



Berichte des Deutschen Wetterdienstes

162

**Vergleichsmessungen mit windgeschützten und ungeschützten
Niederschlagsmeßgeräten**

von
Helmut Kumm



Zitationsvorschlag:

Kumm, Helmut: Vergleichsmessungen mit windgeschützten und ungeschützten Niederschlagsmeßgeräten. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1983.

(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 162)

ISSN der Onlineausgabe: 2194-5969

ISSN der Druckausgabe: 0072-4130

Nutzungsbedingungen



Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz

Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Herausgeber und Verlag: :

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Straße 135
D- 63067 Offenbach am Main

Internet: www.dwd.de

Mail: bibliothek@dwd.de

Verzeichnis der Abbildungen	4
Verzeichnis der Tabellen	5
Zusammenfassung / Abstract	7
1 EINLEITUNG	7
2 MESSVERLUSTE	8
3 DAS DATENKOLLEKTIV UND DIE DARSTELLUNG DER DATEN EINZELNER STATIONEN	8
3.1 Korrelationsmatrix	
3.2 Mittlere Meßdifferenz in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe	
3.3 Erkennen und Eliminieren von fehlerhaften Daten	
4 ZUSAMMENFASSEN VON STATIONEN MIT ÄHNLICHER MESSCHARAKTERISTIK ZU STATIONS-GRUPPEN	9
4.1 Objektive Kriterien für die Eingruppierung	
4.2 Räumliche Verteilung der Stationen und ihrer Gruppenzugehörigkeit	
5 ERGEBNISSE	11
5.1 Ergebnisse für die einzelnen Stationen	
5.2 Ergebnisse für die 6 Stationsgruppen	
5.2.1 Mittlere Meßdifferenz in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe	
5.2.2 Mittlere Meßdifferenz in Abhängigkeit vom Monat, von der Form des Niederschlags und von der Windstärke	
5.3 Unsicherheit der Ergebnisse	
5.4 Meteorologische Anmerkungen zu den Ergebnissen	
6 SCHLUSSFOLGERUNGEN	15
DANKSAGUNG	15
VERWENDETE LITERATUR	16
ANHANG	21

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

	Seite
Abb. 1 Aufstellung der beiden Meßgeräte	7
Korrelationsmatrizen für die Stationen:	
Abb. 2 Lingen	26
Abb. 3 Norderney	26
Abb. 4 Stötten	27
Mittlere Meßdifferenz und geglättete Kurven der mittleren Meßdifferenz in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe für die Stationen:	
Abb. 5a/b Lingen	28
Abb. 6a/b Norderney	29
Abb. 7a/b Stötten	30
Abb. 8 Korrelationsmatrix für eine Station mit gestörtem Datenkollektiv	31
Abb. 9 Geglättete Kurve der mittleren Meßdifferenz für eine Station mit ge- störtem Datenkollektiv	31
Korrelationsmatrizen und Kurven der mittleren Meßdifferenz in Abhängig- keit von der täglichen Niederschlagshöhe für die Stationsgruppen:	
Abb. 10a/b A	32
Abb. 11a/b B	33
Abb. 12a/b C	34
Abb. 13a/b D	35
Abb. 14a/b E	36
Abb. 15a/b F	37
Abb. 16 Übersichtskarte über die räumliche Verteilung der Gruppenzugehörigkeit der Stationen	38
Kurven der mittleren Meßdifferenz zwischen windgeschützten und normalen Meßgeräten in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe (Angaben in Prozent, bezogen auf die Messungen des normalen Meßgerätes) für die Stationsgruppen:	
Abb. 17a A	39
Abb. 17b B	39
Abb. 17c C	40
Abb. 17d D	40
Abb. 17e E	41
Abb. 17f F	42

	Seite	
Abb. 18a	für alle Stationsgruppen, während des hydrologischen Sommers	43
Abb. 18b	für alle Stationsgruppen, während des hydrologischen Winters	44
Abb. 19	Jahresgang der mittleren monatlichen Meßdifferenz zwischen windgeschützten und normalen Meßgeräten (Angaben in Prozent, bezogen auf die Messungen des normalen Meßgerätes) für die Stationsgruppen A bis F	12
Abb. 20	Mittlere Meßdifferenz in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlags- höhe, während des hydrologischen Winters für die Stationsgruppe C mit Angabe der Unsicherheitsgrenzen	45
Abb. 21	Jahresgang der mittleren monatlichen Meßdifferenz für die Stationsgrup- pe C mit Angabe der Unsicherheitsgrenzen	14

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tab. 1	Mittlere Meßdifferenz während der hydrologischen Halbjahre und während der Tage mit Schneefall für die 6 Stationsgruppen	10
	Stationsverzeichnisse Angaben über die mittlere Meßdifferenz in Abhängigkeit von Monat von der Jahreszeit von der Form des Niederschlags und von der Windstärke während des Niederschlags	
Tab. 2	für alle Stationen	21 - 22
Tab. 3a	für die Stationen der Gruppe A	23
Tab. 3b	für die Stationen der Gruppe B	23
Tab. 3c	für die Stationen der Gruppe C	24
Tab. 3d	für die Stationen der Gruppe D	24
Tab. 3e	für die Stationen der Gruppe E	25
Tab. 3f	für die Stationen der Gruppe F	25
Tab. 4	Mittlere Meßdifferenzen in Abhängigkeit vom Monat von der Jahreszeit von der Form des Niederschlags und von der Windstärke während des Niederschlags für die Stationsgruppen A bis F	13
Tab. 5	Statistische Unsicherheiten der mittleren relativen Meßdifferenzen	13

Zusammenfassung

Über einen Zeitraum von 5 Jahren wurden an etwa 200 Stationen Vergleichsmessungen mit normalen und windgeschützten Hellmann'schen Niederschlagsmessern durchgeführt. Für jede einzelne Station erhielt man die mittlere Differenz der parallel gemessenen täglichen Niederschlagshöhen in Abhängigkeit von Monat, von der Niederschlagsform und von der Windstärke während des Niederschlags. Durch Zusammenfassen mehrerer Stationen mit ähnlicher Charakteristik der Meßdifferenz gelang es, genügend große Datenkollektive zu bilden, aus denen statistisch gesicherte Aussagen über die mittlere Meßdifferenz in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe berechnet werden konnten. Zu allen abgeleiteten Größen werden auch die geschätzten Unsicherheitsgrenzen angegeben.

Abstract

Over a period of 5 years comparative measurements have been made with normal and windshielded rain gauges, Hellmann type, at around 200 stations. The average difference of the daily precipitation amounts, recorded parallel each day, were obtained in dependency on month, the form of precipitation and wind speed during the precipitation. By combining several stations with a similar characteristic measuring difference it was possible to compile a sufficiently large amount of data to serve as basis for statistically founded statements on the average measuring difference in dependency on the daily precipitation amounts. All quantities derived are provided with the estimated instability margins.

1 EINLEITUNG

Im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) wurden weltweit Untersuchungen zur Verbesserung der Niederschlagsmessung durchgeführt (DFG 1965). Einer der Beiträge der Bundesrepublik Deutschland war der Test des Wölfle'schen Windschutzrings am normalen Hellmann'schen Niederschlagsmesser.

Für dieses Projekt wurden 5 Jahre lang an etwa 200 Stationen die täglichen Niederschlagshöhen parallel mit einem normalen und einem windgeschützten Niederschlagsmesser gemessen (Abb. 1).

Es sollte herausgefunden werden, wie groß die Meßdifferenzen im Einzelfall und im Mittel sind, um so die Meßverluste durch Windverwehungen, die vor allem Wasserbilanzrechnungen verfälschen können, abzuschätzen.

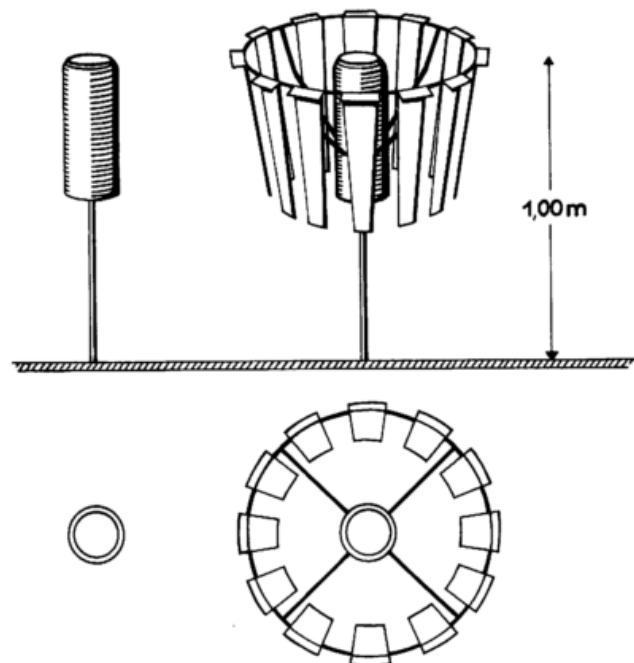


Abb. 1: Aufstellung der beiden Meßgeräte (von der Seite gesehen und Projektion auf eine horizontale Fläche)

Ferner war zu untersuchen, ob die täglichen Niederschlagshöhen der beiden Meßgeräte ineinander umgerechnet werden können, um dadurch Messungen mit und ohne Windschutzring vergleichbar zu machen.

2 MESSVERLUSTE

Der Meßfehler durch Windverwehung ist der wesentlichste der Faktoren, die die Niederschlagsmessung verfälschen.

Im Mittel wird im Niederschlagsmeßgerät weniger Niederschlag gemessen als der Boden in der Umgebung erhält. Im Sommer sind es vor allem Verluste durch Benetzung und Verdunstung, die die Niederschlagsmessung zu niedrig ausfallen lassen. Im Winter ist die Windverwehung der wesentliche Faktor (KARBAUM 1968), (RODDA 1971).

Das Niederschlagsmeßgerät stellt einen Strömungswiderstand im Windfeld dar. Bei genügend hoher Windgeschwindigkeit (etwa 2 m/s) bildet sich hinter der angeströmten Kante über der Meßöffnung eine Grenzschicht aus. Oberhalb dieser Grenzschicht drängen sich die Stromlinien, und die Windgeschwindigkeit wird erheblich größer (30 % bei 2 m/s). Dadurch werden vor allem kleine Tropfen und Schneeflocken vor dem Auftreffen etwas stärker als in der ungestörten Strömung verweht.

Der Windschutzring wirkt dem entgegen, indem er das laminare Umströmen durch Verwirbelung stört. Je nach Aufstellungsort bedeutet das eine mehr oder weniger große Verbesserung der Meßgenauigkeit. Eine nahezu fehlerfreie Messung des tatsächlich gefallenen Niederschlags gelingt aber nur mit sehr aufwendigen, in den Boden eingelassenen Niederschlagswaagen. Die Größenordnung der Meßfehler sowie der Einfluß auf die Wasserbilanz ist im Hydrologischen Atlas der Bundesrepublik Deutschland (DFG 1978/1979) näher erläutert.

3 DAS DATENKOLLEKTIV UND DIE DARSTELLUNG DER DATEN EINZELNER STATIONEN

Das Datenkollektiv umfaßt etwa 365 000 Datenpaare (RR, RRS) von täglichen Niederschlagshöhen, die parallel mit einem ungeschützten (RR) und einem windgeschützten (RRS) Niederschlagsmeßgerät nebeneinander gemessen wurden.

An den meisten Stationen wurde zusätzlich die Form des Niederschlags vom Beobachter registriert. An einigen windexponierten Stationen wurde außerdem die Windstärke zur Zeit des Niederschlags geschätzt.

3.1 Korrelationsmatrix

Eine komprimierte Darstellungsform der Datenpaare (RR, RRS) ist eine Korrelationsmatrix, deren Zeilen und Spalten logarithmisch abgestuften Klassen der Niederschlagshöhe entsprechen (Abb. 2 bis Abb. 4). Für die Zuordnung eines Meßwertes x in eine Klasse soll gelten: Klassenuntergrenze $\leq x <$ Klassenobergrenze

Auf der Diagonalen liegen die Meßpaare, deren tägliche Niederschlagshöhen RR und RRS so wenig differieren, daß sie in die gleiche Klasse fallen. Der Bereich oberhalb der Diagonalen entspricht all den Fällen, bei denen größere tägliche Niederschlagshöhen im windgeschützten Meßgerät gemessen wurden (RRS größer als RR). Unterhalb der Diagonalen sind die sehr viel selteneren Ergebnisse, bei denen die Niederschlagshöhe im ungeschützten Meßgerät größer war (RRS kleiner als RR).

Eine solche Korrelationsmatrix gibt einen anschaulichen Eindruck von den Meßverhältnissen an der Station wieder:

- a) Je weiter die Schwerpunktlinie von der Diagonalen entfernt liegt, desto größer ist die mittlere Differenz zwischen den beiden Messungen.
- b) Je stärker die Bündelung um die Schwerpunktlinie ausgeprägt ist, desto genauer kann die mittlere Differenz angegeben werden.

Für alle Stationen zeigt sich qualitativ, daß die relative Meßdifferenz, veranschaulicht durch den Abstand der Schwerpunktslinie von der Diagonalen, mit zunehmender Niederschlags- höhe abnimmt.

3.2 Mittlere Meßdifferenz in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe

Die Abbildungen 5a, 6a, 7a zeigen als Computergraphik die mittleren relativen Differenzen der parallelen Messungen für die schon bei der Korrelationsmatrix verwendeten logarithmisch abgestuften Klassen.

Für manche Stationen ergibt sich ein sehr unruhiges Bild von verstreut liegenden Punkten. Erst durch 10fach übergreifende Glättung erhält man einen erkennbaren Kurvenverlauf (Abb. 5b, 6b, 7b).

Die Ursache hierfür bildet die statistische Unruhe im Datenkollektiv, das zu klein ist, um derart detaillierte Aussagen für jede Station abzuleiten.

