

Werk

Jahr: 1936

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:12

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0012

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0012

LOG Id: LOG_0063

LOG Titel: Anomale Schallausbreitung und Ozonosphäre

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Literatur

- 1) F. Albrecht: Met. Zeitschr. 1935, S. 454.
- 2) Vgl. z. B. Kleinschmidt: Handb. d. met. Instr. S. 163.
- 3) Hoelper: Sitzungsprotokoll der Internationalen Strahlungskommission 1936.
- 4) Vgl. Linke: Met. Taschenbuch, Teil II, Tabelle 77, S. 303.
- 5) Vgl. Linke: Met. Taschenbuch, Teil II, S. 306.
- 6) Götz: Met. Zeitschr. 1934, S. 472.

Anomale Schallausbreitung und Ozonosphäre

Von R. Penndorf, Leipzig — (Mit 6 Abbildungen)

Es werden die Ergebnisse neuer theoretischer Untersuchungen über den Einfluß des Ozons auf die vertikale Temperaturverteilung mitgeteilt. Das Ozon heizt die Atmosphäre zwischen 35—50 km Höhe und führt zu Temperaturen von etwa 300° K. Der Kühlungseffekt infolge Schwarzstrahlung beträgt bei 300° K in 50 km Höhe nur $\frac{1}{10}$ des Heizungseffektes. Im Sommer ist die Stratosphäre in 20 km Höhe über der Arktis viel wärmer als über Mitteleuropa, was zu Winden mit östlicher Komponente Anlaß gibt; im Winter herrschen auch in diesen Höhen Westwinde. Auf diese Weise ist der Ost-West-Effekt zu erklären.

Seit der Durchführung der großen Oldebroeksprengung im Dezember 1932 und den sehr ausführlichen Veröffentlichungen und Diskussionen³⁾, ist es in Deutschland um das Problem der anomalen Schallausbreitung ganz still geworden. Dagegen sind in den letzten Jahren in England von Whipple zahlreiche Versuche über die anomale Schallausbreitung mit Hilfe von Abschüssen schwerer Schiffsgeschütze durchgeführt worden^{2) 4)}.

Dieser Stillstand ist keineswegs gerechtfertigt, weil die Frage der Entstehung des anomalen Schalles durch diese Arbeiten nicht eindeutig und endgültig geklärt werden konnte.

Fast allgemein wird das Phänomen des anomalen Schalles durch die Annahme erklärt, daß in der Höhe, in der sich die Schallstrahlen umbiegen oder in der sie reflektiert werden, etwa Erdbodentemperaturen herrschen. Rechnungen ergaben, daß diese warme Schicht ungefähr in 40 km Höhe liegen muß; genaue Zahlenrechnungen leiden immer unter der großen Schwierigkeit Wind- und Temperatureinfluß gleichzeitig in Rechnung zu setzen, weil das aerologische Material völlig unzureichend ist. Da jetzt aber ein sehr dichtes Netz guter aerologischer Stationen besteht, wäre bei neuen Sprengversuchen mit wesentlich besserem aerologischen Material zu rechnen.

Zur Erklärung der hohen Temperaturen in 50 km Höhe war von verschiedenen Seiten das Ozon verantwortlich gemacht worden, doch basieren die Annahmen (1, S. 195) alle auf alten, falschen Ozonangaben. Nachdem wir jetzt über das Ozonproblem verhältnismäßig gut Bescheid wissen^{1) 5)}, entsteht die Frage, ob die Existenz einer Ozonschicht eine Erklärung der anomalen Schallausbreitung liefern kann, und ob sie zur Lösung des Problems beitragen kann. Es liegen heute zwei

Untersuchungen^{1) 2)} über den Einfluß des Ozons auf die vertikale Temperaturverteilung vor, und ich will darüber berichten, was diese Ergebnisse zur Erklärung der anomalen Schallausbreitung beitragen.

Wir kennen die vertikale Ozonverteilung sehr genau (Fig. 1), denn die Messungen von Götze, Meetham und Dobson in Arosa und Tromsö nach dem Götzeffekt, und die direkten Messungen Regeners stimmen sehr gut überein. Beide Methoden liefern das Maximum des Ozongehaltes in 20 bis 25 km Höhe.

