

7. Studien über Nebelfrost und Schneebildung und über den Chlorgehalt des Nebelfrostes, des Schnees und des Seewassers im Halddegebiet.

Von

Hilding Köhler.

Im Jahre 1919 fing der Verfasser dieses Aufsatzes an, Analysen von Nebelfrost auf Chlor beim Haldde-Observatorium, 904 M. Seehöhe, in Norwegen (Finnmarken), auszuführen. Der Zweck dieser Untersuchungen war, eine möglichst gut definierte Kondensationskerne zu finden, die als Grund einer näheren Darlegung des Kondensationverlaufes in der Atmosphäre gelegt werden konnte. Die Untersuchung wurde später erweitert und umfasste schliesslich auch Chloranalysen von Schnee und vom Wasser einiger Seen und Bäche im Halddegebiet. Diese Analysen wurden wegen der rein experimentellen Ergebnisse der Schneekonstruktion, die mikroskopisch erhalten wurden, ausgeführt. Die Konstruktion der Schneekörnchen war von ihrer Entwicklungsgeschichte abhängig und steht auch in innigem Zusammenhang mit der Wolkenkonstruktion.

Bevor die Ergebnisse der Analysen mitgeteilt werden, ist es notwendig die Nebelablagerungen, die Schneebildung, die Wolkenkonstruktion und die Nebelhäufigkeit näher zu studieren.

Nebelfrost.

Der Nebelfrost wird auf hohen Bergen bei Temperaturen unter 0° immer abgelagert, wenn die Gebirge in Wolken eingehüllt sind. Die Ablagerungen finden gegen den Wind statt. Die Partikelchen, welche die Ablagerung bilden, werden also vom Winde mitgeführt. Da Nebel¹ für die Nebelfrostablagerungen notwendig ist, ist es auch wahrscheinlich, dass die Ablagerungen aus dem Nebel gebildet werden.

¹ Nebel ist auf den Gebirgen dasselbe wie Wolken.

Makroskopisch ist es möglich drei Typen von Nebelfrost zu unterscheiden (1.).

1. Rauheis.
2. Rauhrost.
3. Rauhreif.

1. Rauheis hat das Aussehen von mehr oder weniger klarem Eis. Es ist fest und im Aussehen amorph.



Fig. 1. Das magnetisch-meteorologische Observatorium auf dem Haldde. Auf dem Gipfel: das alte Observatorium, von Professor Chr. Birkeland im 1898, und unten das Wohnhaus, im Jahre 1911 erbaut.

2. *Rauhrost* ist auch fest, aber zeigt spiegelnde Oberflächen. Kristallinische Bildungen treten deutlich hervor.

3. *Rauhreif* ist locker und schneeähnlich. Diese Bildung fällt sehr leicht vom Ablagerungsplatz ab und entsteht, wenn es relativ kalt und die Windgeschwindigkeit relativ niedrig ist.

Mikroskopisch ist es möglich der Entstehungsart des Nebelfrostes in allen Einzelheiten zu folgen. Auf dem Haldde wurde während mehrerer Jahre diese Entstehungsart mikrographisch studiert. Es ergab sich dabei, dass alle drei Typen durch die Ablagerung und das Gefrieren von sphärischen, flüssigen Partikelchen entstanden. Der Unterschied der makroskopisch definierten Typen bestand darin, dass die sphärischen Partikelchen bei den beiden ersten Typen grösser waren, wenn die Temperatur während der Ablagerung dieselbe war. Je grösser die Tropfen sind, desto schneller fließen sie beim Zusammenprallen zusammen, bevor sie gefrieren. Bei der Bildung von Rauheis ist das Zusammenfließen so vollständig, dass die verschiedenen Partikelchen im Mikroskope nicht mehr entdeckt werden

konnten. Im Einzelnen konnte jedoch die Bildungsart im Mikroskope sehr leicht studiert werden und das schnelle Zusammenfliessen der Tropfen beobachtet werden. Bei der Rauhrostbildung fliessen auch die Tropfen recht schnell zusammen, man sieht aber in diesem Gebilde perlschnurähnliche Bildungen. Daneben treten schnell kristallinische Bildungen auf. Im *Rauhreif* treten die perlschnurähnlichen Bildungen sehr deutlich hervor. Sie bestehen deutlich aus aneinander gekitteten, gefrorenen sphärischen Partikelchen. In diesen Perlschnüren wachsen allmählich Kristalle aus. Die sphärischen Partikelchen, die Nebelfrost bilden, wurden auch gemessen. Die Radien dieser Partikelchen schwankten zwischen 3—25 μ . Ausser von der Grösse der Partikelchen ist auch die Temperatur für die Art des Nebelfrostes abhängig, und zwar so, dass Rauhreif bei niedriger Temperatur leichter entsteht als bei höherer Temperatur. Die Häufigkeit der Rauhreifeablagerungen nimmt also mit fallender Temperatur ab, die Häufigkeit der Rauhreifablagerungen nimmt mit fallender Temperatur zu. Die Ursache ist natürlicherweise die, dass die Tropfen bei niedriger Temperatur schneller als bei höherer gefrieren.

Es liegt nahe zu vermuten, dass dieselben Partikelchen, die Nebelfrost bilden, auch in den bei der Ablagerung vorkommenden Wolken vorkommen. Die Partikelchen in den Wolken, die als Nebel auf den Gebirgen auftreten, wurden durch eine optische Methode ausgemessen. Diese Methode besteht darin, dass der Winkelradius der Beugungskränze um einen lichtstarken Scheinwerfer gemessen wurde. Diese Beugungskränze treten als farbige Ringe um das parallele Licht des Scheinwerfers auf, gleich wie Kränze um den Mond und um die Sonne oft in den Wolken beobachtet werden können. Man misst den Radius der äusseren Ränder eines dunklen Feldes, das oft als die äussere Grenze der roten Farbe aufgefasst wird, das aber die äussere Grenze des violetten Lichtes ist (2.). Wenn diese Grenze eingestellt wird, kann die Wellenlänge λ des weissen Lichtes im Mittel gleich 0.571 μ gesetzt werden. Die Radien der Wolkenpartikelchen werden dann nach den folgenden Formeln verwertet:

$$r = \frac{1.220 \cdot \lambda}{2 \cdot \sin \Theta_1}; \quad r = \frac{2.233 \cdot \lambda}{2 \cdot \sin \Theta_2}; \quad r = \frac{3.238 \cdot \lambda}{2 \cdot \sin \Theta_3}.$$

Hier bedeutet r den Radius der Partikelchen und Θ_1 den Winkelradius des ersten violetten Ringes, Θ_2 und Θ_3 die entsprechenden Radien des zweiten und des dritten Ringes. Wenn die Partikelchen sphärisch sind, muss r für sämtliche gleichzeitig ausgemessene Ringe derselbe werden. Die Messungen ergaben eine vollständige Übereinstimmung zwischen diesen so ausgemessenen Radien. Daraus folgt, dass die Nebelpartikelchen sphärisch sind. Die mikroskopisch gemessenen Partikelchen sind flüssige Wassertropfen. Daraus folgt schliesslich, dass die Wolkenpartikelchen auch unter 0° flüssige, sphärische Partikelchen sind (3). In der Tat ergeben die Mes-

sungen und Beobachtungen, dass die Wolken, wenn sie wohl begrenzt sind, immer aus flüssigen Tröpfchen bestehen. Die Grössen der optisch gemessenen Radien waren identisch gleich denjenigen gleichzeitig mikroskopisch gemessener Tropfen, die sich als Nebelfrost abgesetzt hatten. Also folgt daraus, *dass die Tröpfchen der Wolken ohne zwischenliegende Veränderungen direkt durch Ablagerung an feste Gegenstände und nach darauf folgendem Gefrieren den Nebelfrost bilden.* Eine Analyse von Nebelfrost auf Chlor ist also dasselbe wie eine Analyse der Wolkentropfen auf Chlor. Weil der Niederschlag aus den Wolken kommt, ist dieses Ergebnis für das folgende von Bedeutung.

Weitere Ergebnisse der Tröpfchenmessungen in den Wolken.

Ausser den schon erwähnten Ergebnissen der optischen und mikroskopischen Tröpfchenmessungen ist es notwendig hier auch einige andere Resultate dieser Messungen anzugeben. In den Wolken oder im Gebirgsnebel, der nichts anderes als Wolken ist, schwankt die Tröpfchengrösse in weiten Grenzen oft während einer sehr kurzen Zeit. Die Radien schwanken im allgemeinen nur zwischen den Grenzen $3-25 \mu$. Einzelne Messungen können etwas grössere oder etwas kleinere Radien ergeben. Zuweilen trifft es ein, dass eine einzelne Messungsreihe sämtliche Radien im erwähnten Intervalle enthält. Eine optische Messungsreihe von 100 Einzelmessungen nahm eine Zeit von etwa 35 Minuten. Bei anderen Gelegenheiten ergaben die Messungen während mehrerer Stunden dieselbe Tröpfchengrösse. Aber es traf auch ein, dass die Tropfengrösse innerhalb der Fehlergrenzen der Messungsmethode während einiger Zeit konstant war, aber sich dann plötzlich veränderte. Die so neu auftretende Grösse war wieder eine Weile konstant, worauf eine neue plötzliche Veränderung eintrat. Es traf nicht selten ein, dass diese dritte Grösse dieselbe wie die zuerst gemessene war. Die Messungen ergaben, dass die Veränderungen der Tröpfchengrösse der Wolken nicht kontinuierlich waren. Eingehende Untersuchungen gaben das Ergebnis, dass die Radien in gewissen Verhältnissen zu einander standen. Diese Verhältnisse waren immer dieselben. Wenn die Massen anstatt der Radien in Anbetracht gezogen wurden, konnten die Massen der gemessenen Tropfen in folgender Reihe ausgedrückt werden (3, 4)

$$2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 : 8 : 10 : 12 : 14 : 16 : 20 \dots$$

Es ergab sich auch, dass diese Reihe immer auftrat. Die Verhältniszahl 2 entsprach dabei immer derselben Tropfenmasse unabhängig von der Temperatur und dem Beobachtungsort. Wenn ein Unterschied in dieser Hinsicht vorliegt, muss er innerhalb der Fehlergrenzen liegen. Die Masse, welche der Verhältniszahl 2 entspricht, habe ich Basiszahl genannt. Wenn diese Masse

mit M bezeichnet wird, folgt aus dieser Darlegung, dass M konstant ist. Daraus folgt wieder, dass z. B. die Verhältniszahl 7 immer einer Masse gleich $\frac{7}{2} M$ entspricht.

Es ist von Bedeutung auch hier hervorzuheben, dass dieselbe Massenreihe auch später im Regen von NIEDERDORFER (5) gefunden ist. Innerhalb der Fehlergrenzen kann die Reihe von NIEDERDORFER als eine Fortsetzung meiner Reihe betrachtet werden, obgleich es bei weitem nicht als bewiesen angesehen werden kann, dass die NIEDERDORFER'sche Reihe wirklich eine solche Fortsetzung ist. Bis auf Weiteres muss indessen meine Basiszahl als gültig auch für die Regenreihe betrachtet werden. Verfeinerte Messungsmethoden mögen vielleicht diese Auffassung verändern.

Die Konstitution des fallenden Schnees.

