

Werk

Jahr: 1926

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:2

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0002

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0002

LOG Id: LOG_0059

LOG Titel: Über den gegenwärtigen Stand der Frage der Schallausbreitung in der Atmosphäre

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

Über den gegenwärtigen Stand der Frage der Schallausbreitung in der Atmosphäre.

Forschungsarbeit über Sprengungen
mit Unterstützung der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft.

Von **Joseph Kölzer**. — (Mit zwei Abbildungen.)

Es werden die Tatsachen zusammengestellt, die unsere derzeitige Kenntnis von der Schallausbreitung in der Atmosphäre begründen. Anschließend werden die verschiedenen Hypothesen zur Erklärung der bei Sprengungen ermittelten Unterschiede relativer Schallgeschwindigkeit diskutiert. Die genannten Hypothesen erweisen sich als nicht ausreichend für alle beobachteten Tatsachen. Verf. gibt daher in Ergänzung seiner früheren Hypothese eine neue Erklärung, die eine Brücke zwischen den verschiedenen Hypothesen schlägt und den Nachdruck auf die Bedeutung des Azimutes der Schallfortpflanzung legt. Ferner wird im Hinblick auf das vorläufige Registrierergebnis der Sprengung vom 26. Juni 1926 betont, daß die auf kurze Entfernungen (innerhalb 70 km) ermittelten niedrigen relativen Schallgeschwindigkeiten keinesfalls auf Schalltransport auch nur in mittelhohen Schichten der Stratosphäre zurückgeführt werden können.

Seitdem mit Unterstützung der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft seit etwa zwei Jahren die Erforschung der Frage der Schallfortpflanzung in der Atmosphäre durch Registrieraufnahmen von künstlichen Sprengungen und exakten Bestimmungen der Laufzeit in ausgedehntem Maße systematisch erfolgen konnte, sind an Hand der Beobachtungsergebnisse eine Reihe von Arbeiten erschienen, welche über die Vorgänge Aufschluß gebracht haben, wenn auch die Beobachtungsergebnisse zurzeit noch nicht eindeutig erklärt werden können. Folgende Tatsachen können als Gemeingut betrachtet werden:

Um die Schallquelle herum entstehen zwei Hörbarkeitsgebiete; ein inneres und ein äußeres, die beide durch eine Zone des Schweigens voneinander getrennt sind. Während jedoch die innere Hörbarkeitszone, die bis etwa 150 km Entfernung von der Schallquelle reichen kann, stets beobachtet wurde, kann die äußere Hörbarkeitszone überhaupt fehlen. Falls sie jedoch auftritt, ist sie von der inneren Hörbarkeitszone meist durch eine scharf begrenzte Zone des Schweigens getrennt und mit ihrem inneren Rande im Mittel zwischen 150 bis 230 km von der Schallquelle entfernt. Die innere und äußere Hörbarkeitszone sind ferner dadurch gekennzeichnet, daß in ersterer, auch normale Zone genannt, die mittlere Schallgeschwindigkeit normal ist; d. h. sie entspricht den an der Erdoberfläche gemessenen Temperatur- und Windverhältnissen. In der äußeren Hörbarkeitszone, auch anomale Zone genannt, ist die mittlere Schallgeschwindigkeit, bezogen auf die Entfernung Aufnahmeort bis zur Schallquelle, etwa um 30 bis 50 m/sec geringer, als sie nach den an der Erdoberfläche herrschenden Temperatur- und Windverhältnissen zu erwarten wäre. Ferner haben die Aufnahmen mit Registriergeräten gezeigt, daß das Gebiet normaler Schallgeschwindigkeit erheblich über die Zone der inneren Hörbarkeit hinausreichen kann. Allerdings scheint diese Beobachtung sich hauptsächlich nur in Richtung des Windes zu erstrecken, in

der eine Ausdehnung des Gebietes normaler Schallgeschwindigkeit bis etwa 350 km festgestellt wurde. Man könnte also in solchen Fällen an eine Überdeckung des Gebietes normaler Schallgeschwindigkeit mit dem Gebiet der äußeren Hörbarkeit denken, jedoch ist ein solches Zusammentreffen bisher noch nicht festgestellt worden. Das Gebiet der äußeren Hörbarkeit erstreckt sich ebenfalls im Maximum bis etwa 350 km Entfernung. Nach neueren Beobachtungen scheint in der doppelten mittleren Entfernung des äußeren Hörbarkeitsgebietes, also bei 400 bis 450 km, eine zweite äußere Hörbarkeitszone zu existieren.

