

VERGLEICHENDE MESSUNGEN DES NEBELNIEDERSCHLAGS

DR. J. GRUNOW

Meteorologisches Observatorium Hohenpeissenberg des Deutschen Wetterdienstes.

SUMMARY

Comparable Measurements of Fog Precipitation.

Results of some years comparable measurements of fog precipitation with the Hohenpeissenberg fog catcher are discussed. In addition to cloud physical conditions the exposition and height of locality is decisive for the amount of deposits from cloud air. The highest amounts are given in case of including warm air masses of maritime origin in drift. The droplet spectrum then indicates a range of 4 to 20 μ and a maximal diameter of 8 - 12 μ . The deposits are still more intensive with amounts of 2 - 3 mm/h in case of stemming cloudiness when rain is not actual. The air masses are then often degenerated by continental influence and the droplet spectrum indicates a wide range from 5 to 60 μ with a maximum of 12 - 18 μ . On the tops of the German upland mountains there is found a surplus of 1 - 2 times of precipitation amount in a year. It is compared with the amount of water deposited by fog precipitation on the Velebit (Jugoslavia), on Table Mountain (South Africa) and on Hokkaido (Japan).

1. VORBEMERKUNG.

Beobachtungen über zusätzliche Wasserablagerungen aus Nebelluft (fog drip) in einem Waldbestand des Hohenpeissenberges in 975 m Seehöhe regten im Jahre 1951 zur näheren Untersuchung einer Zusatzkomponente des Niederschlags an, dessen Studium die Meteorologische Weltorganisation in ihren Washingtoner Beschlüssen 1948 (Res. 139) empfohlen hat. Die Bedeutung dieser zusätzlichen Wasserspende für die Vegetation ist aus den Tropengebieten bekannt, wo in den Gebirgen oberhalb des Regenwaldes sich im Wolken- und Nebelgürtel der Kondensationszone als typische Vegetationsform der immergrüne « Nebelwald » entwickelt. Auch aus den aussertropischen Gebieten ist die Wirkung des Nebelniederschlags auf den Pflanzenwuchs belegt (¹). Überall, wo Erhebungen zeitweilig in den Wolkenraum der Grundsicht hineinragen, wo heftige Talwinde an den Berghängen ausgesprochene Nebelgürtel in das Gebirge vorschieben, wo feuchtwarme Luftströmungen vom Meer auf das Festland übertreten und Steigungsnebel hervorrufen, ist mit erheblichen Ablagerungen zusätzlicher Wassermengen aus Nebelluft zu rechnen.

Über die Grössenordnung des Nebelniederschlags waren bis dahin nur Hinweise aus älteren Arbeiten zu entnehmen (MARLOTH, LINKE, HARTMANN, DESCOMBES, DIECKMANN, RUBNER, Literatur bei (²)). Die Ergebnisse dieser verschiedenen Untersuchungen sind nicht miteinander vergleichbar, weil die abgelagerte Menge mit Art und Aufbau des ablagernden Vegetationsbestandes wechselt. Erst mit der Einführung eines definierten Nebelfängers, der an allen Orten eine gleichartige Ablagerungsfläche darbietet, wurde erstmals das Angebot der Atmosphäre an Nebelniederschlag einer vergleichenden klimatologischen Bearbeitung zugänglich gemacht. Hier wird über die Ergebnisse der bisher vorliegenden bzw. bekanntgewordenen Beobachtungsreihen berichtet.

2. ZUR MESSMETHODE.

Über die zur Messung des Nebelniederschlags angewandte Methode und deren

theoretische Begründung wurde auf der Konferenz in Rom 1954 berichtet ⁽³⁾. Einige Erfahrungen auf Grund sechsjähriger Messreihen sowie bekannt gewordene methodische Einwände seien hier besprochen.

a. *Die Linearität des Ablagerungsverhältnisses.*

Der Hohenpeissenberger Nebelfänger besteht aus einem Zylinder von Drahtgaze, die ein System von Ablagerungszylindern kleinsten Durchmessers (0.25 mm) bildet. Die grundlegende Voraussetzung des Messverfahrens, das lineare Verhältnis zwischen Windgeschwindigkeit und Ablagerungsmenge, ist erfüllt ⁽¹⁾.

b. *Die Niederschlagszurückhaltung am Netzgitter.*

Am Netz des Nebelfängers findet, ähnlich wie am Vegetationsbestand, eine Zurückhaltung (interception) von abgelagertem Niederschlag statt, die im Durchschnitt mit 10 % anzusetzen ist. Dieser Fehlbetrag fällt grösstenteils der Verdunstung anheim oder gerät durch Abwehen abgelagerter Tröpfchen in Verlust. Gegenüber der früher ⁽²⁾ beschriebenen und abgebildeten Form wurde neuerdings der untere Rand des Zylinders an den drei Stützen heruntergezogen und der Ablauf der nach unten zusammenlaufenden Tropfen um 5 — 10 % verbessert, so dass die Niederschlagszurückhaltung am Drahtgitter heute nur noch 1 — 2 % beträgt. Ganz ausschalten lässt sich dieser Verlustposten nicht. Die effektiv am Gitter abgelagerte Wassermenge liegt darum etwas höher als die Messung anzeigt.

c. *Die effektiv wirksame Ablagerungsfläche.*

In einer Untersuchung über den Nebelniederschlag am Tafelberg bei Kapstadt, bei der Hohenpeissenberger Nebelfänger zum Einsatz kamen, leitete NAGEL ⁽⁵⁾ den Wirkungsgrad der effektiven Ablagerungsfläche aus der teilweisen gegenseitigen Abdeckung der einzelnen Drähte am Rande des projizierten Zylindermantels zu 0.56 und nach Bedeckung des Netzes mit abgelagerten Tropfen zu 0.75 der Auffangfläche des Niederschlagsmessers ab. Nach voller Benetzung dürften weniger als 10 % der gegen den Zylinder anströmenden Wolkenströpfchen den Zylinder durchströmen, ohne am Ablagerungsvorgang beteiligt zu werden. Die am Nebelfänger aufgefangenen Mengen werden aber mit dem Messglas des Niederschlagsmessers ausgemessen und damit auf dessen Auffangfläche 200 cm² bezogen. Die auf die Einheitsfläche stattgefundene Ablagerung liegt also höher als dem Messergebnis zu entnehmen ist.

d. *Der Einfluss seitlich auffallenden Niederschlags.*

Die zusätzliche Menge des Nebelniederschlags wird aus dem Messergebnis zweier Niederschlagsmesser, von denen der eine mit einem Nebelfänger ausgerüstet ist, zu $N = (R + N) - R$, der Differenz der mit beiden Messern aufgefangenen Mengen, abgeleitet. Die Voraussetzung, dass der Mehrbetrag des mit Nebelfänger ausgerüsteten Niederschlagsmessers ausschliesslich durch die horizontal antreibenden Nebeltröpfchen zustande kommt, ist im Einzelfall nicht gültig. Wenn bei stärkerem Wind zugleich auch Regen fällt und der Einfallswinkel der Regentropfen 8° übersteigt, vergrössert das Netzgitter die Auffangfläche des Niederschlagsmessers. Andererseits werden dann am Netz aufgefangene oder zusammengelaufene Tropfen in stärkerem Masse abgeweht, ohne in das Sammelgefäss abzulaufen. Eine geringe Menge seitlich aufgefangenen Regenwassers wird, solange die Luft nicht voll gesättigt ist, d.h. kein Nebel herrscht, vom Netz wieder verdunsten. Diese die Wassereinnahme

erhöhenden und vermindernden Effekte gleichen sich im Mittel annähernd aus, wie Vergleiche im Auffang beider Geräte — mit und ohne Nebelfänger — bei nebelfreiem Wetter bestätigen ⁽³⁾. Es besteht kein Grund zu der Annahme, dass der Mehrbetrag des Nebelfängers bei Regenfall, wenn gleichzeitig auch Nebel herrscht, nicht durch die abgelagerten Nebeltröpfchen verursacht, sondern durch seitlich am Netz aufgeschlagene Regentropfen wesentlich verfälscht sei.