Die fallenden Schneekörnchen und Schneesterne sind im Aussehen sehr verschieden bei verschiedenen Gelegenheiten. Die wohlausgebildeten Kristalle, die durchgehend hexagonal sind und die keine Anomalien zeigen, ist es nicht notwendig hier zu diskutieren. Eine grosse Anzahl schöner Aufnahmen wohlausgebildeter Kristalle ist publiziert. Hier will ich die Körnchen im Anbetracht ziehen, die freilich von ästhetischem Gesichtspunkte nicht immer schön sind, die aber für die Entwicklungsgeschichte des Schneeniederschlags von ausserordentlichem Interesse sind. Es wurde schon den Jahren 1914—1916 auf dem Pärtetjåkko (1) im schwedischen Lappland beobachtet, dass Schneesterne, die durch die Wolken gefallen waren, mit Ablagerungen besetzt waren, die den Nebelfrostablagerungen sehr ähnlich sind. Diese Ablagerungen wurden später auf dem Halde eingehend mikroskopisch untersucht. Es ergab sich da, dass diese Schneesterne, die beim Nebelwetter fielen, von Tröpfchen besetzt waren, deren Grösse gleich gross ist wie diejenigen in den Wolken und wie diejenigen, die sich als Nebelfrost an aufragenden Gegenständen ablagerten. Dadurch wurde meine schon früher ausgesprochene Ansicht bestätigt (1). Zuweilen wurde die Ablagerung von Tröpfchen an den Kristallen so lebhaft, dass diese teilweise geschmolzen waren, und als unförmliche Klümpchen zum Boden fielen.

Auch andere nicht tröpfchenbesetzte Kristalle fielen zuweilen durch die Wolken. Es würde hier zu weit führen davon näher zu berichten. Es mag hinreichend sein zu erwähnen, dass diese Schwärme (3) von schönen, wohlausgebildeten Kristallen, die aus Tröpfchenwolken fallen, unter diesen Kristallschleier bilden, die oft Stratuswolken genannt werden. In diesen Stratusschleiern oder Kristallschwärmen entstehen Halos. Die Halos, welche in solchen Schwärmen entstanden, wurden auf dem Halde sehr oft beobachtet und zuweilen näher studiert und ausgemessen (6).

Die Schneekörnchen, die hier von besonderem Interesse sind, bilden sich in Wolken aus unterkühlten Tröpfchen, ihre weitere Entwicklungs-

geschichte ist aber von den Wolkentröpfchen in hohem Grade abhängig. Die Schneekörnchen, die durch die Wolken fallen, können in zwei etwas verschiedenen Arten zerlegt werden. Die erste besteht aus den oben erwähnten Kristallen, die mit Tropfen besetzt sind. An diesen Kristallen hat sich Nebelfrost abgelagert. Sind diese Ablagerungen klein, bestehen sie also nur aus verhältnismässig wenigen Tropfen, können die einzelnen Tropfen im Mikroskope beobachtet und gemessen werden. Wird die Ablagerung gross, trifft die oben erwähnte Schmelzung des Kristalles ein und die Klümpchen, die so entstehen, bilden eine Art von Graupelkörnchen. Liegt die Wolke

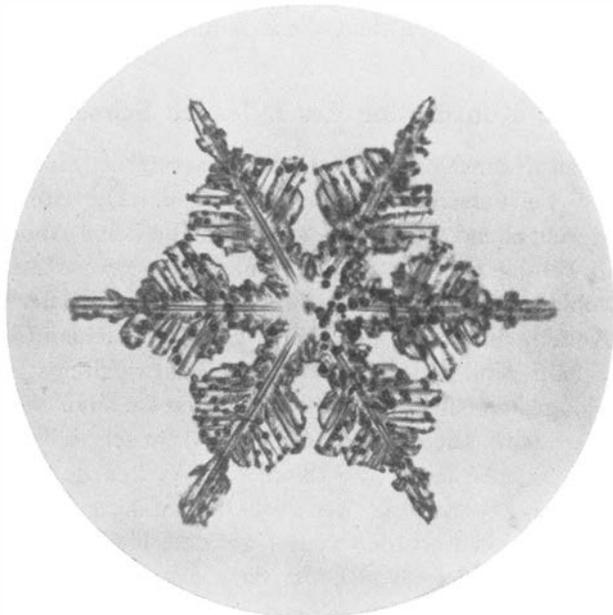


Fig. 2. Tröpfchenbesetzter Eiskristall. Tropfen in kleiner Anzahl abgesetzt.

hoch über dem Boden, wachsen zuweilen aus diesen Klümpchen oft wieder Kristalle aus. Diese Kristallbildungen dürften möglicherweise zuweilen durch Sublimation von Wasserdampf entstehen, aber sicherlich auch oft oder am öftesten dadurch, dass die Moleküle der gefrorenen Tropfen und der teilweise geschmolzenen Kristalle allmählich einer kristallinen Umlagerung unterworfen werden. Solche Umlagerungen sind z. B. betreffs Schwefel beobachtet. Wenn ein Kristall durch direkte Sublimation gebildet ist, muss sein Gehalt an fremden Stoffen verschwindend klein sein. Die Wolkentropfen enthalten, wie wir später sehen werden, Chlor. Der Chlorgehalt der oben erwähnten, mit Ablagerungen versehenen Kristalle muss mit der Anzahl abgelagerter Tropfen und mit der Konzentration von Chlor in den Nebeltropfen schwanken. Die hier beschriebenen Eiskörnchen entstehen immer, wenn Schneekristalle hinreichend weit durch die Wolken fallen.

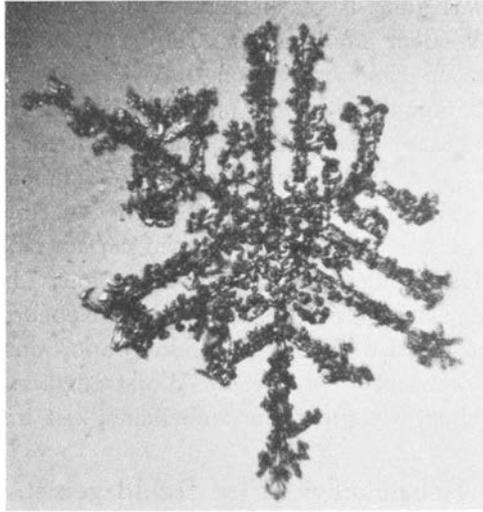


Fig. 3. Tröpfchenbesetzter Eiskristall. Tröpfchen sehr zahlreich aber doch sichtbar. Der Kristall durch die Tropfen ein wenig geschmolzen.

Ist die Luft sehr turbulent, wie an der Leeseite der Gebirge, werden diese Bildungen zahlreicher und auch mit anderen Schneekörnchen gemischt, die in anderer Weise entstehen. Diese bestehen aus zusammengeflossenen und gefrorenen Wolkentropfen. Diese Körnchen sind also freie Nebelfrostbildungen. Auch von diesen Bildungen wachsen oft Kristalle aus, die im Aussehen sehr ähnlich den Kristallbildungen sind, die aus Schwefelblume herauswachsen (7). Die hier erwähnten Körnchen sind auch eine Art von Graupeln. Sie müssen dieselbe Chlorkonzentration wie der Nebelfrost und wie die Wolkentropfen haben. Die beiden hier beschriebenen Arten von Schneekörnchen habe ich Nebelfrostschnee genannt.

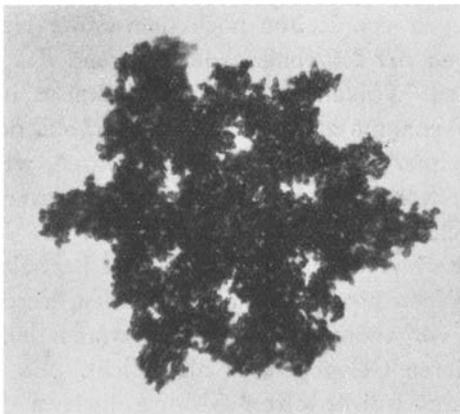


Fig. 4. Ein Kristall mit zahlreichen Tropfen und sehr deformiert.

Aus dieser Darlegung ist es hoffentlich deutlich, dass der winterliche Niederschlag verschiedene Mengen von Chlor enthalten kann. Der Gehalt des Schmelzwassers an Chlor muss von den Nebelfrostmengen umliegender Gebirge, aber auch von der Art des fallenden Schnees und also auch von den Turbulenzverhältnissen des Windes abhängen. Diese sind von der Topographie abhängig. Die Sommerniederschläge stammen immer direkt aus den Wolken und müssen daher wahrscheinlich denselben Chlorgehalt wie diese enthalten, was auch experimentell, wie wir unten sehen werden, bestätigt ist. Der Gehalt des Schnees an Chlor muss daher auch von der Nebeldichte in den Gebirgen abhängen. Die Nebelfrostmenge ist auch der Nebelhäufigkeit in den Gebirgen direkt proportional. Da der Nebelfrost dieselbe Chlorkonzentration wie die Wolken haben muss, ist es darum wichtig zu untersuchen, wie gross die Nebelhäufigkeit im Halddegebiet ist.

Nebelhäufigkeit im Halddegebiet.

Während der Jahre 1920—1925 wurden Beobachtungen von Nebelbildungen beim Observatorium und in der Umgebung dieses Observatoriums angestellt. Es kann auch so ausgedrückt werden, dass ich untersuchte, wie oft die Wolken so niedrig waren, dass sie das Observatorium und die umgebenden Gipfel einhüllten. Ich will mich hier nur mit den Beobachtungen auf dem Haldde, I, auf dem Store Haldde, II, und auf dem Talviktoppen (dem Talvikgipfel), III, beschäftigen.¹ Beobachtungen wurden sehr oft vorgenommen. Regelmässige Beobachtungen während aller sechs Jahre wurden um 8 Uhr, 14 Uhr und 19 Uhr ausgeführt. Um durchgehend vergleichbare Beobachtungen zu erhalten werden nur diese Beobachtungen studiert.

Wiederholte Reisen nach diesen beiden Gipfel ergaben, dass sie immer gleichzeitig wie das Observatorium vom Nebel bedeckt waren. Wenn die Wolken bei einer Beobachtung den Halddegipfel einhüllte, war es natürlicherweise nicht möglich die umliegenden Gebirge zu sehen. Wegen der erwähnten Erfahrungen von Reisen nach dem Store Haldde und dem Talviktoppen und wegen der Ergebnisse der während des ganzen Tags mehrmals aufgezeichneten Wolken- und Nebelverhältnisse in den Gebirgen, ist es berechtigt, die Annahme zu machen, dass sowohl der Store Haldde wie der Talviktoppen immer im Nebel eingehüllt waren, wenn der Haldde vom Nebel bedeckt war, wobei die Fernsicht verhindert wurde.

Bei starkem Schneegestöber ohne Nebel auf dem Haldde ist die Fernsicht vom Observatorium auch begrenzt. Auch bei solchen Gelegenheiten, die besonders bei West- bis Nordwinden eintreffen, wurden Reisen nach den erwähnten Gipfeln vorgenommen. Zuweilen waren dann diese in Wolken eingehüllt, bei anderen Gelegenheiten aber nicht. Es ist indessen hier vorausgesetzt, dass bei solchen Gelegenheiten die beiden Gipfel

¹ Siehe die Karte s. 305.



Fig. 5. Aussicht vom Haldde auf den Store Haldde, dessen Gipfel in der Mitte des Hintergrundes sichtbar ist.

nebelfrei waren. Vielleicht wäre es berechtigt, vorauszusetzen, dass im allgemeinen bei solcher Wetterlage die beiden Gipfel auch in Wolken eingehüllt waren, da Nebelfrost eben auf diesen in grösster Mengen von NW abgelagert wurden. Wegen der Unsicherheit in der Beurteilung dieser Umstände wurde indessen die obenerwähnte Annahme gemacht. Durch eine solche Annahme bezeichnen die erhaltenen Werte die untere Grenze der Nebelhäufigkeit dieser Gipfel.

