

52

Niederschlag, Verdunstung und Wasserbilanz der Station Zürich SMA von 1901 bis 1990

**Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen, Mittelwerte,
Verteilungen und Zeitreihen**

von J. Brändli

52

Niederschlag, Verdunstung und Wasserbilanz der Station Zürich SMA von 1901 bis 1990

**Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen, Mittelwerte,
Verteilungen und Zeitreihen**

von J. Brändli

Dank

Um diese Arbeit durchführen zu können, bedurfte es des Einsatzes vieler ehemaliger und heutiger Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt. Sie alle haben mir bei dieser Arbeit geholfen. Ihnen allen gehört mein Dank. Mein spezieller Dank gilt Herrn Dr. B. Primault, ehemaliger Leiter der Sektion Agrar- und Biometeorologie. Er hat mit dem Aufbau eines Netzes mit Wild'schen Waagen und durch seine Untersuchungen auf dem Gebiet der Verdunstung die Grundlagen für diese Arbeit gelegt. Meinem Vorgesetzten Herrn Dr. C. Defila, Chef der Sektion Agrar- und Biometeorologie, danke ich für die Durchsicht und Begutachtung meiner Arbeit. Herr H. Bantle aus der Sektion Klimatologie hat mich durch seine Mitarbeit unterstützt und mir den Zugriff zu der Klimadatenbank an der ETHZ und den Auswerteprogrammen sehr erleichtert. Nicht minder danke ich meiner Mitarbeiterin Frau A. Fankhauser Gregori und meinem ehemaligen Mitarbeiter Herrn E. Gassmann für ihre Anregungen, Ideen und Unterstützung.

Zusammenfassung

Mit Hilfe von Tabellen und Graphiken wird das Verhalten von monatlichen, saisonalen und jährlichen Niederschlags-, Verdunstungs- und Wasserbilanzgrößen der Station Zürich SMA der Jahre 1901 bis 1990 dargestellt. Der Anwender verfügt mit diesem Bericht über ein Hilfsmittel, das ihm erlaubt, in sehr kurzer Zeit vergangene und aktuelle Witterungssituationen zeitlich und quantitativ zu finden, einzuordnen und zu interpretieren. Die Arbeit kann und soll jedoch keine Antworten über komplexe Fragestellungen, wie Evapotranspiration, Bodensättigung, Sickerwasser, Wasserhaushaltsmodelle usw., geben.

Summary

The variation of monthly, seasonal and annual precipitation, evaporation and water balance of the SMI observatory in Zurich for the period 1901 to 1990 are represented with tables and graphical representations. This report is intended to help users to find, classify and expound very quickly past and present weather types. It, however, is not intended to answer complex questions in connection with evapotranspiration, soil saturation, percolation, models of water budget, etc.

Résumé

A l'aide de tables et de graphiques, le comportement mensuel, saisonnier et annuel des précipitations, de l'évaporation et du bilan hydrique de la station d'observation "Zurich ISM" est représenté pour la période 1901-1990. Avec ce rapport, l'utilisateur a à disposition un moyen lui permettant, en très peu de temps, de trouver, classer et interpréter des données temporelles et quantitatives relatives aux divers types de temps, dans le passé et pour le présent. Néanmoins ce travail ne peut et ne doit donner aucune réponse aux questions concernant des phénomènes aussi complexes que l'évapotranspiration, la saturation en eau du sol, la percolation de l'eau dans le sol, le budget hydrologique, etc.

Riassunto

Con l'aiuto di tabelle e grafici viene rappresentato l'andamento mensile, stagionale e annuale delle precipitazioni, dell'evaporazione e del bilancio idrico per la stazione di Zurigo ISM per il periodo 1901-1990. Con questo rapporto l'utente ha a disposizione un mezzo che gli permette di accedere in pochissimo tempo a situazioni meteorologiche attuali e passate, di classificarle e interpretarle quantitativamente e cronologicamente. Il presente lavoro invece non può, né vuole, rispondere a complesse domande legate all'evapotraspirazione, saturazione del suolo, percolazione dell'acqua, modelli idrologici o simili.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einführung	4
2. Messgeber und Berechnungsmethoden	4
2.1 Niederschlagsmessung	4
2.2 Wild'sche Waage	4
2.3 Feuchtigkeitsmessung	5
2.4 Sonnenscheindauer	5
2.5 Verdunstungsformel nach Primault	5
2.6 Wasserbilanz	6
3. Daten der Wild'schen Waage (1951-1990)	6
3.1 Monats-, Jahressummen und Mittelwerte	6
3.2 Verteilungen	8
3.3 Zeitreihe und verschiedene Mittel der jährlichen Verdunstungssummen	10
4. Vergleich der Wild'schen Waage mit der Verdunstung "Primault" (1951-1990)	10
4.1 Vergleichsperiode zur Bestimmung der C-Faktoren	10
4.2 Die C-Faktoren	19
4.3 Statistische Untersuchungen der gemessenen und berechneten Verdunstung	19
5. Zur Wasserbilanzberechnung, 1901-1990	27
5.1 Der Niederschlag, 1901-1990	28
5.1.1 Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen sowie deren Mittelwerte	29
5.1.2 Verteilungen	31
5.1.3 Zeitreihen und gleitende Mittel	33
5.1.4 Vergleich der gleitenden Mittel der Jahreszeiten und der hydrologischen Halbjahre	40
5.2 Die Verdunstung, 1901-1990	42
5.2.1 Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen sowie deren Mittelwerte	42
5.2.2 Verteilungen	44
5.2.3 Zeitreihen und gleitende Mittel	46
5.2.4 Vergleich der gleitenden Mittel der Jahreszeiten und der hydrologischen Halbjahre	53
5.3 Die Wasserbilanz, 1901-1990	55
5.3.1 Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen sowie deren Mittelwerte	55
5.3.2 Verteilungen	57
5.3.3 Zeitreihen und gleitende Mittel	59
5.3.4 Vergleich der gleitenden Mittel der Jahreszeiten und der hydrologischen Halbjahre	66

6. Zusammenhänge zwischen Niederschlag, Verdunstung und Wasserbilanz	68
7. Die Dürrejahre während den Vegetationsperioden, 1901-1990, als Beispiel einer möglichen Anwendung dieser Publikation	77
8. Schlussbetrachtungen	83
9. Ausblick	85
LITERATURVERZEICHNIS	86
VERZEICHNIS DER FIGUREN	87
VERZEICHNIS DER TABELLEN	96
ANHANG	98

1. Einführung

Der vorliegende Bericht "Niederschlag, Verdunstung und Wasserbilanz der Station Zürich SMA von 1901 bis 1990" soll als Teilarbeit zu einem wünschbaren Projekt "Wasserbilanz ausgewählter Stationen und Regionen in der Schweiz" verstanden werden. Der Anwender kann in sehr kurzer Zeit, Jahres-, Saison- und Monatswerte des Niederschlages, der Verdunstung und der Wasserbilanz herauslesen und sie in graphischen Verteilungen und Zeitabläufen erfassen. Man erhält somit sehr schnell einen Eindruck über bestimmte Witterungszustände. Zeiten mit sehr viel oder wenig Niederschlag und Verdunstung; nasse und trockene Perioden, usw. lassen sich mit diesem Arbeitspapier leicht eruieren. Die Bereiche Oekologie, Land- und Forstwirtschaft, Hydrologie, Bauwesen usw. verfügen damit über ein Hilfsmittel, das erste Anhaltspunkte zu ihren meist sehr komplexen Fragestellungen geben kann.

2. Messgeber und Berechnungsmethoden

Für die Interpretation der Daten der Station Zürich SMA (SMA = Schweizerische Meteorologische Anstalt) von 1901 bis 1990 sind zwei Ereignisse besonders wichtig. Einerseits wurde die Station am 1. September 1949 vom Eidgenössischen Physikgebäude, Gloriastrasse 35, an die Krähbühlstrasse 58, 569 m ü.M., verlegt (Distanz 1 km, Höhendifferenz 76 m), andererseits wurden ab 1. Januar 1978 die Daten der automatischen Station (ASTA) verwendet (Ausnahme: Wild'sche Waage, ASTA ab 1. Juli 1984). Kleinere Verlegungen und Auswechslungen der Messgeber sollen hier nicht speziell aufgeführt werden, obwohl sie ebenfalls zu einer gewissen Inhomogenität der Daten beigetragen haben könnten. Die sich laufend ändernde Umgebung (Bauten und Vegetation) dürfte die Messgrößen vermutlich am stärksten beeinflusst haben. Alle in dieser Arbeit verwendeten Daten (Ausnahme: Wild'sche Waage) stammen aus der Klimadatenbank der SMA, die sich am Rechenzentrum der ETH Zürich befindet. Alle Werte wurden auf ganze Millimeter gerundet.

2.1 Niederschlagsmessung

Mit grosser Wahrscheinlichkeit wurde bereits 1901 ein Regenschirmmodell Hellmann mit 200 cm² Auffangfläche eingesetzt. Sein oberer Gefässrand liegt 1,5 m über Boden. Ab 1.1.1978 wurde an der automatischen Station ein Joss-Tognini Pluviometer (mit Niederschlagswippe) verwendet. Da die Niederschlagsmenge räumlich sehr unterschiedlich ist, sollten eventuelle Unsicherheiten, die durch den Einsatz verschiedener Pluviometer aufkommen könnten, nicht überbewertet werden.

2.2 Wild'sche Waage

Dieses Instrument misst die Verdunstung einer freien Wasserfläche. Die Daten von 1951 bis und mit Juni 1984 wurden mit einer Wild'schen Waage vom Typ Lamprecht 1521 erhoben, die unter einer MZA-Hütte (SMA-Eigenbau) an zwei verschiedenen Standorten gestanden hat. Ab dem 1. Juli 1984 wurden die Daten von der automatisierten Waage Typ METEOLABOR verwendet. Diese Waage steht unter einer ASTA-Verdunstungshütte. Die verschiedenen Waagen und Verdunstungshütten zeigten keine systematischen Abweichungen der Werte (Calame, 1977 u. 1978; Defila, 1985). Genauere Angaben über die Messmethodik sind publiziert (Defila und Brändli, 1989). Die Problematik der verschiedenen Verdunstungsarten und deren Mess- respektive Berechnungsmöglichkeiten wurde schon umfassend behandelt (Schrödter, 1985).

2.3 Feuchtigkeitsmessung

Die Feuchtigkeit wird als Parameter für die Berechnung der Verdunstung nach Primault gebraucht. Bis 1985 wurden stets Haarhygrometer (versch. Typen) eingesetzt. Sie befanden sich entweder in der Wild'schen- oder in der Stevensonhütte, ab dem 1.1.1978 in einem Metallstrahlungsschutz (ASTA). Am 26.7.85 wurde auf das THYGAN (Thermo-Hygrometer ANETZ) umgestellt, das auf dem Prinzip eines Taupunktspiegels basiert. Bis Ende 1970 wurde das Tagesmittel der Luftfeuchtigkeit durch die Formel $U_m = (u_7 + u_{13} + u_{21}) / 3$ bestimmt. Ab 1.1.1971 gilt für die Tagesmittelberechnung die Formel $U_m = n - c (n - u_{13})$, wobei $n = (u_7 + u_{13} + u_{19}) / 3$ und $c = \text{Faktor}$ (abhängig von Beobachtungszeit, Monat und Lage der Station) ist. Die verschiedenen Tagesmittelberechnungen der Feuchtigkeit zeigen im Monatsmittel keine signifikanten Unterschiede (mündl. Auskunft von A. de Montmollin, SMA, Juli 1992).

2.4 Sonnenscheindauer

Sie geht ebenfalls als Parameter in die Verdunstungsformel ein. Bis 1.1.78 gelangten Sonnenscheinautographen vom Typ Campbell-Stokes zum Einsatz. Nachher wurde an der ASTA ein Hänni, Solar 111B verwendet. Es misst mit einer Fozelle den Kontrast zwischen besonnener und beschatteter Zelle. Ist der Unterschied grösser als 200 W/m^2 , so registriert das Gerät Sonnenschein. An klaren Tagen stimmen die Messungen von Campbell-Stokes und Hänni recht gut überein, während an dunstigen oder wechselnd bewölkten Tagen Campbell-Stokes mehr Sonnenschein registriert (Annalen SMA, 1986). Für die Periode von 1901 bis Juni 1927 musste die Sonnenscheindauer mit dem Faktor 1,06 multipliziert werden, um einen Instrumentenwechsel auszugleichen (Klimatologie der Schweiz Heft 3/I, Sonnenscheindauer 1. Teil).

2.5 Verdunstungsformel nach Primault

Dr. Ing. B. Primault, ehemaliger Leiter der Sektion Agrar- und Biometeorologie an der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt in Zürich, erarbeitete in zahlreichen Studien und Untersuchungen (Primault, 1961, 63 und 81), folgende empirische Formel zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration:

$$ETP = (1,03 - H) (S + 2n) C j$$

ETP= potentielle Evapotranspiration in mm
H = mittlere relative Feuchtigkeit in % / 100
S = effektive Sonnenscheindauer in Std.
n = Anzahl Tage der Berechnungsdauer
C = Höhenkorrektur
j = Saisonaler Faktor

Diese Formel eignet sich gut, um die Verdunstung vergangener Jahre zu berechnen, da sie mit nur zwei gemessenen meteorologischen Parametern auskommt. Die Sonnenscheindauer und die relative Feuchtigkeit simulieren dabei die Einflussgrössen Strahlung und Sättigungsdefizit. Die atmosphärische Trübung ist durch einen höhenabhängigen Faktor C berücksichtigt, wogegen der Faktor j die jahreszeitliche Transpiration von Gras simuliert. Bei der Verdunstungsberechnung mit dieser Formel sollte n zwischen 5 und 12 Tagen liegen, da hier die besten Resultate erzielt werden (Primault, 1981). Bei längeren Perioden müssen die Einzelergebnisse addiert werden.

In dieser Arbeit wird die Verdunstungsformel zur Simulation der Wild'schen Waage (Verdunstung einer freien Wasseroberfläche) verwendet. Man kann daher auf den Faktor j verzichten. Der Faktor C wird jedoch benötigt, um die berechneten Monats- und Jahreswerte auf das durchschnittliche Niveau der gemessenen Verdunstung zu bringen.

2.6 Wasserbilanz

In dieser Arbeit wird unter der Wasserbilanz die Differenz zwischen gemessenem Niederschlag und berechneter Verdunstung (Simulation der Verdunstung einer Wild'schen Waage unter einer MZA-Hütte) verstanden.

$$WB = R - V$$

WB = Wasserbilanz in mm (berechnet)

R = Niederschlag in mm (gemessen)

V = Verdunstung in mm (berechnet)

3. Daten der Wild'schen Waage (1951-1990)

Die Werte wurden einerseits aus dem Beiheft zu den Annalen, Heft 28P, "Bodentemperaturen und Verdunstung", 1989 und andererseits aus den Originalbeobachtungsblättern übernommen. Bei der Bearbeitung der Daten fielen einige grobe Fehler auf. So weist der Mai 1962 57,9 mm Verdunstung auf und nicht 184,3 mm. Des Weiteren stammen im obgenannten Beiheft die Werte bis 1972 von der Wild'schen Waage unter einer MZA-Hütte und nicht, wie in der Stationsgeschichte angegeben, unter einer Wild'schen Hütte. Die Daten stammen also aus folgenden Messanordnungen:

1951 bis 14. März 1980: Wild'sche Waage (Lamprecht 1521)
unter MZA-Hütte, Standort West

15. März 1980 bis 30. Juni 1984: Wild'sche Waage (Lamprecht 1521)
unter MZA-Hütte, Standort Ost

1. Juli 1984 bis 31. Dez. 1990: Wild'sche Waage (Meteolabor)
unter ASTA-Hütte, Standort West

3.1 Monats-, Jahressummen und Mittelwerte

Tabelle 1 zeigt die einzelnen Monats- und Jahressummen sowie die Mittel über 10 und 40 Jahre der mit der Wild'schen Waage gemessenen Verdunstung.

Tabelle 1

**Monats-, Jahressummen und Mittelwerte der gemessenen Verdunstung
(Wild'sche Waage) in mm, Zürich SMA (569 m ü. M.), 1951-1990**

Wild'sche Waage unter MZA-Hütte bis 30. Juni 1984

1951 bis 14. März 1980 Standort West, 15. März 1980 bis 30. Juni 1984 Standort Ost

Wild'sche Waage automatisiert (Meteolabor) unter ASTA-Hütte

1. Juli 1984 bis 31. Dezember 1990 Standort West

JAHR	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
1951	16	20	41	72	62	69	90	66	39	18	22	11	526
52	26	16	42	81	100	105	145	108	48	38	28	15	752
53	12	21	77	81	112	66	88	91	74	33	16	12	682
54	20	19	57	52	86	82	89	66	60	36	20	21	608
55	14	24	49	85	97	83	65	73	47	36	18	31	622
1956	24	16	64	63	90	67	94	56	50	24	19	16	581
57	14	33	56	60	70	76	86	76	53	33	13	16	588
58	19	32	36	56	92	81	86	74	54	23	9	20	581
59	17	24	38	80	93	80	102	72	77	27	12	18	639
60	19	26	50	61	84	86	70	68	41	40	33	20	598
51-60	18	23	51	69	89	80	91	75	54	31	19	18	618
1961	12	35	68	67	71	88	107	87	73	35	24	23	689
62	24	31	38	85	58	104	95	98	63	34	20	9	659
63	8	16	35	54	54	64	79	52	34	25	31	9	462
64	5	22	20	59	73	81	113	61	49	17	14	8	523
65	13	17	40	46	65	64	65	64	46	21	27	30	498
1966	18	31	46	57	89	91	65	60	55	36	21	26	596
67	17	37	50	69	84	82	105	77	46	55	18	15	656
68	16	22	56	82	77	87	99	63	47	30	25	13	615
69	15	26	36	62	95	68	96	70	43	27	39	7	583
70	10	30	38	51	72	80	85	60	58	33	34	15	566
61-70	14	27	43	63	74	81	91	69	51	31	25	15	584
1971	13	16	27	78	69	61	92	62	51	33	18	8	527
72	7	19	45	34	51	48	49	47	33	21	20	7	381
73	6	15	26	37	61	56	53	55	40	19	18	16	401
74	14	18	44	66	66	68	77	74	43	18	26	27	540
75	21	22	27	52	69	58	67	57	46	21	14	9	461
1976	22	13	46	64	75	116	96	57	35	25	17	10	575
77	8	24	43	32	64	66	66	47	35	28	32	11	454
78	11	12	40	58	59	68	72	64	53	20	12	24	492
79	12	17	32	47	84	69	87	64	49	21	14	29	526
80	13	25	35	44	64	57	59	71	51	28	22	16	485
71-80	13	18	37	51	66	67	72	60	43	23	19	15	484
1981	17	15	48	61	60	74	62	73	31	31	30	19	520
82	13	15	39	62	80	69	78	51	42	24	28	21	521
83	23	21	41	55	52	75	122	68	51	34	16	17	575
84	24	19	36	56	51	80	89	59	39	30	19	11	512
85	8	18	37	64	58	68	90	77	55	32	16	20	543
1986	23	11	36	33	59	73	81	62	45	36	21	16	495
87	11	9	31	63	51	48	65	60	54	26	19	13	450
88	23	28	31	50	66	64	77	62	44	24	14	15	498
89	10	19	56	36	87	80	70	63	37	33	13	24	527
90	16	40	48	42	78	56	98	92	49	30	19	15	583
81-90	17	19	40	52	64	69	83	67	45	30	20	17	522
51-90	15	22	43	59	73	74	84	68	48	29	21	16	552

3.2 Verteilungen

Die Monats- und Jahreswerte wurden aufsteigend nach ihrer Grösse geordnet. Die Klassengrenzen der Quantile wurden mit der Formel $((\text{Anzahl Fälle} - 1)/100 * (\text{Klassengrenze in \% der Fälle})) + 1$, die eigentlichen Grenzwerte durch eine lineare Interpolation der Werte, des sich oberhalb und unterhalb der Grenze liegenden Falles, ermittelt. Da wir uns für die Normal- aber auch für die Extremwerte interessierten, wurde folgende Verteilung gewählt.

Klassengrenzen

	Maximum (Max)
oberes Dezil (OD)	bei 90 % der Fälle
oberes Quartil (OQ)	bei 75 % der Fälle
Zentralwert (Z)	bei 50 % der Fälle
unteres Quartil (UQ)	bei 25 % der Fälle
unteres Dezil (UD)	bei 10 % der Fälle
	Minimum (Min)

Beurteilung der Einteilung

Max	höchste Verdunstung
> OD	sehr hohe Verdunstung
<= OD bis > OQ	hohe Verdunstung
<= OQ bis >= UQ	normale Verdunstung
< UQ bis >= UD	tiefe Verdunstung
< UD	sehr tiefe Verdunstung
Min	tiefste Verdunstung

Tabelle 2 und Figur 1 zeigen einen typischen Jahresgang mit Tiefstwerten im Januar und Höchstwerten im Juli. Der Einbruch im Juni ist plausibel, da eine höhere Feuchtigkeit als im Mai und Juli festgestellt wurde, und die Sonnenscheindauer nur leicht über den Werten des Monats Mai lag. Die Verdunstungsmengen für Zürich SMA liegen, regional gesehen, eher tief, was auf die spezielle Lage dieser Station hinweist. So ist der Standort der Waage durch Gebäude, Büsche und Bäume windgeschützt und wird am Morgen, je nach Jahreszeit, bis zu dreissig Minuten beschattet. Als Vergleich sei hier auf die Station Reckenholz verwiesen, die in den Sommermonaten rund 50 Prozent höhere Werte als Zürich SMA aufweist. Diese Station ist, im Gegensatz zu der Station Zürich SMA, stark windexponiert und nicht beschattet.

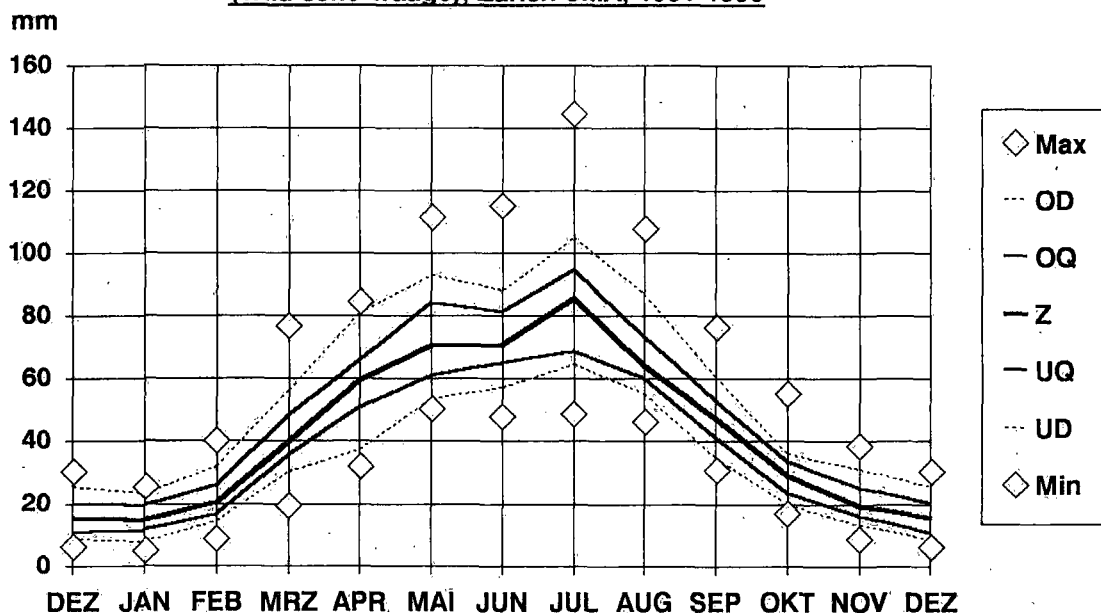
Tabelle 2

**Verteilung der Monats- und Jahreswerte der Verdunstung
(Wild'sche Waage) in mm, Zürich SMA, 1951-1990**

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Mittel	15	22	43	59	73	74	84	68	48	29	21	16	552
Max	26	40	77	85	112	116	145	108	77	55	39	31	752
OD	23	32	56	81	93	88	105	87	61	36	31	26	656
OQ	19	26	48	66	84	82	95	73	53	34	25	20	596
Z	15	20	40	60	71	71	86	64	48	29	19	16	541
UQ	12	16	36	51	61	65	69	60	41	24	16	11	498
UD	8	14	30	37	54	57	65	55	35	20	13	9	460
Min	5	9	20	32	51	48	49	47	31	17	9	7	381

Figur 1

**Verteilung des Jahresganges der gemessenen Verdunstung
(Wild'sche Waage), Zürich SMA, 1951-1990**

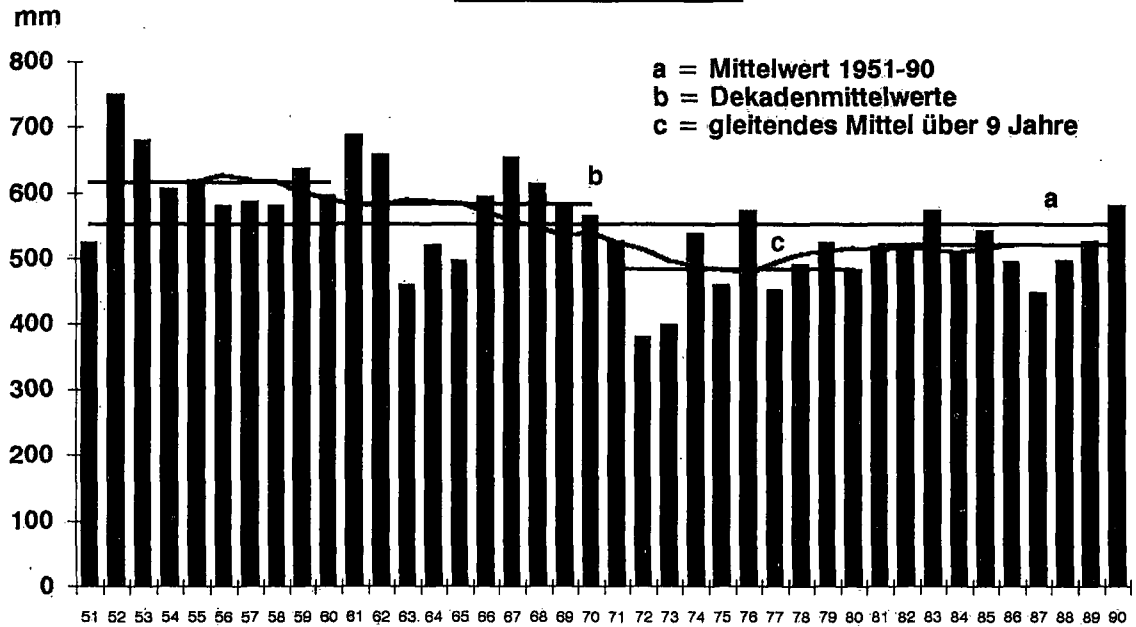


3.3 Zeitreihe und verschiedene Mittel der jährlichen Verdunstungssummen

Auffallend sind die grossen Schwankungen der Jahresverdunstungen sowie die starke Abnahme der Werte bis 1976 (Figur 2). Ob dies mit der Alterung des Instrumentes, der reduzierten Sonnenscheindauer (durch eine Beschattung der immer höher werdenden Bäume) oder einem echten Rückgang der Verdunstung, zusammenhängt, sollen die folgenden Kapitel zeigen.

Figur 2

Zeitreihe der gemessenen Jahresverdunstung (Wild'sche Waage),
Zürich SMA, 1951-1990



4. Vergleich der Wild'schen Waage mit der Verdunstung "Primault" (1951-1990)

Es soll herausgefunden werden, ob sich die Verdunstungsformel nach Primault eignet, um die Wild'sche Waage zu simulieren. Sollte dies zutreffen, wird in dieser Publikation die Verdunstung der gesamten Periode 1901 bis 1990 mit der Formel Primault (eventuell leicht überarbeitet) berechnet und angewandt. Für den Vergleich der Wild'schen Waage mit der berechneten Verdunstung stand die Periode 1951 bis 1990 zur Verfügung. Der Vergleich soll im einzelnen zeigen, welche zeitliche Periode sich für die Berechnung der C-Faktoren am besten eignet und wie sich der Wechsel von der konventionellen zur automatischen Station (Instrumentenwechsel) auf die berechnete Verdunstung ausgewirkt hat. Danach werden die C-Faktoren berechnet. Statistische und graphische Untersuchungen der gemessenen und der berechneten Verdunstung sollen das Verhalten der beiden Verdunstungsarten einzeln und zueinander aufzeigen.

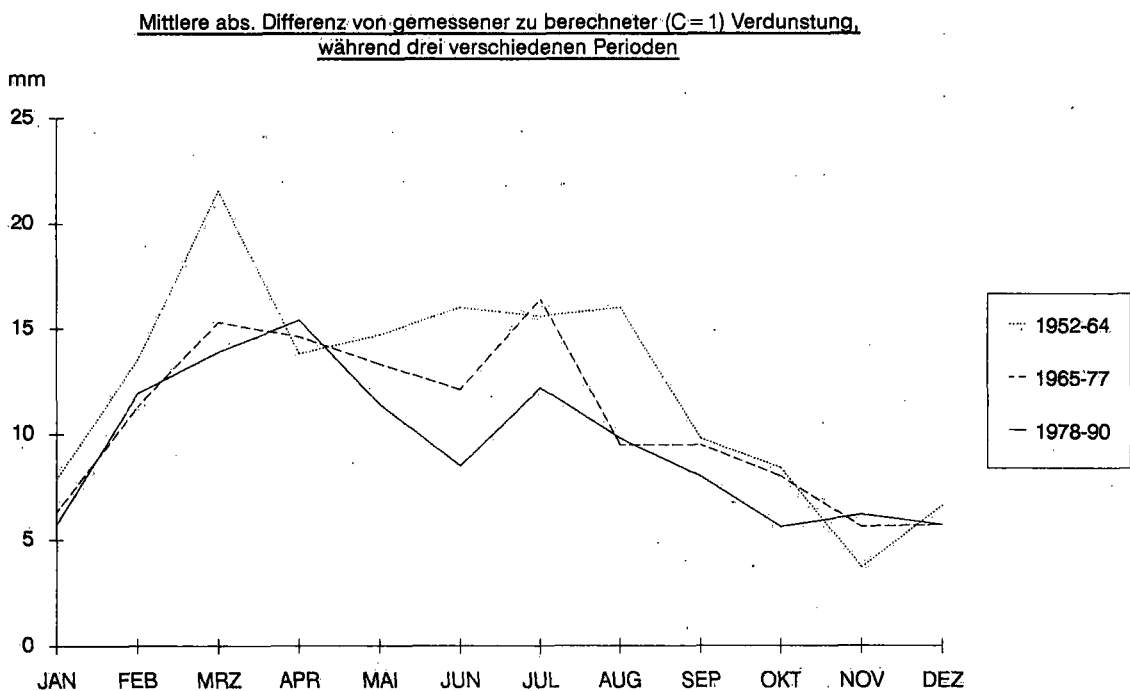
4.1 Vergleichsperiode zur Bestimmung der C-Faktoren

Wie in Kapitel 2.5 beschrieben, lautet die Formel nach Primault, für die Berechnung der Verdunstung einer freien Wasseroberfläche, $V = (1,03 - H) (S + 2n) C$. Der Faktor C

soll alle nicht in der Formel enthaltenen atmosphärischen Einflüsse zusammenfassen und wird nach Primault, 1981, mit "Correction d'altitude" bezeichnet. In unserer Arbeit soll der C-Faktor dazu benutzt werden, die mittleren berechneten Monats- und Jahreswerte auf das Niveau der gemessenen Verdunstung zu bringen. An der Klimadatenbank der SMA, die sich am Rechenzentrum der ETH Zürich befindet, wurden mit Hilfe des Programms "SMETEO" die mittleren Monatsverdunstungen und die mittlere Jahresverdunstung nach Primault mit $C=1$ berechnet. Eine Analyse der absoluten und relativen Differenzen zwischen berechneter und gemessener Verdunstung zu verschiedenen Perioden, soll die Wahl der besten Periode für die Berechnung des C-Faktors erleichtern. Um einen Vergleich mit der, aus den ASTA-Werten, berechneten Verdunstung zu erhalten, wurden die Perioden 1952-1964, 1965-1977 und 1978-1990 (ASTA), also immer Reihen mit je 13 Jahren, ausgewählt. In den Tabellen 3 bis 11 findet man die kompletten Berechnungen für die Mittelwerte, absoluten Differenzen und Standardabweichungen der gemessenen und berechneten Verdunstung, für die drei erwähnten Perioden und für drei unterschiedliche Verdunstungsniveaus.

Figur 3 zeigt die monatlichen absoluten Differenzen der Mittelwerte während den verschiedenen Perioden. Man erkennt, dass während der Periode 1978 bis 1990 (ASTA) in den Monaten Mai bis Oktober die absoluten Differenzen kleiner waren als in den vorhergehenden Perioden (konventionell), während von November bis April die Differenzen etwa gleich sind.

Figur 3



Als nächstes interessierte, ob die kleineren absoluten Differenzen, die während der ASTA-Periode 1978-90 in den Monaten Mai bis Oktober aufgetreten sind, durch ein tieferes Verdunstungsniveau der gemessenen oder gerechneten Verdunstung erklärt werden können. Figur 4 und 5 zeigen tatsächlich kleinere Werte in den Monaten Februar bis Juni bei der Wild'schen Waage, respektive Februar bis Juli bei den berechneten Werten.

Mit der Hoffnung auf eine genauere Aussage wurde nun die mittlere absolute Differenz von gemessener zu berechneter Verdunstung in Prozent der mittleren gemessenen und berechneten Verdunstung für alle drei Perioden ermittelt (Tabellen 3 bis 5 und Figuren 6 und 7). Bei der gemessenen wie der berechneten Verdunstung wurde festgestellt, dass auch die relativen Differenzen in der ASTA-Periode von Mai bis Oktober kleiner geworden sind. Leider gaben auch diese Darstellungen keine Antwort darauf, welche Faktoren für diese kleineren relativen Differenzen verantwortlich sind.

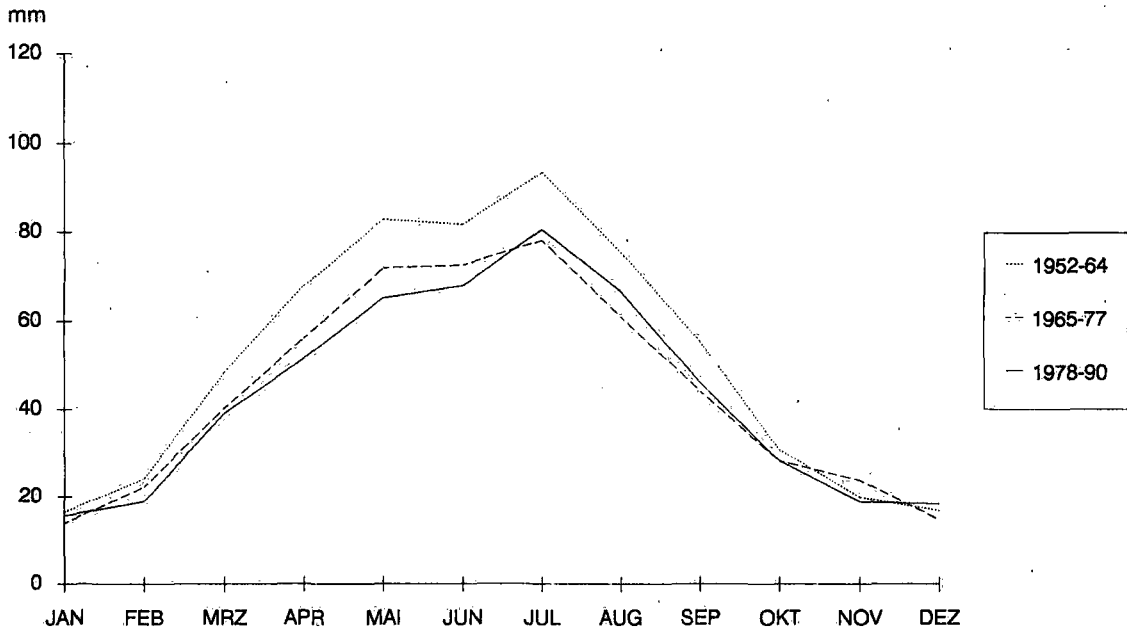
Es wurden deshalb nochmals 3 Perioden mit den 13 hohen, mittleren und tiefen Werten, geordnet nach gemessener Verdunstung (Tabellen 6 bis 8) und nach berechneter Verdunstung (Tabellen 9 bis 11), berechnet.

Die Untersuchungen geben folgende Auskunft. In den Sommermonaten sind die relativen Differenzen ziemlich unabhängig von der Höhe der gemessenen Verdunstung (Figur 8), jedoch abhängig vom Niveau der berechneten Verdunstung (Figur 9). Die tiefen bis mittleren Verdunstungswerte in den Sommermonaten der ASTA-Periode, 1978-90 (Figuren 4 und 5) führten zu den kleinen relativen Differenzen zwischen gemessener und berechneter Verdunstung in dieser Periode (Figur 7). Ausschlaggebend für diese kleineren relativen Differenzen dürfte das Verhalten der Verdunstungsformel sein, die dazu neigt, dass bei tiefer Verdunstung die relativen Differenzen zu den gemessenen Werten klein sind (Figur 9).

Es zeigte sich, dass die Werte der ASTA-Periode 1978-1990 für die Berechnung des C-Faktors mitverwendet werden können, da hier die absoluten und relativen Differenzen wie deren Standardabweichungen kleiner sind als in den vorherigen Perioden. Obwohl die Periode 1952-64 die grössten Abweichungen hervorbrachte, unterschieden sich die untersuchten Perioden nicht wesentlich voneinander. Wir entschlossen uns daher, die längst mögliche Periode 1951-1990, und damit die grösstmögliche Zahl aller Vergleichsfälle, für die Berechnung des C-Faktors zu verwenden.

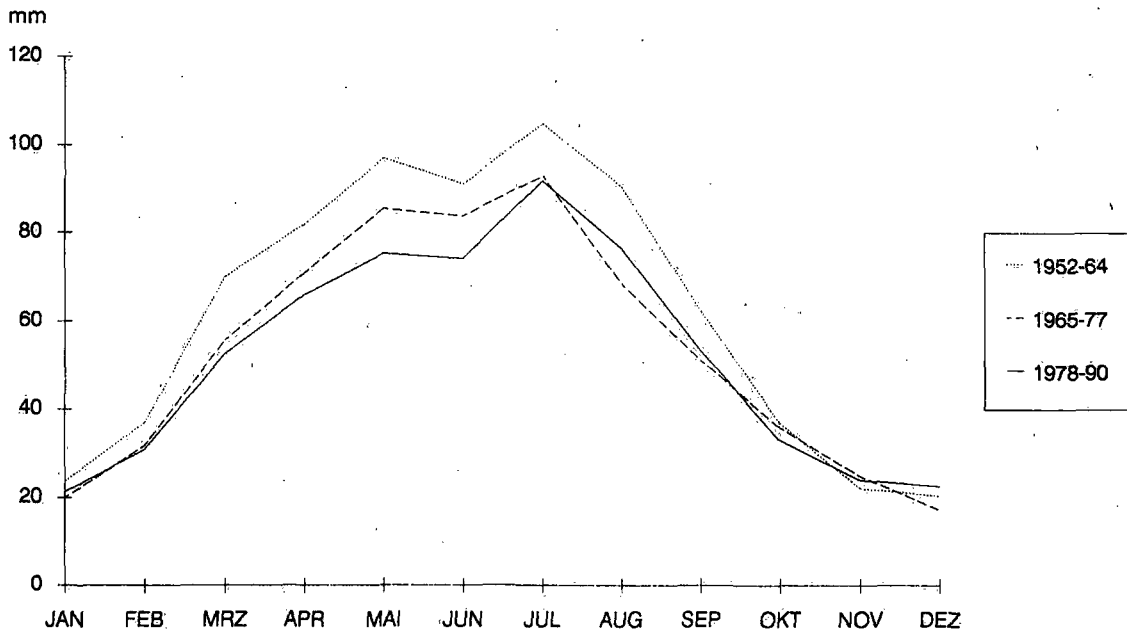
Figur 4

Monatsmittel der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage)
von drei verschiedenen Perioden



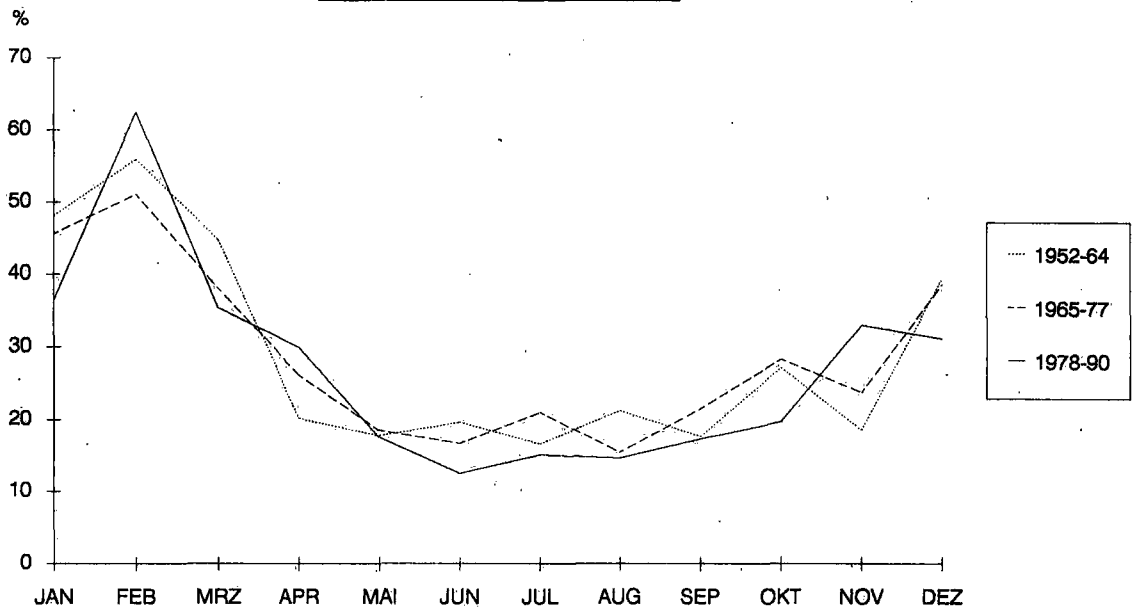
Figur 5

Monatsmittel der berechneten (C=1) Verdunstung
von drei verschiedenen Perioden



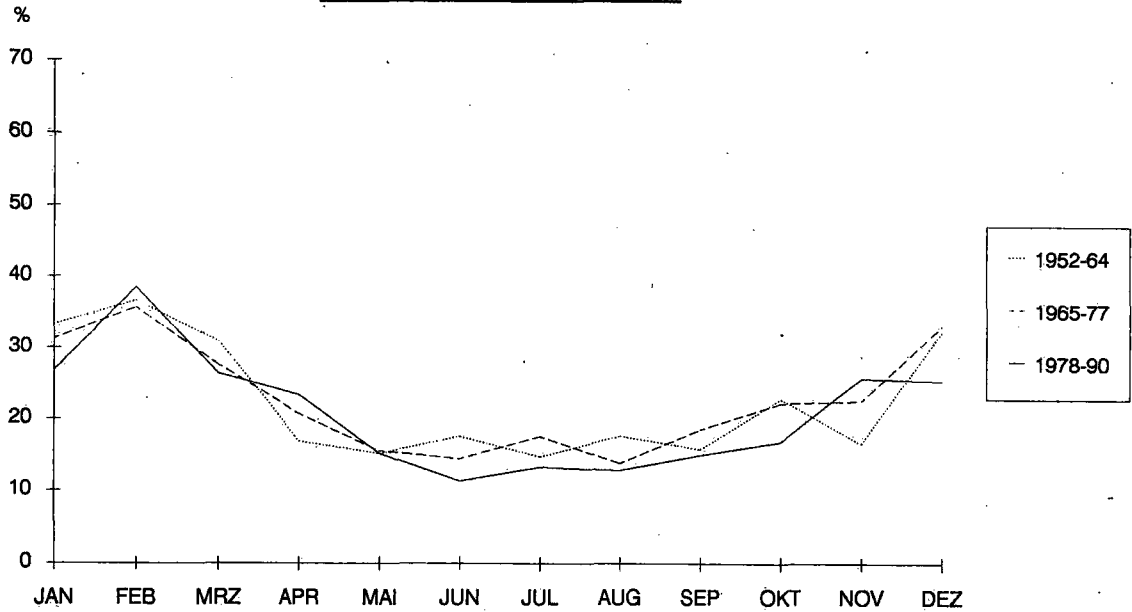
Figur 6

Mittlere abs. Differenz von gemessener zu berechneter (C=1) Verdunstung
in Prozent der mittleren gemessenen Verdunstung,
während drei verschiedenen Perioden



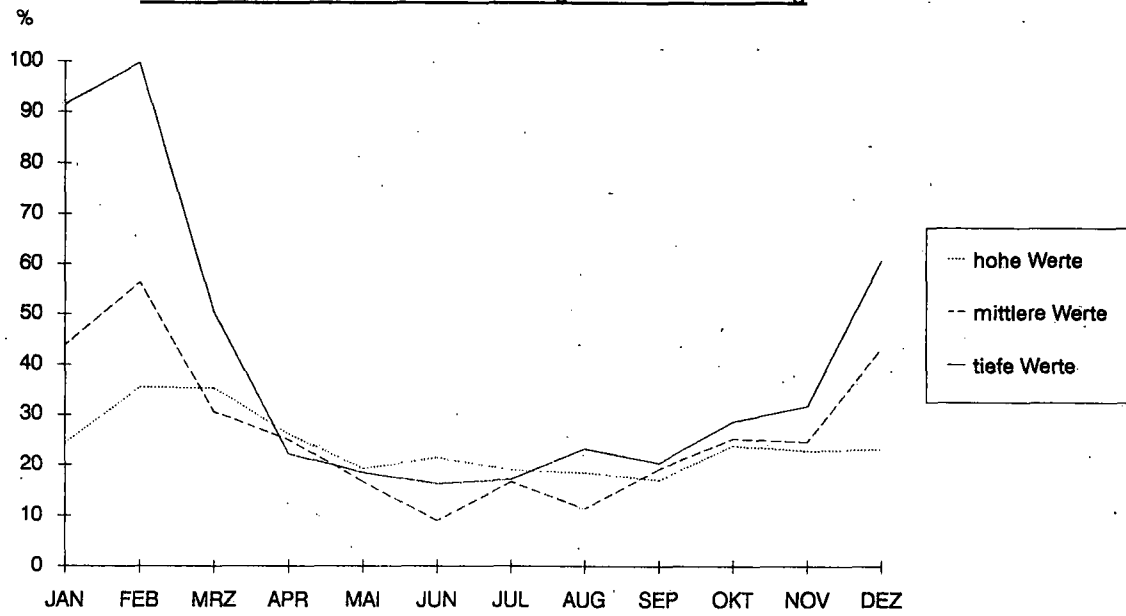
Figur 7

Mittlere abs. Differenz von gemessener zu berechneter (C=1) Verdunstung
in Prozent der mittleren berechneten (C=1) Verdunstung,
während drei verschiedenen Perioden



Figur 8

Mittlere abs. Differenz von gemessener zu berechneter (C=1) Verdunstung
in Prozent der mittleren gemessenen Verdunstung,
von hohen, mittleren und tiefen Werten der gemessenen Verdunstung



Figur 9

Mittlere abs. Differenz von gemessener zu berechneter (C=1) Verdunstung
in Prozent der mittleren berechneten (C=1) Verdunstung,
von hohen, mittleren und tiefen Werten der berechneten (C=1) Verdunstung

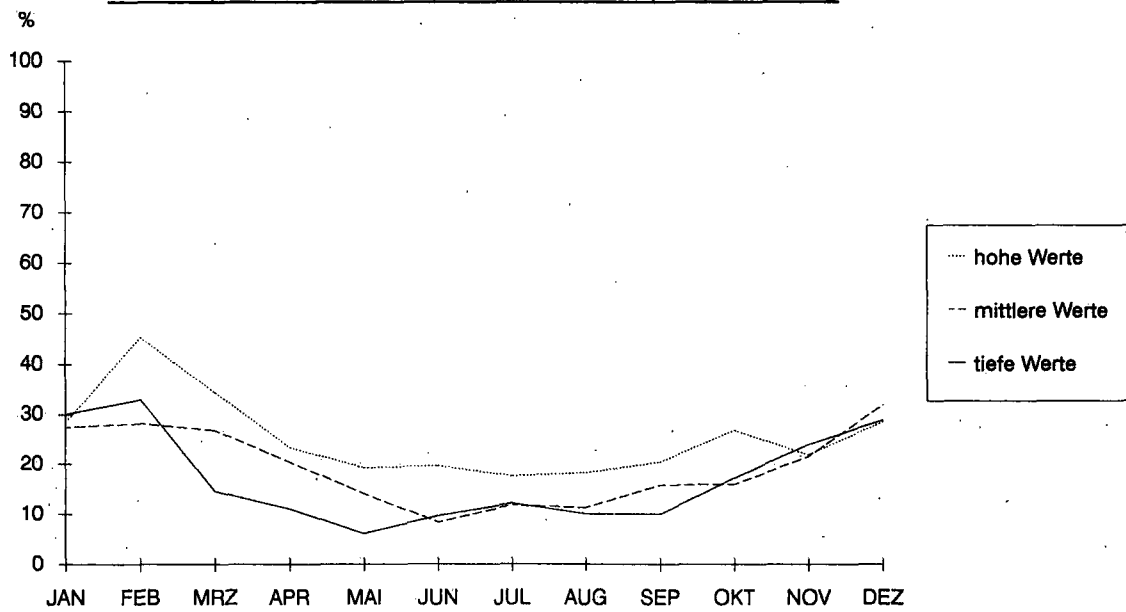


Tabelle 3

Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C = 1) Verdunstung, 1952-1964

Periode	1952-1964											
	V gemessen		V berechnet		abs. Differenz V gem. - V ber.		abs. Differenz in % V gem.		abs. Differenz in % V ber.		M abs. Diff. in % M V gem.	M abs. Diff. in % M V ber.
	M	s	M	s	M	s	M	s	M	s		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
Januar	16,5	6,2	23,7	8,4	7,9	7,0	62	77	31	19	48	33
Februar	24,2	6,8	36,9	11,1	13,5	10,4	65	60	34	20	56	37
März	48,4	15,8	70,0	26,3	21,6	14,6	45	32	28	13	45	31
April	68,0	12,4	81,6	17,8	13,8	8,0	20	10	16	7	20	17
Mai	83,0	16,9	96,9	18,6	14,7	11,1	19	16	15	11	18	15
Juni	81,8	12,6	90,0	27,2	16,0	12,3	19	13	17	9	20	18
Juli	93,6	20,4	104,8	31,4	15,6	15,7	17	17	14	12	17	15
August	75,5	16,4	90,4	24,3	16,0	14,3	22	18	16	11	21	18
September	55,5	13,3	62,3	16,0	9,8	8,1	19	16	15	10	18	16
Oktober	30,9	7,0	36,9	8,9	8,4	5,2	29	21	22	12	27	23
November	19,8	7,3	22,1	8,9	3,7	2,2	18	8	16	5	19	17
Dezember	16,7	6,4	20,4	6,2	6,6	4,4	45	36	31	18	40	32
Jahr	614,0	74,5	736,9	79,1	123,0	85,5	21	16	16	11	20	17

M = Mittelwert s = Standardabweichung V gem. = gemessene Verdunstung V ber. = berechnete Verdunstung

Tabelle 4

Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C = 1) Verdunstung, 1965-1977

Periode	1965-1977											
	V gemessen		V berechnet		abs. Differenz V gem. - V ber.		abs. Differenz in % V gem.		abs. Differenz in % V ber.		M abs. Diff. in % M V gem.	M abs. Diff. in % M V ber.
	M	s	M	s	M	s	M	s	M	s		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
Januar	13,8	5,0	20,0	5,0	6,3	3,4	57	45	32	17	46	31
Februar	22,2	7,2	31,7	9,9	11,3	7,1	57	39	35	15	51	36
März	40,3	9,3	55,6	13,5	15,3	9,9	41	35	26	14	38	28
April	56,1	15,9	70,8	21,7	14,6	10,6	27	21	19	12	26	21
Mai	72,1	12,0	85,4	17,4	13,3	12,3	19	20	14	11	19	16
Juni	72,6	18,1	83,7	23,5	12,1	11,0	18	19	13	11	17	15
Juli	78,1	18,5	92,9	20,6	16,4	12,0	23	18	17	11	21	18
August	61,0	9,0	68,4	8,3	9,5	6,5	17	13	14	9	16	14
September	44,3	7,6	51,1	13,7	9,5	8,5	22	19	17	13	22	19
Oktober	28,2	10,1	35,9	13,7	8,0	6,9	29	26	20	14	28	22
November	23,7	7,5	24,9	9,2	5,6	3,3	25	16	27	22	24	23
Dezember	14,7	7,9	17,1	4,3	5,7	3,6	49	38	34	21	39	33
Jahr	527,0	83,5	637,4	69,1	110,4	56,8	23	16	17	9	21	17

Tabelle 5

Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C = 1) Verdunstung, 1978-1990

Periode	1978-1990											
	V gemessen		V berechnet		abs. Differenz V gem. - V ber.		abs. Differenz in % V gem.		abs. Differenz in % V ber.		M abs. Diff. in % M V gem.	M abs. Diff. in % M V ber.
	M	s	M	s	M	s	M	s	M	s		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
Januar	15,6	5,8	21,2	4,3	5,7	3,6	48	41	28	18	37	27
Februar	19,0	8,4	30,9	11,6	11,9	6,0	68	38	38	12	63	39
März	39,2	7,6	52,5	16,1	13,9	10,8	35	25	24	13	35	26
April	51,6	10,6	66,0	22,1	15,4	12,4	27	21	20	13	30	23
Mai	65,2	12,7	75,2	25,7	11,4	13,2	15	15	12	10	18	15
Juni	67,9	9,4	74,1	17,6	8,5	8,7	12	11	10	8	13	11
Juli	80,7	17,0	91,7	28,7	12,2	12,2	14	12	11	9	15	13
August	66,6	10,1	76,4	16,5	9,8	7,3	14	9	12	7	15	13
September	46,1	7,4	53,3	12,3	8,0	4,6	17	8	15	7	17	15
Oktober	28,3	5,0	33,0	9,1	5,6	4,8	19	15	15	10	20	17
November	18,8	5,6	24,1	7,6	6,2	4,9	36	29	24	15	33	26
Dezember	18,3	5,0	22,5	6,7	5,7	5,1	35	30	24	16	31	25
Jahr	517,3	36,0	621,0	68,5	103,7	45,0	20	8	16	5	20	17

Tabelle 6

Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C = 1) Verdunstung, hohe gem. Werte

Periode	hohe gemessene Verdunstungswerte n = 13											
	V gemessen		V berechnet		abs. Differenz V gem. - V ber.		abs. Differenz in % V gem.		abs. Differenz in % V ber.		M abs. Diff. in % M V gem.	M abs. Diff. in % M V ber.
	M	s	M	s	M	s	M	s	M	s		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
Januar	21,3	2,5	26,3	3,3	5,2	3,7	26	21	19	12	24	20
Februar	29,4	4,4	37,1	11,8	10,4	8,5	37	32	26	16	35	28
März	53,4	6,8	72,1	13,7	18,8	9,3	35	17	25	10	35	26
April	73,2	7,9	92,2	11,7	19,2	10,0	27	15	20	10	26	21
Mai	89,2	5,9	106,4	12,3	17,2	11,8	20	14	15	9	19	16
Juni	87,0	8,5	102,0	21,4	18,6	12,6	21	14	17	9	21	18
Juli	100,5	9,1	118,2	22,3	19,1	16,8	19	16	15	11	19	16
August	79,5	9,0	93,7	20,8	14,8	13,3	18	14	14	9	19	16
September	58,0	7,8	65,5	11,0	10,0	7,7	18	13	15	9	17	15
Oktober	35,2	2,2	41,2	7,9	8,4	5,8	24	18	20	11	24	20
November	27,8	3,9	28,1	9,8	6,3	3,8	23	14	26	22	23	23
Dezember	23,3	3,6	22,9	6,6	5,4	5,2	24	24	24	21	23	24
Jahr	624,2	37,2	725,9	78,0	101,7	71,6	16	12	13	8	16	14

