



**Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt**  
**Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie**  
**Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia**  
**Working Reports of the Swiss Meteorological Institute**

**Zürich**

No. 45

Zur Niederschlagsmessung in der Schweiz :

Aktuelle Beobachtungsnetze und grundsätzliche Messprobleme

von

Th. Gutermann

August 1974

Niederschlag 551. 501. 777 : 551. 508. 77 : 551. 577. 3 ( 494 )

Vortrag, gehalten im Rahmen des Fortbildungskurses für Angewandte Hydrologie, 24. -28. Juni 1974 in Sursee ( Schweiz ),

veranstaltet von der

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

### Zusammenfassung

Im ersten Abschnitt wird eine Uebersicht über die Entwicklung und den heutigen Stand der niederschlagsmessenden Stationsnetze der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt gegeben. Anschliessend folgt eine Beschreibung der wichtigsten in der Schweiz eingesetzten Niederschlagsmessinstrumente. Der dritte Teil befasst sich mit der Art und der Grössenordnung verschiedener Fehler bei der Niederschlagsmessung. Endlich wird im letzten Abschnitt die Veränderlichkeit der paarweisen Korrelation der Monats- und Jahresniederschlagssummen von 70 Stationen in Abhängigkeit von der Entfernung untersucht. Die Ergebnisse bestätigen die erwartete Zunahme der Variabilität in den gewitterreicheren Sommermonaten.

### Résumé

Dans une première partie, on donne un aperçu du développement antérieur et de l'état actuel du réseau de mesures pluviométriques rattaché à l'Institut suisse de Météorologie. On décrit ensuite les principaux instruments utilisés en Suisse pour mesurer les précipitations. La troisième partie traite des différentes sortes d'erreurs qui peuvent se produire lors de la mesure des précipitations et de leur ordre de grandeur. Enfin, dans un dernier chapitre, on étudie la variabilité des corrélations établies par paires sur les sommes mensuelles et annuelles de 70 stations en fonction de la distance les séparant. Le résultat de cette opération vient confirmer la présomption que la variabilité augmente en été, c'est-à-dire durant les mois où les orages sont les plus fréquents.

### Riassunto

Nel primo capitolo viene fornita una visione sullo sviluppo e lo stato attuale delle reti di stazioni per la misura delle precipitazioni dell'Istituto Svizzero di Meteorologia. Segue la descrizione dei più importanti strumenti impiegati in Svizzera per la misura delle precipitazioni. La terza parte si occupa della specie e dell'ordine di grandezza di diversi errori nella misura delle precipitazioni. Da ultimo, nell'ultimo capitolo, viene studiata la variabilità della correlazione tra due stazioni delle somme mensili e annuali delle precipitazioni di 70 stazioni a dipendenza della distanza. I risultati confermano l'atteso aumento della variabilità nei mesi estivi con frequenti temporali.

### Summary

The first section reviews the present state of precipitation networks belonging to the Swiss Meteorological Service, and considers their future development. The second paragraph gives a brief description of those instruments most used today in Switzerland. The third paragraph considers the order of magnitude of various errors encountered when measuring precipitation. Finally, the variability of correlation coefficients of station pairs, for monthly and annual sums of precipitation at 70 stations is shown as a function of their relative distance. The results confirm the increases in the variability for the summer months expected from the many thunderstorms occurring at this time.

## Inhaltsverzeichnis

-----

	<u>Seite</u>
1. Aktuelle Niederschlagsmessnetze in der Schweiz	3
1.1 Meteorologische Stationen des Klimanetzes	3
1.2 Regenmess-Stationensnetz	5
1.3 Totalisatorenstandorte	8
1.4 Schneemessung	9
1.5 Niederschlagsmessungen durch MZA-fremde Stellen	10
2. Niederschlagsmessinstrumente	10
2.1 Einfache Niederschlagsmesser	10
2.2 Niederschlagssammler (Totalisatoren)	11
2.3 Registrierende Niederschlagsmesser (Pluviographen)	12
2.3.1 Pluviographen mit Schwimmerprinzip	13
2.3.2 Pluviographen mit Waageprinzip	13
2.4 Verschiedene Messverfahren	15
2.5 Schneemessinstrumente	15
3. Probleme und Fehler der Niederschlagsmessung	16
3.1 Beobachterfehler	16
3.2 Lage der Aufstellung, Exposition	16
3.3 Künstlicher Windschutz	18
3.4 Messhöhe	21
3.5 Verdunstung	24
3.6 Benetzungsverluste	25
3.7 Weitere Fehlerquellen	25
4. Korrelation der Jahres- und Monatsniederschlagssummen in Abhängigkeit von der Stationsentfernung	26
4.1 Beschreibung des Bearbeitungsverfahrens	26
4.2 Interpretation der Resultate	26
4.2.1 Jahresniederschlagssummen (1901 - 1968)	27
4.2.2 Niederschlagssummen der Monate Januar und Juli (1901 - 1968)	27
4.2.3 Vergleich der Korrelation bei Jahres- und Monatsniederschlägen	29
Literaturverzeichnis	32

## 1. Aktuelle Niederschlagsmessnetze in der Schweiz

Messungen der gefallen Niederschlagsmengen wurden weltweit betrachtet schon seit langer Zeit an einzelnen Orten und vorübergehend durchgeführt. Während vereinzelte mehrjährige Messreihen in der Schweiz aus dem 18. Jahrhundert bekannt sind, setzte die systematische grossräumige Erfassung der Niederschlagsverhältnisse im wesentlichen erst in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts ein. Ursprünglich lag das Schwergewicht bei der Messung des flüssigen Niederschlages. Mit der Einrichtung von ganzjährig betriebenen Messnetzen steuerte die Schneemessung weitere Instrumentenprobleme bei.

Bei dem sich im 19. Jahrhundert rasch entwickelnden Interesse an objektiven, d.h. gemessenen und nach einheitlichen Vorschriften beobachteten mesoklimatischen Daten stand allerdings der Niederschlag mehr im Hintergrund. Es wurden daher vorerst allgemeine meteorologische Stationen mit einem umfassenden Beobachtungsprogramm geschaffen. Die Auswertung der ersten Messdaten zeigte aber bald, dass der Niederschlag aufgrund seiner besonders in den Sommermonaten (Gewitter) stark ausgeprägten räumlichen Variabilität unter den verschiedenen Wetterelementen eine Sonderstellung einnimmt. Diese Erkenntnis hatte zur Folge, dass wenig später, als Ergänzung zum meteorologischen Stationsnetz, eine grössere Zahl spezieller Regenmess-Stationen eröffnet wurden. Damit konnten die Voraussetzungen für eine genauere Erfassung der örtlichen Besonderheiten der Niederschlagsverhältnisse geschaffen werden.

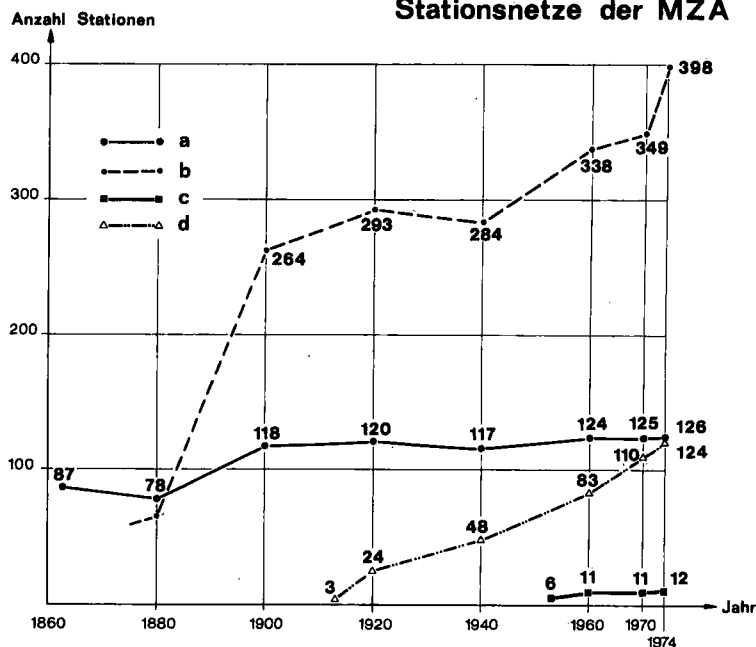
Im folgenden soll kurz auf die Entwicklung und auf den heutigen Stand der niederschlagsmessenden Stationen der Schweiz eingegangen werden.

### 1.1 Meteorologische Stationen des Klimanetzes

(Vgl. Abb. 3)

Durch die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft wurde 1863 ein Netz von mehr als 80 meteorologischen Stationen aufgebaut. Die

### Entwicklung der niederschlagsmessenden Stationsnetze der MZA



**Abb. 1** Entwicklung der niederschlagsmessenden  
Stationsnetze der MZA

- a Meteorologische Stationen(klimatologisches Netz) Niederschlagsmessung seit 1971 zweimal täglich; früher einmal täglich(o7.30h)
- b Regenmess-Stationen; Niederschlagsmessung einmal täglich (o7.30 h)
- c Meteorologische Stationen(synoptisches Netz) Niederschlagsmessung viermal täglich(01, 07, 13 und 19 Uhr)
- d Totalisatorennetz  
Niederschlagsmessungen ein- bis zweimal jährlich; einzelne Apparate monatlich

Betreuung dieses Netzes ging 1881 an die neugeschaffene Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt (im folgenden als MZA bezeichnet) mit Sitz in Zürich über. Wie Abb. 1 zeigt, wurde dieses Netz in den beiden anschliessenden Jahrzehnten bis 1900 auf etwa 110 Stationen erweitert. Seither wurde es nur noch geringfügig auf einen Stand von 125 bis 130 Stationen vergrössert. Das schon bei der Gründung recht umfangreiche Beobachtungsprogramm erfuhr in den vergangenen 110 Jahren eine ver-

hältnismässig kleine Ausweitung. Die dreimal täglich durchgeführten instrumentellen Messungen von Luftdruck (teilweise), Temperatur, relativer Feuchtigkeit, Windrichtung und -stärke (grossenteils nur geschätzt), Niederschlag und Sonnenscheindauer (teilweise) werden durch eine Reihe von Augenbeobachtungen ergänzt (Bewölkung, Sicht, Erdbodenzustand (später eingeführt), Gewitter, Nebel, u.a.). Seit einigen Jahren werden an einzelnen Orten (gegenwärtig an 8 Stationen) zusätzlich Globalstrahlung, Verdunstung und Temperaturen im Boden regelmässig gemessen.