Obwohl die geglätteten Kurvenverläufe keine statistisch gesicherte Aussage über die quantitativen Meßdifferenzen pro Klasse zulassen, so sind sie doch gut geeignet, die Meßverhältnisse an den Stationen zu charakterisieren. Die Unterscheidung der Kurvenformen ist eines der Kriterien, nach denen vergleichbare Stationen zu Gruppen zusammengefaßt werden (siehe Abschn. 4.1).

3.3 Erkennen und Eliminieren von fehlerhaften Daten

Die Korrelationsmatrix und die Computergraphik der mittleren Meßdifferenz eignen sich zum Erkennen von groben Fehlern im Datenmaterial. Große Unterbrechungen entlang der Diagonalen der Korrelationsmatrix (Abb. 8) weisen darauf hin, daß das Datenmaterial stark gestört ist.

Einzelne Punkte, die weit von der Diagonalen entfernt liegen oder große Unstetigkeiten der geglätteten Kurve der mittleren Meßdifferenz (Abb. 9) können durch fehlerhafte Messungen oder durch falsches Erfassen der Daten entstehen (z.B. Größenordnungsfehler: 10 mm statt 1 mm Niederschlagshöhe). 20 Stationen wurden deshalb von der weiteren Untersuchung ausgeschlossen.

4 ZUSAMMENFASSEN DER STATIONEN MIT ÄHNLICHER MESSCHARAKTERISTIK ZU STATIONSGRUPPEN

Aus den Datenkollektiven einzelner Stationen können die mittleren Differenzen zwischen parallelen Messungen nur dann mit genügend hoher statistischer Sicherheit berechnet werden, wenn die Anzahl der Fälle, auf die sich die Angaben stützen, genügend groß ist. Es zeigte sich, daß das Datenkollektiv einer einzelnen Station groß genug ist, um die mittleren Meßdifferenzen in Abhängigkeit von Monat, Windstärke und Niederschlagsform zu berechnen (siehe Abschn. 5.1), aber zu klein ist, um sichere Angaben über die mittlere Meßdifferenz in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe zu machen.

Um größerer Datenkollektive zu bekommen, wurden Stationen mit vergleichbaren Meßverhältnissen zu Gruppen zusammengefaßt. Die Eingruppierung wurde aufgrund objektiver Kriterien vorgenommen.

4.1 Objektive Kriterien für die Eingruppierung

Die Klassifizierung der Meßverhältnisse ist ein komplexes Problem, bei dem sowohl klimatologische als auch meßtechnische Faktoren von Bedeutung sind. Die wesentlichsten klimatologischen Faktoren sind die Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsintensität und die Häufigkeit des Auftretens von Schnee bzw. von großen Windstärken bei fallendem Niederschlag. Der wichtigste meßtechnische Faktor ist die

Aufstellung des Meßgerätes in bezug auf Strömungshindernisse in seiner Umgebung, die einen vorgegebenen Windschutz bilden. Infolge der Schwierigkeiten in der Erfassung dieser Faktoren wurde die Klassifizierung anhand objektiver, aus den Daten abgeleiteter Kriterien vorgenommen.

Als besonders geeignet erwiesen sich die Form der Korrelationsmatrix und des geglätteten Kurvenverlaufs der mittleren Meßdifferenz, wie sie in den Abschnitten 3.1 und 3.2 beschrieben wurden.

Durch die Zusammenfassung von Stationen mit ähnlicher Form der Korrelationsmatrix und ähnlichem Kurvenverlauf gelang es, 6 Gruppen (A) bis (F) von etwa je 20 bis 30 Stationen zu bilden. Bei etwa 20 Stationen waren - wie bereits erwähnt - die Meßdaten stark gestört. Bei etwa 10 anderen waren die Abweichungen so gering oder sogar negativ, daß sie nicht in die 6 Gruppen paßten. Einige besonders windexponierte Stationen können nur als Einzelfälle dargestellt werden.

Die Zuordnungskriterien sind zwar objektiv, die Zuordnung selbst ist aber in einem gewissen Rahmen subjektiv und lößt - ganz besonders durch den fließenden Übergang zwischen den Gruppen - nur eine beschränkte Genauigkeit der Klassifizierungen zu. Zwischen den Gruppen bestehen so viele Grenzfälle, daß die Gruppenzugehörigkeit nur mit der Unsicherheit von ± 1 Gruppe angegeben werden kann, d.h. z.B. daß die meisten Stationen der Gruppe B auch entweder der Gruppe A oder der Gruppe C hätten zugerechnet werden können.

Die Korrelationsmatrizen und die geglätteten Kurven der mittleren Meßdifferenzen für die 6 Gruppen sind in den Abbildungen 10 bis 15 wiedergegeben. Mit der Abstufung von (A) bis (F) nehmen auch die mittleren Meßdifferenzen zu (Tab. 1).

Tab. 1: Mittlere Meßdifferenz während der hydrologischen Halbjahre und während der Tage mit Schneefall für die 6 Stationsgruppen

Stationsgruppe	Mittlere Meßdifferenz zwischen den parallelen Messungen (bezogen auf die Messung im ungeschützten Meßgerät)		
	Sommer (Prozent)	Winter (Prozent)	nur Schnee (Prozent)
(A)	1	3	7
(B)	3	5	11
(C)	3	6	12
(D)	4	8	14
(E)	4	10	18
(F)	6	16	27

Dementsprechend wird von (A) bis (F) die Bündelung der Korrelationsmatrix geringer, und die Kurvenverläufe der mittleren Meßdifferenzen entfernen sich weiter von der Null-Prozent-Linie.

Im Vergleich mit den Ergebnissen der einzelnen Stationen (siehe Abb. 5 bis 7) sind die Kurvenverläufe der Stationsgruppen gleichmäßiger und ruhiger. Dies wird dadurch bedingt, daß die statistische Genauigkeit der Angaben in diesen etwa 20mal bis 30mal umfangreicheren Kollektiven größer geworden ist.

4.2 Räumliche Verteilung der Stationen und ihrer Gruppenzugehörigkeit

Die Abbildung 16 zeigt die räumliche Verteilung der Stationen. Die Tabellen 2 und 3 enthalten Stationsverzeichnisse, nach dem Alphabet und nach Gruppenzugehörigkeit geordnet.

Wie im Abschnitt 2 schon erwähnt wurde, ist der Verwehungsverlust besonders groß bei Schneefall und bei großen Windstärken während des Niederschlags. Dementsprechend wäre zu erwarten, daß die Stationen der Gruppe E und F besonders an der Küste und im höheren Mittelgebirge, die Stationen der Gruppen A und B in relativ geschützten Becken- oder Tallogen zu finden sind.

Es wäre auch zu vermuten, daß die Meßdifferenz im Luv der Gebirge (meist Westseiten) größer ist als im Lee.

Auf den ersten Blick erscheint die Verteilung der Gruppenzugehörigkeit allerdings recht unsystematisch und einer klimatologischen Interpretation gegenüber schwer zugänglich. Aus klimatologischen Überlegungen, die auf der Kenntnis der räumlichen Verteilung der Wind- und Schneeverhältnisse basieren, läßt sich die Gruppenzugehörigkeit nur bei etwa der Hälfte der Stationen erklären. Bei vielen Stationen widerspricht die Gruppenzugehörigkeit mehr oder weniger kraß den aus der Klimatologie abgeleiteten Erwartungen. Die klimatischen Verhältnisse des Meßorts bestimmen jedoch nur einen Teil der Faktoren, die die Meßverhältnisse beeinflussen. Die örtlichen Gegebenheiten in der Nähe des Meßgerätes können die Windströmungsverhältnisse so gravierend verändern, daß die klimatischen Einflüsse vergleichsweise unbedeutend werden. Dies soll an einigen Beispielen erläutert werden:

An der hochgelegenen Meßstelle auf dem Weinbiet (etwa 550 m über NN) sind die beiden Niederschlagsmesser so weit durch Bäume gegen den Wind geschützt, daß die Meßdifferenz nur 2 Prozent beträgt. Infolge von Interzeptionsverlusten sind auch die mittleren monatlichen Niederschlagshöhen dieser Station niedriger als entsprechend ihrer Höhenlage zu erwarten wäre. Auch an anderen Meßstellen wird der Wind durch nahe gelegene Gebäude oder Bewuchs so stark abgeschirmt, daß der Windschutzring kaum mehr zur Wirkung kommt, so z.B. in Köln-Wahn oder München-Riem, wo die Meßgeräte im Windschatten von hohen Flughafengebäuden und von Lärmschutzwänden stehen

Umgekehrt gibt es aber auch Meßstellen, deren Meßdifferenzen erheblich größer sind als bei Stationen mit ähnlichen klimatischen Verhältnissen. Diese Meßstellen haben kaum oder gar keinen Windschutz durch Bewuchs oder Gebäude in der nahen Umgebung, wie etwa Bad Sassen-

dorf, Weihenstephan oder Geisenheim, wo die Meßgeräte im freien Feld bzw. in den Weinbergen stehen.

Betrachtet man die räumliche Verteilung unter diesen Vorbehalten und berücksichtigt man, daß das Stationsnetz nicht sehr dicht ist und daß die Gruppenzugehörigkeit der Stationen keine klimatologische Größe ist, sondern vom mittleren Fehler beim Messen einer klimatologischen Größe bestimmt wird, dann wird deutlich, daß die räumliche Verteilung nur sehr bedingt einer rein klimatologischen Interpretation zugänglich sein kann.

5 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind Aussagen über die mittlere Differenz zwischen zwei parallelen Messungen.

Bei der Datenaufbereitung wurden 2 Wege beschrieben, die zu qualitativ verschiedenen Ergebnissen für einzelne Stationen und für Stationsgruppen führten. Die Aussagen für einzelne Stationen können wegen des geringen Datenumfangs nicht sehr detailliert sein. Differenzierte Aussagen über die Abhängigkeit der mittleren Meßdifferenz von der täglichen Niederschlagshöhe ließen sich durch die Zusammenfassung von mehreren Stationen zu Gruppen ermöglichen.

5.1 Ergebnisse für die einzelnen Stationen

In den Tabellen 2 und 3 sind die mittleren Meßdifferenzen in Abhängigkeit vom Monat, von der Form des Niederschlags und von der Windstärke für die einzelnen Stationen wiedergegeben, alphabetisch geordnet und nach Gruppen unterteilt.

5.2 Ergebnisse für die 6 Stationsgruppen

5.2.1 Mittlere Meßdifferenz in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe

In den Abbildungen 17a bis 17f sind die mittleren Meßdifferenzen in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe für die 6 Stationsgruppen aufgetragen. Dabei wurde zwischen den Meßverhältnissen während der beiden hydrologischen Halbjahre unterschieden. In den Abbildungen 18a und 18b sind, zum leichteren Vergleich, die Ergebnisse aller 6 Stationsgruppen eingetragen.

Die Kurven stellen sehr stark geglättete Ausgleichslinien der Einzelergebnisse (Kreuze und Kreise) dar. Die Streuung der Einzelergebnisse um die Ausgleichskurve illustriert die statistische Unsicherheit der Ergebnisse. In den Bereichen sehr großer Unsicherheiten sind die Kurven gestrichelt.

Die Kurven A, B, C, E, F ähneln sich im Verlauf und unterscheiden sich nur in den absoluten Werten. Sie zeigen die größten Abweichungen für die kleinste noch angebbare tägliche Niederschlagshöhe. Zu größeren Werten der Niederschlagshöhe fallen die Kurven mehr oder weniger steil ab.

Lediglich die Kurve D zeigt einen anderen Verlauf. Die Abweichung ist, im Vergleich zu den anderen Kurven, wesentlich zu klein für kleine Niederschlagshöhen und zu groß für große Niederschlagshöhen. Eine sichere Begründung für dieses Meßverhalten kann aus dem vorliegenden, wenig umfangreichen Datenmaterial nicht abgeleitet werden. Rein phänomenologisch betrachtet, scheint es, als ob diese Meßorte einen Windschutz durch Bepflanzung oder Bebauung haben, der nur für Niederschlagsereignisse mit geringer Intensität wirksam wird.

5.2.2 Mittlere Meßdifferenz in Abhängigkeit vom Monat, von der Form des Niederschlags und von der Windstärke

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 eingetragen. Die Jahrgänge der mittleren monatlichen Meßdifferenzen sind in Abbildung 19 dargestellt. Sie werden in Abschnitt 5.4 aus meteorologischer und meßtechnischer Sicht diskutiert.