Bezüglich des Gebietes der äußeren Hörbarkeit ist zu bemerken, daß auch bei ihm im allgemeinen eine einseitige Ausbildung beobachtet worden ist, jedoch scheint in einzelnen Fällen das Ergebnis der Beobachtungen darauf zu deuten, daß auch nach verschiedenen Azimuten hin äußere Hörbarkeitsgebiete gleichzeitig auftreten können. Als hauptsächlichstes Beispiel hierfür wird die Sprengung vom 15. Mai 1924 bei La Courtine angesehen (siehe auch unter 7).

Während über die Entstehung und die Werte der Schallgeschwindigkeit im inneren Hörbarkeitsgebiet auch die neueren Messungen sich mit den früheren Anschauungen, wie sie am eingehendsten wohl durch Emden dargelegt worden sind, gut in Übereinstimmung bringen lassen, so daß diese Frage heute als geklärt betrachtet werden kann, gehen die Anschauungen über die Entstehung des äußeren Hörbarkeitsgebiets und der hierbei gemessenen relativ niedrigen mittleren Schallgeschwindigkeit zurzeit noch erheblich auseinander.

Folgende Anschauungen lassen sich unterscheiden:

1. Die von der Schallquelle abgehenden Strahlen werden in große Höhen der Atmosphäre, etwa auf 70 bis 80 km emporgetragen, dort infolge des schon beträchtlichen Wasserstoffgehalts der Atmosphäre umgebogen und zur Erde zurückgeleitet (von dem Borne). Diese vor etlichen Jahren bereits als erledigt betrachtete Hypothese wurde neuerdings von A. Wegener¹⁾ u. a. wieder zur Erklärung herangezogen. Auch Gutenberg²⁾ ist der Ansicht, daß diese Hypothese noch nicht widerlegt sei. Allerdings hat die Erklärung neuerdings insofern eine Änderung erfahren, als die Kulminationshöhe des Schallstrahles für das äußere Hörbarkeitsgebiet von A. Wegener³⁾ um etwa 20 km tiefer verlegt wurde, da die Ergebnisse der exakten Laufzeitmessungen mit der von dem Borneschen Hypothese nicht in Übereinstimmung zu bringen waren. Die Laufzeitmessungen haben zur Berechnung der Kulminationshöhe geführt, die zuerst von Angenheister⁴⁾ zu 37 km bestimmt wurde.

2. In Ablehnung der von dem Borneschen Hypothese wurde dargelegt, daß die Erscheinungen der inneren und äußeren Hörbarkeitszone lediglich auf den modifizierenden Einfluß von Temperatur und Wind in der Troposphäre, d. h. etwa bis zur Höhe von 10 km, zurückzuführen seien (de Quervain, Emden, Morf u. a.). Wie bereits oben ausgeführt, behält diese Erklärung für das innere Hörbarkeitsgebiet und für das mit Registriergeräten nachgewiesene erweiterte Gebiet normaler Schallgeschwindigkeit durchaus ihre Gültigkeit. Nach den neueren exakten Messungen der Laufzeit und den daraus abgeleiteten mittleren Schallgeschwindigkeiten zeigt sich allerdings, daß, welche Annahmen man auch über die Temperaturen und Windverteilung in der Troposphäre machen will,

diese keineswegs zur Erklärung der Phänomene des äußeren Hörbarkeitsgebietes ausreichen.

3. Auf Grund der neueren exakten Ergebnisse der Registriergeräte und der Laufzeitmessungen [siehe besonders Angenheister⁴⁾] sowie mit Rücksicht darauf, daß die Schallzeit nicht nach der Hypothese von von dem Borne erklärt werden konnte, wurde vermutet, daß bereits in relativ geringer Höhe in der Atmosphäre ein leichteres Gas in größeren Mengen vorhanden sei, das erst noch entdeckt werden müsse [Wiechert⁵⁾]. Diese Ansicht hat insbesondere auf Grund der schon früher ausgeführten Berechnungen über die Verteilung der verschiedenen Gase in der Atmosphäre (van Everdingen u. a.) in weiten Kreisen der Physiker eine Ablehnung gefunden und wird auch neuerdings vom Autor⁶⁾ selbst wesentlich eingeschränkt.

