

# Beiträge zur meteorologischen Statistik.

Von

E. WANNER (M. Z. A. Zürich).

(Mit 2 Abbildungen im Text)

(Als Manuskript eingegangen am 7. Februar 1940.)

In der Meteorologie ist es üblich, das Klima eines bestimmten Ortes durch langjährige Mittelwerte der verschiedenen Klimaelemente darzustellen. Vom praktischen Standpunkt aus mag diese Darstellungsweise zu einer groben Beschreibung des Klimas genügen. Vom Standpunkt der theoretischen Statistik aber ist die Sachlage, wie sie in der Klimatologie vorliegt, unbefriedigend. Eine statistische Masse kann erst dann als genügend ausgeschöpft betrachtet werden, wenn ihre Frequenzkurve mit Hilfe einer Charlier'schen Reihe, ohne systematische Abweichungen, dargestellt werden kann. In einer solchen Reihenentwicklung sind Mittelwert und Dispersion die ersten beiden Koeffizienten oder Charakteristiken. Sind die übrigen Charakteristiken verschwindend klein, so hat man es mit der bekannten Gauss'schen oder Poisson'schen Verteilung zu tun. Bis heute ist aber noch nie prinzipiell die Frage erörtert worden, ob die verschiedenen Klimaelemente diesen einfachen Verteilungsgesetzen folgen, d. h. ob wirklich mit Mittelwert und Dispersion die verschiedenen Elemente erschöpfend dargestellt werden können. Nur die Luftdruckfrequenzkurve ist von SCHMAUSS und POLLACK einer besonders eingehenden Analyse unterworfen worden<sup>1)</sup>, indem sie die Reihenentwicklung bis zur vierten Charakteristik numerisch ausgewertet haben.

Die Hauptschwierigkeit für eine erfolgreiche Verwendung der Methoden der mathematischen Statistik liegt in der Inhomogenität der meteorologischen Reihen. Ganz abgesehen von eventuellen säku-

<sup>1)</sup> A. SCHMAUSS und L. EGERSDÖRFER: Scheitelwerte des Luftdruckes. (Meteorologisches Jahrbuch, Bayern 1925.)

L. W. POLLACK: Prager Geophysikalische Studien I. Charakteristiken der Luftdruckfrequenzkurven.

laren Schwankungen, ist den meisten Elementen wenigstens ein jährlicher oder täglicher Gang aufgeprägt, der zuerst eliminiert oder dann durch Erweiterung des Formalismus in Rechnung gesetzt werden muss. Auch können für den Beobachter offensichtliche Umstände, im Kleide des mathematischen Formalismus recht kompliziert erscheinen. Denken wir z. B. an eine Sonnenscheinstatistik in einem tief eingeschnittenen Bergtal, wo sicher die komplizierte Form des Horizontes irgendwie in die Statistik eingehen muss.

Auch neue Instrumente oder Beobachtungsmethoden, selbst ein Beobachterwechsel kann ganz beträchtliche Inhomogenitäten in einer Beobachtungsreihe zur Folge haben. Etwelche Vorsicht beim Verwenden der statistischen Methoden ist deshalb notwendig.

**1. Die Frequenz der täglichen Niederschläge.**

Fast unbekannt in der meteorologischen Statistik ist bis heute die Theorie der Wahrscheinlichkeitsansteckung<sup>2)</sup>. Es handelt sich hier um eine ganz spezielle Charlier'sche B-Reihe, deren Charakteristiken alle durch zwei Grössen bestimmt sind.

Im Poisson'schen Fall sind alle Wahrscheinlichkeiten durch den Mittelwert  $h$  bestimmt. Bei der Wahrscheinlichkeitsansteckung tritt noch eine weitere Konstante, die sog. Ansteckung  $d$  hinzu.  $d$  gibt ein Mass für die Verkettung der Ereignisse. In Tab. I sind die verschiedenen Wahrscheinlichkeiten  $P_i$  für POISSON und Wahrscheinlichkeitsansteckung zusammengestellt.

**Tabelle I.**

$h =$  Mittelwert,  $d =$  Ansteckung

Wahrscheinlichkeiten	POISSON	Wahrscheinlichkeitsansteckung
$P_0 \quad . \quad . \quad . \quad .$	$e^{-h}$	$\frac{1}{(1+d)^{\frac{h}{d}}}$
$P_1 \quad . \quad . \quad . \quad .$	$\frac{e^{-h} \cdot h}{1!}$	$\frac{h}{1! (1+d)^{\frac{h}{d}+1}}$
$P_i \quad . \quad . \quad . \quad .$	$\frac{e^{-h} \cdot h^i}{i!}$	$\frac{h(h+d)(h+2d)\dots(h+[i-1]d)}{i! (1+d)^{\frac{h}{d}+i}}$

<sup>2)</sup> G. POLYA: Über die Statistik verketteter Vorgänge. (Z. angewandte Mathematik, Vol. 49) oder F. EGGENBERGER: Die Wahrscheinlichkeitsansteckung. (Diss. E. T. H. 1924.)

Bei POISSON ist  $\xi^2$  das Quadrat der Dispersion gleich dem Mittelwert  $h$ , bei der Wahrscheinlichkeitsansteckung ist dagegen

$$\xi^2 = h(1 + d)$$

Nach dieser Formel lässt sich bei einer vorgelegten statistischen Masse aus deren Dispersion die Ansteckung  $d$  berechnen. Für  $d = 0$  reduziert sich die Wahrscheinlichkeitsansteckung auf den Poisson'schen Fall.