Zu Beginn waren die instrumentellen Einrichtungen an den Stationen recht bescheiden. Es standen damals fast ausschliesslich unentgeltlich arbeitende Liebhaber (Pfarrer, Professoren, Lehrer) als Beobachter zur Verfügung, welche noch über genügend Zeit für die Beobachtungen verfügten. Den im 20. Jahrhundert geforderten strengeren Aufstellungsvorschriften und Genauigkeitsanforderungen folgend, wurde - wo es die Stationsverhältnisse erlaubten - von der ursprünglichen Hausaufstellung der Instrumente (Thermometer, Hygrometer) zur Messung in der Stevenson Wetterhütte übergegangen. Gleichzeitig vollzog sich ein allmählicher Wechsel bei den Beobachtern: Heute sind wir auf die Mithilfe permanent arbeitender Institutionen (z.B. Kraftwerke, Zoll, Strassenunterhaltstellen und Betriebswächter) angewiesen. Nicht alle meteorologischen Stationen waren von Anbeginn mit einem Regenmesser (Ombrometer) ausgerüstet. So konnten 1864 erst von 43 Stationen der Schweiz Niederschlagsmengen publiziert werden. Die längsten an der MZA vorhandenen Niederschlagsmessreihen weisen daher heute (1974) eine Periodenlänge von 110 Jahren auf.

## 1.2 Regenmess-Stationensnetz

(Vgl. Abb. 4)

Ebenfalls in die zweite Hälfte des letzten Jahrhunderts fällt die Schaffung zusätzlicher Regenmess-Stationen. Mehr von den Praktikern aus Bauwesen, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft angeregt, begannen vorerst einzelne Kantone in den Siebzigerjahren eigene Netze einzurichten. Erst-

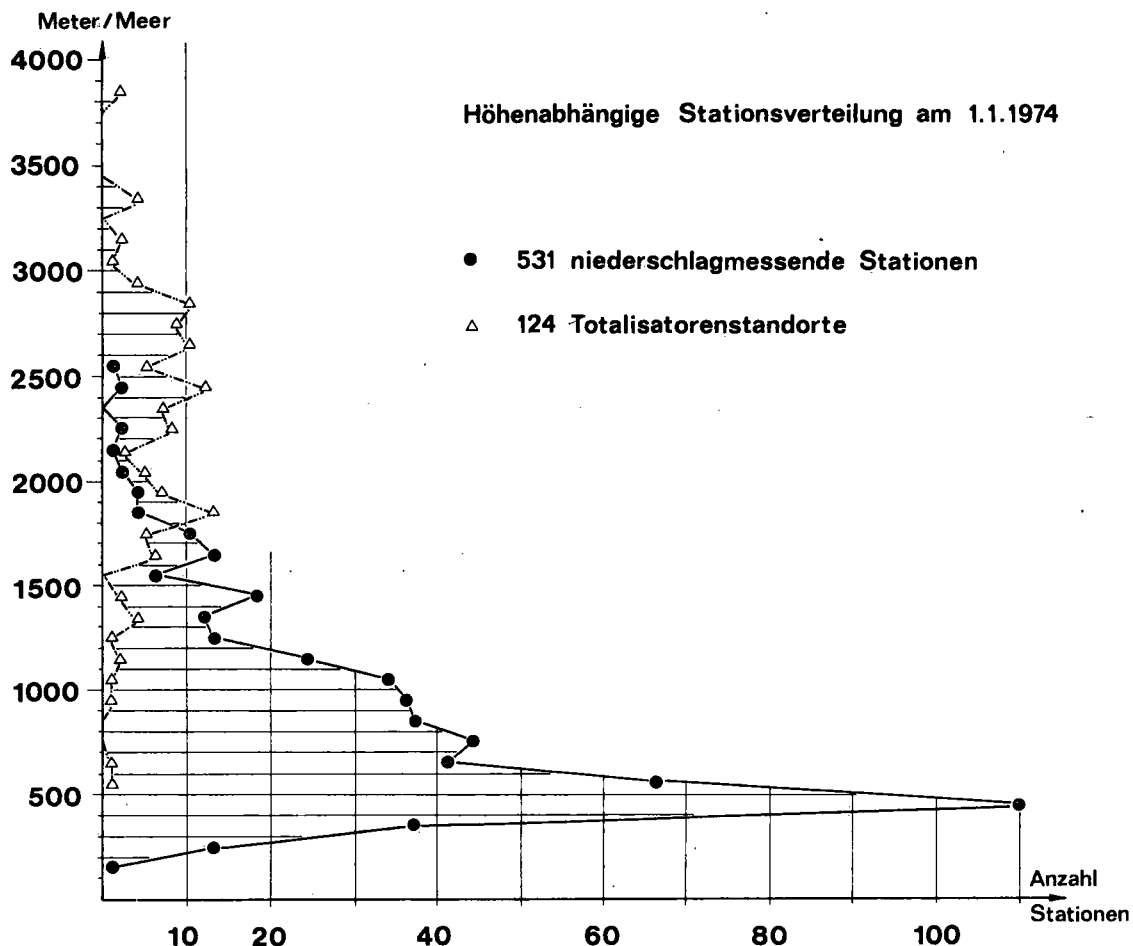
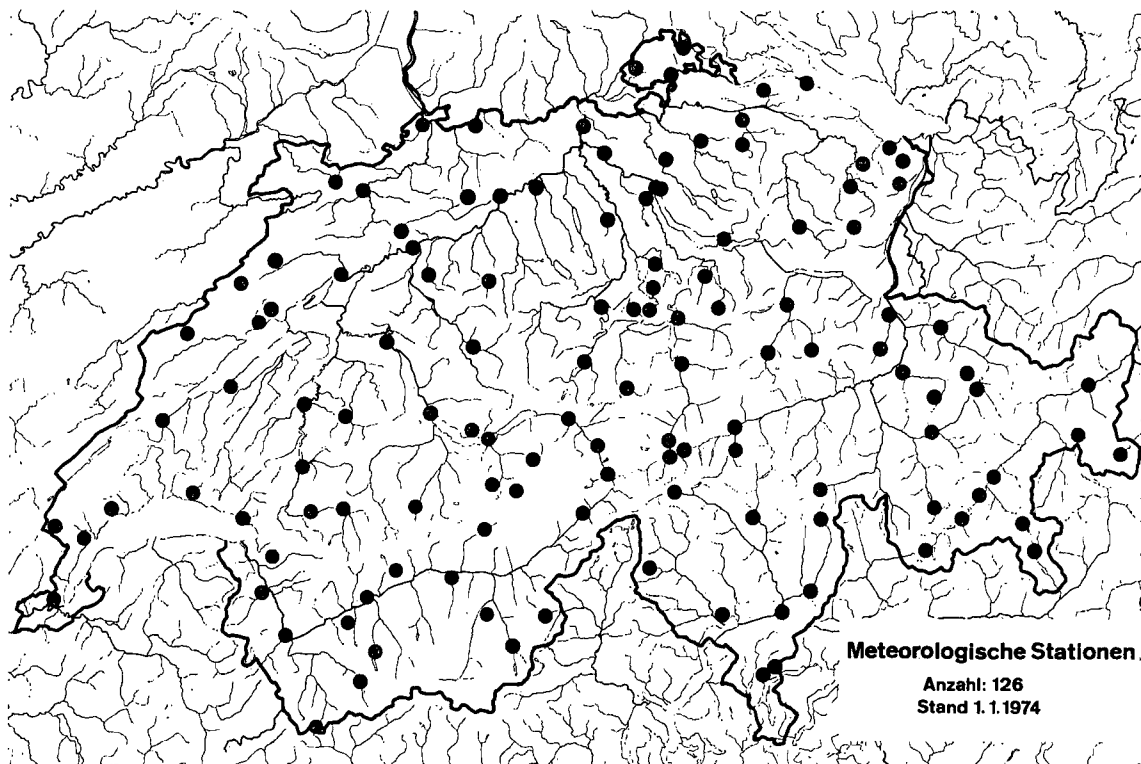


Abb. 2 Verteilung der niederschlagsmessenden Stationen und der Totalisatoren der MZA in Abhängigkeit von der Meereshöhe (in Stufen von 100 m). Deutlich ist das Schwergewicht unter 1000 Meter/Meer sowie der Ergänzungscharakter der Totalisatorenmessungen im Hochgebirge zu erkennen.