M = Mittelwert s = Standardabweichung V gem. = gemessene Verdunstung V ber. = berechnete Verdunstung

Tabelle 7

Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C = 1) Verdunstung, mittl. gem. Werte

Periode	mittlere gemessene Verdunstungswerte n = 13											
	V gemessen		V berechnet		abs. Differenz V gem. - V ber.		abs. Differenz in % V gem.		abs. Differenz in % V ber.		M abs. Diff. in % M V gem.	M abs. Diff. in % M V ber.
	M	s	M	s	M	s	M	s	M	s		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
Januar	14,7	1,5	20,6	6,0	6,4	4,9	44	32	28	15	44	31
Februar	20,1	1,7	31,4	7,2	11,3	6,9	57	35	34	12	56	36
März	40,4	2,6	52,6	8,4	12,3	8,0	31	20	22	11	31	23
April	58,7	3,1	72,4	12,8	14,7	10,1	25	17	19	10	25	20
Mai	70,4	4,5	81,3	13,2	11,8	10,0	17	13	13	9	17	15
Juni	72,1	4,5	77,4	9,8	6,6	6,2	9	8	8	6	9	9
Juli	84,0	4,9	96,1	12,6	14,1	11,0	17	13	14	9	17	15
August	64,7	2,7	71,1	8,3	7,4	6,0	11	9	10	7	12	11
September	47,4	2,0	53,5	12,3	9,2	8,4	19	17	15	11	19	17
Oktober	28,6	2,6	35,4	7,0	7,2	5,9	25	21	18	13	25	20
November	19,3	1,2	23,8	4,7	4,7	4,0	25	20	18	11	25	20
Dezember	15,5	1,2	22,1	4,9	6,7	4,4	43	28	28	15	43	30
Jahr	546,9	24,6	666,2	51,8	119,3	51,3	22	10	18	6	22	18

Tabelle 8

Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C = 1) Verdunstung, tiefe gem. Werte

Periode	tiefe gemessene Verdunstungswerte n = 13											
	V gemessen		V berechnet		abs. Differenz V gem. - V ber.		abs. Differenz in % V gem.		abs. Differenz in % V ber.		M abs. Diff. in % M V gem.	M abs. Diff. in % M V ber.
	M	s	M	s	M	s	M	s	M	s		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
Januar	9,2	2,4	17,6	5,7	8,4	5,6	98	71	45	15	92	48
Februar	14,3	2,5	28,6	9,6	14,3	8,2	97	49	47	12	100	50
März	31,3	5,2	46,6	17,0	15,8	14,4	50	45	28	19	50	34
April	42,8	7,6	52,3	13,4	9,5	8,9	22	22	16	12	22	18
Mai	56,9	4,7	66,0	16,5	10,5	13,7	18	23	13	13	19	16
Juni	59,7	6,4	64,1	12,4	9,8	10,0	17	19	14	12	16	15
Juli	63,7	6,6	71,0	13,3	11,0	10,5	18	18	15	13	17	16
August	55,6	4,9	67,1	12,7	12,9	9,2	23	16	18	10	23	19
September	37,6	4,0	44,4	8,2	7,7	5,4	21	15	17	10	21	17
Oktober	20,7	2,4	25,8	6,3	5,9	5,3	29	26	21	14	29	23
November	13,9	2,2	17,9	3,7	4,4	3,2	33	26	23	13	32	25
Dezember	9,5	1,8	15,0	3,1	5,8	3,2	66	40	36	17	61	38
Jahr	469,8	41,4	586,7	56,7	116,9	68,7	26	17	19	10	25	20

Tabelle 9

Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C = 1) Verdunstung, hohe ber. Werte

Periode	hohe berechnete Verdunstungswerte n = 13											
	V gemessen		V berechnet		abs. Differenz V gem. - V ber.		abs. Differenz in % V gem.		abs. Differenz in % V ber.		M abs. Diff. in % M V gem.	M abs. Diff. in % M V ber.
	M	s	M	s	M	s	M	s	M	s		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
Januar	20,2	3,8	28,0	2,6	8,0	4,9	45	33	28	16	40	28
Februar	24,0	7,8	43,9	7,3	19,9	8,3	98	58	45	17	83	45
März	50,4	10,2	76,8	9,2	26,4	8,3	57	29	34	11	52	34
April	72,6	9,8	94,8	6,6	22,2	9,4	33	18	23	10	31	23
Mai	87,7	12,7	108,7	7,1	21,0	12,4	26	21	19	11	24	19
Juni	84,9	14,3	105,3	14,1	20,8	9,6	26	16	20	9	25	20
Juli	100,6	16,9	122,1	16,7	21,6	13,1	23	15	17	10	22	18
August	77,1	14,1	94,4	11,4	17,3	9,1	24	15	18	10	22	18
September	56,4	8,7	70,1	8,0	14,4	8,2	27	16	20	10	26	21
Oktober	32,8	3,9	44,9	4,5	12,0	5,0	38	18	26	10	37	27
November	25,4	6,1	31,5	7,2	6,9	4,1	29	19	22	11	27	22
Dezember	18,5	5,1	25,8	3,1	7,3	4,4	47	32	29	17	40	28
Jahr	601,5	80,0	740,5	42,1	139,0	64,7	25	14	19	9	23	19

M = Mittelwert s = Standardabweichung V gem. = gemessene Verdunstung V ber. = berechnete Verdunstung

Tabelle 10

Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C = 1) Verdunstung, mittl. ber. Werte

Periode	mittlere berechnete Verdunstungswerte n = 13											
	V gemessen		V berechnet		abs. Differenz V gem. - V ber.		abs. Differenz in % V gem.		abs. Differenz in % V ber.		M abs. Diff. in % M V gem.	M abs. Diff. in % M V ber.
	M	s	M	s	M	s	M	s	M	s		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
Januar	15,2	5,0	20,8	2,1	5,7	3,1	48	39	29	17	37	27
Februar	22,7	5,8	30,7	2,3	8,7	4,4	45	30	28	15	38	28
März	40,2	6,5	54,9	4,1	14,7	7,2	41	32	27	12	37	27
April	57,8	7,7	72,3	5,6	14,8	7,5	28	19	20	11	26	20
Mai	70,9	10,8	82,5	8,1	11,6	6,1	18	11	14	8	16	14
Juni	73,3	7,0	76,4	4,8	6,4	3,7	9	6	8	5	9	8
Juli	83,3	9,8	92,8	5,9	11,0	7,9	14	12	12	8	13	12
August	65,5	6,7	73,0	3,2	8,2	4,6	13	8	11	6	13	11
September	46,1	8,0	52,5	3,6	8,3	5,4	20	16	16	11	18	16
Oktober	29,9	5,1	33,7	3,9	5,4	5,0	21	24	16	13	18	16
November	18,1	4,5	21,9	1,4	4,7	2,9	31	26	22	13	26	22
Dezember	19,6	7,0	18,7	1,0	6,0	3,7	35	30	32	21	31	32
Jahr	561,4	58,4	664,0	24,1	102,5	66,2	20	16	15	10	18	15

Tabelle 11

Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C = 1) Verdunstung, tiefe ber. Werte

Periode	tiefe berechnete Verdunstungswerte n = 13											
	V gemessen		V berechnet		abs. Differenz V gem. - V ber.		abs. Differenz in % V gem.		abs. Differenz in % V ber.		M abs. Diff. in % M V gem.	M abs. Diff. in % M V ber.
	M	s	M	s	M	s	M	s	M	s		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
Januar	11,1	3,7	15,1	3,3	4,6	3,1	53	47	30	18	41	30
Februar	17,2	5,7	22,6	4,1	7,5	2,6	48	24	33	10	43	33
März	34,4	7,6	39,6	8,5	5,8	5,3	18	18	14	11	17	15
April	44,8	8,8	49,2	10,4	5,5	3,5	12	8	11	6	12	11
Mai	59,8	7,4	61,3	7,7	3,8	2,9	6	5	6	5	6	6
Juni	61,4	7,3	60,8	7,4	5,9	5,6	10	11	10	9	10	10
Juli	66,8	11,5	69,7	11,4	8,5	9,0	14	17	12	12	13	12
August	58,0	6,7	61,7	6,2	6,1	4,6	11	10	10	8	11	10
September	40,5	5,3	40,7	5,6	4,1	2,5	11	7	10	7	10	10
Oktober	21,8	4,4	23,9	3,2	4,1	3,3	20	18	17	12	19	17
November	17,5	5,6	16,4	2,7	3,9	3,6	21	14	24	23	22	24
Dezember	10,9	3,7	14,0	1,8	4,0	3,0	47	43	28	19	37	29
Jahr	485,1	40,7	567,2	25,9	82,1	28,7	18	8	15	5	17	15

4.2 Die C-Faktoren

Wie schon im Kapitel 4.1 erwähnt, soll der C-Faktor die Monatsmittelwerte der berechneten Verdunstung auf das Niveau der gemessenen Verdunstung bringen. Um die gewünschten C-Faktoren zu erhalten, wurden die mittleren gemessenen Werte der Wild'schen Waage mit den berechneten Verdunstungswerten (ohne C-Faktor, resp. C=1) dividiert. Die Formel lautet also:

$$C = \frac{V \text{ (Wild'sche Waage)}}{V \text{ (Primault, C=1)}}$$

Für die Periode 1951 bis 1990 ergaben sich folgende C-Faktoren:

	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
C	,708	,659	,723	,806	,856	,896	,872	,865	,875	,825	,872	,822	,832

In den Monaten Januar, Februar und März erkennt man deutlich tiefere C-Faktoren als in den übrigen Monaten. Dies erklärt sich teilweise aus der Tatsache, dass das Wasser im Teller der Verdunstungswaage in diesen Monaten über längere Zeit gefroren bleibt. Zusätzlich zur Verdampfungswärme von Wasser muss noch die Schmelzwärme von Eis zugeführt werden, bis es zur Verdunstung kommt. Die theoretischen C-Faktoren lägen also leicht höher als die berechneten. Bei einer genaueren Betrachtung der C-Werte fällt im weiteren auf, dass von Februar bis Juni ein stetiger Anstieg zu verzeichnen ist. Ein weiterer Parameter, z.B. die Lufttemperatur, könnte die Formel Primault eventuell verbessern. In einer zukünftigen Arbeit soll darauf zurückgekommen werden.

4.3 Statistische Untersuchungen der gemessenen und berechneten Verdunstung

Die einzelnen Monatssummen der berechneten Verdunstung wurden mit den gefundenen C-Faktoren (Kapitel 4.2) multipliziert und zusammen mit den gemessenen Verdunstungswerten (Kapitel 3) statistisch untersucht. Als erstes wurden die Datenreihen mit dem Chiquadrattest auf Normalverteilung überprüft. Anschliessend berechnete man die Korrelationskoeffizienten (r) und überprüfte mit dem t-Test, ob r der Stichprobe genügend weit von Null entfernt ist. Zum Schluss wurde mit Hilfe des F-Testes festgestellt, ob die Standardabweichungen voneinander verschieden sind. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die berechnete Verdunstung das mittlere Niveau und die Verteilungen der gemessenen Verdunstung sehr gut widerspiegelt (Figur 11), obwohl in den Monaten Juni und Dezember die Standardabweichungen bei einer Sicherheitsschwelle von $\alpha = 5\%$ voneinander verschieden sind. Die einzelnen Monatssummen von März bis November geben die Werte der gemessenen Verdunstung genügend genau wieder (Figur 10), während in den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar tiefe Korrelationskoeffizienten auftreten und daher die berechneten Einzelwerte mit grosser Vorsicht zu interpretieren sind. Da die Verdunstungswerte in den Wintermonaten klein sind, können die berechneten, jedoch unsicheren Werte, ohne weiteres in die Wasserbilanzrechnung einfließen. Die Figuren 12 bis 24 zeigen zudem, dass die berechneten Verdunstungswerte die gleichen, jedoch ausgeprägteren Schwankungen über den Zeitraum 1951-1990 zeigen, wie die gemessenen Werte. Die statistischen Grössen finden wir in der nachfolgenden Tabelle 12.

Tabelle 12

Statistik: Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten Verdunstung nach Formel Primaut (mit monatl. C-Faktoren),
Zürich SMA, 1951 - 1990

Periode	Gemessene Verdunstung (GV)				Berechnete Verdunstung (BV)			Differenz	abs. Diff.	Korrelation	t-Test	r Quadrat	F-Test	y = a + bx		
	Wild'sche Waage				Formel Primaut			GV-BV	GV-BV	zw. GV u. BV	auf r		F 0,95	BV = a + bGV		
	CHI-Q.-Test	Mittelwert	s		CHI-Q.-Test	Mittelwert	s	s	Mittelwert	r	P		F = 1,715	a	b	
	X2	mm	mm		X2	mm	mm	mm	mm			%		mm		
Januar	1,4	N.s.w.	15,3	5,6	2,2	N.s.w.	15,3	4,3	4,5	3,5	0,61	0,001	38	1,664	8,03	0,47
Februar	8,1	N.n.w.	21,8	7,5	4,0	N.s.w.	21,8	7,1	6,9	5,0	0,56	0,001	31	1,113	10,23	0,53
März	3,6	N.s.w.	42,6	11,8	3,1	N.s.w.	42,6	14,7	8,2	6,4	0,83	0,001	69	1,571	-1,67	1,04
April	3,8	N.s.w.	58,9	14,6	0,8	N.s.w.	58,9	16,9	8,0	6,0	0,88	0,001	78	1,349	-1,36	1,02
Mai	4,5	N.s.w.	73,1	15,5	2,6	N.s.w.	73,1	18,9	10,5	7,5	0,83	0,001	69	1,499	-1,29	1,02
Juni	1,9	N.s.w.	74,0	14,5	6,0	N.s.w.	74,0	20,9	11,9	9,3	0,83	0,001	70	2,078	-14,99	1,20
Juli	2,7	N.s.w.	84,3	19,2	3,8	N.s.w.	84,3	23,5	13,0	10,4	0,83	0,001	69	1,491	-1,24	1,01
August	5,1	N.s.w.	67,7	13,2	11,5	N.n.w.	67,6	16,7	9,5	7,1	0,82	0,001	68	1,589	-2,71	1,04
September	1,4	N.s.w.	48,4	10,7	3,6	N.s.w.	48,4	12,7	8,1	6,5	0,77	0,001	60	1,392	4,27	0,91
Oktober	7,8	N.n.w.	28,9	7,7	1,2	N.s.w.	28,9	8,8	5,7	4,5	0,77	0,001	59	1,316	3,52	0,88
November	3,2	N.s.w.	20,8	6,9	10,7	N.n.w.	20,8	7,3	5,1	3,6	0,75	0,001	56	1,246	4,51	0,78
Dezember	4,1	N.s.w.	16,4	6,5	8,0	N.n.w.	16,4	4,9	6,2	4,9	0,45	0,010	20	1,746	10,83	0,34
Jahr	0,5	N.s.w.	552,1	78,5	6,2	N.s.w.	552,1	73,1	58,2	44,8	0,71	0,001	50	1,152	188,41	0,66

Legende: 1. CHI-Quadrat-Test

X2 := "CHI-Quadrat"

a := "Alpha"

X2a := "CHI-Quadrat-Alpha"

a = 0.05

X2a = 7.81

a = 0.10

X2a = 6.25

N.s.w. = Normalverteilung sehr wahrscheinlich

N.w. = Normalverteilung wahrscheinlich

N.n.w. = Normalverteilung nicht wahrscheinlich

Wird die Nullhypothese abgelehnt, so liegt die Irrtumswahrscheinlichkeit über 10%

Wird die Nullhypothese abgelehnt, so liegt die Irrtumswahrscheinlichkeit zwischen 5 und 10%

Wird die Nullhypothese abgelehnt, so liegt die Irrtumswahrscheinlichkeit unter 5%

2. t-Test

Test für den Korrelationskoeffizienten r

P: Irrtumswahrscheinlichkeit (zweiseitig)

Freiheitsgrade 38

3. r Quadrat

zeigt an mit wieviel Prozent die Variabilität der einen Verdunstungsgrösse mit der anderen erklärt werden kann

4. F-Test

Prüfung ob die Standardabweichungen der beiden Verdunstungsgrössen voneinander verschieden sind

Prüfung auf $s(BV) > s(GV)$

Sicherheitsschwelle $\alpha = 5\%$

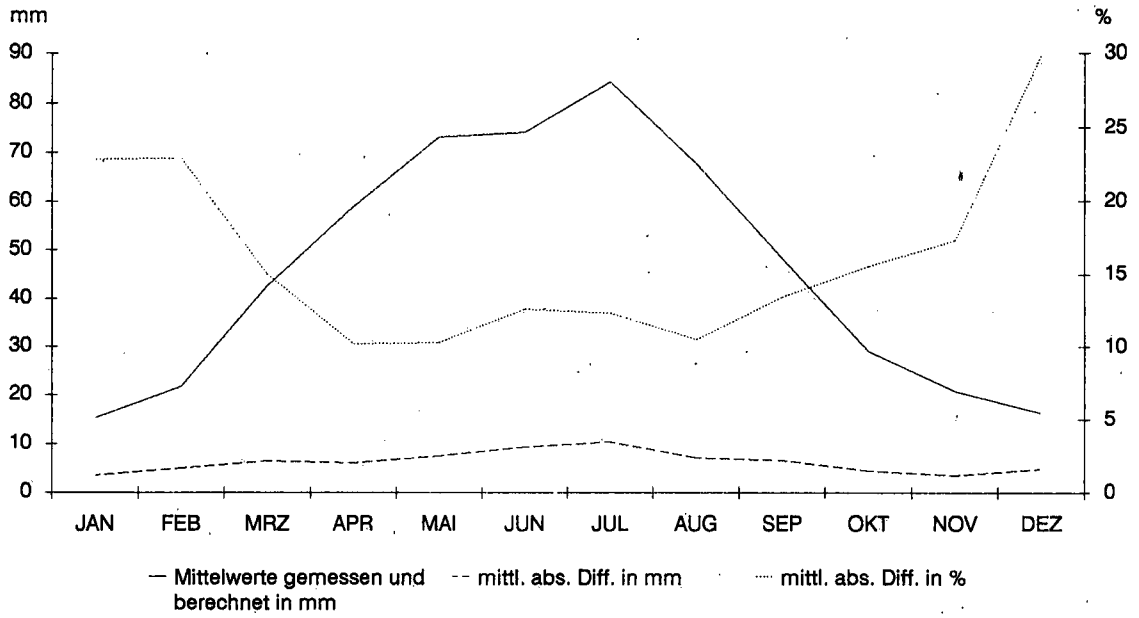
5. Regressionsgerade

$y = a + bx$ y = berechnete Verdunstung (BV) in mm

x = gemessene Verdunstung (GV) in mm

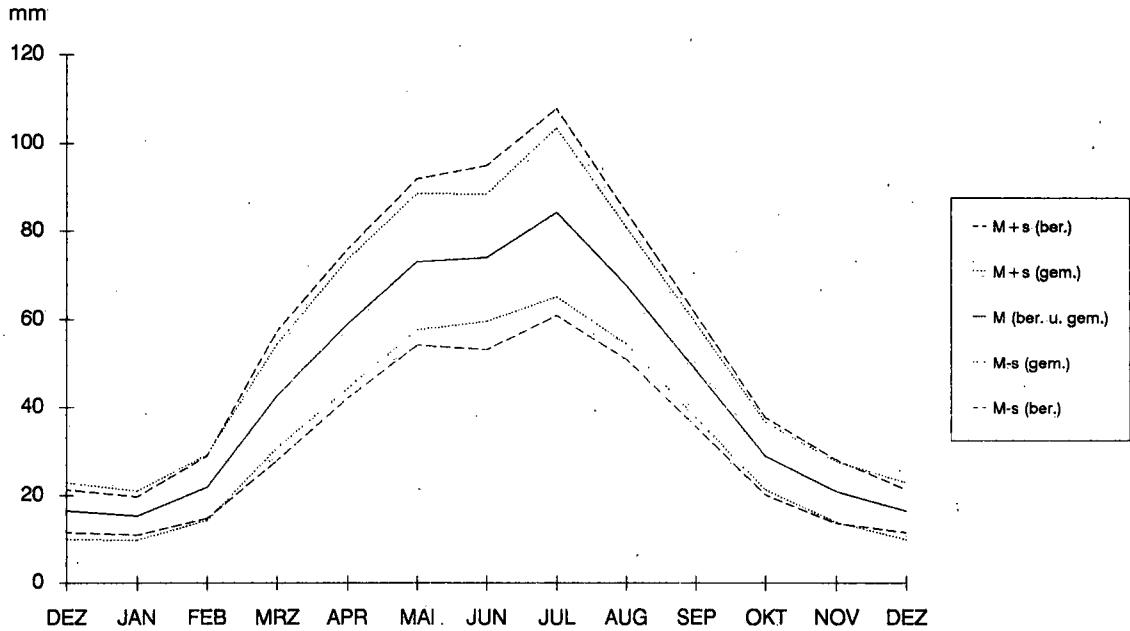
Figur 10

Mittelwerte und mittlere absolute Differenzen der gemessenen und berechneten Verdunstung in mm und in % der Mittelwerte, Zürich SMA, 1951 - 1990



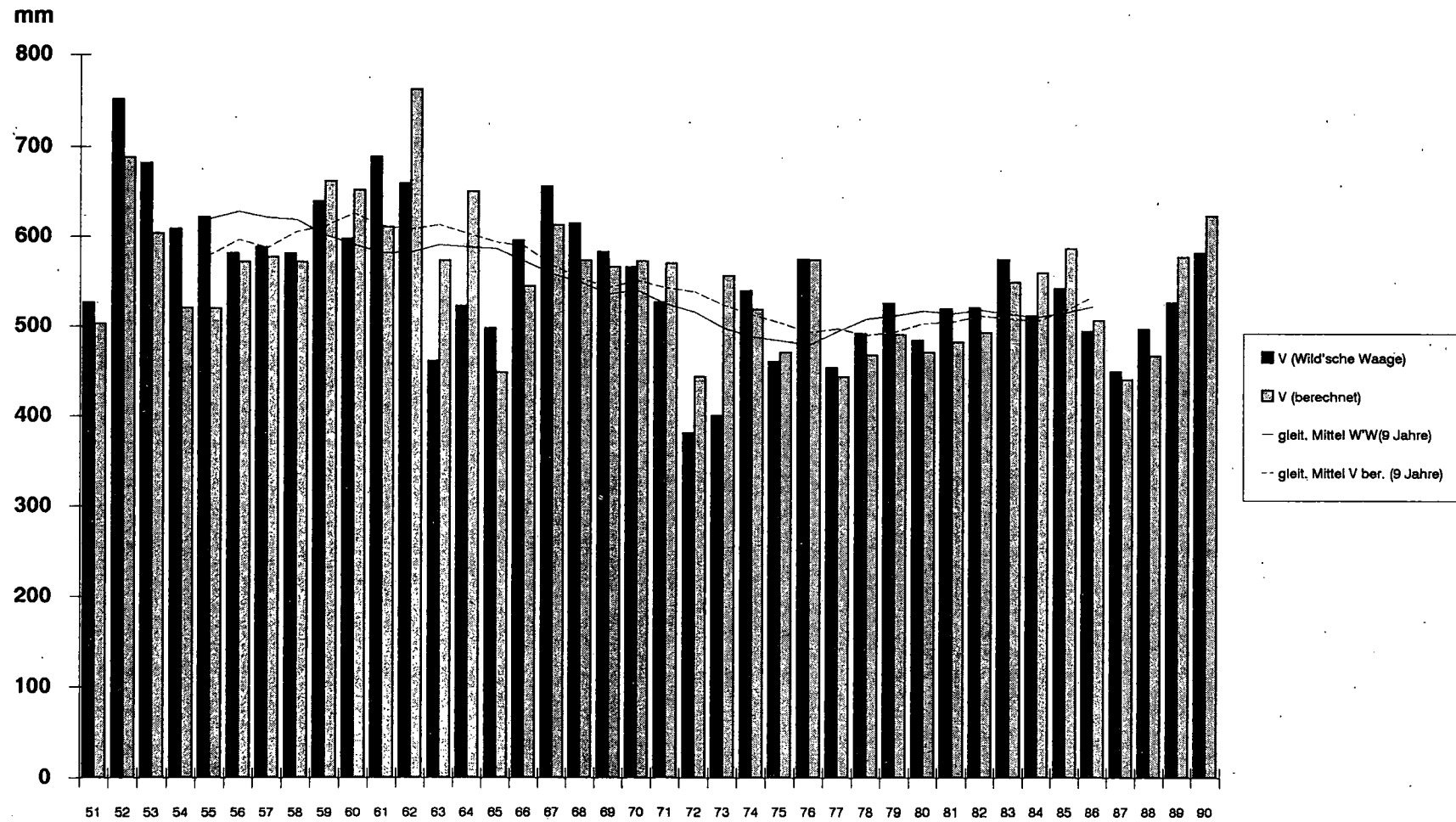
Figur 11.

Jahresgang der gemessenen (gem.) und berechneten (ber.) Verdunstung Zürich SMA, 1951-1990, Mittelwerte (M) +- Standardabweichungen (s)



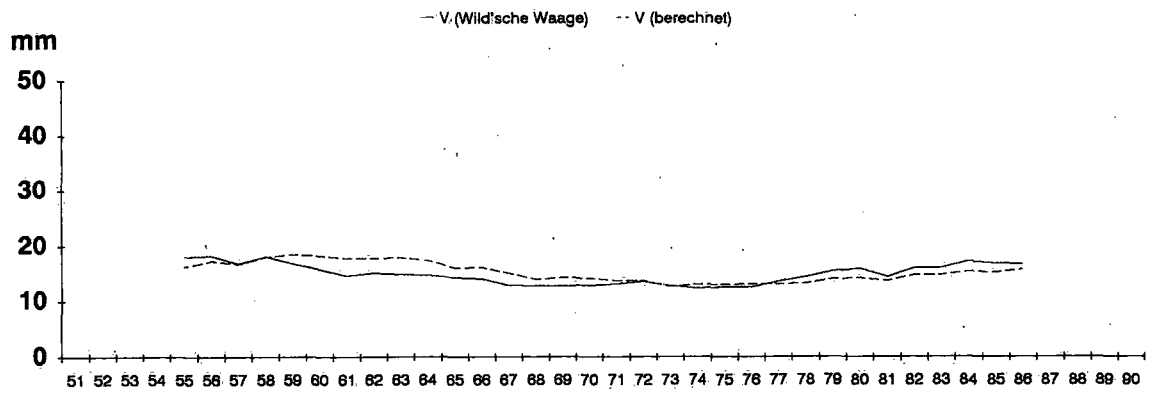
Figur 12

Zeitreihen der gemessenen (Wild'sche Waage, W'W) und berechneten (ber.) Jahresverdunstung, Zürich SMA, 1951-1990



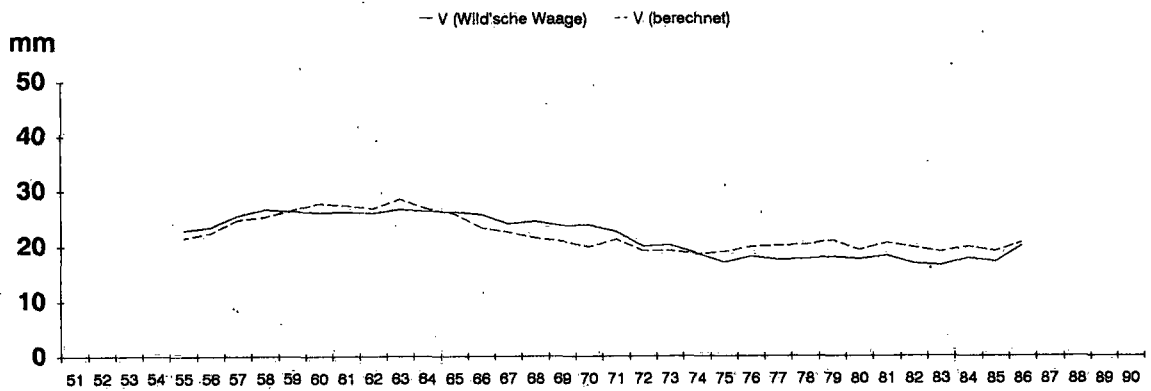
Figur 13

Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
Januar



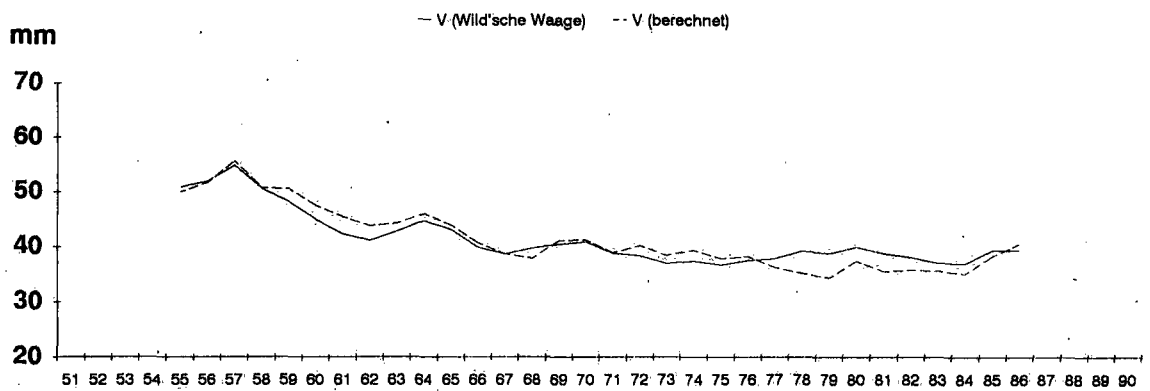
Figur 14

Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
Februar



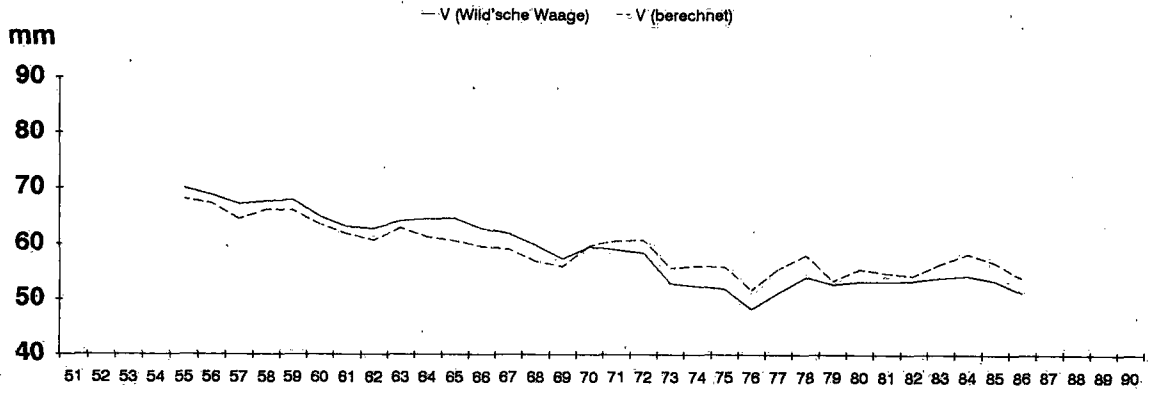
Figur 15

Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
März



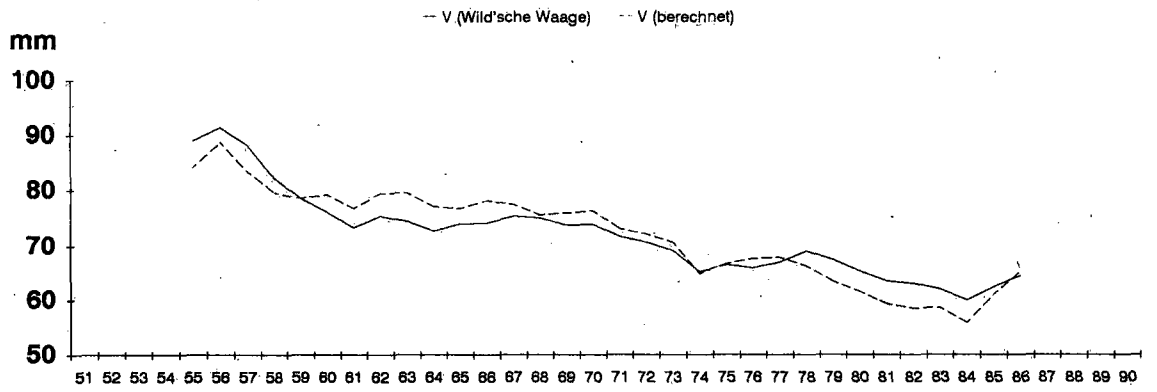
Figur 16

Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
April



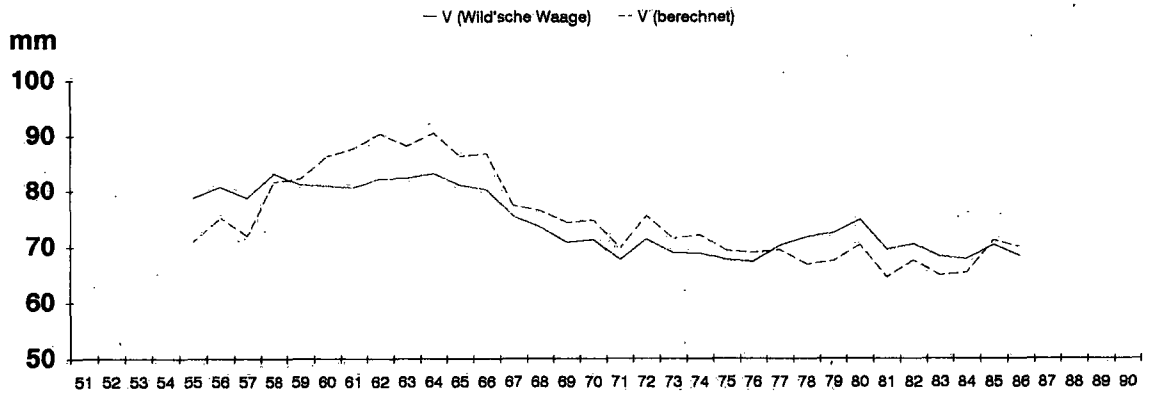
Figur 17

Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
Mai



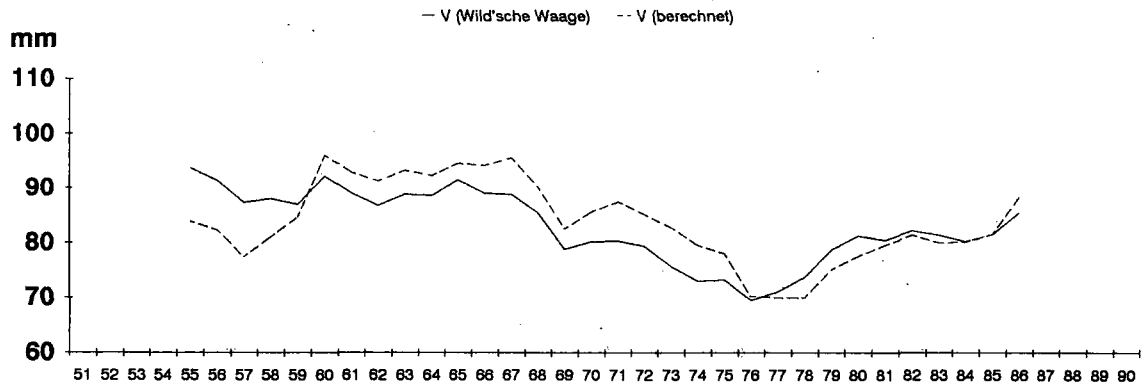
Figur 18

Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
Juni



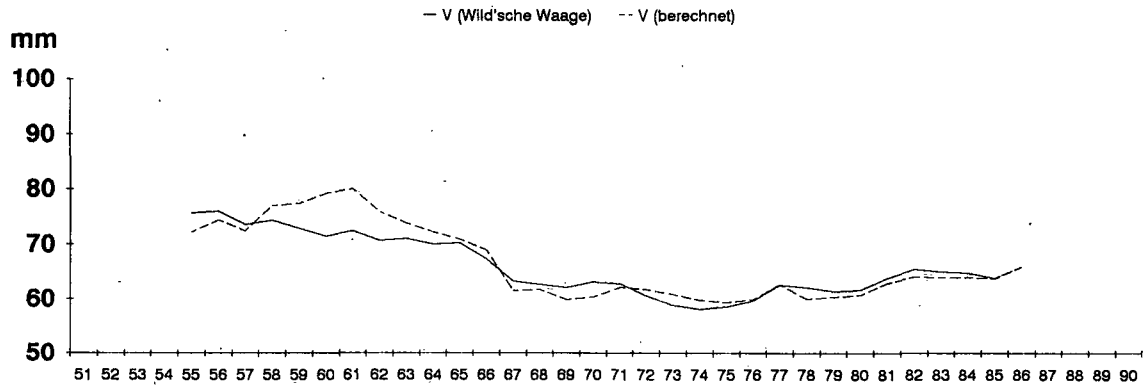
Figur 19

Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
Juli



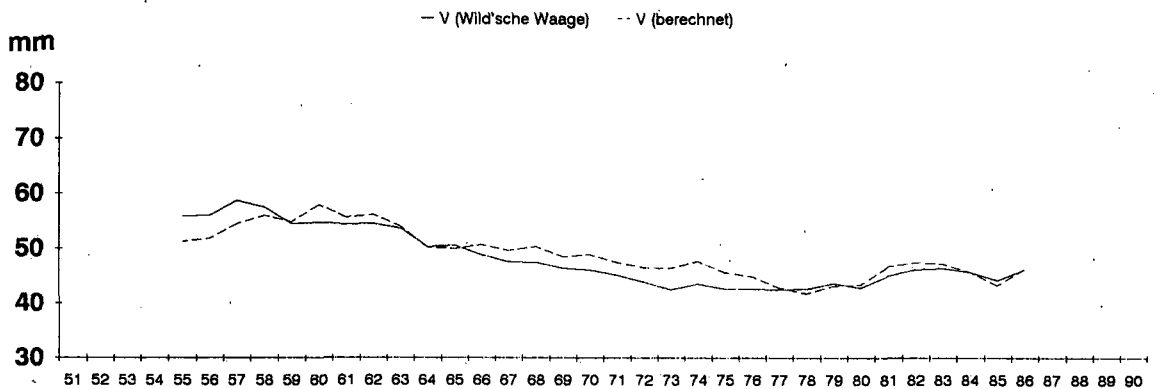
Figur 20

Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
August



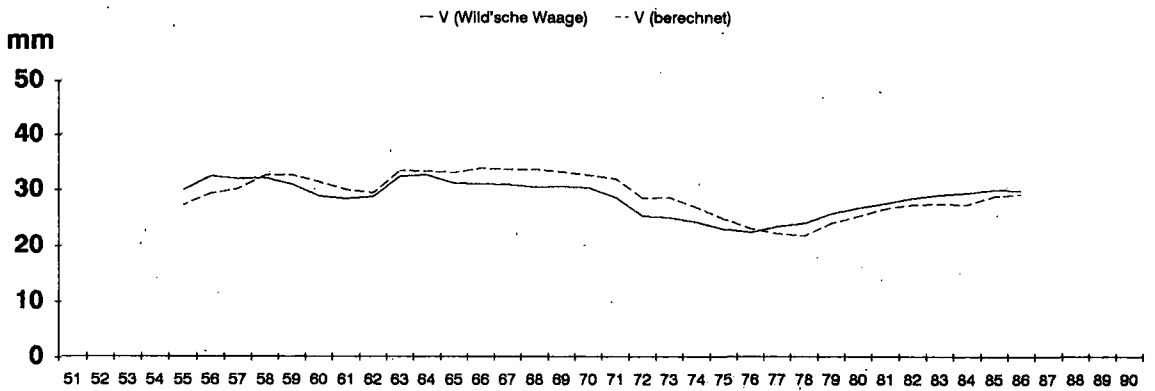
Figur 21

Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
September



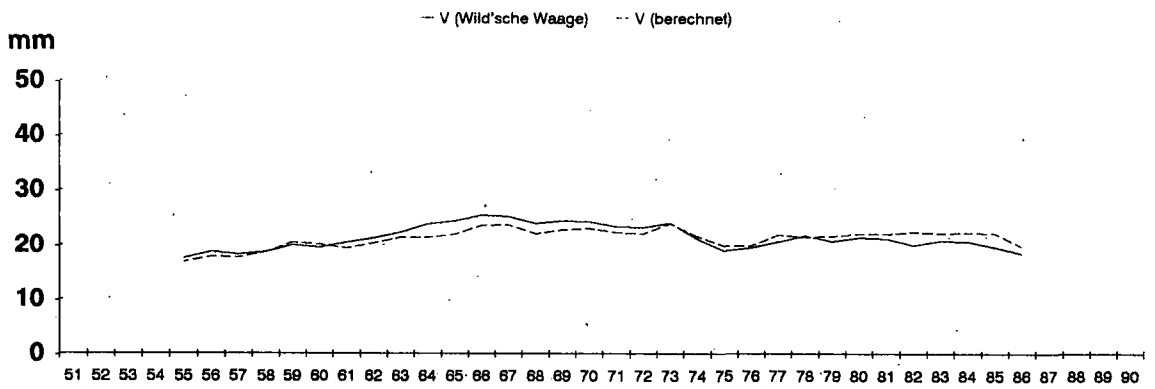
Figur 22

Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
Oktober



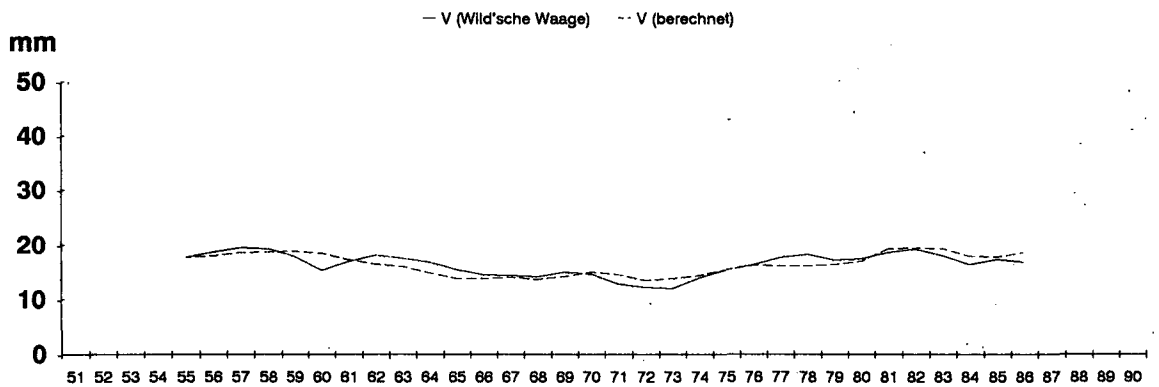
Figur 23

Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
November



Figur 24

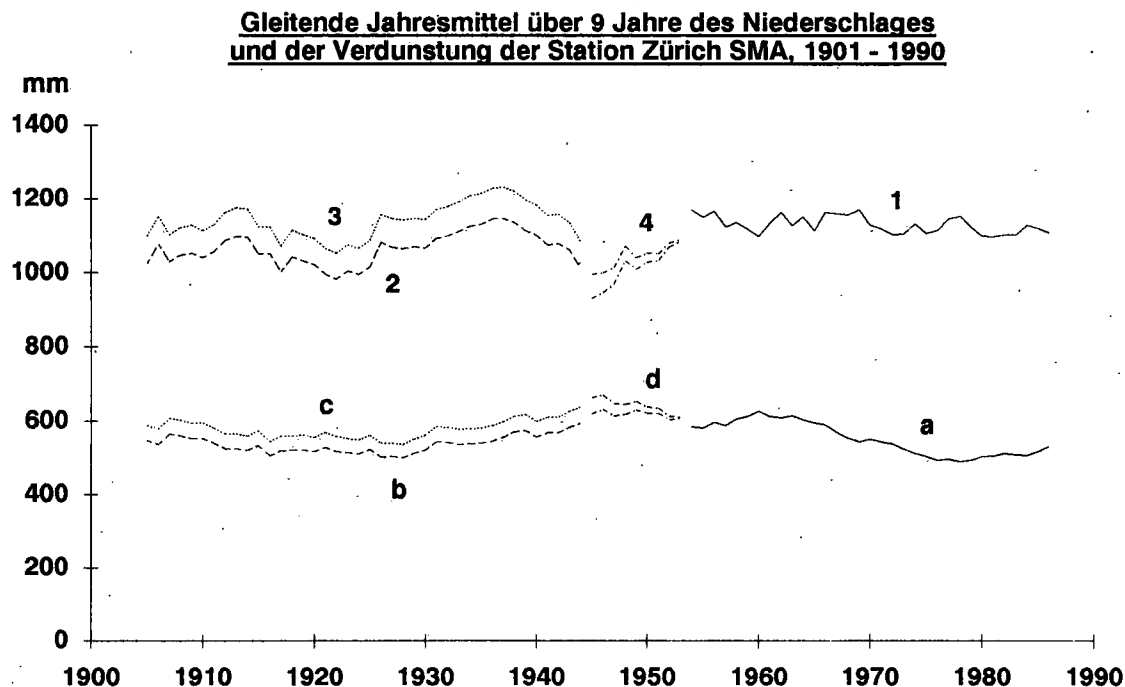
Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990
Dezember



5. Zur Wasserbilanzberechnung, 1901-1990

Wie schon im Kapitel 2.6 erwähnt, wird die Wasserbilanz aus dem Niederschlag minus der Verdunstung berechnet. Figur 25 soll aufzeigen, welche an der Wasserbilanz beteiligte Grössen verwendet wurden und weshalb.

Figur 25



- Legende:**
- 1** gemessener Jahresniederschlag an der Krähbühlstr. 58, 569 mü.M., 1950 bis und mit 1990
 - 2** gemessener Jahresniederschlag an der Gloriastr. 35, 493 mü.M., 1901 bis und mit 1948
 - 3** reduzierter Jahresniederschlag beim Standort Krähbühlstr. 58, 1901 bis und mit 1948, aus *Klimatologie der Schweiz, Niederschlag, 1.-3. Teil*, von H. Uttinger
 - 4** aus 2 resp. 3 1945 bis August 1949 und 1 ab September 1949 bis 1953
-
- a** berechnete Verdunstung mit rel. Feuchtigkeit und Sonnenscheindauer an der Krähbühlstr. 58, C-Faktor von Standort Krähbühlstrasse, 1950 bis und mit 1990
 - b** berechnete Verdunstung mit rel. Feuchtigkeit und Sonnenscheindauer an der Gloriastr. 35, C-Faktor reduziert von Krähbühlstr. auf Gloriastr., 1901 bis und mit 1948
Reduktionsfaktor für den C-Faktor aus *Arbeitsbericht 103 (Primault, 1981)*
 - c** berechnete Verdunstung mit rel. Feuchtigkeit und Sonnenscheindauer an der Gloriastr. 35, C-Faktor von Standort Krähbühlstr. 58, 1901 bis und mit 1948
 - d** aus b resp. c 1945 bis August 1949 und a ab September 1949 bis 1953

Um Aussagen über das Verhalten der Wasserbilanz über den ganzen Zeitraum von 1901 bis 1990 machen zu können, ist es unerlässlich, die Einzelgrößen Niederschlag und Verdunstung auf einen Standort zu reduzieren. Der Standort Krähbühlstrasse wurde als Referenz ausgewählt, da hier mehr Informationen über das Verhalten der Verdunstungsgrößen (Kapitel 3 und 4) bekannt sind als an der Gloriestrasse, wo keine Verdunstungswaage aufgestellt war. Für die Berechnung der Verdunstung von 1901 bis August 1949 müssen jedoch die Ausgangsgrößen relative Feuchtigkeit und Sonnenscheindauer des Standortes Gloriestrasse verwendet werden. Für den heutigen Standort sind keine reduzierten Werte bekannt. In dieser Periode müssen sowohl bei den über längere Zeiträume gemittelten, wie auch bei den Einzelwerten, kleinere Unsicherheiten in Kauf genommen werden. Bei der Interpretation der Einzelwerte ist aber zu berücksichtigen, dass die möglichen Abweichungen (Uttinger und Schüepp "Annalen 1950, Anhang Nr. 6"), durch die oben geschilderte Situation, kleiner sind als die Differenzen zwischen den Werten der Verdunstungswaage und der Verdunstungsberechnung (Kapitel 4.3 und 4.4).

Aufgrund der Tatsache, dass das Niveau und der Verlauf der von Uttinger reduzierten Niederschläge (Figur 25) dem Niederschlagsniveau des Standortes Krähbühlstrasse besser entspricht als die Originalwerte von der Gloriestrasse, werden die Niederschlagsdaten von 1901 bis August 1949, mit den monatlichen Reduktionsfaktoren aus der Publikation (Klimatologie der Schweiz, Niederschlag, 1.-3. Teil, von H. Uttinger, 1965), reduziert. Zur Wasserbilanzberechnung bleibt zu erwähnen, dass nach den heutigen Erkenntnissen (Figur 25), an der Gloriestrasse mit durchschnittlich 30 mm tieferen Jahreswerten gerechnet werden muss als an der Krähbühlstrasse.

Es werden tabellarisch und graphisch für alle drei Größen Monats-, Jahreszeiten- und verschiedene Jahressummen, deren Mittel, Verteilungen und Zeitreihen, dargestellt. Zu den üblichen vier Jahreszeiten (Winter = Dezember bis Februar, Frühling = März bis Mai, Sommer = Juni bis August, Herbst = September bis November) kommen noch das Vegetationsjahr (März bis Oktober) sowie das Hydrologische Jahr und dessen Halbjahre (Wintersemester = Oktober bis März, Sommersemester = April bis September) dazu.

Bei den drei Größen Niederschlag, Verdunstung und Wasserbilanz soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass davon keine Aussagen betreffend eventuelle Klimaänderungen abgeleitet werden sollten, da diese Daten einerseits nur provisorischen Charakter aufweisen und andererseits nicht homogenisiert sind. Es können jedoch die langjährigen Mittel und die Verteilungen, sowie die Perioden mit monatlichen, saisonalen und jährlichen Extremsituationen, rasch erkannt werden.

5.1 Der Niederschlag, 1901- 1990

Für die ganze Zeitperiode wurden die monatlichen Niederschlagswerte (in 1/10 mm), der Klimadatenbank der SMA, die sich am Rechenzentrum der ETH in Zürich befindet, benützt. Die Monats-, Jahres- und Mittelwerte und deren Verteilungen, sind in 1/10 mm gerechnet, aber nur in ganzen Millimeter publiziert, da eine genauere Angabe unrealistisch ist. Für die Periode 1901 bis August 1949 wurden die Monatswerte mit den Reduktionsfaktoren nach Uttinger (Klimatologie der Schweiz, Niederschlag, 1.-3. Teil, 1965) berechnet. Wir stellten dabei fest, dass die Monatswerte nach Uttinger bis zu 1 mm von unseren Daten abweichen, da er zuerst auf ganze mm gerundet und erst nachher reduziert hat. Bei den Jahressummen könnten daher die Differenzen im ungünstigsten Fall 12 mm betragen.

5.1.1 Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen sowie deren Mittelwerte

Alle Werte sind auf 1/10 mm genau gemessen und berechnet und erst zum Schluss auf ganze Millimeter gerundet.

Tabelle 13

Niederschlag in mm, 1901-1990

Zürich SMA (Krähbühstrasse, 569 m ü.M.)

Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen und deren Mittelwerte

1901 bis August 1949, reduzierte Werte von Gloriastr. 35

Reduktionsfaktoren nach Uttinger (Klimatologie der Schweiz, Niederschlag, 1. - 3. Teil, 1965)

Jahr- zahl	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Winter	Frühl.	Som.	Herbst	Veget. jahr	Hydrolog. Jahr		
																			Wi.-S.	So.-S.	Jahr
1901	40	30	74	209	26	180	102	108	118	73	45	74	1080	166	309	390	236	891	372	744	1116
2	56	73	80	36	167	140	154	194	105	116	20	83	1224	204	282	488	240	991	402	795	1197
3	58	28	57	56	52	106	173	184	76	130	113	29	1062	170	165	463	319	834	362	647	1010
4	47	117	57	100	137	127	40	89	108	64	66	57	1008	192	294	256	238	721	492	601	1093
5	52	27	134	133	117	115	106	262	160	114	87	46	1351	136	384	482	360	1140	400	892	1292
6	70	72	91	26	168	107	194	64	25	31	50	91	991	188	285	365	107	707	479	585	1064
7	96	29	88	112	69	134	151	93	43	53	26	120	1014	216	269	378	122	743	385	602	987
8	33	93	47	88	135	93	191	87	158	13	60	56	1053	246	270	371	230	812	372	752	1124
9	36	24	72	78	53	230	166	140	71	78	33	116	1098	117	203	536	182	888	261	739	1000
10	180	74	35	101	183	224	169	188	110	30	179	88	1561	370	318	582	319	1040	515	976	1491
01 - 10	67	57	73	94	111	146	145	141	97	70	68	76	1144	200	278	431	235	877	404	733	1137
1911	28	60	57	48	74	127	43	62	108	58	47	73	785	176	179	233	212	577	441	463	904
12	81	45	84	46	143	196	100	213	55	176	53	45	1238	200	274	509	283	1014	389	753	1142
13	72	20	91	69	70	164	119	146	113	21	108	64	1055	137	230	428	242	792	456	680	1136
14	76	34	170	68	209	156	116	152	93	33	49	59	1213	173	446	424	175	996	472	793	1265
15	83	70	78	110	104	100	166	120	87	22	94	120	1154	211	291	386	203	787	372	687	1058
16	62	99	74	86	74	220	149	126	91	145	71	114	1311	281	234	495	307	965	471	745	1217
17	24	13	88	76	79	113	223	206	64	184	68	19	1157	151	243	543	316	1033	455	762	1217
18	63	34	51	68	46	187	85	87	190	52	30	186	1080	116	166	359	272	767	419	664	1082
19	23	76	151	115	41	105	148	44	42	71	110	184	1111	285	307	297	223	717	518	496	1013
20	81	16	40	74	104	74	134	100	94	2	7	61	787	281	218	309	103	622	502	581	1083
11 - 20	60	46	88	76	94	144	128	126	94	76	64	92	1089	201	259	398	234	827	450	662	1112
1921	54	10	27	74	83	108	55	106	97	45	64	45	768	126	184	268	207	595	162	522	684
22	110	109	77	190	76	156	162	152	102	148	87	83	1450	263	342	469	337	1061	449	837	1286
23	43	82	42	93	102	95	78	69	79	142	123	152	1100	208	237	243	344	701	484	517	1001
24	35	26	52	141	133	184	141	187	44	82	11	24	1062	213	326	512	138	965	530	831	1360
25	56	45	34	107	65	73	173	135	135	32	67	145	1067	125	206	381	235	754	253	688	941
26	72	39	65	49	195	185	138	56	47	122	46	29	1042	256	308	378	215	855	420	669	1089
27	83	74	121	118	87	145	145	220	167	31	51	34	1276	186	325	510	249	1034	474	882	1357
28	54	74	52	85	131	89	28	156	92	65	127	82	1035	161	269	273	284	699	296	581	877
29	35	19	26	128	62	142	134	95	69	120	41	114	987	136	216	372	231	777	354	631	985
30	34	18	77	182	198	89	273	141	75	153	123	48	1411	166	457	503	351	1188	405	958	1363
21 - 30	58	50	57	117	113	127	133	132	91	94	74	76	1120	184	287	391	259	863	383	712	1094
01 - 30	61	51	73	96	106	139	135	133	94	80	69	81	1118	195	275	407	243	856	412	702	1115
1931	100	91	134	92	130	151	204	181	99	70	18	55	1326	239	356	537	188	1062	649	858	1507
32	52	8	110	75	135	104	260	104	51	104	49	14	1067	115	321	468	205	944	313	730	1043
33	42	60	47	77	216	209	103	66	90	118	73	8	1111	116	341	379	281	928	316	763	1079
34	79	9	55	25	47	179	107	196	132	109	25	78	1040	96	126	482	266	850	342	686	1027
35	46	170	34	148	114	97	83	103	109	204	53	123	1285	294	296	283	366	893	462	655	1117
36	77	52	35	178	111	178	253	88	198	82	57	42	1349	251	323	519	337	1122	543	1005	1548
37	77	140	110	115	80	110	82	103	177	50	59	45	1147	259	305	294	285	825	508	665	1174
38	128	31	39	29	112	146	211	186	109	43	37	57	1128	203	180	543	189	875	351	793	1144
39	56	16	125	48	278	120	143	134	132	232	106	69	1459	129	451	397	470	1212	335	856	1190
40	56	80	84	91	166	135	179	146	253	61	129	95	1477	205	342	460	443	1117	627	971	1598
31 - 40	71	66	77	88	139	143	162	131	135	107	61	59	1239	191	304	436	303	983	445	798	1243

Jahr- zahl	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Winter	Frühl.	Som.	Herbst	Veget. jahr	Hydrolog. Jahr		
																				Wi.-S.	So.-S.
1941	78	55	56	77	169	99	97	237	15	98	60	44	1086	229	302	434	172	848	475	694	1169
42	117	27	81	66	107	122	129	161	58	62	47	24	999	187	253	412	168	785	426	642	1068
43	78	50	61	46	61	119	134	30	141	1	83	16	822	153	168	284	225	594	324	532	856
44	74	94	58	53	41	161	101	106	111	56	225	84	1166	185	153	369	391	688	327	574	901
45	60	67	67	52	122	72	72	204	150	50	55	121	1092	211	241	348	254	789	558	673	1231
46	44	108	28	18	138	222	194	172	130	40	48	38	1180	273	184	588	217	942	406	874	1280
47	93	59	140	34	52	63	105	43	52	13	171	114	940	191	227	211	236	502	418	349	767
48	133	58	25	69	56	171	185	103	52	26	57	23	958	305	150	459	135	688	514	636	1150
49	32	16	50	114	79	41	46	59	55	26	75	112	704	71	243	145	156	470	204	393	597
50	35	73	27	134	79	107	80	128	129	48	235	41	1116	220	240	316	412	732	348	657	1005
41 - 50	74	61	59	66	90	118	114	124	89	42	106	62	1006	203	216	357	237	704	400	602	1002
1951	71	91	109	76	82	149	147	130	94	48	85	63	1144	203	267	426	227	835	595	678	1273
52	57	106	105	113	81	118	50	113	116	214	148	117	1339	227	299	281	478	910	464	592	1056
53	26	35	8	94	93	257	168	49	71	34	28	29	890	178	194	474	133	773	548	731	1279
54	72	63	20	86	98	88	174	187	186	56	43	111	1185	164	203	450	286	895	246	819	1065
55	145	98	44	40	143	142	210	79	83	38	11	127	1159	354	227	431	131	778	497	697	1194
56	102	16	67	104	133	76	219	230	71	125	39	19	1201	245	305	525	235	1025	360	833	1194
57	37	156	57	72	58	118	178	107	148	41	35	40	1046	211	187	404	223	779	433	681	1114
58	69	198	48	112	104	207	136	191	91	118	66	92	1431	307	264	534	275	1007	430	841	1271
59	136	5	76	71	53	178	98	54	12	106	48	97	935	233	201	330	167	649	492	467	959
60	62	76	63	76	82	150	146	238	109	136	103	53	1295	235	221	534	348	1001	453	801	1254
51 - 60	78	84	60	84	93	148	153	138	98	92	61	75	1163	236	237	439	250	865	452	714	1166
31 - 60	74	70	65	79	107	136	143	131	108	80	76	65	1136	210	252	410	263	851	432	705	1137
1961	80	65	32	98	139	61	140	111	34	41	27	130	959	198	269	313	103	657	469	584	1053
62	132	77	71	56	142	56	53	145	97	15	24	131	999	339	269	254	135	635	479	550	1028
63	33	51	133	98	87	118	97	133	98	71	111	2	1032	215	318	348	280	835	386	631	1017
64	15	42	137	92	176	96	43	131	67	76	59	40	974	59	405	271	202	819	378	606	984
65	70	33	99	187	209	152	173	151	132	13	157	169	1543	143	494	476	301	1114	377	1003	1380
66	63	122	71	118	74	85	184	214	81	47	108	146	1312	353	263	482	236	873	594	755	1349
67	100	49	98	28	114	142	130	86	179	37	66	63	1091	294	240	358	282	814	547	679	1226
68	141	75	49	76	105	74	82	204	228	36	37	52	1157	279	229	360	300	852	430	768	1198
69	51	47	54	85	74	187	58	189	23	10	95	80	952	149	213	434	128	679	276	616	892
70	61	289	61	200	95	149	105	225	56	57	81	40	1421	430	356	480	195	950	596	831	1427
61 - 70	74	85	80	104	121	112	107	159	100	40	76	85	1144	246	306	377	216	823	453	702	1155
1971	34	57	45	66	84	202	94	123	80	44	90	38	955	130	195	419	214	737	313	648	962
72	23	16	15	122	95	153	167	126	33	19	211	26	1004	77	232	446	262	729	226	695	921
73	40	52	33	88	94	187	152	74	81	130	117	61	1110	118	216	414	328	841	381	677	1058
74	44	84	43	41	128	138	136	100	81	127	128	102	1152	188	213	374	336	795	478	625	1103
75	76	22	74	96	85	150	113	295	118	61	116	10	1217	200	254	558	296	992	529	857	1385
76	54	42	13	57	81	34	228	118	104	62	59	111	962	106	150	381	224	697	297	622	919
77	81	139	72	166	76	122	122	104	57	74	90	68	1170	331	313	349	221	793	524	647	1171
78	66	128	146	48	136	136	100	179	52	103	17	95	1205	261	329	416	171	899	570	651	1221
79	74	88	138	101	48	125	71	108	96	88	148	100	1184	258	287	304	331	774	515	549	1063
80	106	71	76	76	85	160	128	72	33	127	49	45	1027	276	236	360	210	757	588	554	1141
71 - 80	60	70	65	86	91	141	131	130	74	83	102	66	1099	195	242	402	259	801	442	652	1094
1981	95	24	106	22	107	49	166	115	202	188	53	169	1295	164	235	330	444	954	447	660	1107
82	139	19	47	51	40	184	174	202	51	107	65	92	1172	326	138	561	224	857	614	703	1317
83	83	56	68	86	144	66	37	56	117	36	93	36	876	231	297	159	245	608	471	505	976
84	96	62	25	71	88	85	63	78	229	70	68	60	994	195	183	225	366	708	349	613	961
85	78	65	42	107	128	128	62	94	45	7	135	69	960	203	276	284	187	613	382	564	946
86	143	54	74	180	151	99	119	160	29	74	38	83	1204	267	404	378	142	886	482	738	1220
87	49	84	64	75	148	232	133	116	168	35	61	51	1215	216	287	481	264	971	392	873	1265
88	54	58	190	76	125	168	166	220	70	113	56	118	1415	162	391	555	240	1129	448	826	1273
89	7	70	48	118	49	78	198	117	73	102	31	59	950	195	215	393	206	783	412	633	1045
90	34	153	47	68	92	206	83	50	128	118	141	70	1188	246	206	338	387	791	426	626	1052
81 - 90	78	64	71	85	107	130	120	121	111	85	74	81	1127	220	263	370	270	830	442	674	1116
61 - 90	71	73	72	92	107	127	119	137	95	70	84	77	1123	220	270	383	249	818	446	676	1122
01 - 90	69	65	70	89	107	134	133	133	99	77	76	75	1126	208	266	400	252	841	430	694	1124

5.1.2 Verteilungen

Tabelle 14 sowie die Figuren 26, 27 und 28 zeigen in tabellarischer wie graphischer Form die Verteilung der Niederschläge von 1901 bis 1990. Die Klassengrenzen wurden wie im Kapitel 3.2 beschrieben ermittelt. Die Figuren 27 und 28 wurden aus der Figur 26 entwickelt, indem der Zentralwert bewusst weggelassen wurde und zwischen den Klassengrenzen die Anzahl der Fälle in Prozent angegeben wurden. Die Figuren 27 und 28 werden im Anhang (Figuren 134 und 135) nochmals im A4 Format dargestellt, um sie als Arbeitskopie verwenden zu können. Die Ergebnisse werden in den Kapiteln 6, 7 und 8 diskutiert und interpretiert.

Tabelle 14

Niederschlag in mm, 1901 - 1990
Zürich SMA (Krähbühstrasse, 569 m ü.M.)
Verteilung der Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen

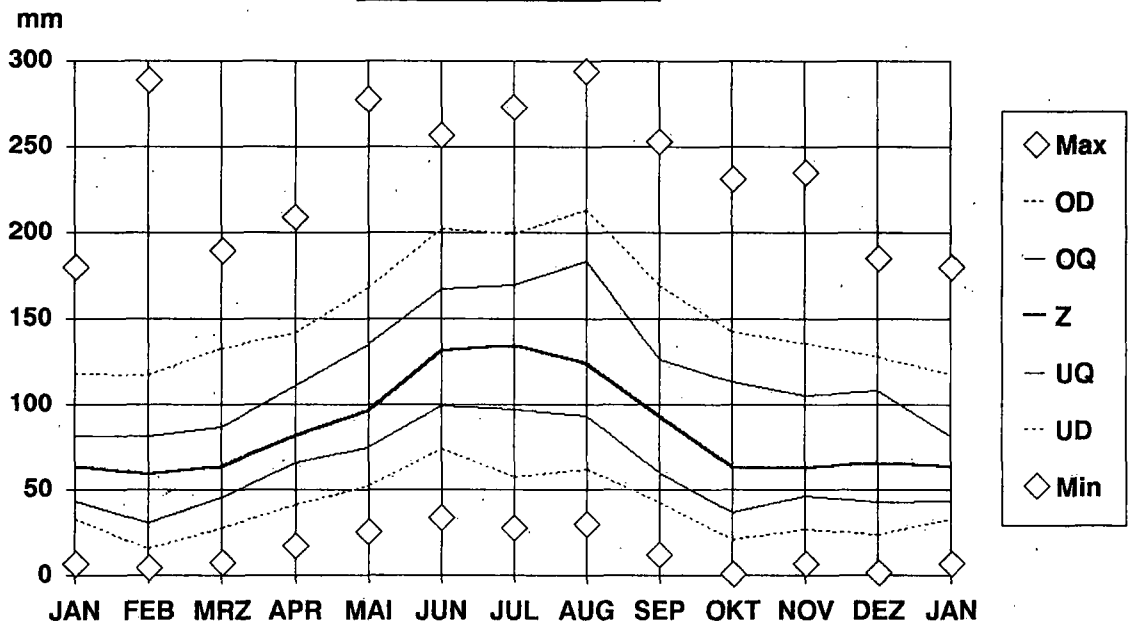
1901 bis August 1949, reduzierte Werte von Gloriastr. 35
 Reduktionsfaktoren nach Uttinger (Klimatologie der Schweiz, Niederschlag, 1. - 3. Teil, 1965)

	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Winter	Frühl.	Som.	Herbst	Veget. Jahr	Hydrolog. Jahr		
																			Wi.-S.	So.-S.	Jahr
M	69	65	70	89	107	134	133	133	99	77	76	75	1126	208	266	400	252	841	430	694	1124
s	34	46	37	42	47	49	54	57	51	51	47	42	176	71	75	101	84	157	99	133	178
Jahr	1910	1970	1988	1901	1939	1953	1930	1975	1940	1939	1950	1918	1910	1970	1965	1946	1952	1939	1931	1936	1940
Max	180	289	190	209	278	257	273	295	253	232	235	186	1561	430	494	588	478	1212	649	1005	1598
OD	118	117	133	142	168	202	199	213	169	142	136	127	1357	295	356	535	361	1042	549	859	1357
OQ	81	81	87	111	135	167	169	183	126	114	105	108	1215	255	308	481	301	953	492	786	1230
Z	63	59	63	82	97	131	134	124	94	63	62	66	1110	203	263	395	236	830	431	679	1110
UQ	44	30	46	66	75	99	97	93	60	37	46	43	1005	163	213	332	202	733	372	614	1011
UD	33	16	28	41	52	74	57	62	43	21	27	24	949	118	180	270	137	648	312	547	920
Min	7	5	8	18	26	34	28	30	12	1	7	2	704	59	126	145	103	470	162	349	597
Jahr	1989	1959	1953	1946	1901	1976	1928	1943	1959	1943	1920	1963	1949	1964	1934	1949	20 61	1949	1921	1947	1949

M = Mittelwert s = Standardabweichung

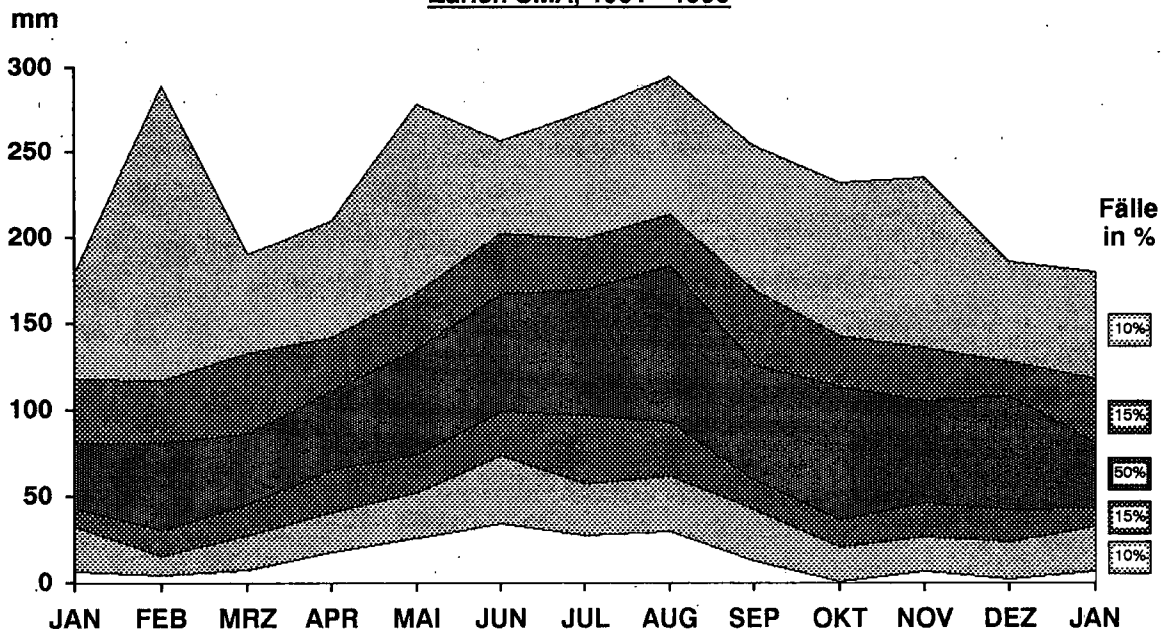
Figur 26

Statistische Verteilung der monatlichen Niederschläge,
Zürich SMA, 1901 - 1990



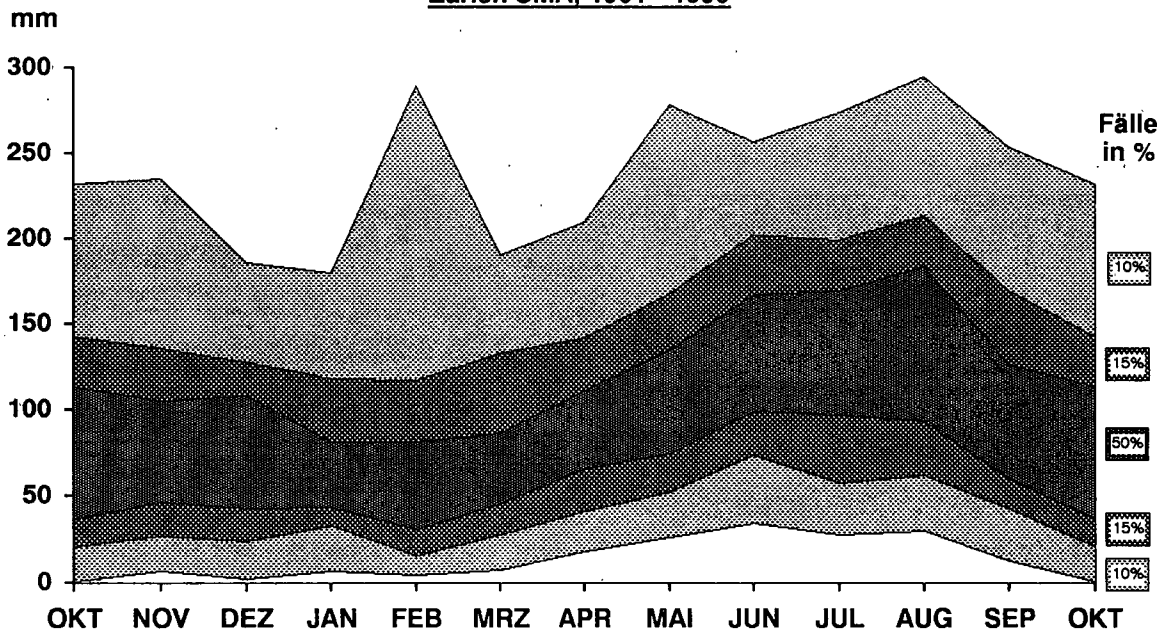
Figur 27

Verteilung der monatlichen Niederschläge im Jahresgang,
Zürich SMA, 1901 - 1990



Figur 28

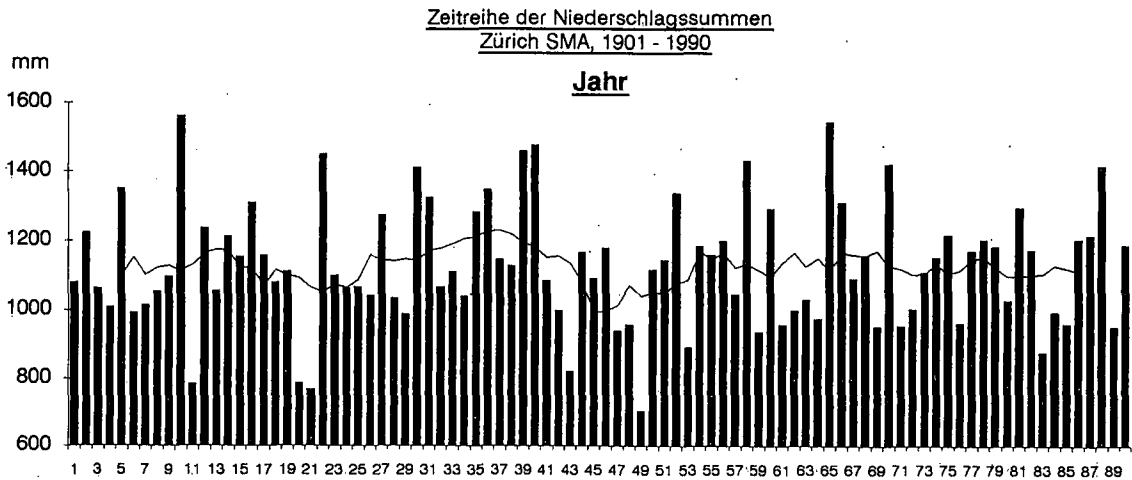
Verteilung der monatlichen Niederschläge im hydrolog. Jahresgang,
Zürich SMA, 1901 - 1990



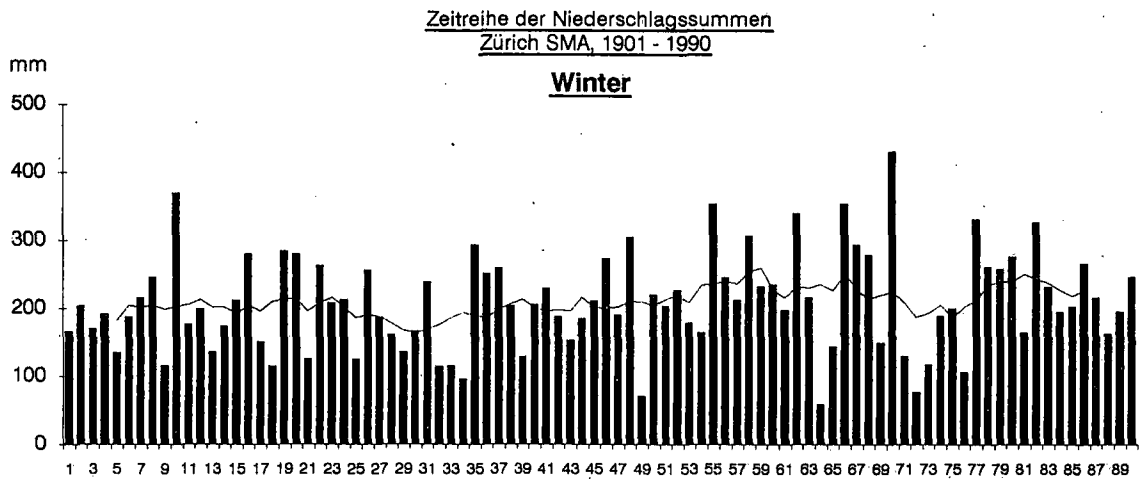
5.1.3 Zeitreihen und gleitende Mittel

Bei den Zeitreihendarstellungen (Figuren 29 bis 49) geht es darum, extreme Einzel- wie auch Periodenereignisse optisch herauszuheben. Dazu wurde ein gleitendes Mittel über 9 Jahre (dem 5. Wert zugewiesen) und verschiedene Einteilungen auf den y-Achsen gewählt. Durch die verschiedenen Einteilungen der y-Achsen können die Monats-, respektive Jahreszeitensummen schlecht miteinander verglichen werden. Die Figuren 50 bis 52 im Kapitel 5.1.4 sollen dazu dienen, diesen Vergleich der Zeitreihen der vier Jahreszeiten sowie der hydrologischen Halbjahre, zu ermöglichen.

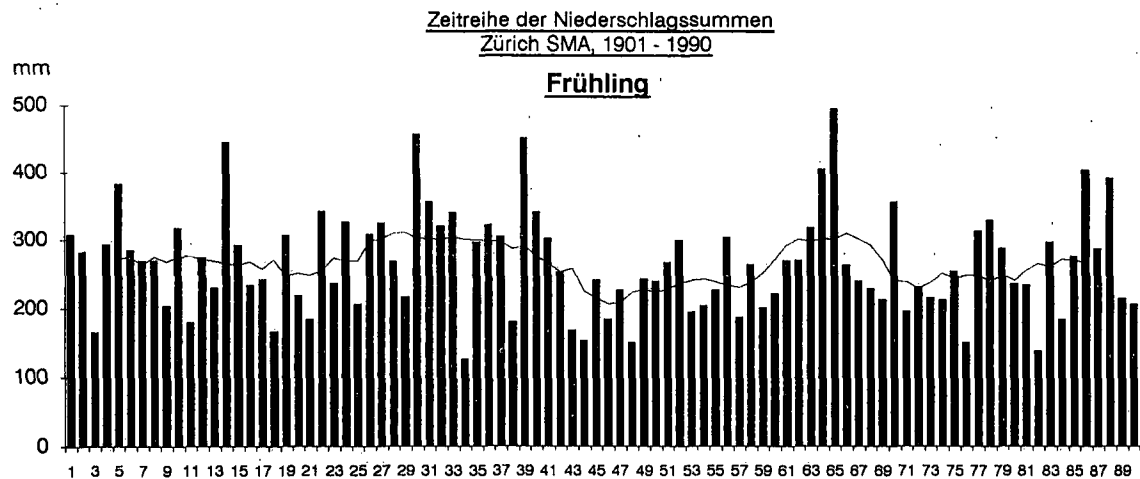
Figur 29



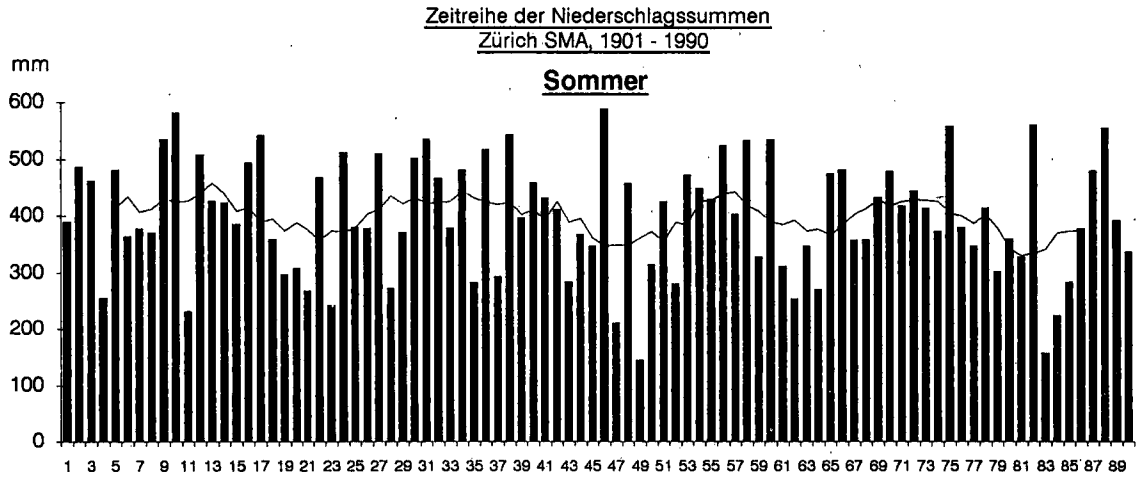
Figur 30



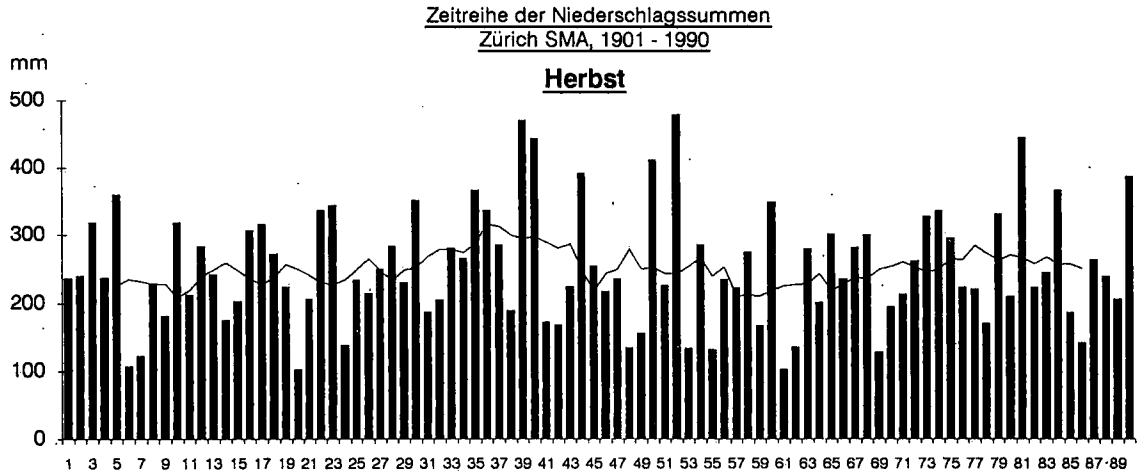
Figur 31



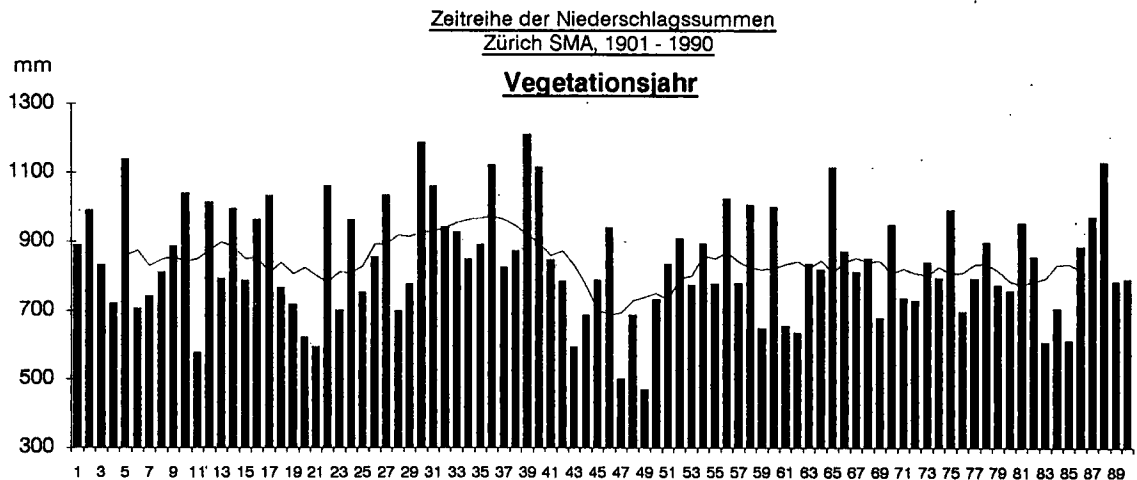
Figur 32



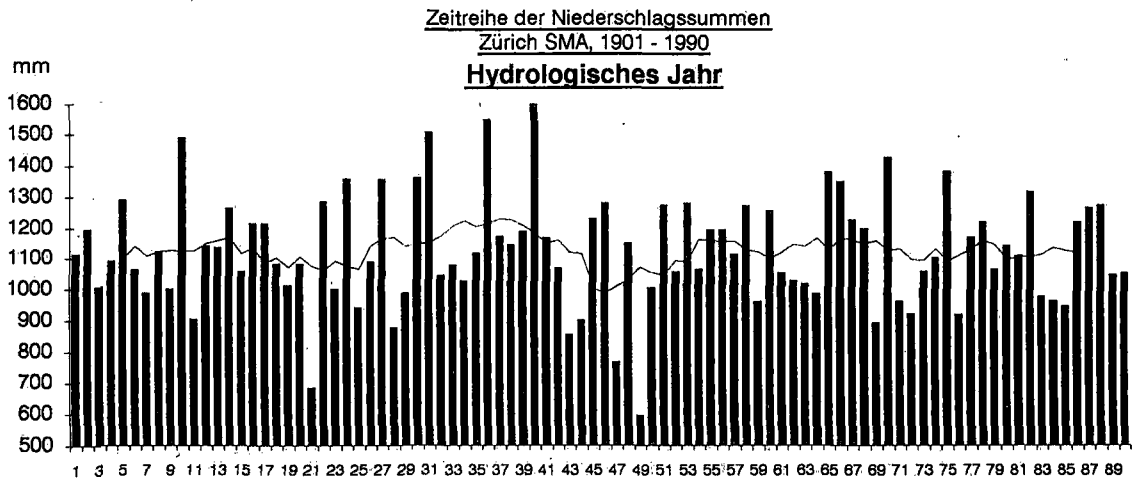
Figur 33



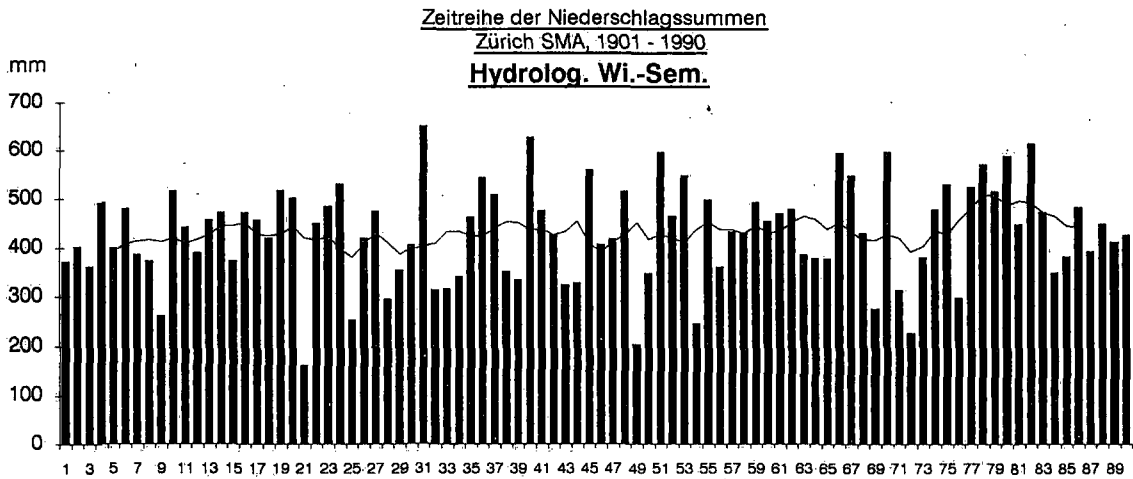
Figur 34



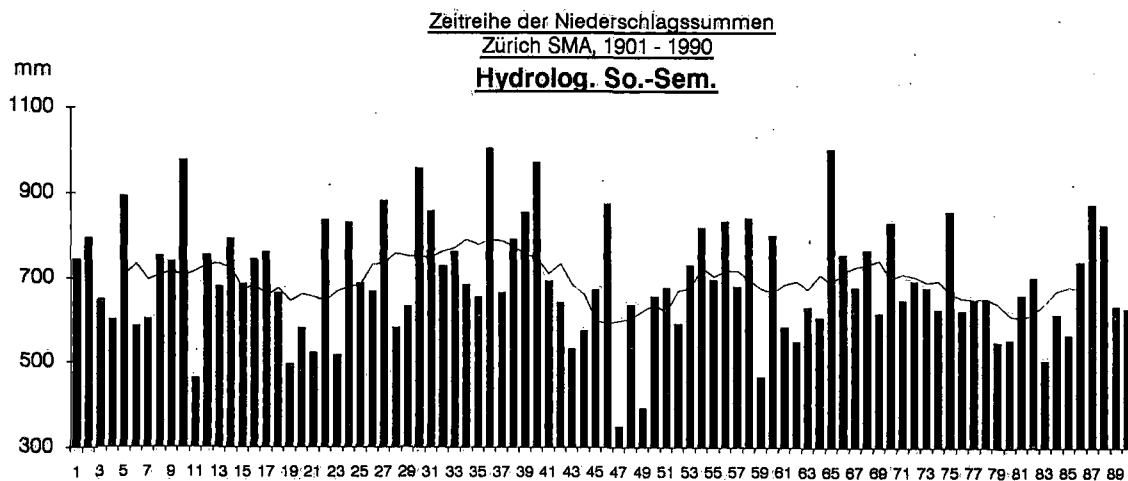
Figur 35



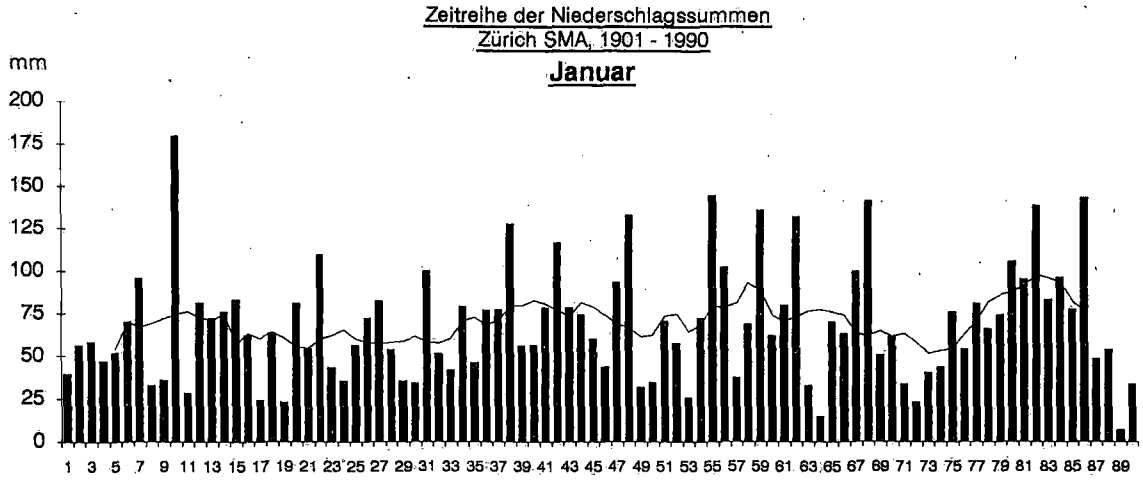
Figur 36



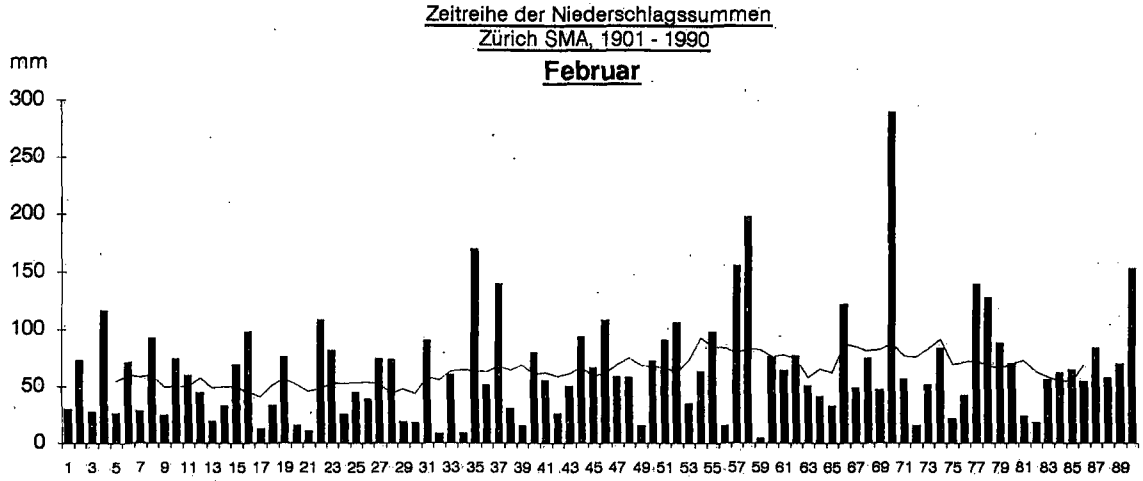
Figur 37



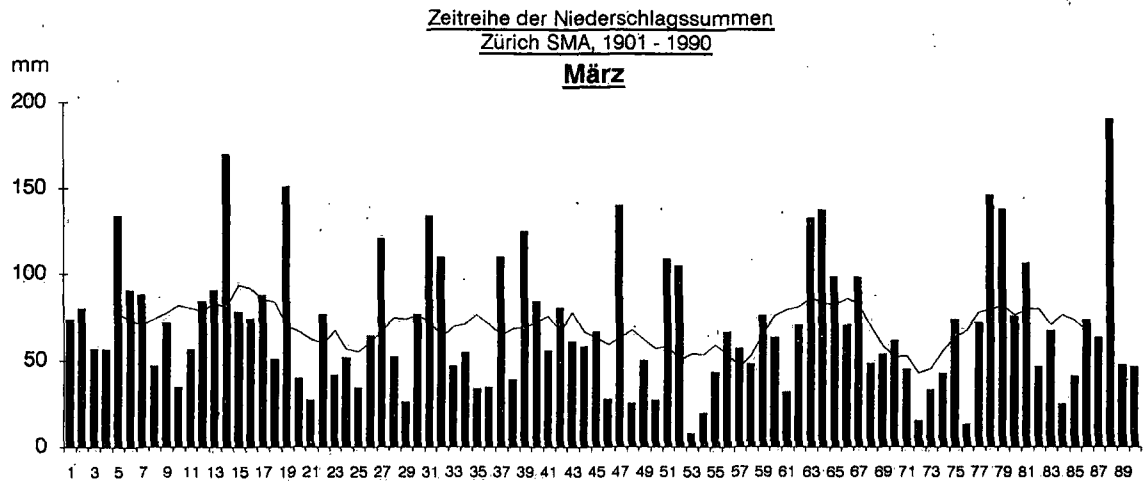
Figur 38



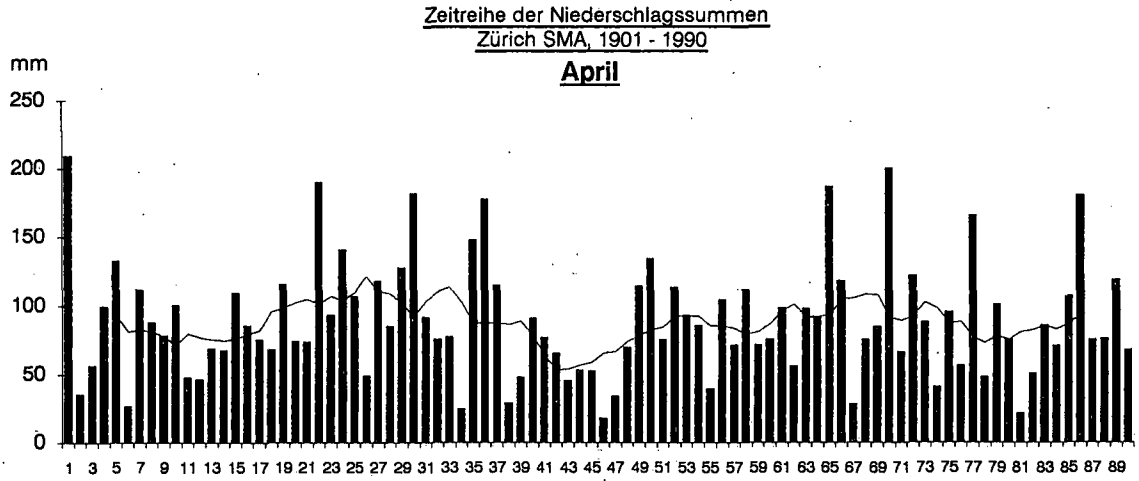
Figur 39



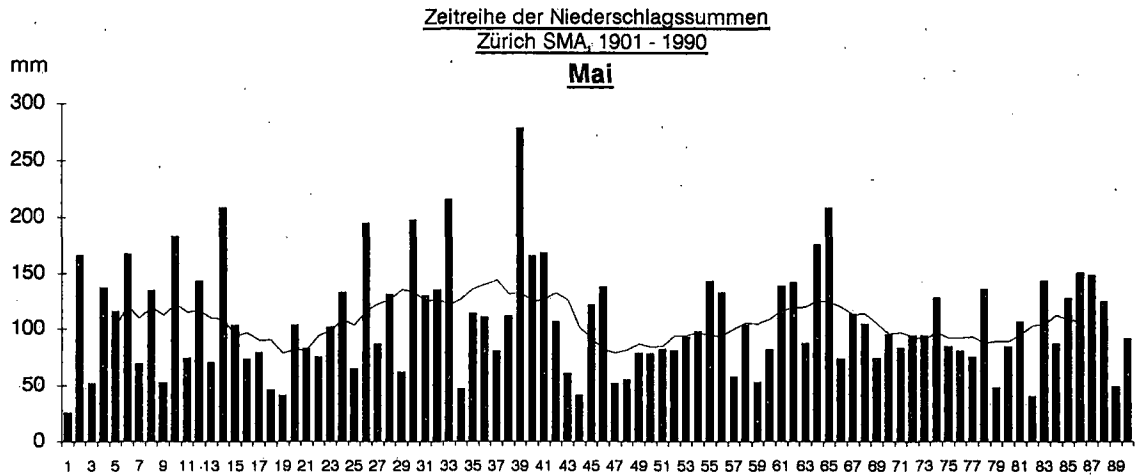
Figur 40



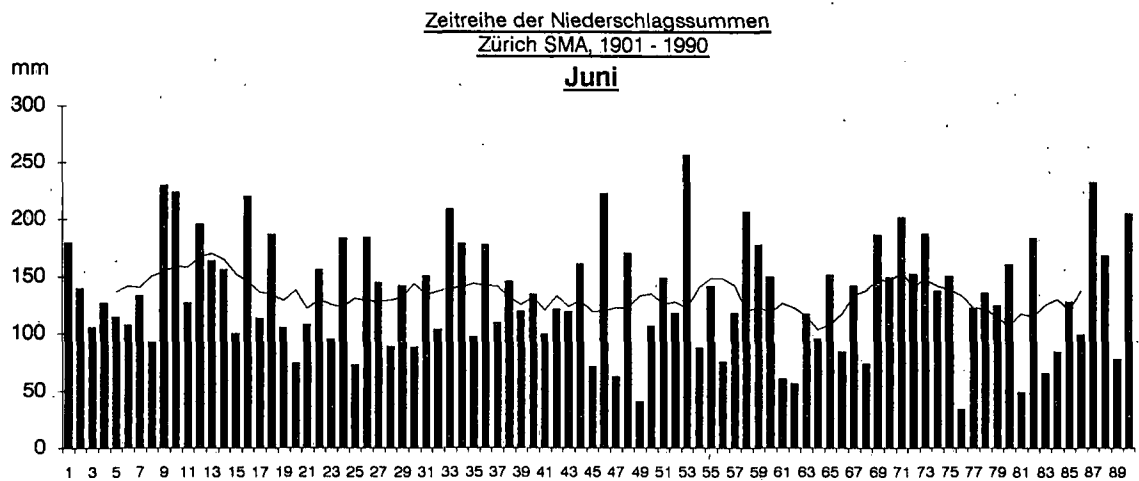
Figur 41



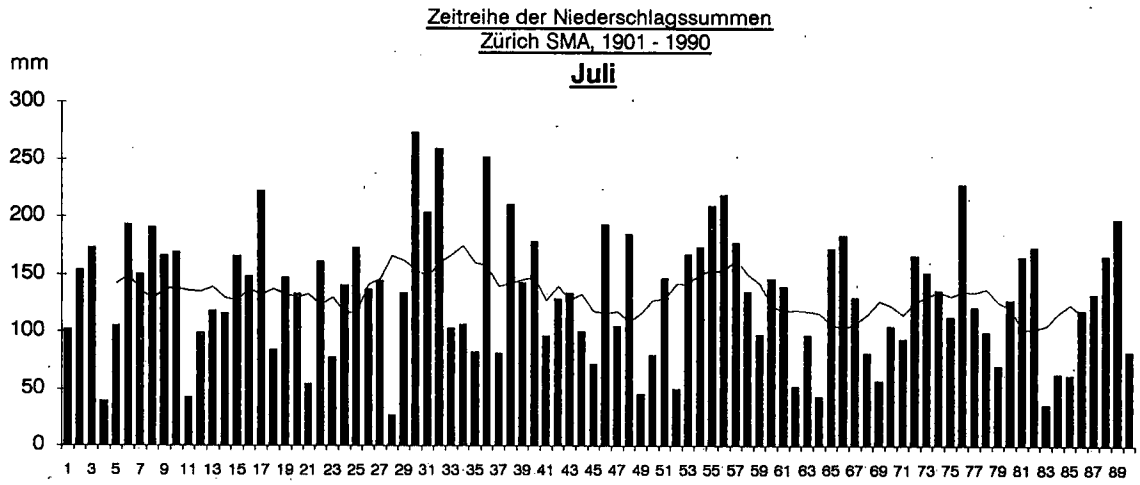
Figur 42



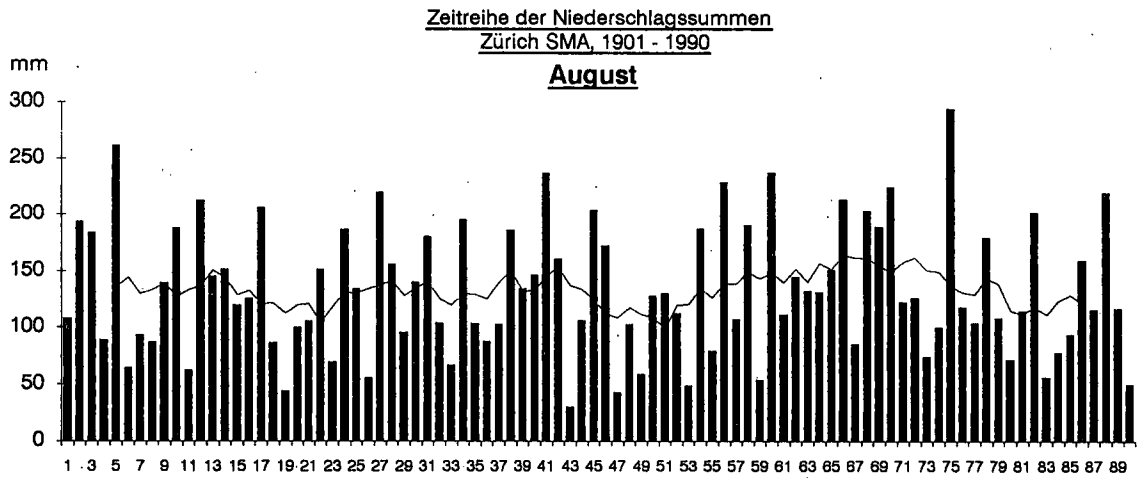
Figur 43



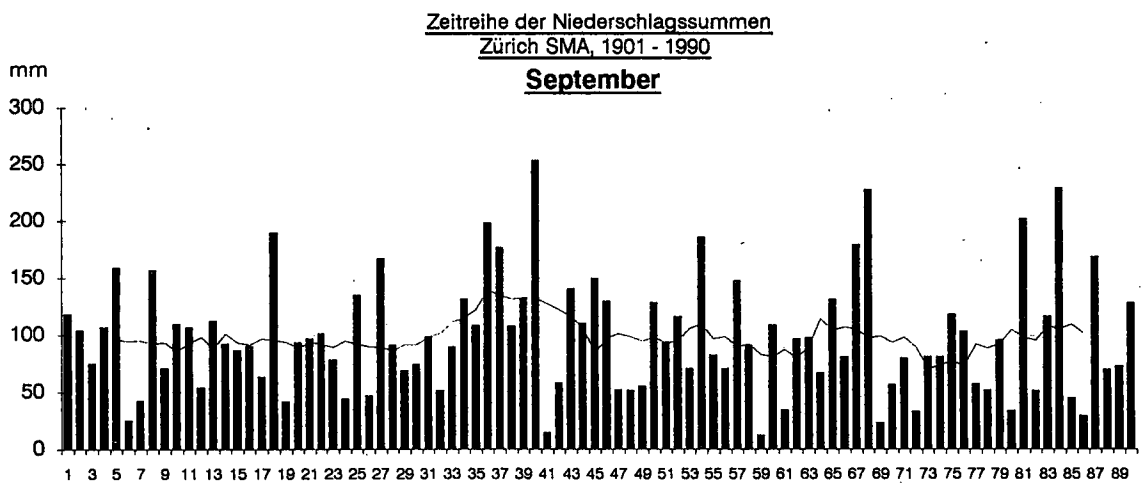
Figur 44



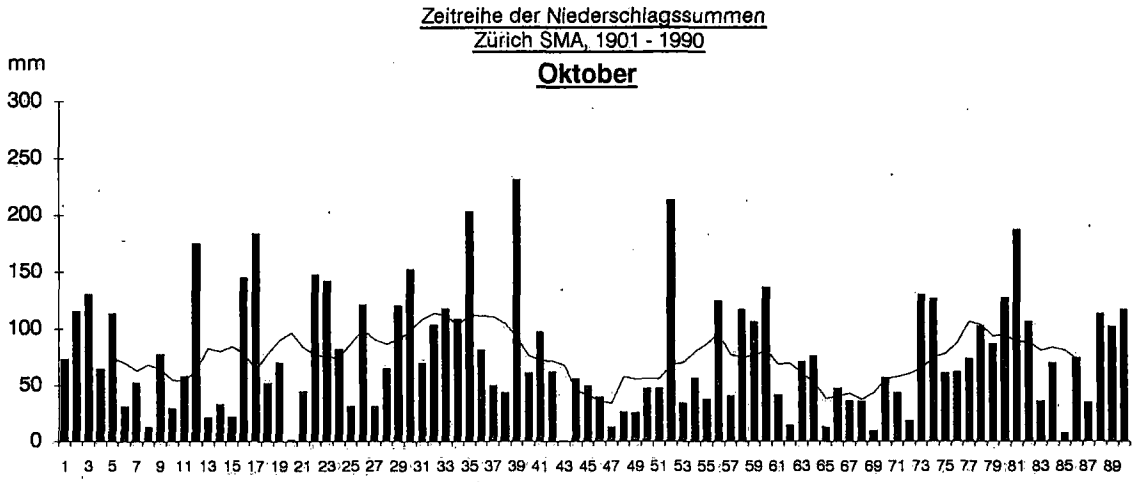
Figur 45



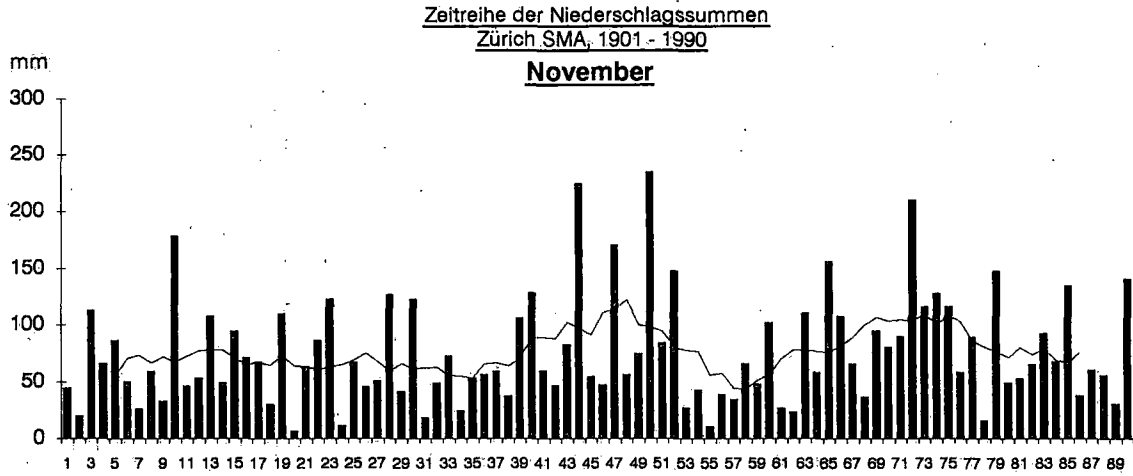
Figur 46



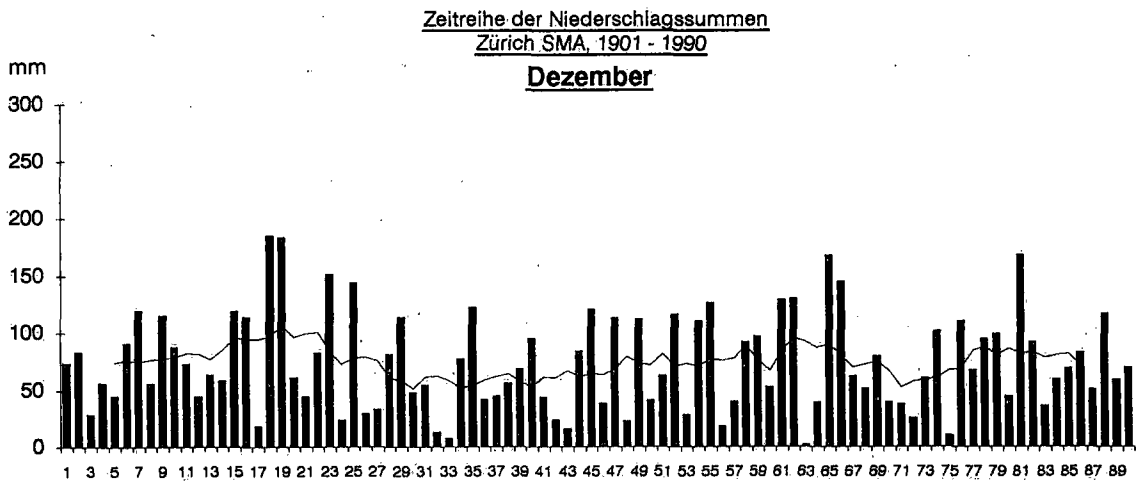
Figur 47



Figur 48



Figur 49

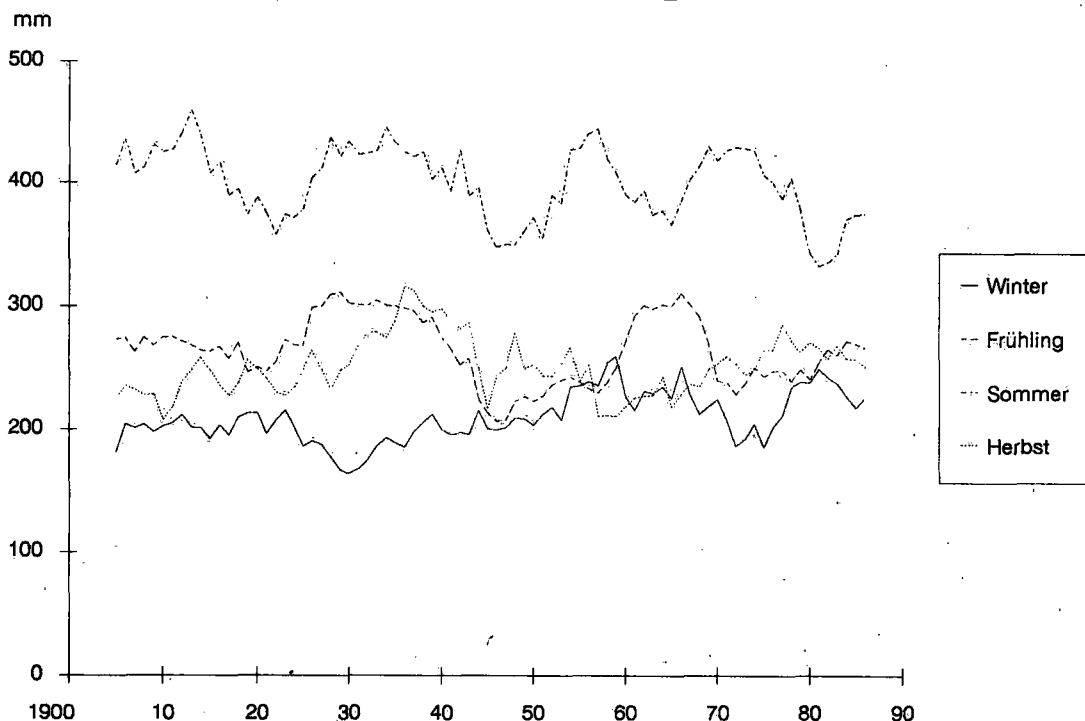


5.1.4 Vergleich der gleitenden Mittel der Jahreszeiten und der hydrologischen Halbjahre

Figur 50 zeigt grosse Schwankungen der Niederschlagssummen bei allen vier Jahreszeiten. Während des Sommers ist das Niederschlagsniveau zudem leicht gesunken. In Figur 51 sieht man, dass sich diese Reduktion im Jahresniveau jedoch nicht ausgewirkt hat, da die Niederschläge der übrigen Jahreszeiten diese Verminderung wieder ausgeglichen haben. Am auffälligsten war sicher die Periode 1930 bis 1940 mit sehr grossen Niederschlägen im Sommer und Herbst und die Periode 1940 bis 1950 mit sehr tiefen Niederschlagsmengen im Frühling und Sommer. Die kleineren Niederschläge 1970 bis 1975 im Winter und Frühjahr konnten dagegen durch die entsprechend grösseren Mengen im Sommer und Herbst der gleichen Periode wieder kompensiert werden. Figur 52 zeigt das Verhalten der Niederschlagssummen der hydrologischen Halbjahre. Was nicht überrascht, ist die Tatsache, dass die meisten der oben angeführten Schwankungen sich hier ebenfalls zeigen. Interessieren dürfte noch die Zeit von 1975 bis 1990, wo sich die Niederschlagsmengen im hydrologische Winter- und Sommersemester stark gegenläufig verhielten.

