

Mitteilungen
des
Deutschen Wetterdienstes

Nr. 26
(Band 4)

DK 551.577.37

Stark- und Dauerregen in Nordbayern

von

Ernst Trautmann

(mit 1 Stationsskizze und 9 Abbildungen im Text)

Offenbach a. M. 1961

Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	3
Abstract	3
1. Einleitung	4
2. Beobachtungsmaterial	5
2.1. Lage der Stationen	5
2.2. Der Beobachtungszeitraum und seine Stellung zur Normalperiode 1891 — 1930	8,
3. Starkregen	9
3.1. Häufigkeit der Andauer und der Regenmengen	9
3.2. Häufigkeit der Intensitäten	10
3.3. Die maximalen Intensitäten	14
3.4. Tageszeitliche Verteilung der Starkregen	17
4. Dauerregen	17
4.1. Häufigkeit der Intensität und der Andauer	17
4.2. Beziehung zwischen Intensität und Andauer	19
5. Vergleiche mit den Ergebnissen anderer Arbeiten	23
Literatur	26



Anschrift des Verfassers:

Dr. E. Trautmann, Fürth, Jakob-Henle-Straße 28

Zusammenfassung

Die Registrierungen der Regenschreiber von 14 Stationen in Mittelfranken und der Oberpfalz während der Jahre 1949 bis 1958 werden nach Stark- und Dauerregen untersucht. Bei den Starkregen ergibt die Methode von Haeuser und Reinhold jährliche Häufigkeiten ihrer Intensitäten für Andauerzeiten von 5 bis 240 Minuten. Es wird eine Formel für die größten Intensitäten in Analogie zur Wussow'schen Definitionsgleichung der Starkregen entwickelt. Die Dauerregen unterliegen hinsichtlich ihrer Intensität und Andauer ebenfalls gewissen Gesetzmäßigkeiten, die durch Gleichungen bestimmt werden. Zusammenhänge der Dauerregen von mehr als 24 Stunden Andauer mit den Wetterlagen werden aufgezeigt. Schließlich werden noch Vergleiche mit den Arbeiten anderer Autoren angestellt.

Abstract

The precipitation records of fourteen stations in Central and Upper Franconia are examined for the period 1949 through 1958 according to heavy and lasting rainfalls. Concerning the heavy rainfalls, the method by Haeuser and Reinhold shows annual frequencies of their intensities for durations between 5 and 240 minutes. Formed on the analogy of Wussow's defining equation for heavy rainfalls, a formula is developed for the highest intensities. The lasting rainfalls are likewise subject to certain laws as to their intensity and duration. The lawfulness is determined by means of equations. The relationship between lasting rainfalls in excess of 24 hours and the prevailing weather situation is demonstrated. Finally the present study is compared to some papers by other authors.

1. Einleitung

Die Fragen nach der Intensität und Andauer kurzer, starker Regenfälle wie auch langer Dauerregen nehmen einen immer größeren Raum in der praktischen Klimatologie ein. Dies ist hauptsächlich durch die zunehmende Hoch- und Tiefbautätigkeit, aber auch durch die vielen wasserwirtschaftlichen Planungen bedingt. Darüber hinaus ist die Kenntnis der Struktur dieser Regenfälle auch von erheblicher Bedeutung in der reinen Klimatologie.

In Bayern hat H a e u s e r (1) aufgrund eines reichen Beobachtungsmateriales der Jahre 1899 bis 1915, in dem auch die Regenschreiberaufzeichnungen von 57 bayerischen Meßstellen enthalten sind, die kurzen starken Regenfälle von 1 Minute bis 6 Stunden Dauer untersucht. W u s s o w (2) benutzte die Registrierungen von 46 Regenschreibern des Klimanetzes des Preußischen Meteorologischen Institutes aus den Jahren 1927 bis 1931 und bearbeitete die darin enthaltenen 517 Starkregen und 1477 Dauerregen nach ihren mittleren Intensitäten. Er war es auch, der in der langen Diskussion über die Begriffe dichte, sehr dichte, starke Regenfälle, Platzregen, Wolkenbrüche die grundlegende und heute in der Klimatologie gültige Definition der Starkregen einführte (3) mit der Mindestbedingung

$$h = \sqrt{5t - \left(\frac{t}{24}\right)^2}$$

wobei h die Regenmenge in mm und t die Regenzeit in Minuten bedeuten. Sie wurde von K n o c h (4) auf der Tagung der Klimatol. Kommission 1937 in Salzburg zu einer internationalen Regelung vorgeschlagen zugleich mit den weiteren Mindestbedingungen

$$\begin{aligned} \text{für Platzregen} & : h = 1,5 \sqrt{5t - \left(\frac{t}{24}\right)^2} \\ \text{starke Platzregen} & : h = 2,0 \sqrt{5t - \left(\frac{t}{24}\right)^2} \\ \text{und Wolkenbrüche} & : h = 3,0 \sqrt{5t - \left(\frac{t}{24}\right)^2} \quad \text{bei } t \geq 30 \text{ Minuten.} \end{aligned}$$

In der Technik hat R e i n h o l d (5) eine von diesen Mindestbedingungen etwas abweichende Formulierung vorgeschlagen, die er in der Abwasserfachgruppe der Deutschen Gesellschaft für Bauwesen so formulierte:

Ein Regen von der Dauer t heißt

$$\begin{aligned} \text{Schwachregen, wenn } i & < \frac{C}{(t+18)^{0,765}} \quad \text{für } C = 9,0 \\ \text{Starkregen, wenn } i & \geq \frac{C}{(t+18)^{0,765}} \quad \text{für } C = 9,0 \\ \text{Platzregen, wenn } i & \geq \frac{C}{(t+18)^{0,765}} \quad \text{für } C = 13,5 \\ \text{und Wolkenbruch, wenn } i & \geq \frac{C}{(t+18)^{0,765}} \quad \text{für } C = 18,0 \end{aligned}$$

wobei i die Intensität in mm pro Minute bedeutet.

Es wird in der folgenden Untersuchung die von W u s s o w und K n o c h vorgeschlagene Einteilung der Regen zugrunde gelegt. Nun ist die Frage nach der Häufigkeit der Intensitäten und der Andauerzeiten zu klären und ein Zusammenhang zwischen beiden Komponenten zu finden, der eine zumindest regionale Gültigkeit besitzen soll. Darüber hinaus gestattet das unten beschriebene Registrierematerial auch noch, diese Komponenten bei den Dauerregen zu erforschen, die als Regenfälle einer Mindestdauer von 6 Stunden bei einer stündlichen Mindestintensität von 0,5 mm definiert sind.

