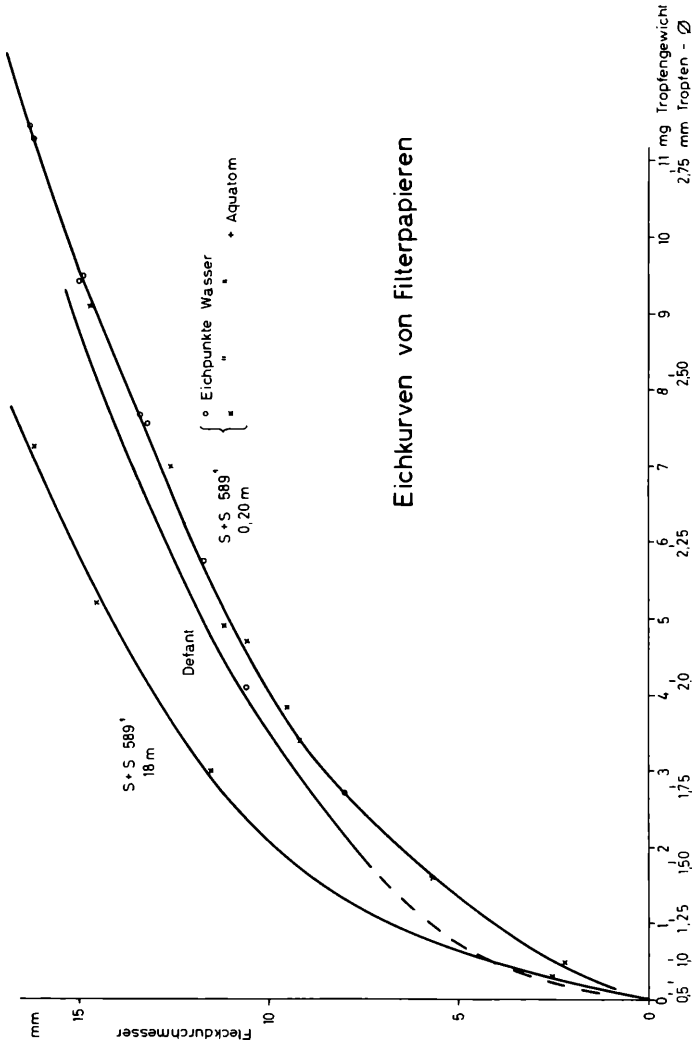


Abb. 2: Eichkurve von Filterpapieren.

genau senkrecht zur Längsachse angeschliffener Öffnung benutzt, die in eine Injektionsspritze eingesetzt wurden. TRAPPENBERG (19) konnte zeigen, daß sich die Versuche unmittelbar an die Ergebnisse von KOHLRAUSCH (20), HARKINS und BROWN (21) anschließen und die Gewichte der erzeugten Tropfen direkt proportional dem Außendurchmesser der Kapillaren sind (Abb. 4). Über einem Außendurchmesser größer 0,8 mm tritt eine Verformung der Tropfen

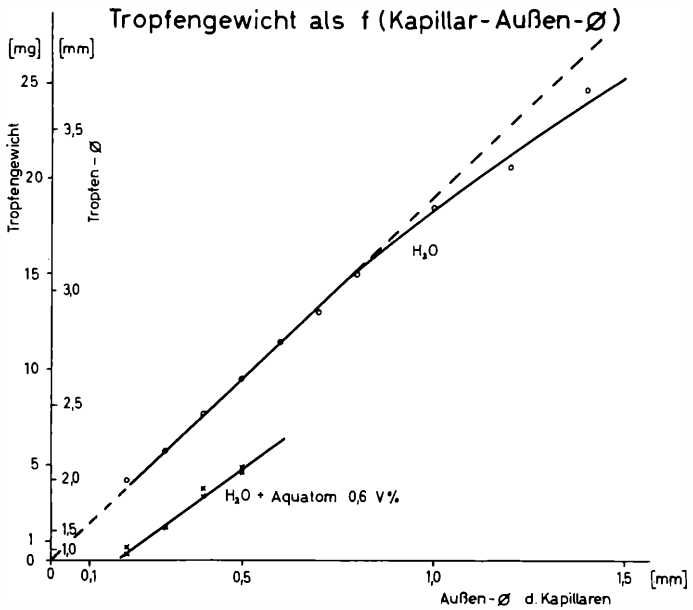


Abb. 4: Tropfengewicht als Funktion des Außendurchmessers der Kapillaren.

ein und die allgemeine Beziehung ist nicht mehr gültig. Technisch hat die Methode der Metallkapillaren den Nachteil, daß mit Durchmessern kleiner 0,2 mm schwer zu arbeiten ist. Wir haben deshalb in Anlehnung an die Arbeiten von KOHLRAUSCH (20) den zweiten, die Tropfengröße beeinflussenden Faktor, die Oberflächenspannung des Wassers variiert. Ein Zusatz von 0,6% Aquatom zum Wasser brachte die gewünschten kleinen Tropfen, ohne daß sich auf dem Filter Änderungen in der Ausbreitung ergeben. Damit konnte die Eichung auf das Gebiet der kleinen Tropfen ausgedehnt (Tab. 1) und im ganzen Bereich exakt gezeichnet werden.

Aus der Eichkurve kann nun unmittelbar aus dem Fleckdurchmesser die zugehörigen Tropfengewichte oder -durchmesser bestimmt werden. Wir sind dabei ähnlich wie LENARD vorgegangen und eine Unterteilung in Gruppen von 0—0,5, 0,50—0,75, 0,76—1,0 mm usw. vorgenommen; die Maße wurden auf

T a b. 1. Kleinste Tropfen zur Eichung nach DEFANT und TRAPPENBERG

	Defant	*Trappenberg*
Tropfengewicht	1,63	0,30 mg
Tropfendurchmesser	1,40	0,39 mm
Fleckdurchmesser	6,6	2,2 mm

Glasmaßstäbe übertragen, die auf die Filter aufgelegt werden und unmittelbar die Tropfendurchmesser ergeben. Schätzungsfehler bleiben damit klein und die psychologische Bevorzugung bestimmter Zahlengruppen unterbleibt.

