


Ergebnisse österreichischer Aktivitäten im Internationalen Hydrologischen Programm (IHP) 1981–1990			Redaktion: Walter Kollmann & Albert Daurer	
	Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.	ISSN 0253-097X ISBN 3-912-300312-84-2	Band 14	S. 43–52
			Wien, Februar 1993	

## Räumliche und zeitliche Struktur von Niederschlagsereignissen\*)

Von HEINZ BERGMANN\*\*)

Mit 9 Abbildungen und 1 Tabelle

Österreichische Karte 1 : 50.000  
Blätter 135, 136

Österreich  
Steiermark  
Niederschlag  
Zeitvariable Daten  
Ereignisstruktur  
Bemessungsereignisse  
Gebietsniederschlag

### Inhalt

Zusammenfassung .....	43
Abstract .....	43
1. Einleitung .....	44
2. Niederschlagsdaten .....	44
3. Zeitliche Analyse des Niederschlages .....	45
3.1. Zeitliche Analyse des Niederschlages .....	45
3.2. Zeitliche Ereignistypen .....	45
3.3. Vergleich der zeitkonstanten und der zeitvariablen Methode .....	47
4. Räumliche Analyse des Niederschlages .....	47
4.1. Ermittlung der räumlichen Niederschlagsverteilung .....	47
4.2. Niederschlagsdynamik .....	49
5. Modellniederschlagsereignisse .....	49
6. Zusammenfassung der Ergebnisse .....	51
Literatur .....	52

### Zusammenfassung

Der Beitrag befaßt sich mit der Analyse von Niederschlagsereignissen nach räumlichen und zeitlichen Gesichtspunkten. Als Grundlage dienen die zeitvariabel aufgezeichneten Niederschlagsdaten im hydrologischen Versuchsgebiet Pöllau (Steiermark). Für die Ermittlung zeitlicher Ereignistypen werden die neu entwickelten Methoden der Zeitschrittstatistik und der zeitfreien Ereignischarakterisierung verwendet. Für die räumliche Analyse wird das ebenfalls neu entwickelte Einflußfunktionenverfahren angegeben. Die Ergebnisse der Untersuchungen dienen als Grundlage für die Ermittlung von ereignisbezogenen Bemessungsdaten für den Gebietsniederschlag eines Einzugsgebietes.

### Space and Time Structure of Precipitation Events

#### Abstract

The paper deals with space and time related analysis of precipitation events. The investigations are based on time- variably recorded precipitation data of the hydrological research area of Pöllau (Styria/Austria). For determining time types of precipitation events the new-developed methods of time step statistics and time-independent event characterization are used. Concerning space-related analysis the also new-developed influence function method is shown. The results of the investigations serve as a basis for the evaluation of precipitation event-related design data for catchment areas.

\*) Die Arbeit wurde im Rahmen des Programmes HYDROLOGIE ÖSTERREICHS, Projekt HÖ29, 1982–1987, „Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Struktur von Niederschlagsereignissen in einem hydrologischen Versuchsgebiet und deren Auswirkung auf den Abfluß“, erstellt.

\*\*\*) Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. HEINZ BERGMANN, Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie der Technischen Universität Graz, Mandellstraße 9/I, A-8010 Graz.

## 1. Einleitung

Seit dem Jahre 1979 wird vom Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie der Technischen Universität Graz in der Pöllauer Bucht/Oststeiermark ein hydrologisches Versuchsgebiet betrieben, in welchem ein Sondernetz des Hydrographischen Dienstes Österreichs eingerichtet worden ist. Die Niederschlagsmeßgeräte sind mit Wippen ausgestattet und erfassen entgegen der konventionellen Methode konstante Niederschlagsmengen in variablen Zeitschritten. Damit wird nicht nur eine wesentliche Erhöhung des Auflösungsvermögens der Niederschlagsdaten im Starkregenbereich bei einem erheblich geringeren Speicherbedarf, sondern auch ein ungleich höherer Informationsgehalt der Grunddaten erreicht, wodurch eine charakteristische Kennzeichnung und eine EDV-gerechte Auswertung räumlich und zeitlich strukturierter Niederschlagsereignisse überhaupt erst möglich wurde.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen, welche vom Hydrographischen Zentralbüro beim österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft beauftragt worden waren (BERGMANN et al., 1988), stand das „Niederschlagsereignis“, welches in der Fachliteratur sehr unterschiedlich definiert wird und dessen Begriff in der vorliegenden Arbeit allgemein als ein nach Menge, Raum und Zeit begrenzter Niederschlag festgelegt wird. An einem bestimmten Ort der Erdoberfläche wird ein Niederschlagsereignis als der zeitliche Verlauf (Ganglinie) einer Beobachtungsgröße (Höhensumme) erfaßt und muß für eine quantitative Auswertung durch geeignete Merkmale (Dauer, Höhe, Intensität, Extremwerte) gekennzeichnet

werden. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Wahl eines geeigneten Zeitmerkmals, da die Ermittlung der Niederschlagsdauer, d.h. die Angabe eines genauen Zeitpunktes für den Beginn und das Ende des Niederschlagsereignisses erfahrungsgemäß mit großen Unsicherheiten verbunden ist.

Die Niederschlagsdauer steht naturgemäß in einem engen Zusammenhang mit dem allgemeinen Witterungsablauf, in welchem die Summe der Zeiten, zu denen Niederschlag fällt, also die Gesamtdauer aller Niederschlagsereignisse, sehr viel kürzer ist als die Summe der Zeiträume zwischen den Niederschlagsereignissen. Faßt man nämlich den langfristigen Witterungsablauf als eine hydrologische „Ereigniskette“ auf, in der sich als „Glieder“ Niederschlagsereignisse und Niederschlagspausen abwechselnd aneinanderreihen, so kann man anstatt der Dauer der Niederschlagsereignisse die Dauer der Niederschlagspausen heranziehen, um den vorausgehenden und den nachfolgenden Niederschlag als zwei voneinander getrennte Ereignisse zu bestimmen. Da sich die genaue Feststellung jenes Zeitpunktes, zu dem ein Niederschlagsereignis beginnt oder endet, der exakten Meßbarkeit entzieht, sind Meßdaten zur Bestimmung der Niederschlagsdauer umso besser geeignet, je höher sie bei gleicher Auflösung der gemessenen Mengeneinheit zeitlich aufgelöst sind.

Die im Versuchsgebiet Pöllau installierten Niederschlagsmeßgeräte weisen eine Mengenauflösung von  $5 \text{ cm}^3$  entsprechend einer Niederschlagshöhe von  $0,1 \text{ mm}$  und eine Zeitauflösung von 1 Sekunde auf. Sie registrieren konstante Niederschlagshöhen in variablen Zeitschritten, wobei jeweils der Zeitpunkt des Wippenumschlages (Echtzeit mit Tag und Tagessekunde) aufgezeichnet wird, welcher gleichzeitig das einzige Merkmal der zeitvariabel gemessenen Niederschlagsdaten darstellt.