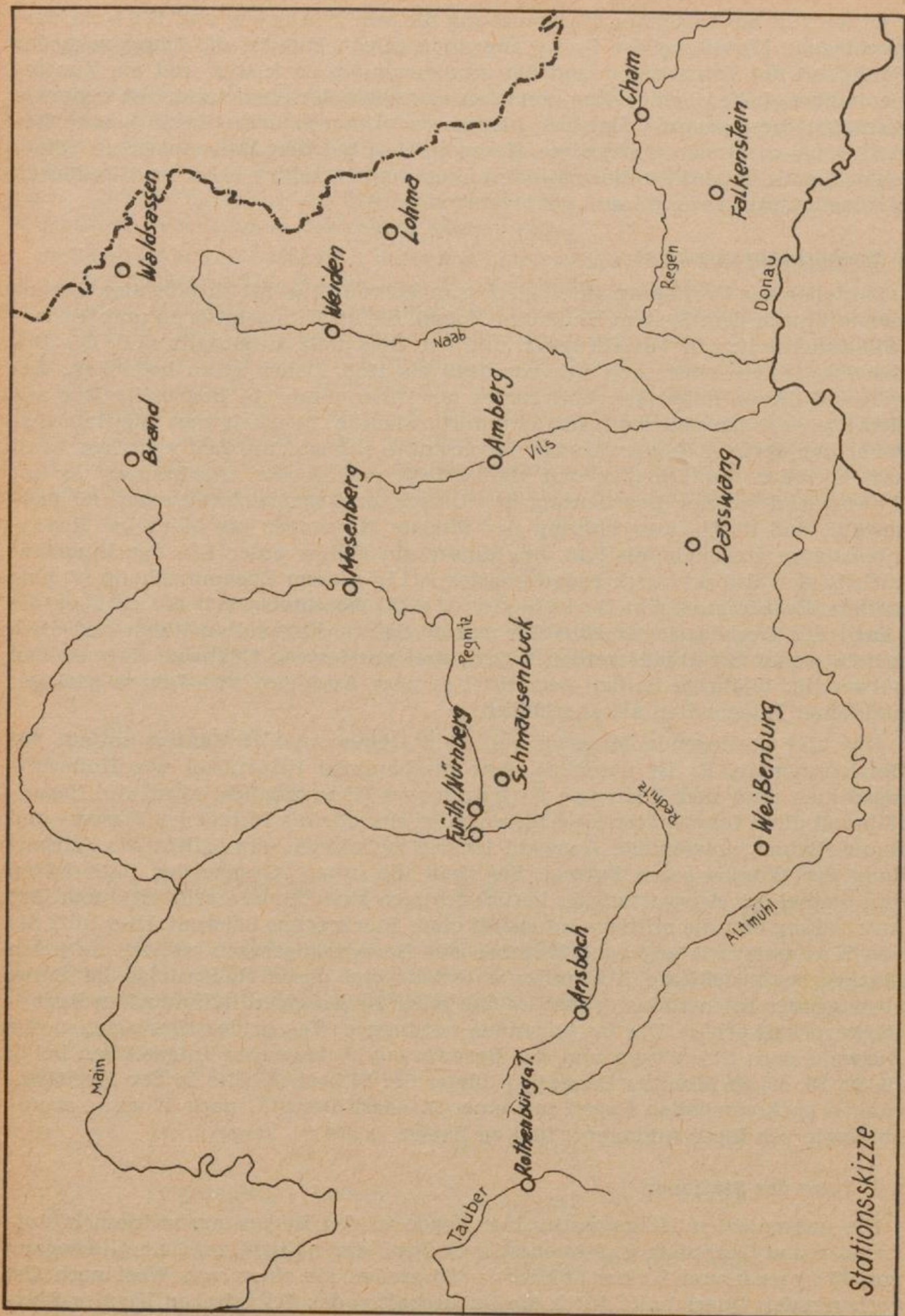
2. Beobachtungsmaterial

Es stehen zur Verfügung die Registrierungen von 14 selbstschreibenden Regenschreibern (nach dem System Hellmann-Fuess), die an Klimastationen und Niederschlagsmeßstellen in Mittelfranken und der Oberpfalz aufgestellt sind. Die Beobachtungsjahre erstrecken sich von 1949 bis 1958. Dabei ist zu bedenken, daß während dieses 10jährigen Zeitraumes nur einer dieser 14 Regenschreiber mit Heizung versehen und somit fast ununterbrochen in Tätigkeit war. Die Betriebsdauer der übrigen Regenschreiber beschränkte sich auf die Zeit zwischen April und Oktober. Im Hinblick auf die Vollständigkeit der Starkregenfälle hat R e i n h o l d bei der Bearbeitung der Dresdener Regenbeobachtungen (6) festgestellt, daß durch Ausschaltung der Monate November bis März bei Regenintensitäten von mehr als 0,18 mm/Minute ein Fehler unter 1 % der Intensität auftritt, der also praktisch bedeutungslos ist. In diesem Zusammenhang ist eine weitere Feststellung von R e i n h o l d (a. a. O.) beachtenswert, die er über die Länge des Beobachtungsmaterials macht. Sofern Regenintensitäten auf etwa $\pm 10\%$ genau berechnet werden sollen, sind mindestens 15jährige Regenreihen notwendig. 10jährige Reihen betrachtet er zum Ausgleich von Jahren geringer und hoher Intensitäten als unerlässlich.

Das hier vorliegende Material von 14 Stationen und 10 Jahren umfaßt 983 Betriebsmonate. Es ist natürlich ohne mechanische Hilfsmittel wie Hollerithmaschinen nach dem Plan von J o h a n n s e n (7) unmöglich, sämtliche Regenfälle mit allen Intensitäten zu erfassen. Hier eine für die Praxis der Wasser- und Bauwirtschaft notwendige Auswahl treffen zu können, ermöglicht die Anwendung der Wussow'schen Formel. Sie stellt die untere Grenze der Intensitäten dar, die bei der Auswertung zu berücksichtigen sind. Andererseits ist durch ihre Anwendung erst die mittlere Intensität eines Starkregens bekannt. Hier hilft die von H a e u s e r (1) gegebene Methode der Berechnungsregen weiter, die jeden Starkregen in zeitliche Abschnitte unterteilt und deren Reihenfolge im Sinne absteigender Intensitäten ordnet, so daß jeder Regen einen individuellen Regenstärkeverlauf erhält. Der im folgenden begangene Weg in der Kombination der Auswahl nach Starkregen und der Berechnung stufenweiser Intensitäten bei 5, 10, 20, 30, 45, 60 Minuten Dauer usw. bietet die Sicherheit, alle in den Registrierungen vorkommenden Regen mit einer Mindestintensität nach W u s s o w unabhängig von ihrer Andauer erfaßt zu haben.

2. 1. Lage der Stationen

Die untersuchten 14 Regenschreiber liegen in den Regierungsbezirken Mittelfranken und Oberpfalz (s. Stationsskizze). Nach der naturräumlichen Gliederung von M e y n e n und S c h m i t h ü s e n (8) stellen sie einen von West nach Ost verlaufenden Querschnitt durch die Landschaften des Fränkischen Keuper-Lias-



Landes über die Fränkische Alb und das Oberpfälzische Hügelland zum Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge im Nordosten und zum Oberpfälzer und Bayerischen Wald im Osten Bayerns dar. Klimatisch besteht in diesem Raume insofern eine gewisse Einheitlichkeit, als der Anteil der hier interessierenden Sommerniederschläge April bis September am Jahresniederschlag (bezogen auf den Zeitraum 1949 bis 1958) zwischen 51 % und 63 % gelegen ist. Während der nördliche und mittlere Teil dieses Raumes noch zum Übergangstyp nach B r o s e (9) gehört, lassen sich die südlichen Teile des Keuper-Lias-Landes, der Alb und der Bayerische Wald ganz offensichtlich zum Sommerregentyp rechnen. Die 10jährigen Niederschlagsmittel der Sommermonate April bis September steigen vom Westen mit 380 mm allmählich bis auf 510 mm in den ostbayerischen Grenzgebirgen an. Typische Leegebiete wie die Naab-Wondreb-Senke und die Cham-Further Senke machen sich durch niedrigere Summen bis zu 370 mm bemerkbar. In der folgenden Tabelle sind die 14 Stationen, von West nach Ost geordnet, zusammengestellt. Nach der Seehöhe (Spalte A) sind die 10jährige Betriebsdauer in Monaten (Spalte B) und die Zahl der aus dem Material mit Hilfe der Wussowschen Formel gewonnenen Starkregen (Spalte C) angeführt. Es folgen die Zahl der Dauerregen (Spalte D), die mittlere Sommerniederschlagsmenge 1949 bis 1958 (Spalte E) und ihr prozentualer Anteil am Jahresniederschlag (Spalte F).

	A	B	C	D	E	F
Fränkisches Keuper-Lias-Land						
Rothenburg o. T.	425 mNN	66	17	54	383 mm	57,1 %
Ansbach	440	64	17	70	432	57,2
Fürth/Nürnberg	310	118	13	105	369	61,6
Schmausenbuck	364	75	14	73	418	60,4
Weißenburg	422	89	20	102	426	63,0
Fränkische Alb						
Dasswang	521	71	17	74	453	59,0
Mosenberg	392	61	19	65	422	54,2
Oberpfälzisches Hügelland						
Amberg	400	61	20	48	383	60,5
Weiden	396	75	11	97	418	60,1
Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge						
Brand	576	55	13	52	511	51,9
Waldsassen	473	59	11	61	369	62,5
Oberpfälzer und Bayerischer Wald						
Lohma	500	65	27	73	433	60,8
Cham	411	67	12	73	415	60,7
Falkenstein	570	57	14	69	501	58,9
Summe:		983	225	1016		

Die mittlere Betriebsdauer im Jahre beträgt für jeden Regenschreiber 7,02 Monate. Dieser Zeitraum wird künftig als ein Sommer bezeichnet. Im Mittel aller Stationen ist ein Starkregen alle 4,37 Monate, ein Dauerregen alle 0,97 Monate (oder in jedem Sommer etwa siebenmal) aufgetreten.

Die Aufstellung der Regenschreiber blieb nur an 8 Stationen während des untersuchten Zeitraumes unverändert. An den folgenden 6 Stationen waren geringfügige Verlegungen notwendig, die aber die Homogenität des Beobachtungsmateriales, soweit es Stark- und Dauerregen betrifft, nicht beeinträchtigt haben:

- Rothenburg o. T. : am 21. Juni 1955 wurde die Station innerhalb des Stadtbereiches um etwa 1000 m nach Süden verlegt (alte Höhe 438 m, neue Höhe 425 m).
- Ansbach : der Regenschreiber wurde am 31. Oktober 1957 um etwa 2500 m nach Süden verlegt (a. H. 418 m, n. H. 440 m).
- Weißenburg : am 4. September 1957 Verlegung der Station innerhalb des Stadtbereiches um etwa 1200 m nach Südwesten (a. H. 435 m, n. H. 422 m).
- Fürth/Nürnberg : am 7. April 1955 Verlegung der Station um etwa 10 km nach Osten von Fürth nach Nürnberg-Kraftshof (a. H. 313 m, n. H. 310 m).
- Amberg : am 9. Juni 1958 Verlegung des Regenschreibers um etwa 1100 m innerhalb des Stadtbereiches nach Nordwesten (a. H. 395 m, n. H. 405 m).
- Weiden : am 23. August 1950 Verlegung der Station innerhalb des Stadtbereiches um etwa 900 m nach Südosten (a. H. 392 m, n. H. 396 m).

Sämtliche 14 Stationen liegen in dem Raum, der vom 49. und 50. Breitengrad sowie dem 10. und 13. Längengrad begrenzt wird.

2. 2. Der Beobachtungszeitraum und seine Stellung zur Normalperiode 1891—1930

Läßt die im vorigen Abschnitt beschriebene klimatische Lage die Anwendung der Häufigkeitsverteilungen der Stark- und Dauerregen auf andere Räume gleicher Niederschlagsverhältnisse möglich erscheinen, so muß nunmehr noch untersucht werden, ob die Ergebnisse des 10jährigen Zeitraumes 1949 bis 1958 zeitliche Allgemeingültigkeit beanspruchen können. Den Untersuchungen von Dammann über sommerliche Niederschlagsschwankungen seit 1890 (10) kann für den süddeutschen Raum entnommen werden, daß die Periode 1949 bis 1958 in ihrer ersten Hälfte unternormale, in ihrer zweiten Hälfte übernormale Sommerniederschläge brachte. Sie dürfte im ganzen etwa normale Verhältnisse widerspiegeln. Es wurden von je 5 Stationen aus Mittelfranken und der Oberpfalz die Sommerniederschlagssummen 1949 bis 1958 in Prozent derjenigen der Normalperiode 1891 bis 1930 errechnet: mit 105 % in Mittelfranken und 103 % in der Oberpfalz wird das Ergebnis von Dammann bestätigt. Die Sommerperiode 1949 bis 1958 war um etwa 4 % also geringfügig zu feucht. Die in den nachfolgenden Abschnitten gefundenen Häufigkeitsverteilungen gelten mithin für fast niederschlagsnormale Sommerzeiträume.