Solange die Filter 10 und mehr Sekunden dem Regen ausgesetzt werden können, ist die Niederschlagsmenge nach der Filtermethode und nach dem Regenmesser praktisch gleich groß. Sie nimmt bei kürzeren „Belichtungszeiten" in intensiven Regen mit großen Tropfen rasch ab. Trotzdem zeigt der Vergleich mit dem registrierenden Regenmesser eine hinreichende Übereinstimmung der Ergebnisse.

2. Ergebnisse

2.1 Zahl der Regentage und Einzelregen

Insgesamt wurden in den fünf Jahren 1950—1954 1626 Einzelregen untersucht, die in 557 Tagen mit insgesamt 95 540 Regenminuten gefallen waren. Das Fehlen der Wintermonate stellt dabei keine wesentliche Einschränkung dar, da Beregnung nur in den Sommermonaten in Frage kommt und somit die Unterlagen für den Vergleich genügen. Im Mittel über die Sommermonate sind je Jahr 110 Regentage mit etwa drei Einzelregen je Tag beobachtet worden. Tatsächlich streut die Zahl der Einzelregen je Tag viel stärker (Tab. 2) wie schon HELLMANN (6) feststellte, dessen Werte von Potsdam und Gießen (umgerechnet

Tab. 2. Zahl und % der Regentage mit n Einzelregen in Karlsruhe und in Potsdam in den Sommermonaten (15. 3. — 31. 10.) (5 Jahre)

n	Karlsruhe		Potsdam		Gießen
	N	%	N	%	%
1	162	29,1	216	35,4	26,8
2	122	21,9	150	24,6	20,9
3	90	16,2	95	15,6	13,8
4	76	13,6	57	9,4	11,4
5	39	7,0	45	7,3	9,2
6	25	4,5	20	3,3	6,0
7	16	2,9	13	2,1	4,5
8	13	2,3	8	1,4	2,5
9	5	0,9	3	0,4	2,4
10	4	0,7	2	0,3	0,6
11—14	5	0,9	1	0,2	2,0
	557	100,0	610	100,0	100,0

für die Sommermonate) wir für den Vergleich zwischen Nord- und Süddeutschland herangezogen haben. In Karlsruhe beträgt die Zahl der Tage mit einem Einzelregen 29,1%, die mit 2, 3 und 4 Einzelregen zusammen 51,7% aller Fälle. Der Rest umfaßt die Tage mit fünf und mehr Einzelregen. In Potsdam sind die entsprechenden Zahlen 35,4% und 49,6%, für Gießen 26,8 und 46,1%. Die Zusamenstellung zeigt, daß unter normalen Bedingungen der Gesamtniederschlag eines Tages sich auf mehrere Einzelregen verteilt und daß hier offensichtlich örtliche Bedingungen eine wesentliche Rolle spielen. Weiter weichen unsere Ergebnisse aus fünf Jahren nur wenig von den langjährigen Reihen Potsdams und Gießens ab. Die Unterschiede sind durch die verschiedene Lage im Binnenland und in der norddeutschen Tiefebene bedingt.

2.2 Andauer und Intensität der Einzelregen

Die Auszählung der Einzelregen nach ihrer Dauer (Tab. 3) ergibt ein ähnliches Bild wie bei HELLMANN, wobei der Unterschied zwischen Nord- und Süddeutschland wieder zum Ausdruck kommt. In Süddeutschland beträgt die Zahl aller Regen bis zu 60 Minuten Dauer 74,6%, in Norddeutschland 69,5%; ent-

Tab. 3. Zahl und % der Einzelregen in Potsdam und Karlsruhe geordnet nach ihrer Dauer (15. 3. — 31. 10.) (5 Jahre).

Dauer	Karlsruhe		Potsdam	
	N	%	N	%
0— 15 min	577	35,4	342	22,5
16— 30 „	341	21,0	388	25,6
31— 60 „	297	18,2	324	21,4
61—120 „	214	13,2	223	14,7
121—240 „	128	7,9	142	9,4
241—480 „	53	3,3	74	4,9
481—960 „	15	0,9	22	1,4
>960 „	1	0,1	3	0,2
	1626	100,0	1518	100,1

sprechend über zwei Stunden Dauer 12,2 und 15,9%. Darin zeigt sich wieder der Einfluß des binnenländischen Klimas, auf den schon DAMMANN (7) hingewiesen hat und die erneute Bestätigung der kurzzeitigen Regen mit dazwischenliegenden Unterbrechungen.

Neben der Andauer eines Regens ist für den Vergleich zwischen dem natürlichen und künstlichen Regen seine Intensität grundlegend. Wir haben deshalb unser Material nach Dauer und Intensität aufgegliedert (Tab. 4), wobei die Unterteilung der einzelnen Stufen sich aus der Auswertpraxis der Registrierstreifen ergibt, die Regen von 0,61 bis 1.20 und von 1,21 bis 3,00 umfassen mit

Tab. 4. Häufigkeit in % der Niederschläge nach Intensität i in mm/h und Dauer t (15. 3. — 31. 10.) (5 Jahre).

Dauer t	Zahl d. Fälle	Häufigkeit in % in den Stufen						$\bar{t}$	$\bar{i}$	$\bar{I}$
		0 bis 0,6	0,61 bis 1,20	1,21 bis 3,00	3,01 bis 6,00	6,01 bis 12,00	> 12,00	min	mm/h	mm
0— 15 min	577	14,4	32,7	28,1	13,7	7,1	4,0	9,0	3,18	0,48
16— 30 „	341	29,3	25,8	24,4	12,9	5,3	2,3	24,3	2,34	0,94
31— 60 „	297	29,0	28,6	26,9	9,4	3,7	2,4	45,9	1,92	1,47
61—120 „	214	27,6	24,3	32,7	11,2	4,2	—	87,5	1,74	2,54
121—240 „	128	29,7	27,3	35,9	6,3	0,8	—	172,3	1,38	3,96
241—480 „	53	18,9	35,8	39,6	5,7	—	—	319,7	1,32	7,03
481—960 „	15	26,7	20,0	53,3	—	—	—	627,7	1,35	14,1
>960 „	1	—	100,0	—	—	—	—	1260,0	0,90	18,9
Zahl der Fälle	1626	380	472	470	186	80	38			
%	100	23,4	29,1	28,9	11,4	4,9	2,3			

je 29,1 bzw. 28,9% den Großteil aller Regen. Demgegenüber sind die intensitätsschwächeren und intensitätsstärkeren Regen etwa mit gleichem Prozentsatz vertreten. In Tab. 4 ist gleichzeitig die mittlere Dauer der einzelnen Regen angegeben, wobei die Verteilung zeigt, daß die Andauer keine ausgeprägte Häufung aufweist.