Zu den Beobachtungen von Nebel auf dem Haldde habe ich also betreffend den Store Haldde und den Talviktoppen nur die Beobachtungen gelegt, wo wirklich Nebel auf diesen Gipfeln beobachtet wurde. Wie oben

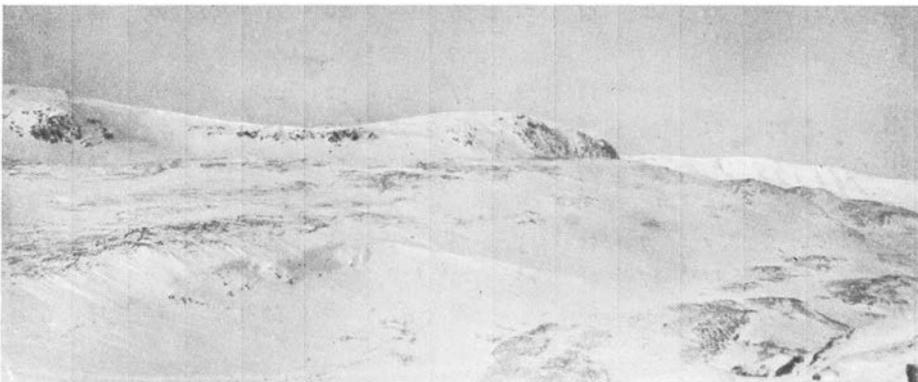


Fig. 6. Aussicht vom Haldde auf den Talviktoppen. Zwischen dem Haldde und dem Talviktoppen liegt die Hochebene, wo Nebelfrostablagerungen an dem Punkte IV gemessen wurden.

erwähnt, wurden drei Beobachtungen des Tages verwendet. Die Tabelle 1 zeigt die Anzahl von Nebelbeobachtungen auf den drei Berggipfeln an. In der Tabelle bedeutet I den Haldde, II den Talviktoppen und III den Store Haldde. Die Tabelle 2 zeigt das Verhältnis der Beobachtungen $\frac{\text{Talviktoppen}}{\text{Haldde}} = A$ und $\frac{\text{Store Haldde}}{\text{Haldde}} = B$ an.

Die Schwankungen dieser Beziehungen vom Jahr zum Jahr sind überraschend klein. Die etwas höheren Werte in den Jahren 1923 und 1924 beruhen auf besondere Witterungsverhältnisse im Februar und im April 1923 und im Februar, im März und im November 1924. Im Jahre 1922 mangelt es an folgerichtigen Beobachtungen während der Monate Januar und Juli. Diese Monate sind daher nicht in die Beobachtungen mit einbezogen.

Tabelle 1.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | Jahr |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|------|
| 1920 | | | | | | | | | | | | | |
| I . . . | 23 | 20 | 24 | 51 | 30 | 6 | 22 | 21 | 37 | 22 | 26 | 28 | 310 |
| II . . . | 30 | 40 | 37 | 62 | 42 | 22 | 29 | 33 | 44 | 30 | 34 | 42 | 445 |
| III . . . | 35 | 43 | 41 | 62 | 45 | 27 | 32 | 36 | 48 | 30 | 37 | 42 | 478 |
| 1921 | | | | | | | | | | | | | |
| I . . . | 24 | 24 | 31 | 24 | 27 | 29 | 25 | 34 | 39 | 22 | 15 | 39 | 333 |
| II . . . | 37 | 38 | 40 | 41 | 39 | 39 | 31 | 45 | 49 | 44 | 23 | 42 | 468 |
| III . . . | 50 | 40 | 46 | 45 | 50 | 44 | 36 | 50 | 61 | 47 | 24 | 42 | 535 |
| 1922 | | | | | | | | | | | | | |
| I . . . | — | 23 | 19 | 30 | 28 | 22 | — | 36 | 32 | 28 | 32 | 26 | 276 |
| II . . . | — | 30 | 36 | 42 | 42 | 32 | — | 42 | 38 | 47 | 41 | 41 | 391 |
| III . . . | — | 32 | 42 | 51 | 51 | 36 | — | 48 | 41 | 52 | 45 | 48 | 446 |
| 1923 | | | | | | | | | | | | | |
| I . . . | 20 | 2 | 27 | 11 | 34 | 17 | 20 | 32 | 29 | 36 | 23 | 10 | 261 |
| II . . . | 25 | 21 | 39 | 38 | 50 | 38 | 37 | 41 | 42 | 45 | 28 | 12 | 416 |
| III . . . | 32 | 26 | 44 | 44 | 66 | 47 | 42 | 51 | 57 | 49 | 30 | 15 | 503 |
| 1924 | | | | | | | | | | | | | |
| I . . . | 9 | 4 | 7 | 12 | 27 | 14 | 15 | 18 | 33 | 25 | 3 | 11 | 178 |
| II . . . | 14 | 11 | 17 | 18 | 43 | 23 | 28 | 35 | 48 | 35 | 7 | 14 | 293 |
| III . . . | 17 | 16 | 20 | 21 | 49 | 28 | 27 | 38 | 53 | 38 | 10 | 15 | 332 |
| 1925 | | | | | | | | | | | | | |
| I . . . | 11 | 9 | 8 | 15 | 11 | 29 | 22 | 39 | 43 | 21 | 13 | 24 | 245 |
| II . . . | 21 | 12 | 11 | 22 | 22 | 51 | 25 | 43 | 51 | 24 | 30 | 28 | 340 |
| III . . . | 23 | 14 | 20 | 23 | 25 | 55 | 30 | 48 | 59 | 30 | 38 | 31 | 396 |

Tabelle 2.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | Jahr |
|-----------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1920 | | | | | | | | | | | | | |
| A | 1.30 | 2.00 | 1.54 | 1.22 | 1.40 | 3.67 | 1.32 | 1.57 | 1.19 | 1.36 | 1.31 | 1.50 | 1.44 |
| B | 1.52 | 2.15 | 1.71 | 1.22 | 1.50 | 4.50 | 1.45 | 1.71 | 1.30 | 1.36 | 1.36 | 1.42 | 1.54 |
| 1921 | | | | | | | | | | | | | |
| A | 1.54 | 1.58 | 1.29 | 1.71 | 1.44 | 1.34 | 1.24 | 1.32 | 1.26 | 2.00 | 1.53 | 1.08 | 1.41 |
| B | 2.08 | 1.67 | 1.48 | 1.88 | 1.85 | 1.52 | 1.44 | 1.47 | 1.56 | 2.14 | 1.60 | 1.08 | 1.61 |
| 1922 | | | | | | | | | | | | | |
| A | — | 1.30 | 1.89 | 1.40 | 1.50 | 1.45 | — | 1.17 | 1.19 | 1.68 | 1.28 | 1.58 | 1.42 |
| B | — | 1.39 | 2.21 | 1.70 | 1.82 | 1.64 | — | 1.33 | 1.28 | 1.86 | 1.41 | 1.85 | 1.62 |
| 1923 | | | | | | | | | | | | | |
| A | 1.25 | 10.50 | 1.44 | 3.45 | 1.47 | 2.24 | 1.85 | 1.28 | 1.45 | 1.25 | 1.22 | 1.20 | 1.59 |
| B | 1.60 | 13.00 | 1.63 | 4.00 | 1.94 | 2.76 | 2.10 | 1.59 | 1.97 | 1.36 | 1.30 | 1.50 | 1.93 |
| 1924 | | | | | | | | | | | | | |
| A | 1.56 | 2.75 | 2.43 | 1.50 | 1.59 | 1.64 | 1.87 | 1.94 | 1.45 | 1.40 | 2.33 | 1.27 | 1.65 |
| B | 1.89 | 4.00 | 2.86 | 1.75 | 1.81 | 2.00 | 1.80 | 2.11 | 1.68 | 1.50 | 3.33 | 1.36 | 1.87 |
| 1925 | | | | | | | | | | | | | |
| A | 1.91 | 1.33 | 1.38 | 1.47 | 2.00 | 1.76 | 1.14 | 1.10 | 1.19 | 1.14 | 2.31 | 1.17 | 1.39 |
| B | 2.09 | 1.56 | 2.50 | 1.53 | 2.27 | 1.90 | 1.36 | 1.23 | 1.37 | 1.43 | 2.92 | 1.29 | 1.62 |

Die Summe der Nebelbeobachtungen auf den verschiedenen Gipfeln während der sechs Jahre, wie die Mittelwerte der verschiedenen Jahre, ersieht man der kleinen Tabelle hier unten.

| | 1920—1925 | Pro Jahr |
|------------------------|-----------|---------------------------------|
| Haldde | 1603 | 267 ¹ / ₆ |
| Talviktoppen | 2353 | 392 ¹ / ₆ |
| Store Haldde | 2690 | 448 ² / ₆ |

Die Mittelwerte der Verhältnisse sind:

$$\frac{\text{Talvik}}{\text{Haldde}} = 1.47 \qquad \frac{\text{Store Haldde}}{\text{Haldde}} = 1.68.$$

Diese Verhältnisse sind, wie oben gesagt wurde, als untere Grenzen zu betrachten. Sie sagen auch nichts über die Dichte des Nebels oder über die Windgeschwindigkeit während der Nebeltage. Je stärker der Wind ist, desto mehr Nebelfrost wird pro Zeiteinheit abgelagert. Da die grössten

Nebelfrostmengen von Nord bis Südwest auf dem Talviktoppen und dem Store Halde abgelagert werden, kann auch vorausgesetzt werden, dass im Mittel die Windgeschwindigkeit während Nebeltage grösser auf diesen Gipfeln als auf dem Halde ist.

Messungen der Menge abgelagerten Nebelfrostes.

Die Menge an zylindrischen Eisenblechbüchsen abgelagerten Nebelfrostes wurde gewogen. Die verwendeten Büchsen hatten eine durch die Achse

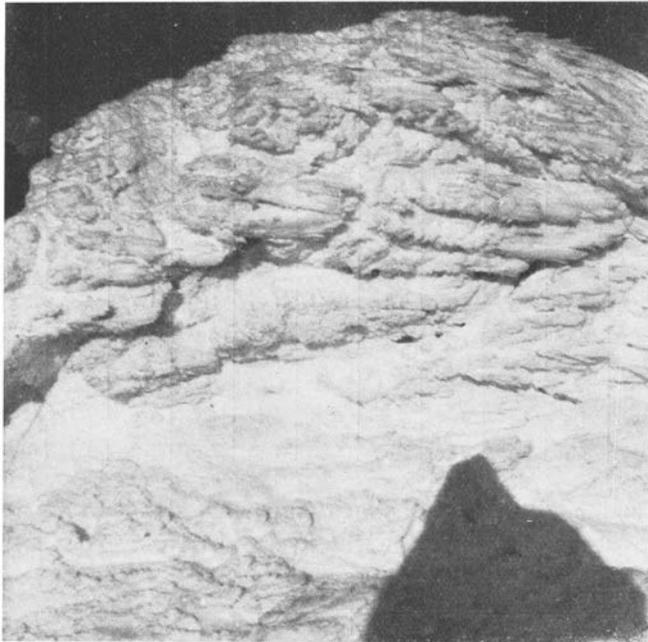


Fig. 7. Gewaltige Nebelfrostablagerungen an einem Steinmann auf dem Store Halde. Der Nebelfrost ist von Norden abgesetzt.

gelegte Durchschnittsfläche von 160 cm². Die Zylinder wurden vertikal auf starke Holzstangen befestigt.

Solche Büchsen wurden auf folgende Plätze etwa 1 Meter über dem Boden aufgestellt:

- I. Beim Observatorium, 904 M. Seehöhe.
- II. Auf dem Store Halde, 1,141 M. Seehöhe.
- III. Auf dem Talviktoppen, 989 M. Seehöhe.
- IV. Auf dem Plateau zwischen dem Observatorium und dem Talvikgipfel, etwa 860 M. Seehöhe (aus der Karte verwertet).