Aus Fig. 1 a ersehen wir zunächst einmal, wie das Ozon verteilt ist. Dabei ist als Abszisse der Gehalt einer Schicht von 1 km Mächtigkeit aufgetragen. Übereinstimmend zeigen alle drei Messungen, daß über 50 km Höhe kaum ein nennenswerter Anteil vorhanden ist, daß in Arosa in etwa 25 km, in Tromsö in 20 km die Schicht maximalen Ozongehaltes liegt. Der Schwerpunkt, d. h. die

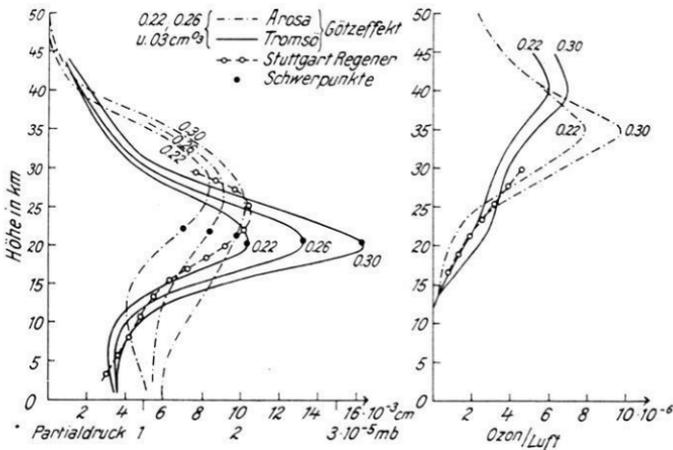


Fig. 1. Vertikale Ozonverteilung

mittlere Höhe der Ozonosphäre, liegt in Arosa in 21 bis 22 km, in Tromsö zwischen 20 und 21 km. Natürlich können spätere Messungen über 30 km Höhe kleine Änderungen der Verteilung ergeben, ebenso kann hier ein jährlicher Gang vorhanden sein, doch ändert das nichts an den Folgerungen.

Wir erkennen fernerhin, daß das Ozon in Tromsö schichtartiger eingelagert ist als in Arosa. Aber auch die Regenersche Kurve zeigt den „Schichteffekt“ deutlicher als die Arosauer Kurve. Das scheint uns reell zu sein. Aus der Entstehungsweise des Ozons ist es verständlich, wenn die Ozonschicht in Tromsö tiefer liegt als in Arosa. Je stärker der Ozongehalt, desto ausgeprägter muß der Schichtcharakter sein. Wir glauben, daß dieser Effekt mit Annäherung an den Äquator immer unausgeprägter wird. Auch wird die Höhe maximaler Konzentration dort höher liegen als in Europa.

Die Fig. 1 b zeigt die volumenmäßigen Anteile des Ozons in der Atmosphäre. Da die Dichte exponentiell mit der Höhe abnimmt, so muß die Schicht maximalen

Volumenanteils höher liegen als die Schicht maximalen absoluten Gehalts. Wulf und Deming²⁾ konnten diese Verteilung theoretisch bestätigen.

Da wir die vertikale Verteilung kennen, ist es möglich, den Ozoneinfluß auf die vertikale Temperaturgestaltung entweder unter Annahme des Strahlungsgleichgewichtes, wie es Gowan²⁾ getan hat, oder nur den Heizungs- und Kühleffekt des Ozons allein, zu berechnen. Ich habe a. a. O.¹⁾ dargelegt, daß das Strahlungsgleichgewicht in der unteren Stratosphäre unwahrscheinlich ist, und daß wir einen anderen Weg beschreiten müssen, um eine Aussage über die Temperaturverteilung zu gewinnen. Wir können die Erwärmung eines Volumens Luft, das eine bestimmte Menge Ozon enthält, angeben, wenn wir die vom Ozon im Laufe eines Tages absorbierte Sonnenenergie berechnen. Ebenso können wir