Zweckmäßig wird für einen Vergleich mit den künstlichen Regen eine Zusammenfassung in drei Gruppen vorgenommen:

Niederschlag kleiner	3 mm/h	schwacher Regen
„	3—12 „	mittlerer „
„ größer	12 „	Starkregen

Die erste Gruppe umfaßt mit 81,4% mehr als 4/5 aller Regen, die zweite Gruppe 16,3 und die letzte 2,3%. Damit ist eindeutig gezeigt, daß die Intensität schwacher Regen den Großteil aller Einzelregen ausmacht, wobei Zeiten bis zu 30 Stunden vorkommen. Die häufigste Zeit liegt zwischen 2 und 4 Stunden. Die mittleren Regen dauern maximal 6 Stunden mit zwei Häufigkeitsmaxima zwischen 1 bis 15 und 61 bis 120 Minuten, die schweren Regen maximal 60 Minuten und bevorzugen die Zeiten von 1 bis 15 Minuten.

Die mittlere berechnete Intensität $\overline{I}$ jedes Einzelregens ist eine e-Funktion der Dauer des Regens (Abb. 5). Daß die einzelnen Messungen z. T. erheblich streuen, ist selbstverständlich, wenn auch der am längsten dauernde Regen von

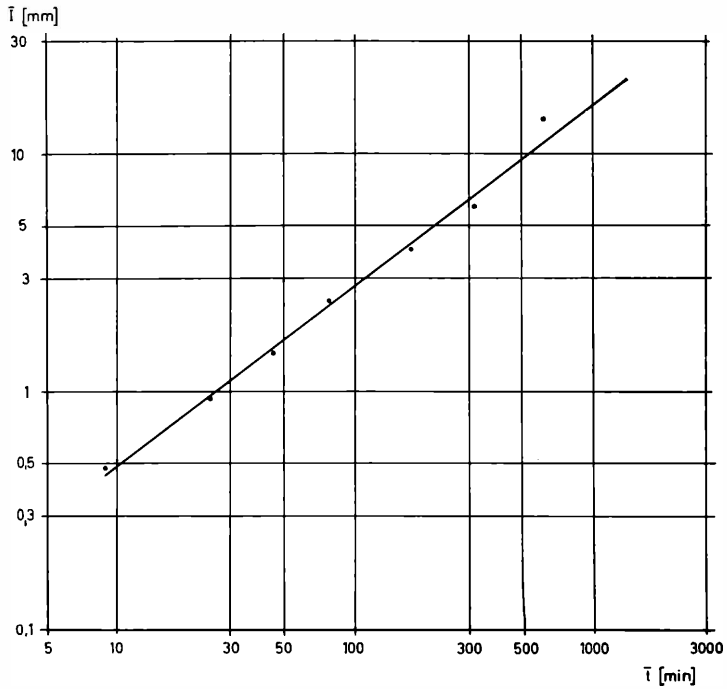


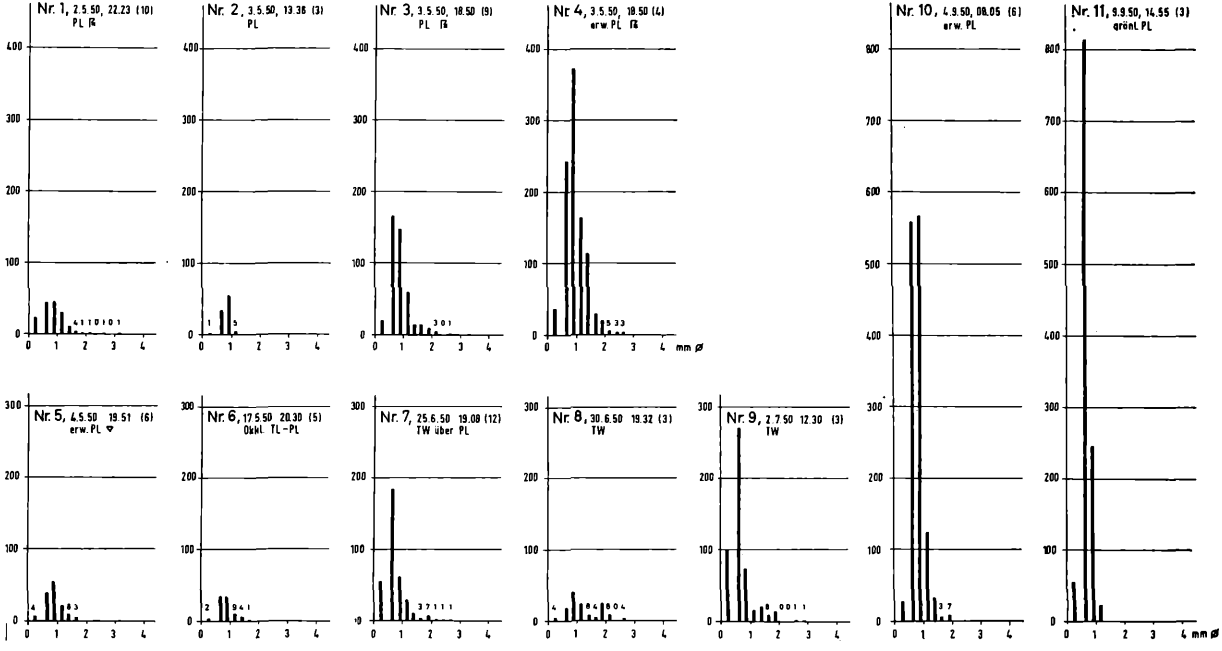
Abb. 5: Mittlere Intensität $\overline{I}$ in Abhängigkeit von der Regendauer.

