

Gabriele Malitz

Stark- und Extremniederschläge für wasserwirtschaftliche Anwendungen

Die Bilder aus Überflutungsgebieten verdeutlichen, dass der Analyse der zeitlichen und räumlichen Verteilungscharakteristika von Starkniederschlägen und deren langzeitlicher Variabilität einerseits große Bedeutung bei der Erforschung von Veränderungen des Wasserkreislaufs zukommt. Andererseits schafft sie auch wesentliche Grundlagen für die Konzeption wasserwirtschaftlicher Maßnahmen, wie z. B. die Dimensionierung der Grundstücksentwässerung oder die Rekonstruktion von Talsperren zum Schutz vor Hochwasser.

Im Konsens mit den wasserwirtschaftlichen Anwendern ist unter einem Starkniederschlagsereignis ein Niederschlagsabschnitt zu verstehen, der im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Niederschlagsintensität aufweist und dementsprechend relativ selten auftritt – höchstens zweimal pro Jahr. Starkniederschlagshöhen werden in Abhängigkeit von der Dauerstufe (Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen) D und der Jährlichkeit (Wiederkehrzeit) T bzw. der Überschreitungshäufigkeit $1/T$ quantifiziert. So gelten in Füssen (Ostallgäu) 9 l/m^2 Niederschlag in einer Stunde (ggf. einschließlich Unterbrechungen) noch nicht als Starkniederschlag. Dagegen ist in Potsdam ein Stundenwert der Niederschlagshöhe von 9 mm als Starkniederschlag zu werten, mit dem in Potsdam im Mittel zweimal pro Jahr gerechnet werden muss.

Es gibt Unterschiede zwischen der Analyse starker konvektiver Niederschlagsereignisse und der Beurteilung beträchtlicher Dauerregen. Für die extremwertstatistischen Analysen im Rahmen der *koordinierten Starkniederschlagsregionalisierungs-Auswertungen* wurden aus den Zeitreihen der Niederschlagshöhe die – jährlichen und partiellen – Serien, d. h. der Größe nach geordnete Einzelwerte, gebildet. Es wurde eine Vielzahl von Verteilungsfunktionen untersucht. Dabei erwiesen sich die Extremal-I-Verteilung (Gumbel-Verteilung) für die an zahlreichen Stationen einmal täglich gemessenen Niederschläge (jährliche Serien) und die Exponentialverteilung für die aus Nieder-

schlagsschreiberaufzeichnungen gewonnenen, höher aufgelösten Niederschläge (partielle Serien) als am besten geeignet für die Ermittlung der bundesweit gültigen KOSTRA-Werte. Mit KOSTRA-DWD-2000 (Basiszeitraum 1951-2000) wurden die 1997 im KOSTRA-Atlas publizierten, extremwertstatistisch ermittelten Starkniederschlagshöhen ersetzt. Die neuen Ergebnisse schreiben in Abhängigkeit von D (5 min bis 72 h) und T (0,5 a bis 100 a) konsequent die Aussagen zu KOSTRA-DWD (Basiszeitraum 1951-1980) fort: Die flächendeckenden Punktaussagen entsprechen in ihrer Struktur, Darstellung und Handhabung den gewohnten Abläufen. Die Ergebnisse werden in Rasterdarstellungen mit einer Auflösung von 8,45 km mal 8,45 km pro Rasterfeld präsentiert. Die KOSTRA-Gleichung für jede Dauerstufe D in Abhängigkeit von der Jährlichkeit T, wobei u und w die Parameter der Verteilungsfunktion bezeichnen, lautet:

$$h_N(D;T) = u(D) + w(D) \cdot \ln T$$

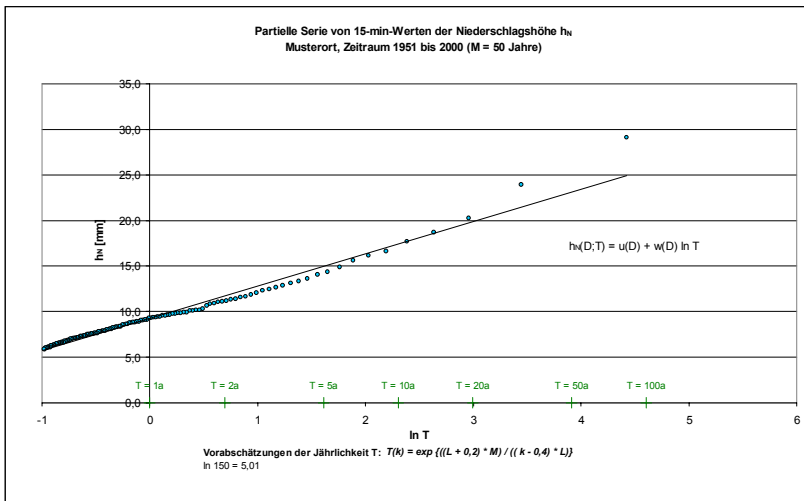


Abb. 1: Beispiel für die grafische Ermittlung der Parameter u und w auf der Basis der partiellen Serie für Niederschlagshöhen der Dauerstufe $D = 15$ min

Jede Niederschlagshöhe $h_N(D;T)$, angegeben in mm, ist in die entsprechende in der Wasserwirtschaft gebräuchliche Niederschlagsspende $R_N(D;T)$, Quotient aus dem Volumen des in einer bestimmten Zeitspanne auf eine bestimmte Fläche gefallenen Niederschlags und dem Produkt aus dieser Zeitspanne und dieser Fläche (in $l/(s \cdot ha)$), umwandelbar (mit D in Minuten angegeben):

$$R_N(D;T) = h_N(D;T) \cdot 166,67/D$$

Wie die Parameter u und w grafisch zu ermitteln sind, wird in der Abb. 1 demonstriert.

In einer Stichprobe vom Umfang $L = 50$ (z. B. 1951 bis 2000) erhält man den ersten (größten) und den 50sten (kleinsten) Messwert als Vorabschätzungen der Jährlichkeit $T^*(1) = 83,67$ a und $T^*(50) = 1,01$ a. Vor Beginn der eigentlichen Verteilungsanpassung wird demnach für die größte, in 50 Jahren gemessene Niederschlagshöhe eine Jährlichkeit von etwa $T = 84$ a ermittelt. Die Werte der Serie werden – ihrer Größe nach geordnet – an ihren jeweiligen „plotting positions“ in das Koordinatensystem mit dem natürlichen Logarithmus der Jährlichkeit T auf der Abzisse eingetragen. Die Verteilungsfunktion ergibt sich als eine Regressionsgerade. Der Parameter u ist der Ordinatenabschnitt für $\ln T = 0$, der Parameter w bedeutet die Steigung der Ausgleichsgeraden. Pro Dauerstufe D ist der Parameter $u(D)$ gleich der Starkniederschlagshöhe für die Jährlichkeit $T = 1$ a.

Die Verteilungsparameter der punktuellen Einzelauswertungen geben naturgemäß nicht über alle Dauerstufen von 5 min bis 72 h ein widerspruchsfreies Bild. Für die praktische Anwendung muss jedoch gewährleistet sein, dass Niederschlagshöhen mit wachsender Niederschlagsdauer und ansteigender Jährlichkeit nicht abnehmen. Daher wird ein geeigneter Parameterausgleich durchgeführt. Ob als linearisierende Transformation

- der hyperbolische Parameterausgleich,
- der einfachlogarithmische Parameterausgleich oder
- der doppeltlogarithmische Parameterausgleich

angewandt wird, richtet sich nach den geringsten Abweichungen zu den nicht ausgeglichenen Parametern.

Bei KOSTRA-DWD-2000 sind die Starkniederschlagshöhen für $D < 15$ min wegen des hyperbolischen Parameterausgleichs im Bereich kleiner Dauerstufen (bis $D = 60$ min) etwas geringer als bisher. Zu teilweise deutlichen Veränderungen kam es insbesondere bei Dauerstufen von $D > 12$ h: Insbesondere winterliche Starkniederschläge nehmen bei höheren Jährlichkeiten in einigen Regionen Deutschlands zu. Sommerliche Starkniederschläge bleiben tendenziell gleich. Wo sich eine Tendenz zu mehr Trockenheit im Sommer abzeichnet, können dennoch episodisch intensive Starkniederschläge auftreten.