Bei Schneefall spielt dieser Effekt eine nur untergeordnete Rolle. Die leichten, schon bei mässigen Wind mehr horizontal auffallenden Schneeteilchen verstopfen schnell das Netz, das sich danach immer mehr wie ein geschlossener Zylinder von 100 mm ϕ verhält. In diesem Zustand werden die in der Strömung mitgeführten Niederschlagsteilchen zum grössten Teil um den Zylinder herumgeführt und nicht mehr auf dessen Oberfläche abgelagert ⁽⁴⁾.

Um den Einfluss seitlich auffallenden Niederschlags auszuschalten, wandte NAGEL ⁽⁵⁾ bei seinen Auswertungen das folgende Verfahren an: Als Grenzwert zur Unterscheidung von Nebelniederschlag und Nieselregen (drizzle) wird eine Intensität von 0.1 mm/h angenommen. Zeitabschnitte, in denen im Regenschreiber (R) mindestens diese Menge registriert wurde, werden bei der Aufzeichnung des zweiten Regenschreibers mit Nebelfänger (RN) nicht berücksichtigt. Als Nebelniederschlag werden also praktisch nur diejenigen im Gerät RN aufgezeichneten Mengen gewertet, bei denen das Gerät R eine gerade Linie aufzeichnete. Er erhält so eine Intensität des Nebelniederschlags im Mittel des Beobachtungsjahres von 3.75 mm/h (gegenüber einer mittleren Intensität des Regenfalls von 1.84 mm/h). Rechnungen von SCHUMANN ⁽⁶⁾ machen aber für den Gehalt an flüssigem Wasser, den die Hinderniswolke über dem Tafelberg, das «Tafeltuch», durch eine Fläche von 1 m² passieren lässt, bei einer beobachteten mittleren Windgeschwindigkeit von 13 m/sec eine Menge von 46.8 mm/h wahrscheinlich, also einen gegenüber dem experimentellen Befund mehr als 12 mal höherem Betrag. Zur Erklärung dieser Diskrepanz zieht NAGEL verschiedene Gründe zumeist wolkenphysikalischer Art und lokale Einflüsse am Messfeld (z. B. reduzierte Windgeschwindigkeit in Höhe des Nebelfängers) heran, messmethodisch könnte nur eine Minderleistung des Nebelfängers (zu kleine effektive Ablagerungsfläche des Netzgitters, strömungstechnische Benachteiligung des Standortes) diese Differenz begründen.

e. Horizontale Ablagerung von Niederschlag durch die Vegetation.

Ein nennenswerter Auffang von Regentropfen bei stärkerem Wind seitlich am Netzgitter findet nur statt, wenn die Regentropfen sehr klein (z. B. bei Sprühregen 0.1 — 0.2 mm ϕ oder bei leichtem Regen bis 0.5 mm ϕ) und deren Einfallswinkel entsprechend gross ist. Ein grösserer Teil dieser Tropfen wird, ebenso wie vom Nebelfänger, auch von einem höheren Vegetationsbestand seitlich abgelagert, von einem gewöhnlichen oder hangparallelen Niederschlagsmesser aber nicht erfasst und, wenn keine Hindernisse vorhanden sind, mit der Strömung weit davongetragen, sofern sie, z. B. nach Überwehen eines Rückens, überhaupt zur Erde ausfallen und nicht vorher unter der Leewirkung verdunsten. Der Nebelfänger übt in diesem Fall dieselbe Wirkung aus wie ein höherer, gestaffelter Waldbestand, für dessen Standort die Messung gültig sein soll.

f. Einfluss der Ablagerungshöhe.

Die stärksten Ablagerungen an einem Vegetationsbestand finden in Höhe des Kronenraumes, in einer Zone stärkeren Windes statt, als in Bodennähe, in Höhe des abgelagernden Nebelfängers, gegeben ist. Die durch die natürliche Vegetation abgelagerte, dem Waldboden zufallende und in den Wasserkreislauf einbezogene

TABELLE 1

Ergebnisse vergleichbarer Messungen des Nebelniederschlags mit Nebelfänger.
Nebelzuschlag, ausgedrückt in prozentualer Abweichung vom Niederschlag.

$$\frac{(RN - R)}{R} \cdot 100 (\%)$$

Monatsmittel des Beob. Zeitraums.

Station	1	2	3	4	5	6	7
	Bremer- haven	Darm- stadt	Hümmel Ob. Eifel	Ob. Hor- loffthal	Neuhof	Kl. Feldberg	Wasser- kuppe
Geograph. Lage	Nordsee- küste	Odenwald	Eifel	Vogelsberg	Hunsrück	Taunus	Rhön
Seehöhe (m)	6	263	460	520	600	807	921
Beob. Zeit	VI.52 -V.55	I.-V.53	VIII.54 -XII.54 V.-X.55	1.53 -I.55	VIII.54 -XII.56	IV.54 -III.57	XI.52 -III.57
Jan.	26	3		72	63	180	282
Febr.	40	13		74	55	91	170
März	18	-19		29	49	115	208
April	3	-16		22	27	80	135
Mai	5	-17	-13	10	10	45	83
Juni	-8		7	18	21	43	72
Juli	7		-10	17	7	53	81
Aug.	-8		-8	20	15	76	87
Sept.	-10		-6	26	18	87	152
Okt.	-7		-5	41	18	113	223
Nov.	4		-3	81	44	174	326
Dez..	30		12	59	66	204	351
Jahr	6			35	32	102	166
R(mm)	797			884	1068	1068	1198
RN(mm)	835			1197	1414	2155	3180
Sommer (IV-IX)	-2			17	16	64	100
R(mm)	485			506	550	576	709
RN(mm)	474			593	637	941	1421
Winter (X-III)	16			59	50	145	260
R(mm)	312			379	517	491	489
RN(mm)	361			604	777	1214	1759
Wi : So				3.5	3.1	2.3	2.6
Max. Zuschlag	48	13	12	124	87	315	924
R(mm)	43	29	100	14	19	68	14
RN(mm)	63	33	111	32	36	284	145
Monat	XII.52	II.53	XII.54	XI.53	II.56	XII.56	XI.52

8	9	10	11	12	13	14
Stötten	Gr.Falkenstein	Hohenpeisenberg	Nebelhorn	Sljeme	Zavizan	Tafelberg
Schwäb. Alb	Bayer. Wald	N-Alpenvorland	Allgäuer Alpen	SE-Alpenvorland Jugoslavien	Velebit Adriat.Küste Jugoslavien	Kapstadt Südafrik. Union
734	1313	960	1932	999	1620	1067
XI.52 -III.57	VI.-X.54,55 XII.55 -III.57	XI.51 -III.57	VI.-IX. 52 - 54	X.54 -VI.56	IX.54 -VI.56	IV.54 -III.55
67	85	70		45	416	1141
47	62	80		4	161	214
45	124	47		21	107	576
58	48	55		12	198	286
17	70	32	(92)	8	119	254
15	47	21	91	-1	103	280
25	33	23	81	-7	79	280
9	38	12	126	-3	110	435
27	60	33	180	1	112	333
52	112	56	(294)	41	125	340
81	89	93		29	228	430
115	192	94		20	412	372
41	75	39		12	181	320
1104	1211	1113		1412	2006	1931
1558	2118	1548		1576	5644	8126
						(Winter)
24	44	27		1	117	297
681	656	799		828	857	1376
842	947	1012		834	1863	5463
						(Sommer)
69	111	71		27	230	379
423	555	314		584	1149	556
716	1171	535		742	3781	2662
2.9	2.5	2.6			2.0	1.3
372	208	220	397	86	623	1141
44	82	24	64	42	150	38
208	253	78	318	78	1085	469
XII.56	XII.56	XI.53	1.-13.X.54	I.55	XII.55	I.55

Wassermenge aus Ablagerungen ist also viel grösser, als am Nebelfänger aufgefangen wurde. OURA (7) hat mit Netzgittern in Höhe der Baumkronen (15 — 17 m) etwa 6 bis 10 mal so viel an Ablagerungen aus Nebelluft gemessen als in Bodennähe des Freilandes. Bei Messungen auf dem Hohenpeissenberg (8) wurde am Rande eines 60- bis 75-jährigen Fichtenbestandes für die auf den Waldboden elangte Wassermenge ein Faktor von 3.17 ermittelt, um die mit Nebelfänger in 1.5 m Höhe ermittelten Zusatzmengen darauf zu beziehen.

