

Werk

Jahr: 1929

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:5

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0005

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0005

LOG Id: LOG_0084

LOG Titel: Zur Erforschung der höheren Atmosphärenschichten

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

Zur Erforschung der höheren Atmosphärenschichten.

Von Dr. Paul Duckert, Lindenberg.

(Kurzer zusammenfassender Bericht des heutigen Standes der Arbeiten.)

Die direkten meßtechnischen Methoden der Aerologie führen uns in Höhen bis zu maximal 25 bis 30 km über der Erdoberfläche. Die Ergebnisse dieser Sondierungen sind fundamental für die Entwicklung der Anschauungen der modernen Meteorologie geworden. Durch Extrapolationen in noch größere Höhen an Hand der kinetischen Gastheorie hat man sich ein Bild des Zustandes der Gesamtatmosphäre zu machen gesucht.

Neuere, mehr physikalische Probleme zeigen nun mit immer krasserer Deutlichkeit, daß diese Anschauungen für Höhen über 30 km falsch sind, daß dort noch Schichtungen von erheblicher Bedeutung in der Atmosphäre vorliegen. Diese Anschauungen werden gestützt durch die Beobachtung der Erscheinungen beim Schallproblem, durch Folgerungen aus dem Studium des Ozongehaltes der Atmosphäre und durch Ausbreitungsstudien der elektromagnetischen Wellen.

Die moderne Aerologie hat daher planmäßig Studien dieser drei Probleme aufgenommen, um aus ihnen indirekte Methoden zur Erforschung der höheren Schichten zu entwickeln. Dies scheint zunächst am einfachsten zu sein beim Studium der Ausbreitung von Explosionswellen in der Atmosphäre. Einmal bietet die relativ kleine Geschwindigkeit der Explosionswellenausbreitung eine gewisse Gewähr für gute Laufzeitbestimmungen, zum anderen ergaben aber auch orientierende Vorversuche, daß mit dem Schallstudium gerade die den durch direkte Forschungsmethoden zugänglichen Höhen nächstgelegenen Schichten von etwa 30 bis 45 km Höhe näher studiert werden können.

Nachdem die ersten Fingerzeige durch gelegentliche und auch beabsichtigte Explosionskatastrophen gegeben waren, indem man die Hörbeobachtungen, also reine Schallbeobachtungen, gesammelt hatte, ging man auch dazu über, den spektral selektiven Empfänger, das Ohr, durch einen aperiodischen zu ersetzen, und schließlich die subjektive Hörmethode durch eine objektive Registriermethode abzulösen. Aus den gelegentlichen Explosionsbeobachtungen wurden solche mit bestimmt dosierten Mengen, die ganz systematisch angestellt wurden.

Der erste dieser Versuche wurde auf die Initiative von de Quervain hin im Oktober 1922 in Oldebrook in Holland veranstaltet. In Deutschland, wo die Vorbereitungen gleich daraufhin getroffen wurden, ein großes systematisches Material zu erhalten, fand der erste dieser Sprengversuche am 3. Mai 1923 in Jüterbog statt. Bisher wurden seitdem in Deutschland insgesamt an 71 Spreng-

tagen 346 Explosionen veranstaltet. Die Verteilung derselben mit der Jahreszeit sei durch eine kleine Statistik gegeben. Es wurden gesprengt im

Januar	49 mal an 9 Tagen	Juli	16 mal an 5 Tagen
Februar	63 " " 6 "	August	6 " " 2 "
März	5 " " 2 "	September	4 " " 1 "
April	22 " " 3 "	Oktober	66 " " 13 "
Mai	16 " " 8 "	November	23 " " 5 "
Juni	18 " " 6 "	Dezember	58 " " 11 "

Die Häufigkeitsminima im März und August–September waren durch die ständige Belegung der Übungsplätze durch Truppen um diese Jahreszeiten bedingt.