Es hat sich gezeigt, dass die Frequenzkurve der täglichen Niederschläge bei vielen Stationen in der Schweiz mit guter Näherung durch die Wahrscheinlichkeitsansteckung beschrieben werden kann<sup>3)</sup>. Die Übereinstimmung zwischen theoretischer und beobachteter Frequenzkurve ist um so besser, je weniger sich bei einer Station orographische Einflüsse bemerkbar machen. Am besten ist die Übereinstimmung in den Wintermonaten. In den Sommermonaten zeigt sich besonders bei den Gebirgsstationen eine gewisse Anomalie. Gegenüber der berechneten Frequenzkurve werden zu viele trockene und zu wenig Tage mit kleinen Niederschlägen beobachtet. Es stellt sich nun die Frage, ob die auf dem kleinen Gebiet der Schweiz gefundenen Resultate auch für grössere Zonen Gültigkeit haben. In den folgenden Tabellen finden sich die Resultate für eine Anzahl Stationen des europäischen Kontinents zusammengestellt. Die Wahl fiel auf Stationen mit zuverlässigen Beobachtungen, von denen eine längere Reihe von Niederschlagsmessungen zur Verfügung gestanden ist.

1. *Paris St. Maur*—Paris 1880—1919: Nach dem Linke'schen Taschenbuch Bd. I, S. 242, sind die langjährigen Januar- und Februarmittel von Paris 38 bzw. 35 Millimeter. In den Sommermonaten Juli und August betragen die langjährigen Mittel 56 und 53 Millimeter. Die Niederschlagsverhältnisse in den beiden Winter- bzw. Sommermonaten sind also ziemlich homogen, so dass man sie je zusammen untersuchen kann. Die täglichen Niederschlagsmessungen sind jeweils auf den nächsten ganzen Millimeter auf- oder abgerundet worden.

Wie die Tabelle zeigt, sind weder im Winter noch im Sommer wesentliche systematische Abweichungen zwischen den beobachteten und berechneten Frequenzkurven vorhanden.

2. *Potsdam* 1893—1932: Nach dem Taschenbuch von LINKE Bd. III, S. 123 betragen die Januar-Niederschläge für diese Station 46 mm, das langjährige Februarmittel dagegen nur 33 mm. Die Niederschlagsverhältnisse dieser beiden Wintermonate sind

<sup>3)</sup> E. WANNER: Über die Frequenz der täglichen Niederschläge. (Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft Locarno 1939.)

Tabelle II.

Januar, Februar:  $h = 1.24$ ,  $d = 4.68$ 

I	II	III	IV	V
Milli- meter	Zahl der Tage beobachtet	Zahl der Tage berechnet	II-III	$\Sigma$ IV
0	1529	1495	+ 34	+ 34
1	298	326	- 28	+ 6
2	155	170	- 15	- 9
3	99	106	- 7	- 16
4	77	71	+ 6	- 10
5	51	50	+ 1	- 9
6	43	36	+ 7	- 3
7	33	27	+ 6	+ 3
8	21	20	+ 1	+ 4
9	9	15	- 6	- 2
10	16	12	+ 4	+ 2
11	7	9	- 2	0
12	5	7	- 2	- 2
13	4	5	- 1	- 3
14	6	4	+ 2	- 1
15	2	3	- 1	- 2
16	4	3	+ 1	- 1
17	2	2	0	- 1
18	2	2	0	- 1
19	0	1	- 1	- 2
20	1	1	0	- 2
21	1	1	0	- 2
22	1	1	0	- 2
23	1	1	0	- 2
24	1	0	+ 1	- 1
25	1	0	+ 1	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	.	.	.	.
30	.	.	.	.

Juli, August:  $h = 1.70$ ,  $d = 9.10$ 

I	II	III	IV	V
Milli- meter	Zahl der Tage beobachtet	Zahl der Tage berechnet	II-III	$\Sigma$ IV
0	1671	1610	+ 61	+ 61
1	223	271	- 48	+ 13
2	132	145	- 13	0
3	88	95	- 7	- 7
4	68	68	0	- 7
5	57	52	+ 5	- 2
6	43	40	+ 3	+ 1
7	30	32	- 2	- 1
8	24	26	- 2	- 3
9	25	21	+ 4	+ 1
10	9	18	- 9	- 8
11	19	15	+ 4	- 4
12	8	12	- 4	- 8
13	12	10	+ 2	- 6
14	7	9	- 2	- 8
15	8	8	0	- 8
16	7	6	+ 1	- 7
17	8	6	+ 2	- 5
18	7	5	+ 2	- 3
19	3	4	- 1	- 4
20	1	4	- 3	- 7
21	4	3	+ 1	- 6
22	2	3	- 1	- 7
23	4	2	+ 2	- 5
24	6	2	+ 4	- 1
25	1	2	- 1	- 2
26	2	2	0	- 2
27	2	1	+ 1	- 1
28	0	1	- 1	- 2
29	0	1	- 1	- 3
30	2	1	+ 1	- 2
31	1	1	0	- 2
32	2	1	+ 1	- 1
33	2	1	+ 1	0
34	1	1	0	0
35	0	1	- 1	- 1
.	.	0	0	.
.	.	0	0	.
41	0	0	0	.
42	1	0	+ 1	0
43	0	0	0	0
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

also nicht ganz homogen. Es werden deshalb die beiden Monate jeder für sich untersucht. Das Resultat der Rechnung für Januar findet sich in Tabelle III. Für die drei Sommermonate Juni, Juli und August sind die

langjährigen Mittel 58, 81 und 61 mm. Der Monat Juli hat also bedeutend mehr Niederschläge als Juni und August, die unter sich ziemlich homogene Niederschlagsverhältnisse aufweisen. In der Tab. III sind deshalb Juni und August zusammen untersucht worden.