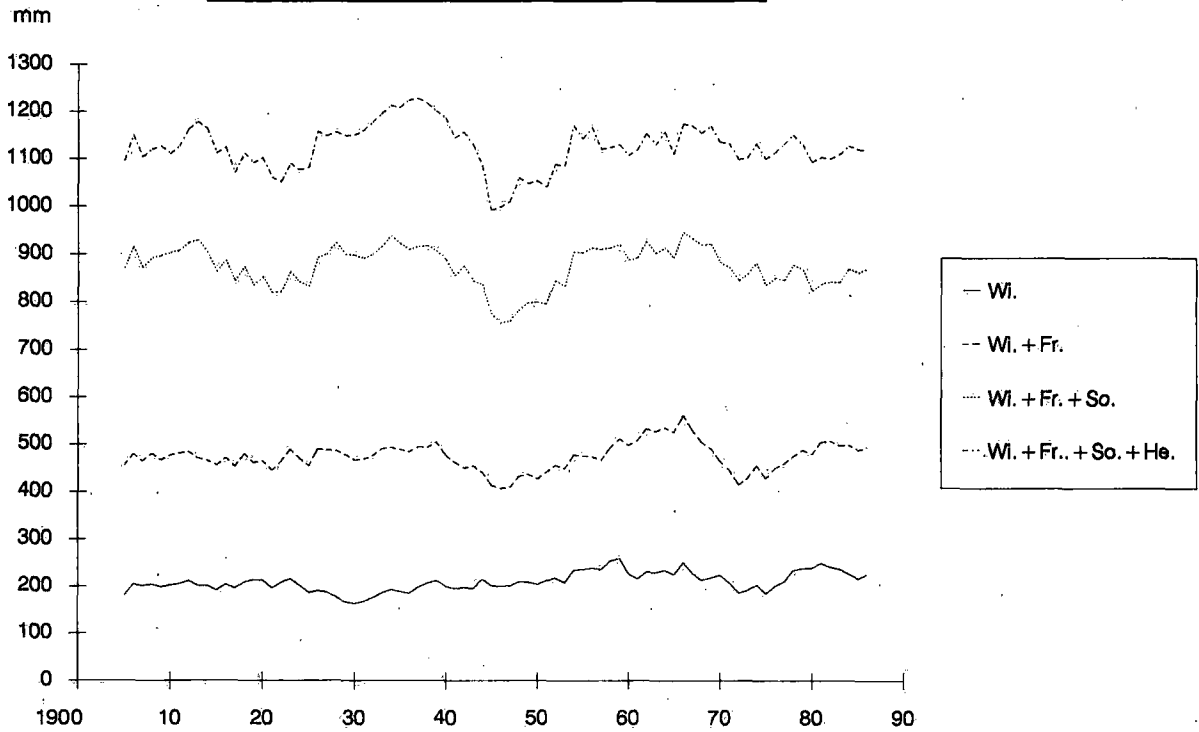
Figur 50

Vergleich der Gleitenden Mittel über 9-Jahre der Niederschlagssummen
der vier Jahreszeiten, Zürich SMA, 1901 - 1990



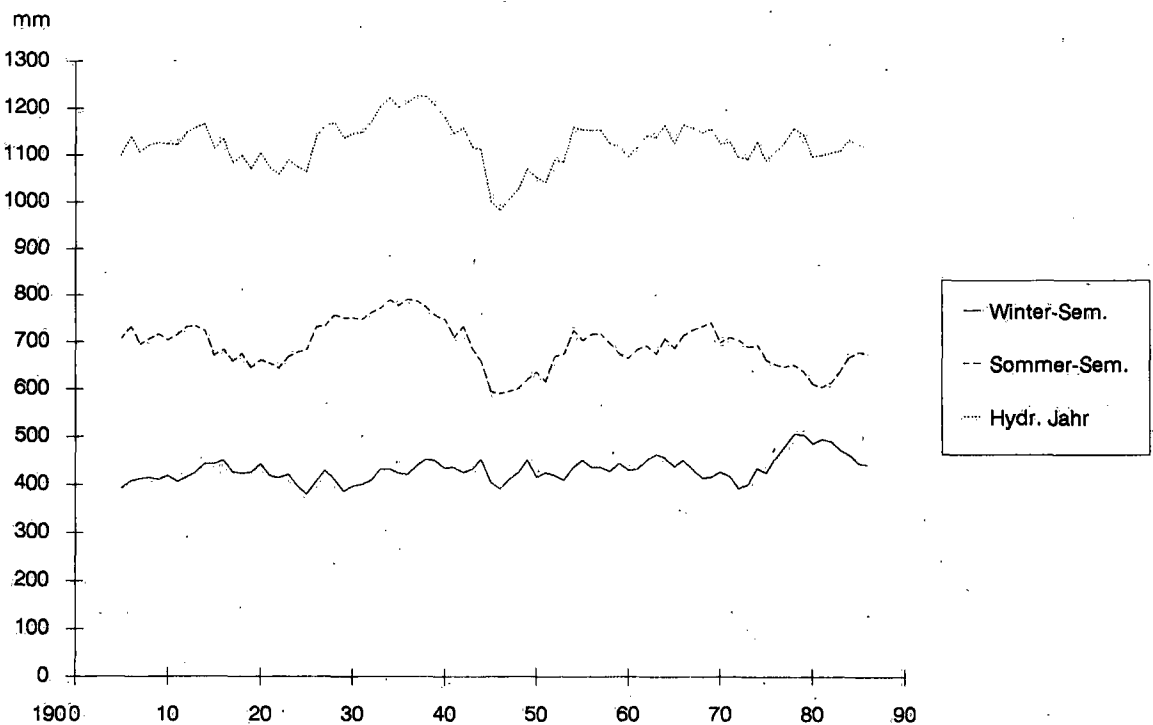
Figur 51

Vergleich der Gleitenden Mittel über 9-Jahre der Niederschlagssummen,
Summation der vier Jahreszeiten, Zürich SMA, 1901 - 1990



Figur 52

Vergleich der Gleitenden Mittel über 9-Jahre der Niederschlagssummen
vom hydrologischen Jahr und dessen Halbjahre, Zürich SMA, 1901 - 1990



5.2 Die Verdunstung, 1901-1990

Aus den Kapiteln 2.5, 4 und 5 können die genauen Angaben zu der hier verwendeten Verdunstungsgrösse entnommen werden.

5.2.1 Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen sowie deren Mittelwerte

Tabelle 15

Verdunstung in mm, 1901-1990

Zürich SMA (Krähbühstrasse, 569 m ü.M.)

Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen und deren Mittelwerte

berechnet nach Formel Primault (ohne j-Faktor) auf 10-Tagesbasis (Simulation Wild'sche Waage)
1901 bis August 1949, rel. Feuchtigkeit und Sonnenscheindauer von Gloriastr. 35
monatliche C-Faktoren von Krähbühlstrasse

Jahr- zahl	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mal	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Winter	Frühl.	Som.	Herbst	Veget.	Hydrolog. Jahr		
																			jahr	Wi.-S.	So.-S.
1901	21	27	36	67	125	90	94	63	27	18	20	14	600	64	227	246	65	518	150	464	614
2	18	14	49	56	49	92	100	55	37	18	17	15	518	46	153	246	72	455	133	388	521
3	20	30	57	38	117	63	64	76	50	36	14	10	575	65	212	203	101	501	157	408	565
4	7	18	25	57	81	90	126	108	29	18	22	12	593	34	163	324	69	534	110	491	601
5	25	27	30	56	66	89	119	52	27	28	17	11	547	64	152	261	72	467	134	409	543
6	25	20	54	72	76	89	70	94	72	36	18	15	640	56	202	253	125	562	155	472	627
7	17	18	59	49	88	89	85	96	41	26	17	19	604	49	197	269	84	533	162	448	610
8	10	20	36	47	88	116	88	87	36	35	12	15	591	49	171	291	83	533	129	462	591
9	19	35	39	97	111	69	70	63	47	32	26	19	626	69	247	202	105	528	154	457	611
10	16	33	46	52	73	76	70	61	28	22	20	13	511	68	171	208	70	429	173	361	533
01 - 10	18	24	43	59	87	86	89	76	39	27	18	14	580	56	190	250	85	506	146	436	582
1911	16	31	49	83	71	83	158	139	78	26	25	15	774	60	203	380	129	687	151	613	764
12	13	36	47	77	83	79	66	38	31	23	24	15	532	64	207	183	78	444	161	374	535
13	11	44	51	56	76	72	55	68	30	24	14	19	520	70	183	194	68	431	169	356	525
14	12	23	36	98	41	81	67	66	53	32	18	23	550	55	175	213	103	473	129	405	534
15	15	14	25	53	69	107	78	66	39	15	22	15	516	51	146	251	76	451	126	412	538
16	18	21	25	50	79	52	59	68	33	28	16	14	465	54	155	179	78	396	116	342	458
17	14	21	31	49	93	118	75	62	56	27	20	20	585	49	173	255	102	511	124	453	577
18	23	25	57	33	95	94	87	79	42	22	18	13	588	67	185	259	83	509	171	429	600
19	15	19	27	38	127	120	62	109	63	24	17	13	634	47	193	291	103	570	115	519	634
20	20	39	52	37	65	68	81	62	31	23	20	11	509	71	155	211	74	420	164	344	509
11 - 20	16	27	40	57	80	87	79	76	46	24	19	16	567	59	177	242	89	489	142	425	567
1921	19	28	72	47	64	95	135	87	56	33	15	13	663	57	184	316	104	589	173	484	656
22	10	17	32	35	125	83	78	70	30	13	21	11	527	40	192	231	65	467	121	421	542
23	13	16	31	55	88	56	108	95	49	25	18	12	567	40	175	259	92	508	106	452	558
24	11	14	53	49	61	62	70	43	43	30	17	11	465	38	163	175	91	411	133	328	462
25	21	31	32	45	80	135	72	55	44	26	14	23	576	63	156	262	84	487	142	430	572
26	21	16	28	71	50	57	59	74	57	29	16	9	487	60	148	190	102	425	127	368	495
27	10	19	36	58	94	91	74	59	35	40	17	14	546	37	188	224	92	487	119	412	530
28	15	34	40	59	62	92	142	74	35	28	15	11	608	63	162	307	78	532	160	463	623
29	12	25	51	52	82	84	106	56	79	31	18	24	620	48	185	246	128	540	143	458	601
30	11	21	30	49	47	93	59	56	33	20	29	15	464	57	126	208	82	387	136	337	473
21 - 30	14	22	41	52	75	85	90	67	46	28	18	14	552	50	168	242	92	483	136	415	551
01 - 30	16	25	41	56	81	86	86	73	44	26	19	15	567	55	178	245	89	493	141	425	567
1931	13	15	63	54	80	98	61	41	30	45	19	19	537	42	197	199	94	471	155	363	518
32	9	35	46	62	64	81	49	80	51	33	16	12	538	63	172	210	100	466	173	387	560
33	15	26	55	63	51	70	99	95	53	28	16	13	583	53	169	264	96	513	157	431	587
34	11	36	34	91	110	91	116	52	49	36	25	11	662	59	235	259	110	580	137	509	647
35	21	29	67	46	85	115	136	70	69	19	28	15	699	61	198	321	116	607	189	521	710
36	20	24	56	39	79	66	64	81	38	37	18	13	536	58	174	212	93	461	161	368	529
37	19	16	32	53	90	90	88	64	33	28	25	18	556	48	175	242	86	479	135	418	553
38	17	29	86	82	79	98	67	57	48	42	24	13	640	64	247	221	114	558	202	430	633
39	21	27	31	62	28	80	84	64	33	14	20	15	478	60	121	228	67	397	157	352	508
40	18	15	48	67	82	99	75	83	48	17	27	13	592	47	197	257	92	519	129	454	584
31 - 40	16	25	52	62	75	89	84	69	45	30	22	14	582	56	189	241	97	505	160	423	583

Jahr- zahl	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Winter	Frühl.	Som.	Herbst	Veget.	Hydrolog. Jahr		
																			jahr	Wi.-S.	So.-S.
1941	12	21	65	56	70	105	109	64	69	28	17	24	639	46	190	278	114	565	154	473	627
42	14	15	37	84	86	122	102	89	85	41	20	15	709	53	208	313	146	646	135	568	703
43	14	33	63	84	101	78	103	111	49	35	20	10	701	61	248	293	104	625	186	526	712
44	17	13	31	65	85	69	67	88	41	29	15	14	535	40	181	224	85	475	126	415	542
45	10	14	34	71	95	122	119	66	49	37	11	13	640	38	200	307	96	592	116	521	637
46	13	17	43	87	76	58	88	74	49	28	20	9	562	44	206	220	97	502	134	432	566
47	18	11	27	105	72	115	114	138	100	42	21	16	780	38	205	367	163	714	112	644	757
48	18	24	85	69	98	84	46	54	52	33	14	12	588	59	252	183	98	520	207	402	610
49	16	38	64	82	50	137	162	110	69	47	16	16	807	65	196	409	132	722	176	610	786
50	17	30	59	49	109	132	127	75	37	26	18	17	696	63	217	334	81	615	185	530	715
41 - 50	15	22	51	75	84	102	104	87	60	34	17	15	666	51	210	293	112	598	153	512	665
1951	14	19	29	69	59	61	91	60	40	19	25	17	503	49	158	211	84	429	122	380	502
52	17	16	34	78	103	105	137	98	42	25	20	12	688	51	215	340	87	622	129	563	692
53	10	18	93	70	101	47	73	87	61	21	12	9	604	41	265	207	95	554	179	440	619
54	19	19	60	50	74	65	70	52	46	33	19	14	520	47	183	187	98	449	140	357	496
55	8	13	44	85	87	66	43	67	38	34	19	16	520	35	215	177	91	464	131	386	517
56	19	28	58	61	89	51	83	52	55	31	21	25	571	63	207	186	107	478	174	390	564
57	21	24	58	60	65	76	80	82	43	35	13	22	577	70	182	238	91	497	179	405	584
58	15	20	39	51	85	92	80	82	57	18	9	23	572	57	174	254	85	505	144	447	591
59	22	36	36	90	95	75	98	70	78	27	12	21	662	82	221	243	118	570	145	507	652
60	23	28	45	61	100	99	76	79	46	39	34	19	651	73	207	255	119	546	157	462	619
51 - 60	17	22	50	67	86	74	83	73	51	28	18	18	587	57	203	230	97	511	150	434	584
31 - 60	16	23	51	68	82	88	90	76	52	31	19	16	612	54	201	255	102	538	154	456	611
1961	13	37	70	53	56	77	93	81	65	32	19	17	610	69	179	250	116	525	211	424	635
62	21	23	48	85	65	135	106	129	75	45	21	10	763	61	199	369	140	688	160	595	755
63	23	31	58	49	66	70	103	54	36	33	35	16	574	64	174	227	103	469	188	378	566
64	6	23	16	63	92	103	145	85	66	23	16	12	650	45	171	332	106	593	128	554	682
65	15	25	39	46	66	64	55	59	34	18	14	14	449	52	150	178	67	381	130	324	454
66	21	19	43	49	89	100	65	44	48	30	22	14	545	54	181	210	100	469	130	396	525
67	17	35	42	70	85	72	98	64	38	55	18	19	613	66	197	234	111	524	161	426	587
68	18	20	53	75	74	95	90	54	45	25	12	11	574	57	202	240	82	512	183	434	617
69	11	20	26	55	97	62	96	69	44	36	39	11	566	42	177	227	119	484	106	422	528
70	13	14	40	44	69	81	89	62	71	39	34	16	573	38	153	233	145	496	153	417	570
61 - 70	16	25	44	59	76	86	94	70	52	34	23	14	592	55	178	250	109	514	155	437	592
1971	12	16	30	81	59	50	118	63	66	42	21	13	571	44	170	231	129	508	147	436	584
72	13	21	52	29	49	61	55	56	42	33	20	13	444	47	130	173	94	378	162	293	455
73	9	19	44	54	95	83	75	68	50	19	24	16	557	41	194	226	93	489	138	425	563
74	13	14	40	80	69	67	84	63	37	14	16	22	519	44	190	213	67	454	127	400	527
75	17	33	22	56	60	56	82	60	35	24	16	10	471	71	139	198	75	395	123	350	473
76	17	16	54	72	76	123	77	61	29	24	16	9	574	43	202	261	69	516	137	438	575
77	9	20	37	31	61	59	68	47	44	26	29	14	444	38	128	174	99	372	115	309	424
78	14	15	35	57	45	66	67	59	55	21	18	16	468	43	137	192	94	405	133	349	482
79	13	17	26	43	86	57	75	59	52	21	18	25	491	46	154	192	91	418	110	372	482
80	14	24	34	43	68	46	49	67	59	26	22	20	471	63	144	162	107	392	135	332	467
71 - 80	13	19	37	55	67	67	75	60	47	25	20	16	501	48	159	202	92	433	133	370	503
1981	13	24	34	65	51	66	53	81	22	24	38	12	482	57	150	200	84	396	139	338	477
82	10	19	35	75	81	61	75	44	40	17	21	16	493	41	191	179	78	427	138	376	513
83	21	21	33	39	44	72	130	66	50	34	17	23	549	58	115	269	100	467	129	400	529
84	17	18	50	75	43	82	104	64	37	34	21	15	560	58	168	250	92	490	158	406	564
85	13	27	37	65	57	70	94	81	60	37	16	31	587	56	158	245	113	500	147	426	574
86	18	13	39	26	53	87	85	56	50	33	32	15	507	62	118	228	114	429	154	357	511
87	14	8	34	77	46	42	55	58	54	22	16	15	440	36	157	156	91	388	135	333	468
88	18	25	20	58	60	62	76	58	38	19	19	13	467	58	139	196	77	393	115	353	469
89	13	16	64	29	114	98	61	65	37	40	20	20	577	42	207	224	98	508	144	404	548
90	18	38	54	39	91	55	116	101	50	27	16	19	623	77	183	271	93	531	191	451	641
81 - 90	15	21	40	55	64	69	85	67	44	29	22	18	529	54	159	222	94	453	145	384	529
61 - 90	15	22	40	56	69	74	85	66	48	29	22	16	540	52	165	225	98	467	144	397	541
01 - 90	16	23	44	60	77	83	87	72	48	29	20	15	573	54	181	241	96	499	147	426	573

5.2.2 Verteilungen

Tabelle 16 sowie die Figuren 53, 54 und 55 zeigen in tabellarischer wie graphischer Form die Verteilung der Verdunstung von 1901 bis 1990. Die Klassengrenzen wurden wie im Kapitel 3.2 beschrieben ermittelt. Die Figuren 54 und 55 wurden aus der Figur 53 entwickelt, indem der Zentralwert bewusst weggelassen wurde und zwischen den Klassengrenzen die Anzahl der Fälle in Prozent angegeben wurden. Die Figuren 54 und 55 werden im Anhang (Figuren 136 und 137) nochmals im A4 Format dargestellt, um sie als Arbeitskopie verwenden zu können. Die Ergebnisse werden in den Kapiteln 6, 7 und 8 diskutiert und interpretiert.

Tabelle 16

Verdunstung in mm, 1901-1990
Zürich SMA (Krähbühlstrasse, 569 m ü.M.)
Verteilung der Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen

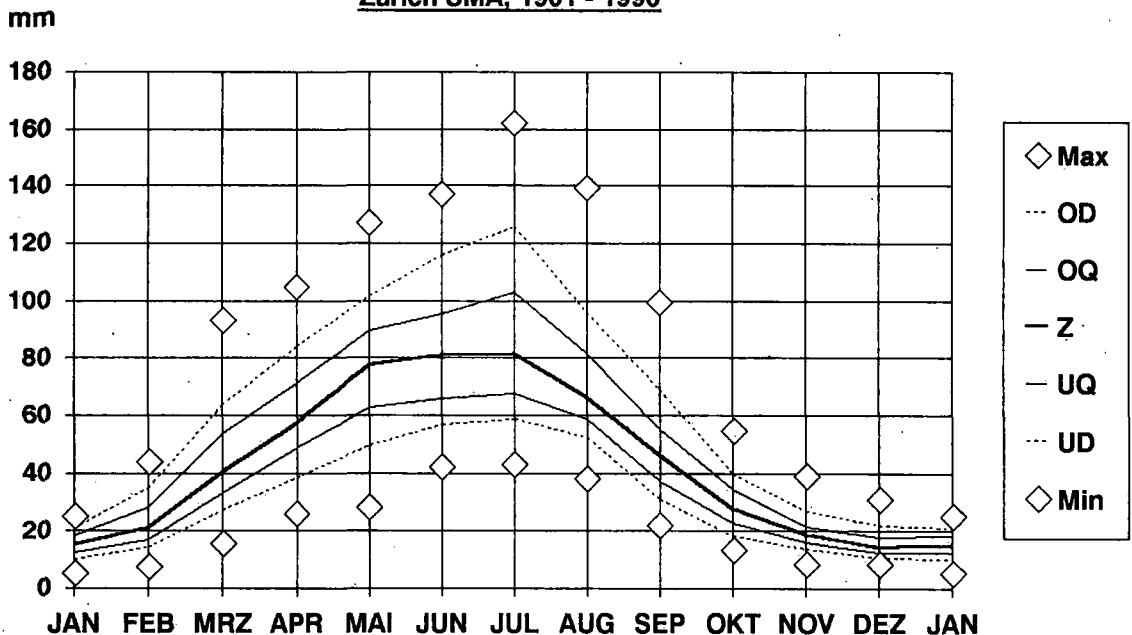
berechnet nach Formel Primault (ohne j-Faktor) auf 10-Tagesbasis (Simulation Wild'sche Waage)
 1901 bis August 1949, rel. Feuchtigkeit und Sonnenscheindauer von Gloriastr. 35
 monatliche C-Faktoren von Krähbühlstrasse

	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Winter	Frühl.	Som.	Herbst	Veget. Jahr	Hydrolog. Jahr	Jahr	
																			Wi.-S.	So.-S.	Jahr
M	16	23	44	60	77	83	87	72	48	29	20	15	573	54	181	241	96	499	147	426	573
s	4	8	15	17	21	22	26	20	15	8	6	4	79	11	31	52	20	77	24	72	77
Jahr	05 08	1913	1953	1947	1919	1949	1949	1911	1947	1967	1969	1985	1949	1959	1953	1949	1947	1949	1981	1947	1949
Max	25	44	93	105	127	137	162	139	100	55	39	31	807	82	265	409	163	722	211	644	786
OD	21	35	64	84	101	116	126	96	69	40	27	22	666	68	215	317	120	594	180	522	683
OQ	19	28	54	71	90	95	103	81	55	34	21	18	612	63	201	261	106	533	161	458	618
Z	15	21	40	57	77	81	82	66	46	28	19	15	572	55	182	232	94	497	143	420	566
UQ	13	17	33	49	63	66	67	59	37	23	16	12	519	44	158	204	83	450	129	374	522
UD	10	14	27	39	50	57	59	52	31	18	14	11	471	40	144	183	72	396	116	344	473
Min	6	8	16	26	28	42	43	38	22	13	9	9	440	34	115	156	65	372	106	293	424
Jahr	1964	1987	1964	1986	1939	1987	1955	1912	1981	1922	1958	26 48	1987	1904	1983	1987	01 22	1977	23 89	1972	1977
												53 76									

M = Mittelwert s = Standardabweichung

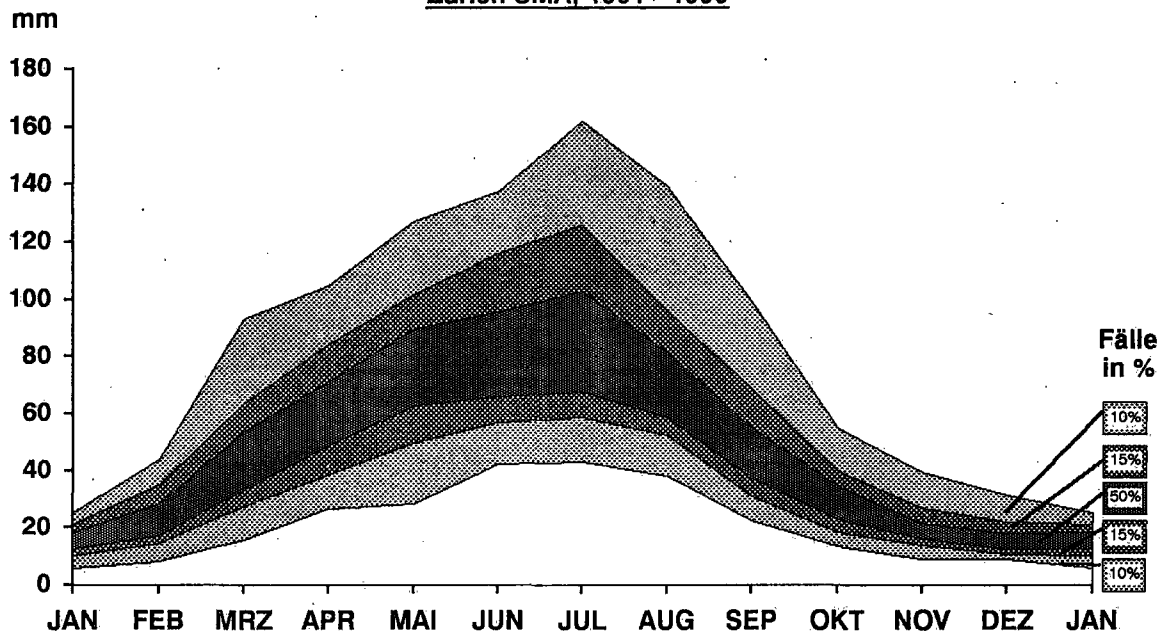
Figur 53

Statistische Verteilung der monatlichen Verdunstung, Zürich SMA, 1901 - 1990



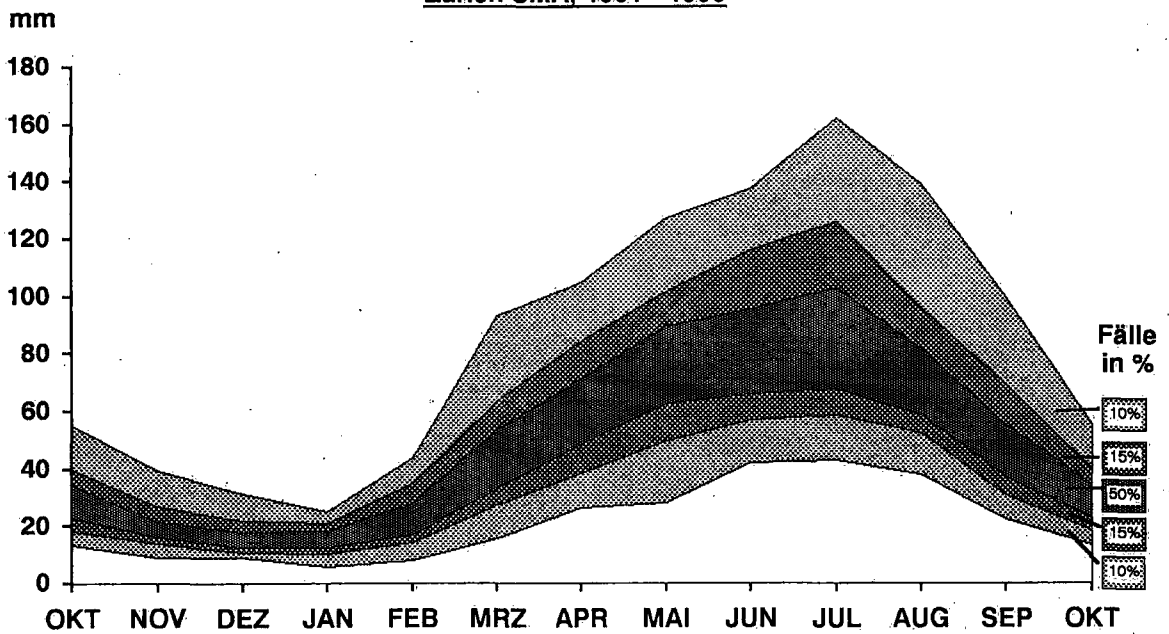
Figur 54

Verteilung der monatlichen Verdunstung im Jahresgang
Zürich SMA, 1901 - 1990



Figur 55

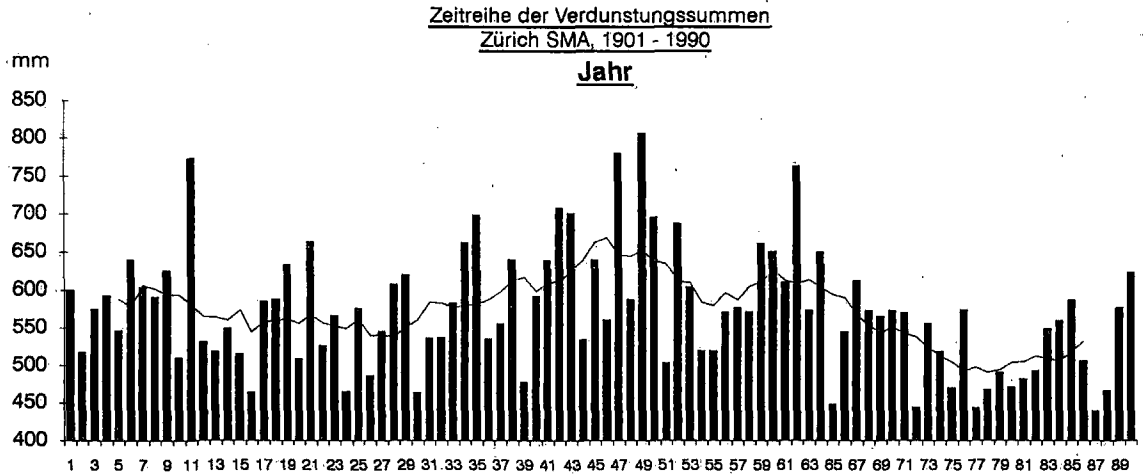
Verteilung der monatlichen Verdunstung im hydrolog. Jahresgang
Zürich SMA, 1901 - 1990



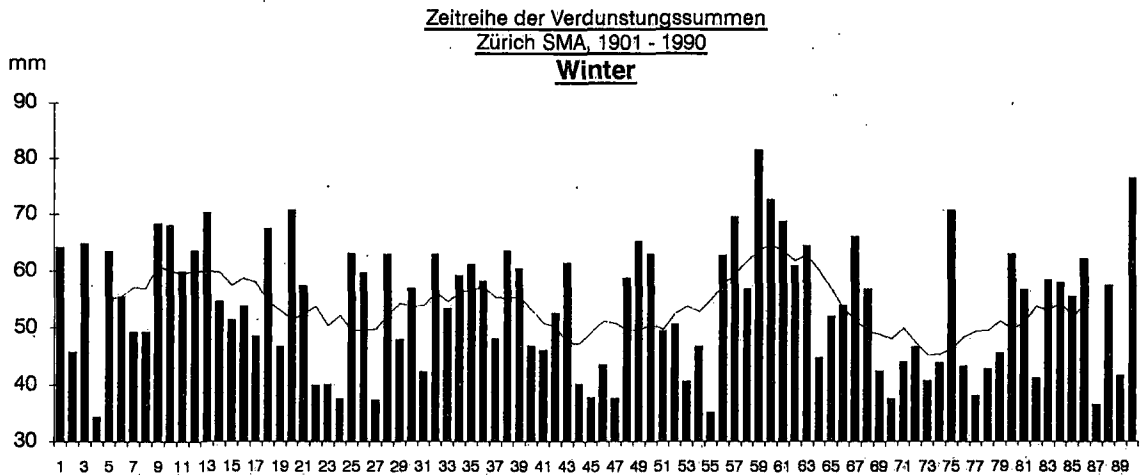
5.2.3 Zeitreihen und gleitende Mittel

Bei den Zeitreihendarstellungen (Figuren 56 bis 76) geht es darum, extreme Einzel- wie auch Periodenereignisse optisch herauszuheben. Dazu wurde ein gleitendes Mittel über 9 Jahre (dem 5. Wert zugewiesen) und verschiedene Einteilungen auf den y-Achsen gewählt. Durch die verschiedenen Einteilungen der y-Achsen können die Monats-, respektive Jahreszeitensummen schlecht miteinander verglichen werden. Die Figuren 77 bis 79 im Kapitel 5.2.4 sollen dazu dienen, diesen Vergleich der Zeitreihen der vier Jahreszeiten sowie der hydrologischen Halbjahre, zu ermöglichen.