Der von Haeuser (a. a. O.) benutzte Zeitraum 1899 bis 1915 ist nach dem Kurvenverlauf bei Damm anfangs zu trocken, später zu naß gewesen. Berechnet man wiederum von je 5 Stationen aus Mittelfranken und der Oberpfalz die Sommerniederschlagssummen 1899 bis 1915 in Prozent derjenigen der Normalperiode, so erhält man für Mittelfranken 97 % und für die Oberpfalz 100 %. Dieser Zeitraum ist also vergleichsweise etwas trockener als der im folgenden behandelte verlaufen.

3. Starkregen

Die Durchsicht des Registriermaterials der 14 Stationen unter Berücksichtigung aller Regenfälle, die sowohl in Andauer wie in ihrer korrelierenden Menge die Mindestbedingungen der Wussow'schen Formel erfüllten, ergab 225 Starkregenfälle. Bei einer durchschnittlichen Betriebszeit von 7,02 Monaten jährlich entfallen 1,606 Starkregen im Sommer auf jede Station.

3.1. Häufigkeit der Andauer und der Regenmengen

Hinsichtlich ihrer Andauer und ihrer Häufigkeit verteilen sich die 225 Starkregen folgendermaßen:

Andauer	Anzahl	%	jährliche Häufigkeit pro Station
bis 10 Minuten	225	100	1,606
„ 20 „	172	76	1,228
„ 30 „	120	53	0,856
„ 45 „	86	38	0,614
„ 60 „	53	23	0,379
„ 90 „	38	16	0,272
„ 120 „	22	9	0,157
„ 180 „	15	6	0,107
„ 240 „	10	3	0,071
über 240 „	3	1	0,021

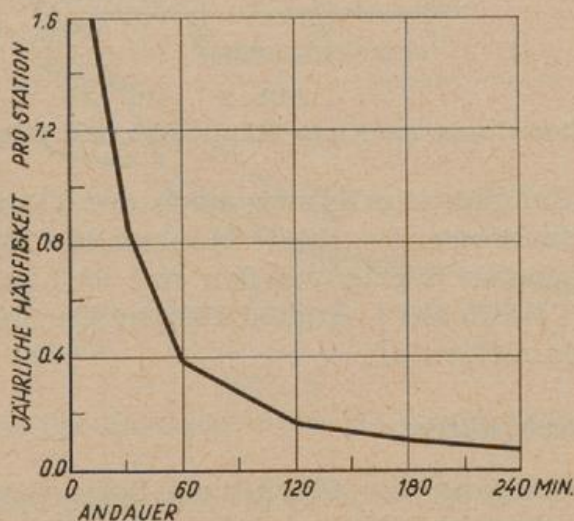


Abb. 1

Starkregen. Beziehung zwischen Häufigkeit und Andauer

In Abb. 1 ist die Häufigkeitsverteilung nach der Andauer dargestellt. 53 % aller Starkregen dauern höchstens 30 Minuten, nur 10 % währen länger als 120 Minuten. Der längste Starkregen wurde in Ansbach am 19. Juli 1956 mit 270 Minuten registriert, es fielen insgesamt 38,2 mm (mittlere Intensität 0,14 mm/Min.). Den zweitlängsten Starkregen brachte in Lohma der 11./12. Mai 1952 mit 257 Minuten und 34,7 mm (mittlere Intensität 0,14 mm/Min.). Hinsichtlich der Gesamtregensmenge und ihrer Häufigkeit verteilen sich die 225 Starkregen derart:

Gesamtregensmenge		Anzahl	%	jährliche Häufigkeit pro Station
bis	10,0 mm	225	100	1,606
„	15,0 „	158	70	1,129
„	20,0 „	97	43	0,693
„	25,0 „	62	27	0,443
„	30,0 „	40	17	0,285
„	35,0 „	27	11	0,193
„	40,0 „	19	7	0,136
„	45,0 „	12	4	0,086
„	50,0 „	9	3	0,064
„	60,0 „	8	3	0,057
„	70,0 „	5	2	0,036
über	70,0 „	2	1	0,014

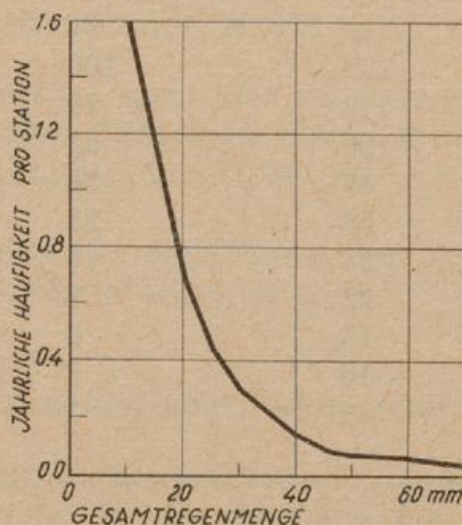


Abb. 2

Starkregen. Beziehung zwischen Häufigkeit und Gesamtregensmenge

In Abb. 2 ist die Häufigkeitsverteilung nach der Gesamtregensmenge wiedergegeben. 70 % aller Starkregen brachten Mengen bis 15,0 mm, nur 3 % Mengen über 50,0 mm. Die höchsten Werte wurden mit 93,3 mm am 4. August 1951 in Falkenstein und mit 81,9 mm am 1. August 1955 in Nürnberg registriert. In beiden Fällen traten starke Gewitter auf.

3. 2. Häufigkeit der Intensitäten

Die bisherige Untersuchung der Starkregen betrachtete den einzelnen Regen als ein Ganzes. Er ist charakterisiert durch seine zeitliche Länge und durch die gesamte Regensmenge. Aus beiden Komponenten resultiert eine mittlere Intensität, die aber keineswegs das tatsächliche Bild des Regenverlaufes wiedergibt.

Aber gerade dieser Verlauf in seinen einzelnen zeitlichen Phasen ist für die Wasser- und Bauwirtschaft wichtig, da er allein die in Flüsse und Kanalisationen abfließenden Mengen bestimmt. Haeuser (1) und Reinhold (11) haben eine Methode aufgezeigt, die in der Aufspaltung des Gesamtregens in Zeitabschnitte von 5, 10 oder mehr Minuten Dauer und in ihrer Einordnung nach abnehmenden Intensitäten dieser Abschnitte besteht. Um jedoch diese Auswertearbeit nicht unnötig umfangreich zu gestalten, werden von vornherein sämtliche Regenfälle geringer Intensität ausgeschieden. Die untere Auswertungsgrenze hat Reinhold (6, 11) für folgende Werte angesetzt:

- $h = 1,0 \text{ mm}$ für eine Regendauer $1 \leq t \leq 10 \text{ Min.}$
- $i = 0,1 \text{ mm/Min.}$ für eine Regendauer $10 \leq t \leq 60 \text{ Min.}$
- $h = 6,0 \text{ mm}$ für eine Regendauer $60 \leq t \leq 360 \text{ Min.}$

Bei dieser unteren Auswertungsgrenze bildet die Regenmenge teils eine Konstante (bis 10 Min. und oberhalb 60 Min. Dauer), teils eine Funktion der Regendauer (zwischen 10 Min. und 60 Min. Dauer). Dieser Grenzwert zeigt also keinen stetigen Verlauf. In der folgenden Untersuchung wird als untere Auswertungsgrenze die Wussow'sche Formel

$$h = \sqrt{5t - \left(\frac{t}{24}\right)^2}$$

benutzt, die den Vorteil einer stetigen Funktion zwischen h und t besitzt. Dadurch ist eine Auslese nach den starken, in der Abfluswirtschaft besonders interessierenden Regen geschaffen. Der kürzeste untersuchte Zeitabschnitt beträgt 5 Minuten, dem nach Wussow eine Intensität von 1,0 mm/Min entspricht. Es ist hier zu bedenken, daß nicht jeder Regen, der mit einer mittleren Intensität der Wussow'schen Formel genügt, auch in seinen einzelnen Intervallen von 5, 10 oder mehr Minuten Dauer stets dieser Mindestbedingung genügen wird. Als Beispiel seien in der Abb. 3 drei Regenfälle angeführt, die in den ersten beiden Intervallen von 5 und