Tabelle III.

Januar:  $h = 1.50$ ,  $d = 4.20$ Juni, August:  $h = 1.97$ ,  $d = 8.92$ 

I	II	III	IV	V
Milli- meter	Zahl der Tage beobachtet	Zahl der Tage berechnet	II-III	$\Sigma$ IV
0	708	688	+ 20	+ 20
1	183	199	- 16	+ 4
2	100	109	- 9	- 5
3	65	69	- 4	- 9
4	42	47	- 5	- 14
5	36	33	+ 3	- 11
6	29	24	+ 5	- 6
7	16	17	- 1	- 7
8	23	13	+ 10	+ 3
9	11	10	+ 1	+ 4
10	6	7	- 1	+ 3
11	3	6	- 3	0
12	7	4	+ 3	+ 3
13	1	3	- 2	+ 1
14	1	3	- 2	- 1
15	2	2	0	- 1
16	1	2	- 1	- 2
17	1	1	0	- 2
18	1	1	0	- 2
19	2	1	+ 1	- 1
20	0	1	- 1	- 2
21	0	0	0	- 2
22	1	0	+ 1	- 1
23	0	0	0	- 1
24	0	0	0	- 1
25	0	0	0	- 1
26	1	0	+ 1	0
27	0	0	0	0
28	.	.	.	.
29	.	.	.	.
30	.	.	.	.

I	II	III	IV	V
Milli- meter	Zahl der Tage beobachtet	Zahl der Tage berechnet	II-III	$\Sigma$ IV
0	1514	1470	+ 44	+ 44
1	257	292	- 35	+ 9
2	131	160	- 29	- 20
3	111	107	+ 4	- 16
4	77	78	- 1	- 17
5	58	59	- 1	- 18
6	54	46	+ 8	- 10
7	48	37	+ 11	+ 1
8	25	30	- 5	- 4
9	28	25	+ 3	- 1
10	19	20	- 1	- 2
11	10	17	- 7	- 9
12	19	14	+ 5	- 4
13	11	12	- 1	- 5
14	13	10	+ 3	- 2
15	8	9	- 1	- 3
16	7	7	0	- 3
17	8	6	+ 2	- 1
18	9	6	+ 3	+ 2
19	4	5	- 1	+ 1
20	2	4	- 2	- 1
21	3	4	- 1	- 2
22	5	3	+ 2	0
23	1	3	- 2	- 2
24	5	2	+ 3	+ 1
25	1	2	- 1	0
26	2	2	0	0
27	0	2	- 2	- 2
28	1	1	0	- 2
29	3	1	+ 2	0
30	0	1	- 1	- 1
31	0	1	- 1	- 2
32	1	1	0	- 2
33	0	1	- 1	- 2
34	1	1	0	- 2
35	0	1	- 1	- 3
36	0	1	- 1	- 4
.	.	0	0	- 4
38	0	0	.	- 4
39	1	0	+ 1	- 3
40	1	0	+ 1	- 2
41	0	0	0	- 2
.	.	0	0	- 2
51	1	0	+ 1	- 1
.	0	0	0	- 1
54	1	0	+ 1	0

Für den Monat Februar findet man  $h = 1.14$  und  $d = 3.48$ . Die Abweichungen zwischen beobachteter und berechneter Frequenzkurve sind von der gleichen Grösse wie im Januar.

3. St. Petersburg 1870—1908. Die Messungen wurden im russischen meteorologischen Zentralinstitut durchgeführt. Die

Monatsmittel von Januar und Februar sind 27 bzw. 25 mm, also homogen. Für die Sommermonate Juni, Juli und August sind die

Tabelle IV.

Januar, Februar:  $h = 0.81, d = 2.47$

August:  $h = 2.76, d = 10.75$

I	II	III	IV	V
Milli- meter	Zahl der Tage beobachtet	Zahl der Tage berechnet	II-III	$\Sigma$ IV
0	1485	1487	- 2	- 2
1	411	395	+ 16	+ 14
2	164	185	- 21	- 7
3	107	99	+ 8	+ 1
4	48	57	- 9	- 8
5	37	34	+ 3	- 5
6	24	20	+ 4	- 1
7	14	13	+ 1	0
8	9	8	+ 1	+ 1
9	5	5	0	+ 1
10	2	3	- 1	0
11	0	2	- 2	- 2
12	1	1	0	- 2
13	1	1	0	- 2
14	1	1	0	- 2
15	0	0	0	- 2
16	1	0	+ 1	- 1
17	0	0	0	- 1
18	.	.	.	.
19	.	.	.	.
20	.	.	.	.