über 16 Stunden sehr gut in die Kurve paßt. Aus der mittleren Dauer $\overline{t}$ und der mittleren Intensität $\overline{I}$ (Tab. 4) läßt sich die mittlere stündliche Intensität $\overline{i}$ der Niederschläge berechnen, die eine Abnahme von 3,2 auf 0,9 mm/h zeigen und ihren Sinn in der danebenstehenden mittleren Zeit $\overline{t}$ finden.

2. 3 Tropfengröße in Regen

Unser Material umfaßt insgesamt 331 Einzelmessungen in 61 Regen mit Intensitäten von 0,04 mm/h bei Nieselregen, bis 76,5 mm/h bei Starkregen.

Als Beispiele für die mittlere Tropfenverteilung dienen die Abb. 6 und 7, bei denen über dem Tropfendurchmesser die Zahl der je dm^2 und Minute gefallenen Tropfen aufgetragen ist. Neben dem Datum und der Zeit ist in


Nr. 1, 2.5.50, 22.23 (10)
PL
Nr. 2, 3.5.50, 13.36 (3)
PL
Nr. 3, 3.5.50, 18.50 (9)
PL
Nr. 4, 3.5.50, 19.50 (4)
erw. PL
Nr. 5, 4.5.50 19.51 (6)
erw. PL
Nr. 6, 17.5.50 20.30 (5)
Okkl. TL-PL
Nr. 7, 25.6.50 19.08 (12)
TW über PL
Nr. 8, 30.6.50 19.32 (3)
TW
Nr. 9, 2.7.50 12.30 (3)
TW
Nr. 10, 4.9.50, 08.05 (6)
erw. PL
Nr. 11, 9.9.50, 14.55 (3)
grünl. PL
mm ø

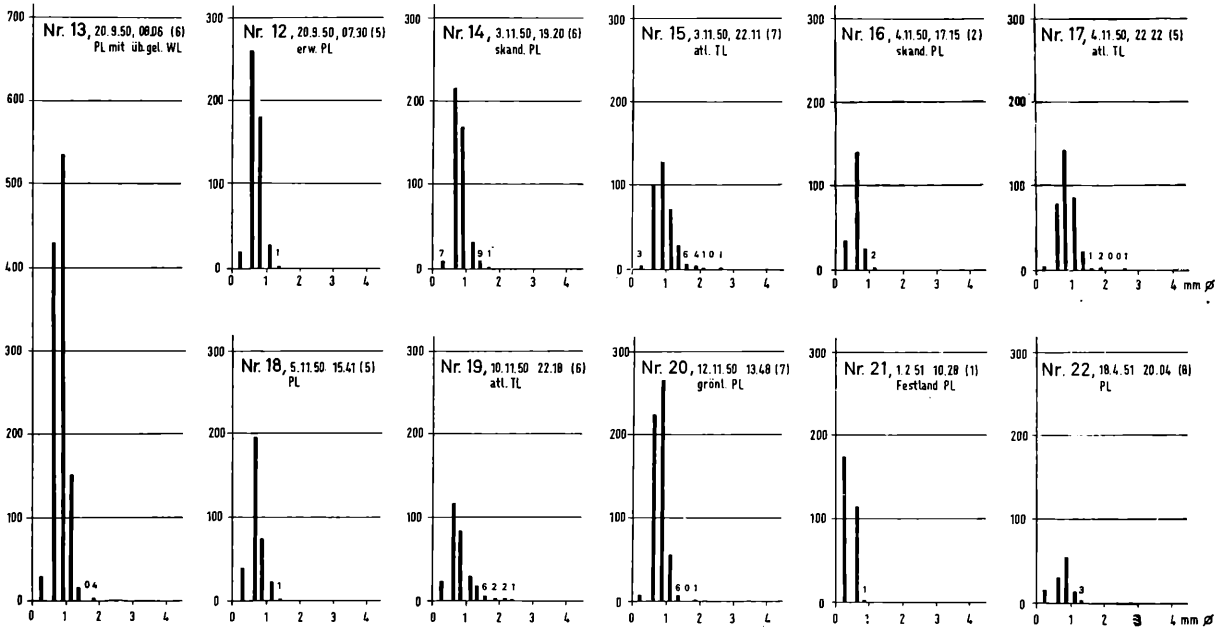


Abb. 6 und 7: Anzahl und Größe der Tropfen bei verschiedenen Regen.

Klammer die Zahl der Einzelmessungen angegeben und darunter die Luftmasse, in der der Regen fiel und seine Form (⚡ = Gewitter; ▽ = Schauer).

Die Diagramme Nr. 3 und 4 gehören zu einem Gewitterregen Anfang Mai, bei dem das Spektrum recht breit ist. Zu Beginn des Regens fallen in der Tropfengröße 0,50 bis 0,74 mm ⌀ 168 Tropfen, bei größerem Durchmesser nimmt die Zahl langsam ab. Wenige Minuten später (Nr. 4) steigt die Tropfenzahl zwischen 0,75 und 0,99 mm ⌀ auf über 370 an und sinkt dann erst langsam ab.

Am 9. 9. 50 (Nr. 11) fällt die höchste Tropfenzahl, die wir je vermessen haben, mit 810 Tropfen zwischen 0,5 und 0,74 mm. Das Spektrum ist dabei ausgesprochen schmal, Tropfen größer 1,25 mm fehlen restlos.

Zeigten Nr. 3 und 4 den Wechsel innerhalb weniger Minuten, so zeigt Nr. 12 und 13 die Änderung innerhalb 30 Minuten. Bei Nr. 12 haben wir ein schmales Spektrum mit Tropfen hauptsächlich zwischen 0,5 und 0,75 mm. 36 Minuten später (Nr. 13) steigt die Tropfenzahl auf 530 an und das Maximum verschiebt sich auf 0,75 bis 0,99.

Am 3. 11. 50 konnte die Änderung der Tropfengröße mit der Änderung der Luftmasse verfolgt werden. Um 19.20 Uhr (Nr. 14) wird in polaren Luftmassen ein relativ schmales Spektrum vermessen, das sein Maximum zwischen 0,5 und 0,74 mit 218 Tropfen hat. Knapp drei Stunden später wird unser Gebiet von atlantischer Tropenluft erreicht, in der das Spektrum wesentlich breiter wird und sein Maximum mit 152 Tropfen zwischen 0,75 und 0,99 erreicht.