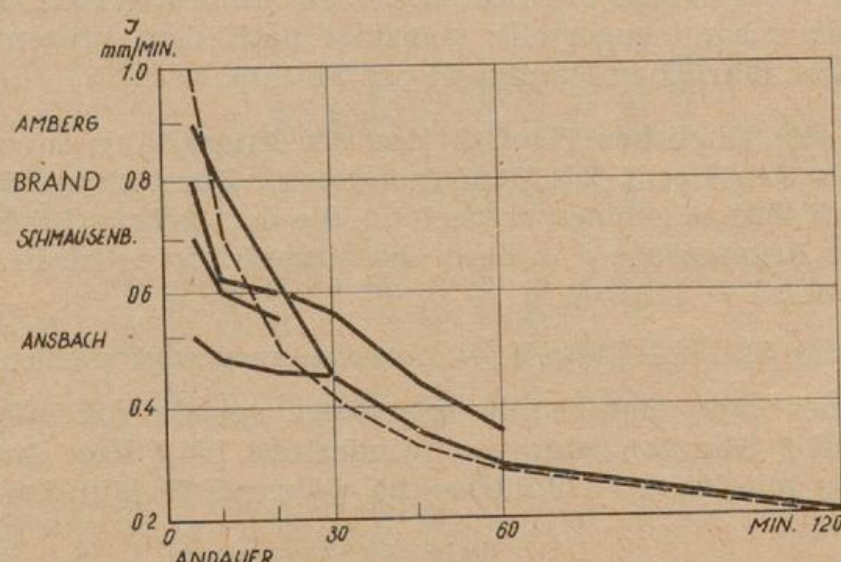


Abb. 3

Starkregen. Teilregenfälle im Grenzgebiet der Wussow'schen Formel (-----)

10 Minuten, ein vierter Fall auch noch im Intervall 20 Minuten unter der Mindestbedingung bleiben. In den übrigen Intervallen und auch im ganzen erfüllen sie jedoch die Formel für Starkregen. Die einzelnen Werte sind:

	5	10	20	30	45	60	120 Min.
Amberg, 4. Juni 1957 (13,8 mm in 37 Min.)	0,90	0,79	0,62	0,45	mm/Min.		
Brand, 21. Juli 1955 (21,4 mm in 68 Min.)	0,80	0,63	0,60	0,56	0,43	0,35	mm/Min.
Schmausenbuch, 11. Juni 1953 (11,5 mm in 22 Min.)	0,70	0,60	0,55 mm/Min.				
Ansbach, 5./6. Sept. 1954 (25,0 mm in 130 Min.)	0,52	0,48	0,46	0,45	0,35	0,29	0,20 mm/Min.
Mindestbedingung nach W u s s o w	1,00	0,71	0,50	0,41	0,33	0,29	0,20 mm/Min.

Intervalle, die die Mindestbedingungen nicht erfüllen, sind im folgenden ausgeschaltet worden. Das verbliebene Material bietet nunmehr die Gewähr, daß sämtliche echten Starkregen, sofern sie 5 Minuten Dauer erreichen oder überschreiten, aus dem gesamten Registriermaterial erfaßt sind. Es wurden 657 Teilregen gewonnen, die sich auf die einzelnen Intervalle derart verteilen:

Teilregen	Anzahl	Teilregen	Anzahl
5 Minuten	170	120 Minuten	15
10 „	164	180 „	9
20 „	119	240 „	3
30 „	86	300 „	1
45 „	52	360 „	1
60 „	37		

Die Intensitäten dieser Teilregen reichen von 3,00 mm/Min. bis herab zu den jeweils durch die Wussow'sche Formel gegebenen Mindestwerten. Sie sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, geordnet nach dem prozentualen Anteil innerhalb und ihrer jährlichen Häufigkeit pro Station.

In Abb. 4 sind die jährlichen Häufigkeiten der Intensitäten innerhalb der jeweiligen Teilregen dargestellt. Die Bedeutung dieser Darstellung für die Wasser- und Bauwirtschaft läßt es geboten erscheinen, die dort gebräuchliche Einheit der Intensität, die als Regenstärke J in $l/sec \cdot ha$ ausgedrückt wird, in Abb. 4 einzufügen. Es entspricht $J = 166,7 \cdot i$.

Auf Grund dieser Statistik kann beispielsweise ausgesagt werden:

1) alle 2 Sommer kann einmal mit einer Regenspende von mindestens 233,4 $l/sec \cdot ha$ während 5 Minuten oder von mindestens 166,7 $l/sec \cdot ha$ während 10 Minuten oder von mindestens 112,5 $l/sec \cdot ha$ während 20 Minuten (interpoliert) gerechnet werden,

2) jeden Sommer einmal kann mit einer Regenspende von mindestens 183,4 $l/sec \cdot ha$ (interpoliert aus $i = 1,2$ und $i = 1,0$) während 5 Minuten gerechnet werden,

3) nur einmal in den 10 Sommern dürfte eine Regenspende von 100,0 $l/sec \cdot ha$ während 45 Minuten oder eine solche von 330,0 $l/sec \cdot ha$ während 5 Minuten eintreten.

Intensität mm/Min.	5 Min.		10 Min.		20 Min.		30 Min.		45 Min.		60 Min.		120 Min.		180 Min.		240 Min.		
	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	
≥ 2,2	3	0,029	1	0,014															
2,0	8	0,093	3	0,036	1														
1,8	15	0,172	4	0,043	2														
1,6	28	0,336	5	0,064	2	0,014													
1,4	42	0,501	11	0,129	4	0,029	2												
1,2	65	0,793	27	0,308	11	0,086	3	0,021	2										
1,0	100	1,214	45	0,522	14	0,114	9	0,057	6	0,021									
0,9			61	0,708	22	0,186	14	0,086	8	0,029	6	0,014							
0,8			81	0,944	30	0,257	20	0,122	16	0,057	11	0,029							
0,7			100	1,173	54	0,458	29	0,179	20	0,072	11	0,029	7						
0,6				(≥0,71)	81	0,686	45	0,278	28	0,100	22	0,057	7						
0,5					100	0,850	77	0,472	43	0,157	30	0,079	20	0,021	11				
0,4							100	0,615	77	0,286	46	0,122	20	0,021	22	0,014			
0,3								(≥0,41)	100	0,372	100	0,264	33	0,036	33	0,021			
0,2									(≥0,33)		(≥0,29)	100	0,107	55	0,036				
0,1											(≥0,20)	100	0,064	100	0,021				
												(≥0,16)			(≥0,14)				

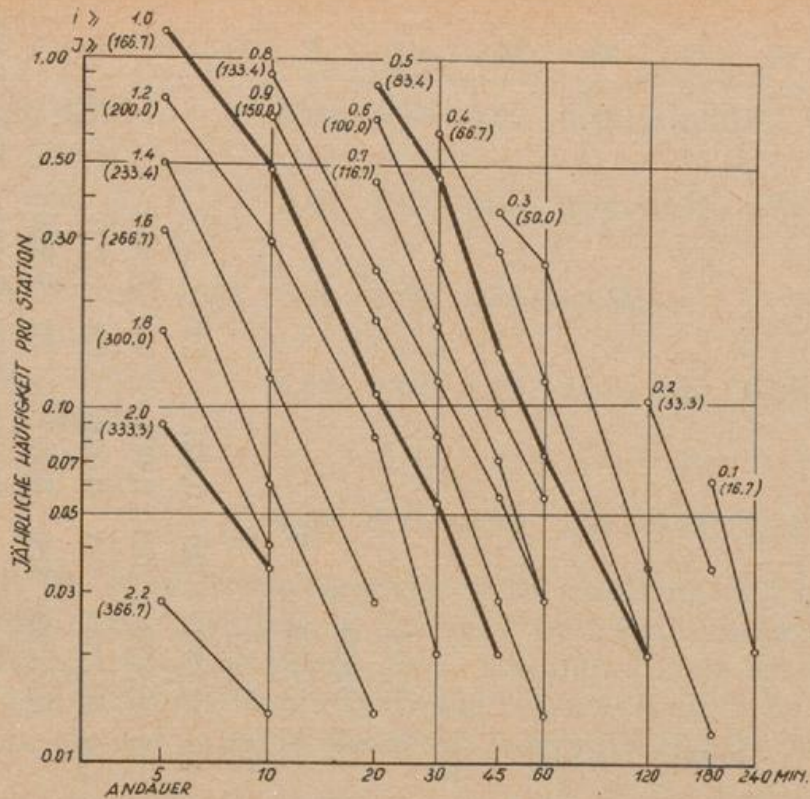


Abb. 4

Starkregen. Beziehung zwischen jährlicher Häufigkeit, Andauer und Intensität in mm/min, (J in l/sec · ha)

3.3. Die maximalen Intensitäten

Die höchsten Intensitäten während der betrachteten 10 Jahre waren:

bei einer Dauer von	5 Minuten	3,00 mm/Min.	} in Falkenstein am 4. August 1951
" " " "	10	2,93	
" " " "	20	2,47	
" " " "	30	2,27	
" " " "	45	1,70	
" " " "	60	1,31	
" " " "	120	0,75	
" " " "	180	0,52	
" " " "	240	0,18	
" " " "	300	0,17	
" " " "	360	0,16	
			} in Lohma am 27. Juni 1955

Die Registrierung des nach Knoch als Wolkenbruch zu bezeichnenden Starkregens in Falkenstein ist als Abb. 5 beigelegt.

Die höchsten sowie die jeweils zweithöchsten Intensitäten sind in Abb. 6 eingetragen. Analog zur Definitionsgleichung nach Wussow läßt sich auch eine Umhüllende der größten Intensitäten zeichnen, die dann eine für wasserwirtschaftliche Planungen brauchbare Maximalbedingung liefert. Sie hat die Form

$$i_{\max} = \frac{1}{t} \sqrt{170 t - \frac{2}{5} t^2}$$

Bis zu einer Andauer von 20 Minuten läßt diese Formel noch einen genügenden Spielraum für eventuelle höhere Intensitäten. Bei einer Andauer über 120 Minuten erlangt der Subtrahend $\frac{2}{5}t^2$ bestimmenden Einfluß, bis er schließlich bei

$t = 425$ Min. die Formel erlöscht. Es ist aber schon ab $t = 360$ Min. der Begriff Dauerregen wirksam.