## 2. Niederschlagsdaten

Das hydrologische Versuchsgebiet Pöllau (Abb. 1) liegt zentral im übergeordneten Einzugsgebiet der Lafnitz und repräsentiert die hydrologischen Bedingungen des Mittelgebirges an der Ostabdachung der Alpen (BERGMANN, 1982). Es umfaßt eine Einzugsgebietsfläche von  $58,3 \text{ km}^2$  und liegt in einer Höhe zwischen  $399 \text{ m ü.A.}$  und  $1280 \text{ m ü.A.}$  (STUBENVOLL, 1982). Das automatische Meßnetz besteht aus einer zentralen Klimastation, sieben Niederschlagsmeßstationen und drei Pegelstationen.

Die gemessenen Niederschlagsdaten werden korrigiert und als „Grunddaten“ auf elektronischen Datenträgern gespeichert. Sie sind außerdem in Form von Jahresübersichten zusammengestellt. Die vorhandene Software erlaubt einen raschen Zugriff zum Datenarchiv.

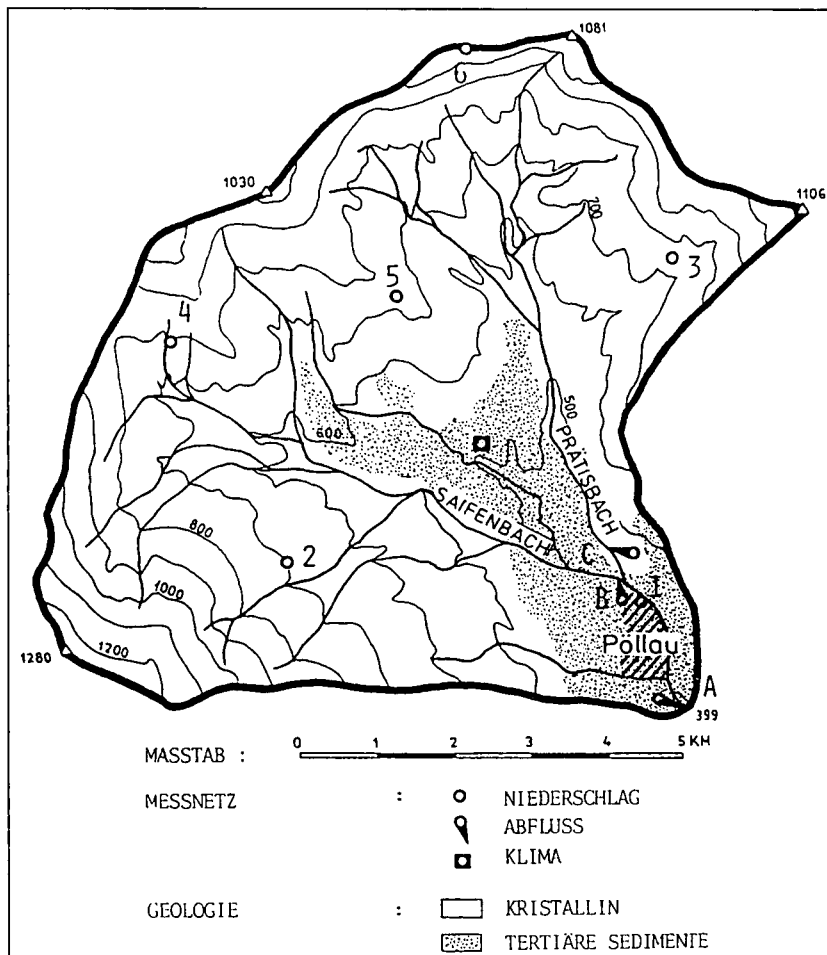


Abb. 1. Hydrologisches Versuchsgebiet Pöllau (Oststeiermark).

### 3. Zeitliche Analyse des Niederschlages

Die Struktur von Niederschlagsereignissen ist durch bestimmte Merkmale zu kennzeichnen, wobei die Festlegung eines Zeitmerkmals von besonderer Bedeutung ist.

#### 3.1. Zeitliche Abgrenzung von Niederschlagsereignissen

Durch statistische Auswertung der zeitvariablen Niederschlagsdaten wurde ein neuer Weg zur Abgrenzung von Niederschlagsereignissen beschritten. Dazu wird als statistisches Merkmal des Datenkollektivs die als Zeitschritt bezeichnete Zeitdifferenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wippenumschlägen verwendet. Als „Stichprobe“ wird die Gesamtzahl aller Zeitschritte eines Kalenderjahres an einer Meßstation („Stationsjahr“) festgelegt. Die Häufigkeitsanalyse zeigt, daß die Zeitschritt-kollektive ein außerordentlich signifikantes statistisches Verhalten aufweisen, weshalb weitere wahrscheinlichkeitstheoretische Untersuchungen zur Bestimmung der Ereignisdauer durchgeführt wurden. Dabei war jedoch zu bedenken, daß ein einzelner Zeitschritt im Witterungsablauf zwei elementar verschiedene Vorgänge bedeuten kann: während eines Niederschlages ist eine Zeitschrittlänge jene Dauer, die benötigt wird, um der Niederschlagsintensität entsprechend die Schale der Meßwippe zu füllen; nach Beendigung des Niederschlages beinhaltet die Zeitschrittlänge zusätzlich noch die dem Ereignis folgende Niederschlagspause bis zum Beginn des nachfolgenden Niederschlages.

Diese beiden auf Grund ihrer unterschiedlichen Ursachen verschiedenen Gruppen von Zeitschritten spiegeln sich sehr deutlich in der Verteilungsstruktur des Zeitschritt-kollektivs wieder (Abb. 2). Die Verteilung der ausschließlich durch den Niederschlag selbst gekennzeich-

neten Zeitschrittgruppe zeigt einen signifikant anderen Verlauf als die Verteilung jener Gruppe, deren Zeitschritte auch Niederschlagspausen enthalten.

Wie Abb. 2 zu entnehmen ist, treten im Verlauf der Verteilungskurve mehrere Richtungsänderungen auf, unter welchen jene zwischen 0,5 und 2 Stunden, beziehungsweise zwischen 3 und 6 Tagen deutliche Knickpunkte erkennen lassen, sodaß drei signifikante Witterungsbereiche unterschieden werden können. Der erste Bereich umfaßt alle jene Zeitschritte, die durch das Füllen und Entleeren der Wippenschale kontinuierlichen Niederschlag (d.h. ein „Niederschlagsereignis“) kennzeichnen. Der daran anschließende Bereich umfaßt Zeitschritte, deren Dauer dem Unterbrechungszeitraum zwischen zwei Einzelereignissen (d.h. einer „Niederschlagspause“) entspricht. Der dritte Bereich, der bereits Niederschlagsunterbrechungen von mehreren Tagen enthält, zeigt einen deutlich anderen Verlauf als der vorausgehende und stellt die im Jahresablauf auftretenden Trockenperioden („Schönwetterzeiten“) dar.