4. Statt der zu Punkt 3 angeführten Erklärung wurde auf Grund der Untersuchungen von Dobson und Lindemann das Vorhandensein einer Schicht hoher Temperatur zur Erklärung benutzt, die mit ihren Werten sogar wesentlich höher als die Temperatur an der Erdoberfläche liegen soll [Wiechert⁶⁾, Gutenberg²⁾]. Auch diese Hypothese hat zu einer lebhaften Diskussion in Physikerkreisen Anlaß gegeben. Nicht nur widersprechen ihr die bisherigen Annahmen über die Temperaturverteilung in der Atmosphäre, die sich zudem an Registrierergebnisse von Ballonaufstiegen bis zu etwa 30 km Höhe anschließen lassen, sondern auch die Untersuchungen von Vegard¹¹⁾ über die mutmaßliche Temperaturverteilung in der Stickstoffsphäre. Die Hypothese von Lindemann und Dobson wird jedoch auch von Maurain⁷⁾ für möglich gehalten.

5. Unter Fallenlassen der modifizierten Hypothese von von dem Borne nimmt A. Wegener³⁾ in einer neueren Arbeit an, daß die Schallstrahlen immerhin noch auf solche Höhe hinaufgetragen werden, daß dort der durch die Schallwelle erzeugte Überdruck groß werde gegen den Atmosphärendruck, und daß infolgedessen in diesen Höhen die Schallfortpflanzung eine größere sei, als nach der Laplaceschen Formel über die Schallgeschwindigkeit zu erwarten sei. Die also nach dieser Hypothese vermutete Überschallgeschwindigkeit bewirke das Umbiegen und Rückleiten der Schallstrahlen zur Erde. Diese Hypothese, die einen Ausweg bilden würde, wird von Gutenberg²⁾ als noch nicht durchgearbeitet bezeichnet. Auch Rudolf Meyer⁸⁾, der die Hypothese rechnerisch nachgeprüft hat, ist der Ansicht, daß sie sehr gut die auftretenden Schallphänomene in der äußeren Hörbarkeitszone erklären würde. Andererseits wird der Hypothese widersprochen. Hier müssen namentlich die Darlegungen von Wiechert⁶⁾ angeführt werden. Da auch Rudolf Meyer erst in Höhen von 65 bis 70 km an aufwärts das Auftreten der Überschallgeschwindigkeit für möglich hält, was mit den gemessenen Laufzeiten nicht leicht in Übereinstimmung zu bringen sein dürfte, so bleiben auch für diese Hypothese die Schwierigkeiten noch bestehen.

6. In Erweiterung der von Emden u. a. gegebenen Erklärung über den Einfluß der Temperatur- und Windverhältnisse bei der Schallausbreitung in der Troposphäre nehme ich⁹⁾ an, daß auch die Temperatur- und Windverhältnisse der Stratosphäre bis etwa 35 km Höhe zur Erklärung herangezogen werden müssen. In einer großen Zahl von Fällen, insbesondere auch solchen mit ano-

malen mittleren Schallgeschwindigkeiten, konnten auf Grund plausibler Annahmen über die meteorologischen Bedingungen, wie sie aus direkten Messungen und den Lindenberger Ergebnissen bis etwa 16 km Höhe zur Verfügung standen, die Schallbeobachtungen mit der Rechnung gut in Übereinstimmung gebracht werden. Eine wichtige Rolle spielen bei dieser Erklärung die oberen, zwischen 30 und 40 km Höhe vorherrschenden östlichen Luftströmungen, wie sie durch Beobachtungen der Bewegung von aus Vulkanausbrüchen herrührenden Staubwolken bestätigt worden sind. In diesem Zusammenhang kann auch auf die Arbeiten von Kahlke¹⁰⁾ hingewiesen werden.

7. Schlußfolgerungen. Es soll nicht verkannt werden, daß auch die letztgenannte Hypothese alle Erscheinungen restlos nicht zu klären vermag. Insbesondere bilden einige anscheinend verbürgte Beobachtungen des Auftretens von Zonen mit anomaler Schallgeschwindigkeit gleichzeitig in entgegengesetzten Richtungen, so z. B. im Falle von La Courtine vom 15. Mai 1924, noch erhebliche Schwierigkeiten. Ich habe daher diesen Fall einer besonderen Untersuchung unterzogen *).