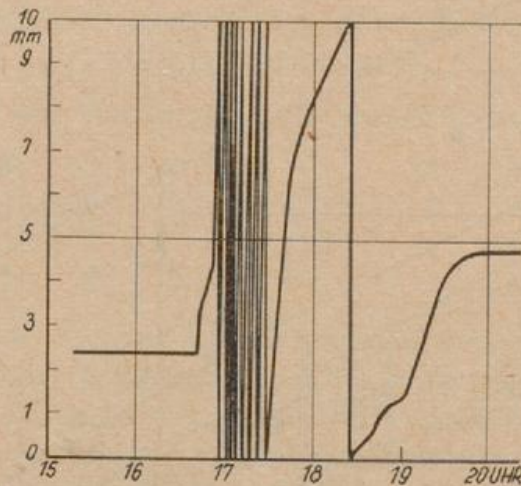


Abb. 5

Starkregen. Wolkenbruch in Falkenstein am 4. August 1951

Es ist reizvoll, die Lage dieser maximalen Umhüllenden mit den in der Literatur vorliegenden Ergebnissen zu vergleichen. Süddeutsches Beobachtungsmaterial wurde bisher nur von Haeuser (1) bearbeitet und von Reinhold (11) in das Gesamtbild des deutschen Raumes eingliedert. Es sind darin exakte Auswertungen von Regenschreiberstreifen nach Starkregen nur von Augsburg (44 Fälle) und von München (62 Fälle) vorhanden. Ihre mittleren Intensitäten sind in Abb. 6 als Punkte mit dem Zusatz A bzw. M eingetragen. Entsprechend der Lage beider Städte im staureichen Alpenvorland liegen diese mittleren Intensitäten noch weit unter den in Mittelfranken und der Oberpfalz beobachteten höchsten Intensitäten. Das weitere bayerische Beobachtungsmaterial benutzte Haeuser zur Zeichnung mehrerer Umhüllenden größter Intensitäten. Von 3848 Meldungen aus ganz Bayern verwendete er 481 (12,5 %) aus dem bayerischen Mittelgebirge, das etwa dem hier untersuchten Raume entsprechen dürfte, dagegen 686 aus dem Alpengebiet, 661 aus dem Alpenvorland und 1267 aus der Schwäbisch-bayerischen Hochebene. Es ergaben sich die in Abb. 6 eingetragenen Umhüllenden der größten beobachteten Intensitäten, der häufiger vorkommenden größten Intensitäten und der Intensitäten für stärkere Platzregen. Während die erste Umhüllende noch wesentlich über der hier gefundenen Maximalkurve

$$i_{\max} = \frac{1}{t} \sqrt{170 t - \frac{2}{5} t^2}$$

gelegen ist, was wohl hauptsächlich auf den größeren Anteil der voralpinen und alpinen Stauregenfälle zurückzuführen ist, ordnen sich die weiteren beiden Umhüllenden gut ein.

Von Reinhold ist noch eine Regenstärkelinie der größten in Dresden 1901 bis 1932 beobachteten Regenfälle bekannt (6). Sie wurde nach der von Haeuser gegebenen Methode der Berechnungsregen aus den Regenschreiberaufzeichnungen gewonnen; sie ist also methodisch unmittelbar vergleichbar, wenn auch geographisch andere Verhältnisse vorliegen. Diese ebenfalls in Abb. 6 eingetragene Linie liegt erheblich unter den hier gefundenen Höchstwerten. Die Intensitätsdifferenzen betragen durchschnittlich 0,6 mm/Min. Es kann daraus geschlossen werden, daß im nordbayerischen Hügel- und Gebirgsland höhere Intensitäten erreicht werden können als im sächsischen Hügelland.

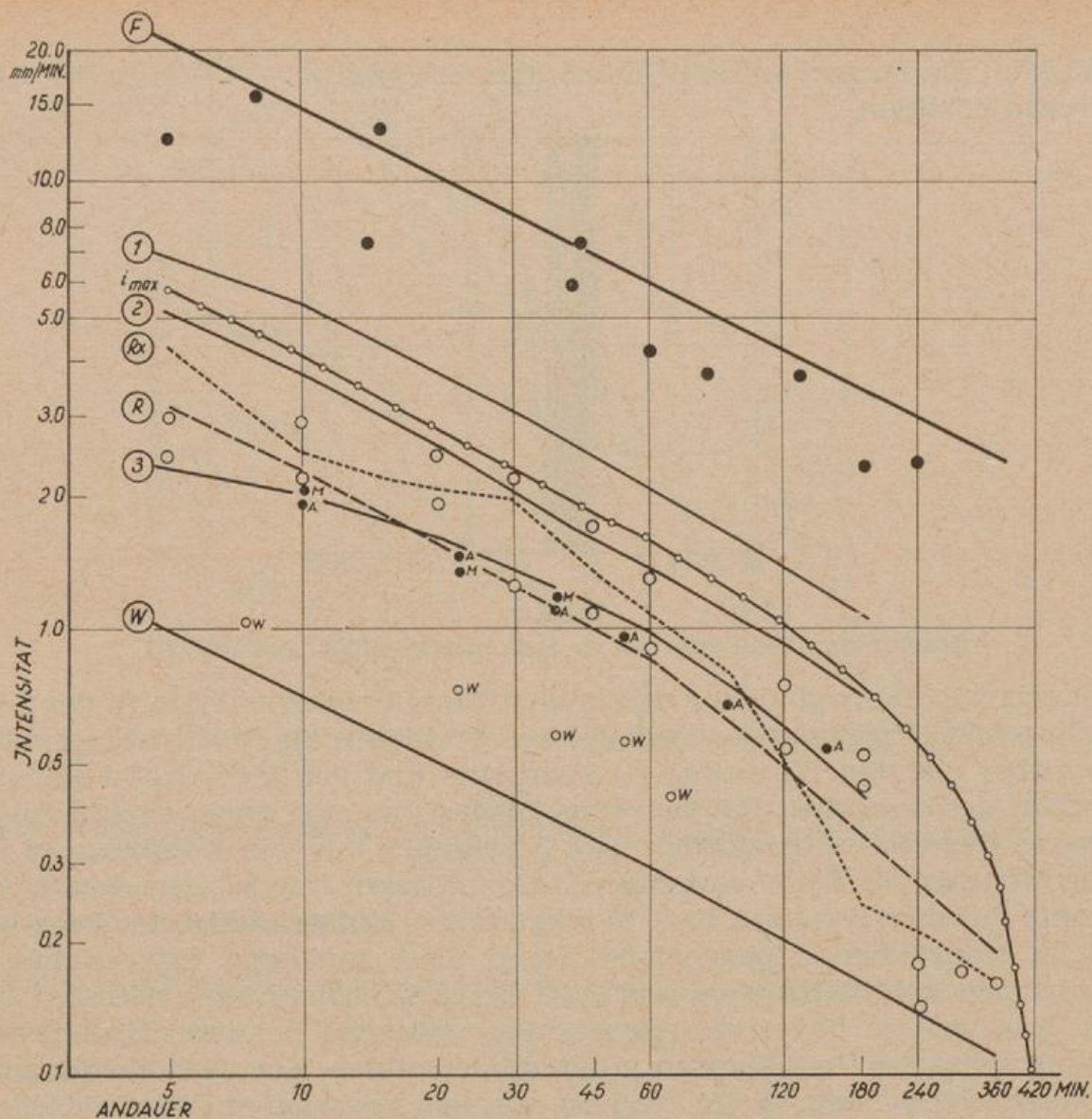


Abb. 6

Starkregen. Höchste Intensitäten verschiedener Bearbeiter:

- Ⓕ — Obere Umhüllende der Weltmaximalintensitäten nach Fletcher,
- — Weltmaximalintensitäten nach Jennings,
- ① — Umhüllende der größten in Bayern beobachteten Intensitäten nach Haeuser,
- — i_{max} nach der Formel in Abschnitt 3. 3.,
- ② — Umhüllende häufig in Bayern vorkommender Intensitäten nach Haeuser,
- — Höchste und zweithöchste Intensitäten in Mittelfranken und Oberpfalz,
- Ⓧ — Absolut höchste Intensitäten in Nordwestdeutschland nach Roux,
- Ⓡ — Größte in Dresden beobachtete Intensitäten nach Reinhold,
- ③ — Stärkere Platzregen in Bayern nach Haeuser,
- _{A, M} — Mittlere Intensitäten in Augsburg, München nach Haeuser,
- _W — Mittlere Intensitäten nach Wussow,
- Ⓦ — Mindestbedingung für Starkregen nach Wussow

3. 4. Tageszeitliche Verteilung der Starkregen

Schließlich wurde noch die Auszählung der 225 Starkregen nach ihren Anfangszeiten, geordnet in zwei stündige Intervalle, vorgenommen.

Prozentuale Verteilung der Anfangszeiten der Starkregen und der Dauerregen

	01	03	05	07	09	11	13	15	17	19	21	23 Uhr
	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	24 Uhr
Starkregen	2 %	1	3	2	5	10	12	14	22	14	9	6 %
Dauerregen	12 %	7	6	7	4	6	7	9	10	11	10	11 %

Es ergibt sich ein steter Anstieg bis 17 Uhr. Zwischen 17 Uhr 19 Uhr beginnen 22 % aller Starkregen, dann folgt rascher Rückgang bis 03 Uhr mit nur noch 1 %. Der tageszeitliche Gang ist gut ausgeprägt und vornehmlich auf die Abhängigkeit der Regenfälle von den konvektiven und nachmittags zunehmend feuchtlabilen Strömungsverhältnissen zurückzuführen, denn schließlich bildet der Ausfall des Regens das Ende in der Entwicklungskette vom Cumulus zum hochreichenden Cumulonimbus, der in der Mittagszeit stärkster Einstrahlung beginnt und gegen 17 Uhr beendet ist. Zum Vergleich wird auch der Tagesgang der 1016 Dauerregen angeführt, der anders verläuft mit einer allerdings weniger ausgeprägten Häufung in den Stunden zwischen 17 Uhr und 02 Uhr und einem Tiefpunkt gegen 09 Uhr.