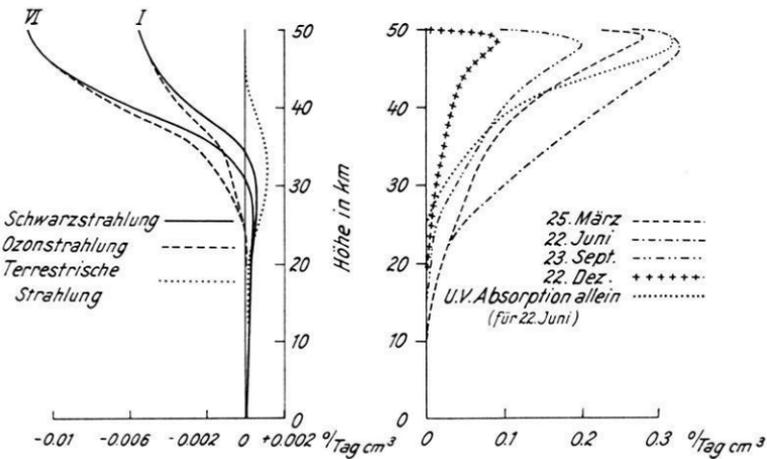


Fig. 2. Heizung und Abkühlung der Luft durch Ozon

die Energie angeben, die das Ozon im Laufe eines Tages in Form von Eigenstrahlung ausstrahlt, und die dadurch bedingte Abkühlung des Luftvolumens ermitteln.

Es sollen hier nur die Ergebnisse mitgeteilt werden, da über die mathematischen Hilfsmittel und Annahmen schon anderweitig berichtet worden ist¹⁾.

In Fig. 2 sind die Ergebnisse der Rechnung dargestellt. Die Absorption der Sonnenstrahlung führt zu einer überaus starken Erwärmung der allerobersten Ozonschicht. In allen Jahreszeiten liegt die stärkste Erwärmung zwischen 40 und 50 km Höhe. Dabei wirkt sich in diesen Höhen nur die UV-Absorption aus, deren Wirkung mit wachsender Ozonschicht rasch abnimmt, weil die zur Verfügung stehende Sonnenenergie immer geringer wird. In den tieferen Schichten wirkt die Absorption im Sichtbaren fast allein.

Wie zu erwarten, weist die Erwärmung einen Jahresgang auf, der neben den Änderungen der zugestrahlten Sonnenenergie auch in der Änderung der Dicke der Ozonschicht begründet ist. Die kräftigste Erwärmung erfolgt naturgemäß im

Sommer; im Frühjahr ist die Temperaturzunahme weit größer als im Herbst, woran nur der verschiedene Ozongehalt schuld ist (Frühjahr 0.3, Herbst 0.22 cm). Auch im Winter tritt eine Erwärmung auf, die etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{6}$ der Sommererwärmung beträgt.

Auffällig ist außerdem, daß die Erwärmung über dem Schwerpunkt der Ozonosphäre liegt, sie zeigt also gar keinen parallelen Gang mit der vertikalen Verteilung. In Höhen bis 20 km ist die Wirkung der Ozonabsorption vernachlässigbar klein.

Betrachten wir nächtliche Strahlung, so ergibt sich folgendes Bild: Gleichgültig wie die oberste Temperatur der Stratosphäre beschaffen ist, die nächtliche Strahlung erwärmt die Luft der Troposphäre und der unteren Stratosphäre bis zu 30 bis 35 km Höhe. Darüber setzt die Ausstrahlung ein, die bei einer Temperatur von 300° K in 50 km Höhe 0.01° /Tag beträgt, bei 218° K macht sie die Hälfte aus.

Die langwellige Strahlung schafft eine Wärmequelle in etwa 20 bis 30 km Höhe und eine Kältequelle in ungefähr 50 km. Die kurzwellige Sonnenstrahlung verursacht eine Wärmequelle in 40 bis 50 km Höhe.

Vergleichen wir die Absolutbeträge der aufgenommenen Energie aus der Sonnenstrahlung mit den ausgestrahlten Energien, so sehen wir, daß die Erwärmung durch die Sonnenstrahlung auch im Winter um einen Faktor 10 größer ist als die maximale Abkühlung. Im Sommer erreicht der Faktor sogar den Wert 60 für Mitteleuropa. Wenn wir berechnen, bei welcher Temperatur die Abkühlung denselben Betrag wie die Erwärmung besitzt, so erhalten wir etwa 500° K.