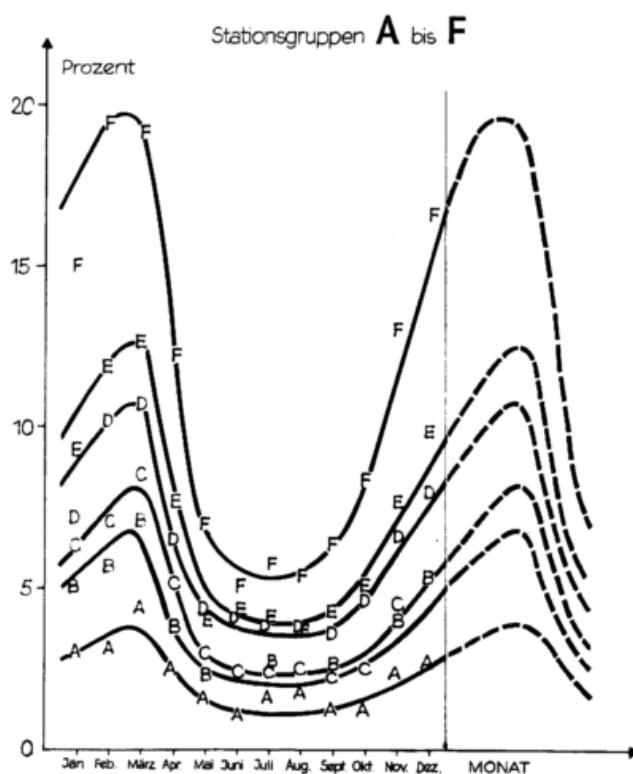


Abb. 19: Jahrgang der mittleren monatlichen Meßdifferenz zwischen windgeschützten und normalen Meßgeräten (Angaben in Prozent, bezogen auf die Messungen mit dem normalen Meßgerät) für die Stationsgruppen A bis F

Tab. 4: Mittlere Meßdifferenz (Prozent) zwischen windgeschützten und normalen Meßgeräten (bezogen auf die Messung im normalen Meßgerät)

Stations- gruppe	Für die einzelnen Monate												Jahr	Hydrolog.		nur Regen	nur Schnee- regen	nur Schnee	Größer 6 bzw. 8 Beaufort	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		So	Wi				6	8
A	3	3	4	3	2	1	2	2	1	1	2	3	2.1	1	3	2	2	7	3	3
B	5	6	7	4	2	2	3	3	3	3	4	5	3.6	3	5	3	5	11	4	4
C	6	7	9	5	3	2	3	3	3	3	5	5	4.0	3	6	3	5	12	6	6
D	7	10	11	6	4	4	4	4	4	5	7	8	5.8	4	8	5	7	14	8	10
E	9	12	13	8	4	4	4	4	4	5	8	10	6.6	4	10	5	9	18	8	10
F	15	20	19	12	7	5	6	6	6	8	13	17	10.5	6	16	8	14	27	14	18

5.3 Unsicherheit der Ergebnisse

Die zum Teil erheblichen Fehler bei der Messung von Niederschlagshöhen (s. Abschn. 2) sind für die Fehlerabschätzung der Ergebnisse unbedeutend, da in dieser Arbeit nur Angaben über die relativen Differenzen zwischen zwei Messungen gemacht werden, deren Meßfehler sich proportional verhalten und sich deshalb bei der Verhältnisbildung herauskürzen.

Die Unsicherheit resultiert aus dem begrenzten Umfang des Datenkollektivs, aus dem nur statistische Erwartungswerte mit einer bestimmten

statistischen Ungenauigkeit abgeleitet werden können. Dabei ist die Ungenauigkeit um so größer, je detaillierter die Angaben sind, da die Differenzierung die Anzahl der berücksichtigten Fälle einschränkt.

Illustriert wird die statistische "Unruhe" der Ergebnisse in den Abbildungen 17a bis 17f, die neben den geglätteten Kurven auch die einzelnen Ergebnispunkte enthalten.

In der folgenden Tabelle sind die statistischen Unsicherheiten der vorliegenden Ergebnisse zusammengefaßt.

Tab. 5: Statistische Unsicherheiten der mittleren relativen Meßdifferenzen (angegeben ist der Faktor bzw. Divisor, mit dem man den Wert der mittleren Meßdifferenz \bar{x} multiplizieren muß, um die obere Unsicherheitsgrenze (1-Sigma-Grenze) x_{ober} zu erhalten bzw. durch den man \bar{x} dividieren muß, um die untere Unsicherheitsgrenze x_{unter} zu erhalten)

mittlere relative
Meßdifferenz
in Abhängigkeit

Statistische Unsicherheit

	für einzelne Stationen (siehe Tab. 2)	für die Stationsgruppen (siehe Tab. 4)
vom Monat	1.2 bis 1.5	1.1 bis 1.2
von der Niederschlagsform	1.2 bis 1.3	1.1 bis 1.2
von der Windstärke	1.5 bis 2.0	1.2 bis 1.5
von der täglichen Niederschlagshöhe R	für einzelne Stationen (siehe Abb. 5-7)	für die Stationsgruppen (siehe Abb. 17a-17f)
R < 0.5 mm	etwa 4	etwa 1.5
0.5 mm < R < 1 mm	etwa 3	etwa 1.3
1 mm < R < 10 mm	etwa 2	etwa 1.2
R > 10 mm	etwa 3	etwa 1.3

Zum besseren Verständnis wurden die Angaben über die Unsicherheitsgrenzen in den Abbildungen 20 bis 21 illustriert.

In der Abbildung 20 ist die mittlere Meßdifferenz während des hydrologischen Winters für die Gruppe C, ähnlich wie in Abbildung 17c, aufgetragen. Aber zusätzlich zu den Einzelergebnissen (x) sind jetzt die zugehörigen Unsicherheitsgrenzen eingezeichnet. In ähnlicher Weise macht die Abbildung 21 die Unsicherheitsgrenzen beim Jahresgang der mittleren monatlichen Meßdifferenz anschaulich.

Diese beiden Beispiele zeigen deutlich, daß Ergebnisse durch die statistischen Unsicherheiten in der Genauigkeit und deshalb auch in ihrer Aussagekraft beschränkt sind. Feine Strukturen in den Kurven der Abbildung 17 oder beim Jahresgang (Abb. 19), die kleiner als die Unsicherheitsgrenzen sind, können zufällige statistische Schwankungen sein ("Statistisches Rauschen") und sollten nicht durch meteorologische Erklärungen überinterpretiert werden.

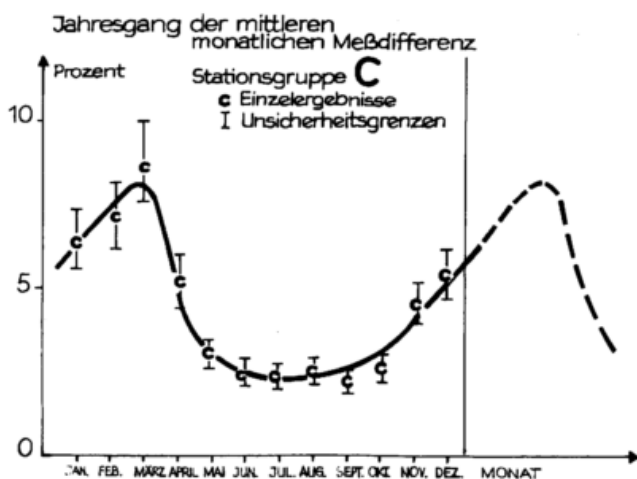


Abb. 21: Jahresgang der mittleren monatlichen Meßdifferenz für die Stationsgruppe C mit Angabe der Unsicherheitsgrenzen

- c mittlere monatliche Meßdifferenzen
- I Unsicherheitsgrenzen
- Ausgleichskurve

5.4 Meteorologische Anmerkungen zu den Ergebnissen

Die Unsicherheit der Ergebnisse schränkt die Möglichkeiten einer meteorologischen Interpretation erheblich ein. Die räumliche Verteilung der Stationen mit ähnlichen Meßverhältnissen kann kaum mit klimatologischen Argumenten erklärt werden, da an vielen Stationen die Beschaffenheit der Meßstelle die Meßdifferenz gravierender beeinflußt als die klimatischen Verhältnisse. Keinesfalls sollte man die Zugehörigkeit zu einer Stationsklasse als synthetische Klimagröße betrachten und etwa mit Verteilungskarten der Klimagrößen Wind oder Schnee vergleichen.

Die Ergebnisse der Abschnitte 5.1 und 5.2 entsprechen recht gut der Erwartung, daß der Windschutzring besonders bei Schnee, bei Niederschlag mit kleinen Tropfen und bei größeren Windstärken wirksam wird.

Die mittlere Meßdifferenz zeigt einen ausgeprägten Jahresgang. Die größten Differenzen treten in den schneereichen Monaten Dezember bis März auf. Das breite Minimum im Jahresgang reicht von Juni bis September, wo oft intensive Schauerniederschläge mit großen Tropfen vorkommen.

Differenziert nach der Form des Niederschlags und nach der Windstärke sind die Abweichungen am geringsten für Regen, etwas größer für Schneereggen oder bei Windstärken von mindestens 6 Beaufort und am größten bei Schnee.

Die Kurven der mittleren Meßdifferenz in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe werden einer meteorologischen Erklärung zugänglich, wenn man annimmt, daß ergiebige Niederschläge, bei denen hohe Werte der täglichen Niederschlagshöhe erreicht werden, (im Mittel) mit größeren Niederschlagstropfen fallen als wenig ergiebige Niederschläge. Mit dieser Annahme kann man die Abszissen der Abbildungen 17 und 18 als ein Maß für die

mittlere Tropfengröße ansehen. Dann ist die Aussage dieser Kurven, daß die Meßdifferenz für kleine Tropfen erheblich ist, aber zu großen Tropfen hin mehr oder weniger steil abfällt.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse dieser Arbeit erlauben quantitative Aussagen über die relative Verbesserung der Niederschlagsmessung durch den Windschutzring. Dadurch können die mittleren Meßverluste durch Windverwehung des fallenden Niederschlags um den Niederschlagsmesser teilweise korrigiert werden. Der tatsächliche Meßverlust hierdurch dürfte meist größer sein als es aus den vorliegenden Vergleichsmessungen folgt, denn auch das windgeschützte Meßgerät ist keineswegs frei von Verwehungsfehlern. Im Vergleich mit der Unsicherheit der Niederschlagsmessung, die für monatliche Niederschlagshöhen beim Hellmann'schen Meßgerät mit etwa $\pm 10\%$ angenommen wird, sind diese Unterschiede aber so gering, daß die hier abgeleiteten Ergebnisse und die tatsächlichen Meßverluste in den meisten Fällen gleichgesetzt werden können.

Die Korrektur von Niederschlagsdaten durch Berücksichtigung des Verwehungsverlustes verbessert ihre Zuverlässigkeit. Es gelingt dadurch, den systematischen Fehler der Niederschlagsmessung zu reduzieren. Es bleiben allerdings noch die (durch den Meßprozeß bedingten) unsystematischen Meßfehler. Deshalb wird die Zuverlässigkeit der Niederschlagsdaten nur in den Fällen signifikant verbessert, in denen der Verwehungsverlust dieselbe Größenordnung wie die noch verbleibende Unsicherheit der Niederschlagsmessung ($\pm 10\%$) hat.

Die Entscheidung, ob das Niederschlagsmeßnetz des Deutschen Wetterdienstes mit Windschutzringen ausgerüstet werden soll, läßt sich aus dieser Arbeit nicht zwingend ableiten, denn

neben der Verbesserung der Datenqualität sind auch noch andere Entscheidungskriterien zu berücksichtigen, wie z.B. der finanzielle Aufwand oder die Bereitschaft der freiwilligen Beobachter, "unschöne" Meßgeräte in ihrem Garten zu dulden.

DANKSAGUNG

Das Projekt wurde ermöglicht durch die finanzielle Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG-Projekt IHD-SB 74 SU 40/20) sowie durch die Mitarbeit von 200 haupt- und nebenamtlichen Beobachtern, die diese speziellen Messungen zusätzlich übernahmen. Ihnen allen sei an dieser Stelle dafür gedankt.

VERWENDETE LITERATUR

- ATTMANNSPACHER, W. :
Zur Frage der Genauigkeit beheizter Niederschlagsmesser im Winter. Meteorol. Rdsch. 27 (1974) Nr. 3, S. 94-95.
- BOCHKOV, A.P.; STRUZER, L.R. :
Estimation of precipitation as water balance element. Sympos. on World Water Balance, Int. Assoc. Sci. Hydrol., Publ. Nr. 92 (1970) S. 186-193.
- BOGDANOVA, E.G. :
Investigation of precipitation measurement losses due to the wind (in Russian). Trudy Voyeykov Main Geophys. Obs. 195 (1966) S. 40-62.
- BOGDANOVA, E.G. :
A computation method of wind speed averages during the rainfall (in Russian). Trudy Voyeykov Main Geophys. Obs. 244 (1969) S. 48-55.
- BOGDANOVA, E.G. :
About the possibility of the determination of liquid precipitation measurement losses due to wind in current observations (in Russian). Trudy Voyeykov Main Geophys. Obs. 260 (1971) S. 13-23.
- BOGDANOVA, E.G. :
About the relationship between the intensity of liquid precipitation and the air temperature and humidity (in Russian). Trudy Voyeykov Main Geophys. Obs. 341 (1975) S. 73-78.
- DAHLSTRÖM, B. :
A general classification of error sources at rain-gauging, and some applications. Nordisk Hydrol. Konf. Vol. 2. Stockholm 1970, S. 57-70 = "Project Pluvius" Nr. 7.
- DAHLSTRÖM, B. :
Investigation of errors in rainfall observations. A continued study. Rep. Univ. of Uppsala, Dept. Meteorol. Nr. 34 (1973) 31 Bl.
- DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT : (Hrsg.)
Internationale Hydrologische Dekade. Deutsches Forschungsprogramm. Bad Godesberg: (Selbstverl.) 1965. 92 S.

- FEDOROVA, E.G. : Calculation of wind velocity at the level of the precipitation gauge considering the degree of stations shelter (in Russian). Trudy Voyeykov Main Geophys. Obs. 195 (1966) S. 63-68.
- GOLUBEV, V.S. : Correction of point precipitation measurement. (USSR experience.) Leningrad 1978. = Tech. Note Hydrometeorol. Serv. USSR State Hydrol. Inst.
- GORBUNOVA, I.G. : About the precipitation measurement errors of the Hellmann precipitation gauges (in Russian). Trudy Voyeykov Main Geophys. Obs. 280 (1972) S. 102-114.
- HAMON, W.R. : Computing actual precipitation. In: WMO, Distribution of precipitation in mountainous areas. Geilo Sympos., Norway. 31 Jul. - 5 Aug. 1972. Genf: (Selbstverl.) 1973. Vol. 1, S. 159-174. = WMO-No. 326.
- DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT
KELLER, R. : (Ges. Ltg.) Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. Boppard: Harald Boldt Verl. 1978/1979.
- KARBAUM, H. : Fehler der Niederschlagsmessung und Möglichkeiten zu deren Korrektur. Vorträge d. Tag. Hydrometeorol. Thorandt/Dresden 25.-27.9.1968. S. 39-63.
- KARBAUM, H. : Der Niederschlag als Wasserhaushaltsgröße. Abh. d. Meteorol. Dienst. DDR 11 (1969) Nr. 86, 79 S.
- KARBAUM, H. : Zum Fehler der Niederschlagsmessung. Tl. 1. Zahl der Niederschlagsereignisse und Niederschlagsdauer an Tagen mit nicht-meßbarer Niederschlagshöhe. Z. f. Meteorol. 21 (1970) Nr. 11-12, S. 359-363.
- KARBAUM, H. : Zum Fehler der Niederschlagsmessung. Tl. 2. Der Verlust durch einmalige Benetzung in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe für den Niederschlagsmesser nach Hellmann. Z. f. Meteorol. 21 (1970) Nr. 11-12, S. 364-367.