Bemerkenswert ist, daß das Auftreten von Zonen mit anomaler mittlerer Schallgeschwindigkeit gleichzeitig in zwei entgegengesetzten Azimuten zu den größten Seltenheiten gehört und auch bei den Sprengungen bei La Courtine in Frankreich nur an dem einen Tage klar festgestellt werden konnte. Maurain⁷⁾ vermutet, daß allgemein das Gebiet der äußeren Hörbarkeit dadurch zustande komme, daß der Schallstrahl unter großem Erhöhungswinkel (mindestens 60°) rasch in große Höhen emporgetragen werde und dort entweder unter dem Einfluß einer Atmosphäre aus Wasserstoff und Stickstoff oder unter dem Einfluß hoher Temperatur (s. Punkt 4) umgebogen werde und zurück zum Boden gelange. Die auf dieser Basis durchgeführten Rechnungen gaben gute Übereinstimmung mit den beobachteten Werten. Dennoch dürfte die Hypothese in dieser Allgemeinheit keine Gültigkeit haben, vielmehr scheinen mir folgende Tatsachen zu gelten:

- a) Windrichtung und Schallstrahl fallen in der Troposphäre zusammen. Über das Gebiet normaler Hörbarkeit und mit normaler Schallgeschwindigkeit hinaus werden innerhalb der Troposphäre (s. Punkt 2) die Schallstrahlen von der Wellenlänge $\lambda = 60$ bis etwa 300 m (nicht hörbar) bis zu etwa 350 km Entfernung transportiert. Unter günstigen Verhältnissen kann die Zone normaler Schallgeschwindigkeit sich noch weiter ausdehnen.
- b) Westwinde in der Troposphäre, Schallfortpflanzung entgegen diesen Westwinden. Auf ein verhältnismäßig kleines Gebiet innerer Hörbarkeit folgt eine Zone des Schweigens, dann eine Zone äußerer Hörbarkeit (kurze Wellen). Die äußere Zone entsteht dadurch, daß die Schallstrahlen in die untere Stratosphäre emporgetragen werden und in der Höhe zwischen 30 und 40 km wegen der dort herrschenden starken Ostwinde (s. Punkt 6) zur Erde reflektiert werden.

*) In Erwiderung auf eine Fußnote in der Arbeit von Rudolf Meyer⁸⁾ bemerke ich, daß mir der Originalbericht von Maurain⁷⁾ bei der Drucklegung meiner Aufsätze⁹⁾ noch nicht zur Verfügung stand.

c) Schwache Winde aller Richtungen bzw. Ostwinde in der Troposphäre, Schallfortpflanzung nach Osten. Nur der unter großem Erhöhungswinkel (mindestens 60°) emporgetragene Strahl kann zur Erde zurück gelangen. Die Ostwinde von 30 bis 100 m/sec zwischen 30 bis 80 km Höhe wirken verzögernd, der Anteil leichter Gase und der Einfluß der Bestrahlung beschleunigend. Ich habe unter diesen Annahmen die Schallzeiten für das Gebiet östlich von La Courtine berechnet und gute Übereinstimmung mit den beobachteten Werten der scheinbaren horizontalen Schallgeschwindigkeit erhalten. Die Scheitelhöhe der Schallstrahlen beträgt etwa 80 bis 90 km. Da nach den Mitteilungen von Maurain ⁷⁾ die vernommenen Knalle dumpf waren, etwa von der Wellenlänge $\lambda = 15$ bis 20 m, so scheint mir unter der Annahme einer Stickstoff-Wasserstoff-Atmosphäre und nach dem Ergebnis der von mir verbesserten Formel von Schrödinger ⁹⁾ für die Höhe x , in der die Dämpfung wirksam wird, sowie in teilweiser Übereinstimmung mit den Ausführungen von Maurain und Küpper die Möglichkeit des Ankommens von Schallstrahlen aus so großen Höhen gegeben, womit gleichzeitig eine Annäherung an die Hypothese von von dem Borne und die früher von A. Wegener ¹⁾ vertretene Hypothese gegeben wäre. Es muß an dieser Stelle betont werden, daß die Rechnung auf Grund der anderen Hypothese von Wegener ³⁾ und Meyer ⁸⁾, die erst von 65 bis 70 km Höhe an Überschallgeschwindigkeiten zuläßt, keineswegs befriedigende Laufzeiten ergibt, die Annahme eines Diffusionsgleichgewichts der Gase in der Stratosphäre dagegen wohl, wobei noch offen bleiben soll, ob die Änderung in der Luftzusammensetzung mit der Höhe nach den Rechnungen von Wegener oder unter Berücksichtigung der Einwände von Meyer ⁸⁾ langsamer erfolgt. Die von W. Küpper [s. bei Meyer ⁸⁾] nachgewiesene Erhöhung der Schallgeschwindigkeit durch kurzwellige Bestrahlung reicht ihrem Betrage nach zur Erklärung allein nicht aus, wenn ihr auch ein modifizierender Einfluß zugesprochen werden kann. Dagegen scheinen mir die neueren experimentellen Ergebnisse von Vegard ¹²⁾ keine unlösbaren Widersprüche gegen die Annahme einer Wasserstoffosphäre in den für die Schallausbreitung in Frage kommenden Höhen (bis etwa 90 km) zu bieten. Sein Versuch mit Argon zeigt vor allem, daß schon ganz geringe Mengen verfestigten Stickstoffs genügen, um die typischen Linien des Nordlichtspektrums zu erzeugen. Die unter dem Einfluß von positiver Elektrizität in die Höhe der Nordlichtregion, in mehrere 100 km, getriebenen Stickstoffpartikel brauchen nicht das Vorhandensein einer Nur-Stickstoffatmosphäre in tieferen Schichten zur Voraussetzung zu haben. Auch die Hypothese vom Diffusionsgleichgewicht setzt die Anwesenheit von Stickstoff bis in große Höhen voraus. Für die Hypothese von Lindemann und Dobson (s. Punkt 4) bleibt allerdings kein Raum in dieser Erklärung.