Aus allen vorstehend besprochenen Erwägungen heraus ergibt sich zwingend eine Folgerung: Die mit dem Nebelfänger aus der Differenz $RN - R$ errechneten Beträge des Nebelniederschlags stellen Mindestwerte dar, die in der Natur wahrscheinlich überboten werden.

Die anschliessend besprochenen Messergebnisse beziehen sich ohne Einschränkung auf die Differenzbeträge $RN - R$ bzw. deren prozentuale Mengen $\frac{(RN-R)}{R} \cdot 100\%$ (Tabelle 1). Die Werte sind monatsweise über die einzelnen Beobachtungsjahre gemittelt und daraus die Halbjahrs- und Jahreswerte abgeleitet. Da die Beobachtungszeiträume nicht genau übereinstimmen, sind die Werte nicht streng miteinander vergleichbar. Es zeigt sich jedoch, dass Jahresgang und Grössenordnung der Nebelzusläge sich von Jahr zu Jahr recht ähneln und ein charakteristischer Jahresgang auch schon aus kurzen Beobachtungsreihen abgeleitet werden kann.

3. WIRKUNGEN DES NEBELNIEDERSCHLAGS.

Als spezielles Thema dieser Tagung der wissenschaftlichen Hydrologie ist die Frage nach dem Einfluss der Vegetation auf den Wasserkreislauf gestellt worden. Für die Ablagerung grösserer, hydrographisch ins Gewicht fallender Mengen von Nebelniederschlag spielt neben dem Nebel das Vorhandensein eines Vegetationsbestandes, der sich der anströmenden Nebelluft entgegenstellt, eine wichtige Voraussetzung. Im Flachland reicht der verhältnismässig geringe Nebelanfall gerade aus, den Waldniederschlag durch Herabsetzung der Niederschlagszurückhaltung infolge zusätzlicher Benetzung der Kronen etwas zu erhöhen. Von Bedeutung im Hinblick auf die Ablagerung zusätzlicher Wassermengen ist allein der Bergnebel im Gebirge, der Steigungsnebel im geneigten Gelände und der Küstennebel, sofern er gegen einen Vegetationsbestand anströmt.

a. Wirkung des Bergnebels.

Untersuchungen über den Niederschlag im Bergwald des Hohenpeissenberges (975 m) (8) zeigen, dass der durch die Niederschlagszurückhaltung (interception) in Verlust gehende Niederschlagsanteil, je nach Lage und Art des Bestandes bis zu 50 % des Jahresniederschlags, durch die aus Wolkenluft abgelagerten Nebeltropfen nicht nur ausgeglichen, sondern erheblich überkompensiert wird. Am Rande eines etwa 60-jährigen Fichtenbestandes wurde für die zum Waldboden gelangende Wassermenge als Nebelzuschlag zum Jahresniederschlag ein Anteil von 54 % ermittelt. Bei anhaltenden Nebelwetterlagen erreichte der am Waldboden aufgefangene Niederschlag das 2,5-fache der im Freiland gemessenen Menge. Im Bestandsinneren eines Westhanges wurde durch die Wirkung des Nebels noch 20 % mehr als im Freiland gemessen. Weitere Beispiele über Mehrerträge im Walde, die auf die Nebelwirkung zurückzuführen sind, wurden in dem der Konferenz in Rom vorgelegten Bericht gegeben (9).

b. Wirkung des Steigungsnebels.

Steigungsnebel treten überall auf, wo feuchte Luft durch die gegebenen orographischen Verhältnisse zum Aufsteigen gezwungen wird und kondensiert. Es liegen ausführliche Beschreibungen über die durch Steigungswinde vermehrte Feuchtigkeit an den Luvseiten der Afrika und Südamerika durchziehenden Gebirgsketten vor. Sie rufen an jeder Stufe, die von den feuchten Meeresluftströmungen überquert wird, breite Wolken- und Nebelzonen hervor. Die Ablagerungen sind dort besonders ergiebig, wo durch die Orographie die Stauwirkung dynamisch verstärkt und die mittlere Windgeschwindigkeit dadurch erhöht wird. So wird in Eritrea nahe bei Asmara über der Wasserscheide, wo kein hydrographisches Einzugsgebiet vorhanden ist, die Wasserablagerung aus Steigungsnebel zum Betrieb einer Talsperre benutzt ⁽¹⁰⁾, und die Nebelose Erkwit im südnubischen Küstengebirge, eine Insel immergrüner hygrophiler Vegetation inmitten einer Wüstensteppe mit nur 150 mm Jahresniederschlag (winterlich rd. 67 mm), verdankt ihre Entstehung den vom Rotmeergraben zum abessinischen Hochland aufsteigenden winterlichen Nebeln ⁽¹¹⁾. Für den Tafelberg hat NAGEL ⁽¹²⁾, auf den Rechnungen von SCHUMANN ⁽⁶⁾ and seinen eigenen, sehr kritischen Untersuchungen mit Nebelfänger aufbauend ⁽⁵⁾, die Nutzung des atmosphärischen Angebotes an Nebelniederschlag zur Bereitstellung zusätzlicher Wasserreserven überprüft und errechnet, dass ein Gitter von geeigneter Drahtgaze von 1.5 km Höhe und 2 km Länge jährlich eine Wassermenge von 2 000 000 gal (1 gal (engl.) = 4.54 Liter) zur Ablagerung bringen würde.

c. Wirkung des Küstennebels.

Hinweise über die Wirkung von Küstennebel, der zumeist durch die Mischung verschieden temperierter Luftmassen im Grenzbereich zwischen Land und Meer entsteht, oft aber auch durch einen Steigungseffekt des Seewindes an küstennahen Erhebungen verstärkt wird, sind von der irischen Westküste, den Azoren, den kanarischen Inseln, der Insel Ascension, von Java u.a. Orten bekannt. Durch Messungen von ISAAC ⁽¹³⁾ belegt sind die Ablagerungen an den mit Wald bestandenen sanften Erhebungen des Cascade Head Experimental Forest nahe der Oregonküste. Die am Waldboden innerhalb des Bestandes aufgestellten Regenmesser fingen in 18 ausgewählten nebelreichen Wochen 44 % mehr Niederschlag als im Freiland auf, während in den nebelfreien Perioden infolge Zurückhaltung durch die Baumkronen 40 % weniger gemessen wurden.

In den grossangelegten Untersuchungen auf der Insel Hokkaido (Japan) über die nebelabfängende Wirkung von Waldbeständen an der Küste hat OURA ⁽⁷⁾ die Wirkung verschiedenartiger Bestandsformen verglichen. Die stärksten Ablagerungen wurden bei einem aufgelockerten Bestand einzeln stehender Nadelbäume ohne niedrige Zweige gefunden, der von der Nebelluft mehr durchströmt wird als ein dichter, bis zum Boden hin geschlossener Bestand. Die turbulente Strömung über dem Kronenraum bringt auch einen vertikalen Austausch mit Ablagerungen inmitten eines Bestandes von oben her mit sich, jedoch betrug die von der horizontalen Anströmung herrührende Ablagerung etwa dreimal so viel als die durch den Vertikalaustausch bewirkte.

4. DIE ABLAGERUNGSBEDINGUNGEN.

Die Beziehung, nach der die Ablagerung von Masseteilchen in einer Potentialströmung an Hindernissen erfolgt, hat ALBRECHT ⁽⁹⁾ für Zylinder abgeleitet. Sie findet nicht nur zur Klärung der theoretischen Voraussetzungen der Wirkung eines

Nebelfängers Anwendung, sondern bildet auch die Grundlage zur Beurteilung der verschiedenen Ablagerungsmengen bei einem klimatologischen Vergleich. Ausser den Faktoren, die sich auf Form und Dimensionen der ablagernden Hindernisse beziehen und nur für streng geometrische Formen, nicht aber für die natürliche Vegetation abgeleitet werden können, wirken auf die Ablagerungsmenge der Gehalt der Luft an abzulagernden Wassertröpfchen, die Strömungsgeschwindigkeit und die Ablagerungszeit ein.