Die Verteilung der Versuche über die Tageszeiten ist weit ungünstiger gewesen. Hier waren besonders Rücksichten anderer Art maßgebend, aber auch die Geldfrage spielte eine gewisse Rolle. Es wurde gesprengt

zwischen 0 und 4 ^b	17 mal
" 4 " 8	0 "
" 8 " 12	82 "
" 12 " 16	176 "
" 16 " 20	70 "
" 20 " 24	1 "

Das erhaltene Material erstreckt sich im wesentlichen auf rein objektive Registrierungen der Schalleinsätze und die Aufzeichnung des Druckamplitudenverlaufs. An 20 Tagen wurden außerdem große Ohrbeobachtungsnetze zur Beobachtung eingesetzt. Diese verteilen sich auf die verschiedenen Monate wie folgt:

Im Januar	fanden Ohrbeobachtungsnetze	Verwendung an 3 Tagen
" Februar	" "	" — "
" März	" "	" — "
" April	" "	" — "
" Mai	" "	" 2 "
" Juni	" "	" 3 "
" Juli	" "	" 2 "
" August	" "	" 2 "
" September	" "	" 1 "
" Oktober	" "	" 3 "
" November	" "	" 1 "
" Dezember	" "	" 3 "

Trotz der Einführung scharfer Kontrollmaßnahmen haben die Hörbeobachtungen nur Wert für die Aufstellung schematischer Übersichten über die Hörbarkeitszonen. Laufzeitangaben lassen sich daraus kaum entnehmen, da gewisse Uhrzeitdifferenzen sich nicht vermeiden lassen.

Die Laufzeitangaben der Registrierstationen können als gesichert gelten. Speziell gilt dies für die letzten großen Sprengungen, bei denen die angewendeten 30 Registriergeräte in ihren Aufzeichnungen aufeinander beziehbar sind und sie alle, sofern nicht einwandfreie stationäre Kontaktuhren zur Verfügung standen,

mit funkentelegraphischer Zeitmarkierungseinrichtung versehen waren. Zur einheitlichen Zeitübermittlung ist ein spezieller Sender eingesetzt worden.

Durch gleichzeitige Veranstaltung einer großen Zahl aerologischer Messungen an den Sprengtagen ist das Möglichste getan, um die Schallwege in den untersten 20 km sicherzustellen.

Die Ergebnisse der Ohrbeobachtungen lassen sich kurz folgendermaßen zusammenfassen. Um den Schallherd herum läßt sich auch dann, wenn der Wind- und Temperaturverlauf in den bodennächsten Schichten dies theoretisch nicht zuläßt, eine „innere Zone der Hörbarkeit“ nachweisen. Diese kann teils durch Beugung, teils durch Temperatur- oder Windzunahme mit der Höhe in Bodennähe oder auch durch die Annahme, daß das Wellenzentrum in einiger Höhe über dem Erdboden liegt, erklärt werden. Gelegentlich bewirken Schichtungen in den untersten Teilen der Troposphäre, daß mit geringen Verspätungen ein- oder gar mehrfache Schalleinsätze beobachtet werden, bei denen also der Schallstrahl bereits in geringen Höhen über dem Erdboden umgebogen wird, um diesen wieder zu erreichen (anormale Wellen erster Art). Die Intensität dieser beiden Wellenarten nimmt dann nach außen hin ab, um durch ein „Gebiet des Schweigens“ abgelöst zu werden. Die dann folgende „äußere Zone der Hörbarkeit“ ist in unseren Breiten eine regelmäßige Erscheinung. Sie ist nicht immer, aber in den meisten Fällen ein in sich geschlossenes Gebiet. Die hier einfallenden Strahlen kommen meist aus Höhen > 30 km zum Erdboden zurück (anormale Wellen zweiter Art). Gelegentlich treten mehrere Zonen des Schweigens und äußere Hörbarkeitszonen auf.

Die Intensität der Schalleindrücke unterliegt einer Reihe von Beeinflussungen durch die Wetterlage. Gut ausgeprägt ist meist eine tageszeitliche Änderung innerhalb der Zone normaler Wellen insofern, als am Mittag die Intensität am geringsten ist und sie gegen Morgen und am Nachmittag größer wird. Dies hängt offenbar eng mit dem Vorhandensein der Bodeninversionen zusammen. Am Mittag, also bei Konvektion, ist die Intensität am geringsten. Für alle Zonen gleichmäßig gilt die Erscheinung, daß Grenzschichten in unserer Atmosphäre, sofern sie zwischen Schallherd und Beobachter den Boden erreichen, oder ihm nahekommen, stark absorbierend wirken. Gleichmäßige, langgestreckte Inversions- und Wolkenschichten über dem Versuchsfeld sind hingegen guter Hörbarkeit förderlich.