8. Die Beobachtungsergebnisse von La Courtine. Die Verhältnisse für das Gebiet anomaler Schallfortpflanzung im Osten von La Courtine sind in

den nachstehenden Fig. 1 und 2 dargestellt; sie sind von Herrn B. Sandmann auf Grund sehr sorgfältiger Rechnungen angefertigt worden. Das Eindringen in den Fall

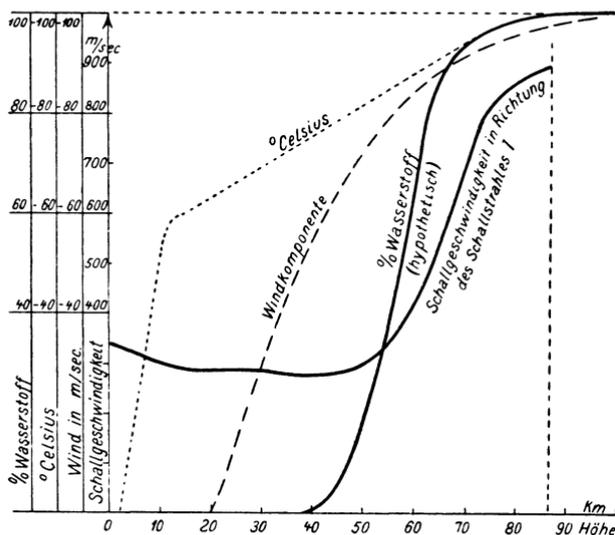


Fig. 1.

zeigte, daß die Möglichkeiten für die Erklärung der Laufzeiten im Hinblick auf die gegebenen Entfernungen und Azimute äußerst eng begrenzt waren, zumal auch die Beobachtungen in den übrigen Azimuten mit Kulminationshöhen bis zu etwa 40 km sich den gewählten Bedingungen einfügen müssen. Besondere Schwierigkeiten bereiteten die gleichzeitigen Ergebnisse von Lyon (I), Entfernung 198 km, Laufzeit 659 sec, relative Schallgeschwindigkeit 300.5 m/sec, und von Unieux (II), Entfernung 160 km, Laufzeit 580 sec, relative Schallgeschwindigkeit 276 m/sec. Diese beiden Orte wurden daher für die Darstellung gewählt.