- SEVRUK, B. : Inaccuracy of precipitation measurements, a serious problem of water resources instrumentation. In: Proc. 2nd World Congr., Int. Water Resources Assoc., New Delhi, Dec. 1975. Vol. 3. S. 429-440.
- SEVRUK, B. : The effect of systematic precipitation measurement error on the accuracy of evaporation estimation from the water balance (in German). In: Die Verdunstung in der Schweiz. = Beitr. z. Geol. d. Schweiz - Hydrologie Nr. 25 (1978) S. 85-95.
- STRUZER, L.R. : Principal shortcomings of methods of measuring atmospheric precipitation and means of improving them. Soviet Hydrol.: Sel. Pap. Washington/DC. 1965 Nr. 1, S. 21-35.
- STRUZER, L.R.; GOLUBEV, V.G. : Methods for the corrections of the measured sums of precipitation for water balance computations. Rep. for the UNESCO/WMO Int. Workshop on Water Balance of Europe. Bulgaria, Zlatni, Piassatsi, 27 Sep.-2 Oct. 1976.
- URYVAEV, V.A. et al. : Principal shortcomings of methods of observing snow cover and precipitation and proposals of the State Hydrologic Institute (GGI) for their improvement. Soviet Hydrol.: Sel. Pap. Washington/DC. 1965. Nr. 1, S. 35-58.
- USSR Committee for the Int. Hydrol. Decade: World water balance and water resources of the earth. Paris: Unesco Pr. 1976/78. 663 S. = Studies and reports in Hydrol. Nr. 25
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION: Annotated bibliography on precipitation measurement instruments. Geneva: (Selbstverl.) 1973. 278 S. = Rep. on WMO/IHD Projects Nr.17. WMO-No. 343.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION: Guide to hydrological practices. 3.ed. Geneva: (Selbstverl.) 1974. = WMO-No. 168.

- KARBAUM, H. : Zum Fehler der Niederschlagsmessung. Tl 3. Zur Ermittlung der aktuellen Verdunstung aus der Sammelkanne des Niederschlagsmessers nach Hellmann mit 200 cm² Auffangfläche. Z. f. Meteorol. 29 (1979) Nr. 3, S. 191-194.
- LEMMELÄ, R.; SOLANTIE, R. : Maps of Finland's water balance elements. Nord. Hydrol. 8 (5) (1977) S.281-288.
- NECHAYEV, I.N. : Precipitation losses due to wetting of precipitation gauges and a technique of correction of precipitation amounts (in Russian). Trudy Voyeykov Main Geophys. Obs. 175 (1965) S. 75-86.
- NECHAYEV, I.N. : The correction of monthly and annual precipitation averages for the wetting of the precipitation gauge vessel (in Russian). Trudy Voyeykov Main Geophys. Obs. 195 (1966) S. 5-32.
- NECHAYEV, I.N. : Investigation of the error in measurement of precipitation caused by its evaporation from the instrument (in Russian). Trudy Voyeykov Main Geophys. Obs. 215 (1968) S. 73-78.
- PONCELET, L. : Comparison de pluviomètres. UGGI Ass. Int. Hydrol. Assem. gén. de Rome 1954. Tl. 1. S. 295-308.
- RODDA, J.C. : The precipitation measurement paradox - the instrument accuracy problem. Geneva: World Meteorol. Organiz. 1971. 42 S. = Rep. on WMO/IHD (Int. Hydrol. Decade) Projects No. 16. WMO-No. 316.
- SEVRUK, B. : Evaporation losses from containers of Hellmann precipitation gauges. Hydrol. Sci. Bull. Int. Assoc. Hydrol. Sci. 19 (1974) Nr. 2, S. 231-236.
- SEVRUK, B. : Correction for the wetting loss of a Hellmann precipitation gauge. Hydrol. Sci. Bull. Int. Assoc. Hydrol. Sci. 19 (1974) Nr. 4, S. 549-559.

STATIONS-NAME	KOORDINATEN (BREIT./LÄNGE) (GRAD MINUTEN)	HOEHE UEBER NN	MITTLERE JÄHRL. NIEDERSCH. NIEDERSCH. NIEDERSCH.	MITTLERE MESS-DIFFERENZ (PROZENT) ZWISCHEN WINDGESCHÜTZTEN UND NORMALEN MESS-GERÄTEN (BEZOGEN AUF DIE MESSUNG IM NORMALEN MESSGERÄT)													HYDRO- LGG. SC	NUR REGEN	NUR SCHNEE	NUR SCHNEE	GESAMT AUFW. 8 BLAUFORT						
				MONAT																							
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
KPIFA	(192002)	4730/1117	875	1170	1302	7	11	11	8	3	3	2	2	2	5	10	15	5.2	3	11	3	7	17	23	52		
LICH	(174232)	5031/ 850	178	610	578	7	5	4	4	5	7	4	5	6	6	8	2	5.5	6	5	5	14	13	4	-2		
LINGEN WST.	(60364)	5231/ 719	21	763	744	5	8	5	1	0	1	2	3	4	3	2	3	2.6	2	3	3	2	2	2	3		
LIST AUF SYLT WST	(30052)	5501/ 825	26	762	733	15	12	12	7	8	5	2	3	1	2	0	1	4.1	3	6	2	5	49	6	10		
LUECHOW WST.	(91352)	4911/1306	680	1046	958	5	8	10	7	4	4	3	4	3	3	5	4	4.8	3	7	4	7	5	7	6		
LUECHOW WST.	(48253)	5258/1110	17	544	521	6	10	7	7	5	4	5	3	4	5	8	5	5.4	4	7	4	10	15	7	13		
LUECHOW WST.	(48434)	5316/1026	11	620	577	9	14	13	7	4	4	5	4	5	6	11	12	7.5	5	11	7	14	33	10	9		
LUECHOW WST.	(77524)	5006/ 648	403	845	830	2	4	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1.8	1	2	2	4	3	4	3		
LUECHOW WST.	(78059)	5040/ 758	547	1234	1156	11	15	14	7	2	6	5	4	4	4	5	7	6.7	4	9	4	10	18	9	18		
LUECHOW WST.	(40149)	5000/1277	504	705	671	10	17	22	2	1	4	1	4	6	6	13	5.7	3	9	2	6	34					
LUECHOW WST.	(76241)	5034/ 809	412	990	939	6	5	10	2	4	4	6	5	5	6	6	6	5.4	5	6	5	4			7	7	
LUECHOW WST.	(92384)	4815/1232	401	883	855	6	10	11	0	0	1	3	1	1	5	5	3.3	2	5	1	7	26	8	35			
LUECHOW WST.	(77465)	4953/ 643	293	782	769	5	2	2	-2	0	0	2	2	2	1	3	7	1.7	1	3	1	3	9		8	3	
LUECHOW WST.	(92395)	4809/1143	527	945	923	2	5	7	2	0	2	2	2	1	1	3	6	2.4	1	4	1	3	11		4	6	
LUECHOW WST.	(60251)	5159/ 776	63	795	727	13	15	11	11	7	6	5	4	8	11	12	11	9.4	7	12	9	11	19		11	19	
LUECHOW WST.	(78167)	5054/ 719	182	1012	970	6	8	8	5	2	3	3	3	3	5	5	4.3	3	6	4	8	24			7		
LUECHOW WST.	(73433)	4935/1037	326	666	658	2	3	5	2	1	0	0	0	0	0	1	2	1.2	0	2	1	2	7			4	8
LUECHOW WST.	(70206)	4755/ 813	835	1165	1162	3	-1	4	3	1	0	1	2	0	-4	0	2	.3	0	1	0	5					
LUECHOW WST.	(70746)	4922/ 808	163	609	584	2	3	3	5	5	4	6	4	5	4	6	3	4.3	5	4	4	4				-9	
LUECHOW WST.	(32126)	5343/ 709	13	793	745	12	13	13	9	6	4	4	4	6	3	6	5	6.0	4	9	5	9	45			6	3
LUECHOW WST.	(30136)	5430/ 853	5	694	663	6	12	12	15	3	2	5	2	1	4	7	5	3	9	5	6	18				6	6
LUECHOW WST.	(73320)	4930/1105	310	644	609	1	7	11	7	6	5	3	5	3	6	9	8	5.7	5	7	5	7	16			13	16
LUECHOW WST.	(73002)	5009/1144	553	947	969	8	4	4	4	2	2	2	3	2	2	3	1	2.9	2	4	2	2	6			13	14
LUECHOW WST.	(74149)	5006/ 845	99	632	602	6	6	7	5	5	4	5	5	4	4	5	6	5.0	5	6	5	5	6			6	2
LUECHOW WST.	(70446)	4928/ 810	300	1496	1433	7	3	4	5	7	3	4	3	4	3	5	2	4.4	4	4	4	4				4	4
LUECHOW WST.	(60417)	5215/ 803	95	819	790	6	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3.7	3	4	3	5	11			4	4
LUECHOW WST.	(54601)	5133/1016	285	840	800	2	6	6	7	4	4	5	3	3	3	5	7	5.0	4	6	5	7				11	10
LUECHOW WST.	(92242)	4835/1327	409	975	942	1	4	7	6	1	1	1	3	4	5	6	9	3.5	2	6	3	6				7	5
LUECHOW WST.	(92282)	4847/1327	550	1015	942	7	11	12	9	6	7	5	6	6	4	6	9	7.2	6	9	6	7	12			12	14
LUECHOW WST.	(40145)	4957/1206	640	923	810	21	28	24	20	13	8	10	6	10	9	17	14	14.0	9	20	10	15	32			21	24
LUECHOW WST.	(73528)	4949/1021	260	742	710	4	6	5	6	5	4	3	4	5	3	5	6	4.5	4	5	4	5				6	7
LUECHOW WST.	(91451)	4845/1200	370	712	669	6	10	14	6	6	6	5	5	4	6	7	10	6.4	5	8	5	16	19			9	9
LUECHOW WST.	(91280)	4903/1206	366	691	655	6	9	18	10	2	4	2	4	5	6	5	10	5.5	4	9	5	8	22				
LUECHOW WST.	(90157)	4804/ 929	530	712	685	5	11	9	9	4	4	3	2	1	1	4	0	3.9	3	6	4					11	14
LUECHOW WST.	(80229)	5040/ 612	362	1035	955	14	19	13	9	4	5	5	5	5	2	10	8.4	5	12	6	15	24				11	
LUECHOW WST.	(54105)	5147/1027	590	1267	1233	3	5	13	5	4	3	3	3	3	2	5	2	4.4	3	6	3	5	11				
LUECHOW WST.	(77191)	4913/ 751	191	827	789	14	12	8	5	1	5	1	1	1	-1	10	4	4.8	2	9	3	9	33			6	
LUECHOW WST.	(90337)	4808/1029	557	854	817	6	13	15	5	4	3	2	2	4	5	6	12	5.1	3	9	3	8	19			11	17
LUECHOW WST.	(53018)	5206/ 845	98	713	769	7	8	11	7	3	4	4	3	3	6	10	6	5.7	4	8	5	9	14			5	14
LUECHOW WST.	(56512)	5322/ 831	1	780	723	12	13	9	7	4	4	6	5	6	8	12	11	7.9	6	10	7					14	15
LUECHOW WST.	(79347)	5134/ 811	70	868	688	27	21	33	32	20	17	22	18	23	32	40	41	26.2	22	32	26	33	29			37	53
LUECHOW WST.	(90662)	4830/1127	481	842	784	9	9	15	8	7	7	6	6	6	5	7	0	7.4	6	9	7	8	13			12	14
LUECHOW WST.	(27250)	5440/1002	3	683	611	19	14	17	13	10	8	9	8	8	14	14	13	11.8	9	14	10	15	44			20	36
LUECHOW WST.	(27316)	5432/ 933	43	854	828	8	8	9	0	1	2	2	2	1	3	2	6	3.1	2	5	2	8	31			3	5
LUECHOW WST.	(56122)	5307/ 949	95	762	736	3	5	6	4	2	1	4	3	2	3	4	4	3.3	2	4	3	3	9			7	8
LUECHOW WST.	(71118)	4832/ 932	758	1055	956	15	22	27	9	11	4	7	3	3	6	15	21	10.4	6	17	10	12	23			11	25
LUECHOW WST.	(74205)	5030/ 908	315	868	849	4	5	5	2	0	3	2	3	2	-2	0	2	3	2	1	3	1	4			16	5
LUECHOW WST.	(73279)	4918/1198	355	617	611	2	8	11	4	0	0	0	0	0	0	-1	1.0	0	3	0	6	19			7	20	
LUECHOW WST.	(78855)	5112/ 726	406	1315	1223	8	12	12	10	6	3	3	5	4	5	9	11	7.5	4	10	5	11	20			11	13
LUECHOW WST.	(77708)	5032/ 745	262	891	846	6	7	6	5	3	3	3	3	5	6	9	9	5.3	4	7	5	7	10			8	8
LUECHOW WST.	(74217)	5044/ 825	340	807	785	7	8	9	5	3	3	4	4	4	5	7	8	5.5	4	7	5	10	16			9	12
LUECHOW WST.	(80134)	5030/ 631	505	891	795	14	19	16	11	9	7	10	10	12	12	13	11	12.1	10	14	10	14	31			19	30
LUECHOW WST.	(55116)	5303/ 950	77	796	744	7	10	12	7	5	6	3	7	6	6	7	9	7.0	6	8	6	8	18			7	
LUECHOW WST.	(71141)	4840/ 952	734	1241	1049	26	34	33	20	10	11	12	8	11	17	23	34	18.3	12	28	12	20	42			37	49
LUECHOW WST.	(71179)	4850/ 912	315	662	622	9	11	11	6	5	6	3	4	5	5	9	11	6.4	5	9	5	9	30			7	9
LUECHOW WST.	(71175)	4846/ 911	286	681	632	8	8	12	11	6	6	6	6	5	6	9	10	7.8	6	10	6	11	23			13	13
LUECHOW WST.	(91461)	4908/1249	881	1289	1215	8	11	10	6	4	4	4	3	4	6	8	6	6.1	4	8	4	7	12				
LUECHOW WST.	(60634)	5301/ 730	8	730	698	9	9	5	5	3	4	3	4	4	6	3	4	4.6	4	6	4	5	25			7	9
LUECHOW WST.	(50332)	5039/1001	490	725	747	9	12	12	7	5	3	2	2	3	3	5	7	5.1	3	8	4	15	23				
LUECHOW WST.	(91221)	4926/1203	420	674	654	5	4	11	4	2	2	1	2	3	1	3	4	3.1	2	5	2	3	10			11	11
LUECHOW WST.	(80142)	5026/ 624	650	1108	970	17	23	22	22	8	5	7	6	6	11	18											