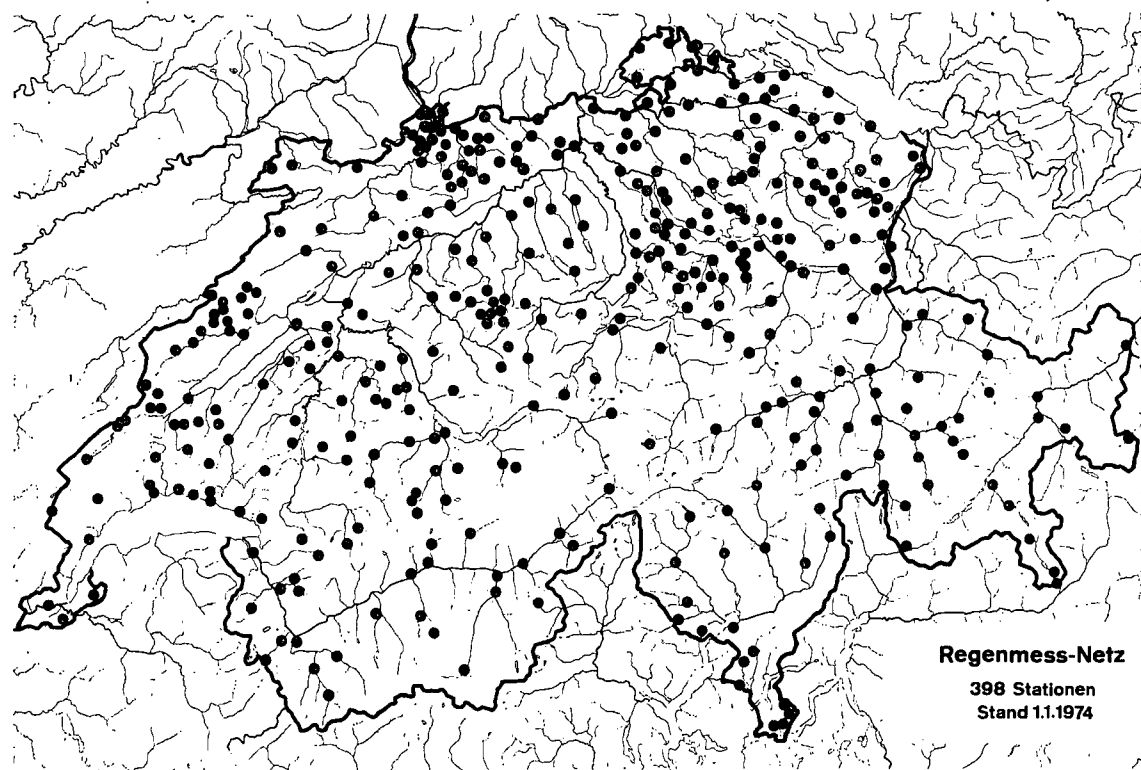
mals finden wir in den Annalen des Jahres 1881 der MZA die Monats- und Jahresniederschlagssummen von 94 speziellen Regenmess-Stationen der Nordostschweiz publiziert. Deren Zahl nimmt in der Folge rasch zu. 1888 wird in autographisch vervielfältigter Form mit der Veröffentlichung der täglichen Niederschlagsmessungen von 290 Stationen (meteorologische Stationen inbegriffen) begonnen. Im Buchdruck erscheinen die "Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen" ab 1901. Seit 1972 werden sie quartalsweise herausgegeben.

Nach einem kräftigen Ausbau auf 264 Regenmess-Stationen in den Jahren 1898 - 1900, welcher grosse Lücken in Graubünden und in der Waadt zu schliessen hatte, erfolgte die weitere Zunahme langsamer und, wie Abb. 1 zeigt, in unregelmässigen Schritten. Verstärkte Ausbauphasen gab





**Abb. 3** Meteorologische Stationen des klimatologischen Netzes (126):  
Täglich drei Beobachtungen (07.30, 13.30 und 19.30 Uhr) des gesamten  
Messprogramms; Niederschlagsmessungen um 07.30 und 19.30 Uhr.



**Abb. 4** Regenmess-Stationen (398): Niederschlagsmessung einmal täglich um  
07.30 Uhr (teilweise mit zusätzlichen Witterungsnotizen). Grosse Sta-  
tionsdichten weisen die kantonalen Netze Basel und Thurgau sowie einzelne  
Testgebiete des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft auf.

es nochmals in den Fünfzigerjahren und von 1971 bis 1973 im Zusammenhang mit der Einrichtung von Testgebieten des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft. Betrachtet man in Abb. 4 die flächenhafte Verteilung der nahezu 400 Stationen, so zeigen sich innerhalb des an sich schon dichter belegten Mittellandes einzelne Ballungsgebiete: Einerseits weisen die zwei bis heute kantonal gebliebenen Netze von Basel und Thurgau eine höhere Dichte auf, andererseits wurden die bereits erwähnten Testgebiete des Amtes für Wasserwirtschaft stärker mit Messstellen belegt.

Grundsätzlich ist die Dichte eines Messnetzes abhängig von der gewünschten Genauigkeit der Untersuchungsergebnisse und von der räumlichen Veränderlichkeit der Messgrösse. Der Alpenraum sollte daher infolge der reliefbedingten höheren Variabilität der Niederschlagsmengen eine grössere Netzdichte als das Mittelland aufweisen. Da jedes Messgerät bedient werden muss, verhindert die niedrige Bevölkerungszahl eine gleichmässige Verteilung in diesen Gebieten. Insbesondere sind dadurch, wie Abb. 2 zeigt, die höher gelegenen Regionen schwach besetzt. Da die Niederschlagsmengen normalerweise mit zunehmender Höhe anwachsen, können bei der Bestimmung von Gebietsniederschlägen systematische Fehler auftreten. Die Aufstellung von Jahressammlern (Totalisatoren) ist heute in der Schweiz die einzige dauernd praktizierte Möglichkeit, quantitative Niederschlagsangaben aus der unbewohnten Bergregion zu erhalten und damit diese Lücke wenigstens einigermaßen zu schliessen.

### 1.3 Totalisatorenstandorte

Mit der Aufstellung von jährlich mindestens einmal besuchten Totalisatoren wurde 1913 unter Mithilfe der schweizerischen Landeshydrographie im Jungfrau- und Gotthardgebiet begonnen. Auch hier galt es, Anfragen über Niederschlagsmengen im Hochgebirge aus Kreisen der Wasserwirtschaft beantworten zu können. Der weitere Ausbau des Totalisatorennetzes folgte spezifischen Bedürfnissen: So wurden in einzelnen Einzugsgebieten jeweils mehrere Apparate aufgestellt, während andere, wirtschaftlich weniger bedeutsame Regionen, bis heute praktisch ohne Messstellen blieben.

Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass die jährlich einmal im Herbst erfolgenden Messungen recht unterschiedliche Aussagekraft besitzen. Zwar wurden die Messapparate (System MOUGIN) von Anfang an mit einem Nypherwindschutz versehen, um insbesondere die Messungen des Schneeniederschlags zu verbessern. Auch kann die Verdunstung durch eine Decke von Vaselineöl wenn, wie SEVRUK (11) zeigte, auch nicht ganz verhindert, so doch stark reduziert werden. Die grösste Fehlerquelle, der möglicherweise ungeeignete Aufstellungsort, kann jedoch nicht generell beseitigt werden, und begrenzt daher die Aussagekraft der Messwerte entscheidend. Da sich der Einfluss eines nicht repräsentativen Standortes bei Schneefall stärker auswirkt als bei Regen, ist man in letzter Zeit in einzelnen Testgebieten während dem Sommerhalbjahr zu aufwendigen, aber sichereren Monatsmessungen übergegangen.

Die Jahresniederschlagssummen von zur Zeit 124 Totalisatoren werden, seit 1929 einheitlich auf das hydrologische Jahr reduziert, alljährlich in den Annalen der MZA publiziert. Von diesen Ergebnissen stammen allerdings nur deren 66 von MZA-eigenen Apparaten. Die übrigen Resultate werden von der Abteilung für Hydrologie und Glaziologie der ETHZ und von einzelnen Kraftwerken zur Ergänzung unseres Netzes zur Verfügung gestellt.

#### 1.4 Schneemessung

Die Bestimmung der Schneehöhe sowie der Neuschneemenge der vergangenen 24 Stunden erfolgte seit jeher an unseren meteorologischen Stationen einmal täglich um 07.30 Uhr. Seit 1971 wird eine zweite Messung abends um 19.30 Uhr durchgeführt. Neuerdings werden auch von den Regenmess-Stationen entsprechende Messungen verlangt.

Spezielle tägliche Schneehöhenmessungen sowie zweiwöchentliche Schneedichtebestimmungen werden während des Winterhalbjahres unter Aufsicht der Abteilung für Hydrologie und Glaziologie der ETHZ sowie des Eidg.

Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch-Davos seit Anfang der Vierzigerjahre an heute über 100 Orten in der Alpenregion durchgeführt. Ein Teil dieser Messstellen führt allerdings nur Schneehöhenmessungen durch.

### 1.5 Niederschlagsmessungen durch MZA-fremde Stellen

Selbstverständlich werden auch von andern Institutionen Niederschlagsmessungen an einzelnen Standorten oder in speziellen Regionen durchgeführt. Während von einzelnen Kantonen und Kraftwerkgesellschaften längerdauernde Messstellen eingerichtet werden, beschränken sich diesbezügliche Untersuchungen von einzelnen Hochschulinstituten mehrheitlich auf einige Jahre. Die MZA ist bestrebt, auch über die ausserhalb ihrer Netze mehr als ein Jahr zuverlässig betriebenen meteorologischen Messstellen zu Auskunftszwecken eine Uebersicht zu erhalten, und ist daher für entsprechende Mitteilungen dankbar. Bereits heute sind uns beispielsweise etwa 120 Totalisatorenstandorte, 40 Regenmessstationen und über 60 (teilweise nur im Sommerhalbjahr eingesetzte) Pluviographen bekannt.

## 2. Niederschlagsmessinstrumente

In diesem Kapitel wird eine Uebersicht über die gebräuchlichsten Geräte gegeben und die von der MZA verwendeten Instrumente sind ausführlicher beschrieben. Für konstruktive und messtechnische Einzelheiten sei auf die Spezialliteratur verwiesen.

### 2.1 Einfache Niederschlagsmesser

Einfache Niederschlagsmesser bestehen aus einem Auffangzylinder mit einer Oeffnung von üblicherweise 200 bis 500 cm<sup>2</sup> und einem Gefäss für die Aufnahme des Niederschlags. In den einzelnen Ländern stehen verschiedene Typen im Einsatz.

In der Schweiz wird heute der Niederschlagsmesser nach HELLMANN mit einer Auffangfläche von 200 cm<sup>2</sup> verwendet. Bis 1950 stand noch an einzelnen Orten sein Vorgänger, ein Gefäss mit 500 cm<sup>2</sup> Auffangfläche und ohne Verdunstungsschutz, im Einsatz. Der HELLMANN-Regenmesser besteht aus einem Metallzylinder mit abnehmbarem Oberteil, aus welchem durch eine trichterförmige Verengung der flüssige Niederschlag in die darunter stehende Sammelflasche (Inhalt ca 100 mm Niederschlag) geleitet wird. Zur Verminderung von Verdunstungsverlusten besitzt dieses Sammelgefäss eine enge Oeffnung und steht auf drei Füssen, so dass sie durch eine etwa 3 cm dicke isolierende Luftschicht von der sich tagsüber erwärmenden Mantelfläche getrennt ist. Im Winter füllt sich der Oberteil mit Schnee. Bei der Messung wird das Gerät durch einen zweiten Regenmesser ersetzt, der Schnee sorgfältig geschmolzen und die so erhaltene flüssige Niederschlagsmenge mit dem zur Messausrüstung gehörenden geeichten Messzylinder aus Glas bestimmt. Ein im Winter an windexponierten Standorten einsetzbares Schneekreuz soll das Herauswirbeln von bereits aufgefangenem Schnee herabsetzen.