Eine Abhängigkeit der Durchmesser der verschiedenen Zonen von der Jahreszeit hat sich aus dem vorliegenden Material mit einiger Sicherheit noch nicht nachweisen lassen, allerdings ist mir eine Korrelation zum Ozongehalt der Atmosphäre aufgefallen, auf die ich später noch zurückkomme. Da dieser einer jahreszeitlichen Schwankung unterliegt, so ist hierdurch ein Jahresgang in dem Sinne zu erwarten, daß die Zone der anormalen Hörbarkeit im Mai bereits in geringerer Entfernung vom Sprengherd anfängt als im Spätherbst. Die Vorgänge in der Troposphäre haben erfahrungsgemäß auf die Gestaltung der äußeren Hörbarkeitszone keinen merklichen Einfluß.

Die Registrierergebnisse geben ein etwas anderes Bild, das aber im Prinzip, wie wir sehen werden, auf das gleiche hinauskommt. Es läßt zunächst wieder eine innere Zone nachweisen, in denen die Explosionswellen mit „normalen Laufzeiten“ eintreffen. Die Geschwindigkeiten entsprechen denen aus der Laplaceschen Formel aus Lufttemperatur und der Windverteilung errechenbaren Werten. Die Erstreckung der Nachweisbarkeit ist im allgemeinen weit größer, als sie bei reinen Ohrbeobachtungen gefunden ist. Entfernungen von bis 400 km, eventuell noch mehr, scheinen mir sicher nachweisbar überbrückt zu sein. Die hauptanteilig enthaltene Frequenz nimmt allerdings mit der Entfernung ab, so daß die Nichthörbarkeit durchaus erklärbar ist.

Auch in den Registrierergebnissen finden sich eine Reihe von Fällen, bei denen anormale Wellen erster Art auftreten, also solche Strahlen nachgewiesen werden, die innerhalb der Troposphäre bereits zum Erdboden zurückgezwungen werden. Ein besonders instruktives Beispiel hierfür geben die Sprengversuche vom 19. Dezember 1928 ab, bei denen wir in der Windrichtung nicht weniger als drei solcher anormalen Wellen neben der normalen bis in große Entfernungen hin nachweisen konnten. Der am weitesten in die Höhe gelangte Strahl dieser Art ist aus 9500 m Höhe zurückgebogen worden. Entgegen der Windrichtung wurden diese Wellen nicht nachgewiesen. Es ist dies ein Schulbeispiel für gelegentlichen starken Windeinfluß auf das Ergebnis.

Kommen wir in größere Entfernung vom Schallherd, so tritt eine weitere Wellenart hinzu, die „anormalen Wellen zweiter Art“, sie treten gegenüber den anderen mit 1 bis 6 Minuten Verspätung auf. Ihre „Überführungsgeschwindigkeiten“ schwanken je nach der Entfernung zwischen 250 und 310 m/sec. Ist die Amplitude der normalen Wellen inzwischen im Störspiegel untergegangen, so erkennt man natürlich nur noch die anormalen, bis auch in noch größerer Entfernung auch deren Intensität so gering geworden ist, daß sie im Störspiegel nicht mehr erkennbar sind. An die Existenz von Zonen der Nichtregistrierbarkeit glaube ich nach dem heutigen Stande der Dinge nicht mehr, da deren Existenz bisher nicht einwandfrei nachgewiesen werden konnte.

Auf der Naturforschertagung in Düsseldorf habe ich schon mit Beispielen aus dem Material zahlenmäßig belegen können, wie eng der Zusammenhang und die Ähnlichkeit der Explosionswellen mit den elektromagnetischen Wellen ist. Um das weiter zu erhärten, habe ich an vier Sprengtagen gleichzeitig Reichweitenversuche mit elektromagnetischen Wellen angestellt, die wiederum zufriedenstellend die Analogie aufzeigten. Zwischen beiden Problemen besteht nur der prinzipielle Unterschied, daß ein Sender nur eine Frequenz ausstrahlt, während unser Schallsender, die Explosion, ein breites Frequenzband erzeugt. Bei Verwendung abgestimmter Schallempfänger wird man also genau wie bei einer bestimmten Frequenz in der drahtlosen Telegraphie tote Zonen nachweisen können, während ein aperiodischer Schallempfänger immer Wellen auf-

nehmen wird, die natürlich in sich verschiedenen Frequenzbändern angehören können.