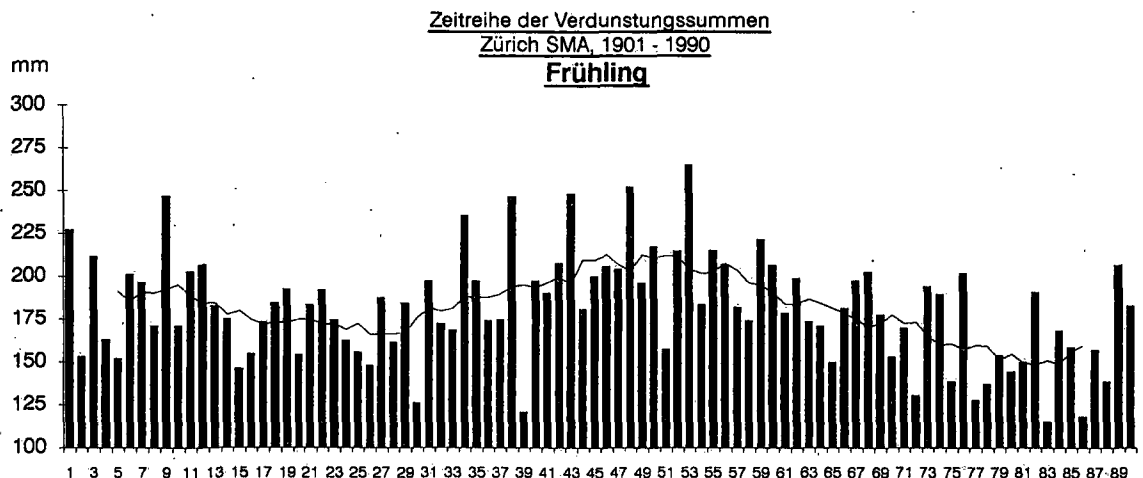
Figur 56



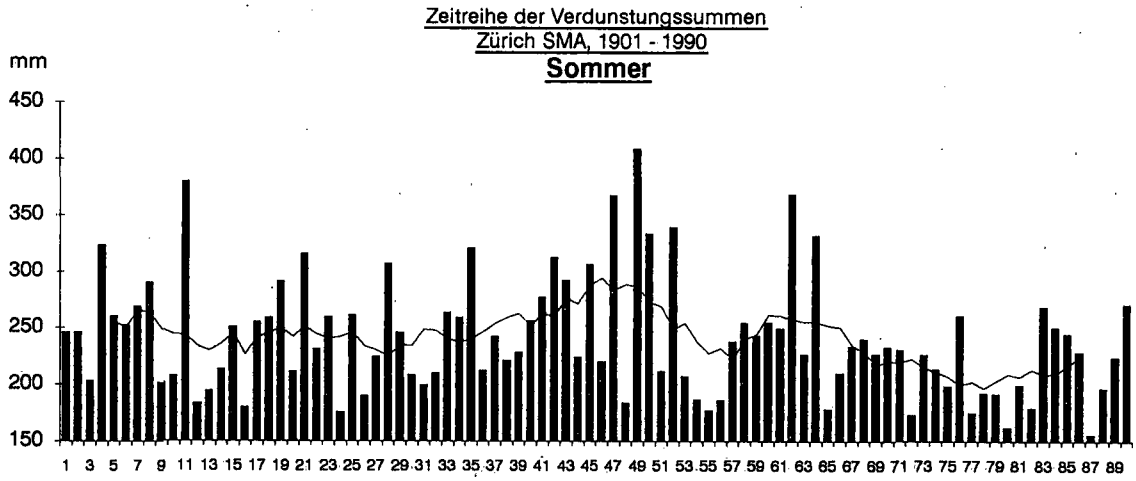
Figur 57



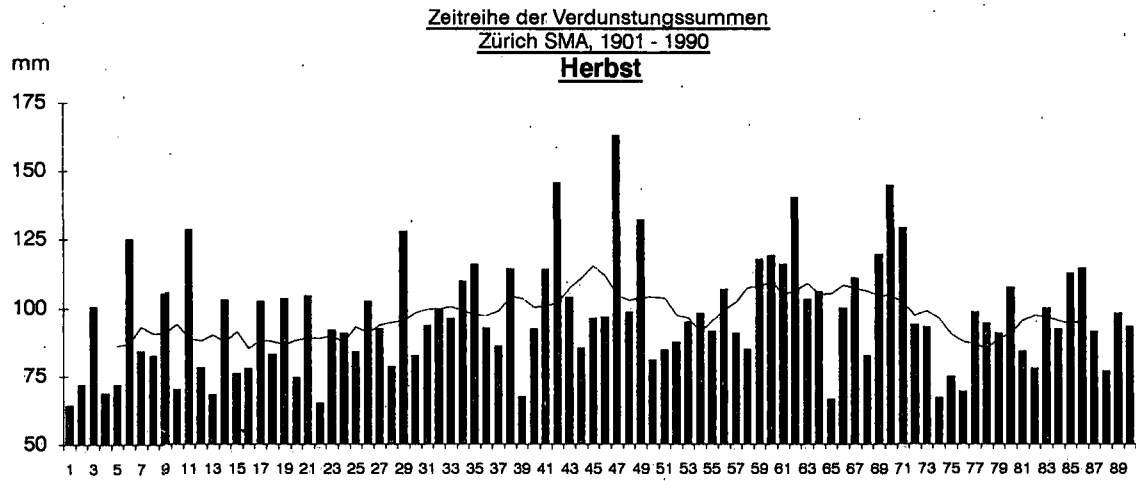
Figur 58



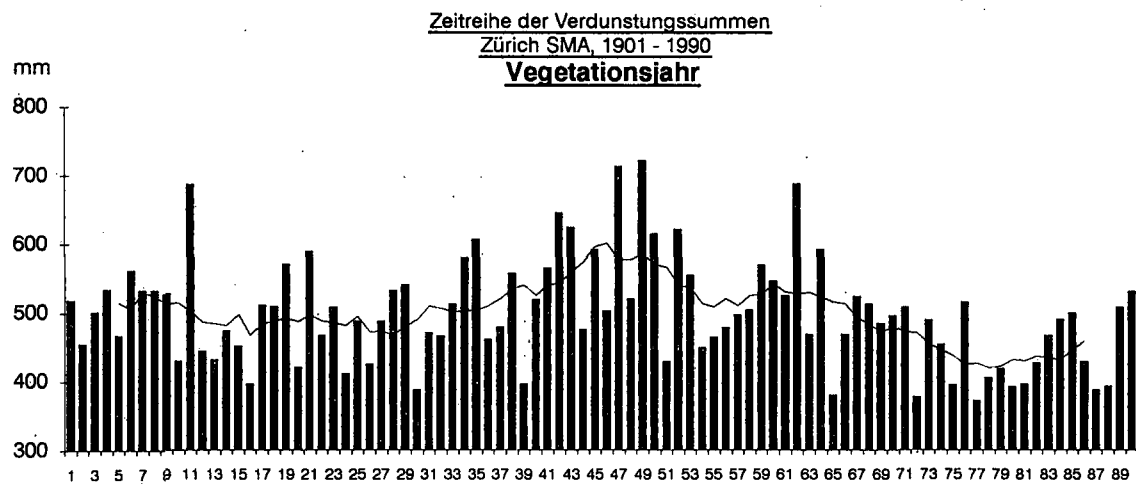
Figur 59



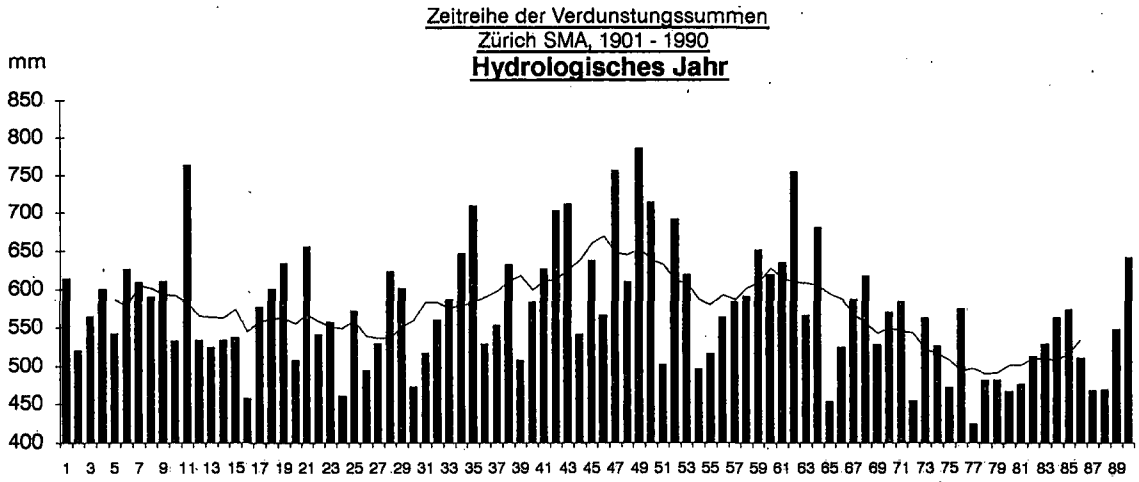
Figur 60



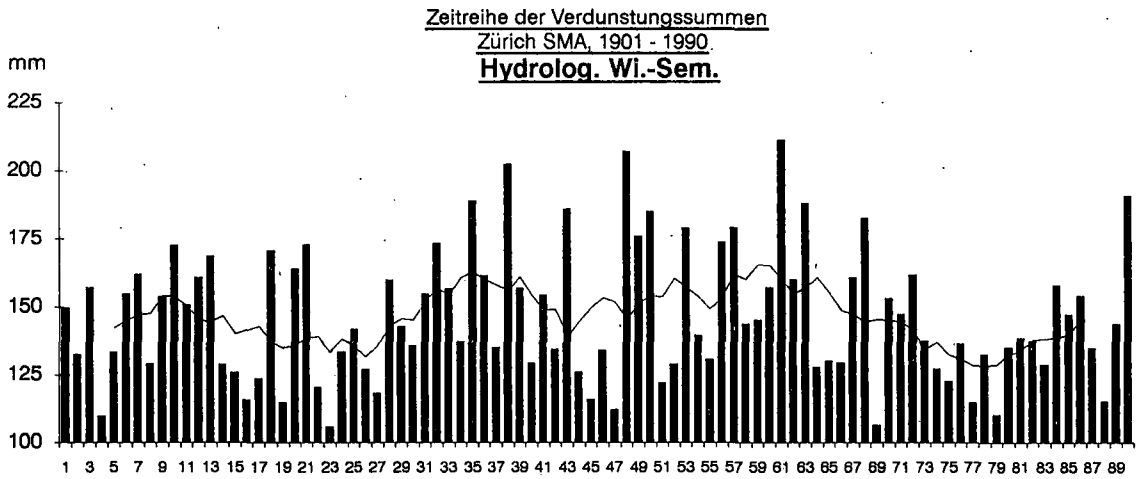
Figur 61



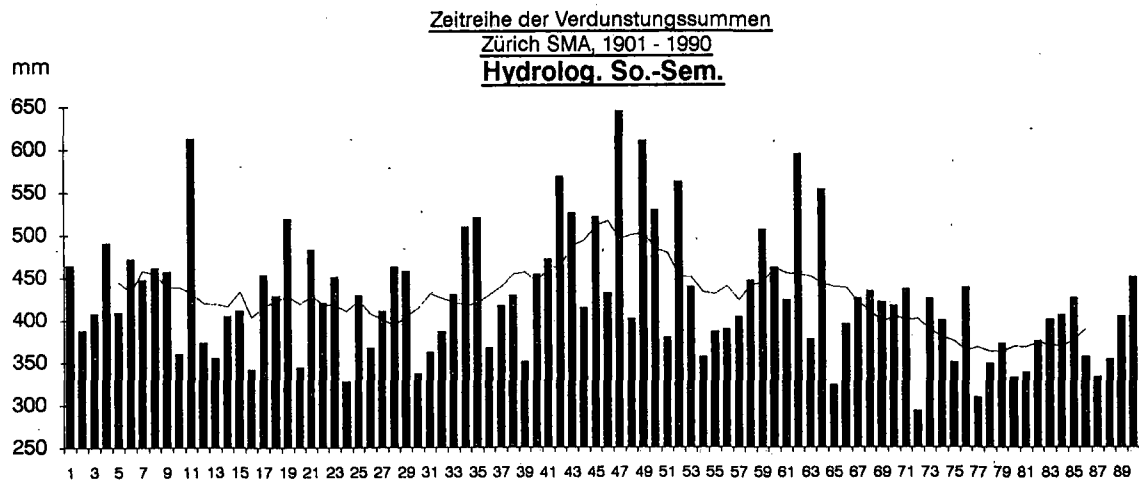
Figur 62



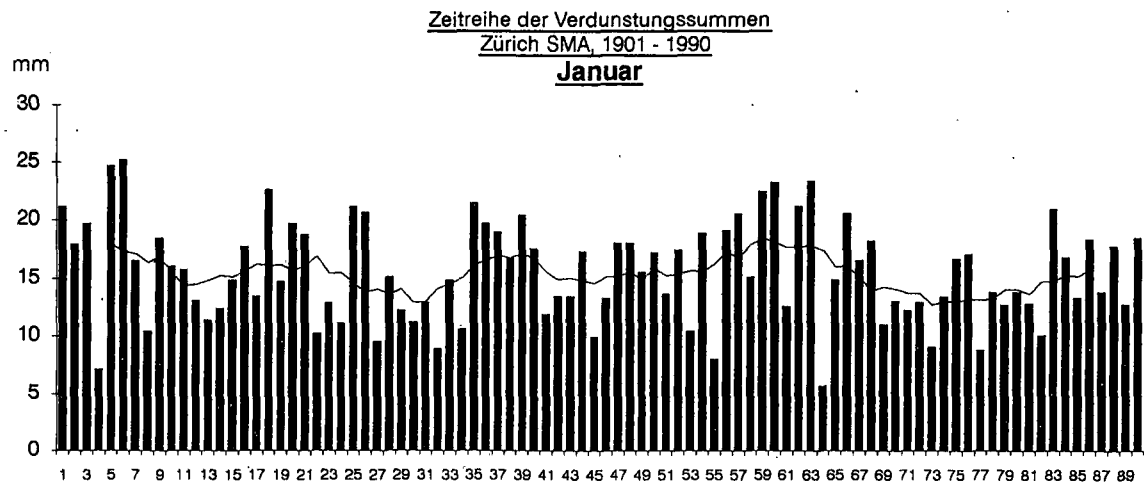
Figur 63



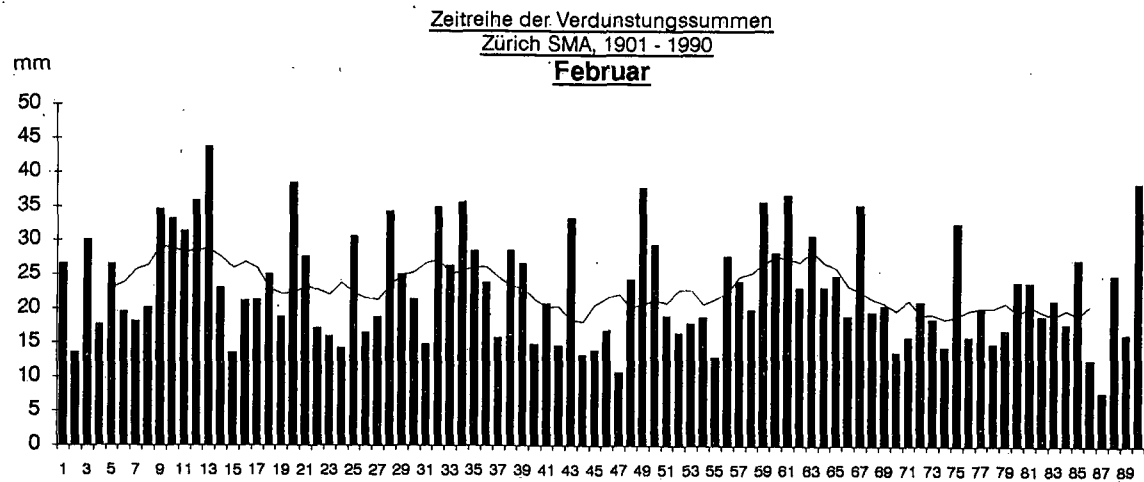
Figur 64



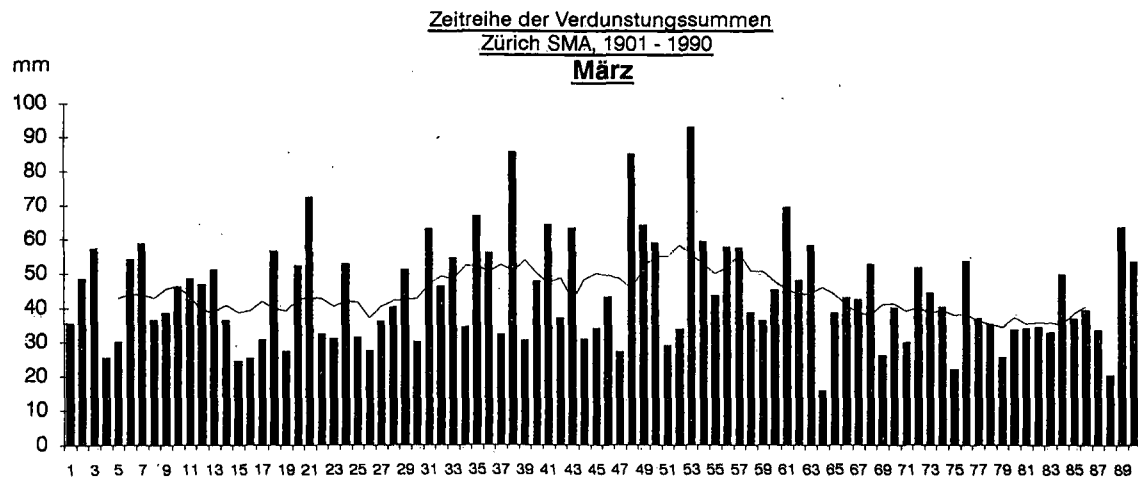
Figur 65



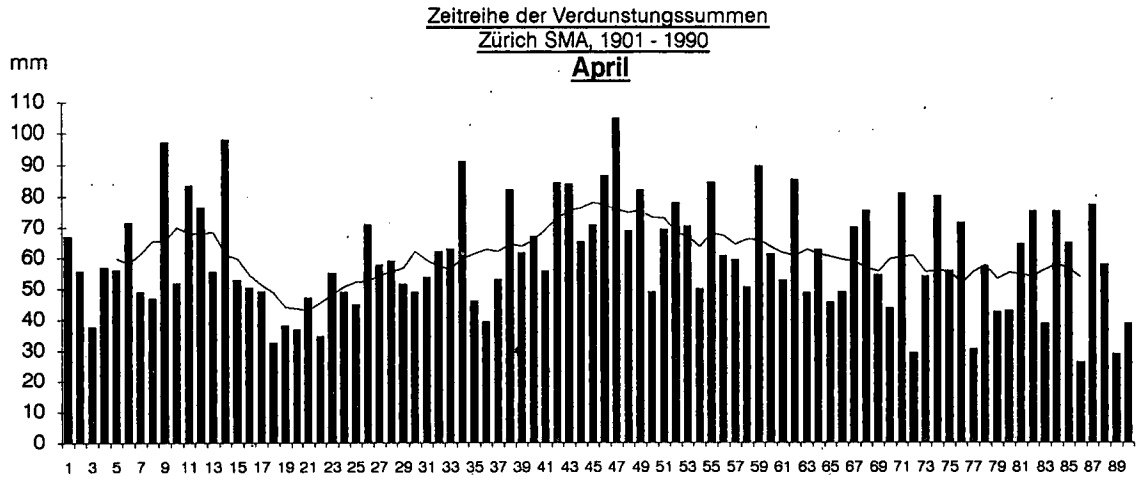
Figur 66



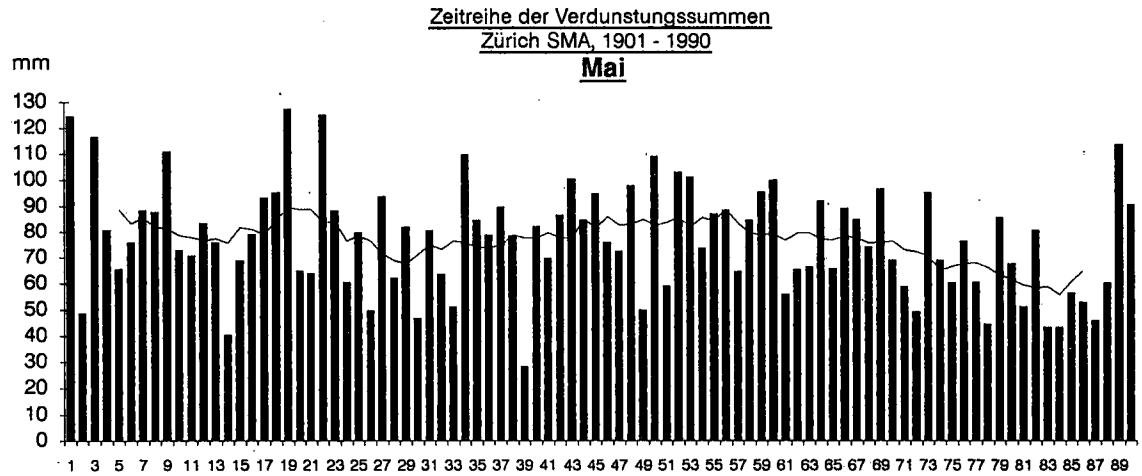
Figur 67



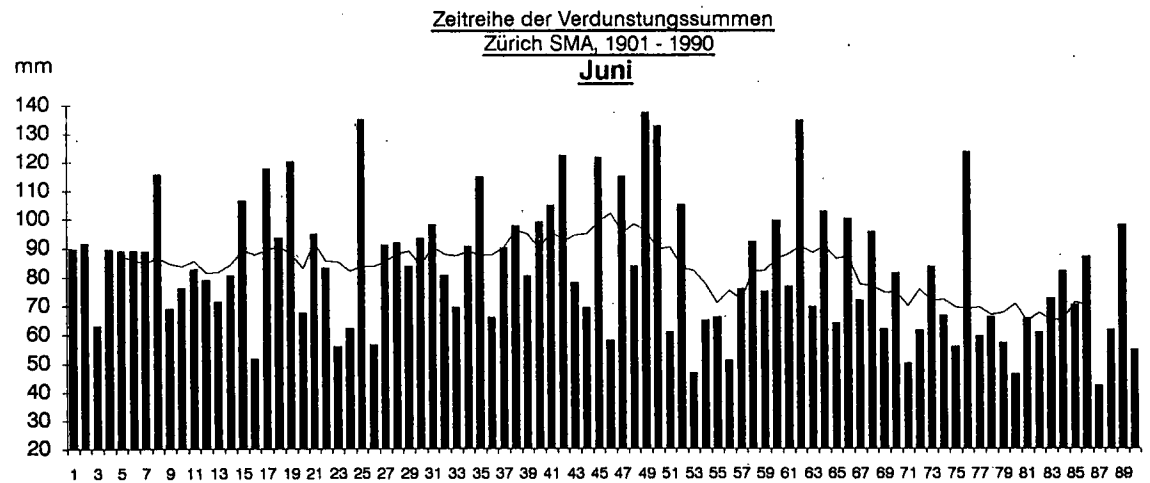
Figur 68



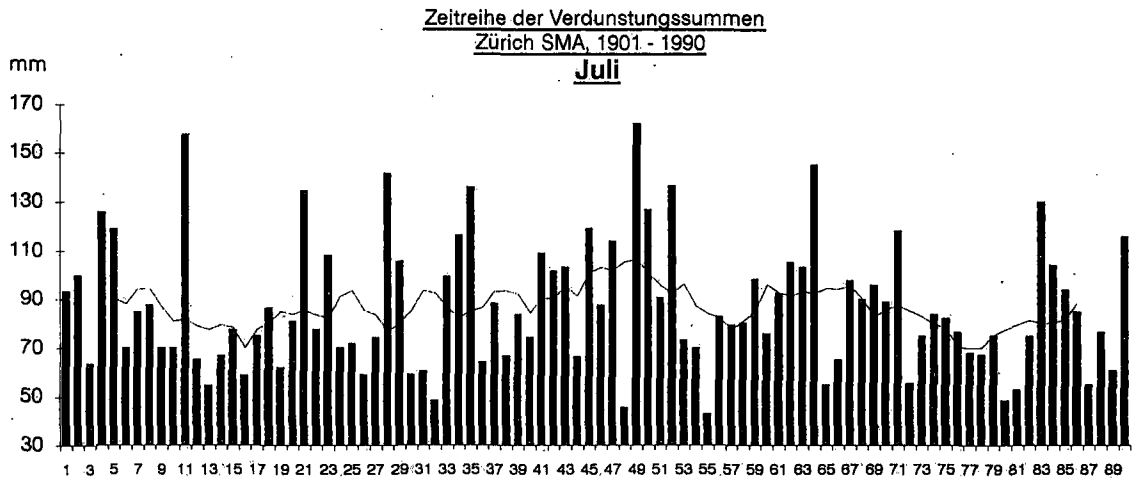
Figur 69



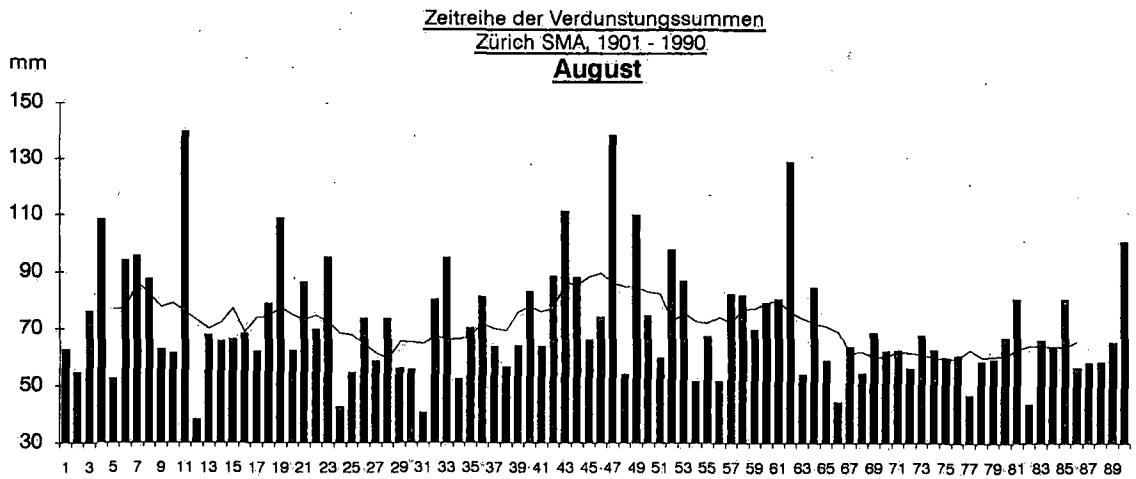
Figur 70



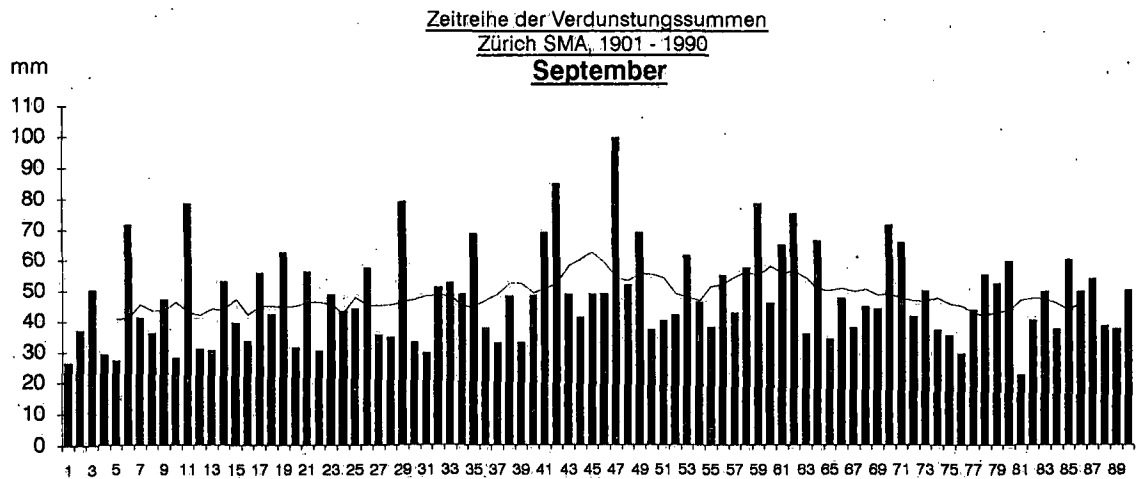
Figur 71



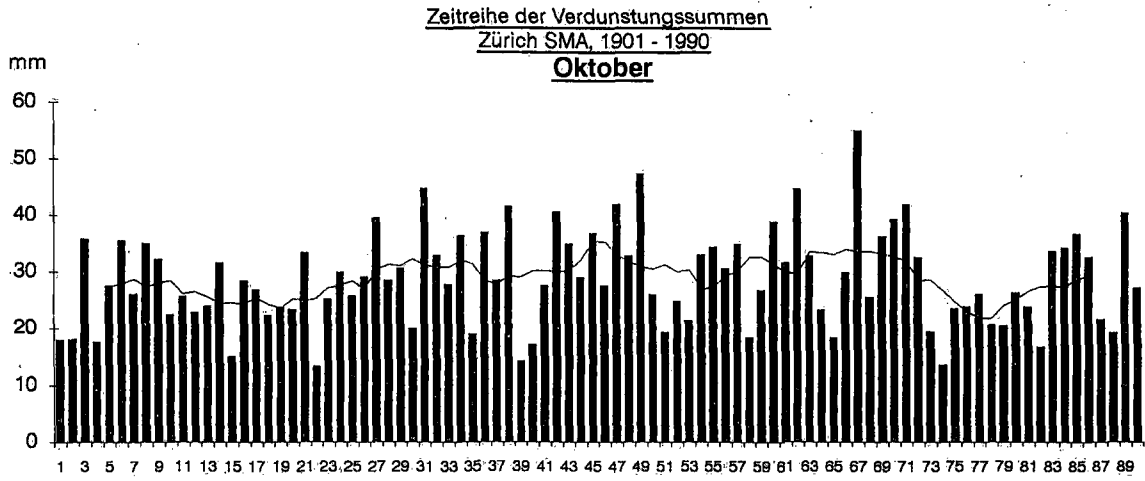
Figur 72



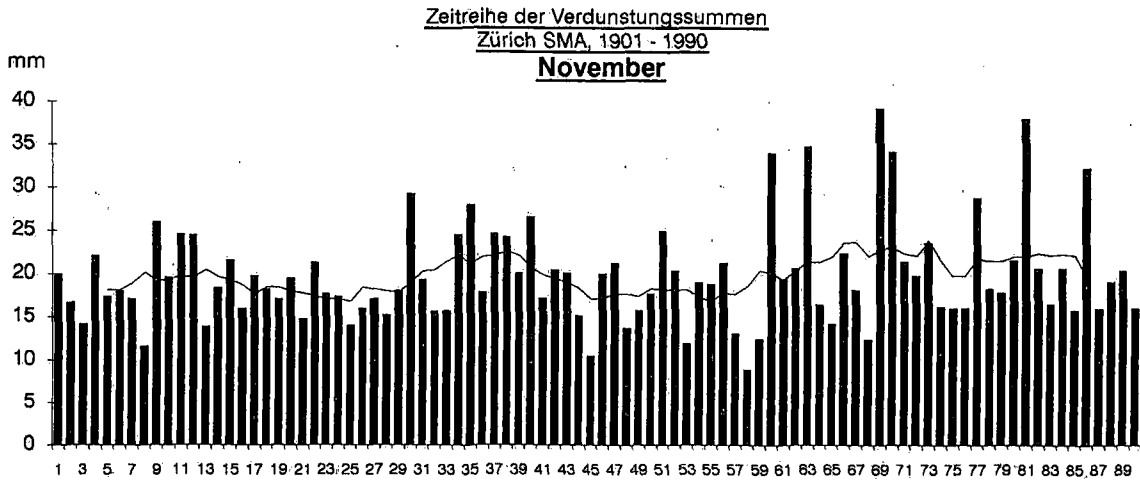
Figur 73



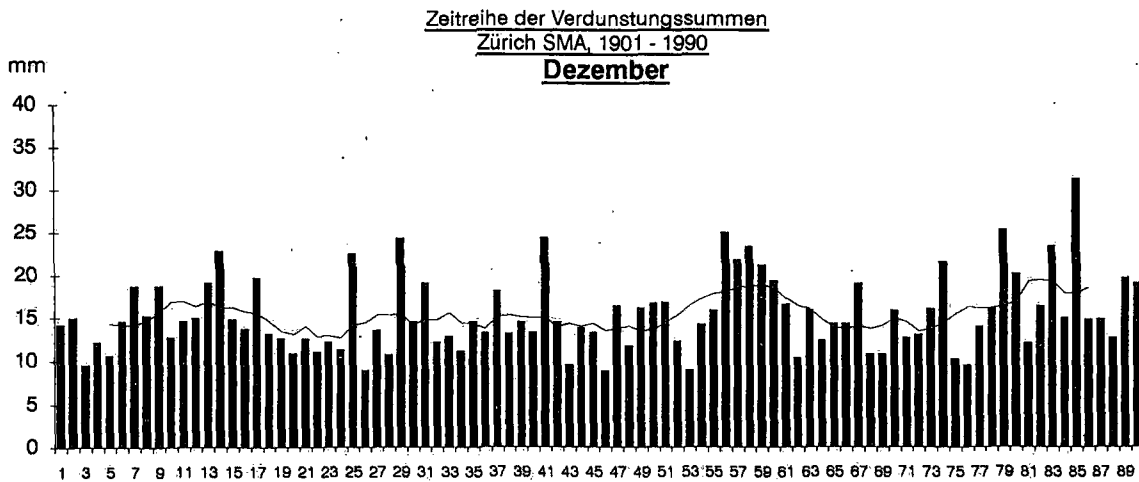
Figur 74



Figur 75



Figur 76

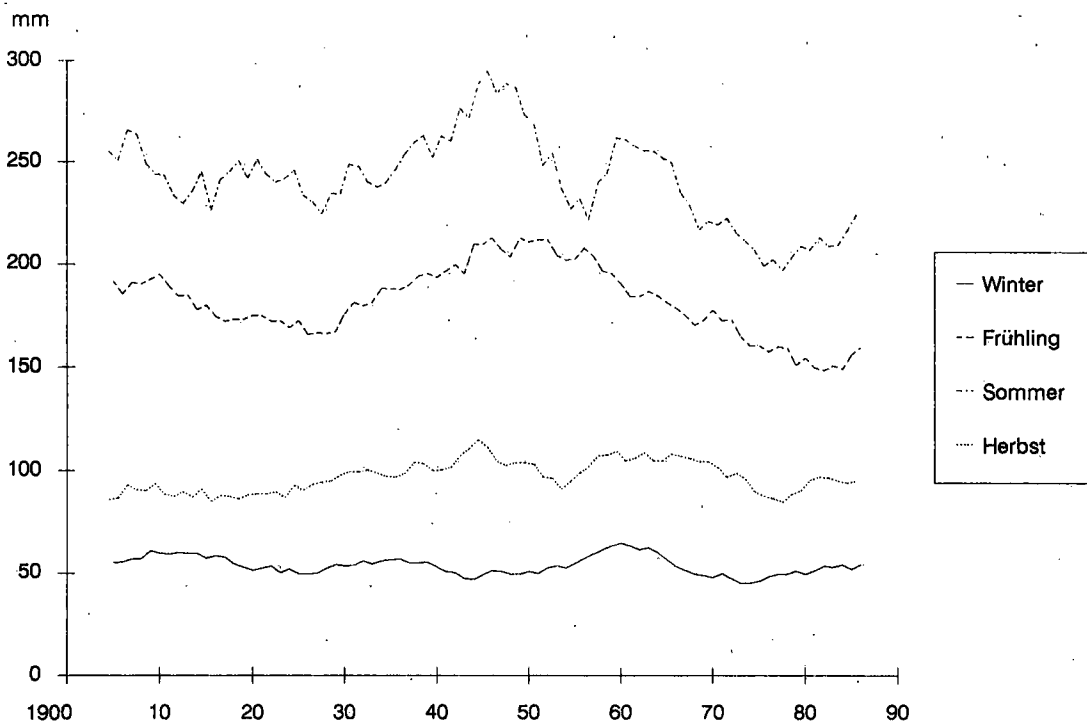


5.2.4 Vergleich der gleitenden Mittel der Jahreszeiten und der hydrologischen Halbjahre

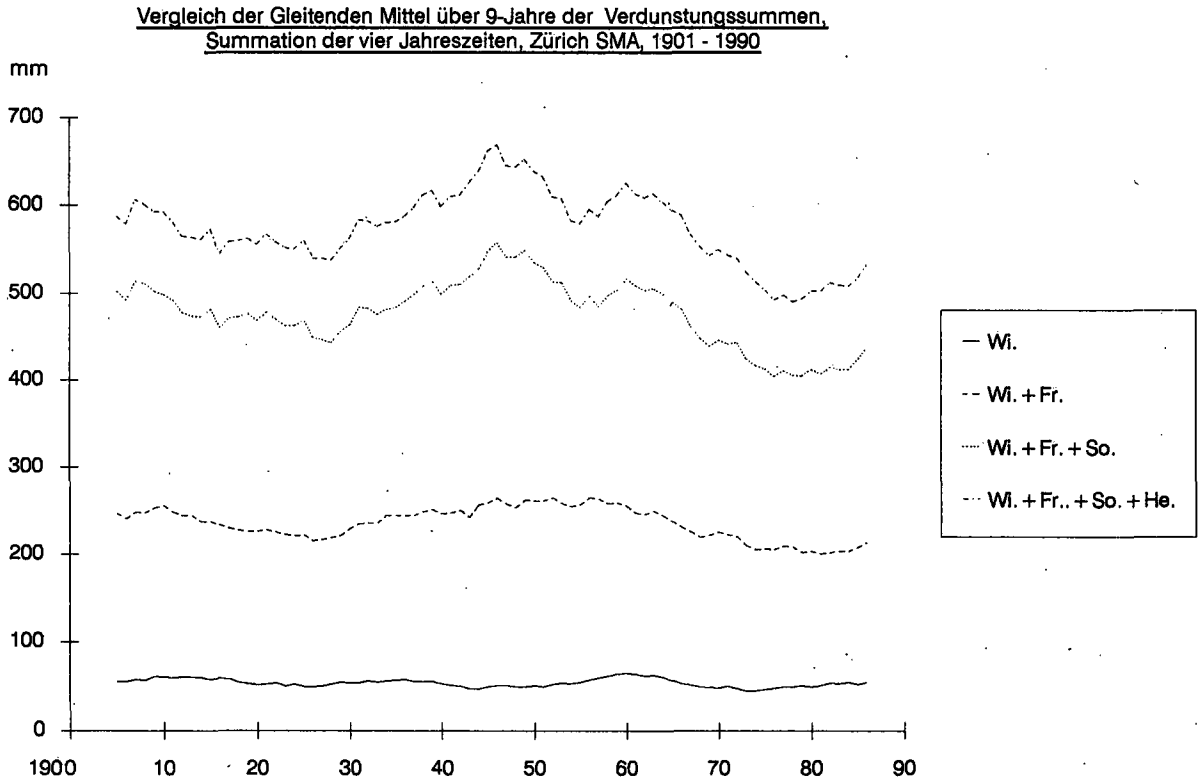
In den Figuren 77 bis 79 fällt vor allem die starke Abnahme der Verdunstungssummen im Frühling, Sommer und über das ganze Jahr auf, beginnend nach den extrem warmen und trockenen Jahren 1947 und 1949. Dieser Rückgang der Verdunstung darf als gesichert gelten, zeigt doch die Verdunstungswaage (Wild'sche Waage) das gleiche Verhalten (Fig. 12). Ein Vergleich mit den Stationen Bern, Neuenburg, Genf und Basel (Fig. 140, im Anhang) bestätigte diese Abnahme der Verdunstung. Das hydrologische Wintersemester weist selbstverständlich viel kleinere Schwankungen als das Sommersemester auf, da es auf einem tieferen Verdunstungsniveau basiert. Bei der Interpretation dieser Aussagen darf nicht vergessen werden, dass hier keine Transpiration in die Verdunstungsberechnung eingeflossen ist. Bei einer eventuellen Umsetzung auf eine Gebietsverdunstung kann dieser Rückgang ohne weiteres durch eine erhöhte Transpirationsrate wettgemacht worden sein, da sowohl Forst- wie Landwirtschaft heute viel intensiver produzieren als in den 50er Jahren.

Figur 77

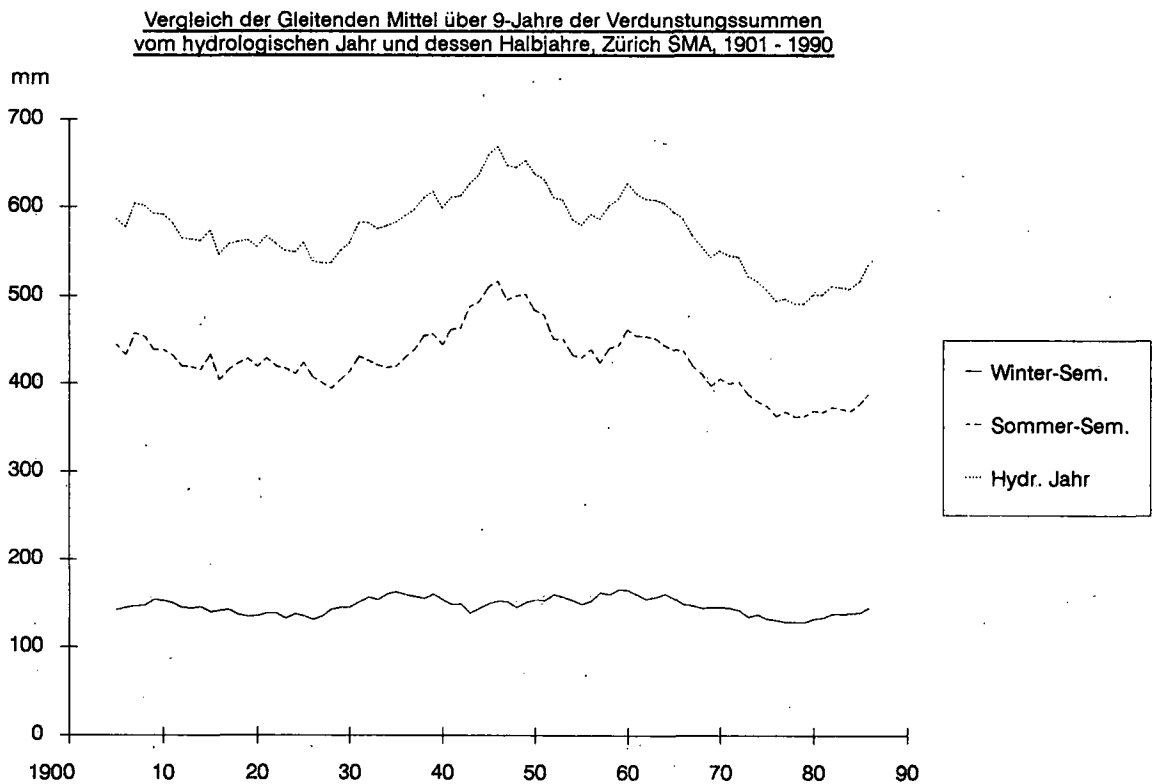
Vergleich der Gleitenden Mittel über 9-Jahre der Verdunstungssummen
der vier Jahreszeiten, Zürich SMA, 1901 - 1990



Figur 78



Figur 79



5.3 Die Wasserbilanz, 1901-1990

Die hier verwendete Wasserbilanz entspricht dem Niederschlag minus der berechneten Verdunstung. Sie kann für die wenigsten Anwendungen in der Praxis direkte Grössen liefern, kann aber als Grundlage zur Lösung vieler Fragen beitragen (Kap. 6, 7 und 8).

5.3.1 Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen sowie deren Mittelwerte

Tabelle 17

Wasserbilanz in mm, 1901-1990

Zürich SMA (Krähbühstrasse, 569 m ü.M.)

Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen und deren Mittelwerte

Niederschlag minus berechnete Verdunstung (Simulation Wild'sche Waage)

Werte von Tabelle 13 minus Werte von Tabelle 15

Jahr- zahl	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mal	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Winter	Frühl.	Som.	Herbst	Veget.	Hydrolog. Jahr		
																			Jahr	Wi.-S.	So.-S.
1901	18	4	38	142	-99	90	9	45	92	55	25	60	480	102	82	144	172	373	222	280	502
2	38	60	32	-20	118	48	54	139	68	98	3	68	708	158	129	242	169	536	270	407	677
3	39	-2	-1	19	-65	43	110	108	25	94	99	19	487	105	-47	260	218	333	205	239	444
4	40	99	31	43	57	37	-86	-19	78	47	44	44	415	158	130	-68	169	188	382	110	492
5	27	1	104	77	51	26	-13	209	133	86	69	35	804	72	231	222	288	672	266	482	749
6	45	52	37	-45	92	18	124	-30	-46	-4	32	77	351	132	84	112	-18	145	324	113	437
7	79	11	29	63	-19	45	66	-2	1	27	9	102	410	166	73	109	38	210	223	154	377
8	22	73	10	41	47	-23	103	0	122	-22	48	41	462	196	99	80	147	278	243	290	533
9	17	-10	33	-19	-58	161	96	77	24	46	7	97	472	48	-44	334	77	361	107	282	389
10	164	41	-12	49	110	148	99	127	82	7	160	75	1050	302	147	374	249	610	342	615	958
01-10	49	33	30	35	23	59	56	65	58	43	50	62	564	144	88	181	151	371	259	297	556
1911	13	28	8	-36	4	44	-115	-77	29	32	22	59	12	116	-24	-147	84	-110	291	-150	140
12	68	9	37	-30	60	117	34	175	24	153	28	30	706	136	67	326	205	570	228	380	608
13	61	-24	40	13	-6	92	64	78	83	-3	94	44	536	66	47	234	174	361	287	324	611
14	64	11	133	-30	168	75	49	86	40	1	31	36	663	119	271	210	72	523	343	388	731
15	68	56	54	57	35	-7	89	54	48	7	73	105	638	160	145	136	127	335	246	275	521
16	44	77	49	36	-5	168	90	57	57	117	55	100	846	227	79	315	229	568	355	403	758
17	11	-8	57	26	-14	-5	148	144	8	157	48	-1	572	103	69	288	213	522	331	308	640
18	41	-9	-6	36	-49	94	-2	8	148	30	12	173	492	48	-19	100	189	258	248	234	482
19	8	57	123	77	-86	-15	85	-64	-20	47	93	171	477	238	114	6	120	147	403	-23	379
20	61	-23	-12	37	39	7	53	38	63	-22	-13	50	278	210	64	98	28	202	338	236	574
11-20	44	19	48	19	14	57	49	50	48	52	44	77	522	142	81	157	144	338	307	237	545
1921	35	-17	-45	27	19	13	-80	19	41	12	49	32	105	69	0	-48	102	5	-11	39	28
22	99	91	44	156	-49	72	84	82	71	135	66	72	923	223	150	238	271	594	328	416	744
23	30	66	11	38	14	39	-30	-26	30	117	105	140	533	168	62	-17	252	193	378	65	444
24	24	11	-1	92	73	122	71	144	1	52	-6	13	596	175	164	337	47	554	396	502	899
25	35	14	3	62	-15	-62	101	80	91	6	53	122	491	62	50	119	151	266	111	258	369
26	52	23	37	-22	145	128	78	-18	-10	93	30	20	555	196	160	188	112	431	293	301	594
27	73	55	84	60	-7	54	71	161	132	-8	34	20	729	149	137	286	157	547	356	471	826
28	38	40	12	26	69	-3	-114	82	57	37	112	71	428	98	107	-34	205	167	136	118	254
29	23	-6	-25	76	-20	58	28	39	-10	90	23	90	367	88	31	126	103	237	211	173	384
30	23	-3	47	133	151	-5	214	85	42	133	94	34	947	109	331	294	269	801	269	621	890
21-30	43	27	17	65	38	42	42	65	45	67	56	61	568	134	119	149	167	380	247	296	543
01-30	45	26	32	39	25	53	49	60	50	54	50	67	551	140	96	162	154	363	271	277	548
1931	87	76	71	38	50	53	144	140	70	25	-1	36	789	197	159	337	94	591	494	495	989
32	43	-27	63	13	72	24	211	23	0	71	34	1	529	52	148	258	105	478	140	343	483
33	27	34	-7	14	165	140	4	-28	37	90	57	-5	528	62	172	115	185	415	160	332	492
34	69	-27	20	-66	-63	89	-9	143	83	73	0	67	378	37	-109	222	156	269	204	176	381
35	25	141	-33	102	30	-17	-54	33	40	185	25	108	586	233	99	-38	250	286	273	134	407
36	57	28	-21	138	32	112	188	6	161	45	39	29	813	193	149	307	245	661	382	637	1019
37	58	124	78	61	-9	19	-7	39	144	21	35	27	590	211	130	52	199	346	373	247	621
38	111	2	-47	-53	33	48	144	130	61	2	13	44	487	140	-67	322	75	318	149	363	511
39	36	-11	94	-14	250	39	59	70	99	217	86	54	981	68	330	169	403	816	178	504	682
40	39	65	36	24	84	36	104	63	205	44	102	82	885	158	145	204	351	597	498	517	1015
31-40	55	41	25	26	64	54	79	62	90	77	39	44	657	135	116	195	206	478	285	375	660

Jahr- zahl	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mal	Juni	Jütl	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Winter	Frühl.	Som.	Herbst	Veget. Jahr	Hydrolog. Jahr		
																				Wi.-S.	So.-S.
1941	66	35	-8	21	99	-5	-13	174	-54	70	43	20	447	183	112	156	58	283	320	221	542
42	103	12	43	-19	20	-1	27	72	-27	22	27	10	290	135	45	99	22	139	291	74	365
43	65	17	-2	-38	-40	41	31	-81	92	-34	63	7	121	92	-80	-9	121	-31	138	6	143
44	57	81	27	-12	-43	92	34	18	70	27	210	71	631	145	-28	144	306	213	201	159	360
45	50	53	32	-18	27	-50	-47	138	101	13	44	108	452	173	41	41	158	197	442	151	594
46	30	91	-15	-69	62	164	106	98	81	12	28	30	618	230	-22	368	120	439	272	443	714
47	75	48	113	-71	-20	-52	-9	-95	-48	-29	150	97	160	153	22	-156	73	-211	306	-295	11
48	115	34	-60	0	-42	87	140	49	0	-6	43	11	370	246	-102	276	36	167	307	234	541
49	16	-22	-14	32	29	-97	-116	-51	-14	-21	59	96	-103	5	47	-264	24	-252	28	-217	-189
50	17	43	-32	85	-31	-25	-47	53	92	22	218	25	420	157	23	-19	331	118	163	127	290
41 - 50	60	39	8	-9	6	15	11	38	29	7	88	47	341	152	6	64	125	106	247	90	337
1951	57	72	80	6	23	88	56	71	54	29	60	46	641	154	109	215	142	406	473	298	771
52	40	90	71	35	-22	13	-86	15	74	189	128	104	651	176	84	-59	391	289	335	29	364
53	15	17	-85	23	-8	210	94	-38	10	13	16	20	287	137	-71	267	38	219	369	291	660
54	53	44	-40	36	24	23	104	136	140	23	24	96	664	117	20	263	187	446	106	463	568
55	137	85	0	-45	56	76	167	12	45	3	-8	111	639	318	12	254	40	314	366	311	677
56	83	-12	9	44	45	25	136	178	16	94	18	-6	630	182	97	339	128	547	186	444	630
57	17	132	-1	12	-7	43	98	25	105	6	21	18	469	142	5	166	132	282	253	276	530
58	54	178	9	61	19	115	55	109	34	99	57	69	859	250	90	279	190	502	286	394	680
59	113	-31	40	-18	-42	103	-1	-16	-66	80	36	76	273	151	-21	86	50	79	347	-40	307
60	39	48	18	14	-18	51	70	159	63	97	69	34	643	162	14	280	229	455	296	339	635
51 - 60	61	62	10	17	7	75	69	65	48	63	42	57	576	179	34	209	153	354	302	280	582
31 - 60	58	47	15	11	26	48	53	55	56	49	56	50	524	155	52	156	161	313	278	248	526
1961	67	28	-38	45	83	-15	47	31	-31	10	8	113	348	129	90	63	-13	132	257	160	418
62	111	54	23	-29	77	-78	-53	16	22	-30	3	121	236	278	70	-115	-5	-53	319	-45	273
63	9	20	74	49	21	48	-6	79	62	38	76	-14	458	151	144	121	177	366	198	253	451
64	9	18	121	29	84	-7	-102	47	1	53	42	28	324	14	234	-62	96	226	250	52	302
65	55	8	60	141	143	88	118	92	98	-5	142	154	1094	91	344	298	235	734	246	679	926
66	42	103	28	69	-15	-16	119	169	33	17	85	131	767	299	81	272	136	405	464	359	823
67	83	13	56	-42	29	71	32	22	141	-19	48	44	478	228	42	125	171	290	386	253	639
68	123	55	-4	0	30	-21	-9	150	183	10	24	41	583	222	26	120	218	339	247	333	581
69	40	26	28	30	-22	125	-38	120	-21	-27	56	69	386	107	36	207	8	195	169	194	363
70	48	276	21	156	26	68	16	163	-15	18	47	24	848	392	203	247	50	453	443	414	857
61 - 70	59	60	37	45	-45	26	12	89	47	7	53	71	552	191	127	128	107	309	298	265	563
1971	21	41	15	-15	25	152	-24	60	14	2	68	26	385	86	25	188	85	229	166	212	378
72	10	-5	-36	92	45	91	111	70	-9	-14	191	13	560	30	101	272	168	351	64	401	465
73	31	33	-11	34	-1	104	77	6	31	111	93	45	553	77	22	188	235	351	243	252	495
74	30	69	3	-39	59	71	52	37	44	113	112	80	633	145	23	161	269	341	351	225	576
75	60	-10	52	40	24	95	31	235	83	38	100	0	746	129	115	360	221	596	406	507	913
76	37	26	-41	-15	4	-89	152	58	74	38	43	101	388	63	-51	120	155	181	160	184	344
77	72	119	35	135	15	63	54	57	14	48	61	54	727	293	185	174	122	421	409	338	747
78	52	113	111	-10	91	70	33	121	-4	82	-2	79	736	218	192	224	77	494	437	301	739
79	62	71	112	58	-37	68	-5	49	43	67	130	75	693	212	133	112	241	356	405	177	581
80	92	47	42	32	17	114	79	5	-26	101	28	25	556	213	92	198	103	365	452	222	674
71 - 80	47	50	28	31	24	74	56	70	27	59	82	50	598	147	84	200	168	369	309	282	591
1981	82	0	72	-43	55	-16	112	34	180	164	15	156	813	107	85	130	359	559	308	322	630
82	129	-1	12	-24	-41	123	99	159	11	90	45	76	679	285	-53	381	146	430	477	327	804
83	62	35	35	47	100	-7	-93	-10	67	2	76	13	327	173	182	-110	145	141	342	104	446
84	79	45	-25	-4	44	3	-41	14	192	35	47	45	434	137	15	-25	274	218	191	207	398
85	64	38	5	42	71	58	-32	13	-15	-30	119	38	372	147	118	40	74	113	234	138	372
86	125	42	34	154	98	12	35	103	-20	42	6	68	697	205	286	150	27	457	328	381	709
87	35	76	30	-2	102	190	78	58	114	13	45	36	775	179	130	326	172	583	257	540	797
88	36	33	170	18	65	107	90	162	32	94	37	105	947	105	252	358	163	736	332	472	805
89	-6	54	-16	89	-65	-20	137	52	35	62	10	39	373	153	8	169	108	275	268	229	497
90	15	115	-7	29	1	151	-33	-51	78	91	125	51	565	170	23	67	294	259	235	176	410
81 - 90	62	44	31	30	43	60	35	53	67	56	53	63	598	166	105	149	176	377	297	290	587
61 - 90	56	51	32	36	38	53	35	71	47	41	63	61	583	168	105	159	150	351	301	279	580
01 - 90	53	42	26	29	30	51	46	62	51	48	56	59	553	154	84	159	155	342	283	268	552

5.3.2 Verteilungen

Tabelle 18 sowie die Figuren 80, 81 und 82 zeigen in tabellarischer wie graphischer Form die Verteilung der Wasserbilanz von 1901 bis 1990. Die Klassengrenzen wurden wie im Kapitel 3.2 beschrieben ermittelt. Die Figuren 81 und 82 wurden aus der Figur 80 entwickelt, indem der Zentralwert bewusst weggelassen wurde und zwischen den Klassengrenzen die Anzahl der Fälle in Prozent angegeben wurden. Die Figuren 81 und 82 werden im Anhang (Figuren 138 und 139) nochmals im A4 Format dargestellt, um sie als Arbeitskopie verwenden zu können. Die Ergebnisse werden in den Kapiteln 6, 7 und 8 diskutiert und interpretiert.

Tabelle 18

Wasserbilanz in mm, 1901-1990
Zürich SMA (Krähbühstrasse, 569 m ü.M.)
Verteilung der Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen

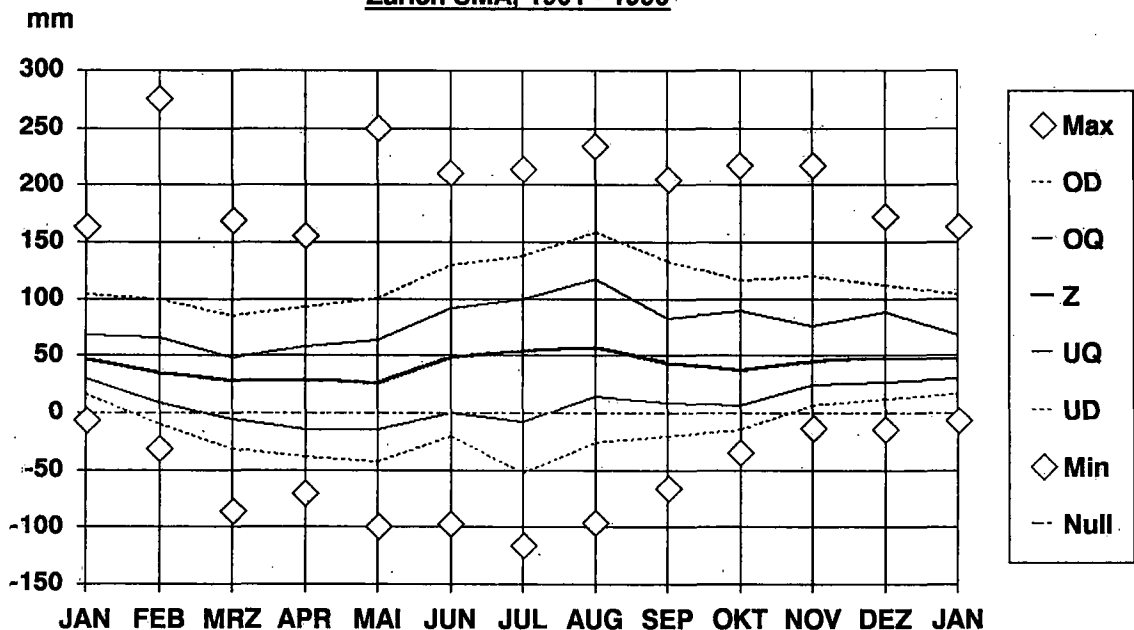
Niederschlag minus berechnete Verdunstung (Simulation Wild'sche Waage)
 Werte von Tabelle 13 minus Werte von Tabelle 15

	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Winter	Frühl.	Som.	Herbst	Veget. Jahr	Hydrolog. Jahr	Hydrolog. Jahr	
																			Wi.-S.	So.-S.	Jahr
M	53	42	26	29	30	51	46	62	51	48	56	59	553	154	84	159	155	342	283	268	552
s	34	49	47	54	62	64	76	70	59	55	48	42	225	73	95	140	94	209	107	181	227
Jahr	1910	1970	1988	22/70	1939	1953	1930	1975	1940	1939	1950	1918	1965	1970	1965	1982	1939	1939	1940	1965	1939
Max	164	276	170	156	250	210	214	235	205	217	218	173	1094	392	344	381	403	816	498	679	1019
OD	104	100	85	93	100	129	138	159	133	117	120	111	846	239	193	327	272	595	412	495	830
OQ	68	65	48	58	64	92	99	117	83	90	76	88	696	197	143	271	218	490	354	386	702
Z	47	35	28	29	25	48	54	57	44	37	45	48	554	152	83	169	153	340	287	276	541
UQ	30	9	-5	-15	-15	0	-8	14	9	7	25	27	412	105	22	89	84	211	214	163	391
UD	16	-11	-32	-38	-42	-20	-53	-26	-20	-14	7	13	290	63	-30	-39	37	131	148	51	306
Min	-6	-31	-85	-71	-99	-97	-116	-95	-66	-34	-13	-14	-103	5	-109	-264	-18	-252	-11	-295	-189
Jahr	1989	1959	1953	1947	1901	1949	1949	1947	1959	1943	1920	1963	1949	1949	1934	1949	1906	1949	1921	1947	1949

M = Mittelwert s = Standardabweichung

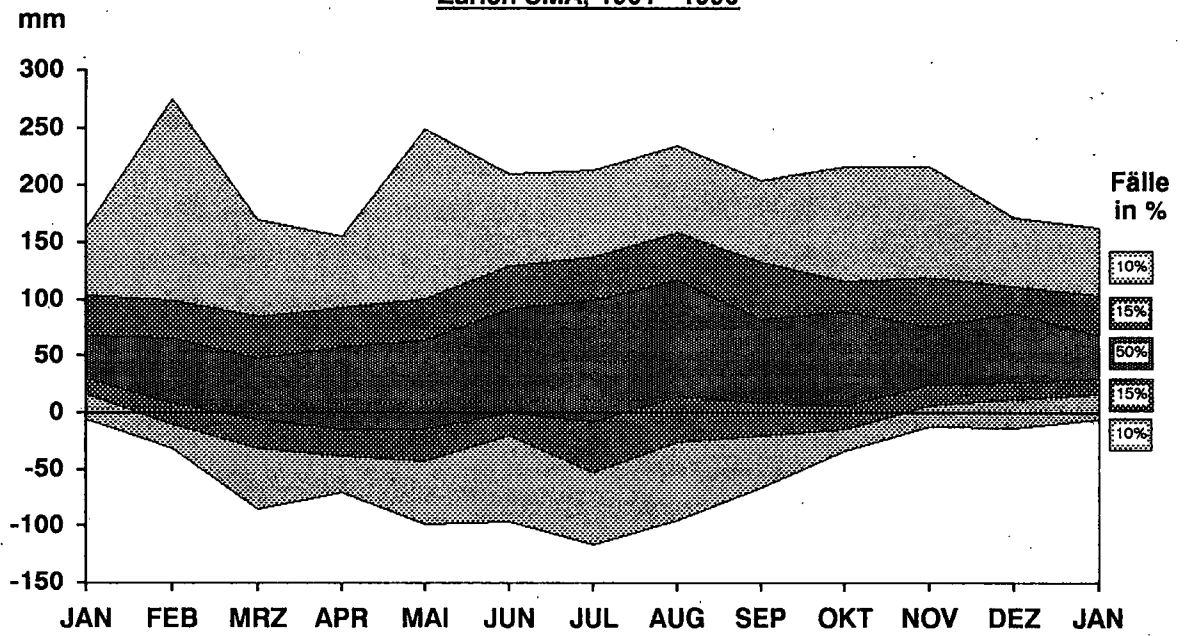
Figur 80

Statistische Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen,
Zürich SMA, 1901 - 1990



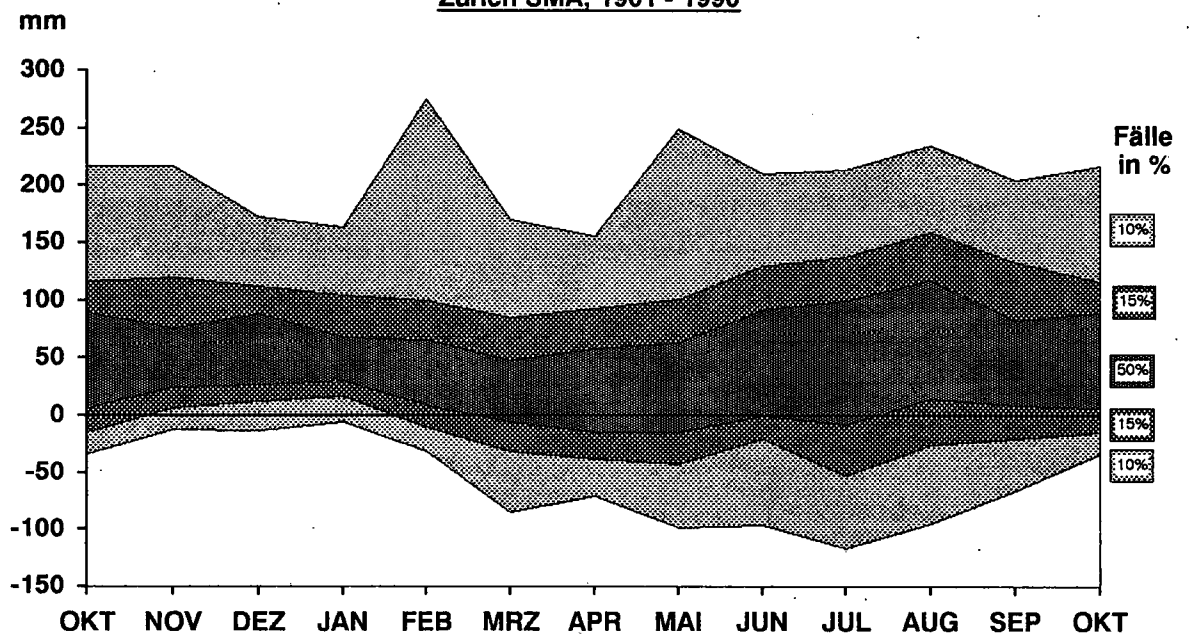
Figur 81

**Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen im Jahrgang,
Zürich SMA, 1901 - 1990**



Figur 82

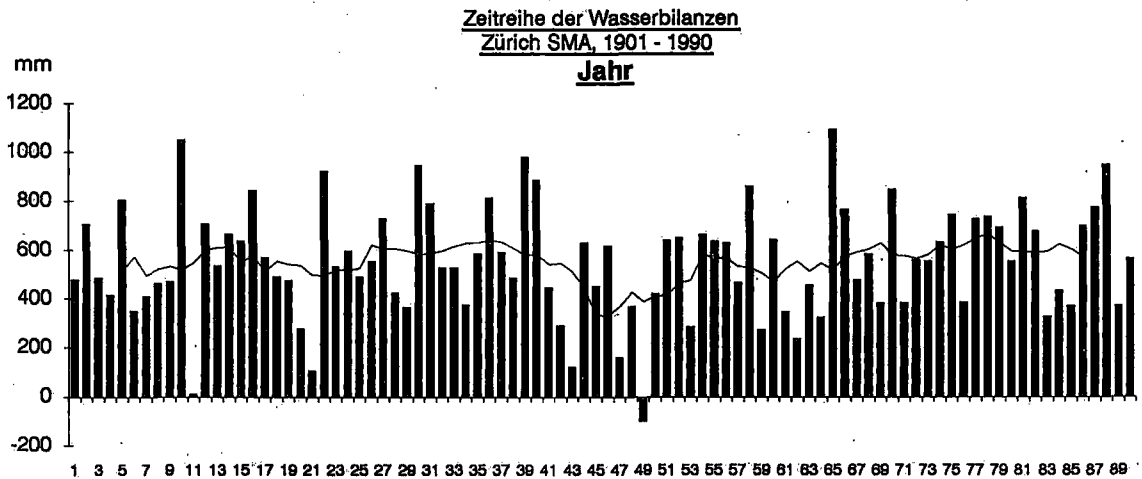
**Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen im hydrolog. Jahrgang,
Zürich SMA, 1901 - 1990**



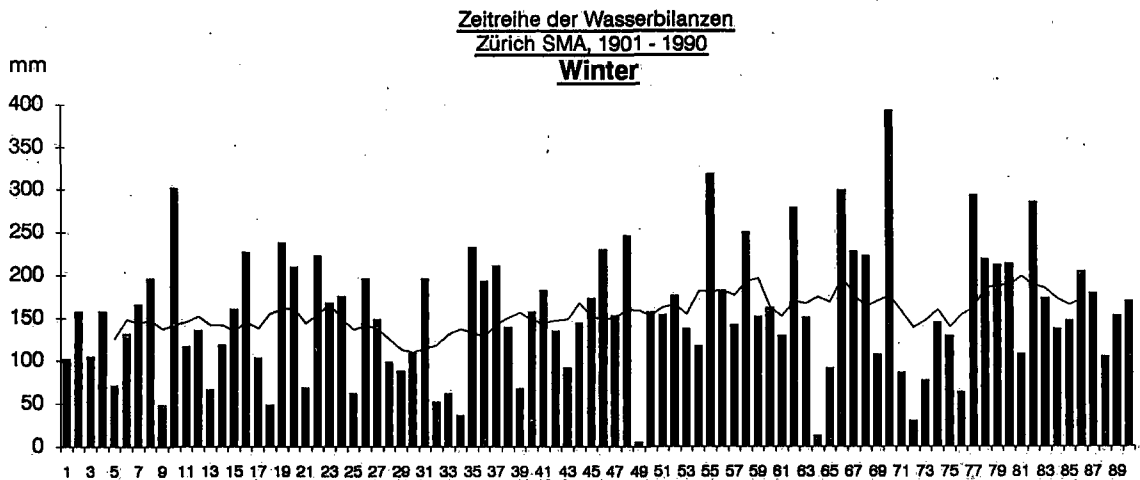
5.3.3 Zeitreihen und gleitende Mittel

Bei den Zeitreihendarstellungen (Figuren 83 bis 103) geht es darum, extreme Einzel- wie auch Periodenereignisse optisch herauszuheben. Dazu wurde ein gleitendes Mittel über 9 Jahre (dem 5. Wert zugewiesen) und verschiedene Einteilungen auf den y-Achsen gewählt. Durch die verschiedenen Einteilungen der y-Achsen können die Monats-, respektive Jahreszeitensummen schlecht miteinander verglichen werden. Die Figuren 104 bis 106 im Kapitel 5.3.4 sollen dazu dienen, diesen Vergleich der Zeitreihen der vier Jahreszeiten sowie der hydrologischen Halbjahre, zu ermöglichen.

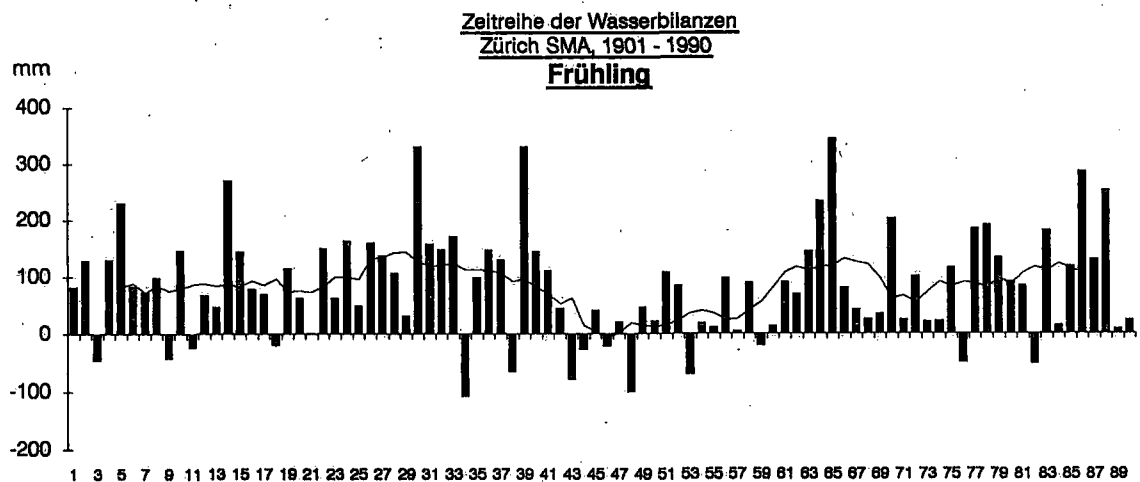
Figur 83.