Das für den wasserwirtschaftlichen Anwender wichtigste Ergebnis von KOSTRA-DWD-2000 ist die – unter Berücksichtigung von Toleranzangaben zwischen ± 10 und ± 20 Prozent – Ermittlung von standortbezogenen Starknie-

derschlagstabellen mit quantitativen Angaben zu Starkniederschlagshöhen und -spenden in Abhängigkeit von der Dauerstufe D (von 5 min bis 72 h) und der Jährlichkeit T (von 0,5 a bis 100 a), wie in der Tabelle 1 dargestellt. Wer für die Auslegung einer Dachentwässerungsanlage verantwortlich ist, nutzt die Werte für $D = 5$ min. Die kommunalen Entwässerungssysteme werden mithilfe der örtlichen Regenspende $R_N(D;T)$ mit $D = 15$ min und $T = 1$ a bemessen. Die Dimensionierung von Regenrückhaltebecken und Speicherbauten erfolgt mithilfe der Starkniederschlagshöhen für Dauerstufen im Mehrstundenbereich bei (mindestens) zweistelligen Jährlichkeiten.

Die Extremwerte der Niederschlagshöhe für die Zeitspanne Winter basieren auf Messungen sowohl flüssiger als auch fester Niederschläge, wobei der als Schnee gefallene Niederschlag vor der Bestimmung der Niederschlagshöhe verflüssigt wird. In der Natur geht der Schneeniederschlag i.d.R. nicht sofort in die flüssige Phase über. Ehe er zum Abfluss gelangt, bleibt er zeitweilig in der Schneedecke gespeichert. Die Summe aus Regen und Schmelzwasserabgabe wird als Niederschlagsdargebot bezeichnet. Die Werte des Niederschlagsdargebots geben den hydrologisch wirksamen Betrag an, der für die Abflussbildung entscheidend ist [2].

Niederschlagswerte sind Messergebnisse; Niederschlagsdargebote werden mit Hilfe von Modellen ermittelt. Das Schneedeckenmodell SNOW-K ermöglicht durch die kontinuierliche Simulation der Schneedeckenentwicklung die tägliche Berechnung der Wasserabgabe aus der Schneedecke unter Berücksichtigung des flüssigen Niederschlags. Die Optimierung der Modellparameter und die Verifizierung der abgeleiteten Ergebnisse erfolgt stationsbezogen anhand aller verfügbaren Messwerte des Wasseräquivalents der Schneedecke. Die so errechneten täglichen Werte des Niederschlagsdargebots im Basiszeitraum 1961/62 bis 1990/91 wurden im Projekt REWANUS (Regionalisierte Extremwerte des Niederschlagsdargebots aus Regen und Schneeschmelze) in Anlehnung an die KOSTRA-Untersuchungen einer extremwertstatistischen Analyse unterzogen. Als Ergebnis der REWANUS-Untersuchungen stehen flächendeckend Extremwerte des Niederschlagsdargebots im hydrologischen Winterhalbjahr für Dauerstufen von 12 h bis 240 h bei Jährlichkeiten bis 100 Jahre zur Verfügung (gemäß KOSTRA-Raster). Für die REWANUS-Werte gilt eine Fehlertoleranz von ± 20 Prozent. Treffen beim Abbau der Schneedecke die darin gespeicherten Niederschläge mit starkem Regen zusammen, können Extremwerte auftreten, die größer als die winterlichen KOSTRA-Werte sind. Daher haben bei Planungsentscheidungen bzgl. des Winterhalbjahrs die REWANUS-Werte bei Aussagen über