Die Anordnung der Registrierstationen ist nun so gewählt, daß möglichst zahlreiche Anhaltspunkte für eine exakte Laufzeitkurve, also für die Darstellung der Laufzeit L nach der Herdentfernung E , erhalten werden konnten. Aus ganz analogen Schlüssen wie in der Erdseismik ist ja eine Reihe von Beziehungen abzuleiten, die besagen, daß

1. die mittlere Oberflächengeschwindigkeit der Explosionswellen in einer Entfernung E gleich der Scheitelgeschwindigkeit V des betreffenden Schallstrahles ist, also $\frac{dE}{dL} = V$,
2. nach dem Brechungsgesetz dieselbe Scheitelgeschwindigkeit V für ein und denselben Schallstrahl als Konstante eine Relation zwischen der jeweiligen Schallgeschwindigkeit v_z und dem Emergenzwinkel e_z in der Höhe z aufzustellen gestattet, also $\frac{v_z}{\cos e_z} = V = \text{const}$,
3. der Emergenzwinkel e_u des am Empfänger einfallenden Schallstrahles der Beziehung gehorcht $\cos e_u = v_u \cdot \frac{dL}{dE}$.

Im allgemeinen genügt es, um auch die windbewegte Atmosphäre in großer Annäherung mit zu erfassen, wenn die Werte v in diesen Beziehungen aus der reinen Schallgeschwindigkeit c und der Windgeschwindigkeitskomponente w durch Addition erhalten sind, $v = c + w$. Für exaktere Studien muß der Windeinfluß exakter in Ansatz gebracht werden, darauf will ich hier nicht eingehen.

Man kann also die Registrierstationen so aufstellen, daß entweder in nahe äquidistanten Entfernungen vom Schallherd im gleichen Azimut eine große Zahl von Stationen aufgestellt werden, die L als Funktion von E direkt ermitteln. Besser ist es, überall Doppelstationen mit geringem gegenseitigen Abstand der beiden Bestandteile aufzustellen, damit auch dE/dL und damit V und e bestimmt werden können. Um den exakten Windeinfluß zu ermitteln, müßten sogar Dreifachstationen aufgestellt werden, um die Abweichung des eintreffenden Schallstrahles im Azimut ebenfalls festzulegen. Nach Maßgabe der Möglichkeiten ist diesen Forderungen Rechnung getragen worden.

Das gesamte Material der Sprengungen befindet sich im Druck. Die Bearbeitung desselben ist außerordentlich zeitraubend, geht aber allmählich dem Abschluß entgegen.

Die Laufzeitkurven für alle Sprengungen liegen vor. Für einen großen Teil des Materials liegen auch bereits Laufzeitkurven für ein zweites höheres Niveau teils in 15 km teils in 20 km Höhe vor. Diese wurden wie folgt er-

halten. Bekanntlich läßt sich die Entfernung E und die Laufzeit L mit den oben eingeführten Bezeichnungen wie folgt durch Integrale darstellen:

$$E = 2 \int_0^{z_{\max}} \frac{v \cdot dz}{\sqrt{V^2 - v^2}},$$

$$L = 2V \cdot \int_0^{z_{\max}} \frac{1}{v \cdot \sqrt{V^2 - v^2}} \cdot dz.$$

Beide lassen sich zerlegen in zwei Bestandteile, deren einer durch Kenntnis von $v = v(z)$ aus den aerologischen Aufstiegen graphisch integrierbar ist, damit ergeben sich dann die Ordinaten der neuen Laufzeitkurven im höheren Niveau z_1 zu:

$$E_{z_1} = E - 2 \int_{z=0}^{z=z_1} \frac{v \cdot dz}{\sqrt{V^2 - v^2}},$$

$$L_{z_1} = L - 2V \cdot \int_{z=0}^{z=z_1} \frac{1}{v \cdot \sqrt{V^2 - v^2}} \cdot dz.$$

Die Darstellung dieser Werte E_{z_1} , L_{z_1} , V und e_z durch bestimmte Annahme von $v = v(z)$, wo $z > z_1$, ist dann die zu lösende Aufgabe, die heute meist durch rechnerische Interpolation zu erreichen gesucht werden muß. Durch geschickte Kombination von auf verschiedene Azimute bezogene $v = v(z)$ kann man dann Windeinfluß von Temperatureinfluß trennen.