Um den Vergleich mit der künstlichen Beregnung durchführen zu können, wurden Beispiele der Tropfenverteilung bei Land-, Mittel- und Gewitterregen ausgesucht. Für einen schwachen Landregen zeigt Abb. 8 drei Filter mit Tropfen bis 1,5 mm ⌀ und Intensitäten von 0,48, 0,32 und 0,27 mm/h. Ein mittlerer Regen (Abb. 9) hat wesentlich mehr und auch größere Tropfen und erreicht Intensitäten von 2,6, 3,9 und 5,5 mm/h. Bei ausgesprochen schweren Regen überwiegen die großen Tropfen, die „Belichtungszeiten" von 1 oder 2 Sekunden erfordern und Intensitäten von 11,7, 36,7 und 17,0 mm/h ergeben (Abb. 10).

Die Auswertung unserer Messungen (Tab. 5) zeigt, daß sich das Tropfenspektrum bis einschließlich 1,25 mm ⌀ auf Schwachregen bis 3,0 mm/h beschränkt und diese Gruppe 39 % aller Regen umfaßt. Regen mit einem Tropfenspektrum bis 3 mm ⌀ treten in allen Intensiäten auf und umfassen 57 %. Überschreiten

Tab. 5. Tropfengröße und Regenintensität.

Tropfen-durchmesser	Intensität in mm/h						Σ	%
	0—0,6	0,61—1,2	1,21—3,0	3,01—6,0	6,01—12,0	>12,0		
0—1,25	80	28	22	—	—	—	130	39
1,26—3,0	37	44	59	27	13	8	188	57
>3,0	—	1	2	—	2	8	13	4
Σ	117	73	83	27	15	16	331	
	273 82 %			42 13 %		16 5 %		100 %

die großen Tropfen 3,0 mm ⌀, dann treten die Regen mit 4 % sehr selten auf und stellen gleichzeitig den Hauptanteil der Starkregen mit einer Intensität über 12 mm/h. Die Allgemeingültigkeit dieser Zahlen ergibt der Vergleich mit Tab. 4, deren wesentlich größeres Material die gleiche prozentuale Verteilung der Gruppen zeigt.

Wie wir erwähnten, sind erhebliche Unterschiede zwischen der Auswertung der Registrierregenmesser und der Filtermethode zu erwarten. Der Regenmesser wird kleine Niederschläge, die Filtermethode große mit zu geringen Werten angeben. Tatsächlich schwanken die Ergebnisse nicht allzu sehr (Tab. 6). 50 %

Tab. 6. Vergleich der Regenintensitäten in mm/h gemessen mit einem Registrier-Regenmesser und der Filterpapiermethode. (Zahl der Fälle).

Filter	Regenmesser						Σ
	0—0,6	0,61—1,2	1,21—3,0	3,01—6,0	6,01—12,0	>12,0	
0— 0,6	63	24	8	5	3		103
0,61— 1,2	8	32	16	4	1	1	62
1,21— 3,0	4	14	22	18	11	2	71
3,01— 6,0			3	12	11	1	27
6,01—12,0			1	5	7	2	15
>12,0			2	1	3	10	16
	75	70	52	45	36	16	294

aller Fälle zeigen keine wesentliche Abweichung, 25 % eine solche um höchstens eine Auswerteinheit und nur 15 % mehr als eine Auswerteinheit. Eine Unterteilung nach der Richtung der Abweichung ergibt, daß in 28 % die Filter, in 72 % der Regenmesser die größeren Werte anzeigt. Dieses Ergebnis ist nach dem vorhergegangenen selbstverständlich.

Künstliche Regen

3. Material

Die von uns vermessenen Regner wurden im Rahmen von Firmenaufträgen zur Verfügung gestellt und umfassen die heute handelsüblichen Typen.

4. Methode

Die Messung der Niederschlagshöhe der Regner erfolgt in einem engen Netz von Regenmessern, in dem — je nach der Wurfweite in Abständen von 2,5 bzw. 5,0 m je ein Regenmesser steht. Da je nach Regner bis zu 200 Regenmesser zur Bestimmung des Niederschlages verwendet werden, kann damit leicht die flächenmäßige Verteilung des Niederschlags in Form von Linien gleicher Niederschlagsintensität gezeichnet und damit die Regner eindeutig gekennzeichnet werden. Parallel mit der Messung der Menge des Niederschlags wurden nach der Filtermethode die Tropfengröße und ihre Zahl je nach Bedarf in verschiedenen Abständen vom Regner gemessen. Als Variable der Messung gehen die Düsengröße und der Wasserdruck ein. Die Vermessung erfolgt bei möglichst windschwachem Wetter.

5. **Ergebnisse**

Aus der Vielzahl der Messungen wollen wir nur charakteristische Beispiele herausgreifen und ihre Niederschlagsverteilung und Tropfengröße darstellen. Dabei sollen die technischen Werte wie die nutzbare und maximale Wurfweite und ähnliche Daten nicht berücksichtigt werden.

Regner R 1

Die Niederschlagsverteilung dieses Regners (Abb. 11) zeigt ein stark beregnetes Innenfeld mit einem langsamen Abfall der Niederschlagsintensität nach außen. Die Auflösung des Strahls in kleinere Tropfen (Abb. 12) ist ausgesprochen günstig, im inneren Bereich sind die Tropfen relativ klein und nehmen nach

außen auf maximal 2 mm ⌀ zu. In Tab. 7 sind die ausgezählten, auf die Zeiteinheit reduzierten Tropfengrößen in verschiedenen Entfernungen vom Regner angegeben, die dasselbe Bild zeigen.

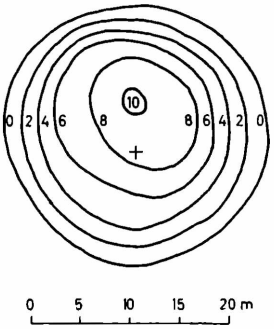


Abb. 11: Linien gleicher Niederschlagshöhe in mm/h um den Regner R 1 (+).

Tab. 7. Tropfenverteilung bei den Regnern R 1 bis R 5 und in natürlichen Regen; in Tropfen je min · dm².