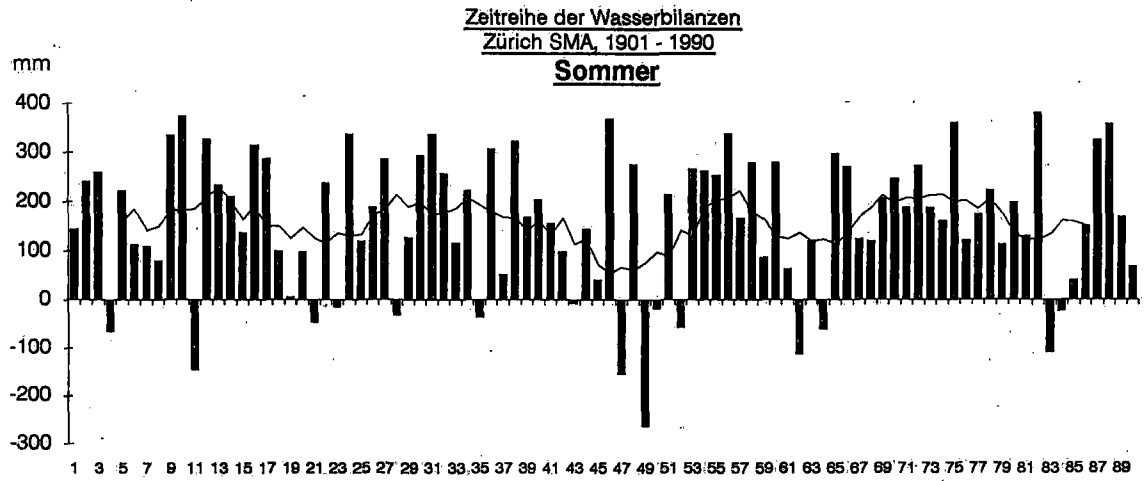
Figur 84



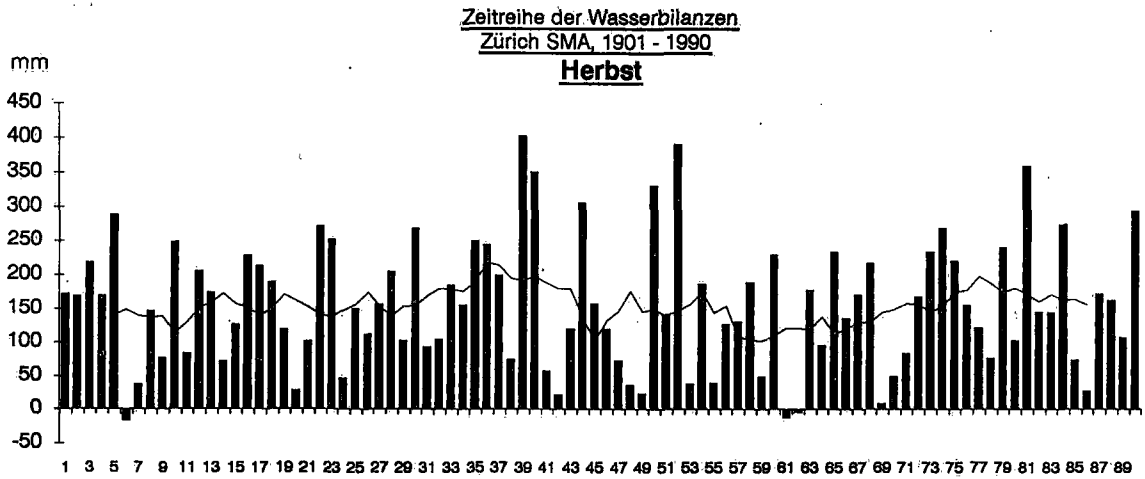
Figur 85



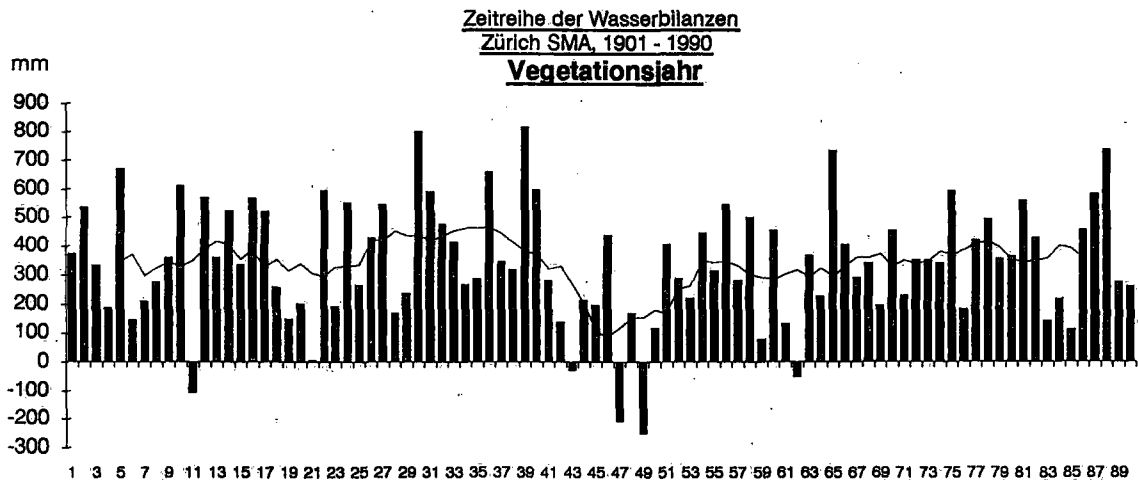
Figur 86



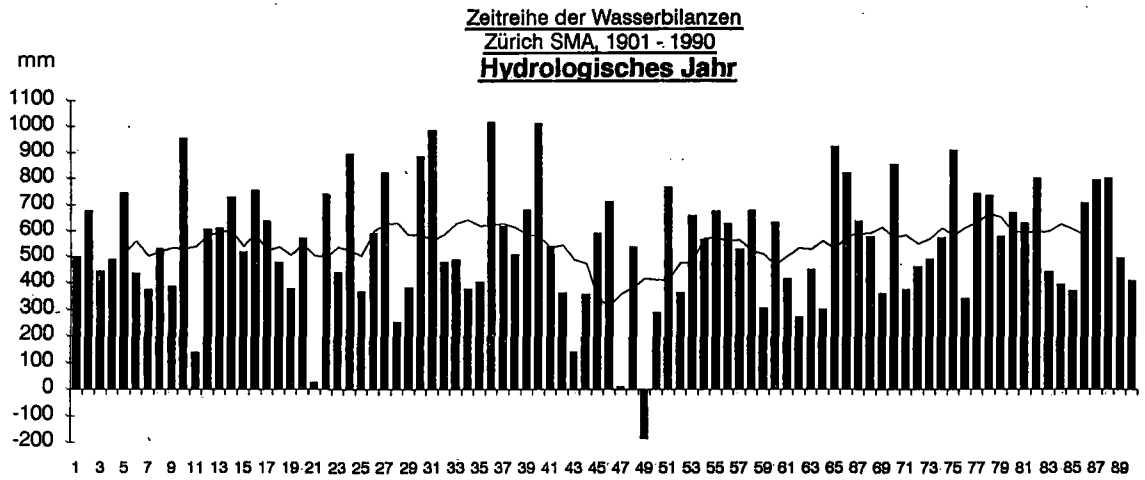
Figur 87



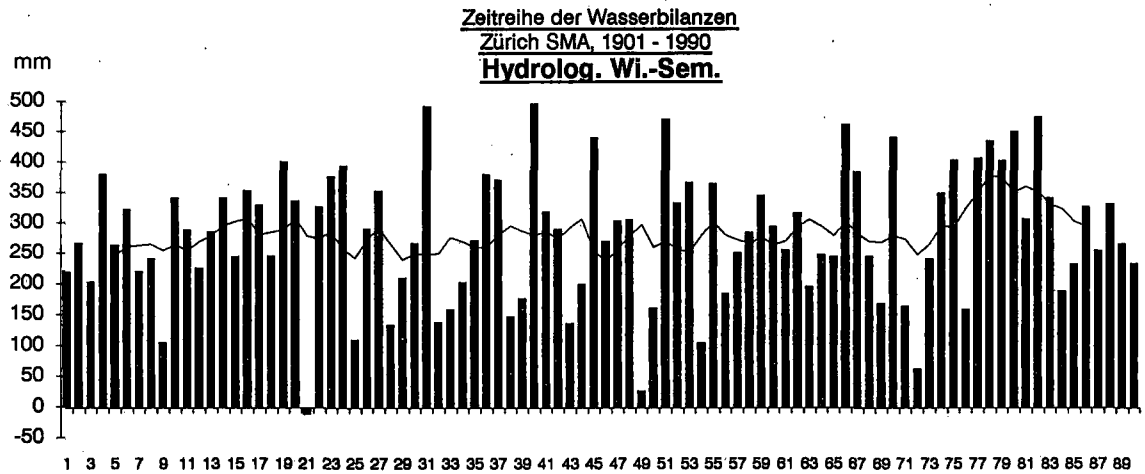
Figur 88



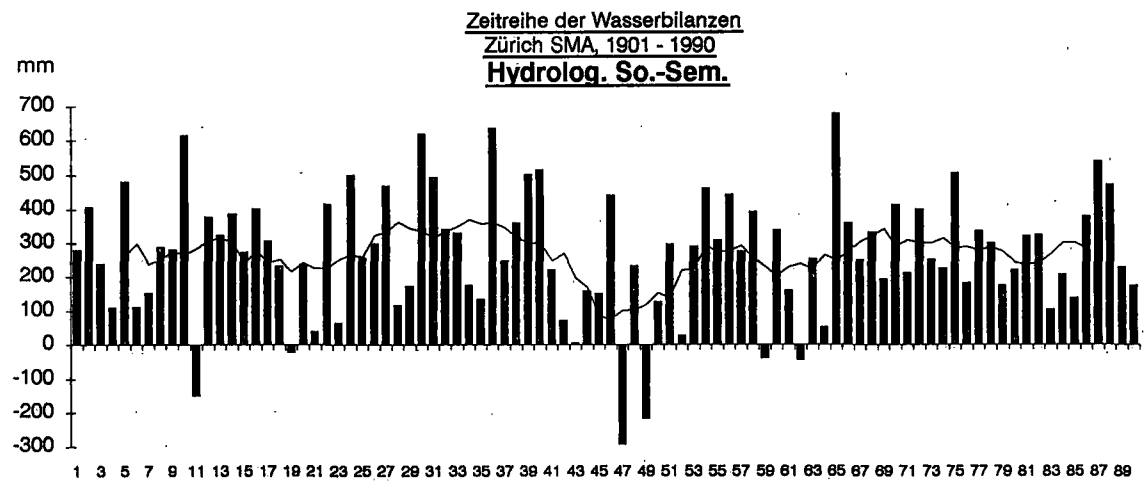
Figur 89



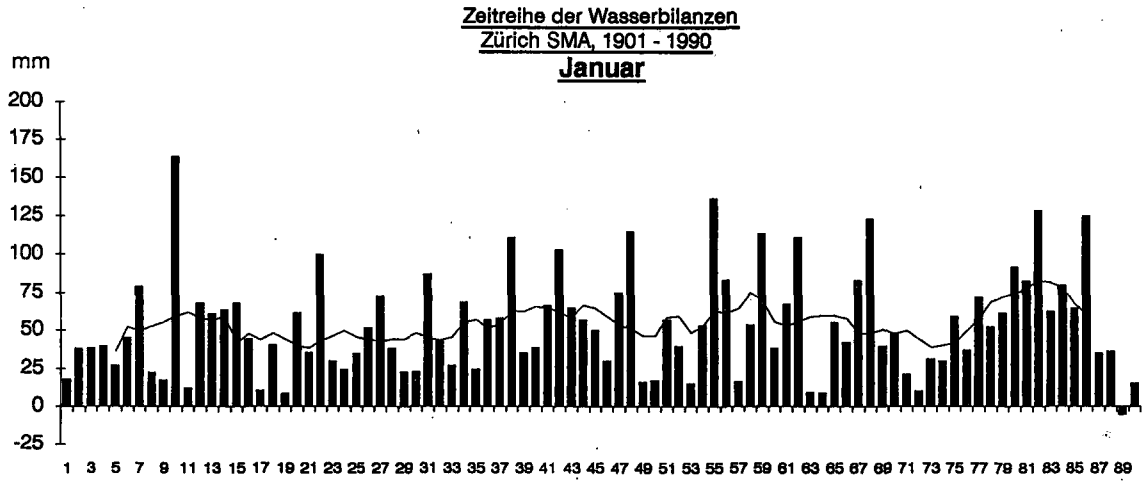
Figur 90



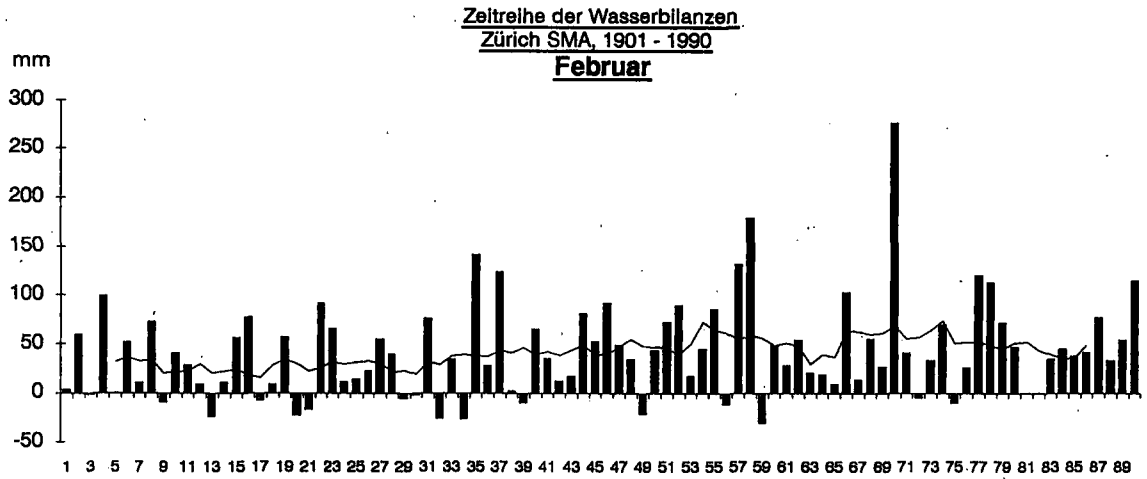
Figur 91



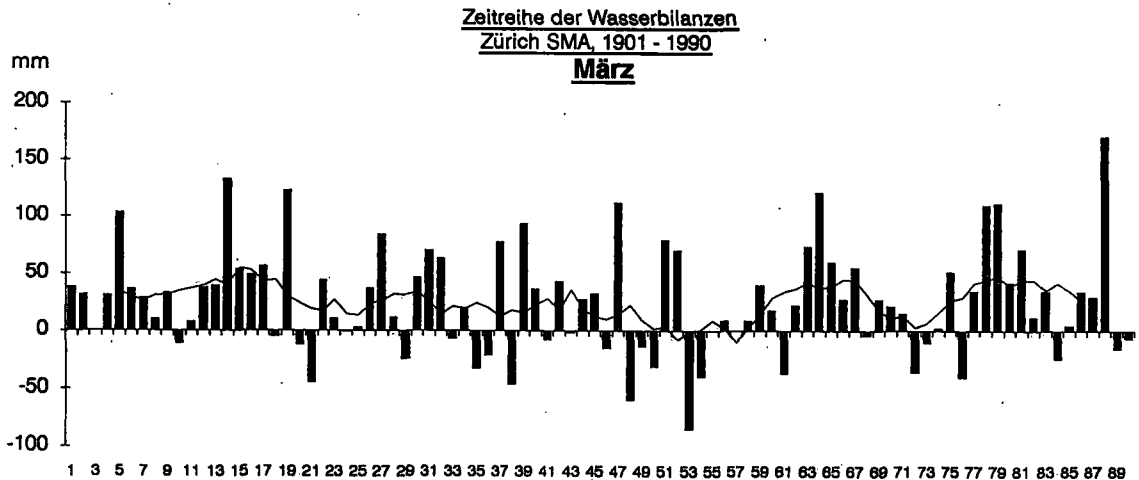
Figur 92



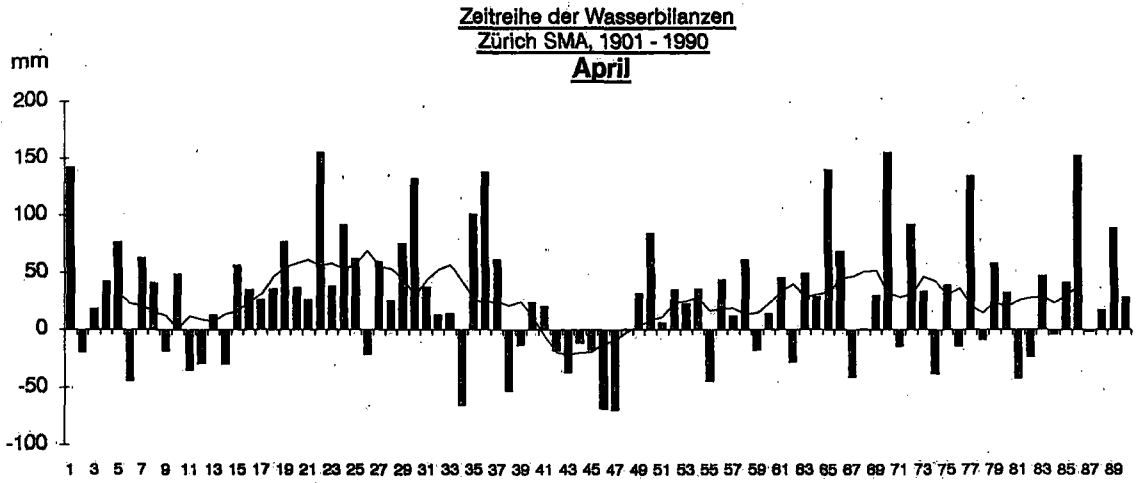
Figur 93



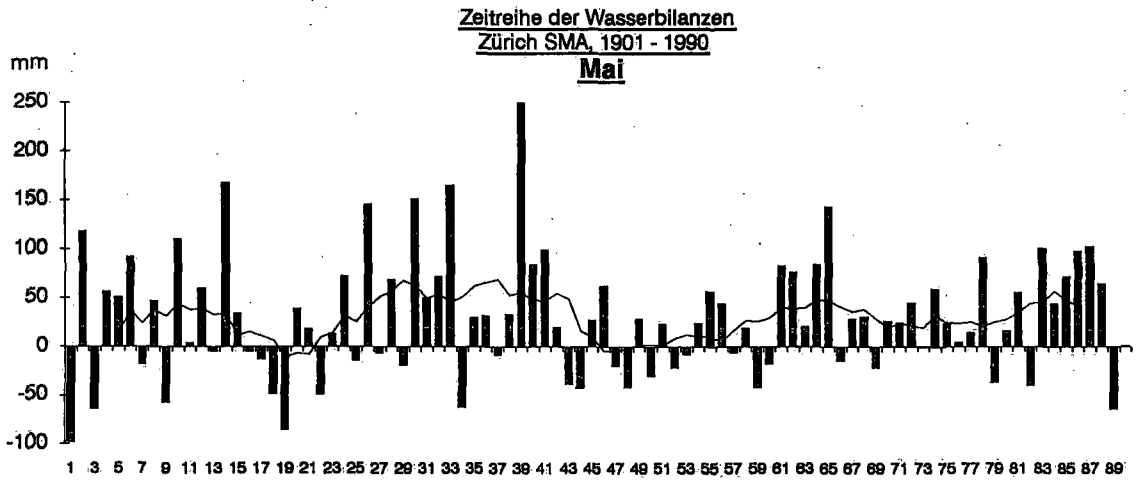
Figur 94



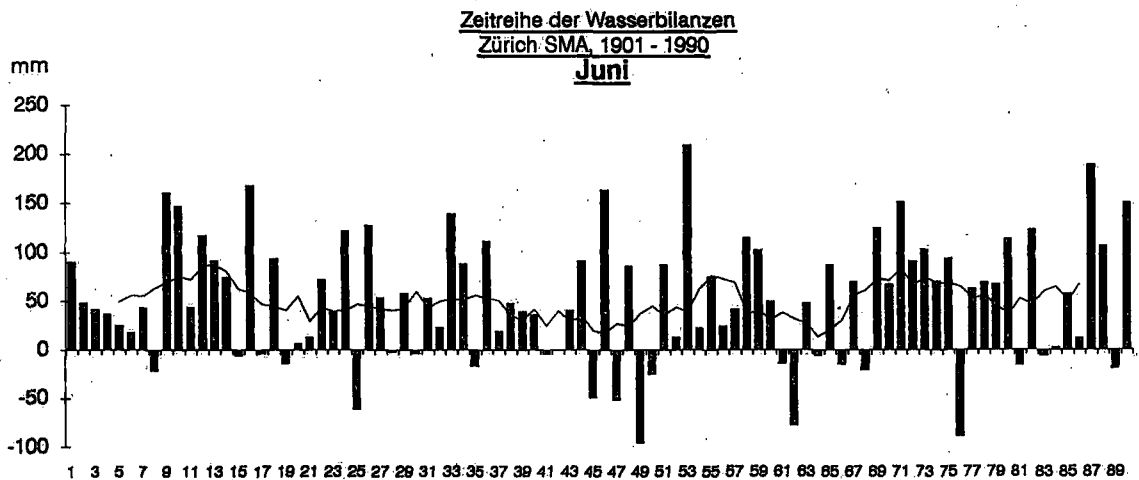
Figur 95



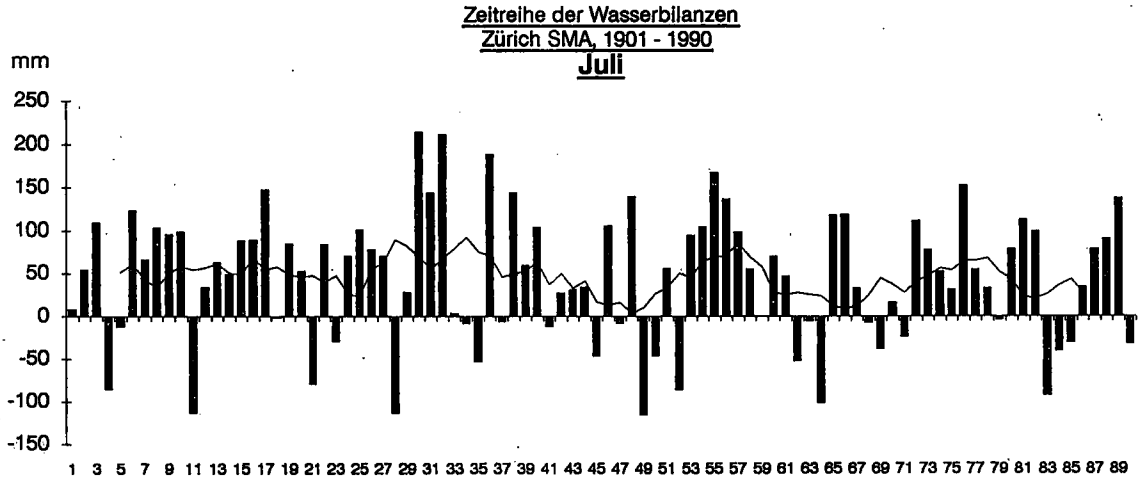
Figur 96



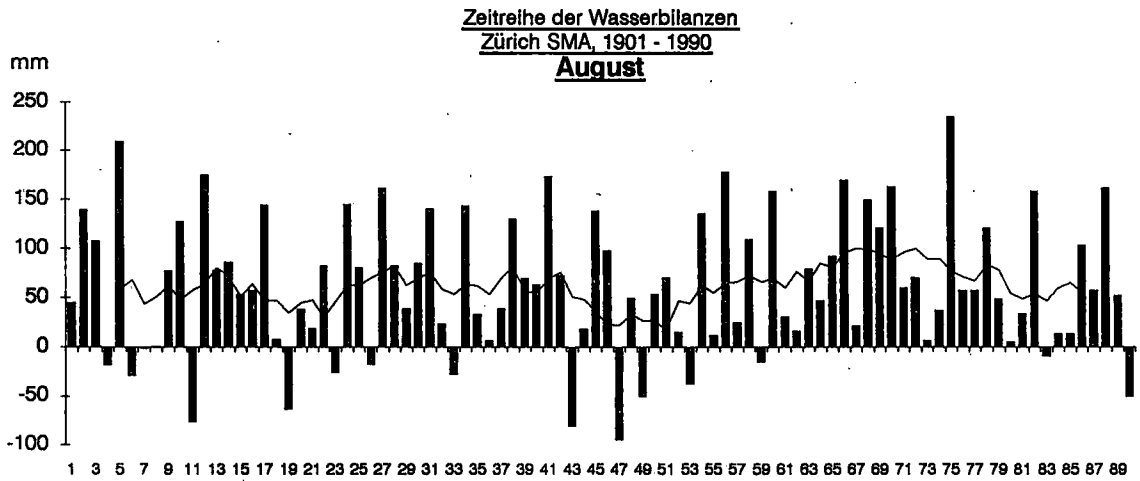
Figur 97



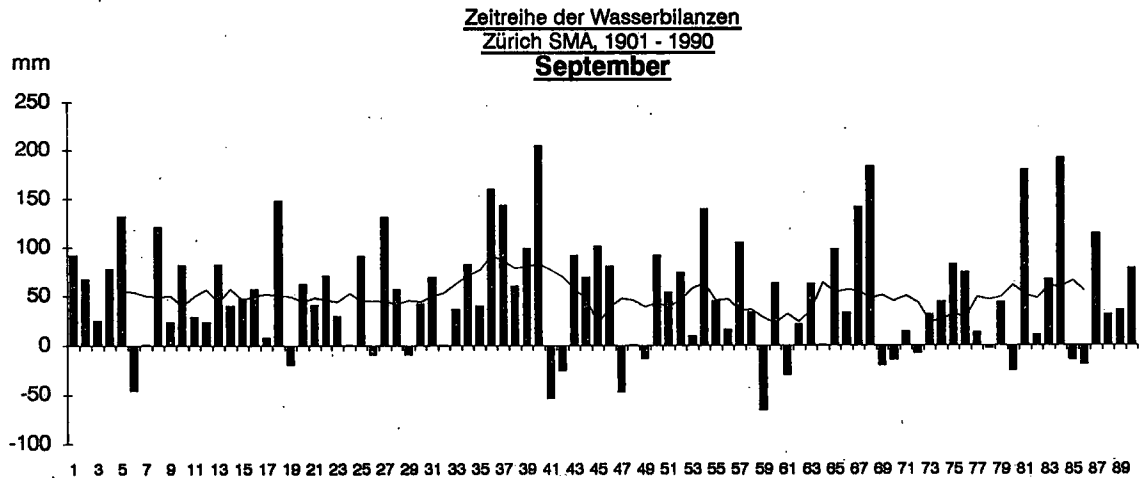
Figur 98



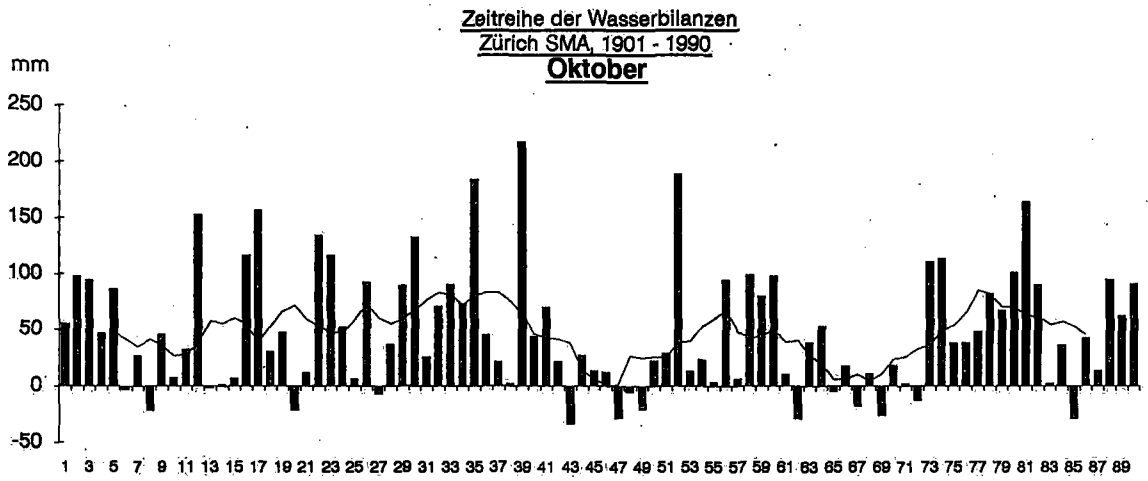
Figur 99



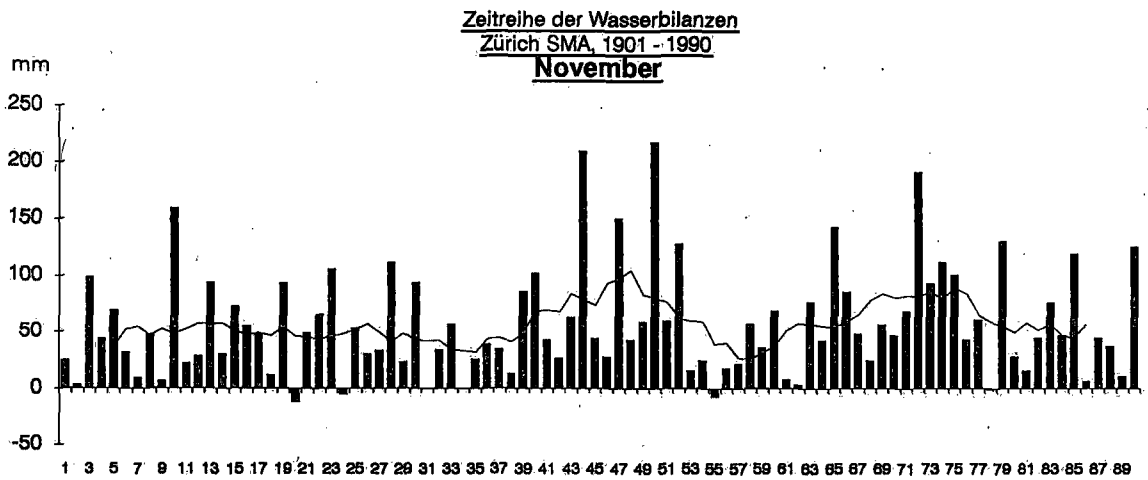
Figur 100



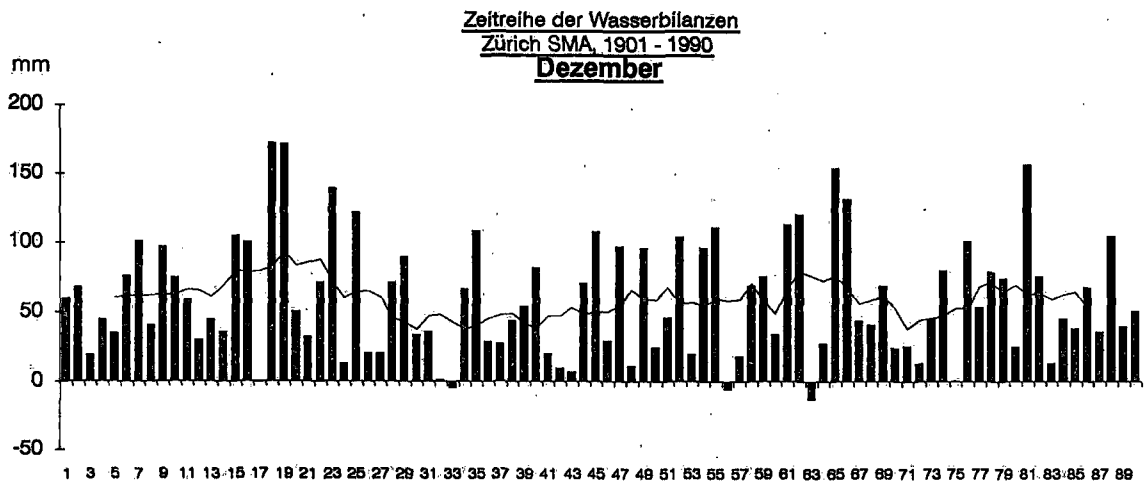
Figur 101



Figur 102



Figur 103

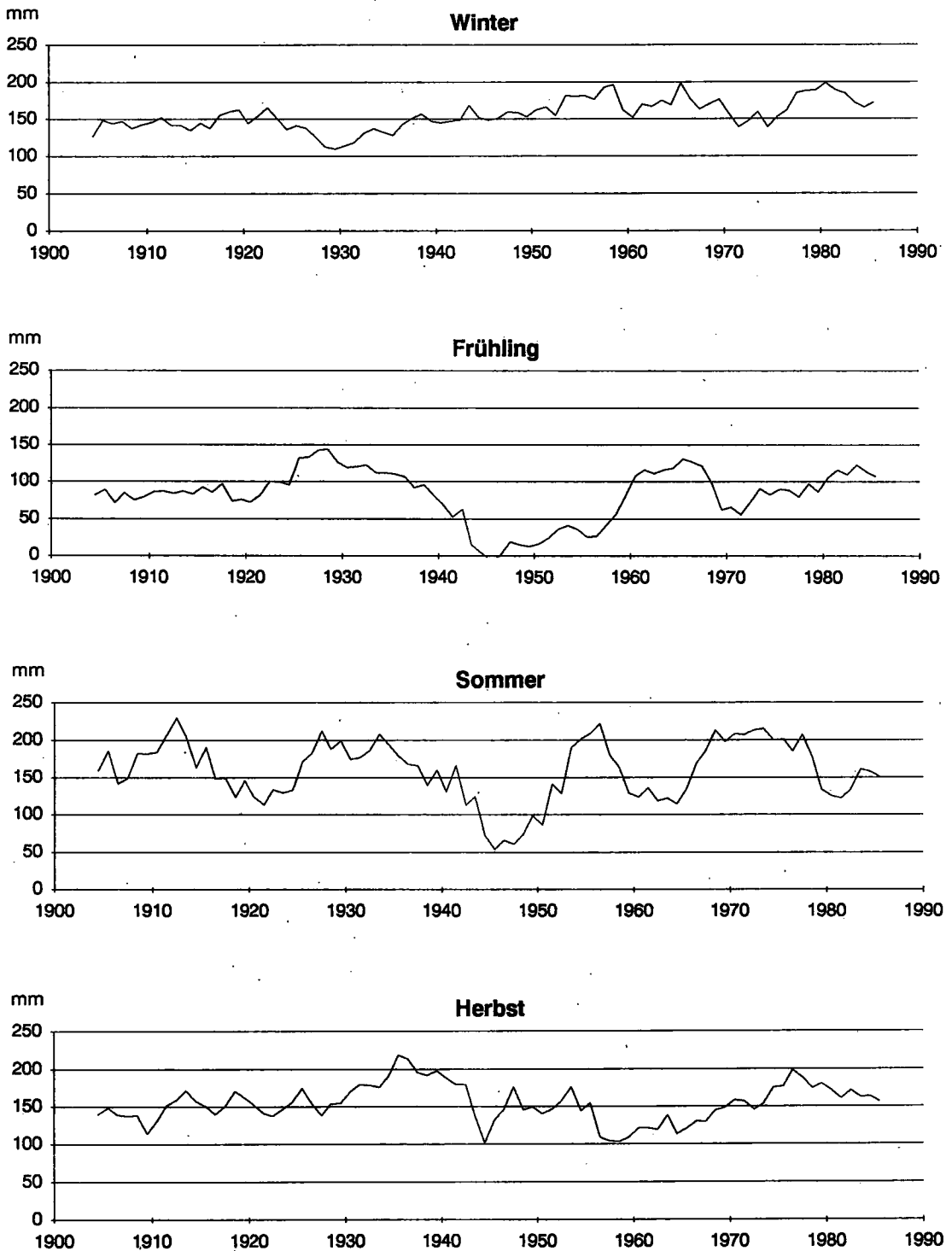


5.3.4 Vergleich der gleitenden Mittel der Jahreszeiten und der hydrologischen Halbjahre

Figur 104 zeigt die grossen Schwankungen der Wasserbilanzen, die im Frühling und Sommer sehr ausgeprägt sind, während der Winter nur kleine Veränderungen zeigt. Dies rührt einerseits von den kleinen Schwankungen des Niederschlages und andererseits von den kleinen Verdunstungsmengen im Winter her. In den Figur 105 und 106 erscheint wieder die extreme Periode 1940 bis 1955, die bereits beim Niederschlag und bei der Verdunstung aufgefallen ist.

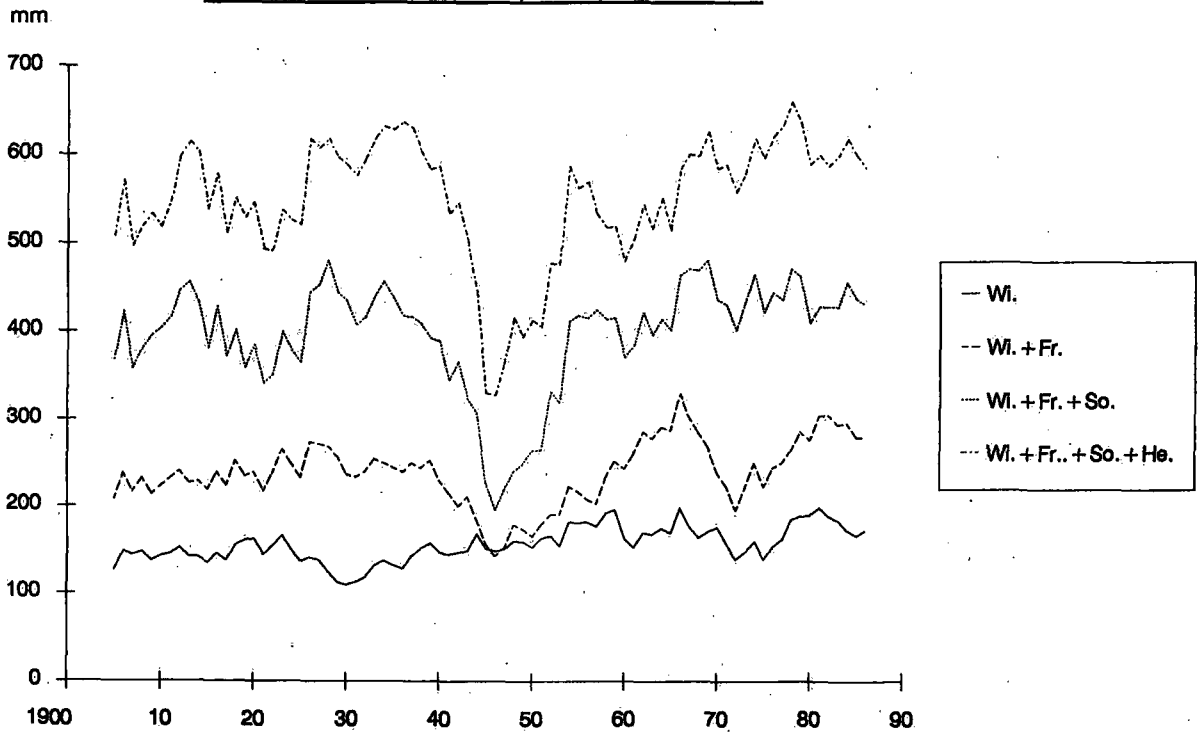
Figur 104

Vergleich der Gleitenden Mittel über 9-Jahre der Wasserbilanzen
der vier Jahreszeiten, Zürich SMA, 1901 - 1990



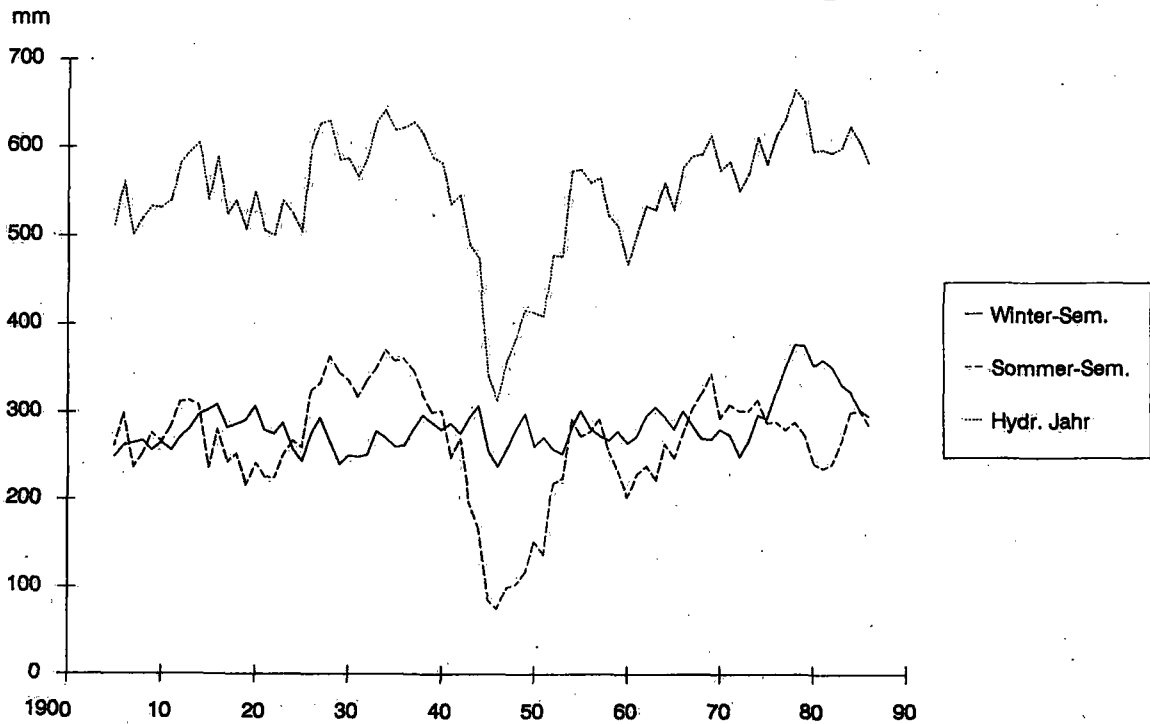
Figur 105

Vergleich der Gleitenden Mittel über 9-Jahre der Wasserbilanzen,
Summation der vier Jahreszeiten, Zürich SMA, 1901 - 1990



Figur 106

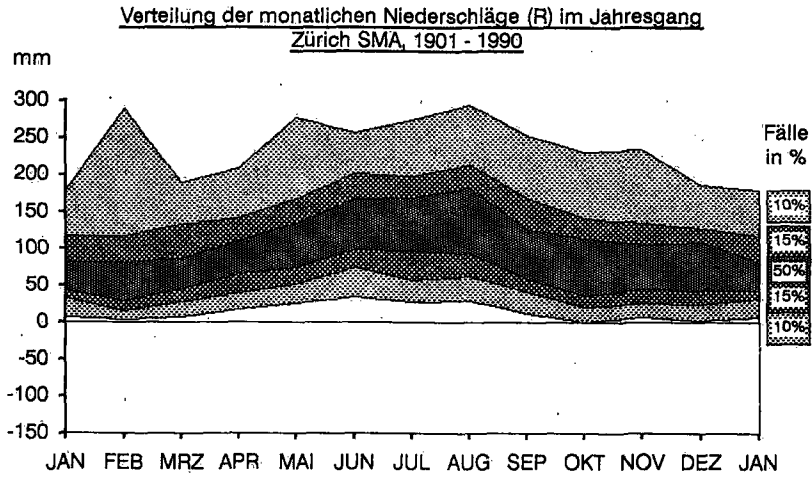
Vergleich der Gleitenden Mittel über 9-Jahre der Wasserbilanzen
vom hydrologischen Jahr und dessen Halbjahre, Zürich SMA, 1901 - 1990



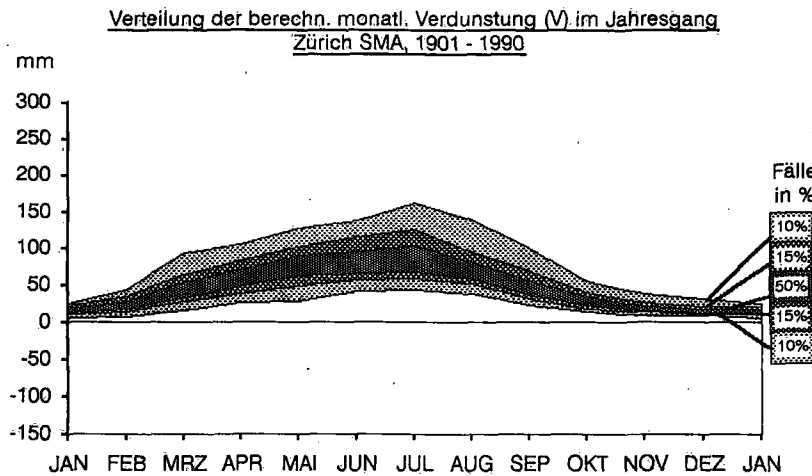
6. Zusammenhänge zwischen Niederschlag, Verdunstung und Wasserbilanz

In diesem Kapitel sieht man anhand einer Interpretation der Verteilungen, Zeitreihen und gleitenden Mittel, wie sich die Niederschläge, die Verdunstung und daraus resultierend, die Wasserbilanzen zueinander verhalten.

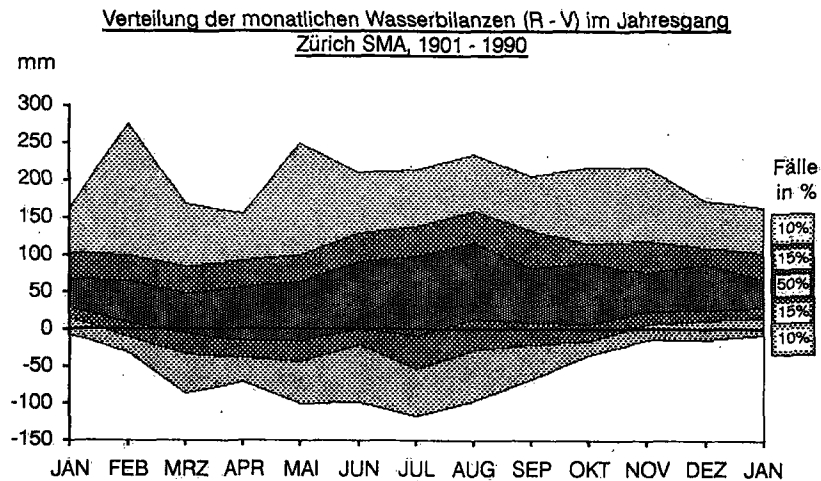
Figur 107



Figur 108



Figur 109



Die Verteilungen der Niederschläge (Figur 107), der Verdunstung (Figur 108) und der Wasserbilanzen (Figur 109) graphisch untereinander angeordnet, zeigen sehr schön die Zusammenhänge dieser drei Grössen auf.

Die Sommermonate erhalten im Mittel die grössten Niederschläge, aber auch die höchsten Verdunstungswerte. Im Winter sind sowohl die mittleren Niederschläge, wie auch die mittlere Verdunstung am kleinsten. Bei einer grosszügigen Beurteilung der Niederschlagsverteilung über eine noch längere Beobachtungsperiode, könnte auch gesagt werden, dass sich das Niederschlagsband über das ganze Jahr, in jedem Monat zwischen 0 und 300 mm bewegt.

Bei der Verdunstung, die viel stärker an den Jahreszyklus anlehnt, sind die Maxima eindeutig in den Sommermonaten zu finden, während die Minima im Winter auftreten. So liegen die Höchstwerte im Dezember, Januar und Februar unter den Tiefstwerten der Monate Juni, Juli und August.

Die Verteilung der Wasserbilanzen (Figur 109) zeigt, dass in den Monaten März bis Juli 25 bis 40% der Fälle negative Wasserbilanzen aufweisen. In den Monaten August bis Oktober sind ca. 20% der Fälle im negativen Bereich und von 1901-1990 sind bei allen Monaten schon negative Wasserbilanzen vorgekommen.

Tabelle 19 zeigt die Verdunstung und die Wasserbilanz in Prozent des Niederschlags im Mittel der Periode 1901 bis 1990. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Variabilität des Verhältnisses von Verdunstung zu Niederschlag sehr gross ist. So machte die Verdunstung im Jahre 1965 nur 29 Prozent des Niederschlages aus, während 1949 die Verdunstungsmenge 115 Prozent der Niederschlagssumme ergab. Je nach Witterungscharakter (regenreich und verdunstungsarm oder regenarm und verdunstungsreich) schwankte die Monatsverdunstung zwischen 3 und 1000 Prozent des Monatsniederschlags.

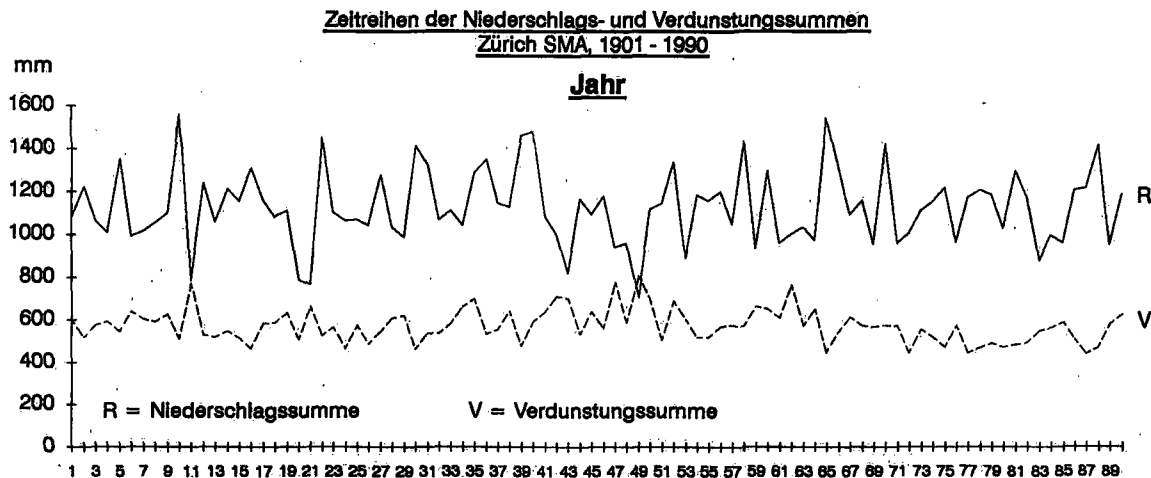
Um diese Zusammenhänge noch besser sichtbar zu machen sowie die Suche nach extremen Witterungssituationen zu erleichtern, sind die Figuren 110 bis 130 erstellt worden. Die Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen und somit auch der daraus resultierenden Wasserbilanzen, sind auf derselben Graphik dargestellt. Aus Kapitel 2.5 und 4 geht hervor, dass für die Verdunstungsformel die Parameter relative Luftfeuchtigkeit und Sonnenscheindauer (und damit während der Vegetationszeit korrelierend die Lufttemperatur) verwendet wurde. Dadurch ist es möglich, mit diesen Darstellungen sehr schnell extreme Witterungssituationen, wie nasse sonnenarme oder trockene sonnige Perioden, herauszufinden. In Kapitel 7 soll dies anhand eines Beispiels verdeutlicht werden.

Tabelle 19

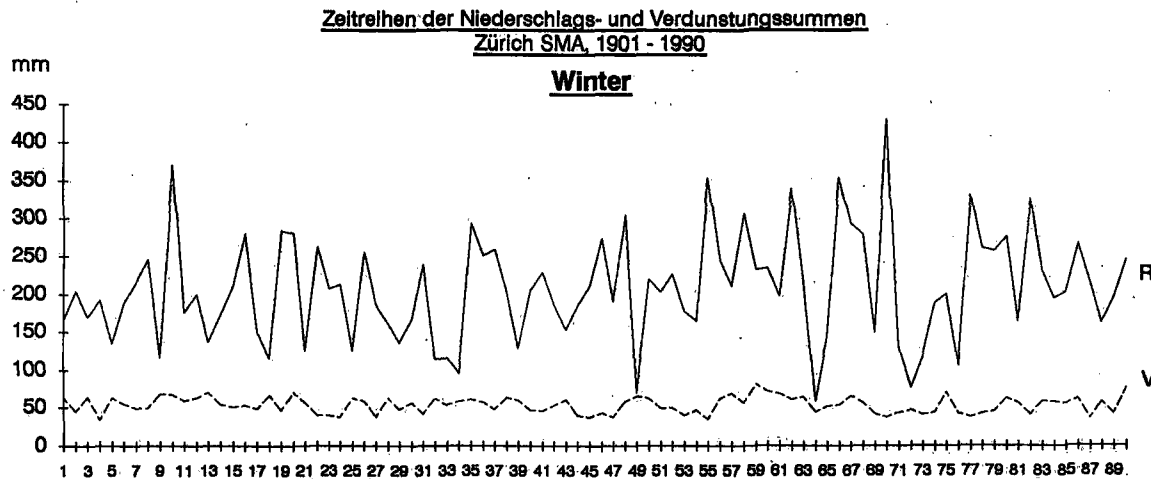
**Verdunstung (V) und Wasserbilanz (WB) in Prozent des Niederschlags (R),
Mittel der Periode 1901-1990,
Zürich SMA (Krähbühstrasse, 569 m ü.M.)**

	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Winter	Frühl.	Som.	Herbst	Veget.	Hydrolog. Jahr		
																		jahr	Wi.-S.	So.-S.	Jahr
V	23	36	63	68	72	62	66	54	48	37	26	21	51	26	68	60	38	59	34	61	51
WB	77	64	37	32	28	38	34	46	52	63	74	79	49	74	32	40	62	41	66	39	49