Dabei ist keine Aussage über den Einfluß anderer Gase (Wasserdampf, Kohlendioxyd) gemacht worden. Wir sind uns aber wohl bewußt, daß der Wasserdampf einen starken Einfluß ausüben kann, allein wir wissen gar nichts über die in der Stratosphäre vorhandene Menge und deren Verteilung. Es ist eine dringliche Aufgabe, Luftproben aus der Stratosphäre auf Wasserdampf zu analysieren. Paneth und Glückauf entwickeln zur Zeit eine Apparatur, die uns hoffentlich bald brauchbare Werte liefern wird.

Gowan ging in völliger Analogie zu seinen früheren Rechnungen und Annahmen vom Strahlungsgleichgewicht, von der Troposphäre an, aus²⁾.

Seine Rechnungen gelten nur für bestimmte Tageszeiten (Mittag); er nimmt auch einen wesentlich größeren Tagesgang der Temperatur an. Wenn er Ozon allein als Strahlungssubstanz betrachtet, findet er eine fast isotherme Atmosphäre bis 35 km und darüber einen raschen Temperaturanstieg, wie es Fig. 3 veranschaulicht. Der Verlauf der Kurve stimmt mit dem von mir errechneten Heizungseffekt gut überein, d. h. die Gradienten sind gleich. Diese Übereinstimmung beweist die Richtigkeit der Rechnungen und zeigt, daß das Ozon für eine Erwärmung in diesen Höhen verantwortlich gemacht werden kann.

Gowan hat weiterhin den Einfluß des Wasserdampfes untersucht, der bekanntlich als abkühlender Faktor auftritt. Fig. 4 verdeutlicht den Einfluß des Wasserdampfes, wenn die Atmosphäre völlig gesättigt ist. Dadurch erreicht Gowan einen Anschluß an die gemessenen Temperaturen, und einen Anstieg von 38 km Höhe ab mit dem Maximum in 46 km Höhe. In der umstehenden Tabelle wollen wir die Ergebnisse zusammenstellen.

Diese letzten Werte stimmen mit den aus der anomalen Schallausbreitung berechneten Temperaturen ungefähr überein.

Aus den mitgeteilten Temperaturangaben Gowan's soll keineswegs geschlossen werden, daß unbedingt dieser Wassergehalt vorhanden sein muß, und daß dann

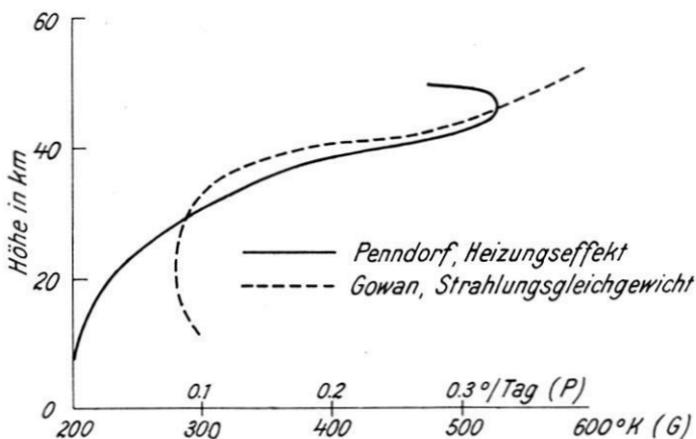


Fig. 3.