Regner Nr.	Entf. m	Intens. mm/h	Tropfendurchmesser in mm												
			0-0,5	0,5-0,75	0,75-1,0	1,0-1,25	1,25-1,5	1,5-1,75	1,75-2,0	2,0-2,25	2,25-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5
R 1	2,5	7,2	10	4680	1530										
	5,0	5,7	—	141	1090	536	71	11							
	10,0	1,2	28	93	72	134	26	5	3						
R 2	5	4,5	1710	950	980	194	19	10							
	10	3,4	586	440	230	170	60	48	24						
	15	4,9	533	440	137	76	61	46	15	15					
	20	2,2	270	280	106	12	8	4	20	4	16	4			
R 3	5	5,2	8070	3550	273										
	10	5,4	1390	1530	1530	93									
	15	1,8	880	273	174	119	41	9							
R 4	5	1,6	5960	466											
	10	3.2	1058	449	462	222	37	12							
	15	5,6	564	457	304	259	15	30	—	—	15	30			
	20	6,7	3858	1950	1568	315									
	25	6,3	447	325	184	—	—	9	9	—	—	—	9	—	18
	30	2,0	326	206	141	33	33	22	—	—	—	11			
R 5	5	2,2	1840	1115	375	16									
	10	2,0	190	310	252	79	38	1	15						
	12,5	1,0	270	131	39	81	36	1							
Landregen		0,2	17	50	43	12	3	1							
		0,8	23	117	84	31	19	6	2	2	1				
		1,1	5	224	266	55	6	—	1						
Gewitterregen		1,9	55	183	62	29	10	3	7	1	1	1			
		5,6	188	391	410	185	62	21	10	8	5	7	9	1	1
		26,5	530	656	522	317	300	172	102	97	60	23	5	5	

Regner R 2

Das Niederschlagsbild ist typisch für einen Regner mit einer mittleren Wurfweite zwischen 15 und 20 m und zeigt ein schwach beregnetes Innen-

und ein stark beregnetes Außenfeld (Abb. 13). Die Unsymmetrie rührt von der ungleichen Drehung des Regners her. Die Zunahme der Intensität nach außen macht sich auch im Tropfenbild deutlich bemerkbar (Abb. 14 und Tab. 7). Im Außenbereich überwiegen einzelne große Tropfen, die höhere Niederschlagsmengen ergeben.

Regner R 3

Bei diesem Regnertyp wurde der Versuch gemacht, den Strahl weitgehend aufzulösen und damit kleine Tropfen zu erzeugen. Der Versuch ist in vollem Umfang gelungen (Tab. 7 und Abb. 15). Die größeren Tropfen haben nur 1,75 mm ⌀. Allerdings wurde dieser Vorteil auf Kosten der Niederschlagsverteilung erreicht (Abb. 16), die von innen nach außen sehr gleichmäßig abnimmt.

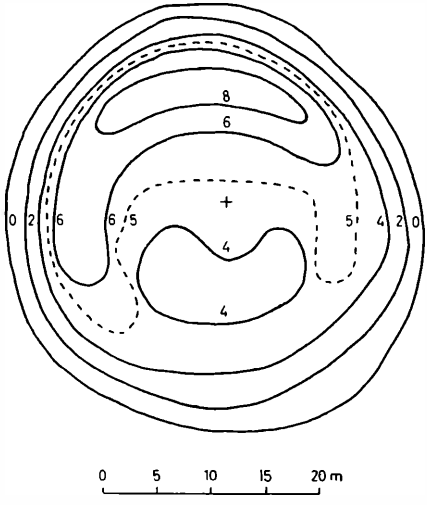


Abb. 13:

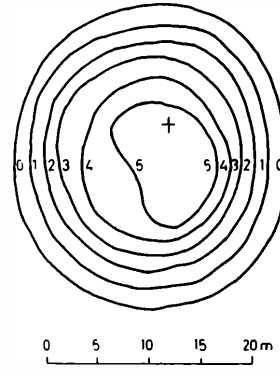


Abb. 16:

Abb. 13: Linien gleicher Niederschlagshöhe in mm/h um den Regner R 2 (+). Unsymmetrische Verteilung.

Abb. 16: Regner R 3 mit außergewöhnlich feiner Auflösung des Strahls. Ein überregnetes Innenfeld.

Regner R 4

Dieser Regner ist ein typischer Vertreter einer Wurfweite um 30 m, wobei die Regenmenge relativ niedrig bleibt (Abb. 17). Typisch ist der konzentrische Ring starken Niederschlags in etwa 20 m Entfernung vom Regner. Inner- und außerhalb liegen Zonen mit wesentlich schwächerer Beregnung. In den Außenbezirken kommen nur wenige Tropfen vor, die alle größer 2,5 mm ⌀ sind (Abb. 18 und Tab. 7).

Regner R 5

Als letzten Typ betrachten wir einen Langsamregner mit außergewöhnlich geringer Niederschlagsintensität. Die Niederschlagsverteilung (Abb. 19) zeigt ein sehr kleines etwas stärker beregnetes Feld in der Mitte, sie bleibt dann kon-

stant und fällt erst in den äußeren 5 Metern ab. Die Tropfenverteilung (Abb. 20) zeigt im inneren Bereich kleine, nach außen zunehmende Tropfen, die aber nie 2,0 mm ⌀ überschreiten. Dieser Regner stellt den nahezu idealen Kompromiß zwischen Tropfenauflösung und Wurfweite dar.

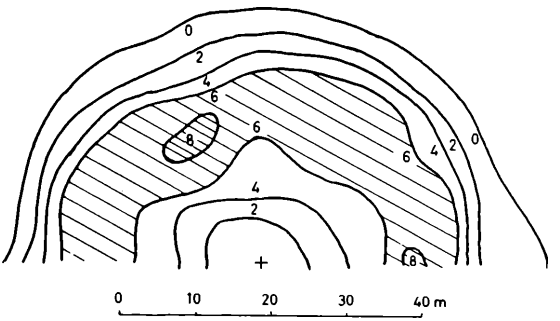


Abb. 17:

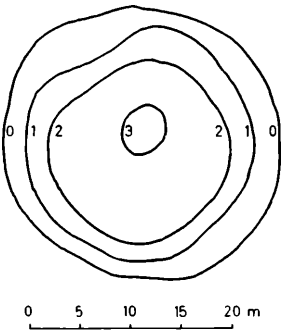


Abb. 19:

Abb. 17: Linien gleicher Niederschlagshöhe in mm/h um einen Regner (R 4) mit über 30 m Wurfweite. In etwa 20 m eine Zone mit hohem Niederschlag.