Abb. 4: Korrelationsmatrix Stötten

KORRELATIONS-MATRIX		FÜR DIE STATION STÖTTEN																				(HYDROLOGISCHER WINTER)																							
ABSZISSE = TÄGLICHE NIEDERSCHLAGS-HÖHE (RR) IM UNGESCHÜTZTEN MESSGERÄT																																													
ORDINATE = TÄGLICHE NIEDERSCHLAGS-HÖHE (RRS) IM WINDGESCHÜTZTEN MESSGERÄT																																													
KLASSEN DER NIEDERSCHLAGS-HÖHE		10										20										30										40										NO SPALTEN		QUE- SUMME	
(0,1 MM)	NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	NO	SUMME	SUMME									
443-449	43	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	43	1	1
398-443	42	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	42	0	0
355-398	41	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	41	0	1
314-355	44	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	40	1	1
282-314	39	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	39	2	5
251-282	38	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	38	2	0
224-251	37	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	37	1	0
200-224	36	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	36	1	5
174-200	35	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	35	2	3
154-174	34	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	34	7	10
141-154	33	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	33	4	7
124-141	32	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	32	7	6
117-124	31	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	31	7	6
100-114	30	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	30	5	12
89-100	29	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	29	12	15
79-89	28	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	28	12	12
71-79	27	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	27	11	11
63-71	26	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	26	5	10
56-63	25	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	25	11	15
50-56	24	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	24	17	22
45-50	23	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	23	13	11
40-45	22	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	22	19	16
35-40	21	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21	14	17
32-35	20	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	14	10
28-32	19	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	19	12	14
25-28	18	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	18	14	21
22-25	17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17	18	22
20-22	16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	16	18	10
18-20	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	13	8
16-18	14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	14	12	8
14-16	13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	13	10	18
13-14	12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	12	7	6
11-13	11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	11	17	19
10-11	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	12	18
9-10	9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	9	8	9
8-9	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	11	11
7-8	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7	9	11
6-7	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	18	14
5-6	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	11	22
4-5	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	32	14
3-4	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	21	22
2-3	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	34	36
1-2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	59	24
KLEINER 1	401																																				SUMME=	505	505						

Abb. 6a: Mittlere Meßdifferenz Norderney

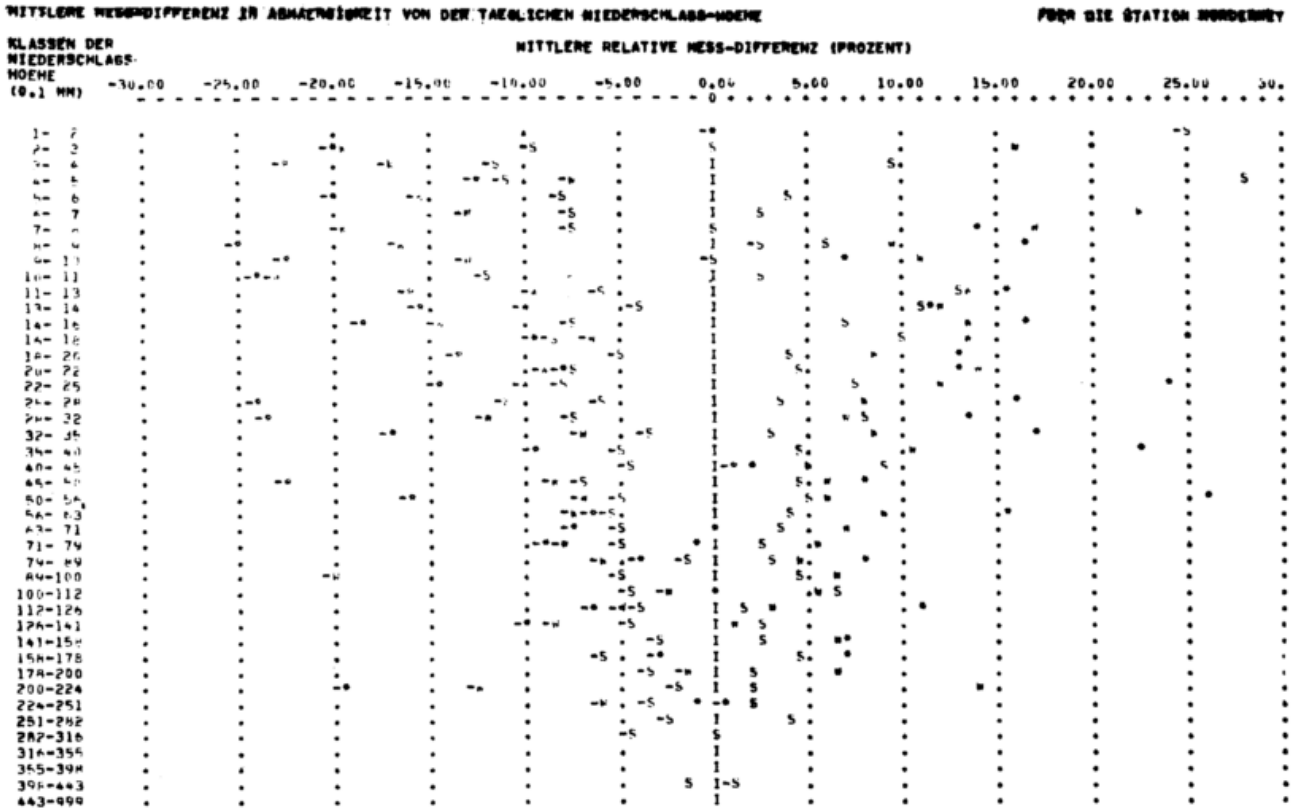
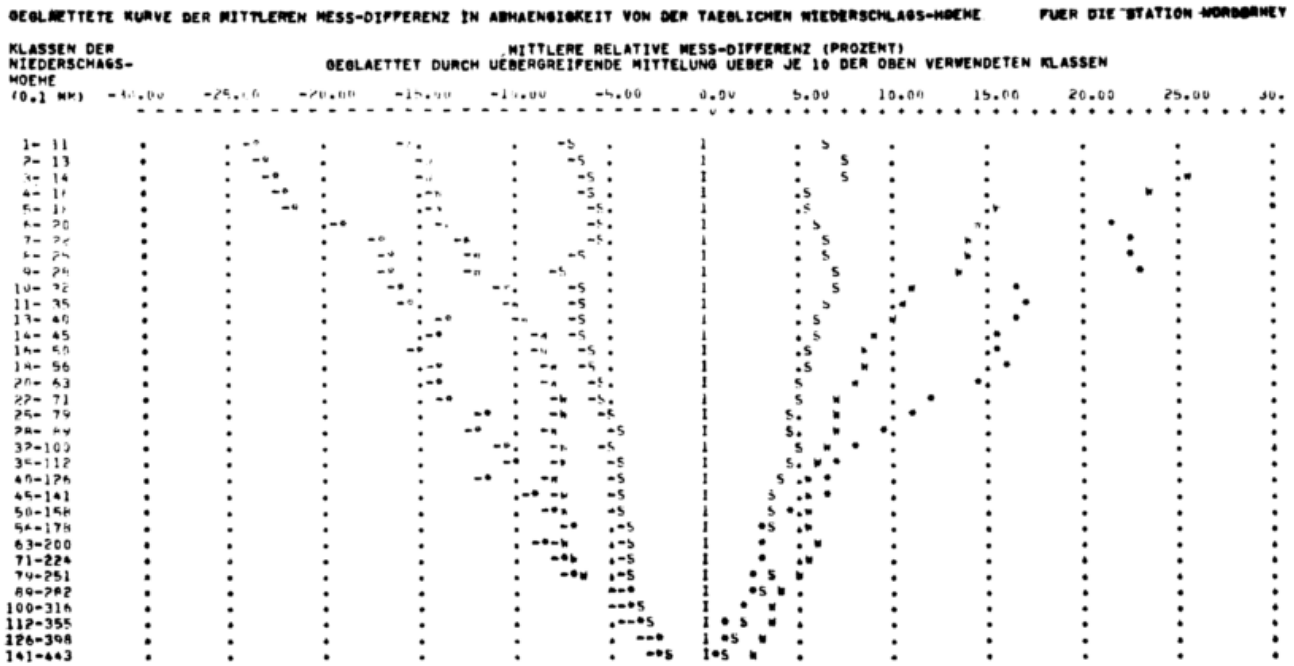


Abb. 6b: Geglättete Kurve der mittleren Meßdifferenz Norderney



ERKLÄRUNG DER SYMBOLE.
W UND -W = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN WÄHREND DES HYDROLOGISCHEN WINTERS
S UND -S = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN WÄHREND DES HYDROLOGISCHEN SOMMERS
• UND •• = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN BEI SCHNEEFALL
DIE MESSDIFFERENZEN W, S, • SIND AUF DIE MESSUNGEN IM UNGESCHÜTZTEN MESSGERÄT BEZOGEN,
DIE MESSDIFFERENZEN -W, -S, •• SIND AUF DIE MESSUNGEN IM WIND-GESCHÜTZTEN MESSGERÄT BEZOGEN.
DA NICHT MEHRERE SYMBOLE ÜBEREINANDERGEDRUCKT WERDEN SOLLTEN, KANN ES VORKOMMEN, DASS EINIGE SYMBOLE FEHLEN.

Abb. 7a: Mittlere Meßdifferenz Stöten

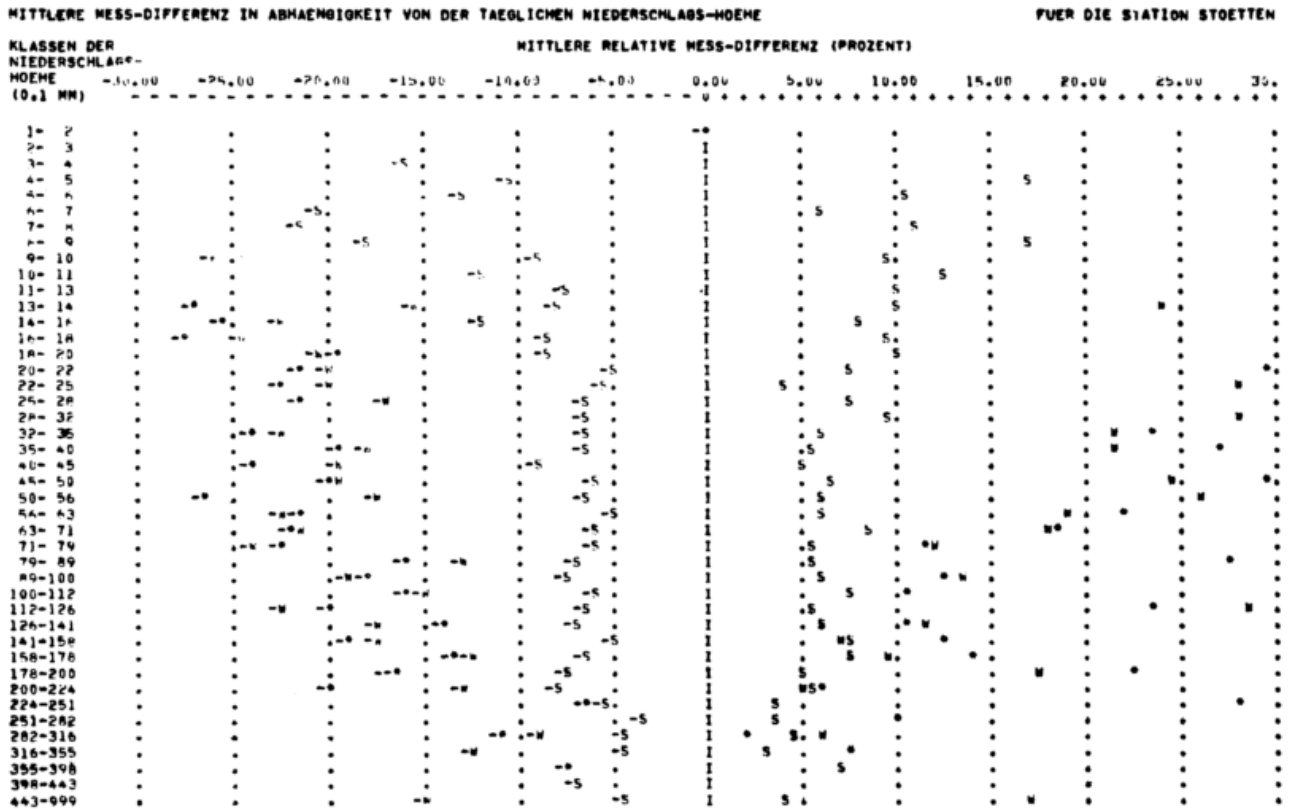
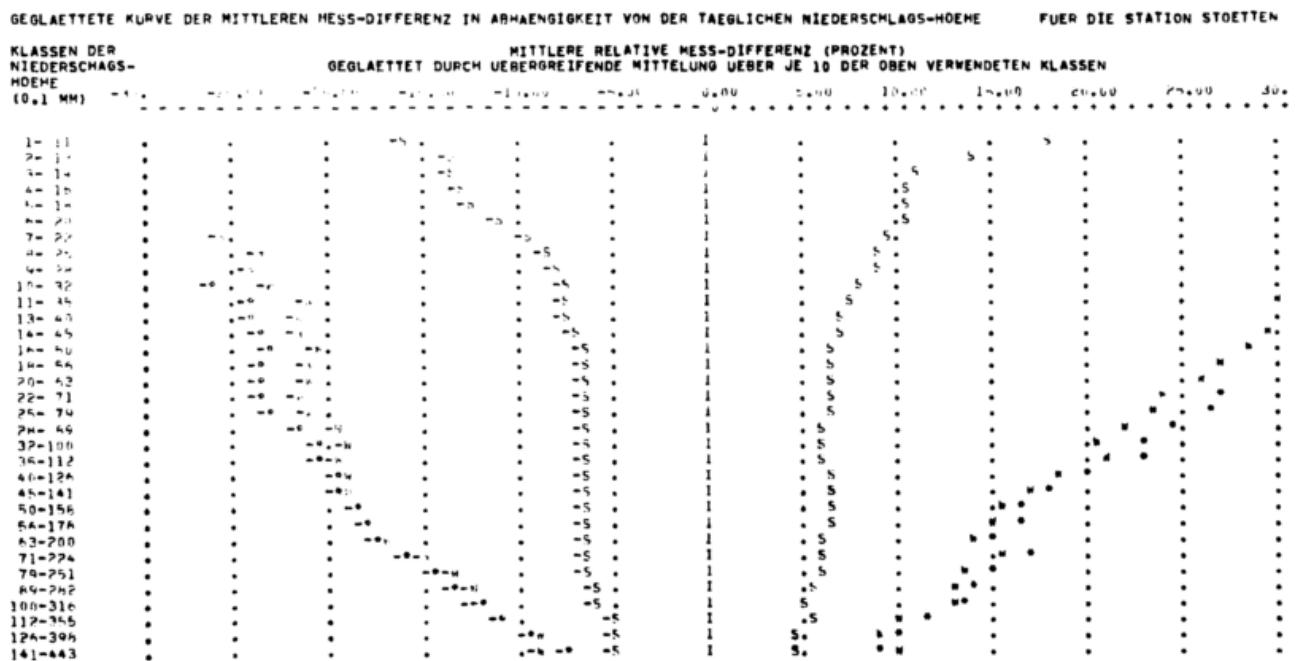