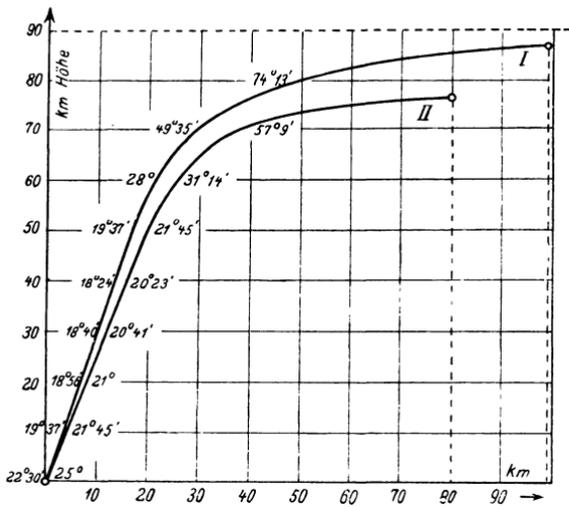


Fig. 2.

In Fig. 1*) ist auf der Abszisse die Höhe in Kilometern abgetragen, auf der Ordinate sind entsprechend den vier Kurven vier Maßstäbe gewählt, nämlich für die Temperaturkurve, die hypothetische Wasserstoffkurve, die Kurven der Windkomponente

und der Schallgeschwindigkeit in Richtung Lyon (I). Die Schallgeschwindigkeitskurve in Richtung II verläuft ähnlich. Der Zusatz hypothetisch bei der Kurve für den Wasserstoffgehalt mit der Höhe soll zum Ausdruck bringen, daß eine

*) Die Kurven für Temperatur und Windkomponente sind nach unten sich fortsetzend zu denken.

derartige Verteilung erforderlich wäre, um die zu erzielende Schallgeschwindigkeit zu bewirken; es soll aber offen bleiben, welche anderen Ursachen der Überschallgeschwindigkeit noch beteiligt sind.

In Fig. 2 ist auf der Ordinate die Höhe in Kilometern abgetragen, auf der Abszisse die Entfernung in Kilometern. Kurve I bezieht sich auf La Courtine-Lyon, Azimut 90°, Kurve II auf La Courtine-Unieux, Azimut 105°. Die Abgangs- bzw. die Brechungswinkel von 10 zu 10 km sind bei den Kurven angeschrieben. Die Kulminationshöhen des Schallstrahls sind für I 87 km, für II 77 km. Die ermittelten Laufzeiten waren: für I 650 sec statt 659 sec beobachtet; für II 598 statt 580 sec beobachtet, also eine hinreichende Übereinstimmung, die unter Berücksichtigung des Strahlungseinflusses auf die Schallgeschwindigkeit noch verbessert werden kann.

Neuere Beobachtungsergebnisse, die diesen Darlegungen widersprechen, sind mir nicht bekannt geworden; jedoch möchte ich mit einigen Worten auf die von Prof. Kühl zur Verfügung gestellten (noch nicht veröffentlichten) Beobachtungsergebnisse der Sprengung in Jüterbog vom 26. Juni 1926 eingehen. In Potsdam (37 km) und Rathenow (72 km) sind außer den Haupteinsätzen Nachläufer registriert worden, die relative Schallgeschwindigkeiten bis herab zu 227 m/sec ergeben. Prüft man die Laufzeiten im Hinblick auf die Entfernungen, so zeigt sich, daß der tatsächliche Umweg der verspätet angekommenen Schallwellen in Potsdam im Mittel 6, im Maximum 15 km beträgt, in Rathenow 16 bzw. 26 km. Die Schallstrahlen können für Potsdam also keinesfalls über 18 bis 20 km hinausgehen. Hierfür können in Anbetracht der kurzen Entfernungen vom Schallherd aber keine den Reflexionsgesetzen entsprechenden Bedingungen für den Transport gefunden werden, vor allem scheiden höhere Schichten der Stratosphäre ganz aus. Für Rathenow könnte nur für die Extremfälle (etwa 30 km Kulminationshöhe) und unter Annahme sehr starker Winde mit östlicher Komponente in den oberen Schichten ein derartiger Schalltransport konstruiert werden. Die Ergebnisse, namentlich für Potsdam, sind daher meines Erachtens auf andere Ursachen (z. B. Echowirkung) zurückzuführen.

Zusammenfassung. Die Möglichkeit der Ausbildung von Zonen der Hörbarkeit mit nomaler und anormaler Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Azimuten von der Schallquelle aus hängt im wesentlichen von den Windverhältnissen der Tropo- und Stratosphäre ab. In besonderen Fällen ist die Zusammensetzung der oberen Stratosphäre beteiligt. Nicht nur die Zonen des Schweigens, auch bestimmte Azimute werden unter dem Einfluß der Wetterlage keine Schallstrahlen registrieren können, da sie keine erhalten. Die Schallphänomene sind daher nicht auf eine einzige Ursache zurückzuführen, sondern im wesentlichen von der Richtung des Schallstrahles bei der herrschenden Witterung abhängig.