I	II	III	IV	V
Milli- meter	Zahl der Tage beobachtet	Zahl der Tage berechnet	II-III	$\Sigma$ IV
0	644	642	+ 2	+ 2
1	132	151	- 19	- 17
2	89	87	+ 2	- 15
3	58	60	- 2	- 17
4	52	44	+ 8	- 9
5	40	35	+ 5	- 4
6	35	28	+ 7	+ 3
7	19	23	- 4	- 1
8	21	19	+ 2	+ 1
9	21	16	+ 5	+ 6
10	11	13	- 2	+ 4
11	13	11	+ 2	+ 6
12	7	10	- 3	+ 3
13	7	9	- 2	+ 1
14	8	7	+ 1	+ 2
15	8	6	+ 2	+ 4
16	7	6	+ 1	+ 5
17	6	5	+ 1	+ 5
18	4	4	0	+ 5
19	5	4	+ 1	+ 6
20	0	3	- 3	+ 3
21	5	3	+ 2	+ 5
22	1	3	- 2	+ 3
23	2	2	0	+ 3
24	1	2	- 1	+ 2
25	1	2	- 1	+ 1
26	1	2	- 1	0
27	1	1	0	0
28	0	1	- 1	- 1
29	0	1	- 1	- 2
30	1	1	0	- 2
31	1	1	0	- 2
32	0	1	- 1	- 2
33	0	1	- 1	- 3
34	1	1	0	0
35	0	1	- 1	- 4
36	1	1	0	- 4
37	0	1	- 1	- 5
38	1	0	+ 1	- 4
39	0	0	0	- 4
40	1	0	+ 1	- 3
41	0	0	0	- 3
.	.	.	.	.
46	0	0	0	- 3
47	1	0	+ 1	- 2
48	1	0	0	- 2
49	0	0	0	- 2
.	.	.	.	.
58	0	0	0	- 2
59	1	0	+ 1	- 1
60	0	0	0	- 1
61	1	0	+ 1	0
62	0	0	0	0
63	0	0	0	0

entsprechenden Werte 54, 59 und 83 mm. Tabelle IV gibt die Analyse für Januar und Februar zusammen und für den August.

Wie die Tabellen zeigen, existieren bei keiner der drei Stationen wesentliche systematische Abweichungen zwischen der theoretischen und beobachteten Frequenzkurve. Das gilt auch noch für eine Anzahl anderer, bis jetzt analysierten Stationen aus Mittel- und Westeuropa. Es besteht jetzt nur noch die Frage, ob diese Gesetzmässigkeiten auch für ganz andere Klimazonen ihre Gültigkeit haben.

## 2. Die Wahrscheinlichkeit anormal grosser Niederschläge.

Vergleicht man die reichhaltige Elementarschaden-Chronik für die Schweiz von H. LANZ und C. ROMMEL<sup>4)</sup> mit den Niederschlagsmessungen unserer Regenmess-Stationen, so kommt man bald zur Einsicht, dass auch bei ausgesprochenen Wasserschäden — verursacht durch lokale Wolkenbrüche — der Zusammenhang zwischen Niederschlagsmenge und Schadenwirkung von sehr komplexer Natur sein muss. Eine grosse Rolle spielt, neben den lokalen orographischen Eigentümlichkeit einer Gegend, sicher die Art der Besiedelung durch Menschen und Pflanzen. Dann sind aber auch für solche Untersuchungen die heutigen Niederschlagsmessungen unzureichend. Anstatt 24stündige Messungen sollten mindestens 12stündige oder sogar 4stündige Messungen zur Verfügung stehen. Auch erweist sich das relativ dichte Netz von Regenmess-Stationen als ungenügend. Hin und wieder ereignen sich beträchtliche Schadenfälle, wo auf den benachbarten Regenmess-Stationen keine oder wenigstens keine besonders intensiven Niederschläge beobachtet worden sind. Das gilt besonders für das Gebiet der Alpen. Ein heftiger Wolkenbruch in einem abgelegenen Hochtal vermag harmlose Bergwässerlein in reissende Ströme zu verwandeln, die unten im Tal mit ihren Begleiterscheinungen noch grosse Schadenwirkungen verursachen können. Wir beschränken deshalb die folgenden Überlegungen auf das Mittelland und die Voralpen. Für diese Gebiete kann man in grober Näherung behaupten, dass mit wachsenden anormal grossen Niederschlagsmengen auch die Schadenwirkungen im allgemeinen zunehmen.

Die Niederschlagsfrequenzkurven, wie sie im vorigen Abschnitt für einige Stationen ausführlich tabelliert worden sind, erlauben uns ein einigermaßen zutreffendes Bild über zu erwartende anormal grosse Niederschläge zu konstruieren. Als typische und zuverlässige Regenmess-Stationen für die Niederungen der NE-Schweiz wählen wir die Station Schaffhausen.

Die Schadenwahrscheinlichkeit durch Wolkenbrüche ist für die Sommermonate am grössten. Die Niederschlagsverhältnisse für Juni, Juli und August sind für unsere Stationen ziemlich homogen. Es wurde deshalb für den Zeitraum 1900—1939 für alle drei Monate zusammen die beobachtete und die theoretische Frequenzkurve bestimmt und daraus in Tab. V die Niederschlagswahrscheinlichkeiten

<sup>4)</sup> H. LANZ und C. ROMMEL: Elementarschäden und Versicherung, Bern 1936.

für die Niederschlagsstufen 0—10, 11—20, 21—30 Millimeter usw. berechnet.

Tabelle V. Schaffhausen.