Abb. 7b: Geglättete Kurve der mittleren Meßdifferenz Stöten



ERKLÄRUNG DER SYMBOLE.
 W UND -W = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN WÄHREND DES HYDROLOGISCHEN WINTERS
 S UND -S = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN WÄHREND DES HYDROLOGISCHEN SOMMERS
 * UND -* = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN BEI SCHNEEFALL
 DIE MESSDIFFERENZEN W, S, * SIND AUF DIE MESSUNGEN IM UNGESCHÜTZTEN MESSGERÄT BEZOGEN.
 DIE MESSDIFFERENZEN -W, -S, -* SIND AUF DIE MESSUNGEN IM WIND-GESCHÜTZTEN MESSGERÄT BEZOGEN.
 DA NICHT MEHRE SYMBOLE ÜBEREINANDERGEDECKT WERDEN SOLLTEN, KANN ES VORKOMMEN, DASS EINIGE SYMBOLE FEHLEN.

Abb. 13a: Korrelationsmatrix Gruppe D

KORRELATIONS-MATRIX FÜR DIE STATIONS-GRUPPE D (HYDROLOGISCHER WINTER)

ABSZISSE = TÄGLICHE NIEDERSCHLAGS-HÖHE (RR) IM UNGESCHÜTZTEN MESSGERÄT
 ORDINATE = TÄGLICHE NIEDERSCHLAGS-HÖHE (RRS) IM WINDGESCHÜTZTEN MESSGERÄT

KLASSEN DER NIEDERSCHLAGS-HÖHE

(0,1 MM) NO	10	20	30	40	NO	RELATIVE MESS-DIFFERENZ	WINTER	SUMME
443-494 43					110	43	10	11
398-443 42						42	5	7
355-398 41						41	5	11
312-355 40						40	16	4
269-312 39						39	11	14
226-269 38						38	7	27
183-226 37						37	7	27
140-183 36						36	37	23
97-140 35						35	71	28
54-97 34						34	83	27
11-54 33						33	89	103
126-11 32						32	114	103
112-126 31						31	141	133
100-112 30						30	137	144
89-100 29						29	176	206
79-89 28						28	205	256
71-79 27						27	249	230
63-71 26						26	275	282
56-63 25						25	264	312
50-56 24						24	302	268
45-50 23						23	261	252
40-45 22						22	291	303
35-40 21						21	301	317
32-35 20						20	322	222
28-32 19						19	359	343
25-28 18						18	283	291
22-25 17						17	324	332
20-22 16						16	264	231
18-20 15						15	246	233
16-18 14						14	204	216
14-16 13						13	280	271
13-14 12						12	133	145
11-13 11						11	339	312
10-11 10						10	225	213
9-10 9						9	150	164
8-9 8						8	236	201
7-8 7						7	180	166
6-7 6						6	255	255
5-6 5						5	311	301
4-5 4						4	338	320
3-4 3						3	362	329
2-3 2						2	465	460
1-2 1						1	470	420
KLEINER 1 8471								
SUMME						8743	8743	

DAS SYMBOL * ERSCHEINT AN DEN POSITIONEN, AN DENEN DIE MATRIELEMEN TE GRÖßER ALS 9 SIND

Abb. 13b: Mittlere Meßdifferenz Gruppe D

MITTLERE MESS-DIFFERENZ IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TÄGLICHEN NIEDERSCHLAGS-HÖHE FÜR DIE STATIONS-GRUPPE D

KLASSEN DER NIEDERSCHLAGS-HÖHE MITTLERE RELATIVE MESS-DIFFERENZ (PROZENT)

(0,1 MM) NC	-25,00	-20,00	-15,00	-10,00	-5,00	0,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00
1- 2 1						1	-5					
2- 3 2						1	S					
3- 4 3						1	S					
4- 5 4						1	S					
5- 6 5						1	S					
6- 7 6						1	S					
7- 8 7						1	S					
8- 9 8						1	S					
9-10 9						1	S					
10-11 10						1	S					
11-13 11						1	S					
13-14 12						1	S					
14-16 13						1	S					
16-18 14						1	S					
18-20 15						1	S					
20-22 16						1	S					
22-25 17						1	S					
25-28 18						1	S					
28-32 19						1	S					
32-35 20						1	S					
35-40 21						1	S					
40-45 22						1	S					
45-50 23						1	S					
50-56 24						1	S					
56-63 25						1	S					
63-71 26						1	S					
71-79 27						1	S					
79-89 28						1	S					
89-100 29						1	S					
100-112 30						1	S					
112-126 31						1	S					
126-141 32						1	S					
141-158 33						1	S					
158-176 34						1	S					
176-200 35						1	S					
200-224 36						1	S					
224-251 37						1	S					
251-262 38						1	S					
262-316 39						1	S					
316-355 40						1	S					
355-398 41						1	S					
398-443 42						1	S					
443-494 43						1	S					

ERKLÄRUNG DER SYMBOLE.
 W UND -W = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN WAHREND DES HYDROLOGISCHEN WINTERS
 S UND -S = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN WAHREND DES HYDROLOGISCHEN SOMMERS
 * UND -* = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN BEI SCHNEEFALL
 DIE MESSDIFFERENZEN W, S, * SIND AUF DIE MESSUNGEN IM UNGESCHÜTZTEN MESSGERÄT BEZOGEN.
 DIE MESSDIFFERENZEN -W, -S, -* SIND AUF DIE MESSUNGEN IM WIND-BESCHÜTZTEN MESSGERÄT BEZOGEN.
 DA NICHT MEHRERE SYMBOLE ÜBEREINANDERGEDECKT WERDEN SOLLTEN, KANN ES VORKOMMEN, DASS EINIGE SYMBOLE FEHLEN.

Abb. 15a: Korrelationsmatrix Gruppe F

KORRELATIONS-MATRIX FUER DIE STATIONS-GRUPPE F (HYDROLOGISCHER WINTER)

ARSHASSE = TAEGLICHE NIEDERSCHLAGS-HOEHEN (RR) IM UNGESCHUETZTEN MESSGERAET
 ORDINATE = TAEGLICHE NIEDERSCHLAGS-HOEHEN (RRS) IM WINDGESCHUETZTEN MESSGERAET

KLASSEN DER NIEDERSCHLAGS-HOEHEN

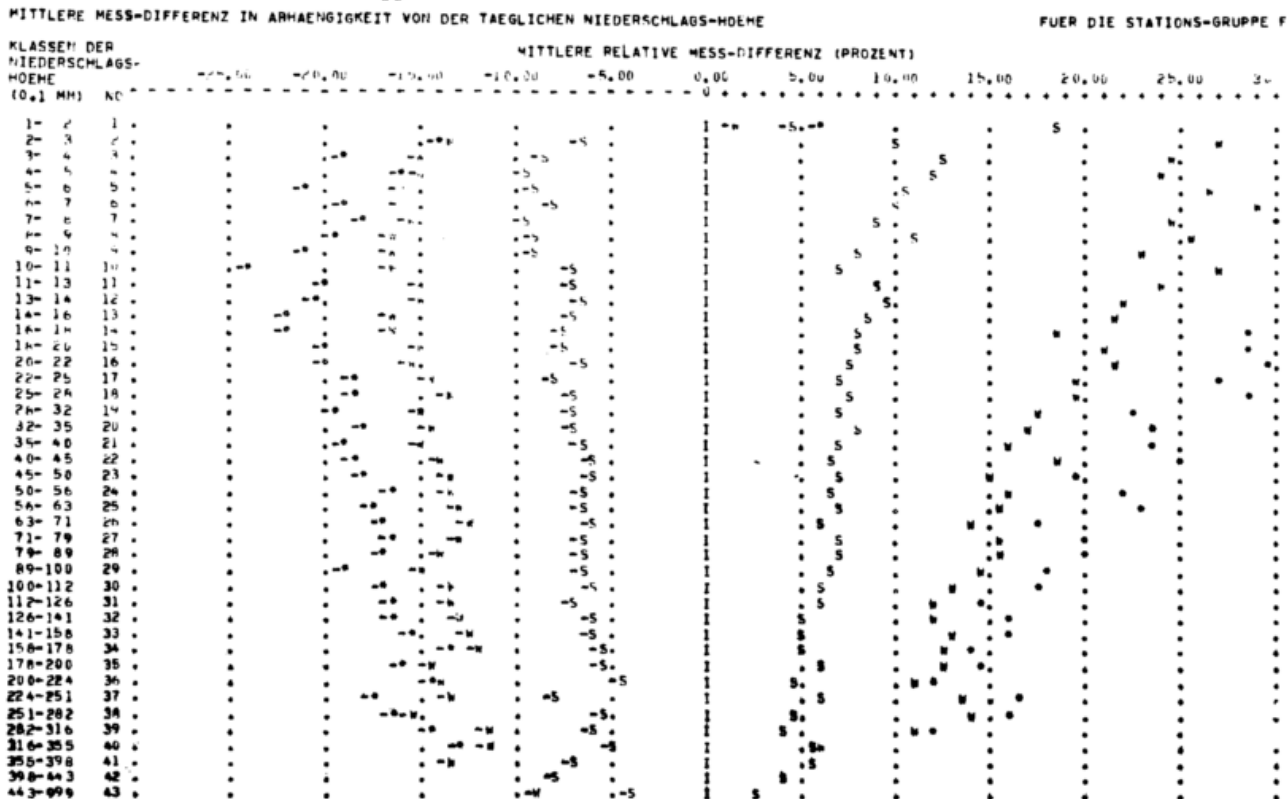
KLASSE (10.1 MM)	NO	10	20	30	40	NO	SPALTEN SUMME	REIEN SUMME
443-999	43						43	7
398-443	41						42	3
353-398	41						41	1
318-353	40						40	1
273-318	39						39	1
228-273	38						38	1
183-228	37						37	1
138-183	36						36	1
93-138	35						35	1
48-93	34						34	1
3-48	33						33	1
112-161	32						32	1
112-161	31						31	1
112-161	30						30	1
67-112	29						29	1
22-67	28						28	1
22-67	27						27	1
22-67	26						26	1
22-67	25						25	1
22-67	24						24	1
22-67	23						23	1
22-67	22						22	1
22-67	21						21	1
22-67	20						20	1
22-67	19						19	1
22-67	18						18	1
22-67	17						17	1
22-67	16						16	1
22-67	15						15	1
22-67	14						14	1
22-67	13						13	1
22-67	12						12	1
22-67	11						11	1
22-67	10						10	1
22-67	9						9	1
22-67	8						8	1
22-67	7						7	1
22-67	6						6	1
22-67	5						5	1
22-67	4						4	1
22-67	3						3	1
22-67	2						2	1
22-67	1						1	1

KLEINER 1 8556

SUMME= 11376 11376

DAS SYMBOL * ERSCHEINT AN DEN POSITIONEN, AN DENEN DIE MATRIXELEMENTE GROESSER ALS 9 SIND

Abb. 15b: Mittlere Meßdifferenz Gruppe F



ERKLÄRUNG DER SYMBOLE.
 W UND -W = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN WAEREND DES HYDROLOGISCHEN WINTERS
 S UND -S = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN WAEREND DES HYDROLOGISCHEN SOMMERS
 * UND -* = RELATIVE MESS-DIFFERENZEN BEI SCHNEEFALL
 DIE MESSDIFFERENZEN W, S, * SIND AUF DIE MESSUNGEN IM UNGESCHUETZTEN MESSGERAET BEZOGEN.
 DIE MESSDIFFERENZEN -W, -S, -* SIND AUF DIE MESSUNGEN IM WINDGESCHUETZTEN MESSGERAET BEZOGEN.
 DA NICHT MEHRERE SYMBOLE UEBEREINANDERGEDRUCKT WERDEN SOLLTEN, KANN ES VORKOMMEN, DASS EINIGE SYMBOLE FEHLEN.