Diese drei Faktoren werden von den meteorologischen Bedingungen am Beobachtungsort gesteuert und durch die örtlichen Gegebenheiten variiert. Die meteorologischen Bedingungen hängen einmal von gewissen klimatologischen Voraussetzungen zur Nebelbereitschaft ab, die sowohl im Makroklima, im Mesoklima und im Lokalklima des Standortes gegeben sind. Die orographische Komponente des Lokalklimas wird in erster Linie durch den Hangeffekt ausgelöst, der, geometrisch gesehen, die Kondensation auf der Luvseite fördert, auf der Leeseite die Wolkenauflösung bedingt und durch die dynamische Wirkung des Strömungsfeldes lokale Verstärkungen oder Abschwächungen hervorruft. Die aktuellen Fälle von Nebelniederschlag werden dann durch die jeweilige Wetterlage ausgelöst.

Beide Komponenten, die klimatologischen Voraussetzungen und die Wetterlage, bestimmen das Kondensationsniveau, den Wassergehalt der ablagernden Wolken als eine Funktion der in die Strömung einbezogenen Luftmasse (Grösse und Menge der Wolkentröpfchen), die Luftbewegung, durch die Richtung und Geschwindigkeit der ablagernden Strömung gegeben ist, und die Andauer der Nebelwetterlage, durch die die Ablagerungszeit bestimmt wird.

5. DIE ABLAGERUNGSMENGEN.

Zur Erklärung der verschiedenen Mengen von Nebelniederschlag, wie sie in der Tabelle 1 von insgesamt 14 Stationen vorgelegt werden, gelten zunächst die gleichen Gesichtspunkte, wie sie von SERRA ⁽¹⁴⁾ mit seinen « lois de la pluviosité » für die Deutung der Niederschlagsmengen herangezogen wurden und hier auf die Kondensation zu beziehen sind. Alle den Kondensationsvorgang auslösenden und steigernden Momente tragen auch zur Bildung und Steigerung des Niederschlags bei. Es sind dies

- (1) die Seehöhe,
- (2) der Kontinentalitätseffekt,
- (3) der Hangeffekt.

Hinzu kommt (4) ein Temperatureffekt, sofern er (z.B. bei Mischung verschieden temperierter Luftmassen) Anlass zur Nebelbildung gibt. Keiner dieser Faktoren ist für sich allein massgebend. Sie überdecken sich in ihrer Wirkung, wie es in klimatogischer Sicht aus ihrem wechselseitigen Einfluss auf die Bewölkungs- und Niederschlagsverhältnisse ersichtlich wird, und sie unterliegen, wie diese, einem jährlichen Gang.

a. Abhängigkeit von der Seehöhe.

An der flachen Nordseeküste bei Bremerhaven (Nr. 1) treten Ablagerungen nur in den Wintermonaten mit ca. 30 % Zuschlag beim Auftreten von Mischungsnebel in Erscheinung. Eine kurze Messreihe von der Wetterwarte Darmstadt (Nr. 2) aus 263 m von dessen Messfeld auf einer windgeschützten Waldlichtung bestätigt, dass in dieser Höhe bei schwacher Ventilation noch keine nennenswerten Ablagerungen zustandekommen. Im Durchschnitt des Beobachtungszeitraums I. — V. 1953 werden mit Nebelfänger nur 90 % der Menge des normalen Niederschlagsmessers, bei

Berücksichtigung der Zurückhaltung am Netzgitter also praktisch gleichwertige Mengen gemessen.

Mit wachsender Seehöhe eines Beobachtungsortes verringert sich dessen Abstand vom Kondensationsniveau, bei ansteigendem Gelände gelangt er von einer gewissen in den einzelnen Klimazonen wechselnden Höhe an immer häufiger in den Wolkenraum der Grundschicht. Die Steigerung des Nebelzuschlags mit der Seehöhe wird aus dem Vergleich einiger, von der Küste etwa gleichweit entfernter norddeutscher Stationen (Nr. 3 bis 7) ersichtlich. Hümmler liegt mit 460 m NN zumeist noch ausserhalb der Kondensationszone und die Ergebnisse des Nebelfängers zeigen das bekannte Defizit, das durch die Zurückhaltung am Netzgitter hervorgerufen wird. Erst bei der trüben Dezemberwitterung kommt ein geringer Überschuss zustande. Schon die Messungen im Horlofftal (Vogelsberg) in 520 m NN und beim Forstamt Neuhoof (Hunsrück) in 600 m NN bringen einen Jahresüberschuss von mehr als 30 %, der sich in den Wintermonaten bis zum 0,5- bis 0,6-fachen erhöht. Auf dem Kl. Feldberg (Taunus) in 807 m NN steigert sich der Nebelzuschlag schon auf das Doppelte der Freilandmenge. Dieser Standort ist von den Messungen von LINKE⁽¹³⁾ her bekannt, wo innerhalb eines Bestandes am Waldboden mit einem gewöhnlichen Niederschlagsmesser im Durchschnitt von 6 Beobachtungsjahren rund 60 % mehr Niederschlag aufgefangen wurde als im Freiland. Berücksichtigt man noch die an nebelfreien Tagen festgestellte Niederschlagszurückhaltung von 30 %, so ergibt sich für diesen Standort nach Messungen am Waldboden ein Nebelzuschlag von gleicher Grössenordnung, wie er jetzt mit dem Nebelfänger ermittelt wurde. Mit den Messungen von der Wasserkuppe (Rhön) in 921 m NN, einem windexponierten Standort ohne Ablagernden Waldbestand, steigert sich das Angebot an zusätzlichem Nebelniederschlag auf einen Jahreszuschlag vom 1,6-fachen, der im Winterhalbjahr bis zum 2,6-fachen anwächst und selbst in der Vegetationszeit noch die Bezugsmenge verdoppelt.

Überträgt man die Messergebnisse dieser Stationen in ein halblogarithmisches Diagramm (Abb. 1), so ergibt sich eine Zunahme des Nebelzuschlags mit der Seehöhe nach einer Exponentialfunktion, die selbst für die vom Tafelberg (Nr. 14) mit Nebelfänger ermittelten Zuschläge — trotz völlig andersartiger Voraussetzungen für die Nebelbildung an diesem Standort — Gültigkeit zu haben scheint. Diese Zunahme entspricht der Häufigkeit des Auftretens von Bergnebel, der bei diesen Stationen hauptsächlich bei Zufuhr maritimer Luft aus dem Westsektor eintritt. Fasst man die von DREYLING⁽¹⁶⁾ für eine Reihe mitteleuropäischer Gipfel abgeleitete Nebelbereitschaft für die häufigsten Windrichtungen SW, W, NW zusammen, so ergibt sich ebenfalls ein Anstieg nach einer Exponentialfunktion. Damit wird ein ursächlicher Zusammenhang beider Erscheinungen bestätigt.

b. Abhängigkeit von der Kontinentalität.

Je weiter eine Luftmasse in das Innere eines Kontinents einfliesst, desto trockener wird sie. Die Nebelablagerungen müssen darum mit zunehmender Entfernung von der Küste geringer werden. Vergleicht man die Ergebnisse von Stötten (Nr. 8) und vom Hohenpeissenberg (Nr. 10) mit den Werten der ersten Stationsgruppe, so werden dort 40 % Nebelzuschlag in etwa 600 m Seehöhe gemessen. Die im Lee der norddeutschen Mittelgebirge wieder absinkenden, trockener gewordenen Luftmassen kommen nach Überqueren des Rhein-Main-Gebietes und deren Randgebirgen am Schwäbisch-Fränkischen Jura wieder zum Aufsteigen und lagern in Stötten in freier Lage auf der Hochfläche der Schwäbischen Alb den gleichen Betrag erst in 734 m ab. Der Anfall an Nebelniederschlag auf den nach Westen und Norden zu abfallenden Hängen der östlichen Alb mit einem winterlichen Zuschlag von 69 % wird an den dort häufig auftretenden schweren Raufrostbrüchen in Waldgebieten, Obstplantagen und an Freileitungen der Energieversorgung ersichtlich. Hinter dieser von SW nach