4. Dauerregen

Dem Registriermaterial der 14 Regenschreiber sind für die 10 Jahre 1949 bis 1958 insgesamt 1016 Dauerregen entnommen worden. Ihre Aufteilung auf die einzelnen Meißstellen wurde bereits im Abschnitt 2. 1. mitgeteilt. Auch bei ihnen ist die Häufigkeitsverteilung der Andauer und der Intensität für die Wahrscheinlichkeit ihres Eintrittes wertvoll.

4. 1. Häufigkeit der Intensität und der Andauer

Durchschnittlich 7,26 Dauerregen treten an jeder Station in einem Sommer auf. Die zeitliche Länge dieser Regenfälle ist nach ihrer Häufigkeit derart gestaffelt:

Andauer	Zahl der Fälle	%	Häufigkeit pro Station und Sommer
6 Stunden und darüber	1016	100,0	7,26
8 " " "	641	63,1	4,58
10 " " "	417	41,0	2,98
12 " " "	281	27,7	2,00
14 " " "	188	18,5	1,34
15 " " "	147	14,5	1,05
16 " " "	120	11,8	0,86
18 " " "	79	7,8	0,56
20 " " "	57	5,6	0,41
22 " " "	44	4,3	0,31
24 " " "	30	3,0	0,21
26 " " "	22	2,2	0,16
28 " " "	15	1,5	0,11
30 " " "	13	1,3	0,09

In Abb. 7 ist die Häufigkeitsverteilung der Andauer dargestellt. Etwa die Hälfte aller Dauerregen währt nur bis 9 Stunden, jedoch tritt durchschnittlich einmal im Sommer ein Dauerregen von mindestens 15 Stunden auf. Nur durchschnittlich alle 5 Sommer regnet es einmal mindestens 24 Stunden ununterbrochen.

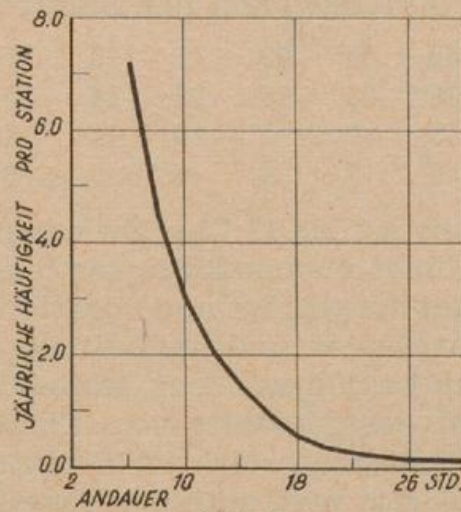


Abb. 7

Dauerregen. Beziehung zwischen Häufigkeit und Andauer

Die mittleren Intensitäten, ausgedrückt in mm pro Stunde, stellen sich nach ihrer Häufigkeit so dar (Abb. 8):

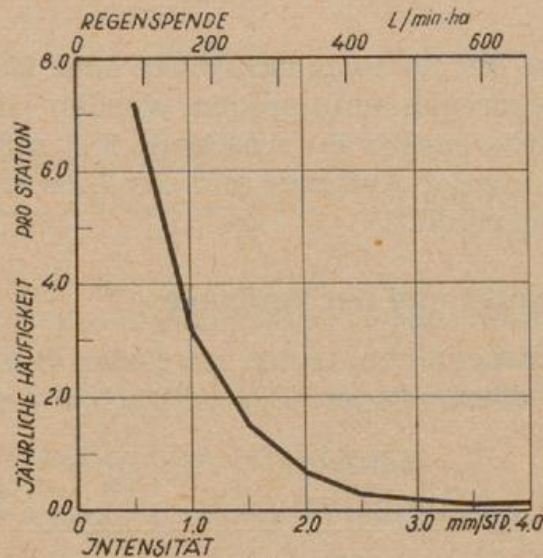


Abb. 8

Dauerregen. Beziehung zwischen Häufigkeit und Intensität (Regenspende)

Intensität	Zahl der Fälle	%	Häufigkeit pro Station und Sommer
0,5 mm/Stde. und darüber	1016	100,0	7,26
1,0 " " "	448	44,1	3,20
1,5 " " "	201	19,8	1,44
1,7 " " "	139	13,7	0,99
2,0 " " "	87	8,6	0,62
2,5 " " "	36	3,5	0,26
3,0 " " "	24	2,4	0,17
3,5 " " "	9	0,9	0,06
4,0 " " "	4	0,4	0,03

Durchschnittlich einmal im Sommer erreicht ein Dauerregen die Intensität von 1,7 mm/Stde. und mehr, aber nur alle 6 Sommer gibt es einen Dauerregen von mindestens 3,00 mm/Stde. Die höchste Intensität mit 4,40 mm/Stde. brachte ein nächtlicher Gewitterregen in Waldsassen am 27. Juni 1955, der 6,5 Stunden dauerte.

4. 2. Beziehung zwischen Intensität und Andauer

In Abb. 9 sind zu jeder Intensität (in Stufen von 0,1 mm/Stde.) und zu jeder Andauer die Menge der beobachteten Dauerregen eingetragen (in 4 Stufen). Da diese Beziehung auch in der Wasser- und Bauwirtschaft eine wichtige Rolle spielt, wurde die dort übliche Einheit der Intensität, die Regenspende in l/min · ha hinzugefügt. Es entspricht die Intensität $i = 0,6$ mm/Stde. einer Regenspende $R = 100$ l/min · ha. Die Linie A teilt das Zahlenkollektiv derart, daß 49,7 % aller Dauerregen unterhalb oder gleich bestimmter Intensitäten i (Regenspenden R) und zugehöriger Andauer t bleiben, die durch die Beziehung

$$t + 10 i \leq 19 \quad \text{oder} \quad t + 0,06 \sqrt{6} R \leq 19$$

verknüpft sind. Analog wird die Linie B, die 74,5 % aller Dauerregen von höheren Intensitäten und Andauerzeiten trennt, durch die Gleichungen

$$t + 10 i \leq 24 \quad \text{oder} \quad t + 0,06 \sqrt{6} R \leq 24$$

repräsentiert. Und schließlich werden 98,8 % aller Dauerregen durch die Linie C mit den Gleichungen

$$t + 10 i \leq 50 \quad \text{oder} \quad t + 0,06 \sqrt{6} R \leq 50$$

erfaßt. Darüber befinden sich in der Abb. 9 noch weitere 12 Dauerregen, die sich mit einer Ausnahme während der Zeit vom 7. bis 11. Juli 1954 ereignet haben. Die Erörterung dieser bemerkenswerten Wetterlage gewinnt an Bedeutung, wenn auch noch diejenigen Wetterlagen hinzugezogen werden, die Dauerregen von mehr als 24 Stunden Länge ausgelöst haben. In der folgenden Übersicht sind diese 29 Dauerregen mit Andauer und Ort der Registrierung zusammengestellt, die sich auf 12 Zeiträume verteilen.

7. bis 11. Juli 1954

90 Stunden	50 Minuten	Dasswang
73	05	Cham
55	50	Weiden
52	35	Weißenburg
47	10	Schmausenbuck
46	05	Fürth/Nürnberg
45	40	Ansbach
39	25	Rothenburg o. d. T.
35	10	Mosenberg
33	35	Lohma
25	05	Waldsassen

Ein von Oberitalien über Ungarn nordwärts ziehendes Genuatief bringt über Bayern von Osten her aufgleitende Warmluft über der im Westen südwärts ziehenden Kaltluft. Das Besondere aber ist darüber hinaus die Beteiligung von weiteren subtropischen Warmluftmassen, die bei der über Europa gegebenen