Ein abschließendes Ergebnis läßt sich noch nicht angeben, da ich noch nicht alle Fälle durchgerechnet habe. Die Durchrechnung wird auch noch geraume Zeit in Anspruch nehmen. Sicher ist zunächst nur, daß die Umkehr der Explosionswellen zweiter Art meist in Höhen zwischen 38 und 45 km Höhe stattfindet, daß die durchgerechneten Fälle durch geeignete Wind- und Temperaturverteilung mit der Höhe allein dargestellt werden können und weiter, daß die Temperaturen bei all diesen Verteilungen Werte der Temperatur am Erdboden nicht nur erreichen, sondern zwischen 40 und 45 km Höhe diese meistens übersteigen.

Eine Reihe von Fällen wird wohl nie restlos geklärt werden können, da das aerologische Material nicht bis in die Stratosphäre hineinreicht.

Das Ozonproblem umfaßt Schichten, die wahrscheinlich bereits an der Stratosphäregrenze beginnen und bis 60 km Höhe reichen. Das hauptsächlich interessierende Gebiet, in dem eine ausgeprägte Häufungsstelle des Ozons liegt, liegt zwischen 40 und 60 km, schließt also an das schallstrahlenerforschte Gebiet nach oben an, greift aber noch merklich in dieses hinein. Die Messungen,

die ich an anderer Stelle bereits besprochen habe, werden mit hinreichender Exaktheit nach dem von Dobson vorgeschlagenen Verfahren durchgeführt. Sie haben seit drei Jahren ziemlich umfassendes Material geliefert, das ebenfalls an anderer Stelle publiziert ist.

Der Gesamt ozonegehalt ergibt sich danach zu in unseren Breiten schwankend zwischen 0.20 und 0.38 cm äquivalenter Schichtdicke. Aus einer längeren zwei-jährigen Meßreihe ergibt sich bei uns ein auf einen mittleren Luftdruckgang reduzierter Jahresgang des Ozonegehalts, der im Mai mit 0.34 cm O₃ sein Maximum und im September–Oktober mit 0.23 cm O₃ sein Minimum hat. Es lassen sich eine Reihe von Relationen zu meteorologischen und aerologischen Elementen ableiten. Steigender Tendenz des Bodendrucks entspricht fallende Tendenz des Ozonegehalts, und umgekehrt. In Lindenberg entspricht beiläufig einer Luftdruckzunahme um 1 mm Quecksilber eine Abnahme der Ozondicke um 0.005 cm. Hoher Ozonegehalt ist eine Begleiterscheinung, vielleicht sogar die Ursache zyklonalen Wetters, niedriger eine solche antizyklonalen Wetters. Man kann weiter ableiten, daß einer geringeren Höhe der oberen Inversion, also auch einer wärmeren Stratosphäre, eine größere Dicke der äquivalenten Ozonschicht entspricht. Einem Herabsinken der Stratosphärenengrenze um 1000 m entspricht einem Mehr an Ozon um 0.025 cm*). Interessant und geringer Streuung unterworfen sind die Relationen zwischen der Dichte einzelner Schichten der Stratosphäre zum Verlauf der Ozonschichtdicke. Zwischen der Dichte unterhalb der Stratosphäre besteht gar kein Zusammenhang zum Ozonegehalt, sowie wir aber eine Schicht innerhalb der unteren Stratosphäre herausgreifen, so wird der Zusammenhang ein sehr enger. In 15 km Höhe z. B. entspricht einer 10 prozentigen Zunahme der mittleren Dichte eine 18prozentige Abnahme des mittleren Ozonegehalts, in 17 km Höhe entspricht der gleichen Dichtezunahme nur noch eine 13 prozentige Abnahme des Ozonegehaltes. Ich habe in der zitierten Arbeit*) daraus geschlossen, daß neben der Haupthäufungsstelle des Ozons, die sich aus Messungen von Dobson, Götze und mir zu in 40 bis 45 km Höhe befindlich ergibt, sich noch eine zweite geringere Häufungsstelle an der Stratosphärenengrenze finden muß. Dies scheint mir neuerdings durch eine andere Beobachtungstatsache gestützt zu werden. Vergleicht man die aus Entfernungsmessungen oder Doppelvisierungen errechneten Höhenzeitkurven eines Registrierballons mit der aus dem Barogramm des Ballons später ermittelten Höhenzeitkurve, so ergibt sich gelegentlich ein recht merklicher Effekt dergestalt, daß plötzlich von der Stratosphärenengrenze an die Visierungen zu geringe Höhen gegenüber dem Barogramm ergeben. Dieser Übergang ist ziemlich sprunghaft. Nach Erreichen größerer Höhen durch den Registrierballon steigen auch die aus den Visierungen abgeleiteten Höhen weiter normal an, bleiben aber im Absolutwert stets kleiner als die Höhenwerte aus dem Barogramm. Es liegt also ein Effekt