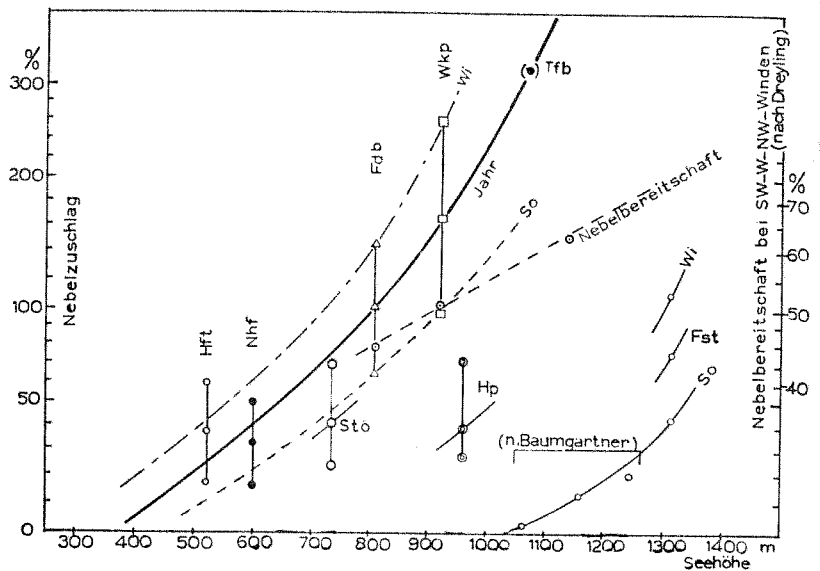


Abb. 1 — Abhängigkeit des Nebelzuschlags von Seehöhe und Kontinentalität.

NE streichenden Schwelle steigt südlich der Donau das Gelände erneut im Alpenvorland wieder an. Hier am Alpenrand sammelt der Nebelfänger den 0,4 fachen Zuschlag erst in 960 m Seehöhe.

Andere Verhältnisse bietet der Falkenstein (Nr. 9) in 1313 m, dessen Jahreszuschlag von 75 %, verglichen mit dem des Hohenpeissenberges (960 m) von 39 % und auf dessen Seehöhe umgerechnet, noch relativ niedriger liegt. Aus Profilmessungen am Grossen Falkenstein hat BAUMGARTNER ⁽¹⁷⁾ als Grenze, bis zu der Nebelniederschlag in Erscheinung tritt, die Höhenlage von 1050 m abgeleitet. Die Ergebnisse seiner Stationen 2 — 5 aus den weniger ergiebigen Sommermonaten (VI. — X.) in die Darstellung (Abb. 1) übertragen, ergibt eine Höhenabhängigkeit, die einer gleichen Exponentialfunktion folgt, wie die Werte der ersten Stationsgruppe, nur dass sie wegen der weiteren Entfernung vom Meer in einer grösseren Seehöhe verläuft. Wegen der Streichrichtung des Bayerischen Waldes von NW nach SE tritt ein Anstau nur bei Strömungen zwischen W und SW ein, einer Richtung, die auch am Hohenpeissenberg durch die Leitwirkung des Alpenmassivs die meisten Staulagen ergibt. Bei beiden Stationen ist aber auch eine erhöhte Nebelbereitschaft bei Ostströmung im Zusammenhang mit Störungen aus dem Mittelmeerraum gegeben. Obwohl diese Ostwetterlagen am häufigsten im April auftreten, ergeben die Messungen von BAUMGARTNER auf dem Südosthang, der bei den weiter nördlicher gelegenen Gebirgen als Leelage in Erscheinung tritt, auch im Sommer einen höheren Anfang mit dem Nebelfänger als auf dem Westhang.

c. Die Verhältnisse am Alpenrand.

Ein Vergleich von Hohenpeissenberg mit Ergebnissen einiger Sommermonate vom Nebelhorn (Allgäuer Alpen) (Nr. 11) aus 1932 m zieht wiederum die Zunahme der Nebelniederschläge mit der Seehöhe unter sonst vergleichbaren klimatischen Verhältnissen. Die Zuschläge steigern sich zum Herbst bis zum 6-fachen der hier

gemessenen Mengen. Allerdings treten dort Steigungsnebel bei Ostlagen, die am Hohenpeissenberg sich als äusserst ergiebig erweisen, nicht mehr in Erscheinung, so dass die aufgefundenen Höhenabhängigkeit zwischen diesen Stationen nicht mehr gültig ist. Aus höheren Lagen liegen leider keine Messungen vor, um die Höhe maximaler Ablagerungen ableiten zu können. Oberhalb des Wolkenraumes der Grundsicht und innerhalb des Alpengebietes dürften sie wieder abnehmen. Da die Regionen oberhalb der Baumgrenze aber nur noch bodennahe Hindernisse oder den Hang selbst zur Ablagerung darbieten, spielen diese räumlich sehr begrenzten Gebiete hinsichtlich des Nebelzuschlags forstwirtschaftlich oder wasserwirtschaftlich nur noch eine geringe Rolle.

d. Messungen im Mittelmeerraum.

Für das dem SE-Rand der Alpen vorgelagerte Sema-Gebirge (Nr. 12) erfolgt eine Stauwirkung im Zusammenhang mit Störungen aus dem Mittelmeerraum auf der Zugstrasse Vb. Ein Nebelzuschlag tritt hier nur noch in der Zeit von Oktober bis zum Mai in Erscheinung. Um so stärkere Ablagerungen werden aber an der Adriaküste bei der in 1620 m im Küstengebirge Velebit gelegenen Station Zavizan (Nr. 13) gemessen, wo der 1,8-fache Jahresbetrag des freien Niederschlags zusätzlich abgelagert wird.

e. Messungen vom Tafelberg.

Von den klassischen Messungen von MARLOTH her sind die hohen Ablagerungsmengen vom Tafelberg bei Kapstadt bekannt. Die Hinderniswolke um die höheren Regionen, das «Tafeltuch», erscheint — auch an schönen Sommertagen, sofern nur das Kondensationsniveau unterhalb der Gipfelhöhe 1092 m erreicht wird —, wenn die Luft vom Ozean aus SE an den schroff aufsteigenden Hängen adiabatisch aufsteigt. Eine einjährige Messreihe mit dem Hohenpeissenberger Nebelfänger nahe der Gipfelstation der Seilbahn in 1067 m (Nr. 14) brachte einen Nebelzuschlag von mehr als dem dreifachen des fallenden Niederschlags. Bei der von NAGEL⁽⁵⁾ angewandten strengerer Definition, die nur Ablagerungen ausserhalb der Dauer eines Regensfalls zählt, stehen sich immer noch den 1940 mm Regen zusätzlich 3294 mm Nebelniederschlag gegenüber. Auf dem luvseitigen, östlichen Plateau des Tafelberges, wo auch MARLOTH gemessen hat, dürften — nach den Feststellungen von NAGEL — die Ablagerungen wesentlich, vielleicht um das zwei- bis vierfache, höher liegen als an der Kabelbahnstation.

6. DER JAHRESGANG DER ERGIEBIGKEIT DES NEBELNIEDERSCHLAGS.

Mit dem Jahresgang anderer meteorologischer Elemente, insbesondere dem Bewölkungsgrad, der Bedeckung mit unteren Wolken und der Wolkenhöhe, wie sie aus flugmeteorologischen Bearbeitungen bekannt ist, der Tage mit Nebel u.a. unterliegt die Menge des Nebelniederschlags einem jährlichen Gang, der noch, je nach Standort, durch den Jahresgang von Windrichtung und Windstärke im Hinblick auf die Wirkung der Hangeffekte variiert wird. Die ergiebigsten Ablagerungen treten — den Tafelberg mit seinen ganz anderen klimatischen Voraussetzungen ausgenommen — allgemein in den Wintermonaten auf. Auf den Bergstationen steht dem Maximum im Dezember der November und Januar wenig nach. Ein sekundäres Maximum zeigt sich noch, besonders bei den Stationen des SE-Raumes, im März und April im Zusammenhang mit der dann aktivierten Störungstätigkeit im Mittelmeerraum, die

auch noch bis in die östliche Hälfte von Süddeutschland übergreift (Bayerischer Wald, Alpenvorland). Im nordwestdeutschen Küstenraum findet das auf den Februar fallende Maximum von Bremerhaven seine Erklärung ebenfalls aus den Häufigkeitstabellen der niedrigen Bewölkung. Mit steigender Sonnenhöhe und zunehmender Erwärmung nehmen die Nebelblagerungen zu den Sommermonaten hin stark ab und verzeichnen ihr Minimum zugleich in den Monaten grösster Sonnenscheindauer, im Nordwesten im Mai und Juni, im Süden im Juli und August.