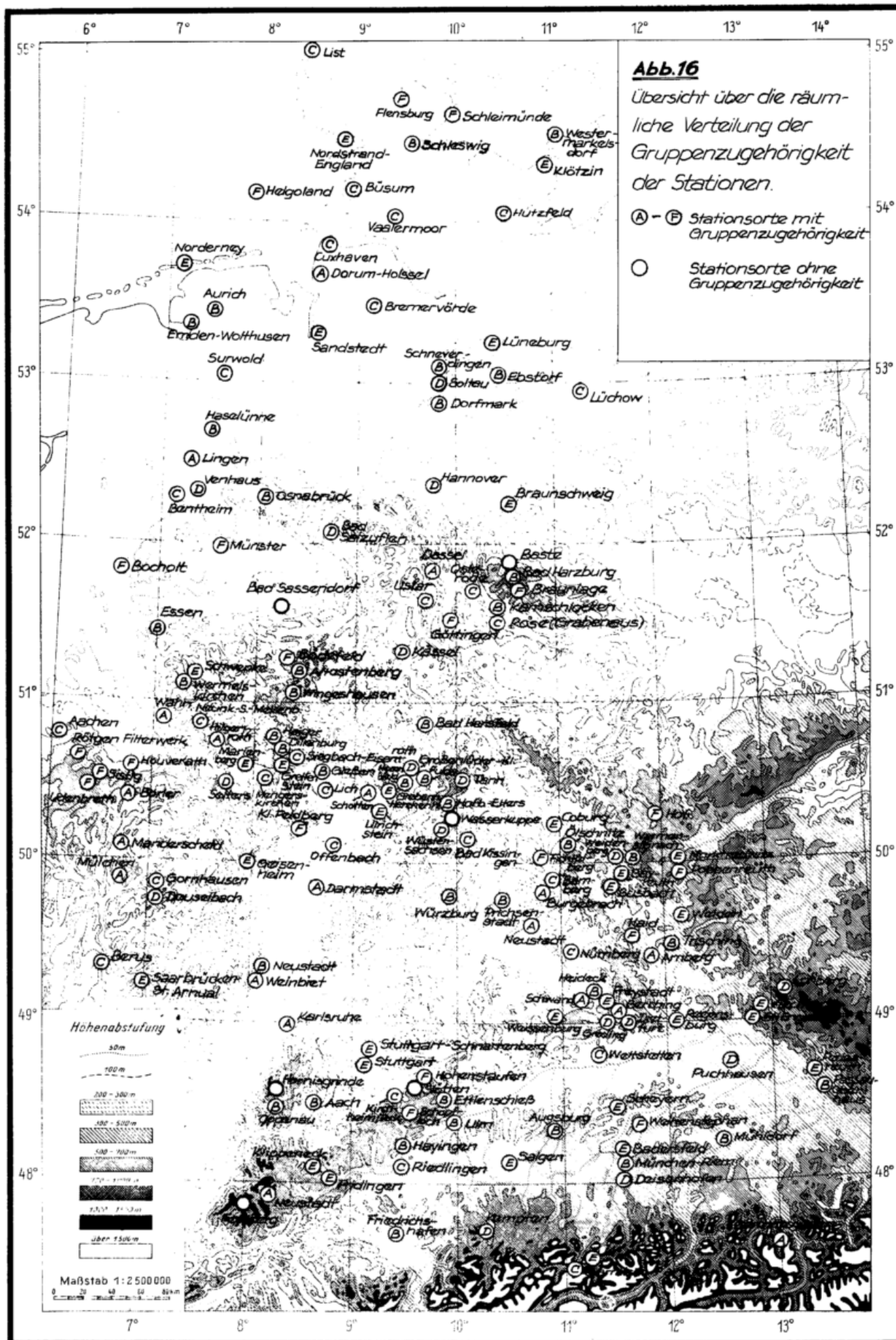


Abb. 17:

Kurven der mittleren Meßdifferenz zwischen windgeschützten und normalen Meßgeräten in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe (Angaben in Prozent, bezogen auf die Messungen des normalen Meßgerätes) für die Stationsgruppen A-F

Abb. 17a:

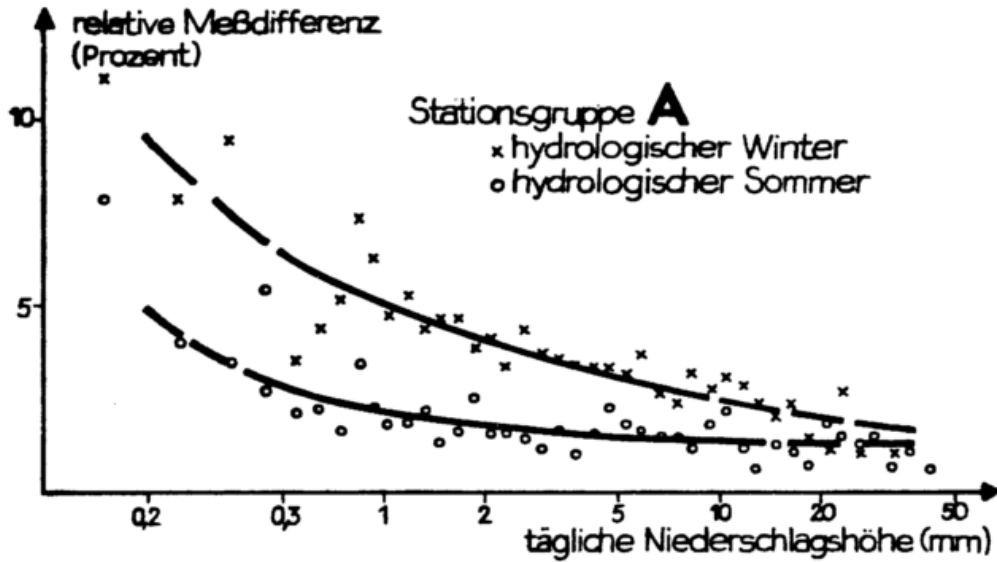


Abb. 17b:

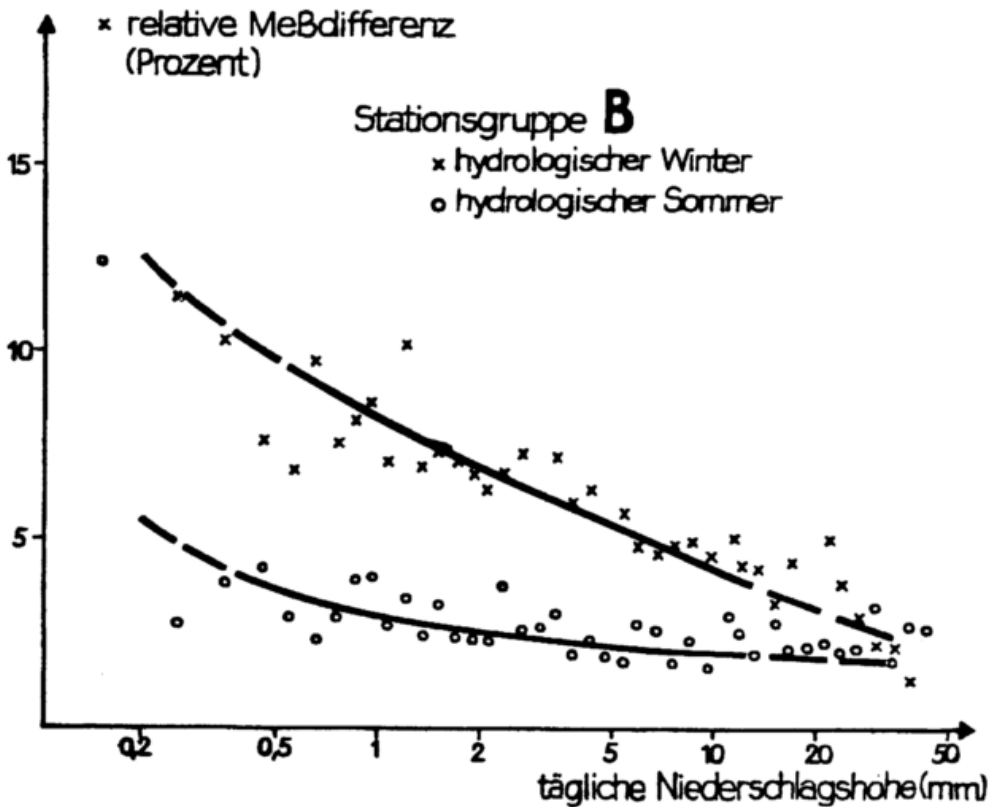


Abb. 17c:

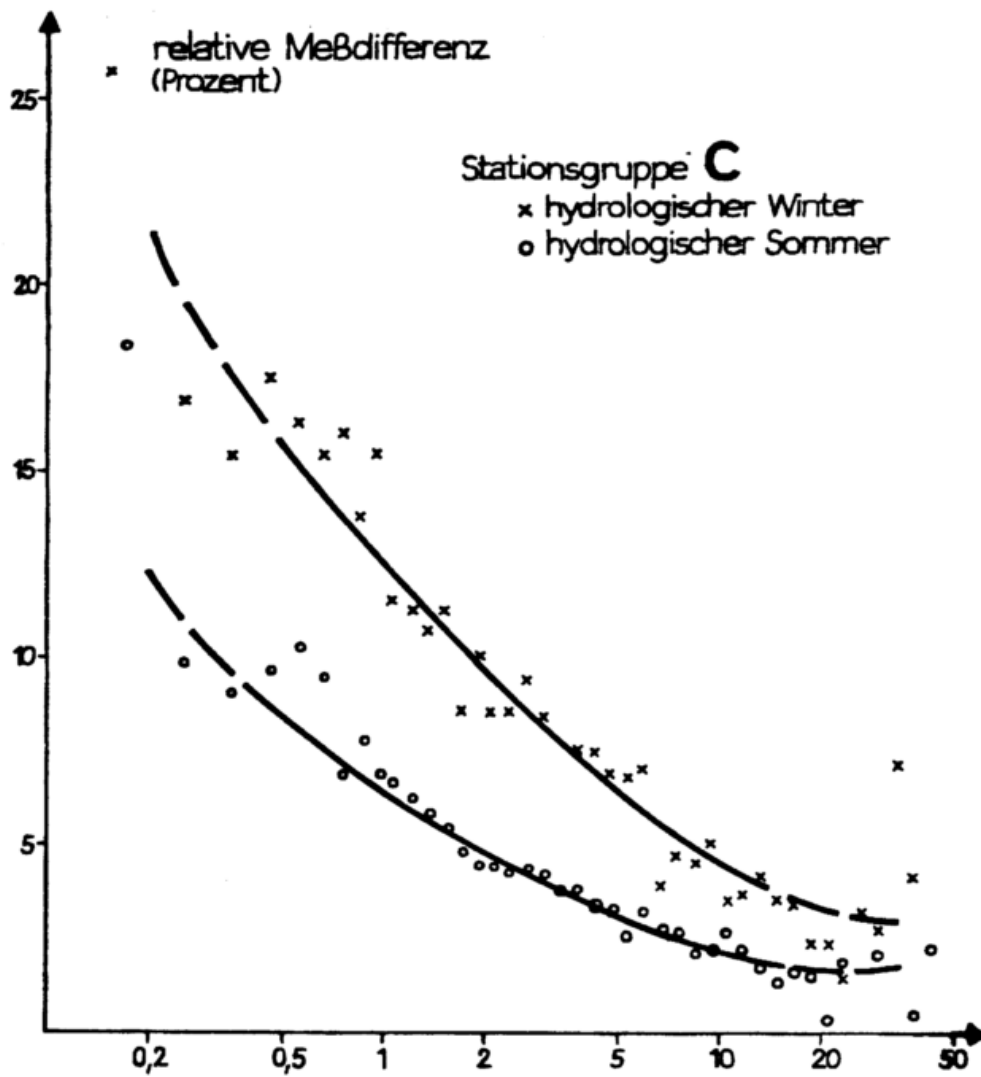


Abb. 17d:

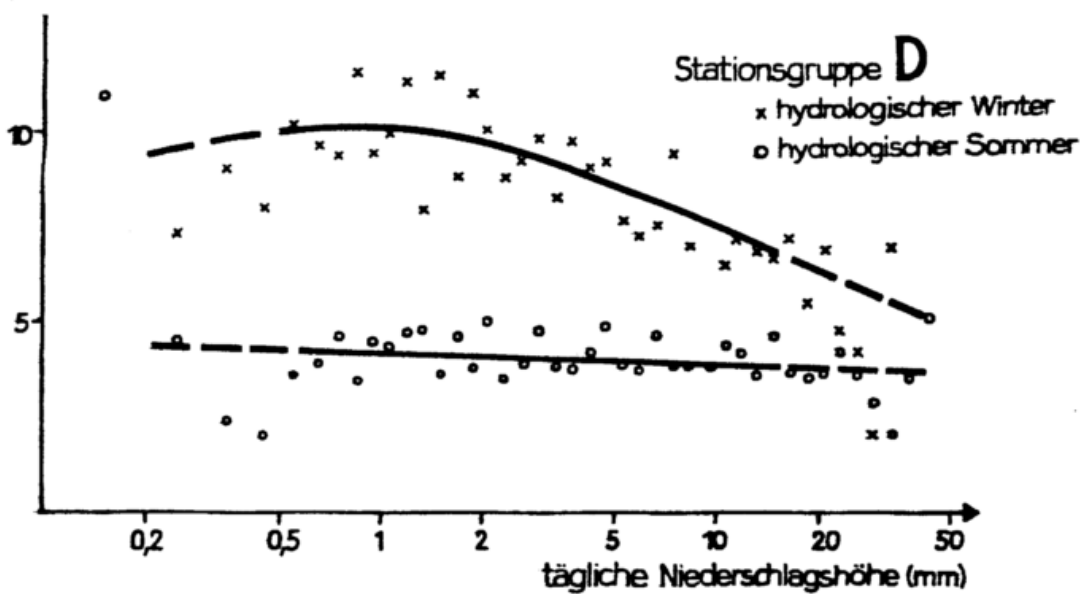


Abb. 17e:

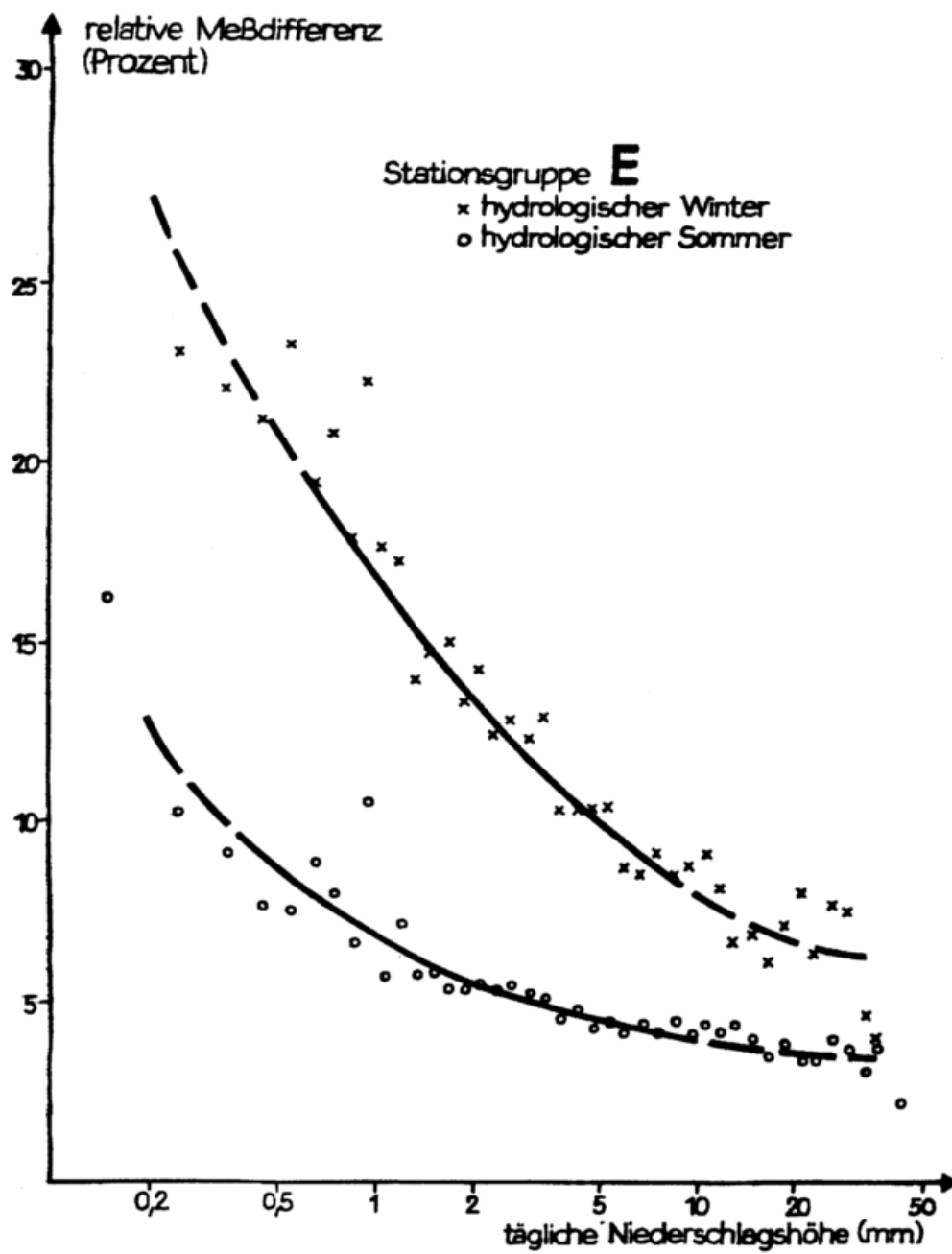


Abb. 17f:

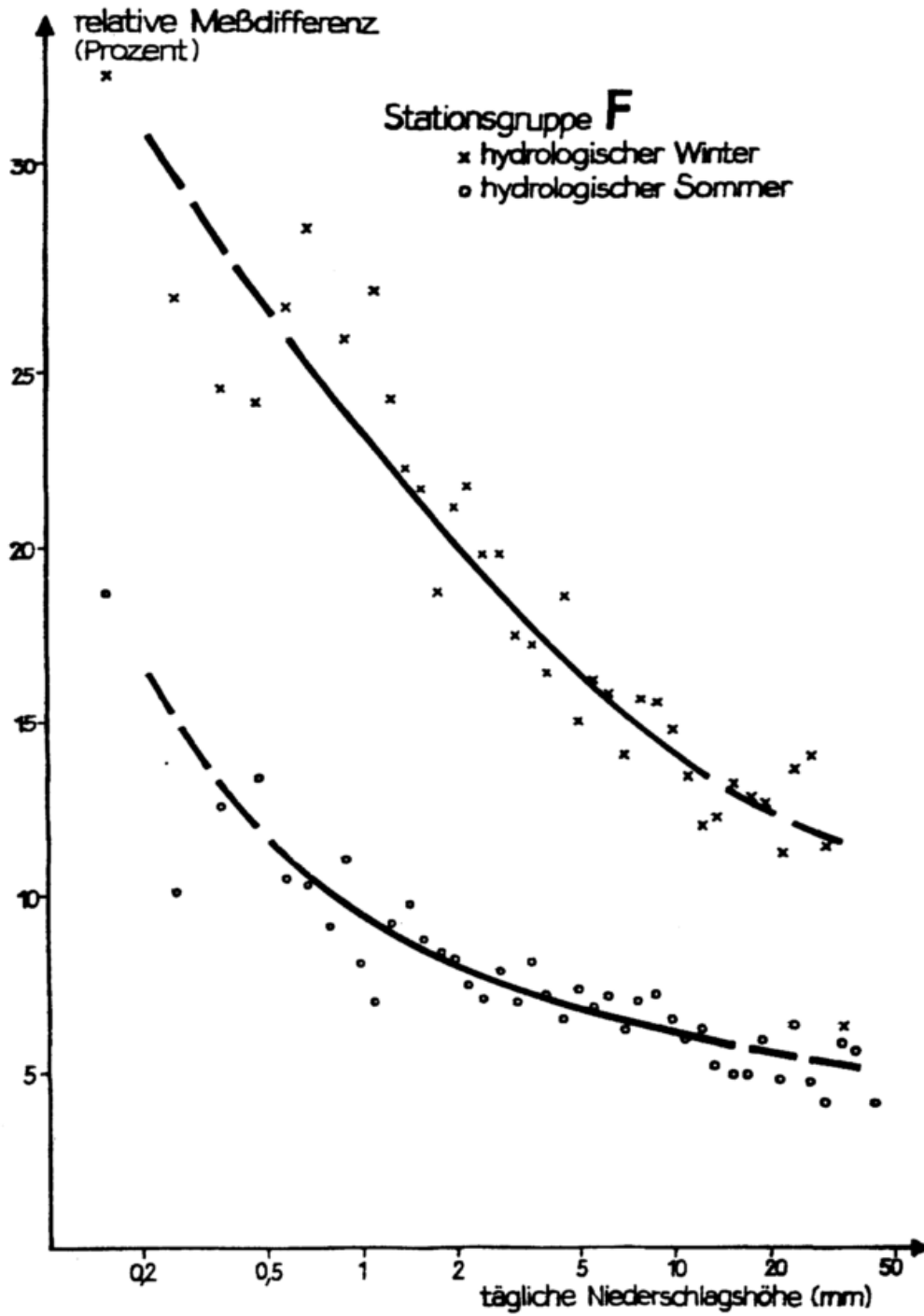


Abb. 18a: wie Abb. 17, für alle Stationsgruppen während des hydrologischen Sommers

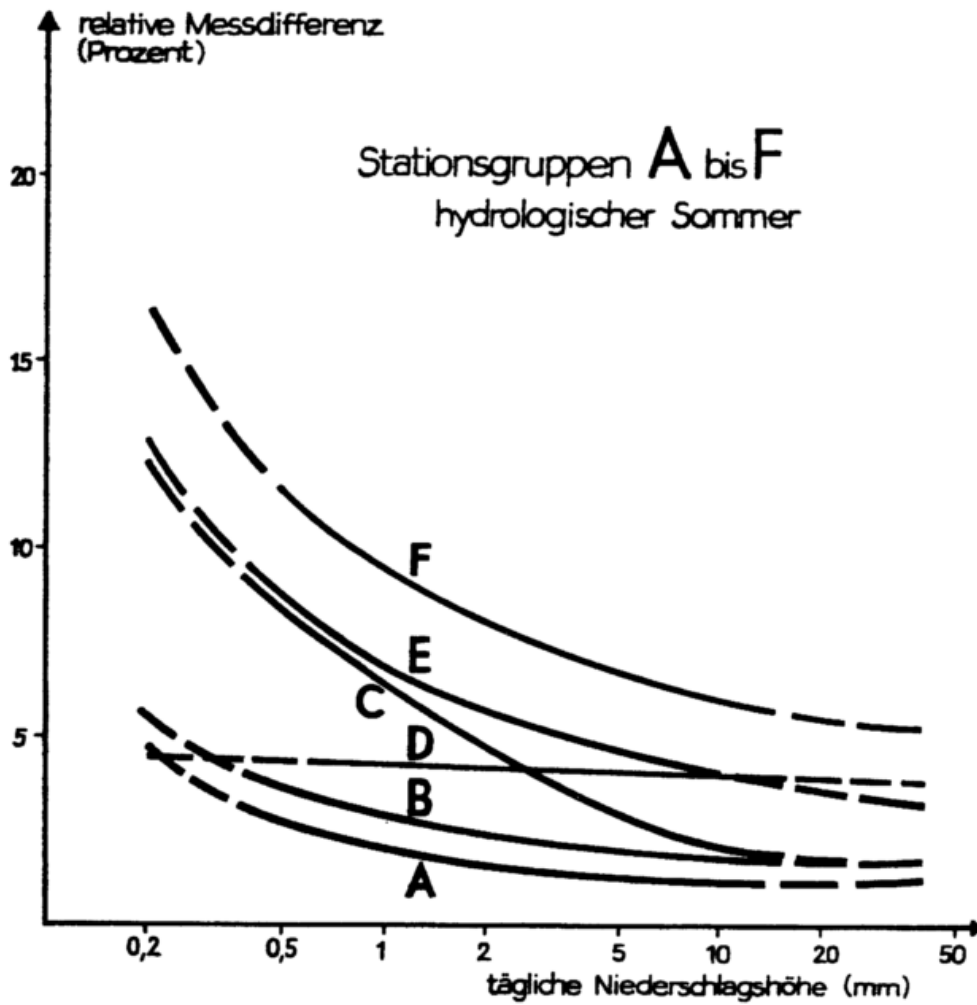


Abb. 18b: wie Abb. 17, für alle Stationsgruppen während des hydrologischen Winters

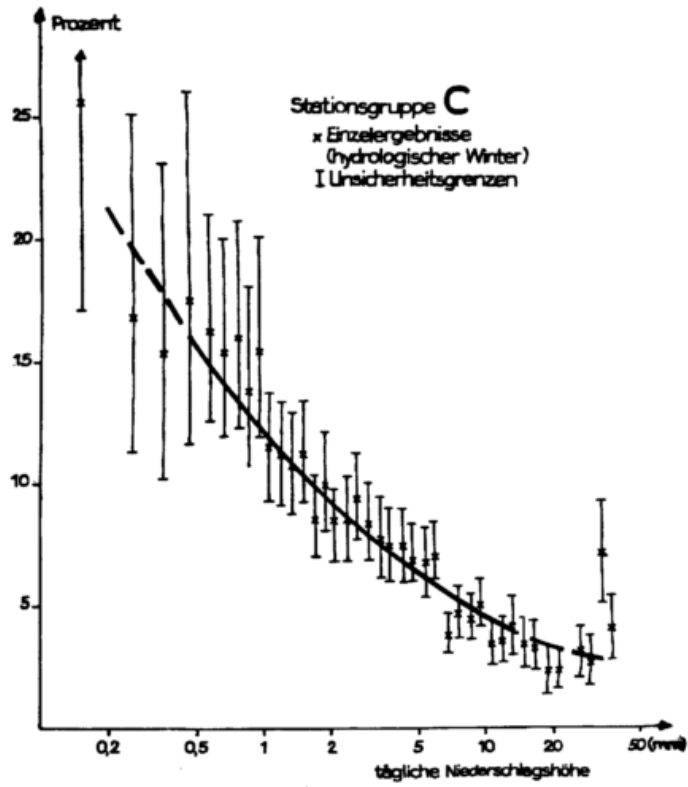


Abb. 20: Mittlere Meßdifferenz in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagshöhe während des hydrologischen Winters für die Stationsgruppe C mit Angabe der Unsicherheitsgrenzen