Mit Hilfe der Zeitschrittanalyse ist es nunmehr möglich, zwischen kontinuierlichem Niederschlag und Unterbrechungszeitraum unterscheiden und damit eine Abtrennung von Niederschlagsereignissen vornehmen zu können. Eine automatische Abtrennung setzt allerdings die Festlegung eines konkreten Abtrennungszeitschrittes voraus. Auf Grund von weiteren wahrscheinlichkeitstheoretischen Untersuchungen wurde in Übereinstimmung mit Literaturangaben als einheitliches Abgrenzungskriterium ein Zeitschritt von zwei Stunden festgelegt.

#### 3.2. Zeitliche Ereignistypen

Für die Analyse von Niederschlagsereignissen ist deren Gruppierung nach Ereignistypen erforderlich. Die Einteilung in Zeittypen kann je nach dem zugrundegelegten Kriterium nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen. Als zielführende Methode hat sich die Anwendung des im

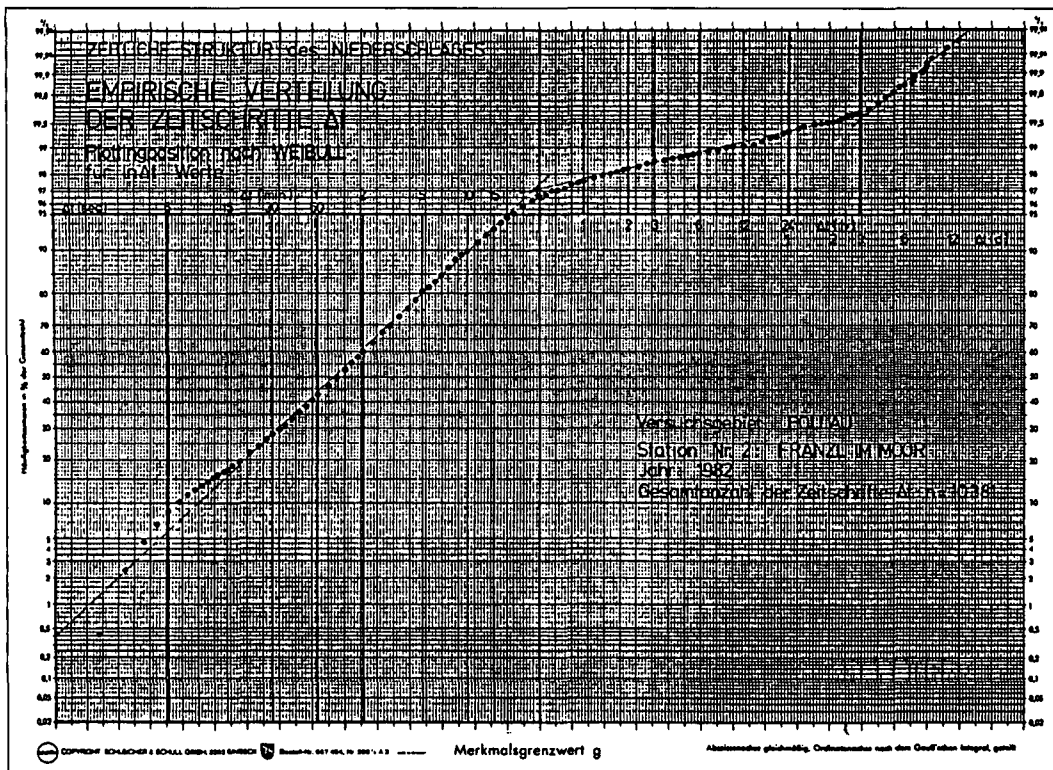


Abb. 2. Empirische Verteilung der Zeitschritte eines Stationsjahres.

Abb. 3.  
Intensitätssummendiagramm.

Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten „Intensitätssummendiagrammes“ (ISD) erwiesen (STUBENVOLL, 1985). Darunter ist die zeitfreie Darstellung eines Niederschlagsereignisses zu verstehen, nach welcher der Verlauf der Niederschlagsintensität (mm/min) nicht als Ganglinie (Funktion der Zeit t), sondern in Abhängigkeit von der Niederschlagssumme (Höhe  $h_N$ ) seit Beginn des Ereignisses aufgetragen wird (Abb. 3). Der Vorteil dieser Darstellungsart liegt darin begründet, daß lang andauernde Vor- und Nachregen, welche die

Dauer eines Niederschlagsereignisses entscheidend beeinflussen, im ISD von untergeordneter Bedeutung sind und daher der zeitfreie Mittelwert der Niederschlagsintensität das Niederschlagsereignis besser kennzeichnet als die an die Gesamtdauer gebundene mittlere Intensität.

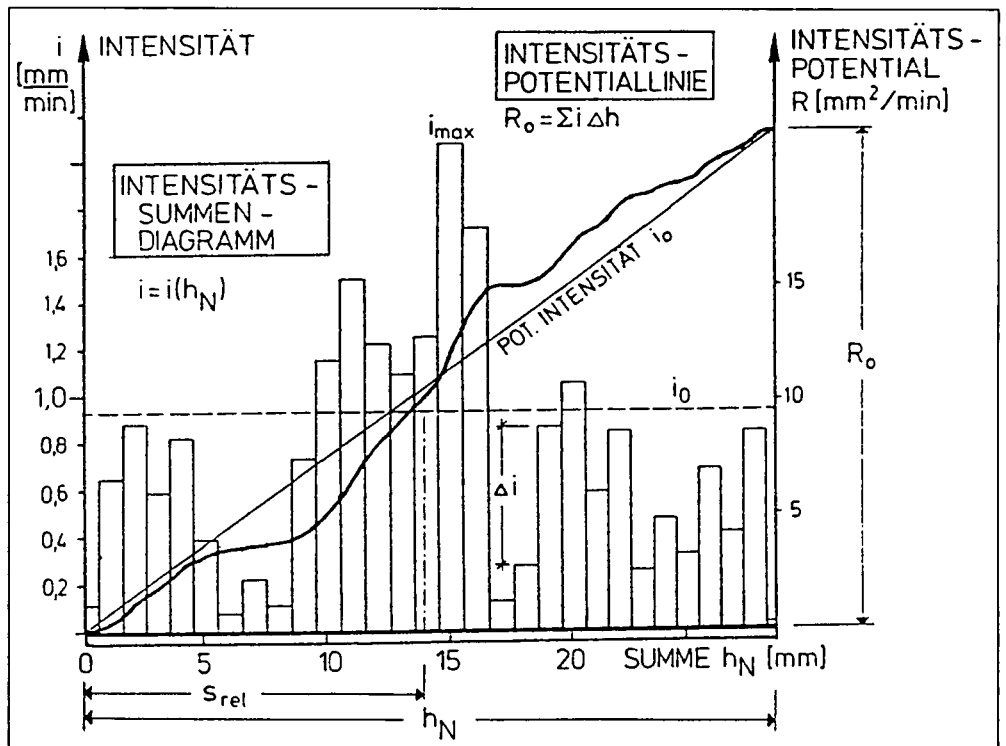
Das Intensitätssummendiagramm kann zu einer Intensitätssummennlinie integriert werden (Abb. 3), deren Endwert das in der vorliegenden Arbeit als Begriff eingeführte, sogenannte „Intensitätspotential“

$$R_0 = \sum_{i=1}^n i \cdot \Delta h_N \quad [\text{mm}^2/\text{min}]$$

ist. Dividiert man den Betrag  $R_0$  durch die Höhensumme  $h_N$  des Niederschlagsereignisses, so erhält man den für das Ereignis charakteristischen Wert der „potentiellen Intensität“

$$i_0 = \frac{R_0}{h_N} \quad [\text{mm}/\text{min}]$$

Daraus läßt sich wiederum der zugehörige charakteristische Zeitwert der „potentiellen Niederschlagsdauer“



$$T_0 = \frac{h_N}{i_0} = \frac{h_N^2}{R_0} \quad [\text{mm}/\text{min}]$$

als Dauer eines Blockregens von der Höhe  $h_N$  und der Intensität  $i_0$  ableiten.