Juni, Juli, August 1900—1939:  $h = 3.1924$ ,  $d = 12.1420$ .

Meereshöhe: 445 m.

I	II	III	IV
Niederschlagsstufen in Millimeter	Niederschlagswahrscheinlichkeit beobachtet	berechnet	II—III
0— 10	0.90571	0.90832	— 0.00261
11— 20	0.06766	0.06184	+ 0.00582
21— 30	0.01712	0.01895	— 0.00183
31— 40	0.00543	0.00667	— 0.00124
41— 50	0.00272	0.00251	+ 0.00021
51— 60	0.00054	0.00099	— 0.00045
61— 70	0.00027	0.00040	— 0.00013
71— 80	0.00027	0.00016	+ 0.00011
81— 90	0.00000	0.00007	— 0.00007
91—100	0.00027	0.00003	+ 0.00024
Summe	0.99999	0.99994	—

Der grösste in Schaffhausen beobachtete Niederschlag im Zeitraum 1900—1939 fiel am 20. Juli 1932, er betrug 94 mm. Die Wassermassen verursachten in Schaffhausen Wasserschäden im Betrag von ca. 11,000 Fr. Wie aus der Tabelle hervorgeht, beträgt die Summe der beobachteten Wahrscheinlichkeiten bis und mit der Stufe 91—100 m  $0.99999 \approx 1$ . Die Summe der theoretischen Wahrscheinlichkeiten erreicht bis zu dieser Stufe nur den Wert 0.99994. Es verbleibt also eine ganz kleine Restwahrscheinlichkeit von 0.00006 für Tagesniederschläge grösser als 100 mm. Dass in der Natur solche Fälle tatsächlich vorkommen, beweist die Unwetterkatastrophe vom 29.—30. Mai 1931 im nordwestlichen Teil des Kantons Aargau. Die Niederschlagsverhältnisse dieser Gegend sind ganz ähnlich denjenigen von Schaffhausen. Die Station Beznau verzeichnet einen Tagesniederschlag von 109 mm und seit Menschengedenken harmlose Wässerlein verwandelten sich damals in verheerende Ströme. Die entstandenen Wasserschäden und Reparaturarbeiten erreichten nach amtlichen Schätzungen fast den Betrag von einer Million Franken.

Setzen wir voraus, die Niederschlagsverhältnisse bleiben über längere Zeiträume unverändert, so beträgt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein bestimmter Tag der Sommermonate Juni, Juli und



August mehr als 100 mm Niederschlag liefert, nach Tabelle V 0.00006. Die Wahrscheinlichkeit, dass im Laufe des ganzen Sommers (92 Tage) ein Tag mit mehr als 100 mm Niederschlag auftritt, ist  $92 \times 0.00006 = 0.0055$ , d. h. durchschnittlich hat man pro Jahrtausend in Gegenden mit Niederschlagsverhältnissen wie Schaffhausen 5,5 Tage mit mehr als 100 mm Niederschlag zu erwarten oder ca. alle 182 Jahre ein solches Ereignis.

Als typische Voralpenstation der Nordostschweiz wählen wir Sternenberg im oberen Tösstal. Sternenberg hat keine Gipfelflage; auch gilt die Station als zuverlässig. In Tabelle VI sind wiederum die Niederschlagswahrscheinlichkeiten nach der beobachteten und berechneten Frequenzkurve für die Niederschlagsstufen 0—10, 11—20, 21—30 mm ... usw. zusammengestellt.

Tabelle VI. Sternenberg.

1900—1939.  $h = 5.311$ ,  $d = 16.764$ . Meereshöhe 930 m.

I	II		III	IV	V	VI
Niederschlagsstufen in Millimeter	Niederschlagswahrscheinlichkeit		$\Sigma$ II	$\Sigma$ III	IV—V	
	beobachtet	berechnet				
0—10	0.81332	0.83839	0.81332	0.83839	— 0.02507	
11—20	0.11630	0.09349	0.92962	0.93188	— 0.00226	
21—30	0.04348	0.03659	0.97310	0.96847	+ 0.00463	
31—40	0.01603	0.01625	0.98913	0.98472	+ 0.00451	
41—50	0.00462	0.00766	0.99375	0.99238	+ 0.00137	
51—60	0.00245	0.00374	0.99620	0.99612	+ 0.00008	
61—70	0.00163	0.00187	0.99783	0.99799	— 0.00016	
71—80	0.00054	0.00095	0.99837	0.99894	— 0.00057	
81—90	0.00081	0.00048	0.99918	0.99942	— 0.00022	
91—100	0.00000	0.00025	0.99918	0.99967	— 0.00049	
101—110	0.00054	0.00013	0.99972	0.99980	— 0.00008	
111—120	0.00027	0.00007	0.99999	0.99987	+ 0.00012	