T	0,5		1		2		5		10		20		50		100	
	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN
5 min	3,6	118,6	5,1	168,9	6,6	219,2	8,6	285,8	10,1	336,1	11,6	386,5	13,6	453,0	15,1	503,4
10 min	6,0	99,6	8,1	134,8	10,2	170,1	13,0	216,7	15,1	251,9	17,2	287,1	20,0	333,7	22,1	368,9
15 min	7,5	83,6	10,1	112,2	12,7	140,8	16,1	178,6	18,7	207,2	21,2	235,8	24,6	273,6	27,2	302,2
20 min	8,6	71,4	11,5	96,1	14,5	120,8	18,4	153,4	21,4	178,0	24,3	202,7	28,2	235,3	31,2	259,9
30 min	9,8	54,6	13,4	74,7	17,0	94,7	21,8	121,1	25,4	141,1	29,0	161,2	33,8	187,6	37,4	207,6
45 min	10,7	39,7	15,1	55,9	19,5	72,2	25,3	93,7	29,7	109,9	34,1	126,1	39,9	147,6	44,2	163,9
60 min	11,1	30,7	16,1	44,7	21,1	58,7	27,8	77,2	32,9	91,2	37,9	105,3	44,6	123,8	49,6	137,8
90 min	12,5	23,1	18,0	33,3	23,5	43,5	30,8	57,0	36,3	67,2	41,8	77,3	49,0	90,8	54,5	101,0
2 h	13,6	18,9	19,4	27,0	25,3	35,1	33,0	45,9	38,9	54,0	44,8	62,2	52,5	72,9	58,4	81,1
3 h	15,3	14,2	21,7	20,1	28,1	26,0	36,5	33,8	42,9	39,8	49,3	45,7	57,8	53,5	64,2	59,4
4 h	16,6	11,6	23,5	16,3	30,3	21,0	39,3	27,3	46,1	32,0	52,9	36,7	61,9	43,0	68,7	47,7
6 h	18,7	8,7	26,2	12,1	33,6	15,6	43,4	20,1	50,9	23,6	58,3	27,0	68,1	31,5	75,6	35,0
9 h	21,1	6,5	29,2	9,0	37,3	11,5	48,1	14,8	56,2	17,3	64,3	19,8	75,0	23,2	83,2	25,7
12 h	23,0	5,3	31,6	7,3	40,2	9,3	51,7	12,0	60,3	14,0	68,9	16,0	80,4	18,6	89,0	20,6
18 h	24,8	3,8	34,3	5,3	43,8	6,8	56,3	8,7	65,7	10,1	75,2	11,6	87,7	13,5	97,2	15,0
24 h	26,9	3,1	37,2	4,3	47,5	5,5	61,1	7,1	71,4	8,3	81,8	9,5	95,4	11,0	105,7	12,2
48 h	35,4	2,0	46,0	2,7	56,6	3,3	70,7	4,1	81,3	4,7	92,0	5,3	106,1	6,1	116,7	6,8
72 h	40,2	1,5	51,5	2,0	62,8	2,4	77,8	3,0	89,2	3,4	100,5	3,9	115,5	4,5	126,8	4,9

Tab. 1: KOSTRA-DWD-2000-Starkniederschlagshöhen hN (in mm) und -spenden RN (in l/(s-ha)) für einen Beispielstandort in Abhängigkeit von der Dauerstufe D und der Jährlichkeit T (Januar bis Dezember)

die Eintrittswahrscheinlichkeit von Extremwerten des Niederschlagsdargebots vor allem in den schneehydrologisch relevanten Gebieten eine erhebliche Bedeutung. Das trifft insbesondere auf Gebiete in mittleren und höheren Lagen der Gebirge (> 400 m) zu, wo die REWANUS-Werte die winterlichen KOSTRA-Werte um 20 bis 80 Prozent übersteigen.

Die KOSTRA- und REWANUS-Werte bis einschließlich $T = 100$ a sind extremwertstatistische Ergebnisse. Zur Ermittlung der theoretisch maximalen Niederschlagshöhe, die innerhalb einer bestimmten Dauer, in einem bestimmten Gebiet und zu einer Jahreszeit unter unveränderten Klimabedingungen physikalisch möglich ist, gibt es im Wesentlichen drei Möglichkeiten – mittels statistischer Methoden, mithilfe deterministischer physikalischer Modelle oder – wie 1986 von der WMO empfohlen [3] – durch eine empirische, sachverständig vorgenommene Bewertung meteorologischer Daten.