Mit diesem Jahresgang liegen die auf das Winterhalbjahr (X. — III.) entfallenden Nebelzuschläge um ein Mehrfaches höher als im Sommerhalbjahr (IV. — IX.). In den Sommermonaten als der Vegetationszeit wird diese zusätzliche Wasserspende, die in den norddeutschen Bergländern sich von 16 % des Freilandniederschlags (ca. 90 mm) in den mittleren Lagen bis auf 100 % (ca. 700 mm) in den höheren Lagen steigert, mindestens bis zu einigen hundert mm von den Pflanzen verbraucht oder verdunstet. Für den Waldbau spielt dieser sommerliche Anteil in Lagen über 500 m im norddeutschen Raum, über 650 m im süddeutschen und über 1000 m im Südosten eine mit der Höhe zunehmende Bedeutung. Hydrographisch dürfte eine Einfluss des sommerlichen Nebelniederschlags erst in Lagen über 700 bzw. 1000 bzw. 1200 m ins Gewicht fallen, soweit grössere Areale in diese Höhenzonen fallen.

Die um das 2,3- bis 3,5-fache höheren winterlichen Nebelzuschläge fallen dagegen hydrographisch viel mehr ins Gewicht. In einer Zeit, wo der Wasserbedarf der Vegetation und die Verdunstung erheblich reduziert sind, stehen im nordwestdeutschen Raum schon ab 500 m 200 mm zusätzlich zur Verfügung, die sich bis zur Höhe des Feldberges auf 700 m, und auf der Wasserkuppe auf 1200 mm steigern. Diese Beträge fallen in dieser Höhe sicherlich nur in den Luv- und Gipfellagen an, während die Leelagen geringere Beträge ablagern dürften. Der auf diese Höhenlagen entfallende Flächenanteil ist im Gebiet nördlich des Mains gross genug und weist genügend ablagernden Waldbestand auf, um für die Auffüllung der Bodenfeuchte und die Wasserbilanz bedeutsame Mengen zur Ablagerung zu bringen.

Im süd- und südostdeutschen Raum bleiben die winterlichen Zuschläge entsprechend geringer, in der Schwäbischen Alb bei 300 mm, im Bayerischen Wald bei 600 mm. Die verhältnismässig geringen Zusatzmengen vom Hohenpeissenberg (220 mm) lassen die Bedeutung der relativen Höhe über dem umliegenden Gelände erkennen, die hier mit nur 150 — 250 m Erhebung eines isolierten Berges zu gering ist, um eine stärkere eigenbürtige Stauwirkung hervorzurufen. Um so höher fallen die Ablagerungen des Winterhalbjahrs im Velebit in 1620 m, unmittelbar in Küstennähe der Adria, mit 2 600 mm aus, wo im Dezember und Januar zusätzlich mehr als das Vierfache der Niederschlagsmenge abgelagert wird.

Messungen, die eine Erfassung des Nebelniederschlags in seiner Gesamtwirkung auf Waldbau und Wasserwirtschaft zum Ziele haben, sollten wegen der jahreszeitlichen Verteilung und des wesentlich stärkeren Anfalls der Ablagerungen im Winterhalbjahr auch diesen Zeitraum einschliessen.

7. EINFLUSS DER WETTERLAGE AUF DIE ERGIEBIGKEIT.

Die meteorologischen Bedingungen, die zu ergiebigen Ablagerungen führen, werden durch die jeweilige Wetterlage gesteuert. Mit der herangeführten Luftmasse ist deren Feuchtigkeitsgehalt und das Kondensationsniveau, mit dem Stromfeld die Richtung und Geschwindigkeit der ablagernden Luftströmung, mit dem Ablauf des Wettergeschehens die Dauer der Ablagerungen vorgegeben. Die wechselnde Ergiebigkeit der Nebelablagerungen ist an bestimmte Wetterlagen gebunden, für die sich hinsichtlich der einbezogenen Luftmasse übereinstimmende Gesichtspunkte ergeben. Es seien einige typische Fälle auffallend hoher Tagesmengen von Nebelniederschlag

Teaswith I.A.S.H. General Assembly

herausgestellt und deren synoptische Wetterbedingungen betrachtet. Datum: RN/R (mm).

(1) *Wasserkuppe* (921 m).

a) 1954. 20.– 21.I.: 150/18. 15.XII.: 44/6. 27.– 29.XII.: 239/38. 28.XII.: 69/6. 3.XII.: 34/2. 3.XI.: 25/0. 1955. 7.– 8.XII.: 99/5. 1956. 10.– 14.X.: 45/0. 8.XII.: 46/4.

Hoch oder H-Brücke über Mitteleuropa (HM, BM, Wa)¹⁾, an dessen Nordflanke gemässigte, maritime Tropikluft (*mTp*)²⁾ oder gealterte Polarluft (*mPt*) langsam einfliesst. Schwache, höchstens mässige westliche Winde.

b) 1956. 3.– 6.XII.: 33/4, 94/10, 73/2, 70/10. 5.– 7.XI.: 40/11, 27/4, 31/2. 21.I.: 26/1. 1954. 4.IV.: 72/12. 21.I.: 124/16. 2.X.: 48/8.

Hoch über W- oder SW-Europa, T über N- oder NE-Europa (Wz, NWz). Von W oder NW einflussende maritime Warmluft (*mTp*, *mPt*). Schwache oder mässige westliche Winde.

Kennzeichnend für die Fälle stärkerer Ablagerungen auf der Wasserkuppe ist die Wirksamkeit maritimer Warmluftmassen, die vielfach im Zusammenhang mit Hochdrucklagen über W- oder Mitteleuropa, aus gemässigten Breiten (Atlantik südlich 50° Breite) entstammend, an dessen Nordflanke herumgesteuert wurden und bei schwachen Luftdruckgradienten aus SW, W oder sogar NW nach N-Deutschland einfließen. Die Tatsache, dass fast alle Fälle hohen Nebelzuschlags bei schwacher Luftbewegung ablagern, entkräftet die Vermutung, dass hohe Überschüsse durch seitlich aufschlagende Regentropfen bedingt sind.

2) *Kleiner Feldberg/Taunus* (807 m).

a) 1955. 7.– 8.XII.: 25/2.

b) 1954. 27.VII.: 28/6. 13.XI.: 28/6. 1956. 22.– 24.I.: 65/16. 4.– 5.XII.: 54/10. 12.– 13.XII.: 64/13.

Antizyklonale oder zyklonale Westlagen wie bei (1) a) und b).

c) 1954. 26.XI.: 33/4. 8.XI.: 21/4. 1955. 11.I.: 16/2. 15.I.: 25/9. 18.V.: 23/3. T über Nordmeer oder Trog von N- nach W-Europa (Sa, TrW) steuern maritime Warmluft (*mT* oder *mPt*) nach Mitteleuropa.

Maritime Warmluftmassen werden entweder auf der Nordflanke eines westeuropäischen Hochdruckgebiets oder auf der Vorderseite von Tiefdruckstörungen aus gemässigten Breiten, bei Troglagen aus den subtropischen Meeresgebieten nach Mitteleuropa geleitet. Vorherrschende Windstärken 4 — 5 Bft. Zentrale Hochdrucklagen treten nicht mehr in Erscheinung.

3) *Grosser Falkenstein* (1313 m).

a) 1955. 3.– 4.XII.: 37/14.

b) 1955. 16.XII.: 58/10. 28.XII.: 60/14. 1956. 18.I.: 35/13. 2.III.: 42/11. 4.III.: 17/3. 3.VIII.: 12/1. 19.– 20.X.: 44/12. 4.XII.: 47/12. 13.– 14.XII.: 77/14.

Antizyklonale oder zyklonale Westlagen wie bei (1) und (2), a) und b).

c) 1956. 25.V.: 31/12. 9.– 10.VI.: 44/23.

Troglagen wie bei (2) c).

d) 1956. 4.VII.: 7/1. 11.XI.: 9/1.

An der Westflanke eines blockierenden H über W-Russland-Skandinavien biegt die atlantische Frontalzone über Mitteleuropa nach Norden um (Ww). Zufuhr tropisch-maritimer Luftmassen.

1) Grosswetterlagen nach: P. HESS and H. BREZOWSKY, Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 33 (1952).