Die Geräte anderer Länder unterscheiden sich zum Teil in Konstruktion, Form und Grösse. Mehrheitlich sind jedoch auch diese so dimensioniert, dass das Sammelgefäss täglich einmal geleert werden sollte. Bei aussergewöhnlich starken Niederschlägen muss in der Schweiz eine Zwischenmessung durchgeführt werden.

## 2.2 Niederschlagssammler (Totalisatoren)

An schwer zugänglichen Stellen, in der Schweiz vor allem im Gebirge, dienen Totalisatoren der Messung des Niederschlags über eine längere Periode. Solche Geräte müssen daher über ein genügend grosses Sammelgefäss verfügen und einen Verdunstungsschutz enthalten.

In unserem Land wird der Totalisator nach MOUGIN verwendet, welcher mit einer Auffangfläche von ebenfalls 200 cm<sup>2</sup> Platz für ungefähr 4000 mm Niederschlag bietet. Daher kann man sich auf eine jährliche

Messung beschränken. Zum Schmelzen des aufgefangenen Schnees (Volumenverminderung) wird der Apparat alljährlich mit einer Chlorcalciumlösung (8 kg  $\text{CaCl}_2$  mit 8 Litern Wasser) beschickt und 1/2 Liter Vaselineöl als Verdunstungsschutz beigegeben. Ein Nipherwindschutz, welcher an allen unseren Apparaten angebracht ist, soll die Strömungsverhältnisse über der Auffangfläche bei starkem Wind verbessern. Neuerdings sind im kleinen Schlierental einige Apparate des Kantons Obwalden mit einem Windschutz nach WOELFLE (einzelne Metallamellen) versehen worden, welcher genauere Messresultate ermöglichen soll. Eine diesbezügliche Vergleichsuntersuchung wird in diesem Jahr beginnen. Zusätzlich gelangen in der Schweiz Monatstotalisatoren zum Einsatz, welche aus einem zylindrischen Rohr von 400 cm<sup>2</sup> Querschnitt bestehen und ebenfalls eine Oelschicht gegen die Verdunstung enthalten. Die MZA besitzt jedoch keine solchen Messgeräte. In der Schweiz werden sie vor allem am Geographischen Institut der Universität Bern (Prof. Gygax) verwendet.

Auch hier unterscheiden sich die zum Teil eigens entwickelten Totalisatoren anderer Länder in der Bauart, im Windschutz und in den verdunstungsvermindernden Vorkehrungen.

### 2.3 Registrierende Niederschlagsmesser (Pluviographen)

Grundsätzlich werden registrierende Niederschlagsmengenmesser und momentane Niederschlagsintensitätsschreiber unterschieden:

Von der letzteren Gruppe, bei welcher durch Bestimmung einer zum eintreffenden Niederschlag proportionalen Durchflussmenge die momentane Niederschlagsintensität bestimmt wird, besitzt die MZA kein Gerät.

Auch ist uns keine Institution in der Schweiz bekannt, welche gegenwärtig ein entsprechendes Instrument in der Erprobung oder im Einsatz hätte. Die Niederschlagsintensität kann jedoch auch mit Instrumenten der ersten Gruppe (siehe unten: Niederschlagswippe) für praktische Zwecke genügend genau gemessen werden.

Bei den eigentlichen Pluviographen misst man die kumulierte Regenmenge in Funktion der Zeit. Nach dem technischen Messverfahren können zwei Kategorien gebildet werden:

### 2.3.1 Pluviographen mit Schwimmerprinzip

Bei diesen Apparaten wird die zu messende Niederschlagsmenge in einen Zylinder geleitet. Ein Schwimmkörper überträgt die Wasserhöhe auf eine Registriertrommel oder steuert bei Fernübertragung ein zusätzlich eingebautes Potentiometer. Ein Syphonsystem sorgt für das "Abhebern" (Entleerung des Zylinders), sobald eine bestimmte Wasserhöhe erreicht ist. Nach diesem Prinzip arbeiten die bisher von der MZA eingesetzten Pluviographen nach HELLMANN (Auffangfläche 200 cm<sup>2</sup>), die auch sonst in der Schweiz am häufigsten Verwendung finden. Die Registriertrommel, je nach Typ wahlweise eine Umdrehung in einem Tag, in einer Woche oder in einem Monat, wird durch ein Uhrwerk getrieben. Um auch bei Schneefall zeitlich brauchbare Angaben zu erhalten und um den Zylinder vor Frostschäden zu schützen, muss ein registrierender Niederschlagsmesser im Winter geheizt werden. Damit Verdampfungsverluste klein bleiben, sollte eine gute Temperaturregulierung vorhanden sein.

Verschiedene Instrumentenfirmer produzieren solche Pluviographen in modifizierter Form, wobei vor allem das Abhebersystem als technisch kritischste Stelle verschieden konzipiert ist.

### 2.3.2 Pluviographen mit Waageprinzip

Als zweite Möglichkeit der Mengenbestimmung kann der Niederschlag gewogen werden. Einerseits findet dieses Prinzip Anwendung beim nicht von der MZA, aber von andern Stellen in unserem Land eingesetzten HELLMANN-FUESSschen Schneeschreiber. Wie aus dem Namen hervorgeht, liegt sein Hauptvorteil in der Schneemessung. Das Wägeverfahren ermöglicht eine unverfälschte Niederschlagsmessung auch bei Schneefall, da dieses Instrument nicht geheizt wird und daher keine Verdampfungsverluste und keine zeitlichen Verschiebungen auftreten. Dagegen wird die Gesamtmenge im offenen Auffanggefäß (Waageschale) durch Verdunstung/Sublimation

während der niederschlagsfreien Zeit reduziert, was auf der Registrierung erkannt und bei der Auswertung berücksichtigt werden kann.

Eine spezielle Gruppe innerhalb dieser Kategorie von Instrumenten bilden die Niederschlagswippen. Bei diesen Geräten wird der Niederschlag abwechslungsweise in eine der zwei um eine horizontale Achse beweglichen Schalen geleitet. Ist in dieser Schale ein bestimmtes Sollgewicht erreicht (z.B. 0,1 mm Niederschlag entsprechende Wassermenge), kippt das Schalensystem. Dadurch wird ein elektrischer Kontakt ausgelöst und das zufließende Wasser auf die andere Schale gelenkt, während sich die erste entleert. Die Anzahl der übertragenen elektrischen Impulse ist damit ein Mass für die durchgeflossene Niederschlagsmenge. Falls der Registrierung genügend kurze Zeitintervalle entnommen werden können, eignet sich dieses Instrument auch für Intensitätsuntersuchungen. Die Vorteile der hohen Auflösung und der einfachen Fernübertragung überwiegen unseres Erachtens den Nachteil, dass bei diesem System bei hohen Intensitäten zu niedrige Mengen gemessen werden, weil dann ein Teil des nachfolgenden Wassers während des Kippvorganges noch in die bereits gefüllte Schale fliesst. Dieses systematische Defizit kann nachträglich grösstenteils korrigiert werden. Nicht zuletzt auch im Hinblick auf die geplante Automatisierung von Beobachtungsstationen werden gegenwärtig mehrere Exemplare der an der MZA entwickelten Niederschlagswippen JOSS-TOGNINI (4, 13) erprobt. Sie sind mit Registriergeräten ausgerüstet, welche bei Niederschlag jede Minute die gemessene Menge auf Zehntelmillimeter genau mit Datum und Zeit ausdrucken. Bei diesem Gerät wird besonderes Gewicht auf Robustheit, Betriebssicherheit und optimale Heizung bei Schneefall gelegt.

Auch in dieser Kategorie existiert eine ganze Reihe verschiedener Fabrikate. Uns bekannt ist die Erprobung einer gasbeheizten FUESS-Niederschlagswippe im Dischmatal durch das Eidg. Lawinenforschungsinstitut Weissfluhjoch-Davos (SLF) mit Registrierung der Impulse auf Magnetband.



#### 2.4 Verschiedene Messverfahren

Neben den bisher erwähnten Systemen stehen im Ausland weitere Messverfahren im Einsatz, z.B. tropfenzählende Instrumente. Da jedoch die Tropfengrösse der Tropfvorrichtung von der Niederschlagsintensität abhängt, kommen auch hier Messungenauigkeiten vor.

Abschliessend in diesem Kapitel sei noch die Niederschlagsmessung mit Radar erwähnt, von welcher man insbesondere für die Bestimmung von Gebietsniederschlägen bessere Ergebnisse erwartet. Allerdings ist man bei diesem Verfahren für die Eichung ebenfalls auf einzelne Bodenmessungen mit herkömmlichen Instrumenten angewiesen. Innerhalb der MZA sucht JOSS mit einer Forschungsgruppe in Locarno Möglichkeiten zur Kalibrierung der Radarmessungen mit einem selbstentwickelten Tropfenspektrometer. Ueber seine bisherigen Ergebnisse der Regenmessung mit Radar berichtet JOSS in Lit. (5).

#### 2.5 Schneemessinstrumente

Auf die speziell schwierig zu lösenden Probleme der Schneemessung wird in dieser Arbeit nur hingewiesen. Deshalb seien auch nur die bei uns im Routinebetrieb angewandten Messmethoden angeführt.

Während an den meteorologischen Stationen seit jeher täglich um 07.30 Uhr (seit 1971 zusätzlich um 19.30 Uhr) mit einem Schneepegel die Neuschneehöhen der vergangenen 12 respektive 24 Stunden, sowie die totale Schneehöhe gemessen werden, stehen wir gegenwärtig vor dem Abschluss der Einführung dieser Zusatzmessungen an allen Regenmess-Stationen.