Folgende Mengen wurden im Jahre 1920—1921 auf diesen Plätzen gemessen:

- I. 7,000 g.
- II. 70,000 g.
- III. 28,700 g.
- IV. 3,500 g.

Beim Observatorium wurde die Nebelfrostmenge nach jeder Ablagerung gemessen. Dies war betreffs der anderen Plätze natürlicherweise nicht durchführbar. Auf dem Talviktoppen und auf dem Plateau, auf dem Punkte IV, wurden die Ablagerungen jede Woche gleichzeitig mit dem Nachsehen



Fig. 8. Derselbe Steinmann wie auf Fig. 7, mit dem Nebelfrostzylinder, im Sommer. Aufnahme aus etwa derselben Entfernung wie die winterliche Aufnahme der Fig. 7.

auf dem Talviktoppen befindlicher meteorologischer Instrumente gemessen. Auf dem Store Haldde dagegen wurde der Nebelfrost sehr unregelmässig gemessen, weil Reisen nach diesem Gipfel nur vorgenommen werden konnten, wenn andere Arbeit dieses recht umständliche Vornehmen nicht verhinderte. Die Reisen nach diesem Gipfel wurden immer vom Verfasser selbst vorgenommen. Die Messungsergebnisse, die wie auf dem Talviktoppen nur einmal in der Woche oder wie auf dem Store Haldde noch seltener ausgeführt wurden, sind nicht als sehr exakt zu betrachten. Einerseits verdunsten die Ablagerungen an frei in der Atmosphäre ragenden Gegenstände in der oft sehr trockenen Luft sehr schnell. Andererseits trifft es ein, dass Stürme die Ablagerungen teilweise oder vollständig von den

Zylindern abschütteln. Drittens wird die Oberfläche durch die Ablagerung allmählich verändert. Besonders wirkt dieser Umstand störend, wenn zwei auf einander folgende Ablagerungen von zueinander senkrechten Richtungen stattfinden. Die beiden ersten hier erwähnten Möglichkeiten vermindern die Ablagerungen am Zylinder, die dritte kann sie sowohl erhöhen wie verkleinern. Es ist nicht möglich zu beurteilen, welche von diesen Faktoren überwiegend sind. Sporadische Messungen während anderer Jahre scheinen darauf zu deuten, dass die wirkliche Ablagerungsmenge auf dem Store Haldde im Verhältnis zu derjenigen am Observatorium viel grösser als die hier angeführte sein *kann*. Während der drei ersten Monate im Jahre 1922 wurde auf dem Store Haldde eine fünfzig mal grössere Menge als auf dem Haldde gemessen. Da die Ablagerungen desto leichter zerbrochen und weggefegt werden, je grösser sie sind, haben die Messungen ganz sicher zu niedrige Werte vom Store Haldde und vom Talviktoppen ergeben. Die am Observatorium gemessene Menge ist dagegen von richtiger Grössenordnung.

Nach vereinzelt Messungen im Tale NE vom Observatorium wurde z. B. in einer Höhe von 198 M. unter dem Observatorium eine Nebelfrostmenge gefunden, die nur ein fünftel von der Ablagerungsmenge des Observatoriums war. Dies scheint es berechtigt zu machen die Vermutung auszusprechen, dass die auf dem Punkte IV gefundene Nebelfrostmenge auch von richtiger Grössenordnung sei. Wenigstens ist die hier gefundene Menge kaum zu niedrig.

Aus diesen Messungen lernt man indessen, dass die Verhältnisse der Ablagerungsmengen viel grösser als die Verhältnisse der Nebelbeobachtungen der drei studierten Gipfel sind. Man kann also nicht durch Beobachtungen von Nebeltagen verschiedener Gipfel direkt auf die Nebelfrostmenge schliessen. Die Nebelfrostmengen hängen auch von der Windgeschwindigkeit und der Dichte des Nebels ab.

Um etwas weiter betreffs dieser Probleme zu kommen, wurde auf dem Haldde in den Jahren 1924 und 1925 Zylinder auf sieben verschiedenen Höhen über dem Observatoriumplateau, auf welchem das Wohnhaus liegt, aufgestellt. In der untenstehenden Tabelle 3 sind diese Höhen, die Ergebnisse der Messungen und in Parenthesen die vertikalen Abstände der verschiedenen Punkte vom höchsten Zylinder angegeben.

Tabelle 3.

| Höhe der Punkte | Verhältnisse der Ablagerungsmengen | Verhältnisse der Ablagerungsmengen | |
|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| | | Gefunden | Berechnet |
| 1. 10 (26) M. | M_4/M_1 | 2.31 | 2.08 |
| 2. 13 (23) M. | M_4/M_2 | 2.08 | 1.94 |
| 3. 31 (5) M. | M_4/M_3 | 1.14 | 1.17 |
| 4. 36 (0) M. | M_4/M_4 | 1.00 | 1.00 |
| 5. 31 (5) M. | M_4/M_5 | 1.17 | 1.17 |
| 6. 1 (35) M. | M_4/M_6 | 2.54 | 2.36 |
| 7. 14 (22) M. | M_4/M_7 | 1.59 | 1.89 |

In der Tabelle 3 bedeutet M_i die Ablagerungsmenge auf dem Punkte i und also M_i/M_j das Verhältnis zwischen der Ablagerungsmenge des Punktes i zu derjenigen des Punktes j . In diesen Zahlen spielt leider gewissermassen auch die topographische Lage der Punkte mit, obgleich ein Versuch gemacht wurde die Punkte so gleichwertig wie möglich zu wählen. Der Fehler scheint indessen nicht gross zu sein, was z. B. ein Vergleich zwischen den Punkten 3 und 5 ergibt. Dagegen scheint der Punkt 7 lokal beeinflusst zu sein, weil dieser Zylinder auf dem Wohnhaus festgesetzt war.

Aus den Verhältniszahlen wurde eine quadratische Formel für die Veränderung der Ablagerungsmenge mit der Höhe verwertet. Dabei wurde vorausgesetzt, dass die Ablagerung im Punkte 1 der Einheitsablagerung entsprach, weil im Jahre 1920—1921 die eben erwähnten Messungen durchgeführt wurden. Die Formel lautet:

$$M = 0.000809 z^2 + 0.004422 z + 0.889$$

z ist in Meter ausgedrückt.

Es liegt sehr nahe zu vermuten, dass die Ablagerungsmengen mit der Höhe logarithmisch veränderlich sind. Das logarithmische Gesetz gilt in der Nähe des Bodens betreffs der Windgeschwindigkeit. Indessen zeigen die Verhältniszahlen, dass die Ablagerungsmenge schneller mit der Höhe wächst, als das logarithmische Windgesetz ergeben würde. Ich habe auch früher gefunden (1), dass die Veränderung der Ablagerungsmenge grösser als die der Windgeschwindigkeit ist. Physikalisch muss es auch so sein, weil die Luft in der Nähe

des Bodens durch die Ablagerung ausgetrocknet wird. Die Austrocknung folgt dabei dem Gesetze der Wärmeleitung mit variablem Wärmeleitkoeffizienten. Dadurch muss die Wolkendichte — Nebeldichte — mit der Höhe über dem Boden wachsen. Auch eine lineare Abnahme der Nebelfrostablagerung mit der Höhe ist zu langsam. Die quadratische Formel ist natürlicherweise eine verkürzte Formel und die theoretische Motivierung dieser Formel kann hier nicht angeführt werden.

In der Tabelle 3 sind die berechneten Verhältniszahlen aus der erwähnten Formel erhalten.

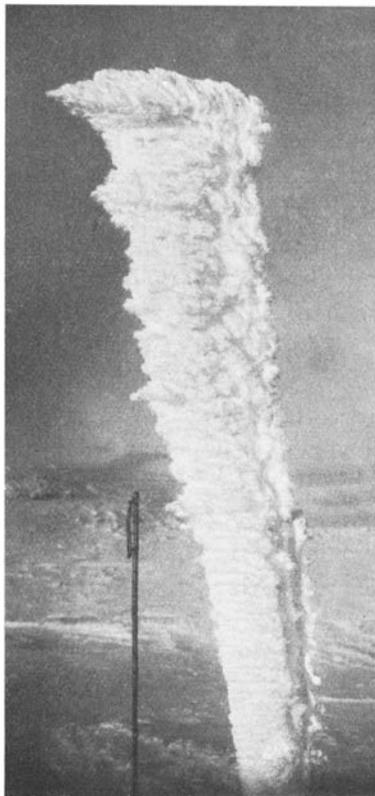


Fig. 9. Nebelfrostablagerungen an einer Stange auf dem Talviktoppen. Die Ablagerung wächst mit der Höhe. Der Nebelfrost ist von SW abgesetzt.

Unter der Voraussetzung, dass man die Formel auch für grössere Höhe und für Plätze ausser des Observatoriums verwenden kann, wurde die Ablagerungsmenge im Verhältnis zu derjenigen des Observatoriums aus der Formel für den Store Halde und für den Talviktoppen verwertet. Folgende Ergebnisse wurden dabei erhalten:

| | |
|------------------------|------|
| Store Halde | 16.7 |
| Talviktoppen | 7.1 |

Ich erinnere daran, dass die Menge des Punktes 1 bei der Ableitung der Formel als Einheit der Ablagerung gewählt wurde. Also sind obenstehenden Werte Verhältnisse zwischen den Ablagerungen auf den beiden Gipfeln zu derjenigen auf dem Halde, wenn der Punkt 1 als repräsentativ für den Halde angesehen wird. Die Nebelfrostmenge auf dem Halde, die beim Vergleich mit den gemessenen Mengen auf dem Store Halde und dem Talviktoppen angeführt wurde, hatte ich auf dem Punkte 1 erhalten.

Die beiden Verhältniszahlen sind beide 70 % grösser als die, welche durch direkte Messungen erhalten sind. Wegen der vielen Fehlerquellen, die vorhanden sind, wenn die Nebelfrostablagerungen nicht nach jedem Nebeltag gemessen werden, vor allem der des Wegfallens und derjenigen der teilweisen Verdunstung, sind diese Zahlen sicherer als diejenigen, welche aus den Messungen hervorgehen. Eine recht grosse Unsicherheit liegt immer in solchen Relativzahlen. Wir haben indessen früher gesehen, dass die Ablagerungen auf dem Store Halde bei anderen Gelegenheiten verhältnismässig viel grösser sein können, und da tatsächlich die Verdunstung und das Abschütteln des Nebelfrostes eine Fehlerquelle von Bedeutung ist, folgt, dass die Verhältniszahlen grösser als die durch Messungen erhaltenen sein müssen. Die beiden hier im Frage kommenden Gipfel ragen frei in die Atmosphäre auf gleich wie der Halde. Die Punkte, deren Ablagerungen zu Grunde der verwerteten Formel liegen, ragen auch frei und möglichst ungestört in die Atmosphäre. Die Veränderung der Ablagerungsmenge mit der Höhe, die aus der Formel verwertet wird, ist daher für die freie Atmosphäre verhältnismässig sicher.

Auf dem Pärtetjåkko im schwedischen Lappland (1) hatte ich schon im Jahre 1914—1916 Gelegenheit die Nebelfrostablagerungen zu studieren. Auf diesem Gipfel fand ich, dass das Verhältnis zwischen der Ablagerungsmenge zweier Punkte, die sich in einer vertikalen Abstand von 5 M. befanden, nicht weniger als 1.8 war. Auf dem Halde war das entsprechende Verhältnis nur 1.17. Der Unterschied ist erklärlich daraus, dass das Pärtetjåkko-Observatorium auf einem Plateau lag, während das Haldeobservatorium auf einem steil aufragenden Gipfel liegt. Die auf dem Halde erhaltenen Ergebnisse entsprechen daher besser den Verhältnissen in der freien Atmosphäre. Die Verhältniszahlen sind sicherlich nicht zu gross.