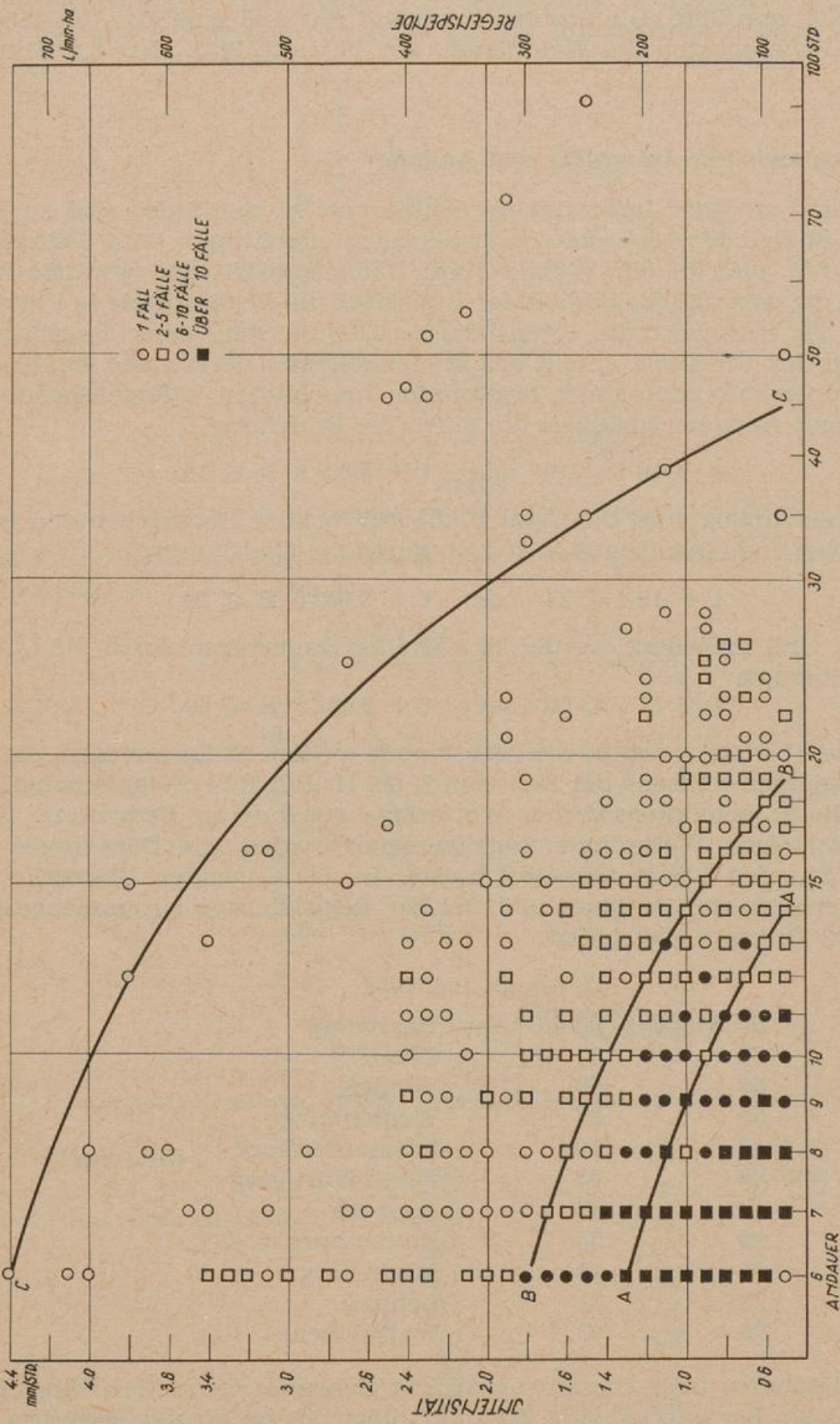


Abb. 9
 Dauerregen. Beziehung zwischen Andauer und Intensität in mm/st
 (Regenspende in l/min · ha)
 Unterhalb AA: 49,7 % f (i, t),
 unterhalb BB: 74,5 % f (i, t),
 unterhalb CC: 98,8 % f (i, t)

meridionalen Lage aus subtropischen Breiten über Rußland anfangs zur Eis-meerküste strömten, nun aber in den Strömungsbereich des über Ungarn ge-legenen Vb-Tiefs einbezogen werden und durch ihr Aufgleiten die Situation in Ost- und Südbayern mit weiteren starken Regenfällen bis zur Hochwasserkata-strophe verschärfen.

Ausführlich wurde diese einmalige Wettersituation durch Reichel (12) in meteorologischer und durch Kern-Völk (13) in gewässerkundlicher Hinsicht behandelt.

22./23. Oktober 1951

28	Stunden	00	Minuten	Ansbach
27	„	20	„	Rothenburg o. d. T.
26	„	25	„	Fürth/Nürnberg
24	„	35	„	Weißenburg

Süddeutschland liegt im Grenzgebiet zwischen den subtropischen Warmluft-massen, die von Südosten her als Folge eines Genuatiefs aufgleiten, und den von Nordwesten hereinfließenden polaren Kaltluftmassen.

27./28. Juni 1958

35	Stunden	00	Minuten	Falkenstein
27	„	50	„	Cham
25	„	35	„	Ansbach

Tief mit Kern über Norddeutschland zieht langsam ostwärts. Gleichzeitig liegt über der Adria ein Tiefdruckgebiet, welches durch aufgleitende Warmluftmassen über Süddeutschland wirksam wird.

8./9. April 1955

26	Stunden	30	Minuten	Dasswang
26	„	10	„	Fürth/Nürnberg
24	„	25	„	Schmausenbuck

Teiltief über Mitteldeutschland bei Zentraltief über Island verlagert sich lang-sam ostwärts.

4. bis 6. November 1950

51 Stunden 25 Minuten Weißenburg

Nach dem Abzug eines Sturmtiefs von Nordwestdeutschland in südöstlicher Richtung setzt als Folge eines Adriatiefs anhaltendes Aufgleiten subtropischer Warmluftmassen von Süden her über Bayern ein.

10. bis 12. Februar 1952

35 Stunden 45 Minuten Fürth/Nürnberg

Sturmtief über Dänemark mit Ausbildung von Wellen an der Kaltfront, die über Süddeutschland nach Osten ziehen.

10./11. September 1955

28 Stunden 40 Minuten Weißenburg

Nach dem Durchzug einer atlantischen Kaltfront Intensivierung eines Adria-tiefs mit aufgleitenden Warmluftmassen über Bayern.

8./9. Juni 1956

26 Stunden 15 Minuten Weiden

Ein Tiefdruckgebiet über Norddeutschland ist stationär. Als Folge eines Adriatiefs verstärkt sich der Gegensatz der über Böhmen aufgleitenden Warmluftmassen und der über Westdeutschland von Nordwesten einströmenden Kaltluft.

16./17. April 1958

26 Stunden 00 Minuten Cham

Tiefdruckrinne Skandinavien — Adria mit starkem Aufgleiten von Warmluftmassen über Böhmen und Einströmen von Kaltluft aus Norden nach Westdeutschland.

21./22. Mai 1949

25 Stunden 40 Minuten Weißenburg

Tief über Böhmen mit Aufgleitvorgängen subtropischer Warmluftmassen über Bayern.

24./25. Februar 1957

25 Stunden 20 Minuten Weißenburg

Teiltief über Norddeutschland mit Zufuhr milder Meeresluftmassen aus Westen verlagert sich langsam nordostwärts.

23./24. April 1950

24 Stunden 30 Minuten Weiden

Als Folge eines Adriatiefs gleiten über Bayern subtropische Warmluftmassen von Süden her auf bei gleichzeitigem Einfließen von Kaltluft aus Norden.

Diese Zusammenstellung der 12 Wetterlagen zeigt, daß in 9 Fällen das Aufgleiten subtropischer oder tropischer Warmluftmassen aus Süden über Bayern oder Böhmen zugleich mit dem Einfließen polarer Luftmassen von Norden her über Westdeutschland eine maßgebende Rolle spielt. Die Katastrophentage des Juli 1954 brachten diese Situation in seltener Form durch die zunehmende Kontrastierung der beteiligten Luftmassen. Stets aber weist die Druckverteilung entweder ein stationäres Tief über der Adria oder dessen Wanderung über das Wiener Becken und Böhmen in nordöstlicher Richtung auf. In den übrigen 3 Fällen (8./9. April 1955, 10./12. Februar 1952, 24./25. Februar 1957) waren ausgeprägte Tiefdruckgebiete über Norddeutschland oder Dänemark, also echte Westwetterlagen, die Ursachen der Dauerregen.

Flohn und Huttary (14) haben den Niederschlagsanteil der Vb-Lagen an den Jahresniederschlagsmengen untersucht. Ihrer Karte der relativen spezifischen Niederschlagsdichte bei Vb-Lagen kann entnommen werden, daß in Mittelfranken und der Oberpfalz mit 150 % der normalen Niederschlagsdichte diese Wetterlagen beträchtliche Regenmengen liefern. Die lange Andauer und — wie aus der Abb. 9 zu ersehen ist — auch die beträchtlichen Intensitäten bei Vb-artigen Regenfällen dürften das von Flohn und Huttary gezeichnete Bild ergänzen.

Auswertungen bayerischen Beobachtungsmaterials nach Dauerregen liegen in der Literatur genauso spärlich vor wie solche nach Starkregen. Nur von Specht werden in einem „Verzeichnis der größten Niederschläge in Bayern

innerhalb der Jahre 1899 — 1904“ (15) auch aus Mittelfranken und der Oberpfalz 14 Niederschläge von mindestens 6 Stunden Dauer angeführt, bei denen allerdings nicht ersichtlich ist, ob sie von Regenschreiberaufzeichnungen stammen. Ihre mittleren stündlichen Intensitäten werden hier mitgeteilt:

1.	7. 1900	Dinkelsbühl	6 Stunden	6,13 mm/Stde.
3.	7. 1901	Nürnberg	9	5,33
22.	7. 1900	Dinkelsbühl	11	7,68
3.	7. 1901	Nürnberg	12,5	4,04
2.	8. 1901	Schönsee	24	5,33
2.	7. 1901	Waldmünchen	24	3,47
2.	8. 1901	Haid	48	1,97
2.	8. 1901	Pechbrunn	48	1,60
2.	8. 1901	Rothenburg o. T.	48	1,39
2.	8. 1901	Nürnberg	48	1,37
2.	8. 1901	Ursprung	48	1,34
21.	3. 1901	Erlangen	48	1,33
2.	8. 1901	Pommelsbrunn	48	1,29
5.	10. 1901	Pechbrunn	144	0,70

5. Vergleiche mit den Ergebnissen anderer Arbeiten

Wussow (2) berechnete aus 517 Starkregen, die dem Material von 46 Regenschreibern des Preußischen Meteorologischen Netzes entnommen sind, mittlere Intensitäten, die in Abb. 6 durch Kreuze angedeutet sind, da sie eigentlich nicht zum Thema dieser Abbildung (maximale Intensitäten) gehören. Da bei einer Andauer von einer Stunde die Zahl der Starkregen rasch von 17 auf 4 abnimmt, kann von diesem Zeitpunkt an keine Allgemeingültigkeit mehr beansprucht werden.