Eigentliche Schneeuntersuchungen mit regelmässigen Dichte- und Schneeprofilbestimmungen an über 60 Vergleichsstationen der Alpenregion während des Winterhalbjahres sind Sache der Abteilung für Hydrologie und Glaziologie der ETHZ und des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch-Davos, wo gegenwärtig auch an der Entwicklung von automatischen Schneehöhe- und -dichtebestimmungsinstrumenten gearbeitet wird.

### 3. Probleme und Fehler der Niederschlagsmessung

Jede Messung ist mit Fehlern behaftet. Dies gilt daher auch für die Bestimmung der meteorologischen Elemente und innerhalb diesen in ganz besonderem Masse für die Niederschlagsmessung. Die bis heute noch nicht befriedigend gelösten Schwierigkeiten bei der Erfassung repräsentativer Werte für Neuschnee, Schneehöhe und Wasseräquivalent eines abgegrenzten Gebietes sind hinreichend bekannt. Dass aber auch die Regenmessung zahlreiche Probleme aufwirft, zeigt die Liste der möglichen Fehlerquellen. Sind die einzelnen Störeffekte und deren Grössenordnung bekannt, können spezifische Messungen besser beurteilt werden. In diesem Sinne soll die nachfolgende Zusammenstellung eine zutreffendere Interpretation der Niederschlagsmessresultate erlauben.

#### 3.1 Beobachterfehler

Auf die grosse Zahl von Fehlern, welche der Beobachter bei der Messung oder bei der Niederschrift des Resultates begehen kann (unvollständiges oder unsorgfältiges Ausgiessen der Sammelflasche in den Messzylinder, ungenaue Ablesung, unpünktliche Messung und viele andere mehr) soll hier nicht näher eingegangen werden. Sie sind stark von der Qualität des Beobachters abhängig. Bei einem guten Beobachter können sie im Gesamten als zufällige Grösse betrachtet werden, so dass daraus, über eine längere Messperiode betrachtet, keine wesentliche Verfälschung des Resultates entsteht. Bei unzuverlässigen Beobachtern ergeben sich mehrheitlich Fehlerbeträge, deren Grössenordnung von Fall zu Fall verschieden ist.

#### 3.2 Lage der Aufstellung, Exposition

Bei der Aufstellung eines Regenmessers ist eine geeignete räumliche Standortwahl die entscheidende Voraussetzung für eine repräsentative Niederschlagsmessung. KURTYKA (zit. in RODDA (9)) beziffert das mögliche Defizit bei ungünstiger Aufstellung auf 5 - 80 % des Sollwertes.

Welches sind die Ursachen solcher Fehlbeträge? Erstens ist die Störung des Windströmungsfeldes durch den Regenschirm selbst zu nennen. Das Messinstrument bewirkt über dem luvseitigen Teil der Auffangfläche eine Aufwindkomponente, welche die in den Regenschirm gelangende Tropfenzahl erheblich reduziert. Dieses Defizit kann durch die kleinere lee-seitige Teilfläche mit Abwind nicht mehr ausgeglichen werden, so dass insgesamt nach KLEINSCHMIDT (6) bei starkem Wind eine ca 15 % zu niedrige Regenmenge gemessen wird. Dieser durch das Instrument bedingte Fehler kann durch geeignete Windschutzeinrichtungen weitgehend korrigiert werden. Auf den künstlichen Windschutz wird im Kapitel 3.3 eingegangen.

Der durch das Messgerät beeinflusste Strömung kann sich nun noch eine grossräumige Störung durch das Relief (z.B. enges Tal, Luv- oder Lee-seite eines Berghanges) oder durch wirbelbildende Objekte (Häuser, Bäume, etc.) in unmittelbarer Umgebung des Regenschirms überlagern. Dadurch erreicht das Gesamtdefizit in ungünstigen Fällen die bereits erwähnte Grössenordnung.

Zur Vermeidung grosser Windgeschwindigkeiten am Messort wird bei der Aufstellung ein gewisser natürlicher Windschutz angestrebt. Durch zu sehr geschützte Lage, vor allem zwischen Häusern oder hohen Bäumen, können aber auch zu hohe Messwerte erhalten werden. In der Schweiz gilt die Aufstellungsregel, dass umgebende Objekte mindestens soweit entfernt sein sollten, wie sie hoch sind; der Deckungswinkel sollte also höchstens 45 Grad betragen. In der Praxis ist diese Regel in unserem Netz nicht überall erfüllt. Vergleichsmessungen zeigen jedoch, dass zu starker Schutz in nicht ausgesprochen windstarker Lage keine eindeutig feststellbare Verfälschung der Messresultate bewirkt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Niederschlagsmesser keinesfalls ungeschützt an windexponierten Stellen wie Berggipfel, Kreten und Hangschultern aufgestellt werden sollten (vgl. auch Tabelle 2). Standorte auf Dächern sind ebenfalls ungeeignet, wie schon MERCANTON (7) mit seinen Untersuchungen gezeigt hat (Defizit 10 bis 15 %).

### 3.3 Künstlicher Windschutz

Muss eine Messstation aus zwingenden Gründen an einer windexponierten Stelle eingerichtet werden, so kann das gestörte Strömungsfeld über dem Regenschirm durch das Anbringen geeigneter Windschutzrichtungen am Instrument korrigiert werden. Wie die Tabellen 1 und 2 zeigen, erhöhen sich dadurch die aufgefangenen Niederschlagsmengen. Die beiden in der Schweiz und in der Bundesrepublik Deutschland am häufigsten verwendeten Geräte sind der Niphertrichter (durchgehender konischer Metallzylinder) und der Windschutz nach WOELFLE (einzelne Blechlamellen). Bei der Flachlandstation Konstanz (BRD) ergeben zum Beispiel Vergleichsmessungen ein Defizit von knapp 5 % für den ungeschützten Regenschirm (Tabelle 1). Der Jahresgang mit grösseren Unterschieden im Winter ist angedeutet. In Tabelle 2 sind Vergleichsmessungen auf der Bergstation Feldberg im Schwarzwald (BRD) zusammengestellt: Geräte mit 200 cm<sup>2</sup> und 500 cm<sup>2</sup> Auffangfläche mit verschiedenen Windschutzringen ergeben grosse monatliche Unterschiede: Am meisten Niederschlag zeigt der Regenschirm mit einer Auffangfläche von 200 cm<sup>2</sup> und mit WOELFLE-Windschutz. Das Defizit bei den andern Geräten betrug beim Zweijahrestotal 10 bis 27 %, während bei den Monatssummen in wenigen Fällen Ueberschüsse (bis 20 %), mehrheitlich aber Fehlbeträge bis über 60 % aufgetreten sind. Zweifellos hat der grosse Anteil von Schnee am Gesamtniederschlag und die hohe mittlere Windgeschwindigkeit der Gipfelstation (1486 m/Meer) die Unterschiede in den Messwerten verstärkt.

Ueblicherweise wird angenommen, dass bei solchen Vergleichen die Messung mit Windschutz die richtige sei. Dies braucht jedoch nicht in jedem Falle so zu sein. Es zeigt sich hier das grundsätzliche Problem, dass bei Niederschlagsmessungen der tatsächlich richtige Wert nicht bekannt ist. Daher kann gerade auf diesem Gebiet eine Einzeluntersuchung kaum eine endgültige Lösung einer bestimmten Problemstellung bringen.

Monat	Monatsniederschlagssummen (mm)		
	H R	H m W	$\frac{H R}{H m W} (\%)$
November 72	179.0	185.6	96.4
Dezember 72	18.7	19.4	96.4
Januar 73	22.5	23.7	94.9
Februar 73	43.8	49.2	89.0
März 73	26.0	28.2	92.2
April 73	60.9	66.7	91.3
Mai 73	53.4	55.8	95.7
Juni 73	109.3	114.2	95.7
Juli 73	212.8	221.3	96.2
August 73	28.8	30.4	94.7
September 73	49.9	52.1	95.8
Oktober 73	107.6	111.4	96.6
November 73	80.2	84.5	94.9
Dezember 73	43.0	45.4	94.7
Januar 74	33.4	34.4	97.1
Februar 74	62.8	64.4	97.5
Summe	1 132.1	1 186.7	95.4

Tabelle 1 Vergleich der Monatsniederschlagssummen(mm), welche ohne und mit Windschutz(System WOELFLE) an der Wetterwarte Konstanz vom November 1972 bis Februar 1974 gemessen wurden:

H R = Regenmesser nach HELLMANN

H m W = Regenmesser nach HELLMANN mit WOELFLE-Windschutz

Die Auffangflächen(200 cm<sup>2</sup>) der Regenmesser befinden sich gemäss deutscher Vorschrift für Flachlandstationen 1 Meter über Boden.

(Für die freundliche Ueberlassung der aufgearbeiteten Daten sei Herrn ORR K. Waibel, Dienststellenleiter der Wetterwarte Konstanz, bestens gedankt.)

Monat	Niederschlagsmonatssummen absolut (mm) und relativ (%) zu Hm W2									
	HR2		Hm W2		HR5		Hm W5		Hm N5	
1971	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Jan	74	64	115	100	57	50	69	60	138	120
Feb	63	62	101	100	52	51	80	79	91	90
März	70	62	113	100	61	54	88	78	95	84
Apr	38	86	44	100	29	66	30	68	45	102
Mai	100	85	118	100	100	85	103	87	101	86
Juni	331	90	369	100	293	79	309	84	320	87
Juli	73	86	85	100	73	86	72	85	72	85
Aug	150	87	173	100	138	80	144	83	148	86
Sep	38	86	44	100	38	86	37	84	39	89
Okt	40	74	54	100	47	87	44	81	42	78
Nov	135	75	179	100	200	112	112	63	101	56
Dez	37	58	64	100	51	80	39	61	35	55
1972										
Jan	38	55	69	100	31	45	50	72	67	97
Feb	28	65	43	100	22	51	29	67	42	98
März	43	53	81	100	28	35	66	81	88	109
Apr	172	90	192	100	119	62	134	70	201	105
Mai	125	83	150	100	106	71	131	87	150	100
Juni	145	84	172	100	170	99	147	85	154	90
Juli	79	47	168	100	155	92	154	92	146	87
Aug	66	46	142	100	79	56	74	52	71	50
Sep	49	80	61	100	55	90	52	85	52	85
Okt	39	66	59	100	38	64	41	69	70	119
Nov	347	103	337	100	234	69	214	64	380	113
Dez	78	81	96	100	33	34	39	41	63	66
Σ	2358	78	3029	100	2209	73	2258	75	2711	90

**Tabelle 2** Vergleich der Monatsniederschlagssummen(mm), welche auf der Bergstation Feldberg im Schwarzwald(BRD), 1486MÜM, in den Jahren 1971 und 1972 mit verschiedenen Messeinrichtungen gemessen wurden:

HR2 = Regenmesser nach HELLMANN ohne Windschutz, 200 cm2 Auffangfl.