Strahlungsgleichgewichtstemperatur (Gowan) und Heizungseffekt (Penndorf)

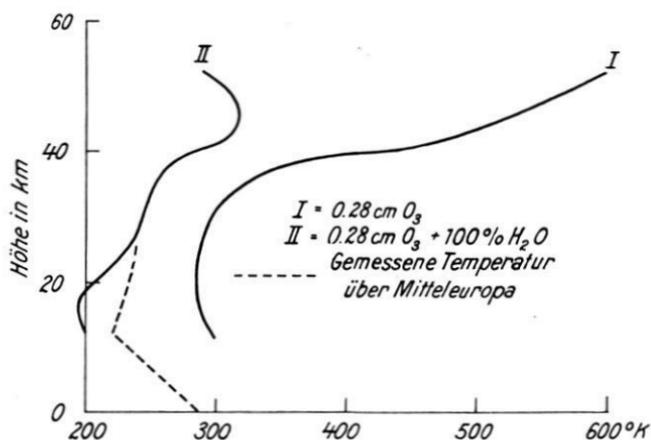


Fig. 4. Strahlungsgleichgewichtstemperatur für Ozon allein und ein Gemisch aus Ozon und Wasserdampf (nach Gowan)

nur diese angegebene Temperatur zustande kommt, denn in seinen Berechnungen steckt die Annahme des Strahlungsgleichgewichtes drin. Wie aber die allgemeine Zirkulation die Temperaturgestaltung beeinflusst, wie Konvektion und Austausch wirken, wissen wir nicht, ihr Einfluß ist aber keineswegs vernachlässigbar klein¹).

Es kann sehr wohl sein, daß die dynamischen Einflüsse die Temperaturverteilung derart verändern, daß das Maximum in 40 km Höhe liegt.

Verfasser	Höhe km	Gas und Anteil	Temp. °K	Jahres- und Tageszeit
Penndorf . . .	50	0.26 cm O ₃	500	} Mittags
	50	0.28 cm O ₃	600	
Gowan	46	0.28 cm O ₃ + 100 % H ₂ O	340	} Winter } vor Sonnen- Sommer } aufgang
	50	0.28 cm O ₃ + 40 % H ₂ O	320	
	50	0.28 cm O ₃ + 40 % H ₂ O	360	

Wie die Temperatur über der Ozonosphäre verläuft, darüber haben wir neuerdings einen Anhalt durch Bestimmungen der Ionosphärentemperatur durch Appleton und Martyn²⁾. Es ist in 100 km Höhe etwa 300° K zu erwarten, jedenfalls weniger als 370° K. Ob die Temperaturdefinition in noch größeren Höhen nicht ihren Sinn verliert, sei vorläufig dahingestellt. Wir entnehmen den Arbeiten die Tatsache, daß die Temperatur über 50 km Höhe bis zu Werten von ~250° K absinkt, um dann wieder auf ~300° K in 100 km Höhe anzusteigen.

Auf einen Temperatureinfluß infolge der geographischen Verteilung der Temperatur sei noch näher eingegangen. Bei einer Anordnung des Beobachtungsmaterials nach Jahreszeiten fand sich bekanntlich ein Ost-West-Effekt^{3) 4)}. Im Winter liegt die Zone der anomalen Hörbarkeit östlich, im Sommer westlich der Schallquelle. Das kann nur als ein

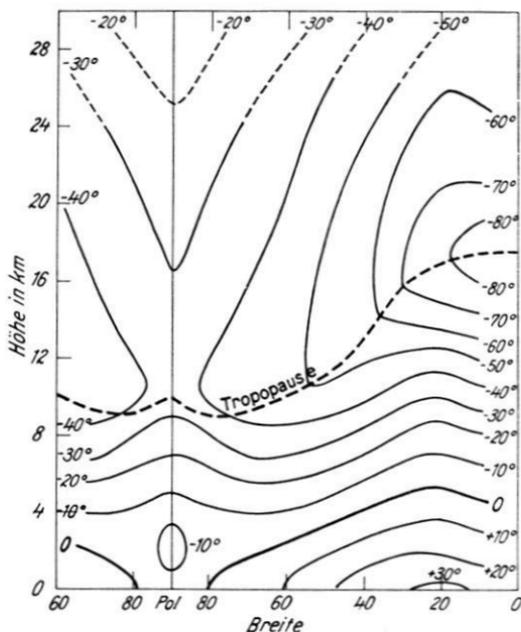


Fig. 5.
Temperaturverteilung über der Nordhalbkugel im Sommer (Mittelwerte für Juni, Juli und August) nach neuem Beobachtungsmaterial

Windeinfluß gedeutet werden. Es müssen in Höhe der Umkehr der Schallstrahlen im Sommer Winde mit vorwiegend östlicher Komponente, im Winter mit westlicher Komponente vorherrschen. Nur eine entsprechende Druck- bzw. Temperaturverteilung kann diesen Effekt hervorrufen.