Die potentielle Intensität  $i_0$  wird nun als Kriterium für die Einteilung von Niederschlagsereignissen nach Zeittypen verwendet. Diese Größe hat den Vorteil, daß sie einerseits gegenüber Schwankungen bei der Ereignisabgrenzung unempfindlich ist und andererseits das Niederschlagsereignis umfassend charakterisiert.

Auf dieser Grundlage wird das gesamte Spektrum der Niederschlagsereignisse in 5 Gruppen mit festgelegten Intensitätsgrenzen gegliedert (Tab. 1).

In weiterer Folge werden die Niederschlagsereignisse nach ihrem zeitlichen Verlauf typisiert, wobei die Lage des Intensitätsmaximums als Einteilungskriterium und das Intensitätssummendiagramm als Grundlage dienen. Die Diagramme werden in vier Abschnitte (Quartile) unterteilt, woraus sich in Abhängigkeit von der Lage des Intensitätsmaximums vier charakteristische normierte Diagramme des Intensitätspotentials als „Modellniederschlagsereignisse“ ergeben (Abb. 4).

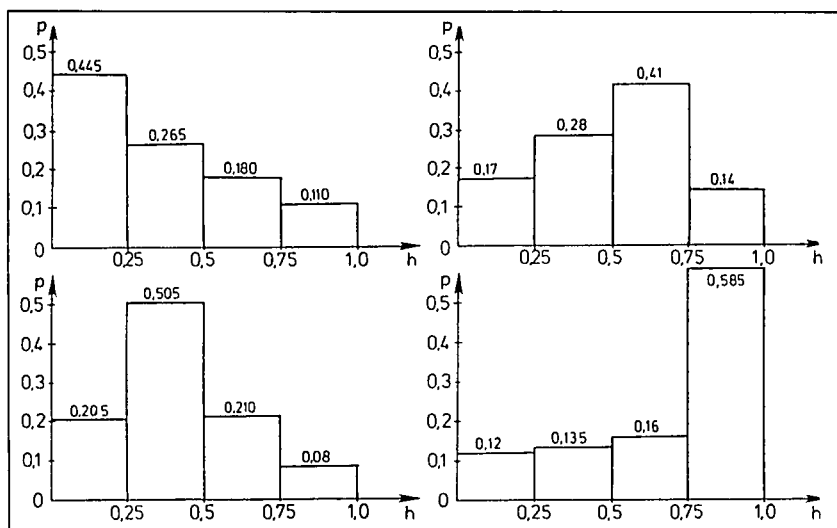


Abb. 4.  
Normierte Intensitätssummendiagramme als Modellniederschlagsereignisse, eingeteilt nach der Lage des Intensitätsmaximums in den Quartilen.

**Tabelle 1.**  
Einteilung der Niederschlagsereignisse in Intensitätsgruppen.

Gruppe	Potentielle Intensität $i_0$ (mm/min)	
	von	bis
A	0,80	-
B	0,50	0,80
C	0,25	0,50
D	0,125	0,25
E	0	0,125

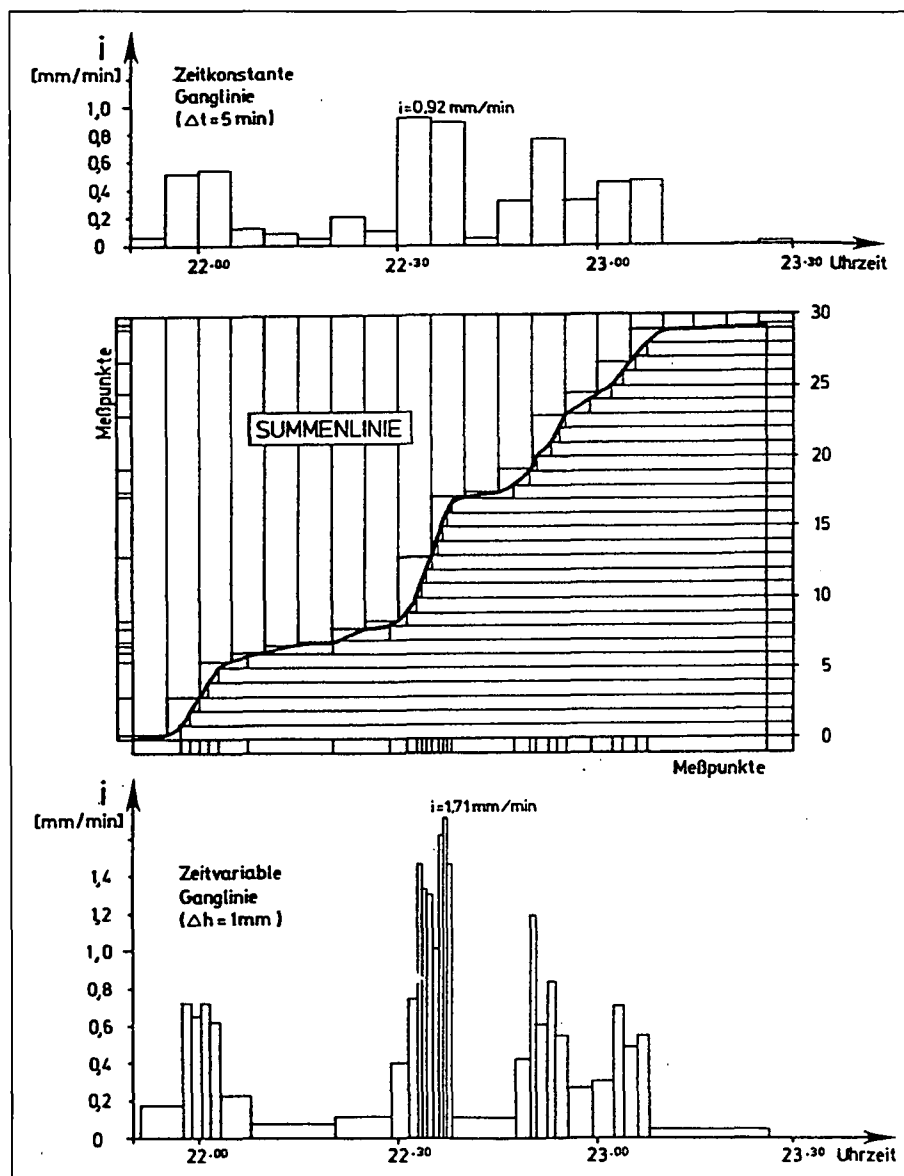
### 3.3. Vergleich der zeitkonstanten und der zeitvariablen Methode