Die Güte dieser Werte ist auch dadurch festgelegt, dass sie durch Messungen auf 7 Punkten erhalten sind. Von diesen befanden sich 3, 4, 5, hoch über dem Boden. Diese Sache wird unten etwas weiter behandelt.

Am Observatorium wurde auch versucht eine Relation zwischen den Nebelfrostablagerungen an den Zylindern und derjenigen horizontaler und um 45° zum Horizont geneigter Oberflächen zu erhalten. Dabei wurde die von dem Nebelfrost repräsentierte Niederschlagsmenge in mm Wasser auf den oben erwähnten Oberflächen im Verhältnis zur Ablagerung an den Zylindern in cm^3 Wasser gemessen. Für die geneigte Oberfläche wurde das Verhältnis 1/100 und für die horizontale Oberfläche das entsprechende Verhältnis 1/200 erhalten. Beide diese Zahlen sind approximativ und sie schwanken bei verschiedenen Gelegenheiten in recht weiten Grenzen.

Es ist nicht leicht zu beurteilen, welche Neigung die verschiedenen Gebirge im Mittel zum Horizont haben. Im Anfang des Winters, bevor die vielen Steinblöcke nicht vollkommen in Schnee und Nebelfrost eingebettet sind, bieten die Gebirge dem Wind überwiegend vertikale Oberflächen dar. Die Anzahl dieser Oberflächen werden allmählich verkleinert aber wird niemals Null. Ich will annehmen, dass im Mittel die Neigung um 45° auf den drei Gipfeln schwanke.

Im Winter 1920—1921 war unter dieser Voraussetzung der Nebelfrostniederschlag auf dem Haldde nur 70 mm. Um die entsprechenden Mengen auf dem Store Haldde und auf dem Talviktoppen zu berechnen, gehe ich von den berechneten Verhältniszahlen aus. Indessen liegt es auch sehr nahe an der Hand die Tatsache zu beachten, dass die Nebelhäufigkeit auf dem Store Haldde und auf dem Talviktoppen 1.68- und 1.47-mal grösser beziehungsweise als auf dem Haldde war. Nach diesen Gesichtspunkten würden die Verhältniszahlen 28 bzw. 10 sein.

Bei der Berechnung der Formel, aus der die Verhältniszahlen 17 und 7 erhalten wurden, habe ich hervorgehalten, dass in dieser Formel nicht nur die Veränderung der Windgeschwindigkeit, sondern auch diejenige der Wolkendichte mit der Höhe eingeht. Die Formel setzt indessen auch voraus, dass für $z = 0$ eine Wolkendichte im Mittel existiert, die im Stande ist, eine Nebelfrostmenge von 0.889 abzulagern, wenn die Einheitsmenge in der Höhe 10 m. abgelagert wird. Daher ist das oben angegebene Verfahren nicht rational. Um eine exakte Berechnung der Nebelfrostablagerungen auf dem Store Haldde und auf dem Talviktoppen ausführen zu können, wenn Haldde nebelfrei ist, wird erfordert, dass man die Höhe von den Gipfeln kennt, wo die Ablagerung eben 0.889 ist, d. h. man muss die Höhe der unteren Grenze der Wolken kennen. Eine solche Untersuchung habe ich nicht vorgenommen. Ich weiss auch nicht, wie hoch im Mittel die untere Grenze der Wolken liegt, wenn auf dem Haldde für $z = 0$ die Ablagerung 0.889 wird. Da der Höhenunterschied zwischen dem Haldde und den beiden anderen Gipfeln von der oben angegebenen

Größenordnung ist, kann vorausgesetzt werden, dass die Ablagerungen auf dem Store Halde und auf dem Talviktoppen beim nebelfreien Halde gleich gross ist, wie auf dem Halde, wenn dieser Gipfel in Wolken eingehüllt ist. Daraus berechne ich den Nebelfrostniederschlag auf dem Store Halde in folgender Weise: $70 \cdot 17 + 70 \cdot 1.68 = 1,307.6$ mm oder in runder Zahl 1,310 mm. In gleicher Weise finde ich die entsprechende Menge auf dem Talviktoppen und erhalte so folgende Tabelle:

Tabelle 4.

| | Nebelfrostniederschlag in mm Wasser |
|------------------------|--|
| Halde | 70 |
| Store Halde | 1,310 |
| Talviktoppen | 590 |
| Punkt IV | 35 |

Nach "Nedböriakttagelser i Norge", 1920 und 1921, ist der Niederschlag pro Jahr im Haldegebiet im Mittel etwa 1,200 mm. Wir sehen daraus, dass die totale Niederschlagsmenge auf dem Store Halde zweimal grösser ist. Auf dem Halde und auf dem Punkte IV ist der vom Nebelfrost repräsentierte Niederschlag dagegen verschwindend klein. Auf dem Talviktoppen muss die totale Menge um 50 % erhöht werden.

Eine sehr wichtige Tatsache betreffs dieser Ergebnisse ist folgende: Der fallende Niederschlag wird in Wasserhöhe auf der horizontalen Oberfläche, also auf der Horizontalprojektion des Landes gemessen. Der Nebelfrostniederschlag wird auf der eben vorhandenen Oberfläche gemessen. Um den wirklich auf der Horizontalprojektion vorkommenden, vom Nebelfrost herrührenden Niederschlag anzugeben, wird dieser natürlicherweise viel grösser als ich hier angeführt habe. Ich will jedoch nicht versuchen die Grösse der auf den Horizont projizierten Oberfläche dieser Gipfel zu berechnen. Ich halte es für unmöglich, weil dabei alle Unebenheiten alle möglichen Neigungen mehr oder weniger geneigter Oberflächen in Betracht gezogen werden müssten. Wie ich früher hervorgehoben habe, verändert sich daneben während des Winters die Oberfläche in hohem Grade. Sicher ist, dass der Niederschlag pro Flächeneinheit auf der Horizontalprojektion der wirklich vorkommenden Oberfläche ausserordentlich viel grösser sein muss, als ich oben angegeben habe.

Chloranalysen.

Analysen von Nebelfrost.

Sämtliche Chloranalysen, welche ich in der folgenden Darstellung erwähnen werde, sind gemäss der Mohrschen massenanalytischen Methode

Tabelle 5

| $n_s = -6$ | | $n_s = -5$ | | $n_s = -4$ | | $n_s = -3$ | | $n_s = -2$ | | $n_s = -1$ | |
|--|---|--|--|---|----------------------------------|---|----------------------------------|--|--|---|----------------------------------|
| Datum | Chlormenge in Mg per L. | Datum | Chlormenge in Mg per L. | Datum | Chlormenge in Mg per L. | Datum | Chlormenge in Mg per L. | Datum | Chlormenge in Mg per L. | Datum | Chlormenge in Mg per L. |
| 13/10—23 | 0.06747 | 15/10—23 | 0.08875 | 8/9—23 14/10—23 21/10—23 4/11—23 | 0.202 0.234 0.248 0.266 | 19/4—21 17/12—21 16/4—22 10/9—23 | 0.532 0.449 0.436 0.448 | 21/5—21 29/3—21 2/5—21 17/8—23 20/10—23 10/1—23 | 0.708 0.886 0.886 0.791 0.762 1.113 | 2/3—21 21/3—21 21/10—21 20/10—23 | 2.258 1.418 1.727 2.092 |
| Summe 0.06747 | | Summe 0.08875 | | Summe 0.950 | | Summe 1.865 | | Summe 5.236 | | Summe 7.496 | |
| Mittel = M 0.06747 ± ca. 50% | | Mittel = M 0.08875 ± ca. 50% | | Mittel = M 0.238 ± 0.0117 | | Mittel = M 0.466 ± 0.0192 | | Mittel = M 0.873 ± 0.0479 | | Mittel = M 1.874 ± 0.1699 | |
| $M \cdot 2^{-n_s}$ 4.31 ± ca. 50% | | $M \cdot 2^{-n_s}$ 2.837 ± ca. 50% | | $M \cdot 2^{-n_s}$ 3.801 ± 1.1804 | | $M \cdot 2^{-n_s}$ 3.750 ± 0.1552 | | $M \cdot 2^{-n_s}$ 3.491 ± 0.1916 | | $M \cdot 2^{-n_s}$ 3.748 ± 0.3257 | |
| $n_s = \pm 0$ | | $n_s = +1$ | | $n_s = +2$ | | $n_s = +3$ | | $n_s = +4$ | | Mittel von $M \cdot 2^{-n_s}$ | |
| Datum | Chlormenge in Mg per L. | Datum | Chlormenge in Mg per L. | Datum | Chlormenge in Mg per L. | Datum | Chlormenge in Mg per L. | Datum | Chlormenge in Mg per L. | Datum | Chlormenge in Mg per L. |
| 1/5—20 2/5—20 3/5—20 27/9—20 20/10—20 30/1—21 8/4—21 16/4—21 27/1—22 19/2—22 12/4—22 1/4—23 6/9—23 | 3.120 3.074 3.343 3.803 3.757 3.580 3.580 3.580 3.710 3.244 3.842 4.113 3.057 | 11/1—19 15/5—20 23/8—21 27/8—21 24/1—22 30/1—22 30/3—23 14/9—23 | 6.844 5.312 8.331 7.682 5.448 7.508 5.908 8.752 | 8/5—20 20/12—21 | 15.24 13.67 | 20/2—21 20/4—21 4/1—22 5/1—22 | 30.13 28.36 28.75 28.28 | 16/3—23 16/3—23 | 55.14 57.52 | | |
| Summe 45.803 | | Summe 55.785 | | Summe 28.91 | | Summe 115.52 | | Summe 112.66 | | Summe 112.66 | |
| Mittel = M 3.523 ± 0.0901 | | Mittel = M 6.998 ± 0.4104 | | Mittel = M 14.455 ± 0.7800 | | Mittel = M 28.88 ± 0.3777 | | Mittel = M 56.33 ± 0.8420 | | Mittel = M 56.33 ± 0.8420 | |
| $M \cdot 2^{-n_s}$ 3.523 ± 0.0901 | | $M \cdot 2^{-n_s}$ 3.499 ± 0.2052 | | $M \cdot 2^{-n_s}$ 3.614 ± 0.1379 | | $M \cdot 2^{-n_s}$ 3.610 ± 0.0465 | | $M \cdot 2^{-n_s}$ 3.521 ± 0.0526 | | $M \cdot 2^{-n_s}$ 3.521 ± 0.0526 | |

ausgeführt worden. Die Nebelfrostanalysen sind in einer früheren Arbeit eingehend vom Verfasser beschrieben und die Ergebnisse da angegeben (3). Ich will mich betreffs der Analysen von Nebelfrost daher kurz fassen.

In der Tabelle 5 sind die einzelnen Analysenergebnisse zusammengestellt. Die am öftesten erhaltene Chlormenge schwankt um 3.523 mg pro Liter Schmelzwasser. Diese Mengen sind in der Kolonne unter $n_s = 0$ angegeben. Auch andere Konzentrationen kamen vor, die in den anderen Kolonnen angegeben sind. Es ergab sich, dass diese anderen Konzentrationen innerhalb der Fehlergrenzen auf Grund der früher erwähnten Konzentration in folgender Weise ausgedrückt werden konnten:

$$B \cdot 2^{n_s} = 3.523 \cdot 2^{n_s} \quad (n_s = \pm 1, 2, 3, 4, 5, \dots)$$

Die niedrigste Konzentration, die unsicher ist, war etwa 0.06 mg pro Liter Schmelzwasser, was $n_s = -6$ entspricht. Die höchste Konzentration war 56.33 mg, entsprechend $n_s = +4$. Will man aus sämtlichen Analysen die Basiszahl B im Ausdrucke $B \cdot 2^{n_s}$ berechnen, erhält man nicht 3.523, sondern $B = 3.564$. (In der zitierten Arbeit steht wegen eines Additionsfehlers fehlerhaft 3.591). Es wird hier vorausgesetzt, dass die Chlormenge von der See aufgetrieben wird. Die Konzentration aller Meeressalze wird nach KNUDSEN (8) durch Multiplikation der Chlormenge mit 1.805 erhalten. Aus diesen Daten ist es möglich die Grösse des Meeressalzpartikelchens zu berechnen, das sich in einem Wolkentropfen befindet.