Der letztgenannte Weg wurde im Deutschen Wetterdienst beschritten: Zur Abschätzung der vermutlich größten Niederschlagshöhen wurden punktuell gemessene Starkniederschläge mit einem erhöhenden Faktor MaxWc/Wc multipliziert. Dieser Faktor drückt das bezüglich Gebiet und Jahreszeit zutreffende Verhältnis des theoretisch maximalen Wasserdampfgehaltes MaxWc der Atmosphäre zu dem Wassergehalt Wc aus, der während eines beobachteten Starkniederschlagsereignisses bestimmter Dauer in der Atmosphäre vorhanden ist. Aus dem ersten Bearbeitungsschritt resultierte eine Vielzahl vergrößerter punktueller Niederschlagshöhen für Dauerstufen von 1 h bis 72 h an den Stationen mit hoch aufgelösten Niederschlagsreihen. Hieraus wurden die regional ausgeglichenen maximierten Punkt-Niederschlagshöhen MPN und – in einem weiteren Bearbeitungsschritt – die aus Niederschlagshöhe-Dauer-Fläche-Beziehungen gewonnenen Gebietswerte MGN entwickelt. Sie wurden regionalisiert und in Karten der maximierten Gebietsniederschlagshöhen MGN für die Dauerstufen 1 h, 6 h, 12 h bis 72 h und die Gebietsgrößen 25, 100, 500 und 1.000 km^2 veröffentlicht [4].

Während sich die aus der „Regionalisierung maximierter Gebietsniederschlagshöhen in der Bundesrepublik Deutschland“ stammenden MGN-Werte schwerpunktmäßig auf Niederschlagsdauern von weniger als 24 Stunden und auf Gebietsgrößenstufen von maximal 1.000 km^2 beziehen, wurde das Verfahren im Projekt NIEFLUD (Außerordentlich extreme Niederschlagshöhen in den Flussgebieten Deutschlands) in Richtung mehrtägiger Dauer und größerer Gebiete ausgeweitet, wobei eine an die größeren Raum- und Zeitskalen angepasste, veränderte Methodik Anwendung fand. Grundlage des Verfahrens zur Maximierung der Niederschlagshöhen war ebenfalls die von der WMO 1986 empfohlene Methodik. Da für die Flussgebiete keine Andauern

von unter einem Tag zu berücksichtigen waren, entfiel die Beschränkung auf die Niederschlagsschreiberaufzeichnungen. Es konnte auf den immensen Datenfonds der Tageswerte der Niederschlagshöhe aus einem längeren Beobachtungszeitraum (oft 60, teilweise 100 Jahre) zurückgegriffen werden. Die hohe räumliche Dichte dieser Niederschlagsstationen gestattete, die im Projekt MGN praktizierte Vorgehensweise so zu verändern, dass zunächst aus den gemessenen Niederschlagshöhen die Gebietsniederschlagshöhen für variable Flussgebietsgrößen und jede Dauerstufe berechnet wurden. Große Gebietsniederschlagshöhen dienen dann als Eingangsgrößen für die bereits im Projekt MGN angewandte Methode der Wassergehaltsmaximierung, siehe Beispiel in Tabelle 2. In der Tabelle 3 sind die NIEFLUD-Richtwerte für außerordentlich extreme Niederschlagshöhen (in mm) in Abhängigkeit von der Dauerstufe D (in Tagen) in Flussgebieten Deutschlands aufgeführt. Aus der Tabelle 3 geht beispielsweise hervor, dass bei einem rund 1.000 km² großen Flussgebiet von ca. 200 mm als außerordentlich extremer Gebietsniederschlagshöhe ausgegangen werden sollte. Zum Vergleich: In dem 163 km² großen Einzugsgebiet der Wilden Weißeritz in Sachsen wurde für die Dauerstufe 24 Stunden vom Morgen des 12.08.2002 bis zum Morgen des 13.08.2002 eine Gebietsniederschlagshöhe von 224 mm verzeichnet.

Flussgebiet:	Obere Elbe					
Gebietsgröße:	4259 km ²					
Jahreszeit:	Sommer					
Dauerstufe:	5 Tage					
Reihenlänge:	68 Jahre					
<ul style="list-style-type: none"> • regionaler saisonaler maximaler Taupunkt (MaxTd):20,9°C • ereignisbezogener repräsentativer Taupunkt (RprTd) • maximaler Wassergehalt der Atmosphäre (MaxWc):52,6 mm • Wassergehalt der Atmosphäre pro Ereignis (Wc) Faktor = MaxWC/WC • aus Messwerten berechnete Gebietsniederschlagshöhe ($h_{N,mess}$) • Vielfaches der berechneten Gebietsniederschlagshöhe ($h_{N,viel}$) $h_{N,viel} = \text{Faktor} \cdot h_{N,mess}$ 						
Rang	Enddatum	$h_{N,mess}$ [mm]	RprTd [°C]	Wc [mm]	Faktor (gerundet)	$h_{N,viel}$ [mm]
1.	1954/07/11	159,6	12,9	28,2	1,9	298,1
2.	1983/08/05	154,8	12,5	27,2	1,9	299,5
3.	1937/07/14	152,9	11,6	24,8	2,1	324,9
4.	1978/08/11	131,6	14,6	33,0	1,6	209,5