Wie eingangs erwähnt beruhen die vorliegenden Untersuchungen auf zeitvariabel aufgezeichneten Daten, während die konventionelle Auswertung zeitkonstant registrierte Niederschlagsmeßwerte verwendet. Der Unterschied geht aus Abb. 5 hervor. Ausgehend von der aufgezeichneten Niederschlagssummenlinie (Bild Mitte) erge-

ben sich die Intensitätswerte der zeitkonstanten Ganglinie (Bild oben) nach Wahl eines konstanten Zeitintervalls, während die zeitvariable Ganglinie aus der Vorgabe eines konstanten Differenzbetrages der Niederschlagshöhe folgt, weshalb die letztere im Starkregenbereich wesentlich höher aufgelöst ist als die erstere.

Dazu ist zu bemerken, daß die zeitvariable Datenaufzeichnung sämtliche Informationen für jede beliebige zeitkonstante Auswertung enthält, was jedoch im umgekehrten Fall keineswegs zutrifft. Das gilt insbesondere für die konventionelle Auswertung der Niederschlagsdaten, welche darüber hinaus der Einschränkung unterliegt, daß hierfür das intensitätsstärkste Zeitintervall und somit nur ein Teil des Niederschlagsereignisses verwendet wird. Damit rückt die Methode der zeitkonstanten Niederschlagsanalyse bewußt von einer Statistik der Niederschlagsereignisse ab und beschränkt sich auf eine Statistik maximaler Regenhöhen. Da diese jedoch ein Niederschlagsereignis keineswegs vollständig kennzeichnen, sind auf Grund der Ergebnisse der Starkregenstatistik keine Aussagen über Bemessungsereignisse und deren Wahrscheinlichkeit möglich. Hingegen leitet sich aus der zeitvariablen Aufzeichnung nicht nur eine unvergleichlich höhere Auflösung der Niederschlagsereignisse

im Bereich hoher Intensitäten ab, sondern sie eröffnet auch den Weg für eine ereignisbezogene Niederschlagsstatistik, was in Hinblick auf die Bestimmung von Modellniederschlagsereignissen als Eingabegrößen für Niederschlag-Abfluß-Modelle von besonderer Bedeutung ist.



## 4. Räumliche Analyse des Niederschlages

Das dichte Stationsnetz des hydrologischen Versuchgebietes Pöllau (Abb. 1) und die hochauflösende, zeitvariable Datenaufzeichnung der Niederschlagsmeßgeräte erfüllen wichtige Voraussetzungen für eine zielführende Analyse der räumlichen Struktur von Niederschlagsereignissen.

### 4.1. Ermittlung der räumlichen Niederschlagsverteilung

Die Analyse der räumlichen Struktur von Niederschlagsereignissen setzt die Kenntnis der Verteilung von Niederschlagswerten im Untersuchungsgebiet voraus. Diese kann nur auf der Grundlage

Abb. 5.  
Zeitkonstante und zeitvariable Darstellung von Niederschlagsereignissen.



## 4.2. Niederschlagsdynamik

Die Dynamik des kleinräumigen Wettergeschehens ist in Anbetracht der in den letzten Jahren durch moderne Techniken über den großräumigen Witterungsablauf gewonnenen Erkenntnisse auch heute noch ein wenig bekanntes Phänomen. Während advektive Ereignisse durch Satellitenbilder heute sehr gut zu verfolgen sind, ist noch relativ wenig über die komplexe Dynamik von Gewittern und anderen konvektiven Niederschlägen, die meist in größere Systeme eingebettet sind, bekannt.

Als einfachste Merkmale der Niederschlagsdynamik sind die Zugrichtung und die Zuggeschwindigkeit zu nennen, wobei für kleinräumige Ereignisse vereinfachend von einer konstanten Richtung und Geschwindigkeit ausgegangen werden kann. Für die Ermittlung dieser Größen gibt es in der Fachliteratur eine Anzahl von Verfahren, deren Anwendbarkeit an Hand der im Versuchsgebiet erhobenen Meßdaten einer eingehenden Prüfung unterzogen wurde, mit dem Ergebnis, daß diese Methoden die dynamische Entwicklung von Niederschlagsereignissen nur unzureichend wiederzugeben vermögen.

Daher wurde ein neues Verfahren entwickelt, für welches die dynamischen Merkmale nicht unbedingt als konstant vorausgesetzt werden müssen. Grundlage hierfür ist das in Abschnitt 4.1. beschriebene Einflußfunktionenverfahren, wobei als punktuelle Stationsdaten Zeitwerte (Echtzeiten) eingegeben werden und somit der raum-zeitliche Verlauf eines Ereignisses durch Isochronen (Linien gleicher charakteristischer Echtzeiten) dargestellt wird

(Abb. 7). Ein solcher charakteristischer Zeitwert ist beispielsweise der Beginn eines Ereignisses. Bemerkenswert dabei ist, daß sich konventionelle Rasterpunktverfahren für die Berechnung der Isochronenverteilung nicht eignen, da nach diesen Methoden Extremwerte der Stationszeiten nur an den Stationspunkten selbst, nicht aber im Feld liegen können, was jedoch für eine realitätsbezogene Darstellung der Niederschlagsdynamik unerlässlich ist.

Das Feld, in welchem die kleinräumige Niederschlagsdynamik abläuft, ist als ein Potentialfeld aufzufassen, dessen Isopotentiallinien mit den Isochronenlinien im allgemeinen nicht übereinstimmen. Daher fällt das Gefälle des Isochronenfeldes nicht mit dem Gefälle des Potentialfeldes und damit im allgemeinen nicht mit der Geschwindigkeitsrichtung zusammen. Lediglich die Normalen der Scheitelpunkt tangentialen der Isochronenlinien geben gleichzeitig die Zugrichtung an diesen Stellen an. Die Geschwindigkeiten ergeben sich dann durch den Abstand der Isochronenlinien in Zugrichtung geteilt durch deren Zeitdifferenz.

## 5. Modellniederschlagsereignisse

Auf der Grundlage der in den vorausgehenden Abschnitten beschriebenen Untersuchungen wird im folgenden versucht, Bemessungsniederschlagsereignisse zu ermitteln, die einerseits alle wesentlichen Elemente der räumlich-zeitlichen Struktur des Niederschlages und andererseits eine dem Bemessungsfall entsprechende Wahrscheinlichkeitsaussage enthalten.