Hm W2 = Regenmesser mit WOELFLE-Windschutz, 200 cm2 Auffangfläche

HR5 = Regenmesser nach HELLMANN ohne Windschutz, 500 cm2 Auffangfl.

Hm W5 = Regenmesser mit WOELFLE-Windschutz, 500 cm2 Auffangfläche

Hm N5 = Regenmesser mit NIPHER-Windschutz, 500 cm2 Auffangfläche

(Für die freundliche Vermittlung der Messwerte sei Herrn Oberregierungsrat K. Waibel, Wetterwarte Konstanz, bestens gedankt.)

### 3.4 Messhöhe

Die im Kapitel 3.2 besprochene apparatebedingte Strömungsbeeinflussung kann auch durch Verlegung des Regenmessers in den Boden vermieden werden, wodurch jenes Defizit weitgehend verschwindet. Um bei starkem Regen Spritzer vom Umgelände in den Auffangzylinder weitgehend auszuschliessen, muss das Gerät bei einer bodenebenen Aufstellung von einem Gitterrost von mindestens einem Quadratmeter Fläche umgeben sein. Im Winter ist diese Aufstellung unzweckmässig, da abgelagerter Schnee von der Umgebung in das Messgerät geblasen werden kann.

Unter Aufsicht der WMO läuft gegenwärtig eine internationale Vergleichsuntersuchung mit dem Ziel, bis Ende des hydrologischen Dezeniums Umrechnungsfaktoren für die verschiedenen nationalen Standardregennmesser zu ermitteln. Man hofft, dadurch die von Land zu Land unterschiedlichen Niederschlagsmessungen besser vergleichen zu können. Die Schweiz beteiligt sich vorläufig nicht an diesem Versuch.

Mehrbeträge von 5 bis 10 % wurden bei Vergleichsmessungen in Grossbritannien nach RODDA (9) mit dem bodenebenen Messapparat ("pit raingauge") gemessen, verglichen mit dem englischen Standardgerät, bei welchem die Auffangfläche 30 cm über Boden liegt. Aehnliche Vergleichsmessungen werden an der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen in Birmensdorf seit 1961 durchgeführt. Dabei vergleicht man die täglichen Niederschlagsmengen, welche mit 4 HELLMANN-Regenmessern mit Aufstellungshöhen von 10, 50, 100 und 200 cm über Boden gemessen werden. Die Tabellen 3 bis 5 zeigen die Unterschiede zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Gerät. Bei den alljährlich vom April bis Oktober (nur flüssiger Niederschlag) durchgeführten Messungen fielen die bodennahen Werte im Mittel knapp 4 % höher aus. Andererseits betrug beispielsweise an den 123 Niederschlagstagen dieser Periode des Jahres 1972 die maximale absolute Tagesdifferenz 0,8 mm (Tabelle 5).

Die mit bodenebenen aufgestellten Geräten gemessenen Werte entsprechen bei Regen den tatsächlich am Boden auftreffenden Niederschlagsmengen

Monat Aufstellung	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Apr - Okt
	10 cm/Boden	1215	1353	1376	1365	1637	1107	486
%	100	100	100	100	100	100	100	100
200 cm/Boden	1144	1295	1336	1321	1585	1080	470	8232
%	94.2	95.7	97.1	96.8	96.8	97.6	96.8	96.4

**Tabelle 3** Monatliche Niederschlagssummen(mm) der Periode 1961-72 (April - Oktober) im Versuchsgarten der EAFV, Birmensdorf, 550 Meter/Meer mit Regenmessern nach HELLMANN, Messhöhe 10 und 200 cm über Boden, Auffangfläche 200 cm<sup>2</sup>, ohne Windschutz. Die Prozentwerte beziehen sich auf die in Bodennähe gemessenen Niederschlagsmengen.

Jahr	Niederschlagssummen (mm) April-Oktober		
	HR <sub>10</sub>	HR <sub>200</sub>	$\frac{HR_{200}}{HR_{10}}$ (%)
1961	629	588	93.3
1962	558	513	91.9
1963	671	648	96.6
1964	662	640	96.6
1965	1008	966	95.8
1966	795	766	96.3
1967	626	608	97.0
1968	837	815	97.4
1969	622	604	97.1
1970	792	764	96.4
1971	637	633	99.3
1972	702	686	97.7
1961-72	8539	8231	96.4

Die Daten für die Tabellen 3 bis 5 wurden uns freundlicherweise von Herrn Dr. Turner, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen(EAFV) in Birmensdorf überlassen.

**Tabelle 4** Niederschlagssummen(mm) der Monate April bis Oktober 1961-72 für Messhöhen von 10 und 200 cm über Boden. Messort und Messmethode siehe Tabelle 3!

HR<sub>10</sub> = Auffangfläche 10 cm über Boden

HR<sub>200</sub> = Auffangfläche 200 cm über Boden



besser. Die Routinemessungen der MZA sollten daher für Wasserbilanzuntersuchungen korrigiert werden.

Differenz	+0.4	+0.3	+0.2	+0.1	0.0	-0.1	-0.2
Anzahl Fälle	1	0	1	6	38	37	20
%	0.8	0.0	0.8	4.9	30.9	30.0	16.3
Differenz	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	Total
Anzahl Fälle	9	3	1	4	2	1	123
%	7.3	2.4	0.8	3.3	1.6	0.8	99.9

Tabelle 5 Verteilung der täglichen Niederschlagsdifferenzen (mm) zwischen zwei Regenmessern nach HELLMANN (HR) mit Messhöhen von 10 und 200 cm über Boden. Differenz =  $HR_{10cm} - HR_{200cm}$ . 123 Niederschlags-tage vom April - Oktober 1972 auf dem Versuchsfeld der EAFV in Birmensdorf, 550 Meter über Meer.

### 3.5 Verdunstung

Zu niedrige Regenmengen werden auch infolge Verdunstung gemessen. Bei den täglich entleerten Sammelflaschen der HELLMANN-Regenmesser ist sie vernachlässigbar klein. Hingegen spielt sie bei den Jahressammlern eine grössere Rolle. SEVRUK (11) errechnete für die Totalisatoren (Typ MOUGIN) in der Baye de Montreux Verdunstungsverluste von etwa 6 %. In Tabelle 6 sind Vergleichsmessungen an der MZA in Zürich zusammengestellt. Das mittlere Defizit beträgt hier 11 %, wofür in geringerem Umfang auch noch andere Ursachen verantwortlich sind.

Jahr	Niederschlagsmengen (mm) Hydrologisches Jahr		
	Täglicher Niederschlagsmesser	Totalisator	
		absolut	in % des tägl.RM
1961	105	94	90
1962	103	89	86
1963	102	89	87
1964	98	89	91
1965	138	119	86
1966	135	120	89
1967	123	110	89
1968	120	106	88
1969	89	81	91
1970	143	131	92
1971	96	82	85
1972	92	81	88
1973	106	95	90
Mittel	112	99	89

**Tabelle 6** Vergleich der Jahresniederschlagssummen (cm), welche mit einem Regenmesser nach HELLMANN (tägliche Entleerung) und mit einem Jahres-Totalisator (Typ MOUGIN) im Garten der MZA in Zürich, 556 Meter/Meer, in den Jahren 1961-73 gemessen wurden.

Eine grössere Bedeutung ist den Verdampfungsverlusten bei den geheizten Pluviographen zuzumessen. Es gilt hier die Heizung so zu regulieren, dass ein Optimum an rascher Ansprechbarkeit und möglichst niedriger Verdunstung erreicht wird.

### 3.6 Benetzungsverluste

Je nach Instrumententyp bleibt ein kleiner Teil des in den Niederschlagsmesser gelangenden Wassers in Form von kleinen Tropfen an den Wänden und am Trichter des Auffanggefässes hängen und verdunstet später nach Niederschlagsende. SEVRUK (12) fand für die vier schauerreicheren Sommermonate Juni - September einer zehnjährigen Periode mittlere Benetzungsverluste von 2,6 %. In einzelnen Monaten stiegen sie auf über 5 % an.

### 3.7 Weitere Fehlerquellen

Endlich seien noch einige weitere Ursachen für fehlerhafte Niederschlagsmessungen aufgezählt. Für Einzelheiten muss auf die umfangreiche Fachliteratur verwiesen werden. Die folgenden Faktoren wirken sich, wenn auch nicht mehr sehr stark, entweder direkt auf die gemessene Niederschlagsmenge aus oder sie beeinflussen einzelne der in den vorangehenden Kapiteln besprochenen Fehlerursachen:

- Neigung der Auffangfläche
- Oeffnungsgrösse der Auffangfläche
- Material und Farbe des Gerätes
- Spritzer von umgebenden Objekten in den Regenschirm hinein oder aus diesem heraus
- Kondensationsvorgänge im Innern des Messinstrumentes

#### 4. Korrelation der Jahres- und Monatsniederschlagssummen in Abhängigkeit von der Stationsentfernung

##### 4.1 Beschreibung des Bearbeitungsverfahrens

Für 70 niederschlagsmessende Stationen des schweizerischen Mittellandes und des Alpenraumes (ohne Tessin), von denen die täglichen Niederschlagsmengen der Periode 1901 - 1968 an der MZA auf Magnetband gespeichert sind, wurden vorläufig für die Jahres- sowie für die Monatsniederschlagssummen Januar und Juli die paarweisen Produkt-Momentkorrelationskoeffizienten nach PEARSON berechnet. Ziel der Untersuchung war die Bestimmung der Distanzabhängigkeit der Korrelation der betreffenden Niederschlagsgrössen. Die aus den drei Teiluntersuchungen resultierenden je 2415 Korrelationskoeffizienten wurden aufgrund der Entfernungen der zugehörigen Stationspaare in Distanzklassen von zehn Kilometern Klassenbreite gruppiert: Beispielsweise wurde also der Korrelationskoeffizient  $r = 0.72$  der 68 Jahressummen für das Stationspaar Chur-Engelberg wegen der gegenseitigen Entfernung von 85 km der 9. Klasse zugeordnet.