Tab. 2: Formblatt-Datei zur Erhöhung von Werten der Gebietsniederschlagshöhe pro Flussgebiet am Beispiel des Flussgebiets Obere Elbe

Flussgebietsgröße	D = 1 d	D = 2 d	D = 3 d	D = 4 d	D = 5 d	D = 7 d	D = 10 d	D = 15 d
kleine Gebiete (< 5.000 km ²)	200	250	275	300	325	350	400	450
kleine Gebiete in starkniederschlags-schwachen Regionen	150	200	225	250	275	300	325	350
mittelgroße Gebiete (5.000 km ² ... 15.000 km ²)	175	225	250	275	300	325	375	400
große Gebiete (> 15.000 km ²)	125	175	200	225	250	275	300	325

Tab. 3: Richtwerte außerordentlich extremer Gebietsniederschlagshöhen (in mm) für verschiedene Dauerstufen D in Flussgebieten Deutschlands

Bis heute stehen für die Belange der hydrologischen Praxis, z. B. Bau von Talsperren oder Regenrückhalteräumen, erst die Ergebnisse der Projekte KOSTRA und MGN zur Verfügung. Während mit den KOSTRA-Werten der Bereich der jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit bis 1 % erfasst wird, sind die MGN-Werte die Schätzung der vermutlich größten Niederschlagshöhen, wobei eine Aussage zur Eintrittswahrscheinlichkeit prinzipiell nicht möglich ist. Dazwischen liegt ein großes Spektrum von für die wasserwirtschaftliche Praxis relevanten, extremen Niederschlagshöhen. Für die Dimensionierung von Talsperren sind extreme Starkniederschlagshöhen großer Dauerstufen bei geringerer Eintrittswahrscheinlichkeit als 1 % gefragt. Außerhalb des Deutschen Wetterdienstes wird derzeit ein vereinfachtes, praxisorientiertes Verfahren zur Bestimmung der Niederschlagshöhen für $T = 1.000$ a und $T = 10.000$ a entwickelt (PEN-Werte) – aus der Weiterführung einer modifizierten „KOSTRA-Verteilung“.

Für Jährlichkeit von $T \gg 100$ a ist ein Ende der Entwicklungsarbeiten noch nicht abzusehen. Die wirklich seltenen Ereignisse folgen einer anderen Verteilung als die Ereignisse mit Eintrittshäufigkeiten größer 1 %. Verteilungsfunktionen für seltene Ereignisse haben einen stärkeren Anstieg. Weitere Überlegungen gelten der Quantifizierung der vermutlich größten Niederschlagsdargebote in Deutschland. Die Hydrometeorologen richten alle Anstrengungen auf die Erarbeitung quantitativer, in der wasserwirtschaftlichen Praxis benötigter Angaben. Alle Aussagen müssen jedoch vor dem Hintergrund von Klimaänderungen regelmäßig auf den Prüfstand gestellt werden.

Literatur

- [1] Bartels, H., G. Malitz, S. Asmus, F. M. Albrecht, B. Dietzer, T. Günther, H. Ertel (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland, (KOSTRA-Atlas). Deutscher Wetterdienst – Hydrometeorologie, Offenbach, Selbstverlag
- [2] Rachner, M., G. Schneider: Ermittlung extremer Werte des Niederschlagsdargebotes aus Schneeschmelze und Regen auf der Grundlage der langjährigen Potsdamer Reihe. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 36, 1992, S. 115–119
- [3] WMO, 1986: Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. Operational Hydrology 332, Report No. 1, Second Edition, Geneva
- [4] DVWK-Mitteilungen, 1997: Maximierte Gebietsniederschlagshöhen für Deutschland. Heft 29, Bonn, 112 S.