Abb. 19: Linien gleicher Niederschlagshöhe in mm/h um einen Langsamregner (R 5) mit einem kleinen stark beregneten Feld in der Mitte.

6. Zusammenfassung

In der Tab. 7 haben wir zusätzlich zu der Tropfenverteilung der Regner die Tropfenverteilung angegeben, die sich bei Land- und Gewitterregen verschiedener Intensität einstellt. Dabei zeigt sich, daß alle hier angeführten und darüber hinaus vermessenen Regner im inneren Bereich bis zu 5 m eine Zehnerpotenz zu viel kleine Tropfen (bis 1,25 mm ⌀) haben. Die Regner R 1 und R 5 kommen im Bereich um 10 m einer Verteilung eines normalen Landregens gleich. Die Tropfenverteilung der Regner mit den großen Wurfweiten R 2 und R 4 entspricht in den Außenbezirken Schauer- und Gewitterregen. Es bleiben damit noch wesentliche Wünsche an die Industrie übrig.

Auf der anderen Seite haben aber neuere Versuche gezeigt, daß durchaus nicht immer der Landregen die idealen Bedingungen darstellt, nach denen ein Regner ausgewählt werden muß. Unsere Untersuchungen in grobkörnigem Porphyrboden haben mit großtropfigen Regnern bessere Ergebnisse gezeitigt als die feintropfigen Kleinregner, während im lehmigen, schweren Boden die Kleinregner allgemein überlegen waren.

Schrifttum

[1] SCHNEIDER-CARIUS, K.: Die Niederschlagswahrscheinlichkeit als kennzeichnende Größe einer Darstellung der Physiognomie der Niederschläge. Z. Meteorol. **9**, 161,1955.

[2] SCHNEIDER-CARIUS K. u. J. HUTTARY: Darstellung täglicher Niederschlagswahrscheinlichkeiten am Beispiel von Bremen, Berlin, Bamberg, Karlsruhe und München. Ber. Deutsch. Wetterdienst US Zone, **6**, 38/156, 1952.

[3] HELLMANN, G.: Über den Charakter der Sommerregen in Norddeutschland. Sitz. Ber. Preuß. Akad. Wiss., 1912, 282-303.
[4] HELLMANN, G.: Häufigkeit und Dauer der Niederschläge. Tät. Ber. Preuß. Meteorol. Inst. 1915, (6).
[5] HELLMANN, G.: Ergebnisse zehnjähriger Registrierungen des Regenfalls in Norddeutschland. Veröffentl. Preuß. Meteorol. Inst., Abh. **4,** Nr. 6, 1912.
[6] HELLMANN, G.: Physiognomie des Regens in der gemäßigten und in der Tropenzone. Sitz. Ber. Preuß. Akad. Wiss. 1923, 299—316.
[7] DAMMANN, W.: Zur Physiognomie der Niederschläge in Nordwestdeutschland. Gött. Geogr. Abh. Heft 1, 1948.
[8] REINHOLD, F.: Einheitliche Richtlinien zur Auswertung von Schreibregenmesseraufzeichnungen. Gesundheits-Ing. **60,** 22, 40 u. 55, 1937.
[9] WIESNER, I.: Beiträge zur Kenntnis des tropischen Regens. Wiener Sitz. Ber., **104,** 1397, 1895.
[10] HAEUSSER, J.: Kurze starke Regenfälle in Bayern. Abh. Bay. Landesstelle f. Gewässerkunde, 1919 u. Erg. Bde.
[11] ROHRER, M.: Über Regentropfen und Schneeflocken. Sitz.-Ber., **35,** 211-229, 1859.
[12] LENARD, P.: Über Regen. Meteorol. Zeitschr., **21,** 249-262, 1904.
[13] DEFANT, A.: Über Gesetzmäßigkeiten in der Verteilung der verschiedenen Tropfengrößen bei Regenfällen. . . Wiener Sitz.-Ber. Math. Nat. Kl. **114,** 585, 1905.
[14] BECKER, A.: Zur Messung der Tropfengröße bei Regenfällen nach der Absorptionsmethode. Meteorol. Zt., **24,** 247-261, 1907.
[15] KOHLER, H. Über Tropfengruppen und einige Bemerkungen zur Genauigkeit der Tropfenmessungen . . . Meteorol. Zt., **42,** 463-467, 1925.
[16] NIEDERDORFER, E.: Messungen der Größe der Regentropfen. Meteorol. Zt., **49,** 1-14, 1932.
[17] BERGERON, T.: On the physics of cloud and precipitation. Mémoirs Ass. Météorologie, MGGI, Lissabonne, 1933.
[18] KOPP, W.: Der Regenbildschreiber. Meteorol. Rundsch., **7,** 102-103 1954.
[19] TRAPPENBERG, R.: Untersuchungen über die Abhängigkeit des Tropfendurchmessers vom Rohrdurchmesser einer Kapillare und Eichung eines Filterpapiers. Studienarbeit am Meteorol. Inst. TH Karlsruhe, 1952.
[20] REINHOLD, F.: Praktische Physik I, 1950.
[21] HARKINS and BROWN: The determination of surface tension and the weight of falling drops. I. Amer. Chem. Soc., **41,** 499, 1919.

Erklärungen zu den Abbildungen auf Tafel 1 und 2.

Abb. 8: Landregen; linkes Filter 10, mittleres und rechtes je 30 Sekunden „belichtet". Von „Belichtung" zu „Belichtung" je 8 Minuten. Filter-Durchmesser 12,5 cm.

Abb. 9: Mittlerer Regen; „Belichtung" je Filter 5 Sekunden. Zwischenzeit je 2 Minuten.

Abb. 10: Linkes Filter 2 Sekunden, mittleres und rechtes je 1 Sekunde „belichtet". Zwischen links und Mitte 1, zwischen Mitte und rechts 2 Minuten.