Die weitere Bearbeitung beschränkte sich auf Klassen, welche mit mindestens 10 Korrelationskoeffizienten besetzt waren (Klasse 2 bis 27), was distanzmässig einem Bereich von 10 bis 270 km entspricht. Für jede Klasse wurden nun als Verteilungsmasszahlen der Zentralwert (Median), das erste und neunte Dezil (10 % aller Korrelationskoeffizienten der betreffenden Klasse liegen unterhalb des ersten, bzw. über dem neunten Dezil) sowie der kleinste und der grösste Wert bestimmt und in Diagrammen (Abb. 5 bis 7) graphisch dargestellt.

##### 4.2 Interpretation der Resultate

Bei der Beurteilung der aus dieser Untersuchung resultierenden Distanzabhängigkeit der Korrelationskoeffizienten gilt es grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die Entfernung zweier Stationen nicht die einzige Einflussgrösse für die Veränderlichkeit von Niederschlagskorrelationen darstellt. Von allgemeiner Bedeutung sind auch die regionale Lage der

Station (z.B. dies- oder jenseits einer Wetterscheide), die lokale Exposition, die Höhenlage und nicht zuletzt auch die Zuverlässigkeit des Beobachters. Da alle diese und noch weitere nicht genannte Einflüsse den Wert des Korrelationskoeffizienten mitbestimmen, ist ein einzelnes Korrelationsmass nicht eindeutig interpretierbar. Unter der Annahme jedoch, dass sich die zusätzlich zur Entfernung wirkenden Faktoren bei einer genügend grossen Zahl von Stationspaaren weitgehend kompensieren, resultiert aus einer solchen Untersuchung trotzdem ein wertvoller Einblick in die entfernungsabhängige Veränderlichkeit bestimmter Niederschlagsgrössen.

#### 4.2.1 Jahresniederschlagssummen (1901 - 1968)

Abbildung 5 zeigt den allmählichen Rückgang der mittleren Korrelation von 0.86 bei der Klasse 2 (10 bis 20 km Entfernung der Stationen) auf ungefähr 0.6 ab Klasse 19 (180 - 190 km). Die scheinbare Streuungszunahme ist auf den nichtlinearen Inhalt der Korrelationskoeffizienten zurückzuführen. Die vereinzelt auftretenden starken Sprünge in gewissen Klassen müssen zufällig sein. Für die Interpretation sollte daher der Verlauf der eingezeichneten Verbindungslinien geglättet werden. Die Minimalwerte sind weitgehend die Folge starker Einflüsse von nicht mit der Entfernung zusammenhängenden Ursachen (u.a. vermutlich unzutreffende Interpolationen bei Beobachtungslücken und andere Inhomogenitäten einzelner Messreihen); sie sind mehrheitlich nicht signifikant von Null verschieden und besitzen daher keine zu verallgemeinernde Aussagekraft.

#### 4.2.2 Niederschlagssummen der Monate Januar und Juli (1901 - 1968)

Bei kurzer Entfernung korrelieren die Niederschlagssummen des Monats Januar mit 0.91 im Mittel der Klasse 2 deutlich höher als diejenigen des Juli mit 0.84. Dass im Sommer infolge der örtlich stark variierenden Gewitterniederschläge eine geringere Uebereinstimmung der Monatssummen vorhanden ist, war zu erwarten. Der Unterschied ist auch auf weitere Distanz noch vorhanden. Auffallend ist hingegen das umgekehrte

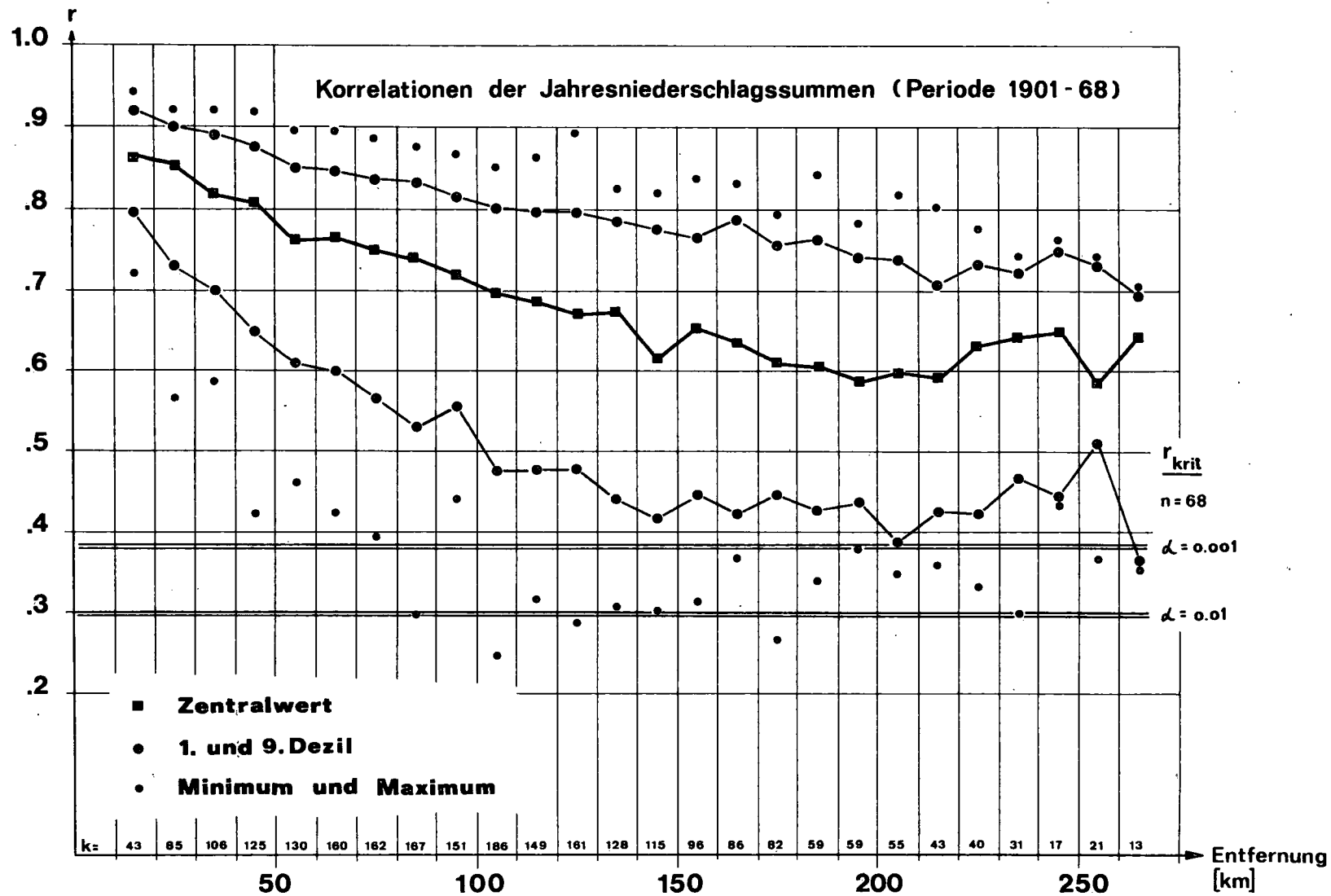
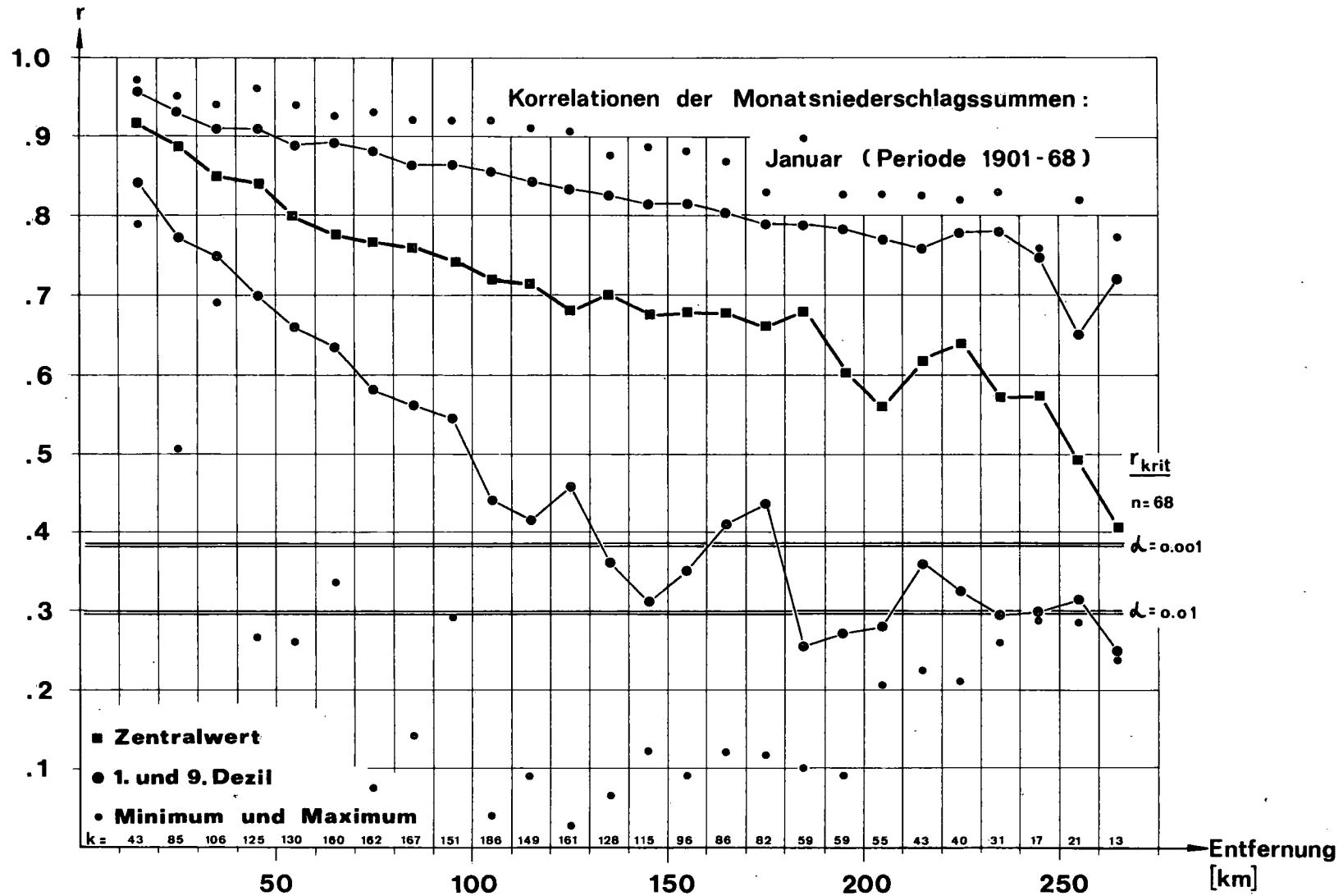