In der konventionellen Bemessungspraxis werden sogenannte „Regenreihen“ verwendet (DVWK, 1983), durch die jedoch nur jener Teil eines Niederschlagsereignisses erfaßt wird, in welchem innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls die maximale Niederschlagsmenge auftritt. Da jedoch insbesondere für Modellrechnungen die Kenntnis von Gesamtereignissen erforderlich ist, muß die Niederschlagsstatistik auf eine ereignisbezogene Basis gestellt werden. Um Bemessungsniederschlagsereignisse erstellen zu können, benötigt man außer einer hierfür geeigneten Datengrundlage auch Kriterien für eine eindeutige Abgrenzung und eine möglichst treffende Kennzeichnung der

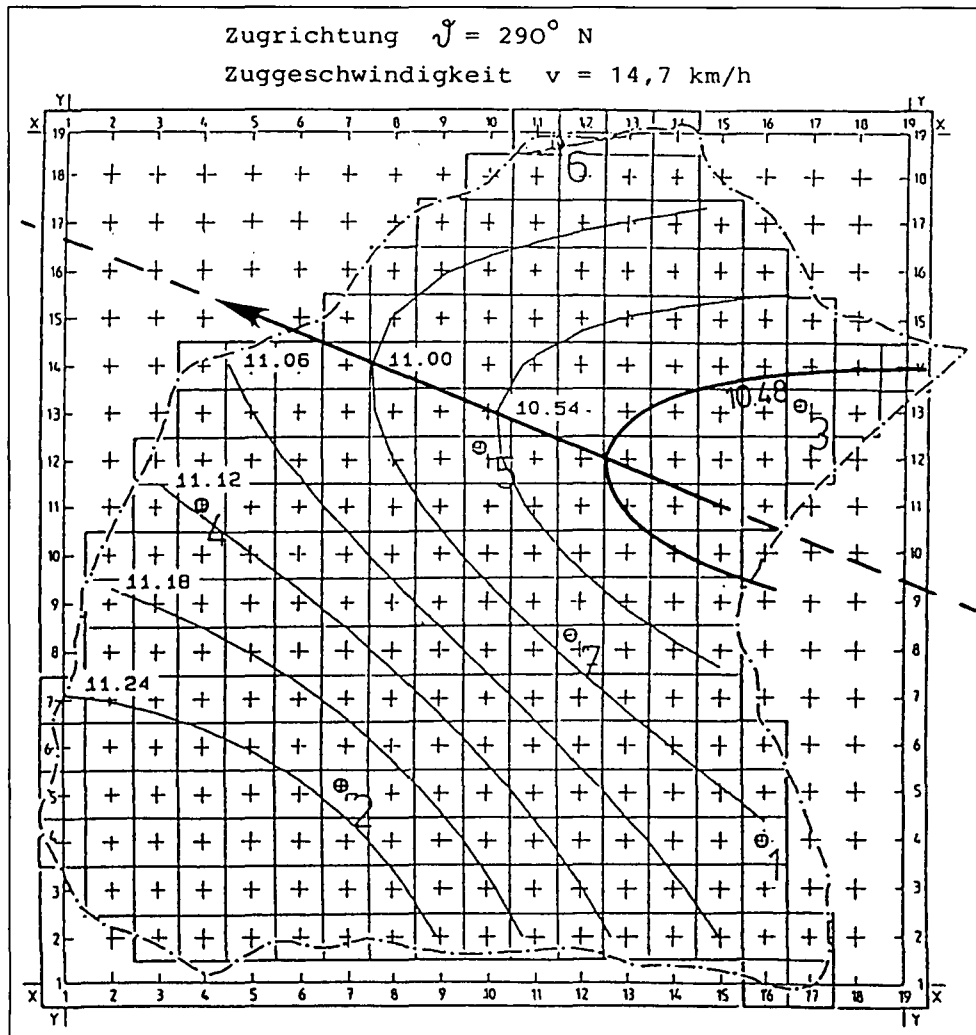


Abb. 7. Isochronenlinien für den Beginn eines Niederschlagsereignisses.

Niederschlagsereignisse, sowie leistungsfähige Verfahren, mit welchen aus punktuell erfaßten Größen möglichst plausible, flächendeckende Verteilungen und deren zeitliche Änderungen bestimmt werden können. Außerdem müssen für die Auswertung der ereignisbezogenen Niederschlagsdaten zur Ermittlung von Niederschlagsereignissen mit vorgegebener Bemessungswahrscheinlichkeit multivariate statistische Methoden angewendet werden.

Als Ausgangsdaten werden die in Abschnitt 2 beschriebenen zeitvariablen Grunddaten verwendet. Zur Abgrenzung der Niederschlagsereignisse wird die Zeitschrittstatistik gemäß Abschnitt 3.1. eingesetzt. Als Hauptmerkmale eines Ereignisses werden die Niederschlagshöhe  $h_N$  und die potentielle Intensität  $i_0$  festgelegt (vgl. Abschnitt 3.2.), wonach ein Niederschlagsereignis in einfachster Form als Blockregen mit der potentiellen Niederschlagsdauer  $T_0$  charakterisiert ist. Mit Hilfe der beiden Hauptmerkmale können die Niederschlagsereignisse geometrisch als Punkte einer Ebene mit den Koordinaten  $h_N$  und  $i_0$  sowie dem Parameter  $T_0$  dargestellt und nach den Methoden der bivariaten Statistik ausgewertet werden (BERGMANN & SACKL, 1985), deren Ergebnisse die Linien gleicher Ereigniswahrscheinlichkeit oder Bemessungskennlinien sind (Abb. 8).

Da die in Abb. 8 dargestellten Bemessungskennlinien einen näherungsweise geradlinigen Verlauf nehmen, können sie durch die lineare Gleichung

$$\frac{i_0}{i_{0,n}} = 1 - \frac{h_N}{h_{N,n}}$$

dargestellt werden. Mit Hilfe der Beziehung  $i_0 = h_N/T_0$  (Abschnitt 3.2.) können daraus auch den Regenhöhenlinien

entsprechende Ereignishöhenlinien oder den Regenintensitätslinien entsprechende Ereignisintensitätslinien bestimmt werden (BERGMANN et al., 1988).

Nach der Ermittlung der Hauptmerkmale ist der zeitliche Verlauf der Intensitätsganglinie als „Zusatzmerkmal“ anzugeben.

Das ist im einfachsten Fall ein Blockregen mit der potentiellen Intensität  $i_0$  und der potentiellen Dauer  $T_0$ .

Differenziertere Ganglinien ergeben sich aus den in Abschnitt 3.2. entwickelten standardisierten Intensitätspotentialdiagrammen (vgl. Abb. 4).

Daraus lassen sich normierte Intensitätssummendiagramme sowie die entsprechenden zeitvariablen und zeitkonstanten Intensitätsganglinien ableiten (Abb. 9).

Für die Ermittlung der räumlichen Verteilung wird das in Abschnitt 4.1. erläuterte Einflußfunktionenverfahren verwendet, wobei zur Kennzeichnung der Niederschlagsdynamik die in Abschnitt 4.3. beschriebenen Merkmale Zugrichtung und Zuggeschwindigkeit festgelegt werden.

Damit sind sämtliche für Bemessungsaufgaben wesentlichen Bestimmungsgrößen über Modellniederschlagsereignisse gegeben.