Die Tabelle gilt für die Sommermonate Juni, Juli und August im Zeitraum 1900—1939. Ein Vergleich zwischen Tab. V und VI zeigt, dass in Sternenberg die Wahrscheinlichkeit für Tagesniederschläge grösser als 100 mm, 0.00033 beträgt (Kol. III, Tab. V und Kol. V, Tab. VI). Die Wahrscheinlichkeit für einen solchen Niederschlagstag ist also in Sternenberg 5,5 mal grösser als in Schaffhausen. Tatsächlich sind drei solche Tage beobachtet worden: 1910 Juni 14. 103 mm; 1912 Juni 13. 115 mm; 1930 Juni 23. 104 mm. An

zwei von diesen Tagen waren die verursachten Wasserschäden sehr gross, am dritten dagegen unbedeutend. Wie aber Kolonne V von Tabelle VI zeigt, bleibt noch eine kleine Restwahrscheinlichkeit von 0.00013 für Niederschläge grösser als 120 mm pro Tag. Mit solchen Ereignissen ist in der Tat zu rechnen. Am 25. August 1939 sind auf den benachbarten Stationen Bachtel (1100 m über Meer) 187 mm und gleichzeitig beim Sanatorium Wald (912 m über Meer) 107 mm gemessen worden. Sternenberg selber, das ca. 12 km nördlicher liegt, verzeichnet an diesem Tag nur 29 mm. Die Niederschlagsverhältnisse aller drei Stationen sind aber gleichartig. Ergänzt man in Tabelle VI die berechnete Kolonne III für noch grössere Niederschläge, so erhält man als Wahrscheinlichkeit für Tagesniederschläge grösser als 180 mm den Wert 0.00003. Das heisst bei gleichbleibenden klimatischen Verhältnissen wäre durchschnittlich alle 333 Jahre eine Katastrophe, wie sie am 25. August 1939 zwischen Wald und Rüti sich ereignete, zu erwarten. Dieser Zeitraum gilt natürlich auch für andere Gebiete der Voralpen mit ähnlichen Niederschlagsverhältnissen.

Mit Ausnahmen vielleicht von Mai und September sind die Wahrscheinlichkeiten für grosse Niederschläge in den andern Monaten wesentlich kleiner. (Man vergleiche z. B. die Tabelle für Winter- und Sommermonate im vorigen Abschnitt.) Damit werden natürlich die Schadenwahrscheinlichkeiten im allgemeinen auch kleiner. Anders liegen natürlich die Verhältnisse, wenn eine mächtige Schneeschicht bei einem Warmlufteinbruch durch reichliche Regenfälle zum Schmelzen gebracht wird. Dieser Fall ist aber in einem Gelände mit so komplizierten orographischen Verhältnissen recht schwierig zu analysieren. Dagegen lässt sich vielleicht, wie für eine einzelne Station, die mittlere Niederschlagsfrequenzkurve für kleinere, einfache Flussläufe auch theoretisch einfach berechnen.

Der Verlauf der Frequenzkurven der Tagesniederschläge mahnt uns auf alle Fälle zur Vorsicht. Es genügt nicht, bei Schutzbauten eine 10-, 20- oder sogar 50jährige Niederschlagsreihe auf die Extremalwerte zu untersuchen. Es sind eben doch, wie die theoretische Frequenzkurve zeigt, ausserordentliche Ereignisse möglich, die sich erst auf viel grössere Zeiträume zu wiederholen pflegen, und da kann evtl. eine weit zurückreichende Naturchronik eines Gebietes über die eventuellen Möglichkeiten bessere Aufschlüsse geben, als die Spitzenmessungen in den relativ kurzen Reihen der exakten Niederschlagsbeobachtungen.

### 3. Über die Frequenzkurven der stündlichen Windgeschwindigkeiten.

Ein anderes klimatisches Element, das in der Chronik der Elementarschäden eine wichtige Rolle spielt, ist der Wind. Für dieses Element sind aber die meteorologischen Grundlagen bis heute etwas dürftig geblieben, denn gute Windmessungen werden nur an relativ wenigen Punkten eines Landes ausgeführt, so dass die verheerend wirkenden Sturmzentren meistens durch die weiten Maschen des Beobachtungsnetzes fallen. Die Windmessung ist auch heikel und die Anemometer bedürfen einer dauernden Kontrolle, so dass sich gerade bei diesem Element schon ein Beobachterwechsel recht unangenehm bemerkbar machen kann. Wir erwähnen nur den Eisansatz, der, falls das Instrument nicht ständig beaufsichtigt wird, zu wesentlichen Inhomogenitäten Anlass geben kann. Schon A. WAGNER<sup>5)</sup> hat versucht, die Frequenzkurve der Stundenwerte von Wien durch eine Gauss'sche und Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung darzustellen. Die Existenz von Hoch- und Tiefdruckgebieten lassen aber die Vermutung aufkommen, dass die Luftversetzungen nicht von zufälliger Art sein können, sondern dass eine gewisse Verkettung vorhanden sein muss. Diese Luftdruckgebilde zeigen eine gewisse Stabilität und sie bedingen direkt kausal den Lufttransport. Die «Luftquanten» passieren eine bestimmte Station in Schwärmen, dazwischen fallen relativ ruhige Perioden. Über diese Zirkulation lagert sich die lokale Zirkulation, verursacht durch den Wechsel in der Ein- und Ausstrahlung durch die lokale Orographie, durch Verteilung von Wald und Feld, Wasser und Land usw. BURGER und EKHART<sup>6)</sup> haben z. B. nachgewiesen, dass der Alpenkörper als Ganzes eine tägliche Zirkulation erzeugt, die sich beidseitig bis weit ins Vorland hinaus bemerkbar macht.

Die stündlichen Luftversetzungen, wie sie von guten Anemometern gemessen werden, bilden also eine recht inhomogene statistische Masse. Es ist daher auch nicht verwunderlich, dass die Frequenzkurve nicht einem einfachen Verteilungsgesetze folgt.