Abb. 5 Korrelationen der Jahresniederschlagssummen (Periode 1901-68) nach PEARSON in Abhängigkeit von der Stationsentfernung. Eingezeichnet sind die Verteilungsmasse der einzelnen Klassen (Klassenbreite = 10 Kilometer, k = Anzahl Korrelationskoeffizienten in der entsprechenden Klasse).

Verhalten der Streuung innerhalb der Klassen. Während im Juli eine erstaunlich kleine Streuung vorhanden ist, fällt diese im Januar etwa doppelt so hoch aus. Offenbar spielen die zusätzlichen Einflussgrößen (Lage, Exposition) relativ betrachtet im Winter eine grössere Rolle als im Sommer.

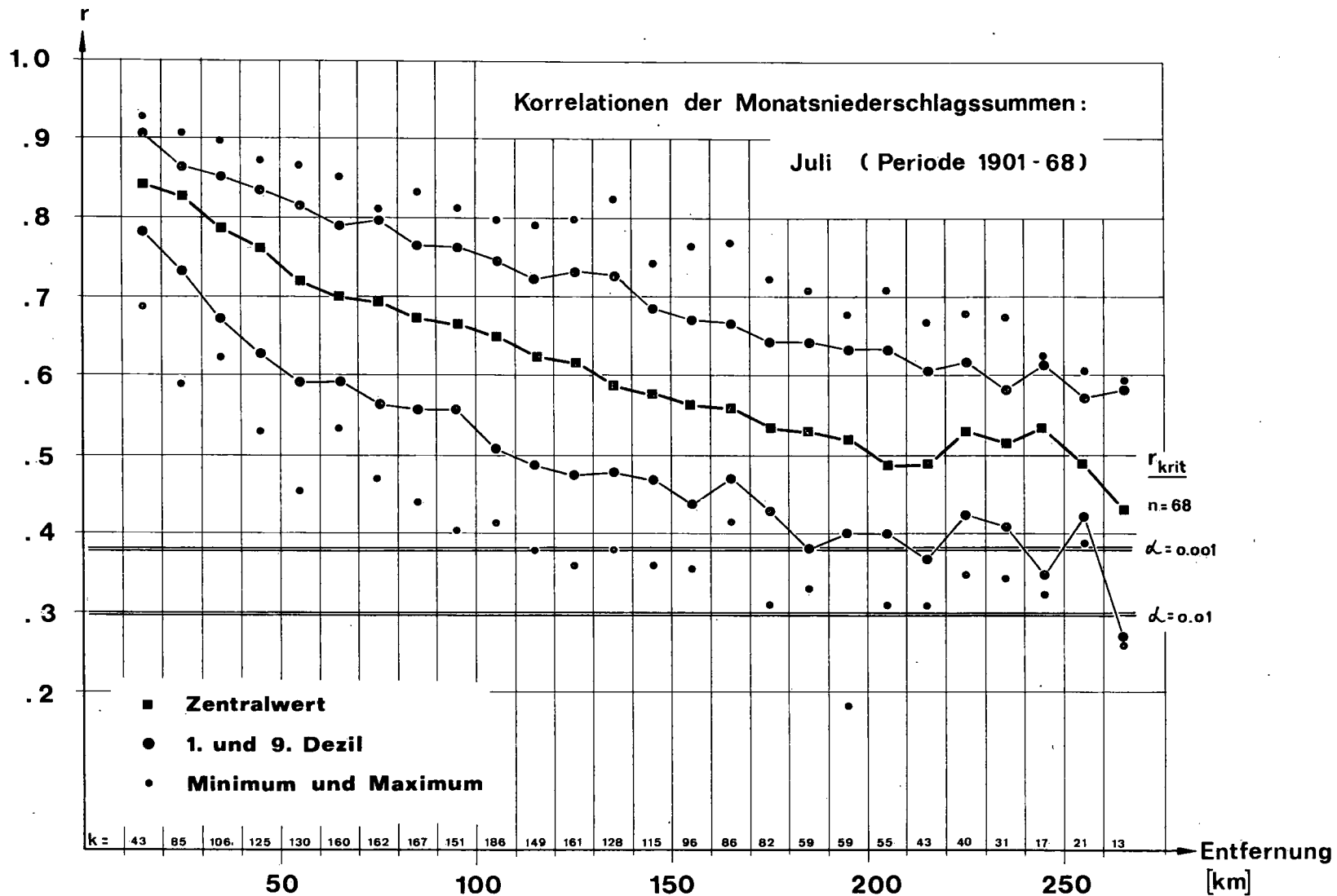
#### 4.2.3 Vergleich der Korrelation bei Jahres- und Monatsniederschlägen

Die mittleren entfernungsbedingten Korrelationskoeffizienten der Jahresniederschlagssummen liegen zwischen denjenigen der Januar- und Julimonatswerte. Auch bei der Korrelation schlägt sich die ausgleichende Eigenschaft von Jahressummen nieder: Die Abnahme der Korrelation bei zunehmender Distanz ist geringer. Dieses ähnliche Verhalten entspricht dem eigentlichen Inhalt des Korrelationsmasses, welches keine neue Eigenschaft der untersuchten Zahlen darstellt, sondern als einzelne Kenngrösse das mittlere paarweise Verhalten wiedergeben soll.



**Abb. 6** Korrelationen der Januar-Monatsniederschlagssummen (Periode 1901-68) nach PEARSON in Abhängigkeit von der Stationsentfernung. Eingezeichnet sind die Verteilungsmasse der einzelnen Distanzklassen (Klassenbreite = 10 Kilometer,  $k$  = Anzahl Korrelationskoeffizienten in der entsprechenden Klasse).





**Abb. 7** Korrelationen der Juli-Monatsniederschlagssummen (Periode 1901-68) nach PEARSON in Abhängigkeit von der Stationsentfernung. Eingezeichnet sind die Verteilungsmasse der einzelnen Distanzklassen (Klassenbreite = 10 Kilometer, k = Anzahl Korrelationskoeffizienten in der entsprechenden Klasse).

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

---

- (1) BROWN, M.J.,  
PECK, E.L. Reliability of Precipitation Measurements as  
Related to Exposure  
J. of Appl. Met., 1/1962 (2) June: 203 - 207
- (2) DEUTSCHER  
WETTERDIENST Instrumentenkunde  
Offenbach am Main 1969. 58 S., Leitfaden für  
die Ausbildung im DWD, Nr. 6
- (3) HANN-SÜRING Lehrbuch der Meteorologie, 5. Aufl. Band 1.  
Leipzig 1939. 480 S.
- (4) JOSS, J.,  
TOGNINI, E. Ein automatisch arbeitender Ombrograph mit  
grossem Auflösungsvermögen und mit Fernüber-  
tragung der Messwerte  
Pure and Appl. Geophys. 68/1967 (III): 229-239
- (5) JOSS, J. et.al. On the Quantitative Determination of Precipi-  
tation by Radar  
Zürich 1970. 38 S. Eidg. Komm. z. Stud. d.  
Hagelbildung und der Hagelabwehr, Wiss. Mitt.,  
Nr. 63
- (6) KLEINSCHMIDT, E. Handbuch der meteorologischen Instrumente und  
ihrer Auswertung  
Berlin 1935. 733 S.
- (7) MERCANTON, P.L. Recherches de technique pluviométrique  
Ann. d. Schweiz. Met. Zentralanstalt 76/1939,  
Anhang Nr. 9: 5 S.
- (8) RODDA, J.C. An Objective Method for the Assessment of Areal  
Rainfall Amounts  
Weather 17/1962 (2): 54 - 59
- (9) RODDA, J.C. The Precipitation Measurement Paradox - the  
Instrument Accuracy Problem  
Geneva 1971. XII + 42 S. Report on WMO/IHD  
Projects, No 16
- (10) SCHÜEPP, M. 100 Jahre schweizerisches Beobachtungsnetz 1864-  
1963  
In: Schweiz. Met. Zentralanstalt. Hundert Jahre  
Meteorologie in der Schweiz. Zürich 1964: 15-31
- (11) SEVRUK, B. Evaporation Losses from Storage Gauges  
In: OMM/WMO, Distribution of Precipitation in  
Mountainous Areas. Geneva 1972: 96-102

- (12) SEVRUK, B. Initial Wetting Losses Incurred by Ground Level Stereo Gauges  
Water Resources Res. 9/1973 (3) June: 759 - 763
- (13) TOGNINI, E. Automatischer Niederschlagsmesser für kaltes Klima  
Zürich 1971. 7 S. + 13 Fig. Arbeitsbericht der Schweiz. Met. Zentralanstalt, Nr. 20
- (14) WMO Annotated Bibliography on Precipitation Measurement Instruments  
Geneva 1973. XX + 278 S. Rep. om WMO/IHD Projects, No 17
- (15) WMO Guide to Meteorological Instrument and Observing Practices, 4. Aufl.  
Geneva 1971. WMO - No 8. TP. 3

---