Abb. 12: Regner R 1: von links nach rechts: Tropfen in 2,5 m, 1,5 Sekunden „belichtet"; 5 m und 1 Sekunde; 10 m und 1 Sekunde.

Abb. 14: Regner R 2: von links nach rechts: Tropfen in 5 m, 1,5 Sekunden; 10 m, 0,5 Sekunden und 20 m, 0,25 Sekunden.

Abb. 15: Regner R 3: von links nach rechts: Tropfen in 5 m, 1 Sekunde; 10 m, 1 Sekunde und 15 m, 0,5 Sekunden.

Abb. 18: Regner R 4; von links nach rechts: Tropfen in 10 m, 1 Sekunde, 20 m, 0,25 und 30 m, 0,1 Sekunde.

Abb. 20: Regner R 5; von links nach rechts: Tropfen in 5 m, 0,5 Sekunden; 10 m, 1,0 Sekunden; 12 m, 0,5 Sekunden.

Tafel I (DIEM, Regentropfen)

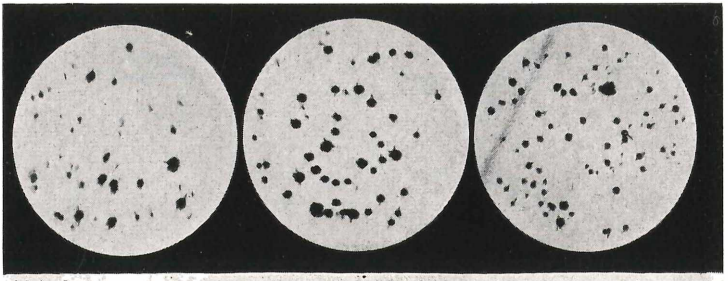


Abb. 8

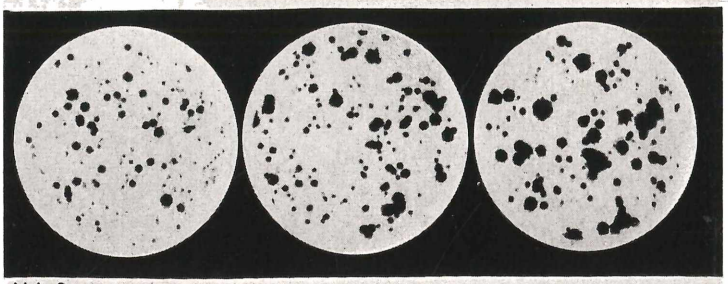


Abb. 9

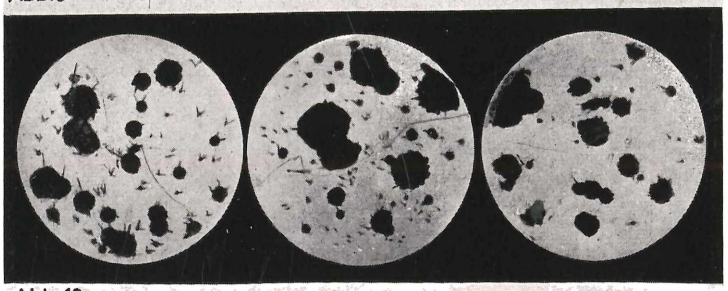


Abb. 10

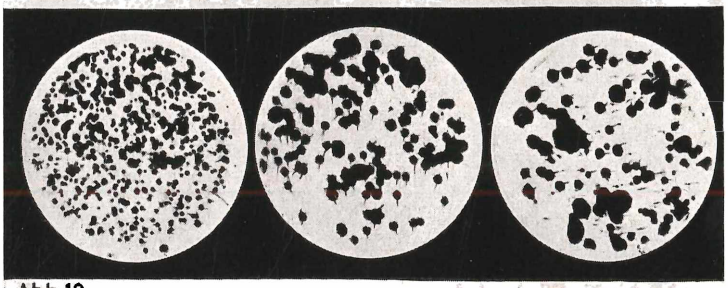


Abb. 12

Tafel II (DIEM, Regentropfen)

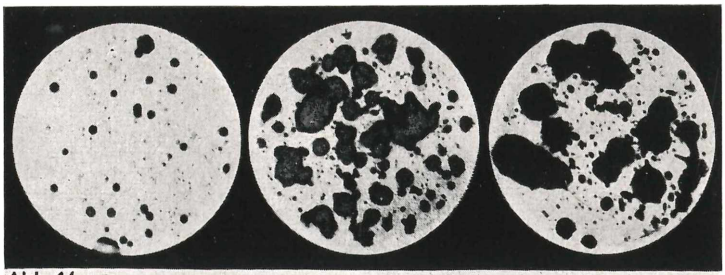


Abb. 14

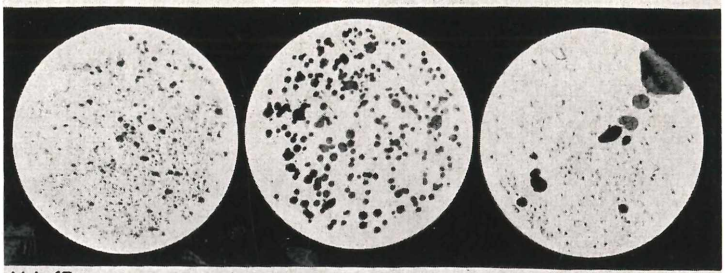


Abb. 15

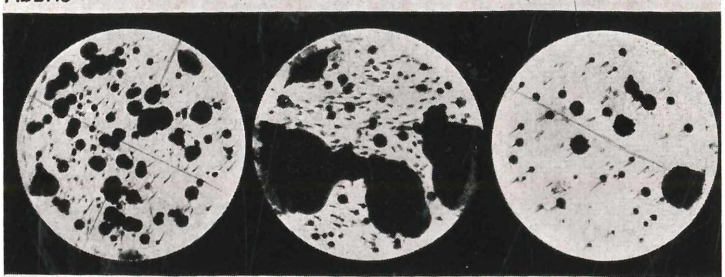


Abb. 18

Abb. 20

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland

Jahr/Year: 1956

Band/Volume: 15

Autor(en)/Author(s): Diem Max

Artikel/Article: Messungen der Größe der Regentropfen in natürlichen Regen und bei künstlicher Beregnung 75-90