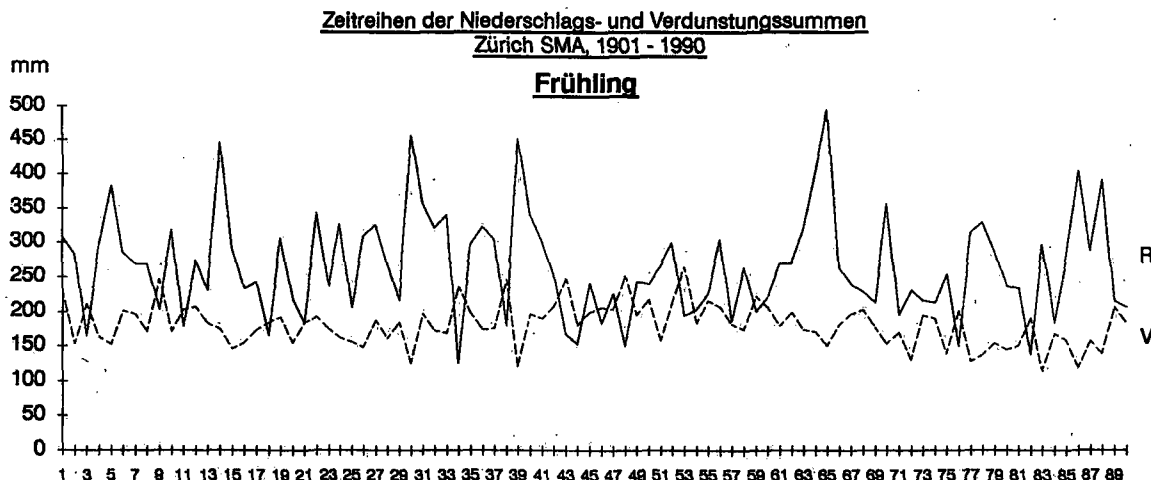
Figur 110



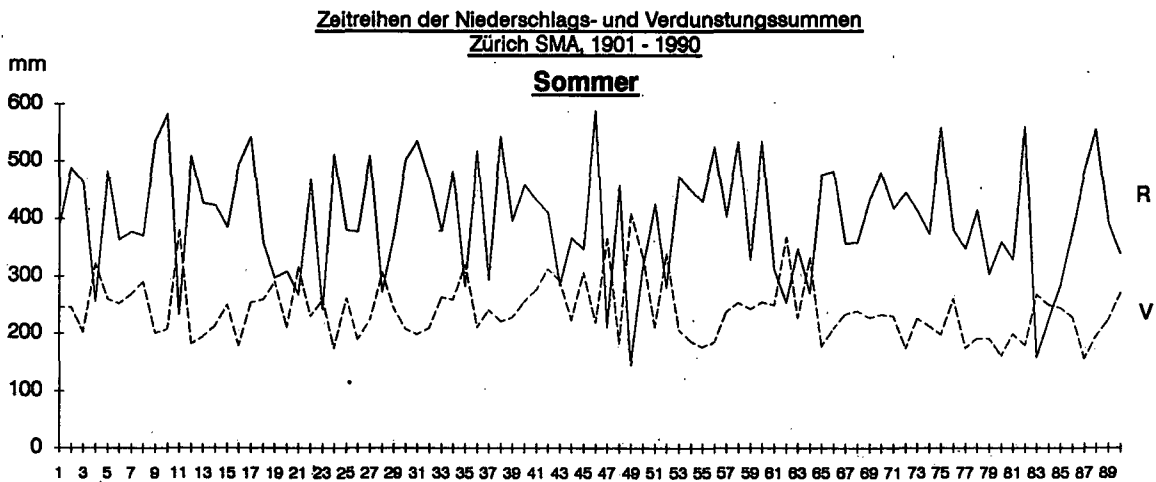
Figur 111



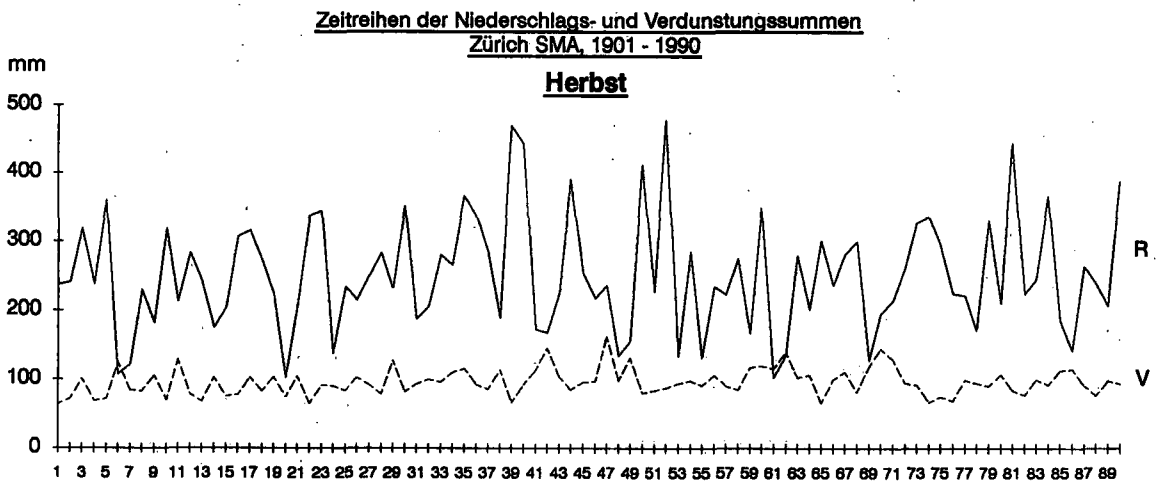
Figur 112



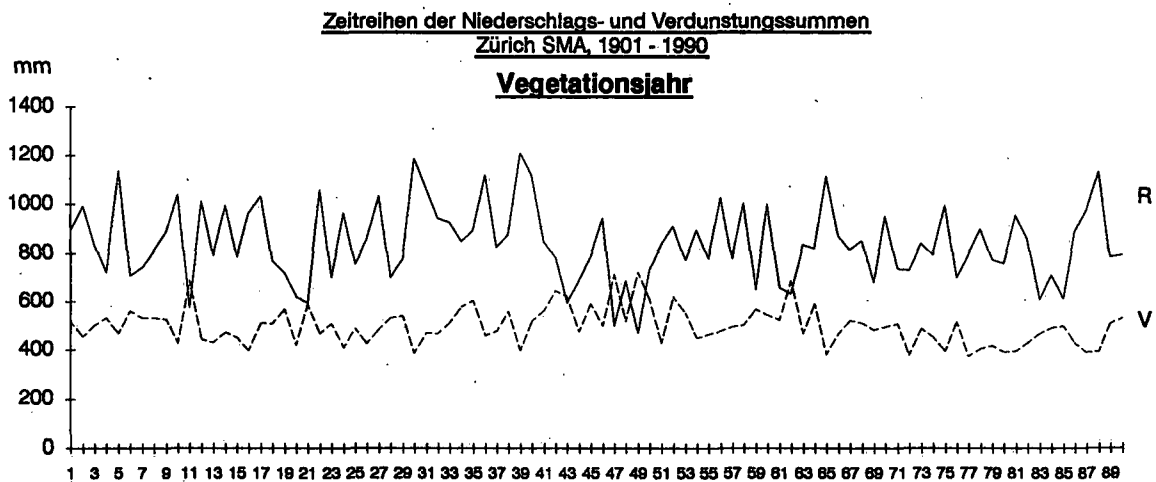
Figur 113



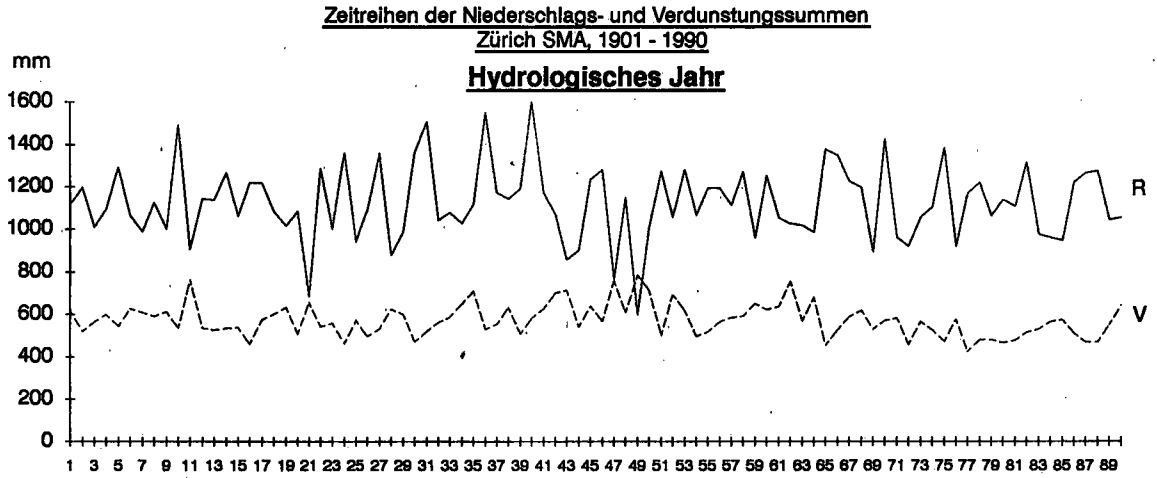
Figur 114



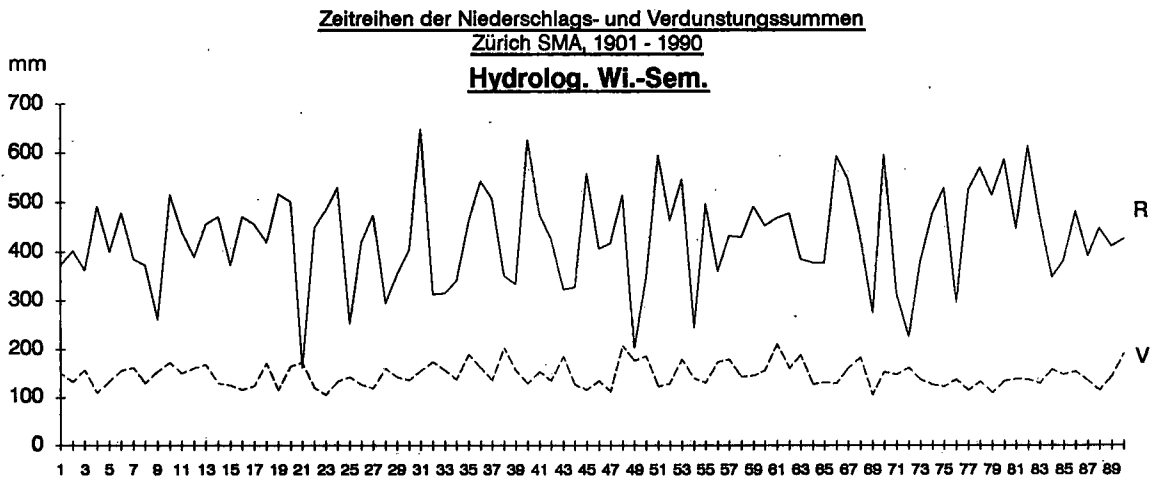
Figur 115



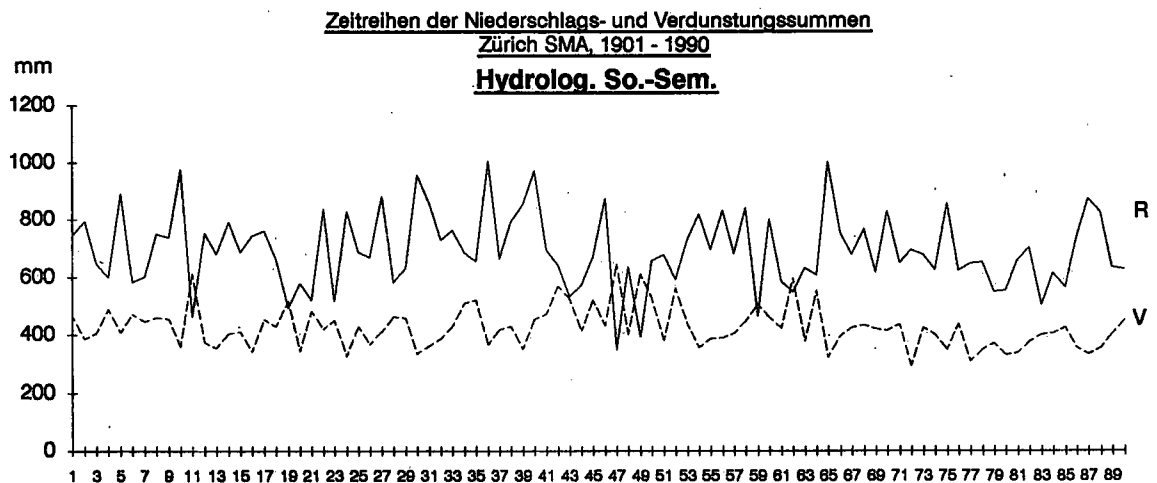
Figur 116



Figur 117

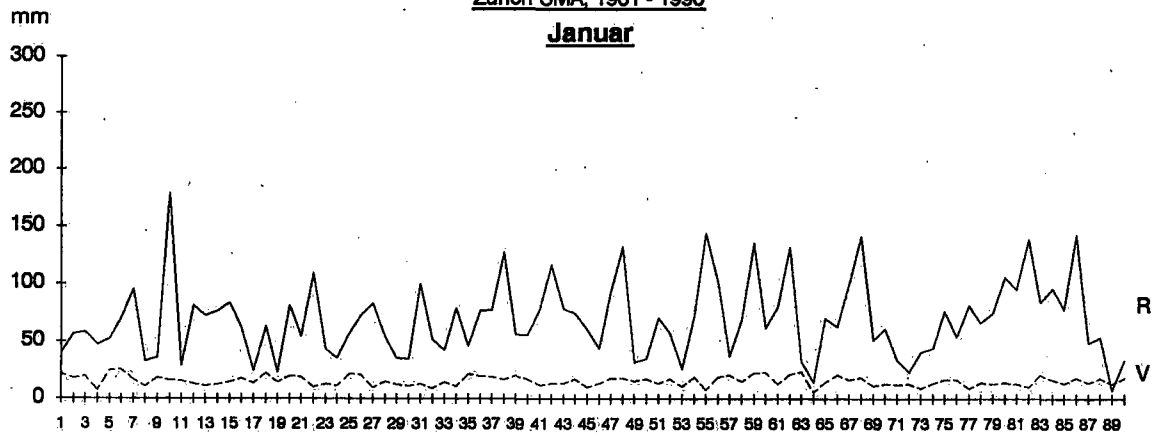


Figur 118



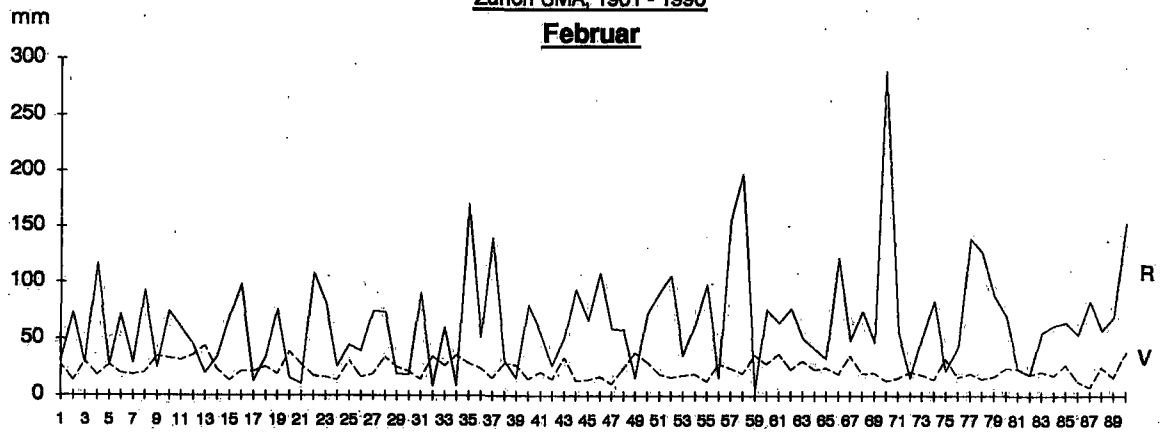
Figur 119

Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen
Zürich SMA, 1901 - 1990
Januar



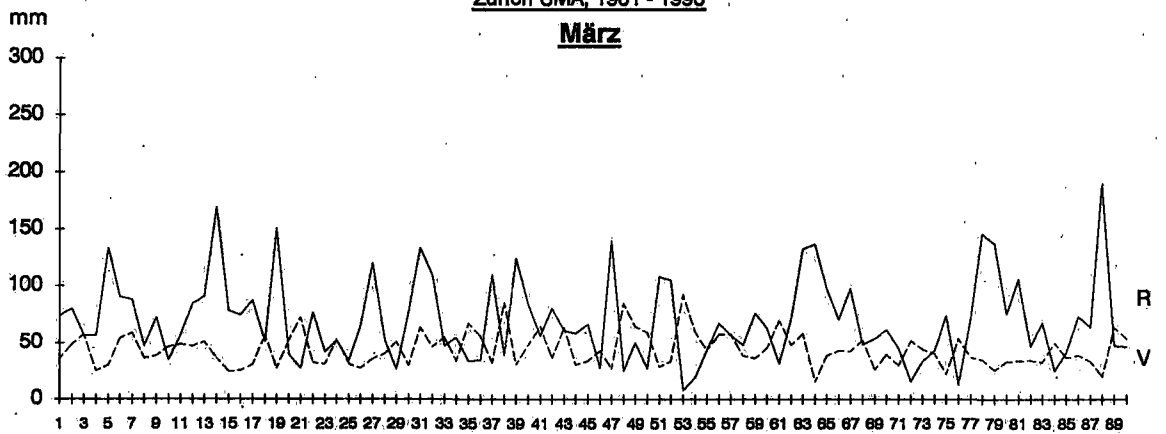
Figur 120

Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen
Zürich SMA, 1901 - 1990
Februar

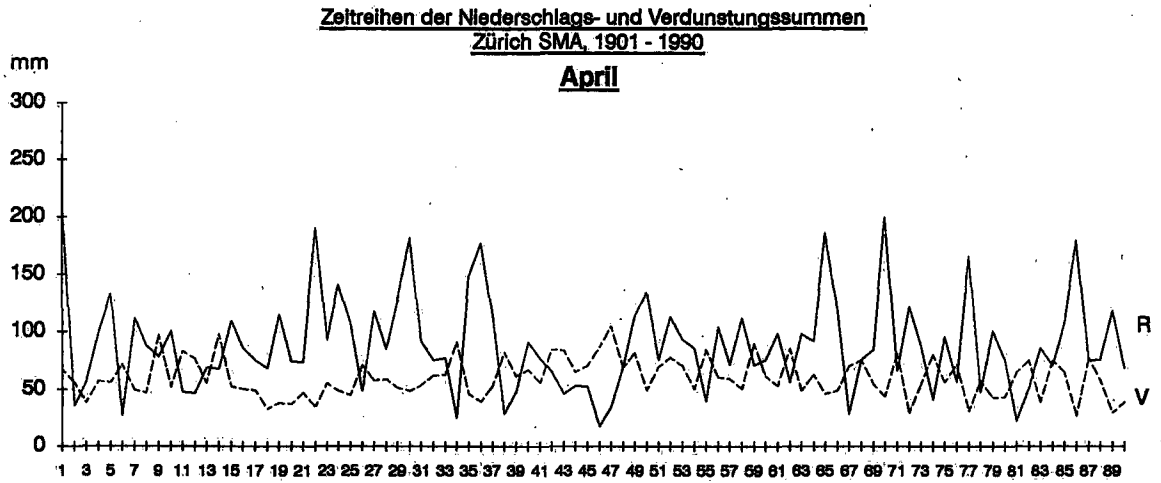


Figur 121

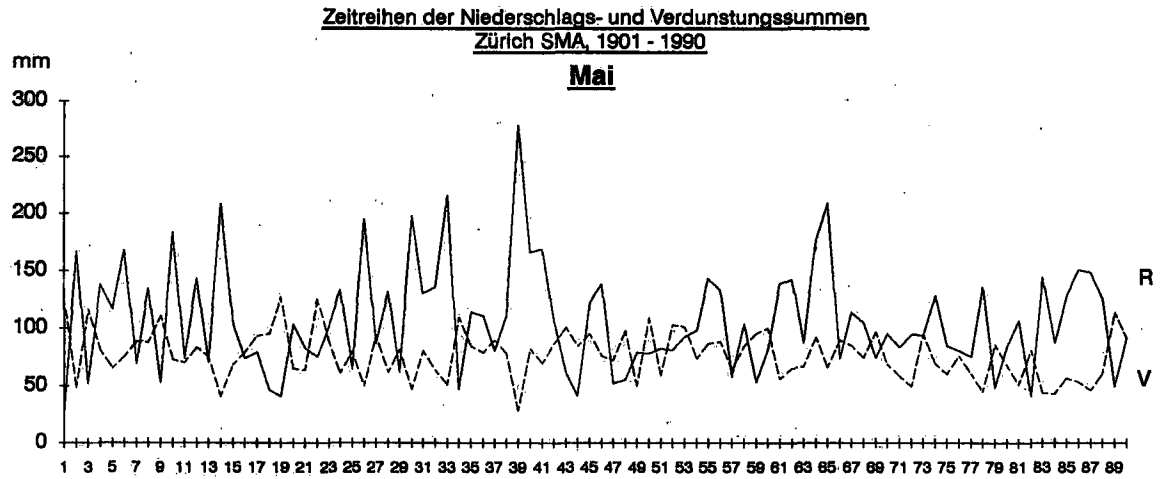
Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen
Zürich SMA, 1901 - 1990
März



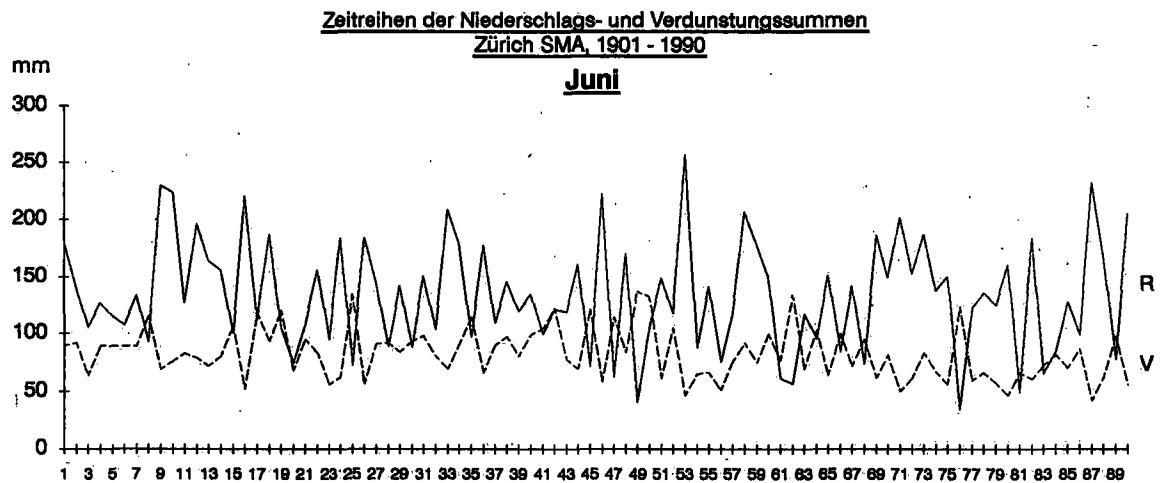
Figur 122

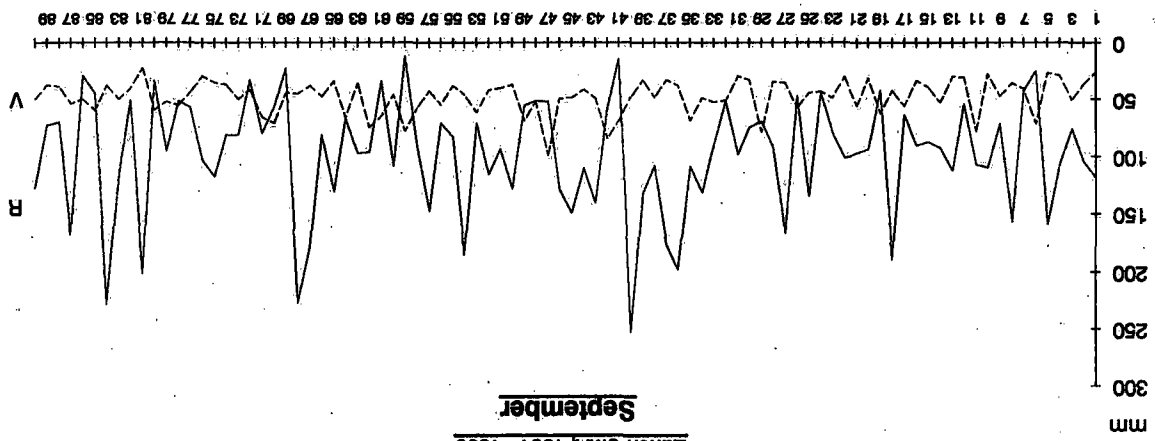


Figur 123

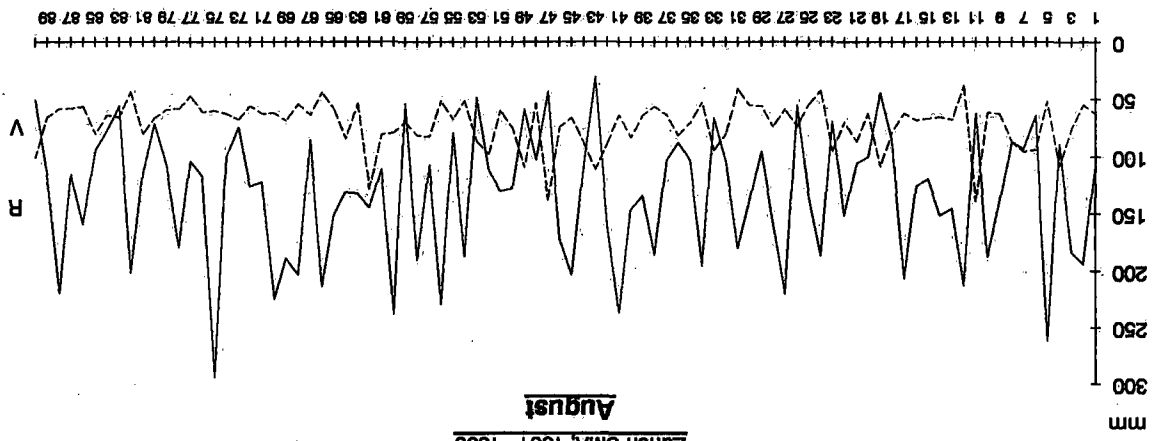


Figur 124

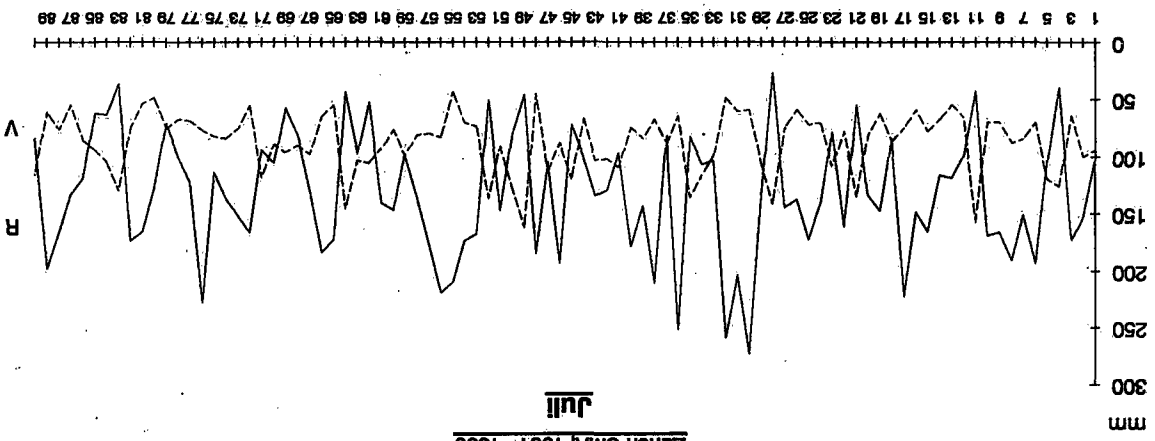




Figur 127

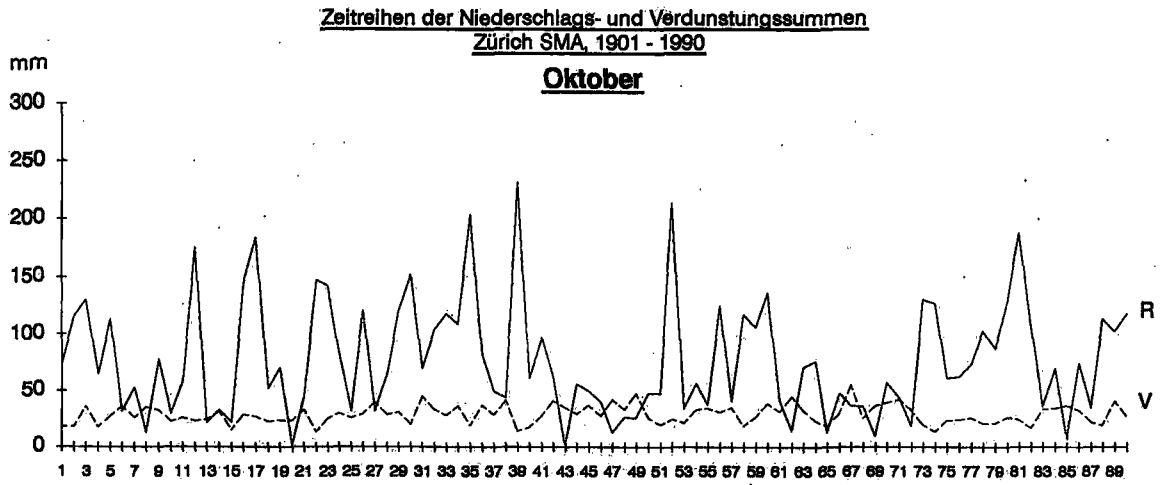


Figur 126

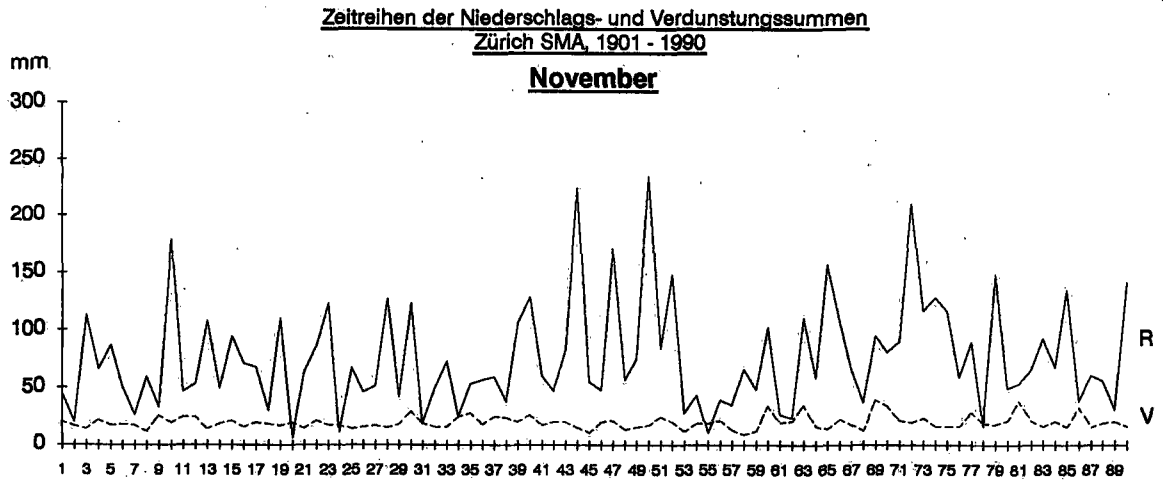


Figur 125

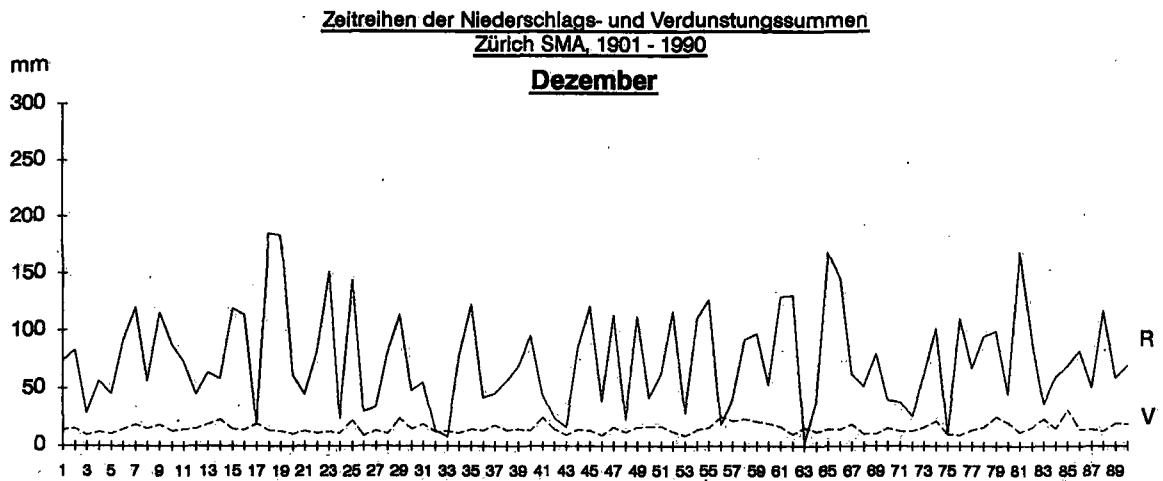
Figur 128



Figur 129



Figur 130



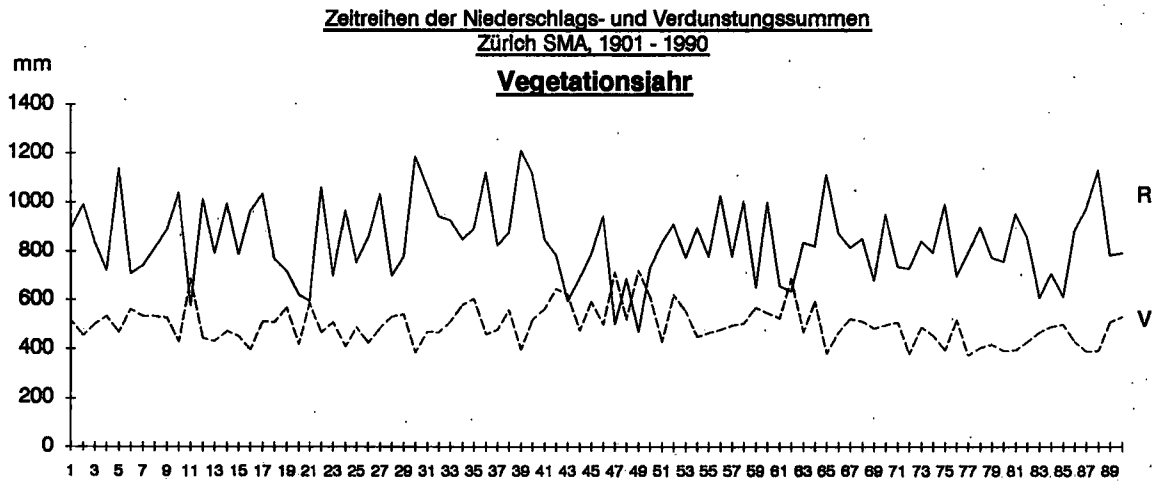
7. Die Dürrejahre während den Vegetationsperioden, 1901-1990, als Beispiel einer möglichen Anwendung dieser Publikation

Die Zeitreihen des Niederschlags (Fig. 29 bis 49), der Verdunstung (Fig. 56 bis 76) und der Wasserbilanzen (Fig. 83 bis 103) ermöglichen das rasche Auffinden von extremen Ereignissen und Perioden der genannten Grössen in der Zeit von 1901 bis 1990. Die Verdunstung eignet sich ausserdem hervorragend für das Quantifizieren von Sonnenscheindauer und relativer Feuchtigkeit. Etwas weniger gut, aber immer noch befriedigend, kann die Verdunstung Auskunft über die Höhe der Lufttemperaturen geben, da diese nur indirekt über die Sonnenscheindauer und relative Feuchtigkeit in die verwendete Verdunstungsformel (Kapitel 6.5, 4.1 und 4.2) eingeflossen sind.

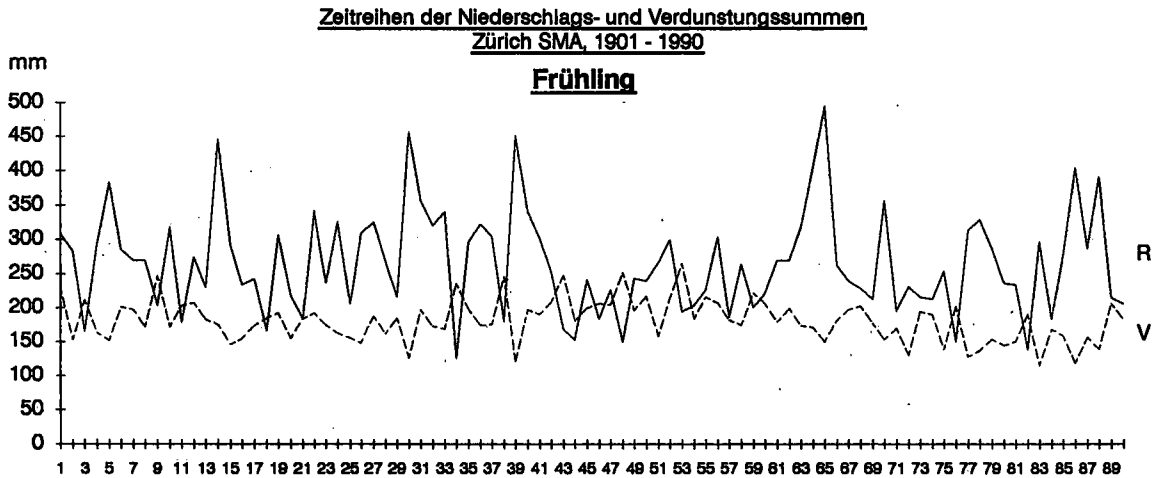
Dürrejahre könnten mit den Zeitreihen der Wasserbilanzen (Fig. 83 bis 103) eruiert werden. Die Figuren 110 bis 130 sind aber besser geeignet, in kurzer Zeit, Antworten auf unsere Fragen geben zu können, zeigen sie doch die Niederschläge, die Verdunstung und die Wasserbilanzen auf derselben Abbildung. Deutlich negative Wasserbilanzwerte weisen die Jahre 1911, 1947, 1949 und 1962 auf (Fig. 115). Gleichzeitig sieht man in denselben Jahren die kleinsten Niederschläge sowie die höchsten Verdunstungswerte. Es ist klar, dass bei dieser Summation der Monate März bis Oktober, nur die extremsten Jahre erscheinen, da zum Beispiel hohe Monatswerte im März oder April tiefe Werte im Juni oder Juli überdecken können. Die Jahreszeiten Frühling (März bis Mai, Fig. 112) und Sommer (Juni bis August, Fig. 113) müssen daher ebenfalls in die Betrachtungen einbezogen werden. Bei beiden Jahreszeiten erkennt man recht viele Jahre, wo zum Beispiel für die Landwirtschaft, kritische Situationen aufgetreten sein könnten.

Für die Vegetation sind jedoch nicht nur die absoluten Werte eines Monats- oder einer Jahreszeit wichtig, sondern vor allem Zeitdauer und Kombinationen von Stressfaktoren (extreme Ereignisse). Um dies noch besser zu verdeutlichen sowie die Bedeutung der Verdunstung als Indikator für Sonnenscheindauer, relative Feuchtigkeit und Lufttemperatur zu zeigen, wurde das extreme Dürrejahr 1947 (Katastrophenjahr für die Landwirtschaft), in den Figuren 131 bis 133, über das ganze Jahr dargestellt und über die Verteilungen von 1901 bis 1990 gelegt. Wird das Jahr 1947 anhand der Niederschläge, der Verdunstung und der Wasserbilanzen (Figuren 131 - 133) betrachtet, kommt man zu folgenden Aussagen: In den Monaten Januar bis März waren die Niederschlagssummen normal bis hoch, während die Verdunstung ausser im Januar unternormal war, was für die Wasserbilanzen in dieser Zeit normale bis hohe positive Werte brachte. Die hohen Niederschlagswerte und das vermutlich eher sonnenarme und feuchte Wetter im März, dürften die Landwirte dazu gebracht haben, ihre Ackerarbeiten (Pflügen, Saat) erst im April durchzuführen. Von April bis Oktober fielen, mit Ausnahme des Monats Juli, jedoch sehr geringe Niederschläge, die zusammen mit den hohen bis extremen Verdunstungswerten dazugeführt haben, dass über die ganze Zeitdauer von April bis Oktober negative Wasserbilanzen aufgetreten sind. Das Pflanzenwachstum dürfte also bereits im Juni gestoppt worden sein. Im Juli haben die Kulturen wahrscheinlich gewelkt und sind im Monat August vermutlich ganz abgestorben. Der Monat September dürfte denjenigen Kulturen, die vom Standort oder der Bodenstruktur begünstigt worden waren und noch auf einen Ertrag hoffen liessen, den Todesstoss versetzt haben. Der ebenfalls viel zu trockene Oktober dürfte lediglich noch dazugeführt haben, dass dieses für die Landwirtschaft katastrophale Jahr, klimatisch noch mehr aus der Reihe tanzt und mit 7 aufeinanderfolgenden Monaten mit negativen Wasserbilanzen einen Rekord in den Jahren 1901 bis 1990 darstellt.

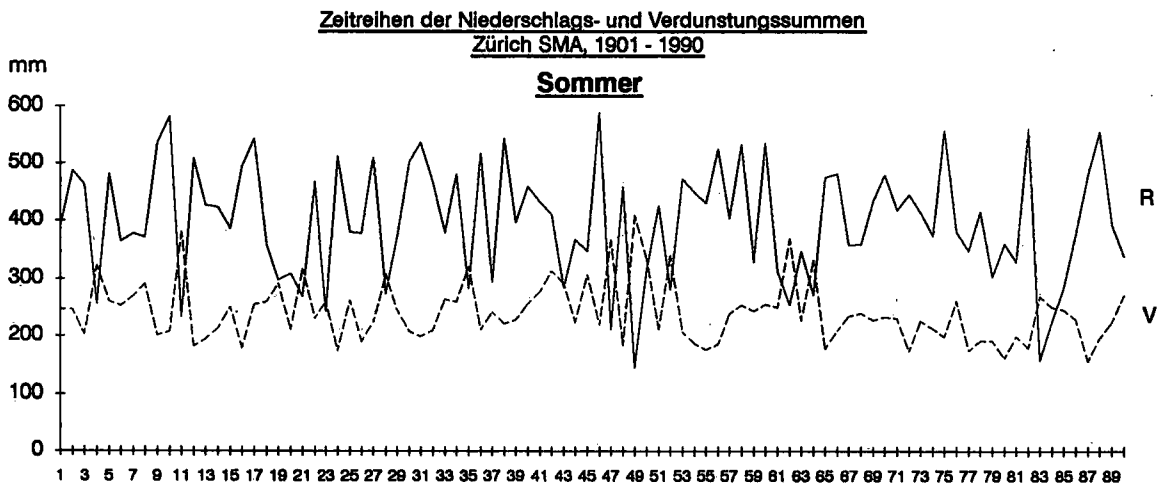
Figur 115



Figur 112

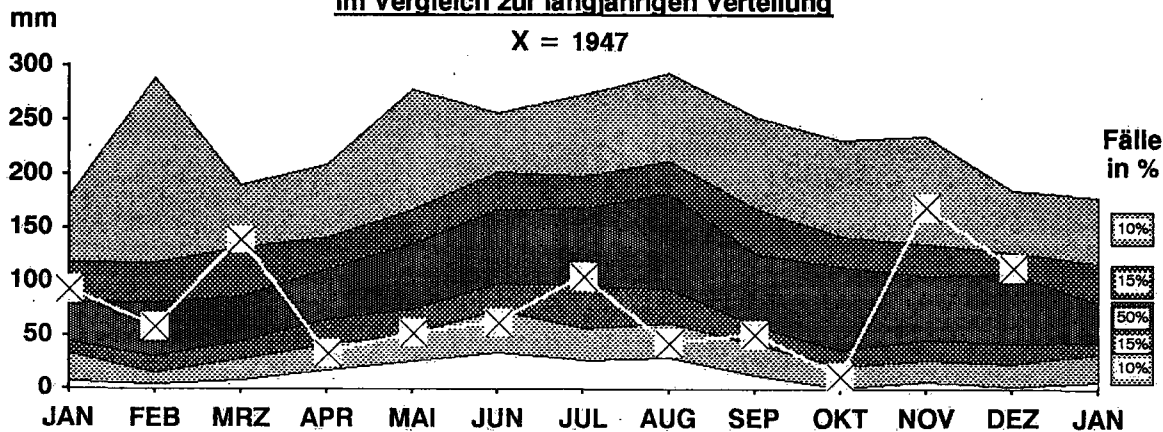


Figur 113



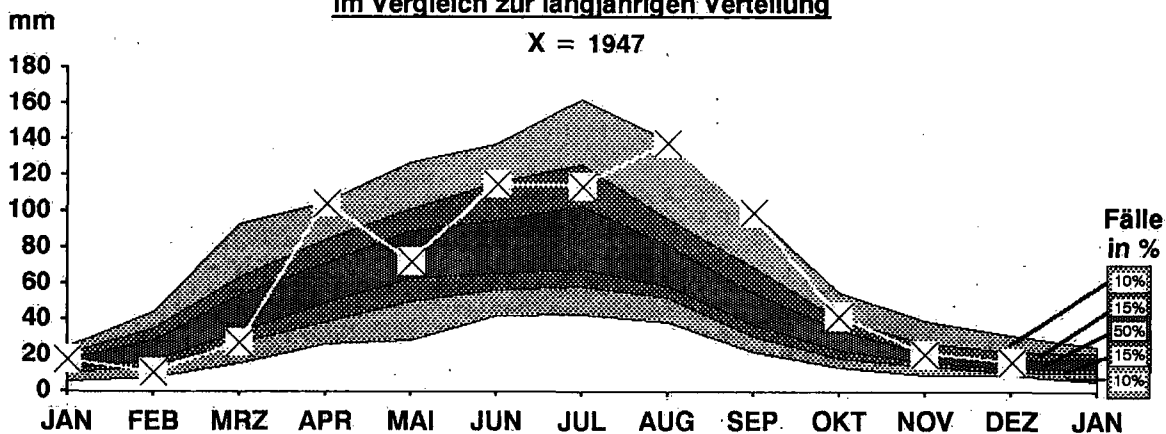
Figur 131

**Die monatlichen Niederschläge des Dürrejahres 1947
im Vergleich zur langjährigen Verteilung**



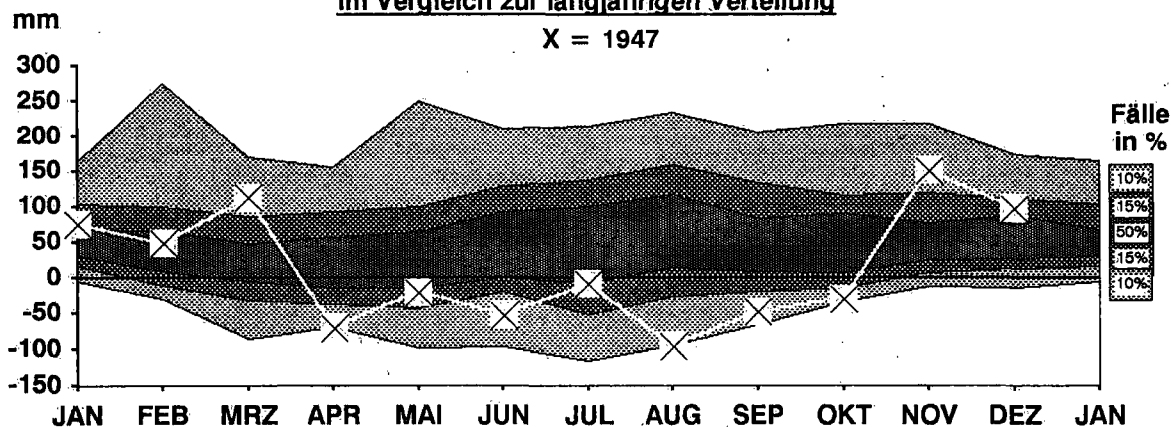
Figur 132

**Die monatlichen Verdunstungswerte des Dürrejahres 1947
im Vergleich zur langjährigen Verteilung**



Figur 133

**Die monatlichen Wasserbilanzen des Dürrejahres 1947
im Vergleich zur langjährigen Verteilung**



Um die Verdunstung als Indikator für die Grössen Sonnenscheindauer, relative Feuchtigkeit und Lufttemperatur aufzuzeigen, wird versucht diese drei Parameter, für die Monate April bis Oktober 1947, anhand der Verdunstung (Figur 132) und des Niederschlags (Figur 133) zu schätzen und anschliessend, mit dem geschilderten Witterungsverlauf aus den Annalen 1947 und den effektiv gemessenen Daten (aus den 60-jährigen Reihen 1901-60, Klimatologie der Schweiz), zu überprüfen. Dazu scheint es jedoch sinnvoll, hier nochmals auf die verwendete Verdunstungsformel einzugehen.

Verdunstungsformel: $V = (1,03 - H) (S + 2n) C$

V = Verdunstung in mm (Simulation Wild'sche Waage)

H = relative Luftfeuchtigkeit in %/100

S = Sonnenscheindauer in Std.

n = Anzahl Tage der Berechnungsdauer

C = monatl. Faktor zur Angleichung an mittlere Verdunstung der Wild'schen Waage

Man erkennt, dass sich bei einem Vergleich der Verdunstungsformel innerhalb desselben Kalendermonats nur zwei Grössen ändern. Die relative Feuchtigkeit H und die Sonnenscheindauer S. Unterschiedliche Verdunstungswerte ergeben sich also aus der Veränderung dieser zwei Grössen. Klimatologisch relevante Wetterlagen im Mittelland verfügen über folgende hauptsächlichlichen Kombinationsmöglichkeiten dieser zwei Grössen:

hohe Sonnenscheindauer, tiefe relative Feuchtigkeit = hohe Verdunstung

+ normale Sonnenscheindauer, +- normale relative Feuchtigkeit = +- normale Verd.

tiefe Sonnenscheindauer, hohe relative Feuchtigkeit = tiefe Verdunstung

Die Verdunstungswerte zusammen mit den Niederschlagssummen, die in der Regel einen Hinweis auf tiefe, normale oder hohe relative Luftfeuchtigkeiten geben, ermöglichen uns, auf die Sonnenscheindauer und die relative Luftfeuchtigkeit zu schliessen. Bei maximalen oder minimalen Verdunstungswerten können ausserdem extrem hohe oder tiefe Lufttemperaturen vermutet werden, da diese Grösse zumindest in den Monaten März bis Oktober gut mit der Sonnenscheindauer und der relativen Luftfeuchtigkeit korreliert.

Beispiel 1947:

April geschätzt: Da die Verdunstung den Maximalwert erreichte und die Niederschlagssumme sehr gering war, müsste die Sonnenscheindauer sehr hoch, die relative Luftfeuchtigkeit sehr tief und die Lufttemperatur ebenfalls sehr hoch gewesen sein.

geschildert: Der Monat war ungewöhnlich warm und hell. Auf der Alpennordseite sind die Temperaturen 3,5° höher als normal. Diese Werte wurden meist nur von denjenigen des Jahres 1893 übertroffen. Auch die Sonnenscheinbeträge, die etwa 140 bis 150% des Normalwerts ausmachen, sind bisher selten überschritten worden, wenn auch die (ganz extremen) Werte des genannten Rekordmonats 1893 bei weitem nicht erreicht wurden.

gemessen: Sonnenscheindauer: 2. grösster Wert
relative Luftfeuchtigkeit: tiefster Wert
Lufttemperatur: 2. höchster Wert

- Mai** geschätzt: Die Verdunstung zeigte einen normalen Wert, bei sehr geringen Niederschlägen. Es werden deshalb leicht tiefere relative Feuchtigkeiten, normale Sonnenscheindauer und höhere Temperaturen als normal erwartet.
- geschildert: Das Temperaturmittel des Mai war gegenüber dem Normalwert im Mittelland 2 bis 2,5° zu hoch. Die Sonnenscheindauer ist im Mittelland etwas zu klein gewesen.
- gemessen: Sonnenscheindauer: normaler Wert
relative Luftfeuchtigkeit: normaler Wert
Lufttemperatur: 3. höchster Wert
- Juni** geschätzt: Die sehr tiefe Niederschlagsmenge und recht hohe Verdunstung zeigen an, dass die Sonnenscheindauer hohe, die relative Feuchtigkeit tiefe und die Temperatur hohe Werte erzielt haben.
- geschildert: Der Juni war besonders in der Nord- und Westschweiz sehr warm, hell und meist trocken. Das Temperaturmittel überstieg den Normalwert auf der Alpennordseite um meist 2,5°. Die Sonnenscheindauer war auf der Alpennordseite um 20 bis 25% zu hoch.
- gemessen: Sonnenscheindauer: 3. grösster Wert
relative Luftfeuchtigkeit: 6. tiefster Wert
Lufttemperatur: 3. höchster Wert
- Juli** geschätzt: Die Verdunstung im Juli liegt etwa gleich hoch wie im Juni jedoch mit höheren Niederschlagsmengen. Man erwartet also normale relative Feuchtigkeit, bei hoher Sonnenscheindauer und normaler Temperatur oder normale relative Feuchtigkeit, bei normaler Sonnenscheindauer und höheren Temperaturen.
- geschildert: Das Temperaturmittel des Juli liegt auf allen Stationen der Alpennordseite um etwa 2 bis 3° über dem langjährigen Durchschnittswert, so dass dieser Juli als sehr warm zu bezeichnen ist, wenn auch die bisherigen höchsten Monatsmittel nicht erreicht wurden. Die Sonnenscheindauer zeigt auf der Alpennordseite mässige Ueberschüsse über den Normalwert. Sie betragen im Mittelland 10 bis 15%.
- gemessen: Sonnenscheindauer: normaler Wert
relative Luftfeuchtigkeit: normaler Wert
Lufttemperatur: 4. höchster Wert
- Aug.** geschätzt: Die Verdunstung zeigt einen Höchstwert, bei sehr geringen Niederschlägen. Extremwerte bei allen drei Grössen werden erwartet.
- geschildert: Der diesjährige August wurde hinsichtlich der Höhe der Temperaturmittelwerte im allgemeinen nur vom August 1944 übertroffen. Die Überschüsse über den Normalwert betragen in den Niederungen der Alpennordseite etwa 4°. Ein ähnlich warmer August war derjenige von 1911. Die Sonnenscheindauer übersteigt den Normalwert in den Niederungen der Alpennordseite um etwa 30%.
- gemessen: Sonnenscheindauer: 2. höchster Wert
relative Luftfeuchtigkeit: tiefster Wert
Lufttemperatur: 2. höchster Wert

- Sept.** geschätzt: Wie im August sehen wir hier ebenfalls einen Höchstwert bei der Verdunstung, es sollten deshalb auch im September Extremwerte bei allen drei Parametern aufgetreten sein.
- geschildert: Die Temperaturmittel des Septembers liegen bedeutend über den normalen Werten. In den Niederungen der Alpennordseite um 3 bis 3,5°. Die Sonnenscheindauer war meist sehr gross. Der Überschuss über den Normalwerten beträgt in der nördlichen Schweiz fast die Hälfte des Normalwerts.
- gemessen: Sonnenscheindauer: 2. höchster Wert
relative Luftfeuchtigkeit: tiefster Wert
Lufttemperatur: 2. höchster Wert
- Okt.** geschätzt: Das Niveau der Verdunstung und des Niederschlags liegen in der Verteilung ähnlich wie im Juni. Wir vermuten daher, dass die Sonnenscheindauer hohe Werte, die relative Luftfeuchtigkeit tiefe Werte und die Temperatur ebenfalls hohe Werte gebracht hat.
- geschildert: Das Temperaturmittel des Oktobers war überall höher als sein Normalwert. Der Überschuss ist jedoch mässig. Die Sonnenscheindauer lag im Mittelland 20 bis 40% über der Norm.
- gemessen: Sonnenscheindauer: 4. höchster Wert
relative Luftfeuchtigkeit: 4. tiefster Wert
Lufttemperatur: normaler Wert

Je extremer die Verdunstungswerte und die Niederschläge sind, um so besser können die Grössen Sonnenscheindauer, relative Feuchtigkeit und Lufttemperatur geschätzt werden (April, August und September). Je näher die Verdunstung und der Niederschlag dem Normalwert kommen, desto schwieriger ist es auf die einzelnen Grössen, im speziellen die Lufttemperatur, zu schliessen (Mai und Juli). Die Sonnenscheindauer sowie die relative Luftfeuchtigkeit werden aber sicherlich nicht viel von der Norm abweichen.

Mit den Darstellungen wie in den drei Figuren 131 bis 133 gezeigt, kann daher, mit etwas Übung, der Witterungsablauf eines Jahres recht schnell erfasst und normale bis extreme Situationen können herausgelesen werden. Gegenüber der bis heute verwendeten Methode der Darstellung von einzelnen Parametern, verfügt man mit den gezeigten Figuren 131 bis 133 über ein Hilfsmittel, das ein "Gesamtbild" eines jährlichen Witterungsverlaufs zeigt und sich klimatisch in die Periode 1901 bis 1990 einbettet.

Die Niederschlags-, Verdunstungs- und Wasserbilanzwerte aus den Tabellen 13, 15 u. 17 sowie die Verteilungen derselben Parameter als Graphik im A4-Format (Fig. 134-139, im Anhang), ermöglichen, eine oder mehrere dieser Grössen, in der in Figur 131-133 gezeigten Art, für jedes uns interessierende Jahr, einzutragen und zu interpretieren.

Bei der Analyse von aktuellen monatlichen Verdunstungswerten und Wasserbilanzen, müssen die gemessenen Verdunstungswerte der Wild'schen Waage (ASTA) verwendet werden, da die berechneten Verdunstungswerte erst im Folgejahr zur Verfügung stehen. Figur 10 und Tabelle 12 im Kapitel 4.3 zeigen die, bei der Interpretation, zu berücksichtigenden mittleren absoluten Differenzen zwischen der gemessenen und der berechneten Verdunstung.

8. Schlussbetrachtungen

Die Daten der Wild'schen Waage von 1951 bis 1990, von der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA), Krähbühlstr. 58, 8044 Zürich, wurden überprüft, korrigiert und ausgewertet. Es wurden Tabellen mit Monats- und Jahressummen sowie Mittelwerte über 10 und 40 Jahre erstellt. Verteilungen der Monats- und Jahreswerte und die Zeitreihe der jährlichen Verdunstung wurden berechnet und tabellarisch sowie graphisch dargestellt. Am auffälligsten sind die grossen Schwankungen der Monats- und Jahresverdunstung sowie die starke Abnahme der Jahresverdunstung ab Messbeginn bis 1975.

Um Verdunstungswerte zurück bis 1901 zu bekommen, simulierte man das Verhalten der Wild'schen Waage mit der Verdunstungsformel nach Primault (ohne j-Faktor). Diese Formel wurde anhand der Werte der Wild'schen Waage (1951 bis 1960) von B. Primault entwickelt. Für unsere Bedürfnisse musste der C-Faktor (Höhenkorrektur, oder "trouble atmosphérique"), der für das ganze Jahr gleich war, an die monatlichen Mittelwerte der Daten der Wild'schen Waage angepasst werden. Ein Vergleich zwischen den berechneten und gemessenen Daten aus drei verschiedenen Zeitabschnitten (52-64, 65-77 u. 78-90 "ASTA") und drei Verdunstungsniveau's, ergab keine relevanten Unterschiede bezüglich der Qualität und dem Verhalten zwischen den Werten der Wild'schen Waage und der Verdunstungsformel. Es wurden daher die neuen monatlichen C-Faktoren aus den Daten der längst möglichen Periode 1951-1990 ermittelt. Damit wurde also die grösstmögliche Zahl aller Vergleichsfälle berücksichtigt. Eine statistische Untersuchung zwischen den Daten der gemessenen und der, mit den neuen monatlichen C-Faktoren, berechneten Verdunstung ergab unter anderem mittlere absolute Differenzen von 3,5 mm im Januar bis 10,4 mm im Juli, was 25 bis 10% der Mittelwerte entspricht. In den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar sind die Korrelationskoeffizienten $\leq 0,61$ und in den Sommermonaten $\geq 0,81$. Im Sommer sind die berechneten Einzelwerte genügend genau, während in den Wintermonaten die Einzelwerte vorsichtig interpretiert werden müssen. Für die Wasserbilanzberechnung können die Einzelwerte der Wintermonate jedoch ohne weiteres verwendet werden, da die absoluten Verdunstungswerte sehr klein sind. Mit Hilfe des F-Testes wurde ermittelt, dass für die Monate Juni und Dezember die Standardabweichungen der gemessenen und berechneten Verdunstung, bei einer Sicherheitsschwelle von $\alpha=5\%$, verschieden sind. Generell lässt sich jedoch sagen, dass die Verteilung der berechneten Verdunstung über das ganze Jahr sehr gut mit der Verteilung der gemessenen Verdunstung übereinstimmt, und das bei gleichen Mittelwerten. Die gleitenden Mittel der berechneten Verdunstung zeigen, im Zeitraum von 1951-1990 im Vergleich mit der gemessenen Verdunstung, eine gleichförmige Bewegung mit einer leicht erhöhten Amplitude. Die Suche nach extremen Perioden wird dadurch erleichtert.

Für den Niederschlag, die Verdunstung und die Wasserbilanz (Niederschlag minus Verdunstung) zeigten wir für die Periode 1901-1990 tabellarisch und graphisch Monats-, Jahreszeiten- und verschiedene Jahressummen, deren Mittel über 10, 30 und 90 Jahre, Verteilungen, Zeitreihen und gleitende Mittel (9 Werte, dem 5. Wert zugewiesen). Zu den üblichen vier Jahreszeiten (Winter = Dezember bis Februar, Frühling = März bis Mai, Sommer = Juni bis August, Herbst = September bis November) kamen noch das "Vegetationsjahr" (März bis Oktober) sowie das Hydrologische Jahr und dessen Halbjahre (Wintersemester = Oktober bis März, Sommersemester = April bis September) dazu.