Das oben beschriebene Verfahren wurde an Hand eines auf Rasterflächenbasis konzipierten Niederschlag-Abflußmodelles erprobt und hat ergeben, daß realistische Abflüsse nur erwartet werden können, wenn der Simulation naturähnliche Niederschlagsereignisse einschließlich ihrer wesentlichen dynamischen Komponenten zugrunde gelegt werden.

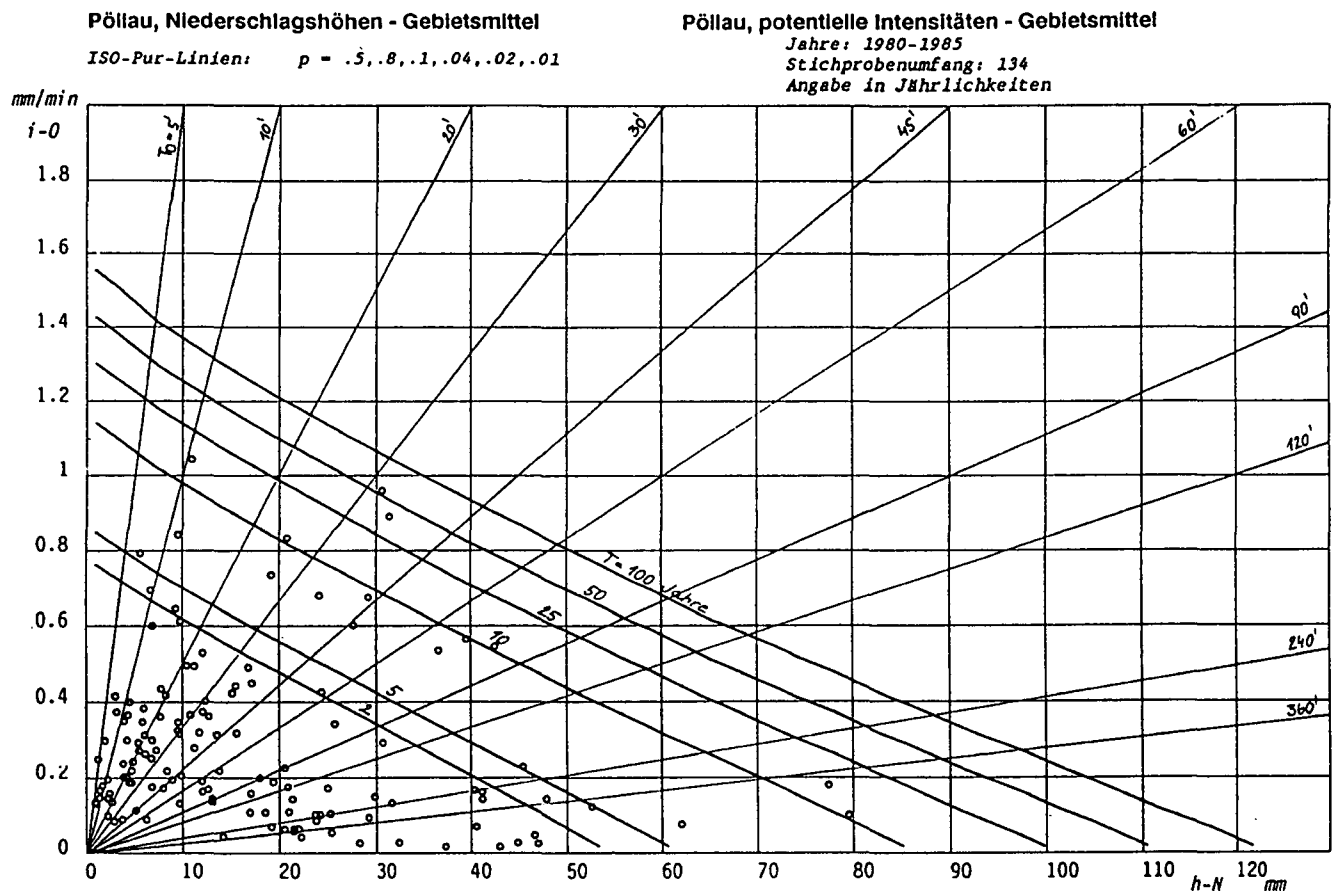
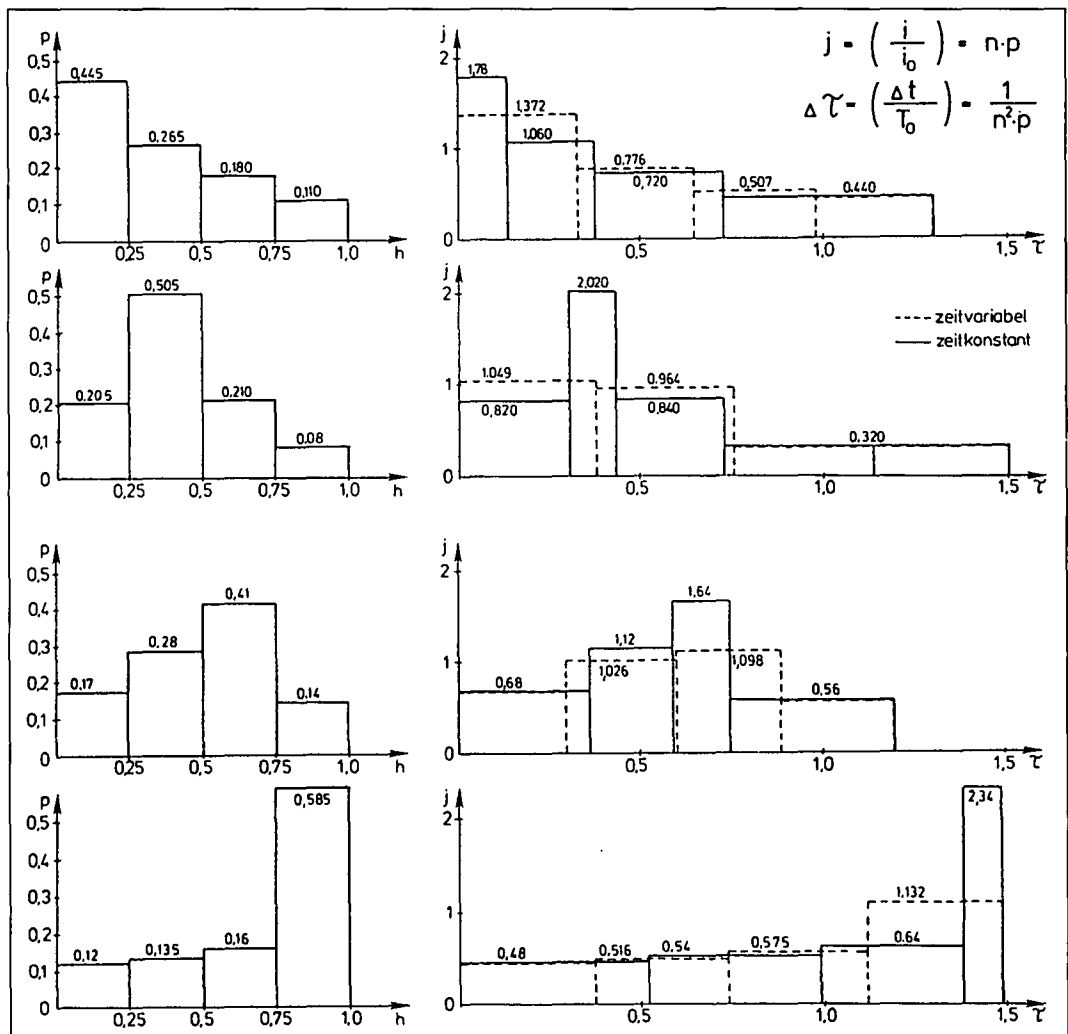


Abb. 8. Bivariate Wahrscheinlichkeit von Niederschlagsereignissen.