*) Diese und die folgenden Relationen sind graphisch dargestellt in den Beitr. z. Physik der freien Atmosphäre 14, Heft 4 unter P. Duckert, Messungen des Ozonegehalts über Lindenberg.

vor, der ganz ähnlich ausfallen würde, wenn ein optisch dichteres Medium in der Stratosphärenhöhe eingeschaltet wird. Rechnet man nun in den krassesten beobachteten Fällen beiläufig mit einer äquivalenten Ozondicke von etwa 0.1 cm Ozon in diesen Höhen auf etwa 3 km verteilt, so erhält man für diese Schicht einen optischen Brechungsindex, der das Problem sehr nahe klären würde. Mit allem Vorbehalt möchte ich das als Bestätigung meiner Behauptung, daß bei hohem Ozongehalt auch an der Stratosphäregrenze merkliche Mengen desselben sich ansammeln, ansehen. Auch alle Notizen, die von Visierbeobachtern stammen über das scheinbare Vorhandensein von Schlieren an der Stratosphäregrenze, sind hierdurch recht gut zu erklären. Peinlicher ist es, daß unsere Windmessungen aus der Stratosphäre dadurch entstellt sein müssen, worauf ich hier hinweisen möchte. Das Maximum der Windstärke kurz über der Stratosphäre kann eventuell unreell sein.

Zur Frage der Temperatur in der Ozonschicht ist Neues nicht zu sagen. Es scheint mir auch heute sicher zu sein, daß die Rechnungen aus der Annahme des Strahlungsgleichgewichts, die also die gesamte eingestrahelte Energie gleich der ausgestrahlten setzen und aus diesem vollständigen Ansatz aus der Emission

$\int_0^{\infty} \alpha_{\lambda} \cdot E_{\lambda T} \cdot d\lambda$ die Temperatur T errechnen, einigermaßen zuverlässige Werte ergeben, wenn man unter α_{λ} die Summe der jeweiligen Absorptionskoeffizienten von Ozon, Wasserstoff und Stickstoff und unter $E_{\lambda T}$ die Energieverteilung eines schwarzen Strahlers der Temperatur T über die Wellenlänge λ versteht. Hieraus errechnen sich ja bekanntlich für die Höhen zwischen 40 und 45 km ebenfalls analog wie beim Schallproblem Temperaturen, die höher sind als die gleichzeitig am Erdboden gemessenen.

Um noch kurz auf die oben berührte Relation zwischen Ozongehalt und innerer Grenze der Zone anormaler Wellen zweiter Art zu kommen, so ist ja einzusehen, daß bei dickerer Ozonschicht eine größere Wärmespeicherung in derselben auftritt, also auch ein stärkerer vertikaler Temperaturgradient in der Nähe der Schicht auftreten muß. Wir können also erwarten, daß in solchen Fällen auch noch Schallstrahlen, die relativ steil in die Atmosphäre eingedrungen sind, eben wegen der starken Temperaturgradienten zum Erdboden zurückgebogen werden. Es müßten sich also bei hohem Ozongehalt in geringerer Herdentfernung, als dies gewöhnlich der Fall ist, bereits anormale Wellen am Erdboden nachweisen lassen. Dies ist nun in der Tat nach unseren Registrierungen der Fall. Anormale Wellen zweiter Art sind an Tagen extrem hohen Ozongehalts bereits in 114 km Entfernung vom Schallherd, und noch weniger, gelegentlich nachgewiesen worden.

Mit diesen Ausführungen glaube ich den heutigen Stand der beiden Probleme umrissen zu haben, man sieht, wie eng beide Arbeitsgebiete ineinandergreifen, man sieht aber auch, daß auf beiden Gebieten noch erhebliche Arbeit zu leisten ist, bis alle Einzelheiten mit physikalischer Exaktheit festliegen.