Erfreulicherweise liegen jetzt Mittelwerte zahlreicher Radiosonden-Aufstiege aus dem Polargebiet vor (1, S. 193; 5), die es gestatten, eine Verteilung der Temperatur für alle Breiten anzugeben (Fig. 5). Ganz eindeutig geht aus den Mittelwerten der drei Sommermonate (Juni, Juli, August) der starke Temperaturunter-

schied zwischen Pol und 50° Breite in allen Höhen über 10 km hervor*). Die jährliche Schwankung ist in allen Schichten über der Arktis wesentlich größer als über Mitteleuropa, wie Fig. 6 offensichtlich zeigt. Die beobachtete Schwankung beträgt für München nur 7°, für Abisko 28° und schließlich für Franz Josef Land 39°. Es handelt sich dabei um die Schwankung der Monatsmittelwerte, die absolute Schwankung weist andere Werte auf, doch interessiert sie in diesem Zusammenhang nicht. In unserem Gebiet ist der Gradient nicht rein nord-südlich, sondern nach Nordost gerichtet, wie aus den Aufstiegen im Polargebiet hervorgeht. Moltchanoff⁵⁾ zeigte, daß die tiefsten Temperaturen über den sibirischen Inseln oder nördlich davon zu erwarten sind, woraus folgt, daß wir im Sommer über Mitteleuropa einen Wind mit stark östlicher Komponente in 20 km Höhe antreffen werden.

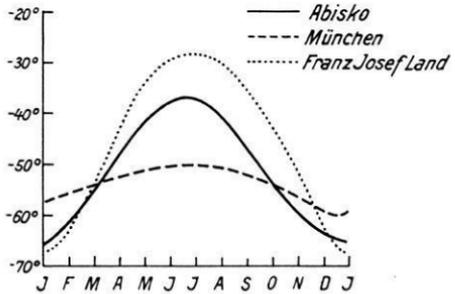


Fig. 6.
Jährlicher Temperaturverlauf in 18 km Höhe über München, Abisko und Franz Josef Land

Whipple berechnet im Juni einen Ostwind von 18 m/sec für die Temperaturdifferenz Lapland-England. Es ist in jedem Einzelfall die Temperaturverteilung zu untersuchen, und daraus sind dann die Winde zu berechnen, Mittelwerte erklären nur das Phänomen, im Einzelfall können die Beträge natürlich anders sein.

Aus diesen Ausführungen geht zweifellos hervor, daß es wieder recht lohnend erscheint, die experimentellen und theoretischen Untersuchungen über anomale Schallausbreitung erneut aufzunehmen. Wichtig ist vor allen Dingen ein umfassendes aerologisches Material aus Europa und der Arktis. Dann kann der Einfluß von Wind und Temperatur zweifellos besser berücksichtigt werden als es bisher geschehen ist. Ebenso könnten Sprengungen bei Tag und bei Nacht einen eventuellen Tagesgang der Stratosphärentemperatur klären, der höchstwahrscheinlich aber sehr klein ist.

Literatur

- 1) R. Penndorf: Beiträge zum Ozonproblem. Veröff. d. Geophys. Inst., Leipzig Bd. VIII. Heft 4, 1936.
- 2) International Conference on Atmospheric Ozone. Oxford September 1936. Die Vorträge sind in einem Sonderheft des Quart. J. R. Met. Soc. London (Supplement to Vol. 62, 1936) erschienen.
- 3) Zeitschr. f. Geophys. **10**, Heft 3/4, S. 119ff. (1934).
- 4) Whipple: Quart. J. **61**, 285 (1935).
- 5) P. A. Moltchanoff: Bulletin arktischeskogo instituta Leningrad 1936, Nr. 6, S. 234 (russisch).

*) Die Verteilung der meteorologischen Elemente in großen Höhen wird in einer demnächst erscheinenden Arbeit behandelt werden.

Leipzig, Geophysikalisches Institut, Oktober 1936.