2) Luftmassen nach: R. SCHERHAG, Neue Methoden der Wetteranalyse und Wetterprognose. Berlin 1948.

Der Bayerische Wald als ein von NNW nach SSE streichendes Randgebirge empfängt seine ergiebigsten Ablagerungen mit SW-W-Strömung, wenn tropisch-maritime oder maritime Luft gemässigter Breiten auf den Südflanken tiefen Druckes in breiten Strom S-Deutschland überflutet. Diese Wetterlagen bedingen bei d) schwache, bei c) schwache bis mässige Luftbewegung, bei a) und b) auch frische bis stürmische Winde.

4) Hohenpeissenberg (960 m).

b) 1955. 26.XII. : 19/10. 28.XII. : 13/7. 1956. 4.III. : 29/19. 14.IX. : 52/17.

Die Fälle zyklonaler W- oder NW-Lagen treten hier viel seltener auf und zeigen eine geringere Ergiebigkeit.

c) 1955. 11.– 14.XI. : 24/3.

Auch die Troglagen treten zurück. Die Ablagerungen werden durch Mittelmeerluft hervorgerufen, die, um die Alpen herumgeführt, von E her anströmt.

e) 1955. 24.– 25.I. : 7/0. 1.– 2.III. : 5/1. 14.– 15.X. : 13/0. 1956. 6.– 7.I. : 10/0. 23.– 26.II. : 12/0. 14.XI. : 10/0. 19.– 22.XI. : 10/0.

Hoch oder H-Brücke über Mitteleuropa, T über Oberitalien bzw. Südostrum steuert auf dessen Südflanke gealterte Polarluft aus SE um die Ostalpen mit E-Strömung nach S-Deutschland ein. Keine Niederschläge, ergiebige Ablagerungen.

f) 1955. 9.– 10.VII. : 122/68. 1956. 1.V. : 22/10. 12.VII. : 43/20.

Typische NE-Lagen mit hohem Druck von SW durch Mitteleuropa nach Fennoskandien und Vb-artige Störungen im Mittelmeer- und SE-Raum bei gleichzeitig ergiebigen Niederschlägen.

Gegenüber den zuvor besprochenen Stationen nimmt der Hohenpeissenberg eine Sonderstellung ein. Statt der Nordflanke steuert jetzt die Südflanke hohen Druckes feuchtwarme Mittelmeerluft ein, deren Zustrom durch tiefen Druck im Mittelmeerraum, häufig vom Charakter einer Vb-Störung, gefördert wird. Bei gesteigerter Niederschlagstätigkeit wird zugleich ein zwei- bis dreifacher Betrag an Nebelniederschlag abgelagert. Auch nach Aufhören der Niederschläge werden aus der noch anhaltenden Staubeiwölkung bis zu 2 — 3 mm/h und 10 mm/Tag abgelagert. Soweit nicht tropischmaritime und maritime Polarluft gemässigter Breiten gem. b), c), f), beteiligt ist, findet gem. e) eine Zufuhr von gealterter Polarluft aus Südosteuropa (cP₁) statt, ohne dass es noch trotz ergiebiger Ablagerungen zu Niederschlägen kommt. Für alle Fälle ist schwache Luftbewegung kennzeichnend.

Zusammenfassend kann als wettermässige Voraussetzung für das Auftreten ergiebiger Ablagerungen von Nebelniederschlag die Wirksamkeit maritimer Warmluftmassen aus subtropischen oder gemässigten Breiten angesehen werden. Auch über dem Kontinent gealterte Tropikluft, die keine Niederschlagstätigkeit mehr auslöst, kann in Staulagen noch zu erheblichen Ablagerungen führen. Stärkere Luftbewegung steigert die Ablagerungen, ist aber nicht Voraussetzung für deren Ergiebigkeit.

8. WOLKENPHYSIKALISCHE EINFLÜSSE AUF DIE ERGIEBIGKEIT.

Wenn die Ergiebigkeit des Nebelniederschlags so weitgehend von der abgelagerten Luftmasse abhängt, so müssen sich auch Beziehungen zur Mikrostruktur der Wolken ergeben. Dieser Frage wurde mit der Aufnahme von Tropfenspektren nach dem von DIEM⁽¹⁸⁾ angegebenen Verfahren des unmittelbaren Auffangens auf Träger zwischen zwei Oelschichten und mikrophotographischer Fixierung des Befundes nachgegangen. Aufgenommen wurde bei verschiedenen Nebellagen, ohne Rücksicht auf die Ablagerungsmenge. Die bei insgesamt 25 Messreihen mit je durchschnittlich 12 Aufnahmen und je einigen Hundert bis Tausend Tropfen aufgefundenen Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Tropfengrößen lassen sich nach Typen des Tropfenspektrums ordnen.

To. 2. mit: I.A.S.H. Generalversammlung

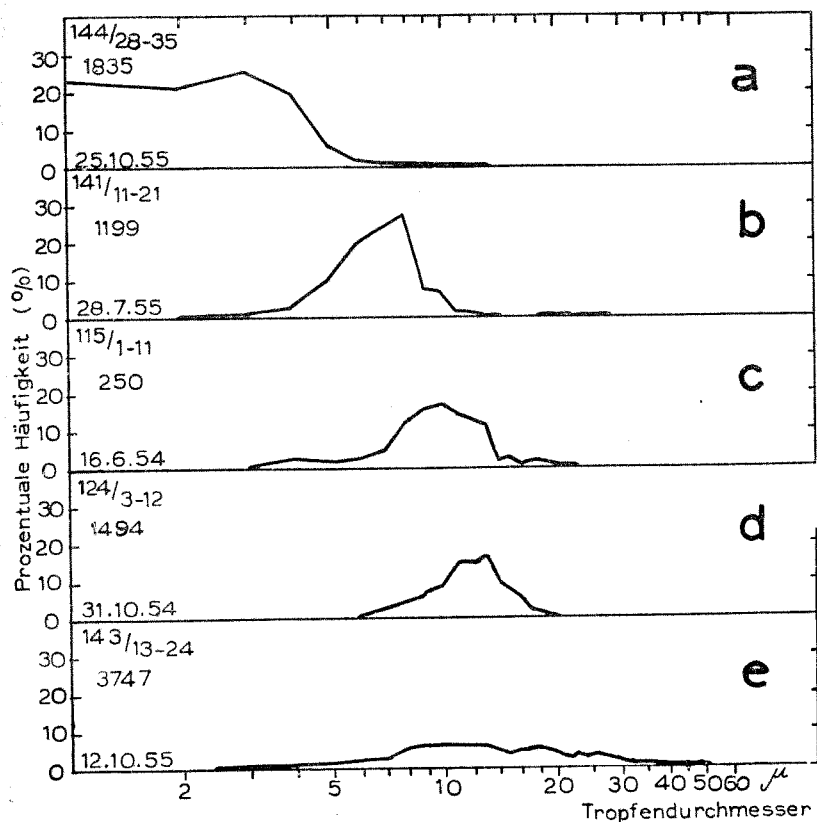


Abb. 2 — Typen der Häufigkeitsverteilung von Tropfengrößen im Nebel.

Jede dieser Gruppen zeigt deutliche Beziehungen zu den Luftmassen und damit zur Ergiebigkeit der Ablagerungen. Als wichtigste Typen in Bezug auf das behandelte Problem treten die in Abb. 2 dargestellten Verteilungen auf.

a) Schmales Spektrum bis max. 10 — 12 μ mit Maximum bei 2 — 3 μ . Kennzeichnend ist der hohe Anteil kleinster Tropfen mit 1 — 2 μ oder kleiner.