Die mittlere Grösse der Tropfen, die den analysierten Nebelfrost gebildet hat, wird am besten durch den Radius ausgedrückt. Der häufigste Radius der Wolkentropfen ist etwa $8.82 \cdot 10^{-4}$ cm. *Die Grösse ist dieselbe sowohl über wie unter 0° C.* Sie kann als die mittlere Grösse betrachtet werden.

Unter oben erwähnten Voraussetzungen enthält ein Wolkentropfen der Mittelgrösse eine Menge Meeressalz, die gleich $1.847 \cdot 10^{-14}$ g ist. Weil die Chlormenge wie 2^{n_s} schwankt, können auch andere, grössere oder kleinere Mengen vorkommen, aber nur diejenigen, welche durch $2^n \cdot 1.847 \cdot 10^{-14}$ g ausgedrückt werden können. Diese kleinen Partikelchen, als Kondensationskerne betrachtet, sind hinreichend gross, um die Kondensation zu erklären. Die Partikelchen sind wahrscheinlich Kondensationskerne. Die Kerne stehen also in einem Massenverhältnis zu einander, das ähnlich demjenigen der Tropfenmassen ist. Gleichzeitige Analysen und Tropfenmessungen haben ergeben, dass die *Chlorkonzentration* von der Tropfengrösse in dre nebelfrostablagernden Wolke unabhängig ist. Wie ich oben dargelegt habe, schwankt die Tropfengrösse in einer Wolke in weiten Grenzen. Die erhaltenen Analysenergebnisse sind nur möglich, wenn die Konzentration in sämtlichen Tropfen dieselbe ist, unabhängig von deren Grösse. Wenn die Konzentration konstant ist, muss die Partikelgrösse mit der Tropfengrösse abnehmen. Wenn in einem Tropfen vom Radius $8.82 \cdot 10^{-4}$ cm die Partikelgrösse $1.847 \cdot 10^{-14}$ g ist, muss die Partikelgrösse im Tropfen

vom Radius $4.41 \cdot 10^{-4}$ cm nur $\frac{1}{2} \cdot 1.847 \cdot 10^{-14}$ g sein. Diese sehr merkwürdigen Verhältnisse haben die Kondensationsprobleme in der Atmosphäre in eine ganz neue Lage gebracht. Wir werden unten weitere Belege für diese Tatsachen hervorhalten.

Der Wert 3.564 ± 0.0297 mg pro Liter Schmelzwasser kann als repräsentativ für die Chlorkonzentration des Nebelfrostes im Halddeniveau angesehen werden, obgleich der wahre Mittelwert der 49 Analysen gleich 7.6404 mg pro Liter ist. Im Falle, wo die Anzahl der Analysen im Verhältnis zu der Schwankung der Chlormenge so klein ist, muss der häufigst vorkommende Wert der sicherste sein.

Analysen vom Regenwasser.

Schon im Jahre 1870 wurde in Cirencester, England, Chloranalysen von Regenwasser angefangen. Die Ergebnisse dieser Analysen wurden im Jahre 1887 von E. KINCH publiziert (9). Im Mittel von 16 Jahren wurden 3.81 mg pro Liter Regenwasser erhalten. Werden nur die 12 letzten Jahre verwendet, erhält man 3.36 mg pro Liter. Während der ersten 4 Jahre wurden die Analysen ohne vorherige Einengung vorgenommen, woher der letzte Wert als der sicherste zu betrachten ist. Der Unterschied vom repräsentativen Wert vom Haldde ist so klein, dass er vernachlässigt werden kann.

Im Jahre 1934 publizierte H. ISRAËL 91 Chloranalysen von Regen, die er in Leiden, Holland, ausgeführt hatte (10). ISRAËL erhielt im Regen, wie ich im Nebelfrost, eine Verteilung der Chlormenge nach dem Gesetze $B \cdot 2^{n_s}$ ($n_s = \pm 1, 2, 3, 4, 5, \dots$). Sein B war 3.42 mg pro Liter Regenwasser. Sein wahrer Mittelwert 4.18 mg pro Liter. Sein höchster Wert entspricht $n_s = 5$, also dem zweifachen Werte von meinem. Sein niedrigster Wert entspricht $n_s = -5$, also gleich meinem niedrigsten Wert. Der wahre Mittelwert von ISRAËL ist auch nicht so repräsentativ wie sein Basiswert 3.42 mg pro Liter, der auch sein häufigster Wert war, weil die Konzentrationen in so weiten Grenzen geschwankt hat.

Bemerkungen über die Nebelfrost- und Regenanalysen.

Der Regen entsteht am öftesten in einer See-Höhe von etwa 1000 M. also in der Höhe vom Haldde. In dieser Höhe ist der Chlorgehalt der Wolkenröpfchen derselbe wie derjenige des Regenwassers, das aus etwa dieser Höhe herausfällt. Die Massen der Regentropfen sind in runder Zahl ein Million mal grösser als diejenigen der Wolkenröpfchen. Weil die Konzentration dieselbe in zwei so verschiedenen Volumen sind, müssen die

Chlormengen auch sehr verschieden sein. In der Tat muss die Chlormenge in den Regentropfen ein Million mal grösser sein als in den Wolkentröpfchen. Wenn vorausgesetzt wird, dass neben Chlor auch sämtliche Meeressalze vorkommen, müssen die Salzpartikelchen in den Regentropfen 1 000 000-mal grösser sein als in den Wolkenröpfchen. Daraus folgt, dass die Tropfen so wachsen müssen, dass die Konzentration konstant wird, während die Partikelgrössen proportional mit den Tropfen zunehmen. Ein solcher Zuwachs der Tropfen kann nicht durch direkte Kondensation vom Wasserdampf stattfinden, weil durch einen solchen Zuwachs die Partikelgrösse konstant sein werden muss, während die Konzentration des Salzes immer mehr abnimmt. Die Erniedrigung der Konzentration muss in der Tat so bedeutend werden, dass sie im Regenwasser unmessbar klein sein würde. Der Zuwachs der Tropfen muss in ganz anderer Weise stattfinden. Wenn die Salzpartikelchen wirklich Kondensationskerne sind, kann die konstante Konzentration durch ein Zusammenfliessen der Tropfen erklärt werden. *Diese Zusammenfliessen muss schon bei den kleinsten, in den Wolken befindlichen Tröpfchen anfangen, weil auch in der Wolke die Konzentration von der Tropfengrösse unabhängig ist.* Dieses Problem ist indessen noch nicht gelöst und andere Tatsachen, die ich hier nicht aufnehmen kann, machen es sehr kompliziert.

Analysen vom Schnee.

In den Jahren 1920—1923 führte ich Chloranalysen von Schnee aus, der in der Gegend vom Halddeobservatorium und auf dem Halddegipfel gefallen war. In den Jahren 1920—1921 wurden auch mikroskopische Untersuchungen des fallenden Schnees, von den ich oben gesprochen habe, ausgeführt. In der Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Analysen nebst einigen wichtigen meteorologischen Beobachtungen während der Analysentage zusammengestellt. Die Analysenergebnisse ergeben keine Gruppenverteilung, wie die Analysen vom Nebelfrost und Regen dargetan haben.

Wenn der Platz, von welchem der Schnee geholt wurde, in der Tabelle nicht angegeben ist, bedeutet dies, dass der Schnee dem Observatorium entstammt. Die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit ist teils für den Tag angeführt, als der Schnee eingesammelt wurde, teils um 19 Uhr des vorhergehenden Tags. Die Chlormenge wird wie früher in mg pro Liter Schmelzwasser angegeben.

In den Tälern war der Chlorgehalt des Schnees im allgemeinen grösser als auf dem Haldde. Während der heftigen W-Winde in der Zeit $^{23}/_1$ — $^{28}/_1$ 1923, als 4 Analysen ausgeführt wurden, war der Gehalt an Chlor besonders gross. Dasselbe traf am 27. Februar 1923 ein. Auf dem Halddegipfel wurden grosse Chlormengen am 15. Maj 1920 und am 8. April 1921 gemessen. Bei diesen Gelegenheiten bestand der Schnee aus

Tabelle 6.
Chloranalysen von Schnee.¹

| Datum | Konzentration in mg pro L. | Windgeschwindigkeit und Windrichtung | | | | Anmerkungen |
|------------|----------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--|
| | | 19 U. | 8 U. | 14 U. | 19 U. | |
| 1920 | | | | | | |
| 12/5 | 0.31 | E, 5.6 | NW, 2.6 | NW, 5.6 | NW, 16.7 | Kristalle, nicht näher untersucht. |
| 14/5 | 1.46 | W, 8.7 | SSE, 5.6 | SE, 1.9 | NW, 3.8 | Eisklümpchen aus W. |
| 15/5 | 2.75 | W, 4.2 | NW, 5.6 | W, 6.8 | WNW, 8.1 | Eisklümpchen aus W beim Nebel. |
| 29/12 | 0.28 | WNW, 8.3 | NW, 12.5 | WNW, 13.9 | WNW, 12.5 | Wohl ausgebildete Krist. |
| 1921 | | | | | | |
| 16/2 | 0.00 | W, 2.1 | E, 4.2 | Ruhig | NNE, 2.6 | Wohl ausgeb. Kristalle, bei schwacher Bewölkung. |
| 8/3 | 0.18 | NW, 6.3 | WNW, 16.7 | WNW, 1.6 | WNW, 2.1 | Tropfenbesetzte Kristalle. |
| 8/4 | 3.55 | W, 16.7 | WSW, 8.3 | WSW, 8.3 | W, 2.3 | Eisklümpchen. Den Tag vorher W-g bis 30 m/sek. |
| 17/4 | 0.53 | NW, 5.6 | NNW, 3.3 | WNW, 6.6 | W, 1.4 | Gleichzeitiger Nebelfrost ergab 3.58 mg/L. |
| 1/5 | 1.14 | W, 1.8 | W, 2.1 | W, 5.6 | W, 4.5 | Stäbchen u. Eisklümpchen. |
| 5/6 | 1.17 | W, 27.8 | W, 13.9 | WNW, 14.7 | W, 14.7 | Graupel. |
| 1923 | | | | | | |
| 5/1 | 0.47 | W, 10.0 | SW, 7.1 | S, 4.2 | NW, 4.2 | Schnee v. See Nr. 10. |
| 11/1 | 2.63 | SE, 8.3 | SE, 5.0 | S, 3.8 | SW, 4.2 | Beim Nebel. |
| 23/1 | 5.33 | NW, 6.3 | W, 12.5 | W, 16.7 | W, 27.8 | Schnee vom Punkte Nr. 14. |
| 26/1 | 4.86 | SW, 20.8 | W, 22.8 | W, 17.9 | NW, 11.9 | Schnee v. See Nr. 14. |
| 26/1 | 4.76 | SW, 20.8 | W, 22.8 | W, 17.9 | NW, 11.9 | Schnee, im Tale W v. Nr. 14. |
| 28/1 | 3.34 | NW, 13.9 | NW, 13.9 | NW, 10.9 | NW, 14.7 | Schnee vom Südbh. d. Halldes. |
| 29/1 | 1.48 | NW, 14.7 | NW, 14.7 | NW, 16.7 | W, 22.8 | Alter Schnee. |
| 2/2 | 1.94 | W, 3.8 | NE, 2.8 | NW, 8.3 | Ruhig | Alter Schnee. |
| 25/2 | 0.52 | W, 12.5 | W, 16.7 | NW, 4.2 | NW, 3.8 | Neugefallener Schnee. |
| 27/2 | 4.26 | NW, 5.6 | NW, 6.3 | NW, 8.3 | NW, 3.8 | Neugefallener Schnee vom Punkte Nr. 14. |
| Mittelwert | 2.097 | | | | | |

Eisklümpchen, von welchen ich oben geschrieben habe. Die Chlorkonzentration war in diesen Fällen von derselben Grössenordnung wie die des Nebelfrostes. Nach der vorstehenden Darlegung ist es auch wahrscheinlich, dass die Chlorkonzentration des Schnees nahe gleich derjenigen der Wolken-

¹ Betreffs der Punktnummer, siehe die Karte S. 305.

tropfen ist. Am 11. Januar 1923 war die Konzentration auch verhältnismässig gross. Die Schneekörnchen wurden damals nicht mikroskopisch untersucht, aber sie fielen beim Nebel. Man kann also mit einer gewissen Sicherheit behaupten, dass auch dieser Schnee viele gefrorene Nebeltropfen mitführte. Die hier angeführten Ergebnisse stehen in voller Übereinstimmung mit der Schneebildung, die oben dargelegt wurde. Die turbulenten Winde in den Tälern rufen ein lebhaftes Zusammenfliessen der Wolkentropfen hervor, und die Konzentration des Schnees muss von der Grössenordnung derjenigen der Wolkentropfen werden.