Abb. 9.  
 Normierte Intensitätspotentialdiagramme und entsprechende zeitvariable und zeitkonstante Intensitätsganglinien.



## 6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei der Untersuchung der zeitlichen und räumlichen Struktur von Niederschlagsereignissen sind folgende wesentliche Ergebnisse erzielt worden:

Die Anwendung des Prinzips der zeitvariablen Datenerfassung hat sich nicht nur wegen des geringen Platzbedarfs am Datenspeicher und wegen des größeren Informationsgehaltes der Grunddaten, sondern vor allem wegen der höheren zeitlichen Auflösung bei Starkregen, wegen der einfachen Datenstruktur, die auf einer einzigen, exakt gemessenen und aufgezeichneten Meßgröße beruht und sämtliche Informationen über das Niederschlagsgeschehen enthält, sowie wegen der Möglichkeit, auf einfache Weise einzelne Niederschlagsereignisse gegeneinander abgrenzen zu können, als vorteilhaft erwiesen und als Grundlage für die Analyse und Klassifikation von Niederschlagsereignissen, für eine ereignisbezogene Niederschlagsstatistik zur Ermittlung von Bemessungsniederschlagsereignissen sowie für einen raschen, computergerechten Zugriff auf Eingabedaten für Modellrechnungen bewährt.

Eine auf der Grundlage zeitvariabel aufgezeichneter Niederschlagsdaten durchgeführte statistische Untersuchung der Zeitintervalle ergibt eine charakteristische Verteilungskurve, mit welcher Niederschlagszeiten, Niederschlagspausen und Trockenperioden voneinander unter-

schieden werden können und jenes Zeitintervall bestimmt werden kann, das für die gegenseitige Abgrenzung voneinander unabhängiger Niederschlagsereignisse maßgeblich ist.

Durch die Einführung der Methode der zeitfreien Darstellung von Niederschlagsereignissen mit Hilfe des Intensitätssummendiagramms und durch die Definition des Begriffes „potentielle Intensität“ ist es möglich, das Niederschlagsereignis durch zwei charakteristische Hauptmerkmale zu kennzeichnen und damit die Grundlage für eine ereignisbezogene Niederschlagsstatistik zu schaffen. Als Hauptmerkmale werden die Niederschlagshöhe und die potentielle Intensität eingeführt. Damit ist es möglich, Niederschlagsereignisse als Punkte einer Koordinatenebene darzustellen, nach den Methoden der bivariaten Statistik zu analysieren und eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit von Niederschlagsereignissen durch Angabe von Bemessungskennlinien zu treffen.

Für die Ermittlung der räumlichen Verteilung von Niederschlagsgrößen und -merkmalen wird das sogenannte „Einflußfunktionenverfahren“ eingeführt, das sich in mehrfacher Hinsicht als vorteilhaft erwiesen hat. So müssen sich Extremwerte einer räumlich verteilten Größe nicht wie bei anderen Verfahren zwangsläufig in einem der Meßpunkte befinden, sie können vielmehr auch mehrfach an beliebiger Stelle in der Ebene in Erscheinung treten; andererseits passen sich die Verteilungen exakt an die in den Meßpunkten gegebenen Werte an. Weiters kann mit der

genannten Methode neben der Bestimmung der maßgeblichen Gebietsparameter auch der räumlich-zeitliche Ablauf eines Niederschlagsereignisses durch Bestimmung der Isochronenverteilungen nachvollzogen werden.

Nach einer eingehenden Analyse werden als maßgebliche Merkmale der räumlichen Struktur und der räumlich-zeitlichen Entwicklung (Dynamik) von Niederschlagsereignissen der räumliche Variationskoeffizient sowie die Zugrichtung und die Zuggeschwindigkeit erkannt; letztere Größen werden vorteilhaft mit Hilfe der entwickelten Isochronenmethode bestimmt und neben charakteristischen Intensitätsganglinien als Zusatzmerkmale von Bemessungsniederschlagsereignissen verwendet.

Da sich die Aktualität der Niederschlagsanalyse für die Ingenieurhydrologie in Anbetracht der bevorstehenden Aufgaben in der Wasserwirtschaft kaum ändern wird und daher die Weiterentwicklung von Verfahren auf den heute bekannten Grundlagen auch in Zukunft notwendig sein wird, verstehen sich die vorliegenden Untersuchungsergebnisse als ein Beitrag zur Lösung wichtiger Fragen über die Struktur von Niederschlagsereignissen.

### Literatur

- BERGMANN, H.: A Hydrological Research Basin in Austria: Planning and Aims. – Int. Symp. on Hydrological Research Basins, Bern 1982.
- BERGMANN, H., RICHTIG, G., STUBENVOLL, H., ÜBERWIMMER, F. & ZEYRINGER, T.: Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Struktur von Niederschlagsereignissen in einem hydrologischen Versuchsgebiet und deren Auswirkung auf den Abfluß. – Schlußbericht zum IHP-Projekt HÖ29, Hydrographisches Zentralbüro beim österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien 1988.
- BERGMANN, H. & SACKL, B.: Twodimensional Frequency Analysis of Flood Water Flow and its Application in Water Management. – Proc. 21<sup>th</sup> IAHR Congress, 3, p. 521, Melbourne 1985.
- BERGMANN, H. & ZEYRINGER, T.: High Resolution Time-Space Investigations of Rainfall Events through Timevariable Data Recording. – HYDROSOFT Int. Conf. on Hydraulic Engineering Software, Southampton, U.K.. – "HYDROSOFT 86", 257–266, Springer-Verlag, 1986.
- DVWK: Regeln der Wasserwirtschaft, Empfehlungen zur Niederschlagsauswertung. – 1986.
- STUBENVOLL, H.: First Results of Researches in the Hydrological Research Basin Pöllau/East Styria. – Int. Symp. on Hydrological Research Basins, Bern 1982.
- STUBENVOLL, H.: Analyse der zeitlichen Struktur von Niederschlagsereignissen auf der Grundlage zeitvariabler Datenaufzeichnung. – Diss. TU Graz, 1985.
- ZEYRINGER, T.: Untersuchung des räumlichen Verhaltens von Niederschlagsereignissen auf zeitvariabler Datengrundlage. – Diss. TU Graz, 1988.