Literatur.

- 1) A. Wegener: Die äußere Hörbarkeitszone und ihre periodische Verlagerung im Jahresverlauf. Meteorol. Zeitschr. 1925, Heft 7.
- 2) B. Gutenberg: Über die Ausbreitung des Schalles in der Atmosphäre. Die Naturwissenschaften 1926, Heft 16.
- 3) A. Wegener: Die äußere Hörbarkeitszone. Zeitschr. f. Geophys. 1925, Heft 7.

4) G. Angenheister: Die Laufzeit des Schalles für große Entfernungen. Zeitschr. f. Geophys. 1925, Heft 7, und 1926, Heft 2/3.

5) E. Wiechert: Erste Mitteilungen über Lufterschütterungen usw. Zeitschr. f. Geophys. 1924, Heft 1.

6) Derselbe: Bemerkungen über anomale Schallausbreitung in der Luft. Nachr. d. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen, Math.-phys. Kl., 1925 (Dezember).

7) Ch. Maurain: Sur la propagation des ondes aériennes, Annales de Institut du Physique du Globe, Paris 1926.

8) Rudolf Meyer: Die Erklärung der äußeren Hörbarkeitszone. Zeitschr. f. Geophys. 1926, Heft 2/3.

9) J. Kölzer: Die Schallausbreitung in der Atmosphäre und die äußere Hörbarkeitszone. Meteorol. Zeitschr. 1925, Heft 12, und 1926, Heft 1.

10) J. Kahlke: Meteorschweife und hochatmosphärische Windströmungen. Ann. d. Hydr. 49 (1925).

11) L. Vegard: The auroral spectrum. Phil. Mag. (6) 46, 193 (1923).

12) Derselbe: Das Leuchten verfestigter Gase und seine Beziehungen zu kosmischen Vorgängen. Ann. d. Phys. 4, 79 (1926), Heft 5.

Berlin, den 15. Juli 1926.

Ist die äußere Hörbarkeitszone durch Überschallgeschwindigkeit der Welle in der Stratosphäre zu erklären?

Von Rudolf Meyer in Riga.

Die vom Temperaturgradienten in der Atmosphäre abhängige Brechung der Schallstrahlen ruft eine Zusammendrängung der anfänglichen Halbkugelwelle auf eine verhältnismäßig kleine Kalotte, und damit eine besonders in der äußersten Zone beträchtliche Steigerung der Intensität hervor; doch darf man danach nur auf einer schmalen Zone, zu der bloß ein geringer Bruchteil der gesamten Wellenenergie gehört, größere Überschallgeschwindigkeiten erwarten. Wenn aber in großer Höhe infolge der Abnahme der Luftdichte oder aus anderen Gründen weitere Teile der Welle eine auch nur geringe Frontänderung im Sinne einer Brechung nach unten erfahren, zieht diese ihrerseits eine Zusammendrängung der Wellenoberfläche, eine Erhöhung der Intensität und fortgesetzte Steigerung der Geschwindigkeit nach sich, und damit eine Reflexion größerer Teile der Welle in der Richtung zur Erde.

Die von A. Wegener⁴⁾ ausgesprochene Anregung zu einer Erklärung der äußeren Hörbarkeitszone durch Überschallgeschwindigkeiten in der dünnen Luft großer Höhen wird von Wiechert⁵⁾ abgelehnt unter Hinweis darauf, daß die relativen Druckschwankungen in rund 45 km Höhe, wo die Reflexion stattfinden sollte, sogar senkrecht über dem Explosionsherd nicht das erforderliche hohe Maß erreichen. Obgleich ich ebenfalls zu dem Ergebnis gekommen bin⁸⁾, daß eine gewöhnliche Kugelwelle erst in viel größerer Höhe zu Überschallgeschwindigkeiten führen kann, habe ich den Versuch dadurch nicht für widerlegt angesehen, und in Kürze zu Wiecherts Schlußfolgerung geäußert, daß die Annahme einfacher Kugelwellen hier zu einem Fehlschluß führen muß; berücksichtigt man die Brechung der Schallstrahlen in der Atmosphäre, so gewinnt das Ergebnis ein wesentlich anderes Aussehen.