Um alle diese lokalen Einflüsse wenigstens zum Teil zu eliminieren, beschränken wir uns im folgenden zunächst auf die Station Säntis, die nahezu in der freien Atmosphäre liegt. Der tägliche Gang,

<sup>5)</sup> H. LETTAU: Atmosphärische Turbulenz, S. 154.

A. WAGNER: Theorie der Böigkeit und der Häufigkeitsverteilung von Windstärke. (GERLANDS Beiträge z. Geophysik, Bd. 24, S. 386.)

<sup>6)</sup> A. BURGER und E. EKHART: Über die Zirkulation im Bereiche der Alpen. (GERLANDS Beiträge z. Geophysik, Bd. 49.)

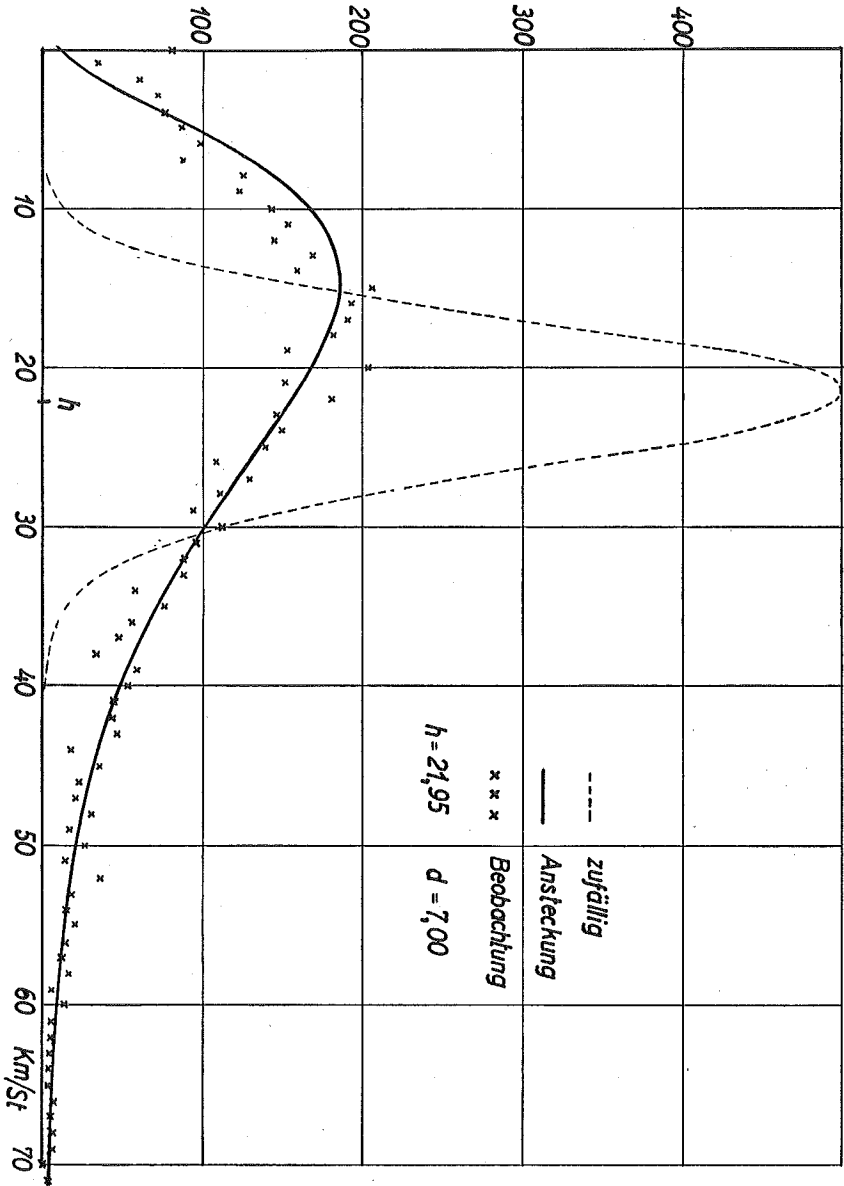


Abb. 1. Frequenzkurve der Stundenwerte der Windgeschwindigkeit auf dem Sântis 1932—1939 für Juni, Juli und August 21 Uhr 30 bis 4 Uhr 30.

der ja auf allen Stationen des Festlandes vorhanden ist, kann teilweise ausgeschaltet werden, wenn man nicht alle 24 Stundenwerte benützt, sondern sich auf eine Anzahl Werte der gleichen Tageszeit beschränkt. Seit 1932, dem Amtsantritt des jetzigen Beobachters,