Zum Niederschlag ist zu sagen, dass die Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen sehr grosse Schwankungen zeigen. Bei einer grosszügigen Interpretation der Resultate könnte man sagen, dass in allen Monaten entweder kein oder bis zu 300mm Niederschlag fallen

kann. Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge von 1901-1990 betrug 1126 mm mit einer Standardabweichung von 176 mm. Das Kalenderjahr 1910 erhielt die grössten Niederschlagsmengen mit 1561 mm, das hydrologische Jahr 1940 sogar 1598 mm. Die kleinsten Niederschlagsmengen fielen 1949, wo das Kalenderjahr 704 mm aufwies und das hydrologische Jahr mit 597 mm einen noch deutlich tieferen Wert zeigte. Die gleitenden Mittel über die untersuchten 90 Jahre zeigen Perioden mit hohen und tiefen Werten. Während des Sommers ist das Niederschlagsniveau in dieser Zeit leicht gesunken. Diese Reduktion hat sich im Jahresniveau jedoch nicht ausgewirkt, da die Niederschläge in den übrigen Jahreszeiten diese Verminderung wieder ausgeglichen haben. Interessieren dürfte ausserdem die Zeit von 1975 bis 1990, wo sich die Niederschlagsmengen im hydrologischen Winter- und Sommersemester stark gegenläufig verhielten. Am auffälligsten war sicher die Periode 1930 bis 1940 mit sehr grossen Niederschlägen im Sommer und Herbst, und die Periode 1940 bis 1950 mit sehr tiefen Niederschlagsmengen im Frühling und Sommer. Die kleinen Niederschläge 1970 bis 1975 im Winter und Frühjahr konnten dagegen durch die entsprechend grösseren Mengen im Sommer und Herbst der gleichen Periode wieder kompensiert werden.

Die Verdunstung zeigt einen markanten Jahresgang mit der höchsten mittleren Verdunstung von 87 mm im Juli und dem tiefsten Mittelwert von 15 mm im Dezember. Die Streuung der Einzelwerte pro Monat ist ebenfalls recht hoch. So lag das Maximum im Monat Juli im Jahre 1949 bei 162 mm, das Minimum im Monat Juli im Jahre 1955 bei 43 mm. Der Januar zeigt einen Höchstwert von 25 mm und einen Tiefstwert von 6 mm. Das Kalenderjahr mit einem Mittelwert von 573 mm schwankte zwischen 440 mm und 807 mm. Interessieren dürfte noch, dass die mittlere Verdunstungshöhe des Zürichsees mit 606 mm angegeben ist. (Beiträge zur Geologie der Schweiz - Hydrologie, Nr. 25, 1978). Aus den darin zitierten Angaben, lässt sich leider nicht mehr genau eruieren, ob mit den Mittelwerten der Periode 1901-1940, oder 1901-1960 gerechnet wurde. Als Vergleich sehen wir für unsere berechnete Verdunstung die Mittelwerte 570 mm (1901-1940) resp. 588 mm (1901-1960). Obwohl beide Verdunstungsarten auf die Bestimmung der Verdunstung einer freien Wasseroberfläche ausgelegt sind, erstaunen diese kleinen Differenzen. Auf der einen Seite simuliert unsere Berechnungsart die Verdunstung der Wild'schen Waage unter einem Strahlungsschutz, während auf der anderen Seite die Verdunstung des Zürichsees auf klimatologisch-thermodynamischer Grundlage (Kuhn, 1977) berechnet wurde. Ab den extrem warmen und trockenen Jahren 1947 und 1949 wurde eine starke Abnahme der Verdunstung im Frühling, Sommer und über das ganze Jahr, bis anfangs der achtziger Jahre festgestellt. Dieser Rückgang der Verdunstung darf als gesichert angesehen werden, zeigen doch die Werte der Wild'sche Waage das gleiche Verhalten. Ein Vergleich mit der mittleren Verdunstung der Stationen Bern, Neuenburg, Genf und Basel bestätigte ausserdem diese Aussage, wenngleich der Rückgang der Verdunstungswerte nicht im gleichen Ausmass stattfand. Bei der Umsetzung dieser Aussagen darf aber nicht vergessen werden, dass die Transpiration der Pflanzen nicht in die Verdunstungsberechnung eingeflossen ist. Bei Gebietsverdunstungen kann dieser Rückgang also ohne weiteres durch eine erhöhte Transpirationrate wettgemacht worden sein, da sowohl Forst- wie Landwirtschaft heute viel intensiver produzieren als in den 50er Jahren.

Die Wasserbilanz als Differenz von Niederschlag zu Verdunstung weist im Mittel praktisch keinen Jahresgang mehr auf, da die in der Regel tieferen Werte der Niederschläge im Winter durch kleine Verdunstungsmengen nur wenig reduziert werden. Im Sommer, wo die mittleren Niederschläge höhere Werte aufweisen, werden diese durch grössere Verdunstungswerte reduziert. In den Monaten März bis Juli sind rund ein Viertel aller Wasserbilanzen negativ, während von August bis Oktober noch 20% der Fälle negative

Werte aufweisen. Ein bis mehrere Fälle mit negativen Wasserbilanzen sind auch in den Wintermonaten aufgetreten. Der Schwankungsbereich der Wasserbilanzen ist sehr hoch, da in der Regel bei viel Niederschlag wenig Verdunstung, und bei wenig Niederschlag viel Verdunstung, vorkommt. Die Wasserbilanz ist daher bei sehr hohen Niederschlägen fast gleich hoch wie die Niederschläge selbst und bei tiefen Niederschlagswerten noch deutlich tiefer, was zu den negativen Werten führen kann. Vereinfacht könnte gesagt werden, dass der Schwankungsbereich der Wasserbilanz der Summe von Niederschlagschwankung und der Verdunstungsschwankung entspricht. Beispielsweise liegt im Vegetationsjahr (März - Oktober) das Maximum bei 816 mm (1939), das Minimum bei -252 mm (1949) und der Mittelwert bei 342 mm.

Die verwendeten Abbildungen ermöglichen uns Normal- oder Extremwerte oder Perioden mit hohem, normalem oder tiefem Niveau, des Niederschlags, der Verdunstung und der Wasserbilanz aufzufinden. Da die Verdunstung auch einen sehr guten Hinweis auf die Sonnenscheindauer und die rel. Feuchtigkeit gibt, können für diese Parameter dieselben Aussagen gemacht werden. Die statistische Verteilung des Niederschlags, der Verdunstung und der Wasserbilanz erlauben, die Witterung eines ausgewählten Jahres einzuordnen und zu charakterisieren. Diese Methoden wurden für das Aufsuchen von Dürre Jahren in den Vegetationsperioden von 1901-1990 und im speziellen für das extreme Dürrejahr 1947 vorgestellt.

9. Ausblick

In den nächsten Jahren soll versucht werden, die in dieser Arbeit verwendeten Grössen Niederschlag, Verdunstung und Wasserbilanz für weitere Stationen und für regionale Räume in der Schweiz zu bearbeiten. Sollten daraus qualitativ und quantitativ zufriedenstellende Ergebnisse resultieren, wird beabsichtigt, damit flächendeckende Verdunstungs- und Wasserbilanzkarten für die Schweiz herzustellen.

LITERATURVERZEICHNIS

ANNALEN der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt .
Verschiedene Jahrgänge

BEIHEFTE zu den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt. Klimatologie
der Schweiz, verschiedene Hefte

CALAME, F., 1977: Comparaison d'abris pour balances d'évaporation. CHARAN-Doc,
interne Berichte Schweiz. Meteorologische Anstalt; 1 S.

CALAME, F., 1978: Comparaison de mesures d'évaporation. CHARAN-Doc, interne Berich-
te Schweiz. Meteorologische Anstalt; 3 S.

DEFILA, C., 1985: Verdunstung. Beiträge zum ANETZ-Daten Kolloquium vom 17. April 1985
in Zürich, Schweiz. Meteorologische Anstalt: 32-35

DEFILA, C. und J. BRÄNDLI, 1989: Bodentemperaturen und Verdunstung. Klimatologie der
Schweiz, Heft 28 P. Beiheft zu den Annalen der Schweiz. Meteorologischen
Anstalt, 1986; 118 S.

KUHN, W., 1977: Berechnung der Temperatur und Verdunstung alpiner Seen auf klimato-
logisch-thermodynamischer Grundlage. Arbeitsberichte der Schweiz. Meteorolo-
gischen Anstalt, 70; 34 S.

PFISTER, Ch. et al., 1988: Witterungsextreme und Waldschäden in der Schweiz. Bundesamt
für Forstwesen und Landschaftsschutz; 70 S.

PRIMAULT, B., 1961: Nouveaux essais comparatifs de la mesure de l'évaporation. Archiv
für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, 11 (2): 251-268

PRIMAULT, B., 1963: Du calcul de l'évapotranspiration. Archiv für Meteorologie, Geophysik
und Bioklimatologie, 12 (1): 124-150

PRIMAULT, B., 1981: Extension de la validité de la formule suisse de calcul de l'évapotranspi-
ration. Arbeitsberichte der Schweiz. Meteorologischen Anstalt, 103; 6 S.

SCHRÖDTER, H., 1985: Verdunstung. Anwendungsorientierte Messverfahren und Bestim-
mungsmethoden. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo; 186 S.

STUDIENGRUPPE "VERDUNSTUNG" der Hydrologischen Kommission der Schweiz.
Naturforschenden Gesellschaft (SNG) und der Interdepartementalen Arbeitsgruppe
für Operationelle Hydrologie, 1978: Die Verdunstung in der Schweiz. Beiträge zur
Geologie der Schweiz - Hydrologie, 25; 95 S.

VERZEICHNIS DER FIGUREN

	Seite
Fig. 1: Verteilung des Jahresganges der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage), Zürich SMA, 1951-1990	9
Fig. 2: Zeitreihe der gemessenen Jahresverdunstung (Wild'sche Waage), Zürich SMA, 1951-1990	10
Fig. 3: Mittlere abs. Differenz von gemessener zu berechneter (C=1) Verdunstung, während drei verschiedenen Perioden	11
Fig. 4: Monatsmittel der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) von drei verschiedenen Perioden	13
Fig. 5: Monatsmittel der berechneten (C=1) Verdunstung von drei verschiedenen Perioden	13
Fig. 6: Mittlere abs. Differenz von gemessener zu berechneter (C=1) Verdunstung in Prozent der mittleren gemessenen Verdunstung, während drei verschiedenen Perioden	14
Fig. 7: Mittlere abs. Differenz von gemessener zu berechneter (C=1) Verdunstung in Prozent der mittleren berechneten (C=1) Verdunstung, während drei verschiedenen Perioden	14
Fig. 8: Mittlere abs. Differenz von gemessener zu berechneter (C=1) Verdunstung in Prozent der mittleren gemessenen Verdunstung, von hohen, mittleren und tiefen Werten der gemessenen Verdunstung	15
Fig. 9: Mittlere abs. Differenz von gemessener zu berechneter (C=1) Verdunstung in Prozent der mittleren berechneten (C=1) Verdunstung, von hohen, mittleren und tiefen Werten der berechneten (C=1) Verdunst.	15
Fig. 10: Mittelwerte und mittlere absolute Differenzen der gemessenen und berechneten Verdunstung in mm und in % der Mittelwerte, Zürich SMA, 1951-1990	21
Fig. 11: Jahresgang der gemessenen (gem.) und berechneten (ber.) Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, Mittelwerte (M) + - Standardabweichungen (s)	21
Fig. 12: Zeitreihen der gemessenen und berechneten Jahresverdunstung, Zürich SMA, 1951-1990	22
Fig. 13: Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, Januar	23
Fig. 14: Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, Februar	23

Fig. 15:	Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, März	23
Fig. 16:	Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, April	24
Fig. 17:	Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, Mai	24
Fig. 18:	Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, Juni	24
Fig. 19:	Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, Juli	25
Fig. 20:	Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, August	25
Fig. 21:	Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, September	25
Fig. 22:	Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, Oktober	26
Fig. 23:	Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, November	26
Fig. 24:	Gleitende Mittel über 9 Jahre der Verdunstung, Zürich SMA, 1951-1990, Dezember	26
Fig. 25:	Gleitende Jahresmittel über 9 Jahre des Niederschlages und der Verdunstung der Station Zürich SMA, 1901-1990	27
Fig. 26:	Statistische Verteilung der monatlichen Niederschläge, Zürich SMA, 1901-1990	31
Fig. 27:	Verteilung der monatlichen Niederschläge im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990	32
Fig. 28:	Verteilung der monatlichen Niederschläge im hydrolog. Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990	32
Fig. 29:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Jahr	33
Fig. 30:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Winter	33
Fig. 31:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Frühling	33

Fig. 32:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Sommer	34
Fig. 33:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Herbst	34
Fig. 34:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Vegetationsjahr	34
Fig. 35:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Hydrologisches Jahr	35
Fig. 36:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Hydrolog. Wi.-Sem.	35
Fig. 37:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Hydrolog. So.-Sem.	35
Fig. 38:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Januar	36
Fig. 39:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Februar	36
Fig. 40:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, März	36
Fig. 41:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, April	37
Fig. 42:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Mai	37
Fig. 43:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Juni	37
Fig. 44:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Juli	38
Fig. 45:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, August	38
Fig. 46:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, September	38
Fig. 47:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Oktober	39
Fig. 48:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, November	39

Fig. 49:	Zeitreihe der Niederschlagssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Dezember	39
Fig. 50:	Vergleich der gleitenden Mittel über 9-Jahre der Niederschlagssummen der vier Jahreszeiten, Zürich SMA, 1901-1990	40
Fig. 51:	Vergleich der gleitenden Mittel über 9-Jahre der Niederschlagssummen, Summation der vier Jahreszeiten, Zürich SMA, 1901-1990	41
Fig. 52:	Vergleich der gleitenden Mittel über 9-Jahre der Niederschlagssummen vom hydrologischen Jahr und dessen Halbjahre, Zürich SMA, 1901-1990	41
Fig. 53	Statistische Verteilung der monatlichen Verdunstung, Zürich SMA, 1901-1990	44
Fig. 54:	Verteilung der monatlichen Verdunstung im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990	45
Fig. 55:	Verteilung der monatlichen Verdunstung im hydrolog. Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990	45
Fig. 56:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Jahr	46
Fig. 57:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Winter	46
Fig. 58:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Frühling	46
Fig. 59:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Sommer	47
Fig. 60:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Herbst	47
Fig. 61:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Vegetationsjahr	47
Fig. 62:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Hydrologisches Jahr	48
Fig. 63:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Hydrolog. Wi.-Sem.	48
Fig. 64:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Hydrolog. So.-Sem.	48
Fig. 65:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Januar	49

Fig. 66:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Februar	49
Fig. 67:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, März	49
Fig. 68:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, April	50
Fig. 69:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Mai	50
Fig. 70:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Juni	50
Fig. 71:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Juli	51
Fig. 72:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, August	51
Fig. 73:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, September	51
Fig. 74:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Oktober	52
Fig. 75:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, November	52
Fig. 76:	Zeitreihe der Verdunstungssummen, Zürich SMA, 1901-1990, Dezember	52
Fig. 77:	Vergleich der gleitenden Mittel über 9-Jahre der Verdunstungssummen der vier Jahreszeiten, Zürich SMA, 1901-1990	53
Fig. 78:	Vergleich der gleitenden Mittel über 9-Jahre der Verdunstungssummen, Summation der vier Jahreszeiten, Zürich SMA, 1901-1990	54
Fig. 79:	Vergleich der gleitenden Mittel über 9-Jahre der Verdunstungssummen vom hydrologischen Jahr und dessen Halbjahre, Zürich SMA, 1901-1990	54
Fig. 80:	Statistische Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990	57
Fig. 81:	Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990	58
Fig. 82:	Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen im hydrolog. Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990	58

Fig. 83:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Jahr	59
Fig. 84:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Winter	59
Fig. 85:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Frühling	59
Fig. 86:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Sommer	60
Fig. 87:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Herbst	60
Fig. 88:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Vegetationsjahr	60
Fig. 89:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Hydrologisches Jahr	61
Fig. 90:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Hydrolog. Wi.-Sem.	61
Fig. 91:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Hydrolog. So.-Sem.	61
Fig. 92:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Januar	62
Fig. 93:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Februar	62
Fig. 94:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, März	62
Fig. 95:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, April	63
Fig. 96:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Mai	63
Fig. 97:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Juni	63
Fig. 98:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Juli	64
Fig. 99:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, August	64

Fig. 100:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, September	64
Fig. 101:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Oktober	65
Fig. 102:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, November	65
Fig. 103:	Zeitreihe der Wasserbilanzen, Zürich SMA, 1901-1990, Dezember	65
Fig. 104:	Vergleich der gleitenden Mittel über 9-Jahre der Wasserbilanzen der vier Jahreszeiten, Zürich SMA, 1901-1990	66
Fig. 105:	Vergleich der gleitenden Mittel über 9-Jahre der Wasserbilanzen, Summation der vier Jahreszeiten, Zürich SMA, 1901-1990	67
Fig. 106:	Vergleich der gleitenden Mittel über 9-Jahre der Wasserbilanzen vom hydrologischen Jahr und dessen Halbjahre, Zürich SMA, 1901-1990	67
Fig. 107:	Verteilung der monatlichen Niederschläge (R) im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990	68
Fig. 108:	Verteilung der berechneten monatlichen Verdunstung (V) im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990	68
Fig. 109:	Verteilung der monatlichen Wasserbilanz (R-V) im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990	68
Fig. 110:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Jahr	70
Fig. 111:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Winter	70
Fig. 112:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Frühling	70
Fig. 113:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Sommer	71
Fig. 114:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Herbst	71
Fig. 115:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Vegetationsjahr	71
Fig. 116:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Hydrologisches Jahr	72

Fig. 117:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Hydrolog. Wi.-Sem.	72
Fig. 118:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Hydrolog. So.-Sem.	72
Fig. 119:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Januar	73
Fig. 120:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Februar	73
Fig. 121:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, März	73
Fig. 122:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, April	74
Fig. 123:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Mai	74
Fig. 124:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Juni	74
Fig. 125:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Juli	75
Fig. 126:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, August	75
Fig. 127:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, September	75
Fig. 128:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Oktober	76
Fig. 129:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, November	76
Fig. 130:	Zeitreihen der Niederschlags- und Verdunstungssummen, 1901-1990, Dezember	76
Fig. 131:	Die monatlichen Niederschläge des Dürrejahres 1947 im Vergleich zur langjährigen Verteilung	79
Fig. 132:	Die monatlichen Verdunstungswerte des Dürrejahres 1947 im Vergleich zur langjährigen Verteilung	79
Fig. 133:	Die monatlichen Wasserbilanzen des Dürrejahres 1947 im Vergleich zur langjährigen Verteilung	79

Fig. 134:	Verteilung der monatlichen Niederschläge im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4, im Anhang)	99
Fig. 135:	Verteilung der monatlichen Niederschläge im hydrolog. Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4, im Anhang)	100
Fig. 136:	Verteilung der monatlichen Verdunstung im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4, im Anhang)	101
Fig. 137:	Verteilung der monatlichen Verdunstung im hydrolog. Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4, im Anhang)	102
Fig. 138:	Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4, im Anhang)	103
Fig. 139:	Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen im hydrolog. Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4, im Anhang)	104
Fig. 140:	Gleitende Mittel (über 9 Jahre) der Jahresverdunstung von 1901-1990, Zürich SMA und Mittel aus den Stationen Bern, Neuenburg, Genf und Basel (im Anhang)	105

VERZEICHNIS DER TABELLEN

	Seite
Tab. 1: Monats-, Jahressummen und Mittelwerte der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) in mm, Zürich SMA (569 m ü.M.), 1951-1990	7
Tab. 2: Verteilung der Monats- und Jahreswerte der Verdunstung (Wild'sche Waage) in mm, Zürich SMA, 1951-1990	9
Tab. 3: Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C=1) Verdunstung, 1952-1964	16
Tab. 4: Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C=1) Verdunstung, 1965-1977	16
Tab. 5: Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C=1) Verdunstung, 1978-1990	16
Tab. 6: Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C=1) Verdunstung, hohe gemessenen Werte	17
Tab. 7: Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C=1) Verdunstung, mittlere gemessene Werte	17
Tab. 8: Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C=1) Verdunstung, tiefe gemessene Werte	17
Tab. 9: Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C=1) Verdunstung, hohe berechnete Werte	18
Tab. 10: Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C=1) Verdunstung, mittlere berechnete Werte	18
Tab. 11: Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten (C=1) Verdunstung, tiefe berechnete Werte	18
Tab. 12: Statistik: Vergleich der gemessenen Verdunstung (Wild'sche Waage) mit der berechneten Verdunstung nach Formel Primault (mit monatlichen C-Faktoren), Zürich SMA, 1951-1990	20
Tab. 13: Niederschlag in mm, 1901-1990, Zürich SMA (Krähbühlstrasse, 569 m ü.M.), Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen und deren Mittelwerte	29
Tab. 14: Niederschlag in mm, 1901-1990, Zürich SMA (Krähbühlstrasse, 569 m ü.M.), Verteilung der Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen	31

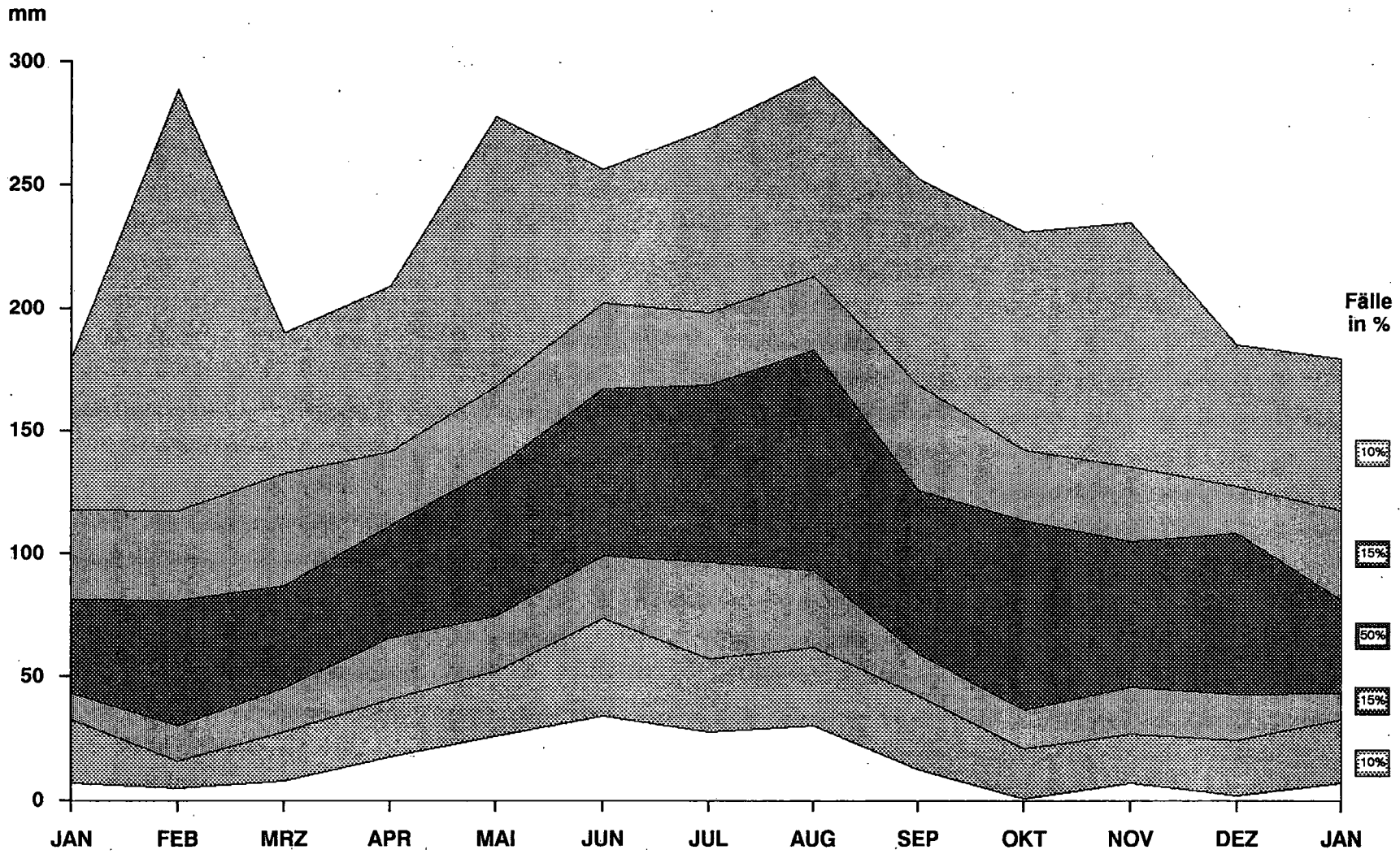
Tab. 15:	Verdunstung in mm, 1901-1990, Zürich SMA (Krähbühlstrasse, 569 m ü.M.), Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen und deren Mittelwerte	42
Tab. 16:	Verdunstung in mm, 1901-1990, Zürich SMA (Krähbühlstrasse, 569 m ü.M.), Verteilung der Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen	44
Tab. 17:	Wasserbilanz in mm, 1901-1990, Zürich SMA (Krähbühlstrasse, 569 m ü.M.), Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen und deren Mittelwerte	55
Tab. 18:	Wasserbilanz in mm, 1901-1990, Zürich SMA (Krähbühlstrasse, 569 m ü.M.), Verteilung der Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen	57
Tab. 19:	Verdunstung (V) und Wasserbilanz (WB) in Prozent des Niederschlags (R), Mittel der Periode 1901-1990, Zürich SMA (Krähbühlstrasse, 569 m ü.M.)	69

ANHANG

	Seite
Fig. 134: Verteilung der monatlichen Niederschläge im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4)	99
Fig. 135: Verteilung der monatlichen Niederschläge im hydrolog. Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4)	100
Fig. 136: Verteilung der monatlichen Verdunstung im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4)	101
Fig. 137: Verteilung der monatlichen Verdunstung im hydrolog. Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4)	102
Fig. 138: Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen im Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4)	103
Fig. 139: Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen im hydrolog. Jahresgang, Zürich SMA, 1901-1990, (als Arbeitsgraphik, A4)	104
Fig. 140: Gleitende Mittel (über 9 Jahre) der Jahresverdunstung von 1901-1990, Zürich SMA und Mittel aus den Stationen Bern, Neuenburg, Genf und Basel	105

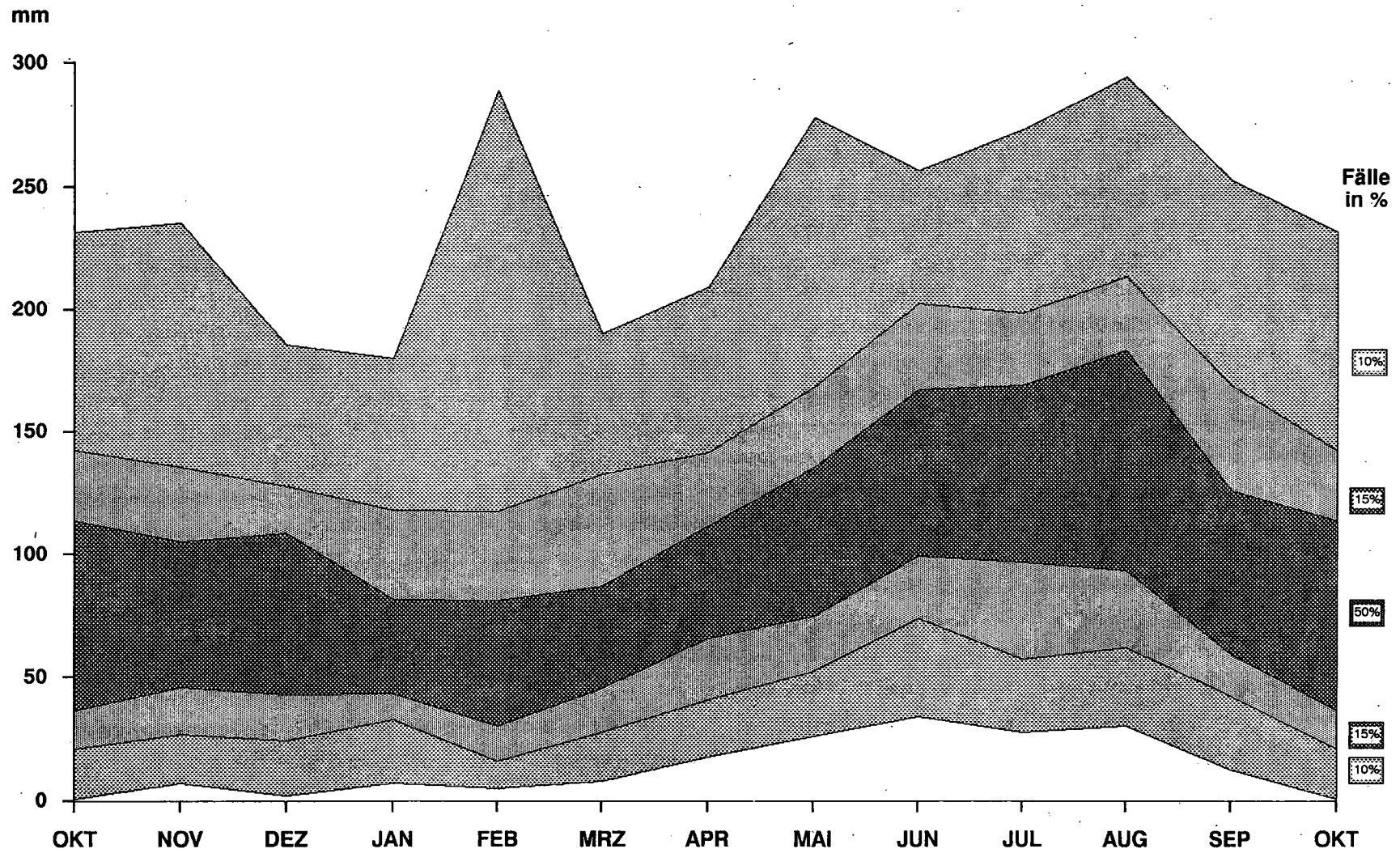
Figur 134

Verteilung der monatlichen Niederschläge im Jahresgang
Zürich SMA, 1901 - 1990



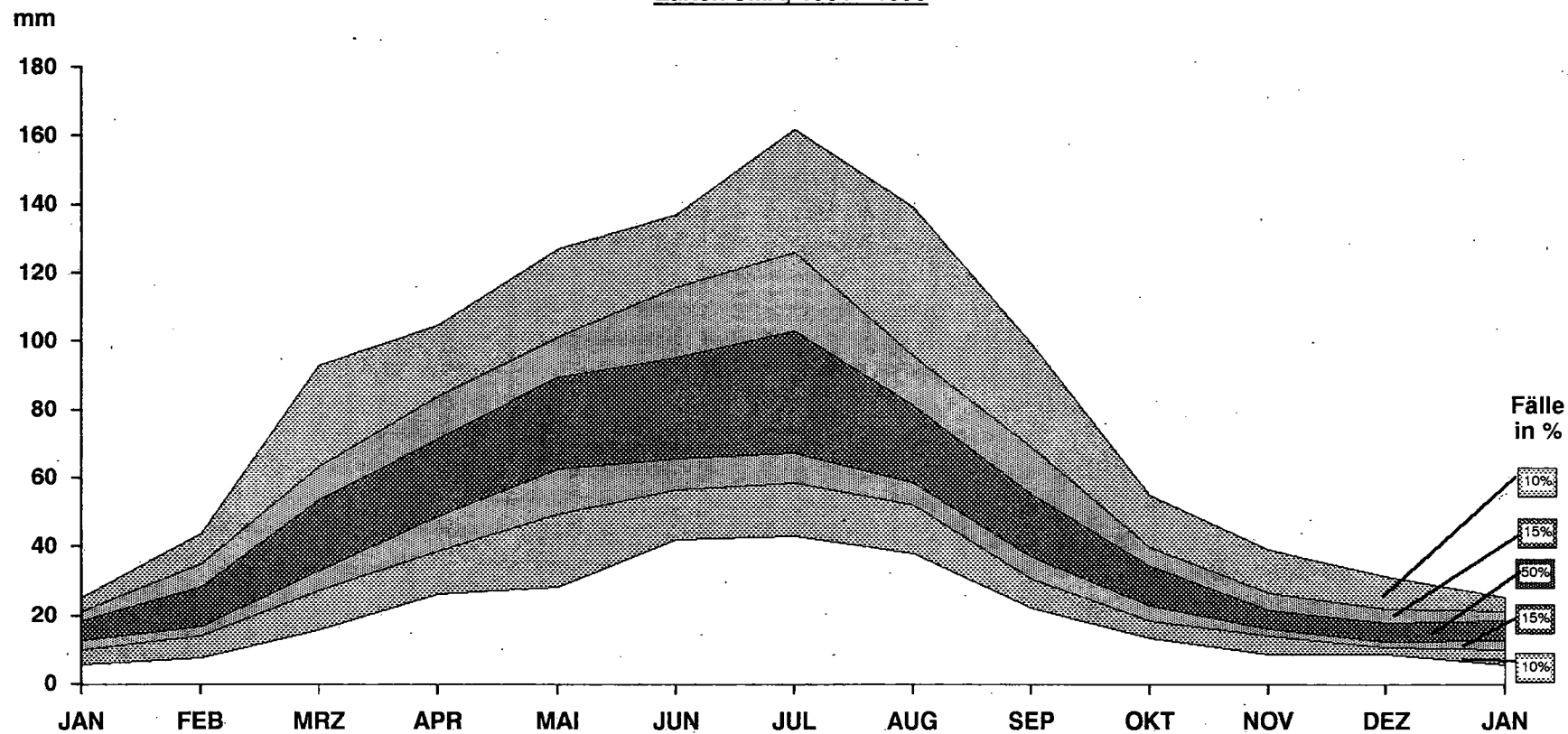
Figur 135

**Verteilung der monatlichen Niederschläge im hydrolog. Jahresgang
Zürich SMA, 1901 - 1990**



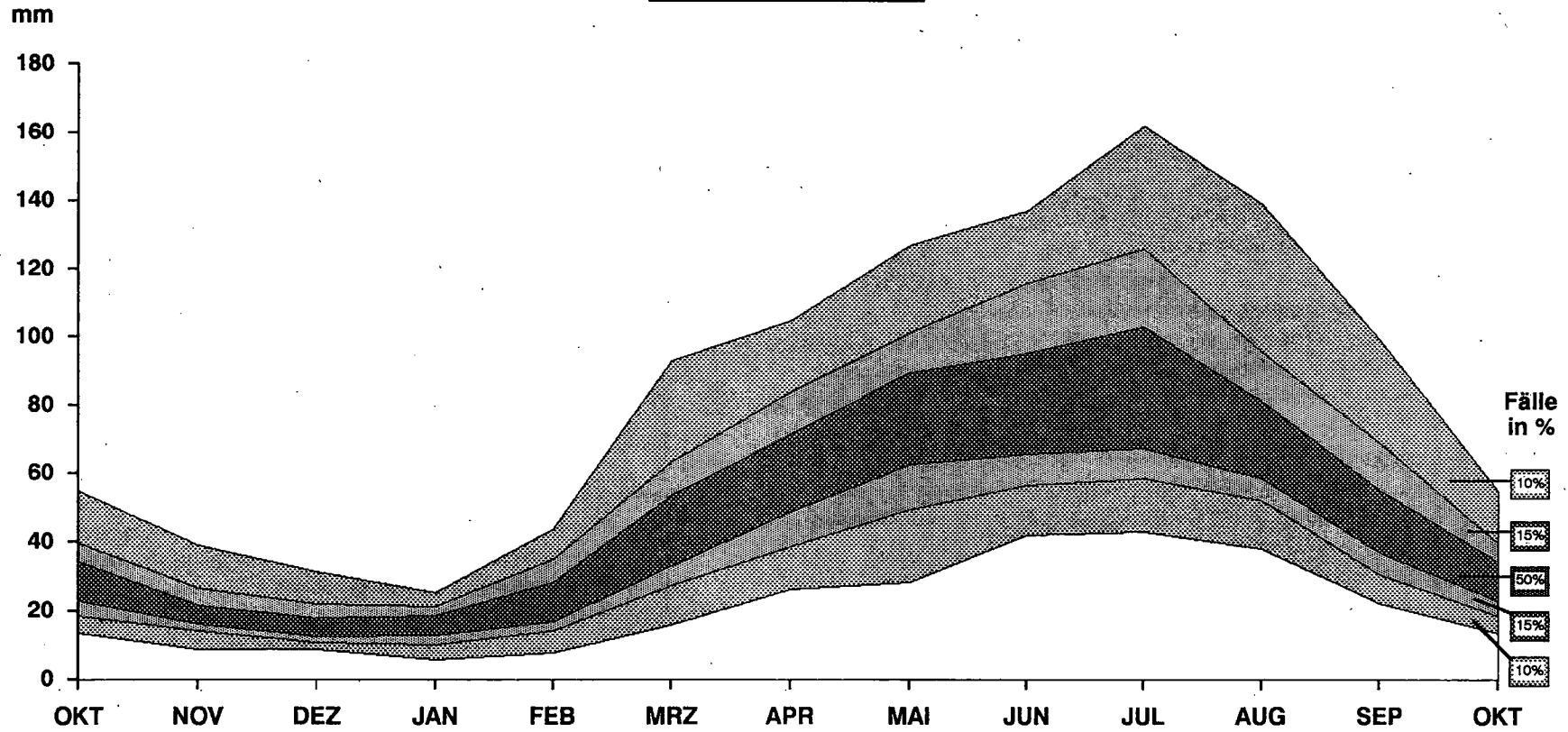
Figur 136

**Verteilung der monatlichen Verdunstung im Jahresgang
Zürich SMA, 1901 - 1990**



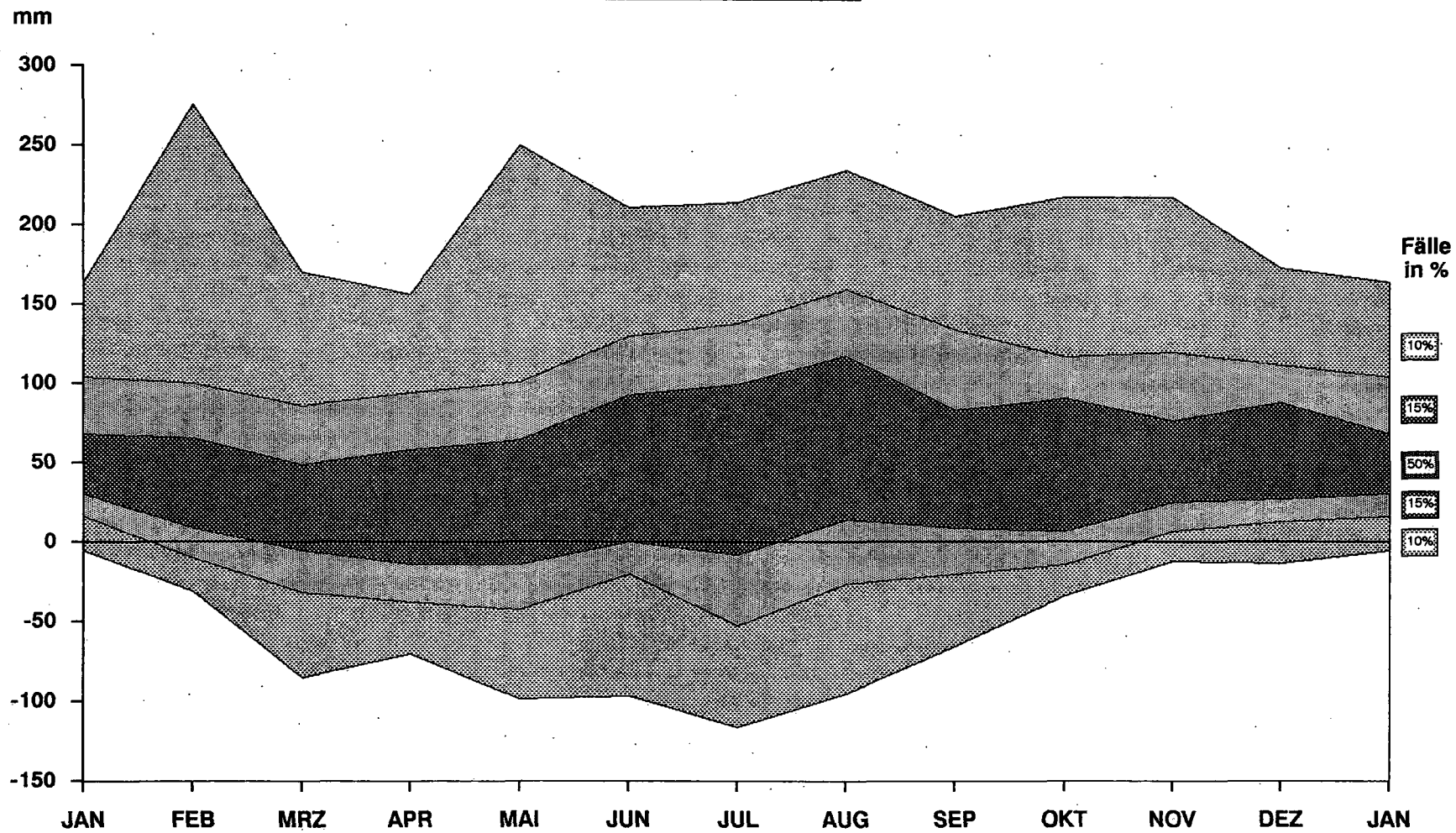
Figur 137

**Verteilung der monatlichen Verdunstung im hydrolog. Jahresgang
Zürich SMA, 1901 - 1990**



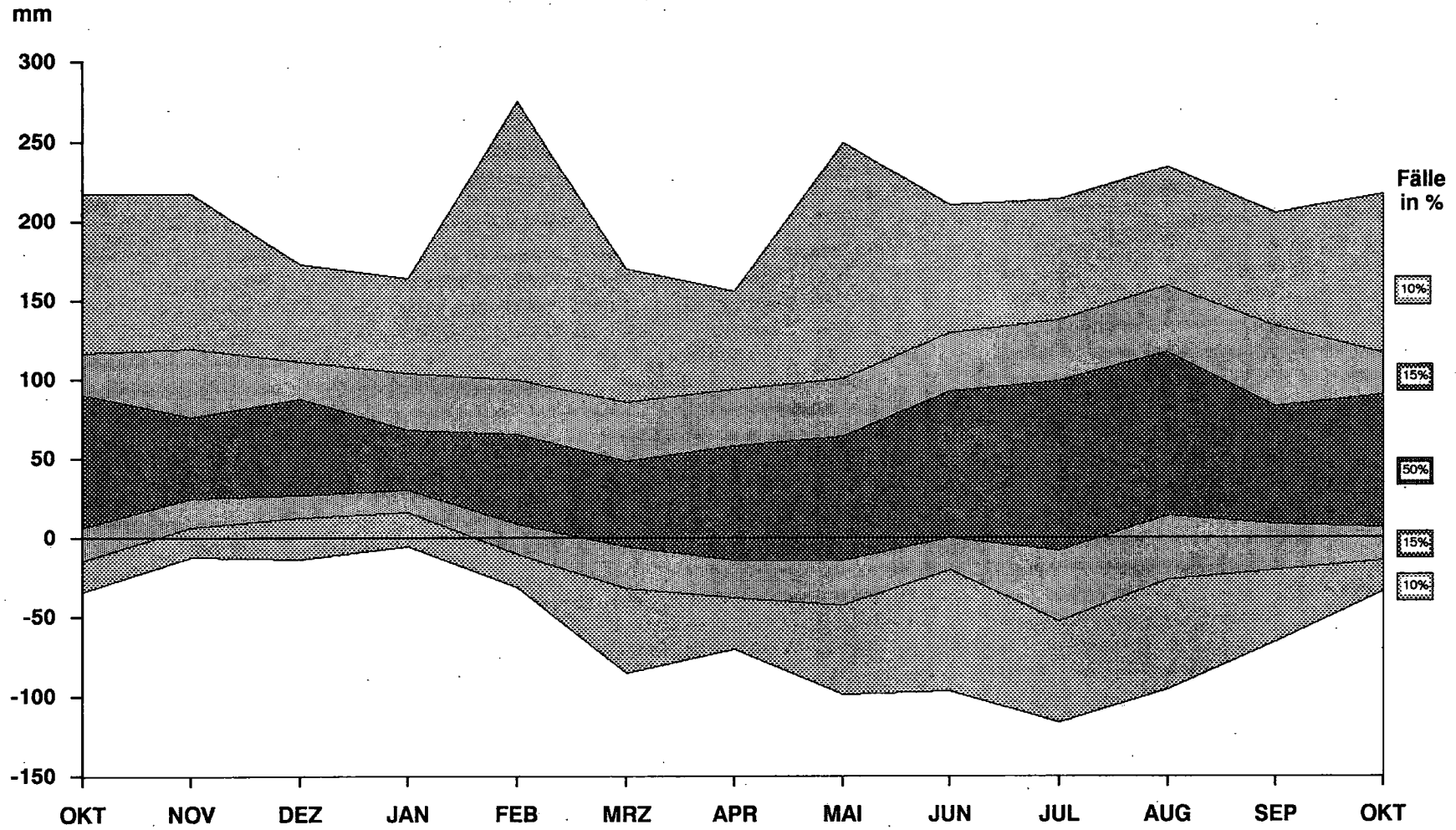
Figur 138

Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen im Jahresgang
Zürich SMA, 1901 - 1990

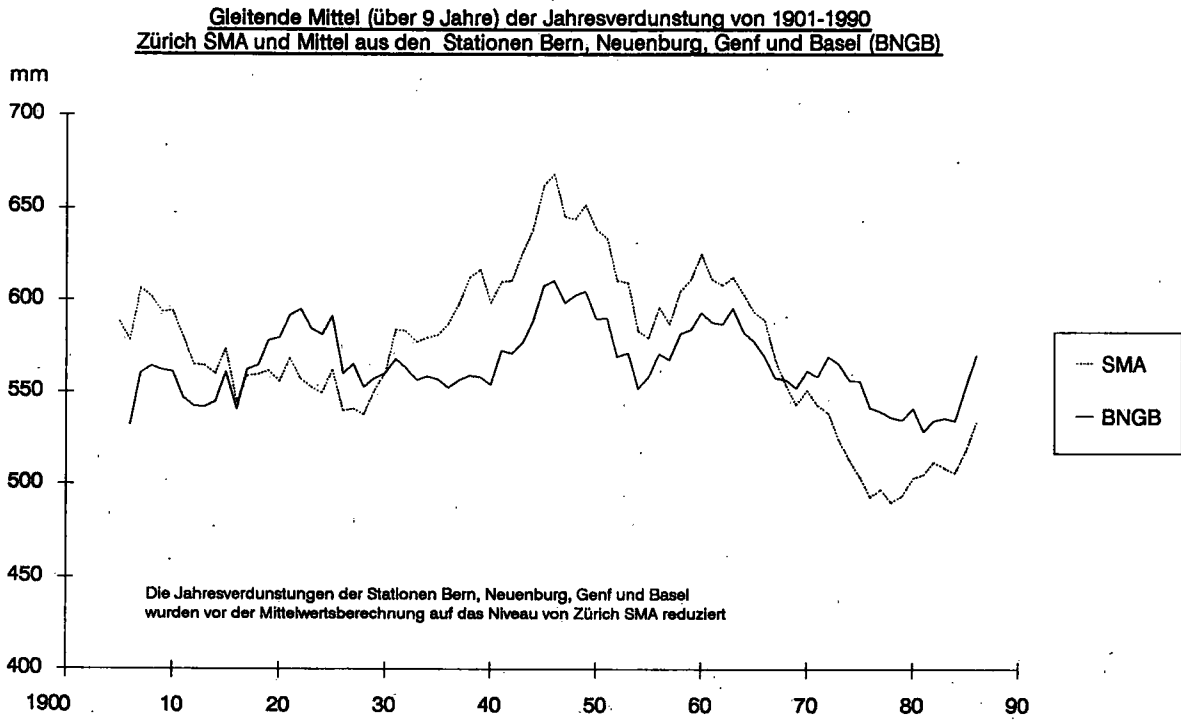


Figur 139

Verteilung der monatlichen Wasserbilanzen im hydrolog. Jahresgang
Zürich SMA, 1901 - 1990



Figur 140



Adresse des Verfassers: Jakob Brändli
Schweizerische
Meteorologische Anstalt
Krähbühlstrasse 58
CH-8044 Zürich

- Nr. 1a Uttinger H., Die Niederschlagsstunden in Zürich.
22 Seiten, 1962
- Nr. 1b Ambrosetti Fl., Die Niederschlagsstunden in Locarno-Monti.
12 Seiten, 1965
- Nr. 2 Thams J.C., unter Mitarbeit von A. Aufdermaur, P. Schmid und E. Zenone.
Die Ergebnisse des Grossversuches III zur Bekämpfung des Hagels im
Tessin in den Jahren 1957-1963.
32 Seiten, 1966 (vergriffen)
- Nr. 3 Grütter M., Die bemerkenswertesten Niederschläge der Jahre
1948-1964 in der Schweiz.
20 Seiten, 1966
- Nr. 4 Schram K. und Thams J.C., [Redaktion], 9. Internationale Tagung für Alpine
Meteorologie in Brig und Zermatt, 14.-17. September 1966.
366 Seiten, 1967
- Nr. 5 Ambrosetti Fl. und Thams J.C., Die direkte Sonnenstrahlung auf die Flächen eines
nach Süden orientierten Würfels ohne Grundfläche in Locarno-Monti.
16 Seiten, 1967
- Nr. 6 Schram K. und Thams J.C., Der Tagesgang der Abkühlungs- und
Aufwärmungsgrösse in Locarno-Monti.
20 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 7 Ambrosetti Fl., Schram K. und Thams J.C., Die Intensität der direkten
Sonnenstrahlung in verschiedenen Spektralbereichen in
Locarno-Monti.
13 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 8 Uttinger H., Die Zahl der Tage mit Windspitzen von mindestens
20 Metern pro Sekunde in Zürich (1934-1967).
22 Seiten, 1968
- Nr. 9 Mäder F., Untersuchung über die Windverhältnisse in Bodennähe
bei verschiedenen Wetterlagen.
42 Seiten, 1968
- Nr. 10 Schram K., Die Windverhältnisse in der bodennahen Luftschicht
an einem Hang von etwa 25 Grad Neigung.
13 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 11 Schüepp M., Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 bis 1967.
44 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 12 Ackermann P., Die neue Radiosondenstation Payerne
der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt.
36 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 13 Junod A., Contribution à la méthodologie granulométrique
des aérosols amicroscopiques.
70 Seiten, 1969
- Nr. 14 Joss J., Schram K., Thams J.C., Waldvogel A., Untersuchungen zur quantitativen
Bestimmung von Niederschlagsmengen mittels Radar.
37 Seiten, 1969 (vergriffen)
- Nr. 15 Courvoisier H.W., Die quantitative Niederschlagsprognose winterlicher
zyklonaler Witterungslagen auf der Alpennordseite der Schweiz.
15 Seiten, 1970 (vergriffen)

- Nr. 16 Schram Karin und Thams J.C., Die kurzweilige Globalstrahlung und die diffuse Himmelsstrahlung auf dem Flugplatz Zürich-Kloten.
18 Seiten, 1970
- Nr. 17 Kasser P., Schram Karin und Thams J.C., Die Strahlungsverhältnisse im Gebiet der Baye de Montreux.
46 Seiten, 1970
- Nr. 18 Gutermann Th., Vergleichende Untersuchungen zur Föhnhäufigkeit im Rheintal zwischen Chur und Bodensee.
68 Seiten, 1970
- Nr. 19 Ginsburg Theo, Die statistische Auswertung von langjährigen Temperaturreihen.
42 Seiten, 1970
- Nr. 20 Primault B., Du risque de gel et de sa prévision.
20 Seiten, 1971
- Nr. 21 Piaget A., Utilisation de l'ozone atmosphérique comme traceur des échanges entre la troposphère et la stratosphère.
72 Seiten, 1971
- Nr. 22 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen.
24 Seiten, 1971
- Nr. 23 Kirchhofer W., Abgrenzung von Wetterlagen im zentralen Alpenraum.
72 Seiten, 1971
- Nr. 24 Primault B., Le climat, élément du plan d'aménagement.
Das Klima, eine der Grundlagen der Landesplanung.
The climate as an element of the land management.
28 Seiten und eine Karte, 1971
- Nr. 25 Fröhlich C. und Wierzejewski, Die verschiedenen Messverfahren zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit dem Kompensationspyheliometer und die Entwicklung eines verbesserten Modells.
36 Seiten, 1972
- Nr. 26 Bouët M., Le foehn du Valais.
12 Seiten, 1972
- Nr. 27 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen
32 Seiten, 1972
- Nr. 28 Catzeflis J., Primault B., Strehler H., Analyse de la pluviosité dans le Valais central.
15 Seiten, 1972
- Nr. 29 Courvoisier H.W., Die Niederschlagswirksamkeit markanter, hochreichender Kaltluftinbrüche im Sommer in der Schweiz.
11 Seiten, 1973
- Nr. 30 Sevruc B., Erfahrungen mit Totalisatoren mit schiefen, geneigten und bodenebenen Auffangflächen im Einzugsgebiet der Baye de Montreux.
Einfluss der Temperatur auf die Messung des Niederschlages mit Totalisator.
44 Seiten, 1973
- Nr. 31 Strehler H., Beziehung zwischen Witterung und Zuckerrübenmerkmalen im Spätsommer.
20 Seiten, 1975
- Nr. 32 Courvoisier H.W., Katalog objektiv-statistischer Wetterprognosen für die Alpensüdseite und das Oberengadin.
24 Seiten, 1975
- Nr. 33 Primault B., Essais d'évaluation climatologique du risque de gel.
28 Seiten, 1975

- Nr. 34 Kirchhofer W., Stationsbezogene Wetterlagenklassifikation
50 Seiten, 1976
- Nr. 35 Piaget A., L'évolution orageuse au nord des Alpes
et la tornade du Jura vaudois du 26 août 1971
114 Seiten, 1976
- Nr. 36 Bouët M., Contribution à l'étude de la variation diurne
de pression en Suisse romande
23 Seiten, 1976
- Nr. 37 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen
Zentralalpen und Voralpen
60 Seiten, 1976
- Nr. 38 Primault B., Diagrammes psychrométriques
Quiby J., différenciés en altitude
36 Seiten, 1977
- Nr. 39 Courvoisier H. W., Katalog objektiv-statistischer Wetterprognosen
für die Alpennordseite, das Wallis sowie
Nord- und Mittelbünden
58 Seiten, 1978
- Nr. 40 Gutermann Th., 15. Internationale Tagung für alpine Meteorologie,
Mäder F. Grindelwald 19.-23. September 1978, 332 Seiten, 1978
(Redaktion) Tagungsbericht 1. Teil
- Nr. 41 Gutermann Th., 15. Internationale Tagung für alpine Meteorologie,
Mäder F. Grindelwald 19.-23. September 1978, 1979
(Redaktion) Tagungsbericht 2. Teil
- Nr. 42 Courvoisier H. W., Starkniederschläge in der Schweiz in Abhängigkeit
vom Druck-, Temperatur- und Feuchtefeld
59 Seiten, 1981
- Nr. 43 Urfer Charlotte, Mittlere Temperatur- und Windverteilung im
Dischmatal bei Davos bei typischen sommerlichen
Witterungslagen
32 Seiten, 1981
- Nr. 44 J.-D. Altherr, Prévission objective des hauteurs de précipitations
M. Dupanloup, et de l'ensoleillement relatif au moyen de l'analyse
Y. Ganter, discriminante
E. Junet, 43 Seiten, 1982
- Nr. 45 Courvoisier H. W., Abgeschlossene Höhentiefs und ihre Wetter-
auswirkungen in der Schweiz
44 Seiten, 1984
- Nr. 46 Perret R., Une classification des situations météorologiques
à l'usage de la prévision
127 Seiten, 1987
- Nr. 47 Courvoisier H.W. Regionale Wetterauswirkung und Prognose von Staulagen in der Schweiz
22 Seiten, 1988
- Nr. 48 Gutermann Th., 21. Internationale Tagung für alpine Meteorologie,
Mäder F. Engelberg 17.-21. September 1990, 437 Seiten 1990
(Redaktion) Tagungsbericht 1. Teil
- Nr. 49 Gutermann Th., 21. Internationale Tagung für alpine Meteorologie,
Mäder F. Engelberg 17.-21. September 1990, 135 Seiten, 1991
(Redaktion) Tagungsbericht 2. Teil
- Nr. 50 Defila C., Pflanzenphänologie der Schweiz,
238 Seiten, 1991

- Nr. 51 Binder P., Aspects of precipitation simulation in numerical weather prediction
Towards an operational mesoscale NWP model,
148 Seiten, 1992
- Nr. 52 Brändli J., Niederschlag, Verdunstung und Wasserbilanz
der Station Zürich SMA von 1901 bis 1990
Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen, Mittelwerte,
Verteilungen und Zeitreihen
109 Seiten, 1993