Kleine Konzentrationen wurden erhalten, wenn der Schnee aus wohlausgebildeten reinen Kristallen bestand. In einem Falle wurde die Konzentration da gleich Null, d. h. sie lag unter der Menge, die durch die Analysenmethode gefunden werden konnte. Unregelmässige Schwankungen werden dadurch erklärt, dass die Konzentration der Wolkentropfen auch schwankt.

Analysen vom Wasser aus Seen und Bächen im Haldegebiet.

Das Wasser in Seen und Bächen entstammt dem Niederschlage. Betreffs der Chlorkonzentration wäre es nicht undenkbar, dass Cl dem Wasser von der Unterlage zugeführt werde. Dass so nicht der Fall in messbarer Menge sein kann, ergibt die Tabelle 7, wovon wir sehen können, dass die Chlorkonzentration der Seen und der Bäche kleiner ist als die des Nebelfrostes und des Regens und etwa von derselben Grössenordnung wie die mittlere Chlormenge des Schnees.

In der Tabelle sind die Analysen in Gruppen von A bis G eingeteilt. Jede Gruppe enthält Konzentrationen von etwa derselben Grösse. Diese Einteilung ist von hohen zu sinkenden Werten des Chlorgehaltes vorgenommen. Es ergibt sich auch, dass diese Einteilung topographisch bedingt ist. Die Meereshöhen sind aus der Karte ausgewertet und daher nur bis auf ± 30 M. sicher. Die Punkte, woher das Wasser geholt wurde, sind nummeriert und auf die Karte eingezeichnet.

Von mehreren Punkten sind Analysen sowohl im Jahre 1922 wie im Jahre 1923 ausgeführt. Die Veränderung von einem Jahre zum anderen ist im allgemeinen klein.

Aus der Tabelle findet man, dass der Chlorgehalt im Mittel von 2.744 mg pro L. in einer mittleren Höhe von 579 m. ü. d. Meere bis 1.058 mg pro L. in einer mittleren Höhe von 888 m. ü. d. Meere abnimmt. Es scheint auch eine gewisse Korrelation zwischen dem Chlorgehalte und der Meereshöhe zu sein. Diese Korrelation ist jedoch nicht vollkommen, indem z. B. die Analysen von der Gruppe E einer niedrigeren Höhe als diejenigen von den Gruppen C und D entstammen. Weiter liegen die Punkte in der Gruppe F in sehr verschiedenen Höhen. Der Punkt 25 dieser Gruppe hat die höchste vorkommende Meereshöhe oder 980 m. Von diesem

Tabelle 7.

Analysen von Seen und Bächern im Halddegebiet.

| Gruppe | Punkt- nummer | Meereshöhe in Meter | Datum | Menge in g pro L. | Mittlere Menge in g pro L. |
|----------------------------|------------------|------------------------|-----------|----------------------|----------------------------------|
| A. | 1. | 484 | 17/8 1922 | 2.805 | 2.805 |
| | | | 19/8 1923 | 2.805 | |
| | 2. | 574 | 20/8 1923 | 2.773 | 2.773 |
| | | | 3. | 604 | 26/8 1923 |
| 4. | 655 | 18/8 1922 | | | 2.542 |
| | | 19/8 1923 | 2.574 | | |
| Mittlere Werte d. Gruppe A | | 579 | | | 2.744 |
| B. | 5. | 574 | 22/8 1923 | 2.442 | 2.442 |
| | 6. | 694 | 22/8 1923 | 2.361 | 2.361 |
| | 7. | 630 | 22/8 1923 | 2.297 | 2.297 |
| | 8. | 574 | 22/8 1923 | 2.180 | 2.180 |
| | 9. | 574 | 31/8 1923 | 2.144 | 2.144 |
| Mittlere Werte d. Gruppe B | | 609 | | | 2.285 |
| C. | 10. | 780 | 29/7 1922 | 2.141 | 2.120 |
| | | | 15/7 1923 | 2.098 | |
| | 11. | 730 | 27/7 1922 | 1.974 | 2.109 |
| | | | 25/8 1923 | 2.244 | |
| | 12. | 780 | 27/7 1922 | 1.889 | 2.019 |
| 24/8 1923 | | | 2.148 | | |
| 13. | 720 | 27/7 1922 | 1.924 | 2.011 | |
| 24/8 1923 | 2.098 | | | | |
| Mittlere Werte d. Gruppe C | | 752 | | | 2.065 |
| D. | 14. | 786 | 23/7 1922 | 1.775 | 1.738 |
| | | | 15/8 1923 | 1.700 | |
| | 15. | 840 | 23/7 1922 | 1.619 | 1.701 |
| | | | 15/8 1923 | 1.782 | |
| 16. | 860 | 15/8 1923 | 1.519 | 1.519 | |
| Mittlere Werte d. Gruppe D | | 829 | | | 1.653 |
| E. | 17. | 505 | 19/8 1923 | 1.651 | 1.651 |
| | 18. | 810 | 24/8 1923 | 1.601 | 1.601 |
| | 19. | 580 | 24/8 1923 | 1.551 | 1.551 |
| Mittlere Werte d. Gruppe E | | 632 | | | 1.601 |

| Gruppe | Punkt- nummer | Meereshöhe in Meter | Datum | Menge in g pro L. | Mittlere Menge in g pro L. |
|----------------------------|------------------|------------------------|--|----------------------|----------------------------------|
| F. | 20. | 830 | ²⁵ / ₈ 1923 | 1.420 | 1.420 |
| | 21. | 780 | ³⁰ / ₈ 1923 | 1.420 | 1.420 |
| | 22. | 840 | ³⁰ / ₈ 1923 | 1.370 | 1.370 |
| | 23. | 780 | ³⁰ / ₈ 1923 | 1.363 | 1.363 |
| | 24. | 690 | ²⁵ / ₇ 1922 ¹⁸ / ₇ 1923 | 1.200 1.445 | 1.323 |
| | 25. | 980 | ²⁹ / ₇ 1922 ¹⁵ / ₈ 1923 | 1.367 1.271 | 1.319 |
| | 26. | 840 | ²⁹ / ₇ 1922 | 1.250 | 1.250 |
| Mittlere Werte d. Gruppe F | | 820 | | | 1.352 |
| G. | 27. | 888 | ¹³ / ₈ 1923 | 1.058 | 1.058 |
| Mittlere Werte d. Gruppe G | | 888 | | | 1.058 |

Punkte wurde Wasser sowohl im Jahre 1922 wie im 1923 geholt und analysiert. Der Mittelwert des Chlorgehaltes war 1.319 mg. Auf dem Halde wurde in einer Höhe von 888 m. nur 1.058 mg erhalten. Die Korrelation kann daher eine Zufälligkeit sein. Die topographischen Verhältnisse und die Lage im Verhältnis zu reichlich nebelfrostführenden Gebirgen sind ausschlaggebend.

Beschreibung der verschiedenen Gebiete.

Gruppe A. Dieses Gebiet umfasst das Tal im Osten vom Observatorium und daneben einen See (Nr. 4) etwas über dem Tale im Norden vom Gipfel (auf der Karte mit Meereshöhe 775 bezeichnet), den die Lappen den Namen Birrevalanåive gegeben haben. Die Gebirge im Osten von diesem Tale fallen steil gegen den Fjord und steil gegen das Tal ab. Auch im Westen erheben sich die Gebirge steil aus dem Tale. Sowohl bei westlichen wie bei östlichen Winden bilden sich über diesem Tal heftige Windstöße aus. Der Wind weht in grossen Wirbeln und wird ausserordentlich turbulent mit ständigen Richtungsveränderungen. Im Tale werden ausserordentlich grosse Schneemengen angehäuft. Dieser Schnee muss am öftesten aus Schneekörnchen bestehen, von welchen wir oben gesagt haben, dass sie eine grosse Anzahl von Wolkentropfen enthalten. Das Tal muss freilich auch ein Abflussgebiet von den umherliegenden Gebirgen sein, aber der Chlorgehalt in grösserer Höhe ist kleiner, weshalb der Chlorgehalt dieses Gebietes wahrscheinlich aus dem im Tale selbst gefallenen Schnee entammt.

Gruppe B. Diese Gruppe umfasst das Gebiet etwa rings um den See Møllevand (Punkt Nr. 1). Dieses Gebiet steht auch unter dem Ein-