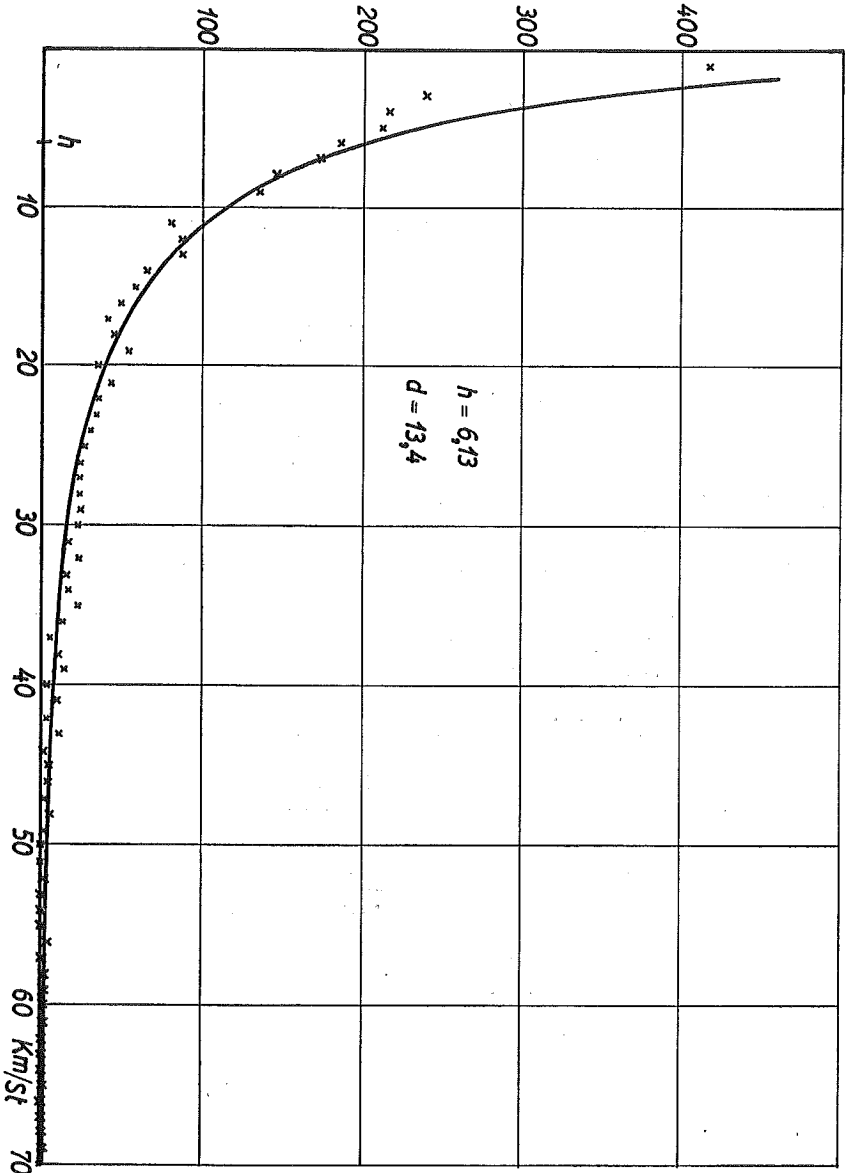


Abb. 2. Frequenz der Stundenwerte der Windgeschwindigkeit für Zürich 1920 bis 1930 für November, Dezember, Januar und Februar 0 Uhr 30 bis 5 Uhr 30. Anemometer nicht sehr empfindlich.

erweisen sich die Windbeobachtungen der Säntisstation als ziemlich homogen. Um eventuelle Vereisungseinflüsse möglichst zu reduzieren, wurden für die folgende Statistik die Nachtstunden von 21<sup>30</sup>—4<sup>30</sup> der Sommermonate Juni, Juli und August ausgewählt. Nach

Angaben des Beobachters können Vereisungen vorkommen, doch sind sie gegenüber den andern Monaten viel seltener.

Abb. 1 gibt ein Bild der beobachteten und berechneten Frequenzkurven für zufällige und verkettete Ereignisse. In erster Näherung gibt die Wahrscheinlichkeitsansteckung eine gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen. Wie nicht anders zu erwarten, machen sich aber doch noch bei den kleinen Windgeschwindigkeiten bis 14 Stundenkilometer merkliche systematische Abweichungen bemerkbar, während die Übereinstimmung für mittlere und grosse Geschwindigkeiten befriedigend ist.

Ein anderes Mittel, die Inhomogenitäten in der Frequenzkurve wenigstens teilweise zu eliminieren, besteht darin, dass man die Aufzeichnungen eines trägen Instrumentes benützt, das auf die ganz kleinen Geschwindigkeiten überhaupt nicht anspricht. Damit wird natürlich die ganze Kurve etwas verfälscht. Für Zürich stehen die Stundenwerte eines solchen Instrumentes zur Verfügung. Es werden in diesem Falle besonders viele Calmen registriert. So wurden in den Nachtstunden 0<sup>30</sup>—4<sup>30</sup> Uhr der Monate November, Dezember, Januar und Februar der Jahre 1920—1930 ca. 2200 Calmen aufgezeichnet. Der normale Wert ist aber ca. 10mal kleiner; der berechnete Wert ist 1600. Abb. 2 gibt die Beobachtungen und die berechnete Frequenzkurve für Ansteckung. Wiederum ist die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung für mittlere und grosse Geschwindigkeiten ziemlich gut. Dagegen wurden gegenüber der berechneten Kurve ca. 600 Calmen mehr beobachtet, dafür ca. 640 Fälle weniger bei den kleinen Geschwindigkeiten bis 6 km/Sek. Die Abweichungen nach beiden Seiten sind von der gleichen Grössenordnung. Im übrigen zeigt der Verlauf der Frequenzkurven, dass auch anormal grosse Windgeschwindigkeiten möglich sind. Die Wahrscheinlichkeiten für diese Teile sind natürlich sehr klein und der Zusammenhang mit den Schadenwirkungen von ebenso komplexer Natur wie bei den grossen Niederschlägen.

---