Wetterlage: Einbruch polarmaritimer Kaltluft bei antizyklonalen Nordwestlagen (25.10.55) oder auf der Rückseite eines abgeschlossenen Tiefs über Mitteleuropa (25.8.54). Ergiebige Niederschläge, mässige Nebelablagerungen.

b) Schmales Spektrum zwischen 2 und 15 μ mit Maximum bei 8 — 9 μ , einzelne Tropfen bis 30 μ . Bei meridionaler Zirkulation wird kontinentale Kaltluft aus dem NE-Raum eingesteuert (28.VII., 25.VIII.55). Schauerartige Niederschläge, nur geringfügige Nebelablagerungen.

c) Schmales Spektrum zwischen 5 und 15 μ , auslaufend bis 3 und 30 μ , mit Maximum bei 8 — 10 μ . Bei zyklonaler Nordostlage wird maritime Warmluft aus dem Mittelmeerraum eingesteuert (21.— 22.VIII. 54). Anhaltende Niederschläge, mässige bis ergiebige Nebelablagerungen.

d) Schmales Spektrum zwischen 6 und 20 μ mit Maximum bei 10 — 14 μ . Bei

zyklonaler Westlage löst tropisch-maritime oder Warmluft aus gemässigten Breiten die Staulage aus (31.X.54). Nur geringfügige Niederschläge, ergiebige Nebelablagerungen.

c) Breites Spektrum zwischen 5 und 40 μ , einzelne Tropfen bis 70 μ , mit flachem Maximum bei 8 — 20 μ , zu grossen Durchmessern hin langsam abfallend. Bei hohem Druck von SW- über Mittel- nach Osteuropa wird gealterte Warmluft aus SE oder dem Mittelmeerraum nach Süddeutschland gesteuert. Keine oder nur geringfügige Niederschläge, ergiebige Nebelablagerungen. Das Anwachsen der Tropfengrössen hat MAHROUS ⁽¹⁹⁾ als typische Alterungserscheinung bei den dichten Küstennebeln in NE-England nachgewiesen.

Zusammenfassend ergibt sich: Polare Kaltluft, durch das Überwiegen kleiner Tropfendurchmesser gekennzeichnet, bringt nur geringfügige Nebelablagerungen zustande. Je höher der Anteil grösserer Tropfen und je breiter das Spektrum, wie es für Warmluft aus gemässigten oder subtropischen Breiten kennzeichnend ist, desto ergiebiger lagern sie ab. Im ersten Falle besteht eine meridionale Zirkulation, während die Fälle stärkerer Nebelablagerungen überwiegend bei zonaler Zirkulation gegeben sind.

Die unterschiedliche Ergiebigkeit der nach den Typen des Tropfenspektrums geordneten Nebelfälle wird verständlich, wenn man den Wassergehalt der einzelnen Tropfengrössenklassen berechnet, wie er sich aus dem Produkt Häufigkeit $\times \pi/6 D^3$ ergibt. Mit wachsendem Tropfendurchmesser zeigt das Wassergehaltsspektrum auch bei geringer Häufigkeit dieser Grössen schnell wachsende Beträge an. Über das gesamte Spektrum integriert, ergibt sich für die einzelnen Proben

bei Typ	a	b	c	d	e
ein Gesamtwassergehalt von	2,8	22,8	75,9	105,0	472,8

10^{-6} mm^3 .

Da die Fälle mit breitem Spektrum und höherem Wassergehalt überwiegend den Staulagen entsprechen, bei denen keine nennenswerten Niederschläge fallen, wird auch aus wolkenphysikalischen Gründen belegt, dass ergiebige Ablagerungen von Nebelniederschlag nicht an ergiebige Niederschläge gebunden sind.

Zu danken habe ich für die Einrichtung einer Messtelle auf dem Tafelberg dem Direktor des Weather Bureau der Südafrikanischen Union, Herrn Dr. Schumann, und für die Betreuung dieser Station Herrn Dr. Nagel, für die Überlassung von Messergebnissen Herrn Meteorologen Kirigin, Hydrometeorologischer Dienst von Kroatien, und Herrn Forstassessor Bauer, Forsteinrichtungsamt Koblenz.

LITERATUR

- (1) TROLL, C.: Studien zur vergleichenden Geographie der Hochgebirge der Erde. 23. Hauptversamml. Ges. von Freunden und Förderern Univ. Bonn 1940 (1941).
- (2) GRUNOW, J.: Nebelniederschlag. Bedeutung und Erfassung einer Zusatzkomponente des Niederschlags. *Ber. Dt. Wetterd. US-Zone*, Nr. 42, 30 (1952).
- (3) GRUNOW, J.: Bedeutung und Erfassung des Nebelniederschlags. *UGGI. Ass. Int. Hydrol. Sci. Assemblée de Rome* 1954. T. I, 402-415 (1956).
- (4) GRUNOW, J.: Kritik des Nebelfängers. Zur Methode der Messung des Nebelniederschlags. *Techn. Mitt. Instrumentenwesen Dt. Wetterd. Neue Folge* Nr. 4 (1958).
- (5) NAGEL, J. F.: Fog precipitation on Table Mountain. *Quart. Journ. R. Met. Soc.* 82, 452-460 (1956).
- (6) SCHUMANN, T. E. W.: Watervoorsiening vir Kaapstad uit die wolk op Tafelberg. *Tydskr. Wet. Kuns. Bloemfontein*, 4, 58-61 (1943).
- (7) OURA, H.: On the Capture of Fog Particles by a Forest. In: T. Hori, *Studies on Fogs*. Sapporo, Japan (1953) 239-259.
- (8) GRUNOW, J.: Der Niederschlag im Bergwald. Niederschlagszurückhaltung und Nebelzuschlag. *Forstw. Centralbl.* 74, 21-36 (1955).
- (9) ALBRECHT, F.: Wolkenuntersuchungen und Rauhreifbeobachtungen auf dem Sonnblick im Sommer 1926. 35. Jahresbericht Sonnblickverein 1926, 25-28, Wien (1928). — Theoretische Untersuchungen über die Ablagerungen von Staub aus strömender Luft und ihre Anwendung auf die Theorie der Staubfilter. *Physikal. Z.* 32, 48-56 (1931).

- (10) TROLL, C. : Die Lokalwinde der Tropengebirge und ihr Einfluss auf Niederschlag und Vegetation. (Studien zur Vegetations- und Landschaftskunde der Tropen III). Bonner Geogr. Abhandl. Heft 9 (1952).
- (11) TROLL, C. : Wüstensteppen und Nebeloasen im südnubischen Küstengebirge. *Z. Ges. Erdkunde Berlin*. 241-281 (1935).
- (12) NAGEL, J. F. : Newelncerslag. Weather-Bureau Pretoria, News Letter No. 84 (1955). Water Supply in South Africa. News Letter No. 89 (1956).
- (13) ISAAC, L. A. : Fog drip and rain interception in coastal forests. *Forest research Notes* Nr. 34, 1946, Pac. NW. For. Exp. Sta.
- (14) SERRA, L. : Interprétation des mesures pluviométriques. *Lois de la pluviosité. Mém. et Trav. Soc. Hydrotechn. France*, 2, 141-155 (1952).
- (15) LINKE, F. : Niederschlagsmessungen unter Bäumen. *Meteor. Z.*, 33, 140-141 (1916); 38, 277 (1921).
- (16) DREYLING, H. : Das Auftreten von Bergnebel in Abhängigkeit von der Windrichtung. *Wiss. Abhandl. R. f. W.*, 2, Nr. 5 (1936).
- (17) BAUMGARTNER, A. : Zur Höhenabhängigkeit von Regen- und Nebelniederschlag am Grossen Falkenstein (Bayer. Wald). *UGGI. Ass. Int. Hydrol. Sci. Assemblée de Toronto* 1957.
- (18) DIEM, M. : Messungen der Grösse von Wolkenelementen. *Meteor. Rdsch.* 1. 261-273 (1947).
- (19) Mahrous, M. A. : Drop sizes in sea mists. *Quart. Journ. Roy. Meteor. Soc.*, 80. 99-101 (1954).

UNION GÉODÉSIQUE ET GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE
INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS

ASSOCIATION INTERNATIONALE
D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF SCIENTIFIC HYDROLOGY

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE TORONTO

3-14 SEPT. 1957

GENERAL ASSEMBLY OF TORONTO

TOME II

EAUX SOUTERRAINES
SYMPOSIUM VÉGÉTATION
SYMPOSIUM ROSÉE

VOLUME II

GROUNDWATER
SYMPOSIUM VEGETATION
SYMPOSIUM DEW

PUBLIÉ AVEC L'AIDE FINANCIÈRE DE L'UNESCO

PRIX : 300 Frs belges

PUBLICATION N° 43 DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE
SECRÉTAIRE : L. J. TISON
RUE DES RONCES, 61, GENTBRUGGE (BELGIQUE)
GENTBRUGGE 1958