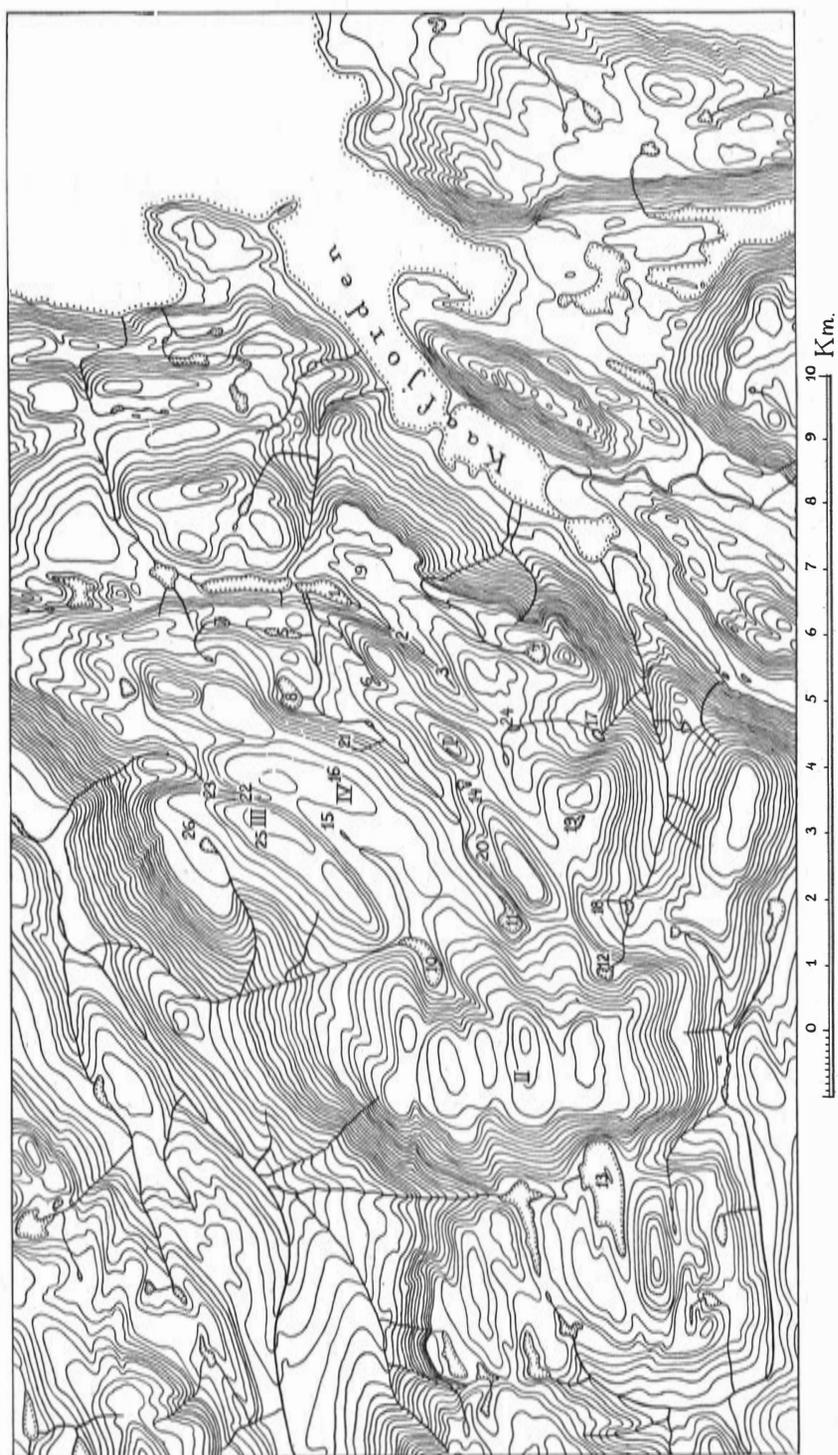


Fig. 10. Das Haldegebiet. — I. Der Halde-Observatorium. — II. Der Store Halde. — III. Der Talviktoppen. — IV. Zwischenplateau.

fluss der grossen Talwirbel. Diese werden hier ein wenig abgeschwächt, weil die naheliegenden westlichen und östlichen Abhänge niedriger sind und das Tal hier breiter ist.

Gruppe C. Das Gebiet C umgibt den Store Halddde. Die Schwankung der Chlormenge in diesem grossen Gebiet ist ungewöhnlich klein. Die Ursachen des Chlorgehaltes in diesem Gebiet scheinen daher in allen Punkten dieselben zu sein, obgleich die Punkte in verschiedenen Himmelsrichtungen vom Store Halddde liegen. Das ganze Gebiet erhält sein Wasser von den Abhängen des Store Haldddes und von dem auf den Seen gefallenen Niederschlag. Die grossen Nebelfrostablagerungen auf dem Store Halddde tragen wohl zum Chlorgehalt dieses Gebietes bei. Dazu kommt, dass man auch hier turbulente Winde hat, die Nebelfrostschnee hervorrufen.

Gruppe D. Das Gebiet D ist auch gross, enthält aber nur drei Punkte zwischen dem Halddde und dem Talviktoppen. Nr. 16 liegt auf einem kleinen Plateau zwischen den erwähnten Gipfeln. Das Gebiet ist auch ein weites Tal. Die Turbulenz der Luft ist hier bei weitem nicht so gross wie im Gebiet A, weil das Tal viel breiter ist. Die Punkte 14 und 15 sind Abflussgebiete vom Halddde und vom Talviktoppen bzw., aber diese Punkte liegen auch so, dass die Turbulenz gross sein muss. Hier ist auch der Chlorgehalt grösser als auf dem Punkte 16. Der Gehalt dieses Punktes, glaube ich, ist der wirkliche mittlere Chlorgehalt des Schnees in diesem Tale. Auf diesem Platze wurden auch Nebelfrostmengen gemessen (oben Nr. IV). Diese Mengen sind verschwindend klein im Verhältnis zum Schneeniederschlag.

Gruppe E. In diesem Gebiete wurde ein Chlorgehalt gefunden, der nahezu gleich demjenigen im Gebiete D ist. Die Gruppe umfasst ein weites Gebiet, das man teilweise eine Hochebene nennen kann. Die Chlormengen entstammen sicherlich dem Schnee und sind für diesen Niederschlag hier repräsentativ. Die Turbulenzverhältnisse der Luft sind von der Windrichtung abhängig.

Gruppe F. Die Punkte in diesem Gebiet liegen sehr zerstreut und in verschiedenen Höhen. Indessen sind die Verhältnisse dieser Punkte in der Hinsicht ähnlich, dass sie nicht in ausgeprägten Wirbelgebieten liegen. Der Schneefall ist verhältnismässig uniform, aber der Wind natürlicherweise turbulent, jedoch von kleinerer Stärke als in vorhergehenden Gebieten. Verschieden sind die Punkte dadurch, dass einige, wie 21, 22, 23, und 24 Abflussgebiete sind, was aus der Karte hervorgeht. Die Punkte 25 und 26 liegen auf dem Talvikgipfel und ihr Wasser entstammt dem Niederschlage verschiedener Art da oben. Von diesem Niederschlag muss der Nebelfrost von einiger Bedeutung sein, weil der Schnee auf den Gipfeln verhältnismässig kleine Chlormengen enthält, was von den Turbulenzverhältnissen abhängt.

Gruppe G. In dieser Gruppe habe ich nur einen Punkt gemessen. Auf dem Haldddeobservatorium war ein Zementbehälter zur Aufsammlung vom

Trinkwasser gebaut. Dieses Wasser bestand hauptsächlich aus dem winterlichen Niederschlag und zwar aus dem Schnee. Der Nebelfrost bedeutet, wie wir oben gesehen haben, sehr wenig für den Niederschlag. Der Chlorgehalt ist als ein Mittel desjenigen des Schnees auf dem Halde zu betrachten.

Zusammenfassung der verschiedenen Quellen des Chlorgehaltes.

Nach der hervorgehenden Darlegung ist der Chlorgehalt der Wassersammlungen, die hier analysiert sind, durch den Chlorgehalt des Niederschlages erklärlich. Ich erinnere jetzt an die oben bereits dargelegten Tatsachen.

Der Chlorgehalt entstammt:

1. Den Nebelfrostablagerungen der Gebirge mit dem repräsentativen Wert 3,564 mg pro Liter Schmelzwasser.

2. Dem Schnee mit sehr schwankendem Chlorgehalte, der im Mittel gleich 2,057 mg/L ist. Die Schwankung des Gehaltes hängt von der Bildungsart des Schnees ab. Reine, wohlausgebildete Schneekristalle scheinen Chlorfrei zu sein. Weitgehendere Untersuchungen sind indessen erfordert, um dies zu bestätigen, weil solche Kristalle auch durch allmähliche Kristallisation von Schneekörnchen entstehen können, wie wir oben gesehen haben. Der Chlorgehalt wird erhöht, wenn die Wolkentropfen an den Kristallen in hinreichender Menge niederschlagen, oder wenn der Schnee in stark turbulenter Luft durch Zusammenfließen und Gefrieren der Wolkentropfen entsteht.

3. Dem Regen, der einen Chlorgehalt führt, welcher gleich gross wie der der Wolkentropfen ist. Die Regenmengen in unserem Gebiet sind im Verhältnis zum winterlichen Niederschlag klein.

Aus den erwähnten Untersuchungen geht hervor, dass der Chlorgehalt dieser Niederschlagsarten, jede für sich selbst genommen, hinreichend ist um den Chlorgehalt des analysierten Wassers zu erklären. Aus den Analysen ist es dagegen kaum möglich zu beurteilen, wie der Chlorgehalt zwischen den verschiedenen Niederschlagsarten zu verteilen ist. Die Ursache dieser Schwierigkeit liegt teils im Mangel eines hinreichend grossen Materiales, teils aber in den Verdunstungs- und Kondensationsverhältnissen der Schneeoberflächen im Winter und Frühling, da diese nicht noch in voller Ausstreckung quantitativ bekannt sind. Die direkte Kondensation, die Sublimation, auf dem Boden im Winter ist nicht zu vernachlässigen. Diese Sublimation findet fast immer auf den Gipfeln statt, wenn der Himmel klar ist und die Sonne unter dem Horizont steht. (Der Verfasser führte auch auf dem Halde Untersuchungen über diese Sublimation aus, die noch nicht publiziert sind). Soweit man jetzt überblicken kann, muss diese Sublimation reine, chlorfreie Kristalle liefern. Dieser Niederschlag muss also eine Verdünnung der vorhandenen Lösung hervorrufen.

Die Verdunstung hat eine entgegengesetzte Wirkung. Diese ist andererseits betreffs des Nebelfrostes sehr bedeutend. Der Nebelfrost setzt sich, wie ich oben dargestellt habe, an hervorragenden, der Luft frei ausgesetzten Gegenständen ab. Diese sind den Winden frei ausgesetzt. Da der Temperaturgradient in der Bodennähe oft sehr bedeutend ist und die Temperatur mit der Höhe steigt, so trifft es sogar ein, dass die Nebelfrostablagerungen kräftig verdunsten, wenn eine Sublimation auf dem Boden stattfindet. Wenn der Schnee vom Boden verdunstet, tritt eine noch kräftigere Verdunstung des Nebelfrostes ein. Diese Verdunstung, die nicht quantitativ bestimmt ist, führt eine Konzentration des Nebelfrostes an Salz mit sich.

Da es bisweiter nicht möglich ist, diese Prozesse im Einzelnen in den sehr verschiedenen topographischen Verhältnissen eines Gebirglandes zu überblicken, ist auch nicht möglich zu beurteilen, wie der Chlorgehalt der Wasseransammlungen auf die verschiedenen Niederschläge zu verteilen ist.

Literaturverzeichnis.

1. HILDING KÖHLER, Studien über die Nebelfrostablagerungen auf dem Pärtetjåtkko. Naturwissenschaftliche Untersuchungen des Sarekgebirges in Schwedisch-Lappland, Bd. II, Abt. 1, Stockholm 1923.
2. —, Über die Chlorverteilung und die Tropfengruppen im Nebel und über Farbenberechnung der Kränze im weissen Lichte nebst einigen kritischen Bemerkungen der Koagulationstheorien der Nebeltropfen, Arkiv för Mat., Astr. och Fysik, Bd. 24 A, N:o 8, Stockholm 1933.
3. —, Untersuchungen über die Elemente des Nebels und der Wolken, Medd. från Statens Meteor.-Hydrografiska Anstalt, Bd. 2, N:o 5, Stockholm 1925.
4. —, Untersuchungen über die Wolkenbildung auf dem Pärtetjåtkko im August 1928 nebst einer erweiterten Untersuchung der Tropfengruppen, Naturwissenschaftliche Untersuchungen des Sarekgebirges, Bd. 2, Abt. 1.
5. ERICH NIEDERDORFER, Messungen der Grösse der Regentropfen, Meteorologische Zeitschrift, Bd. 49, 1932, S. 1.
6. MARTIN FAGERMO, Eine seltene Haloerscheinung, Meteorologische Zeitschrift, Bd. 42, 1925, S. 272.
7. HILDING KÖHLER, Vattenångans kondensation i atmosfären och molnens konstitution, Kosmos, Bd. 10, 1932, s. 101.
8. OTTO KRÜMMEL, Handbuch der Ozeanographie, Bd. 1, Stuttgart 1907.
9. E. KINCH, The amount of Chlorine in Rain-Water connected at Cirencester, Journal of the chemical Society, London 1887, p. 92.
10. H. ISRAËL, Bioklimatische Beiblätter, Heft 2, 1934.

Gedruckt ²⁸/₆ 1937.