Arthur H. Jennings (16) gibt eine Zusammenstellung der auf der Erde beobachteten stärksten Regenfälle für die Andauer von 1 Minute bis zu 2 Jahren, welche nachfolgend im Auszuge und auf die hier gebräuchlichen Maße der Intensitäten umgerechnet wiedergegeben wird.

Andauer	Intensität	Ort
1 Minute	16,5 mm/Min.	Opid's Camp, Kalifornien
5 Minuten	12,6	Porto Bello, Panama
8	15,8	Füssen, Bayern
14	7,2	Galveston, Texas
15	13,2	Plumb Point, Jamaika
20	10,3	Curtea de Argés, Rumänien
40	5,9	Guinea
42	7,3	Holt, Montana
60	4,2	Catskill, New York
80	3,7	Campo, Kalifornien
130	3,7	Rockport, Massachusetts
180	2,3	Concord, Massachusetts
240	2,4	Basseterre, Westindien

Ausdauer	Intensität	Ort
12 Stunden	56,3 mm/Stde.	Baguio, Philippinen
18 "	51,4 "	Thrall, Texas
24 "	48,7 "	Baguio, Philippinen
48 "	34,8 "	Funkiko, Formosa
96 "	26,9 "	Tscherrapundji, Indien
120 "	31,8 "	Tscherrapundji, Indien
144 "	21,6 "	Silver Hill Plantation, Jamaika
168 "	19,8 "	Tscherrapundji, Indien

Bis zu 180 Minuten Andauer liegen diese Weltmaximalintensitäten hauptsächlich im Bereich der subtropischen und gemäßigten Zone, darüber hinaus ausschließlich in den tropischen Gebieten. Jennings führt über eine Andauer von 168 Stunden noch weitere bis zu 2 Jahren anhaltende Regenfälle an, die allein in Tscherrapundji gemessen wurden, einem der niederschlagsreichsten Plätze der Erde mit einer Jahresniederschlagssumme von 11 621 mm (Mittel 1851 — 1920). Die Maximalintensitäten bis 240 Minuten sind in Abb. 6 eingefügt, sie betragen etwa das 3- bis 4-fache der in Nordbayern nach der hier gefundenen Umhüllenden zu erwartenden Beträge. Die weiteren, besonders die mehrtägigen Maximalregen, konnten in Abb. 9 nicht mehr berücksichtigt werden, da ihre stündlichen Intensitäten etwa das 10- bis 15-fache der in Nordbayern vorkommenden Höchstwerte darstellen. Hier tritt der grundlegende Unterschied von den monsunalen Regenfällen der Tropen mit ihren extremen Intensitäten und ihrer sich über Tage und Monate erstreckenden Andauer gegenüber den recht begrenzten zyklonalen Dauerregen der gemäßigten Zone klar zutage.

Für diese Weltmaximalintensitäten hat Robert D. Fletcher (17) eine obere Umhüllende berechnet, die durch die Gleichung $R = 14,3 \sqrt{D}$ dargestellt wird, wobei R die Regenmenge in inches und D die Andauer in Stunden bedeutet. Nach Umrechnung dieser Gleichung in Millimeter und Minuten und analoger Umformung zu der in Abschnitt 3. 3. gefundenen Maximalbedingung für Nordbayern

$$i_{\max} = \frac{1}{t} \sqrt{170 t - \frac{2}{5} t^2}$$

erhält man für die Erde

$$i_{\max} = \frac{1}{t} \sqrt{2199 t} = \frac{46,9}{\sqrt{t}}$$

Schließlich seien noch einige extreme Intensitäten bei Starkregenfällen mitgeteilt, die ebenfalls auf Schreibregennesseraufzeichnungen beruhen. Wussow (2) erwähnt den 10. 9. 1928 auf der Schneekoppe mit 2,08 mm/Min. bei 30 Minuten Andauer. Trüb (18) schildert den Gewitterregen vom 21. 6. 1954 in Winterthur mit 1,40 mm/Min. bei 93,5 Minuten Dauer. Levert (19) führt einen schweren Platzregen vom 3. 7. 1952 an, der am Regenschreiber von De Bilt eine Intensität von 1,76 mm/Min. bei 11 Minuten Dauer brachte. Roux (20) hat die Regenschreiberaufzeichnungen von 30 Stationen in Nordwestdeutschland für 1947 bis 1951 nach der Methode von Reinhold (11) ausgewertet und Regenspenden berechnet. Er gibt eine Zusammenstellung der absolut höchsten Regenfälle nach Zeitstufen an, die nachfolgend erwähnt und in Abb. 6 durch die Punktreihe (Rx) dargestellt wird:

Andauer		Intensität
1 bis	5 Minuten	4,34 mm/Min.
6	10	2,50
11	15	2,20
16	20	2,05
21	30	1,97
31	45	1,34
46	60	1,10
61	90	0,80
91	120	0,51
121	150	0,35
151	180	0,24
181	240	0,21
241	360	0,16

Diese Werte liegen sämtlich unter den von uns gefundenen Maximalwerten. Hier dürfte der orographisch bedingte Unterschied zwischen dem nordwestdeutschen Flachland mit dem schnellen und ungehinderten Durchzug der Regengebiete gegenüber der süddeutschen Gebirgs- und Hügellandschaft mit ihren Staueffekten eine nicht unerhebliche Rolle spielen.

Schließlich sei der Vollständigkeit halber noch eine Arbeit von Hartke und Ruppert (21) erwähnt, die sich mit den ergiebigen Stark- und Dauerregen in Süddeutschland befaßt. Hier werden allerdings die Begriffe „Stark- und Dauerregen“ nicht im Sinne von Wussow aufgrund der Regenschreiberaufzeichnungen definiert. Es werden vielmehr die Tagesniederschlagssummen von 1400 Stationen der Jahre 1936 bis 1950 (ohne 1945) benutzt, sofern sie 10 mm übersteigen. Das Netz der Schreibregensmesser wurde zwar zu Vergleichen herangezogen, jedoch nicht in den gezeichneten Monatskarten, die die Summen und die Häufigkeiten der ergiebigen Stark- und Dauerregen darstellen, benutzt.

Literatur

- (1) Haeuser, J.: Kurze starke Regenfälle in Bayern. Abh. Bayer. Landesstelle f. Gewässerkde. München 1919
- (2) Wussow, G.: Stark- und Dauerregen auf Grund fünfjähriger Registrierungen. Meteor. Z. **50**, 67 (1933)
- (3) Wussow, G.: Untere Grenzwerte dichter Regenfälle. Meteor. Z. **39**, 173 (1922)
- (4) Knoch, K.: Vorschlag zu einer Definition starker Regenfälle. OMI, Klimatolog. Komm. Prot. der Tagung in Salzburg 1937
- (5) Reinhold, F.: Grenzwerte starker Regenfälle. Gesundh.-Ing. **58**, 369 (1935)
- (6) Reinhold, F.: Die Auswertung der Dresdener Regenbeobachtungen 1901 bis 1932. Dresden 1935
- (7) Johannsen, H. H.: Eine einfache Darstellung der Ergebnisse von Schreibregennesseraufzeichnungen. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 54, 114 (1959)
- (8) Meynen, E. u. Schmithüsen, J.: Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Remagen 1953
- (9) Brose, K.: Monats-, Jahres- und Tagessummen des Niederschlags in Bayern bis 1950. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 17 (1955)
- (10) Dammann, W.: Der trockene Sommer 1959 im Rahmen sommerlicher Niederschlagsschwankungen seit 1890. Dt. gewässerkdl. Mitt. **4**, 3 (1960)
- (11) Reinhold, F.: Regenspenden in Deutschland. Berlin 1940
- (12) Reichel, E.: Der Hochwasserregen im Donaugebiet vom 7. bis 11. Juli 1954. Beil. zum Schnellber. Dt. Wetterd. f. Südbayern, Juli 1954
- (13) Kern, H. u. Völk, J.: Das Hochwasser im Bayerischen Donaugebiet im Juli 1954. Bayer. Landesstelle f. Gewässerkde. München 1955
- (14) Flohn, H. u. Huttary, J.: Über die Bedeutung der Vb-Lagen für das Niederschlagsregime Mitteleuropas. Meteor. Rdsch. **3**, 167 (1950)
- (15) Specht, A.: Größte Regenfälle in Bayern und ihre Verwertung für Hochwasser-Berechnungen. Abh. Kgl. Bayer. Hydrotechn. Bur. München 1905
- (16) Jennings, A. H.: Worlds greatest observed point rainfalls. Monthly Weather Rev. **78**, 4 (1950)
- (17) Fletcher, R. D.: A relation between maximum observed point and areal rainfall values. Trans. Amer. Geophys. Un. **31**, 344 (1950)
- (18) Trüeb, E.: Intensive Gewitterregen und Schlußfolgerungen auf die Bemessung von Kanalisationen und offenen Gerinnen. Gesundh.-Ing. **77**, 279 (1956)
- (19) Levert, C.: De zware slagregen op 3. 7. 1952 s avonds. Hemel en Dampkring **50**, 154 (1952)
- (20) Roux, L.: Regenspenden in Nordwestdeutschland. Wasser u. Boden **4**, 325 (1952)
- (21) Hartke, W. u. Ruppert, K.: Die ergiebigen Stark- und Dauerregen in Süddeutschland nördlich der Alpen. Bundesanst. f. Landeskde. Remagen 1959

