

Werk

Jahr: 1934

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:10

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0010

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0010

LOG Id: LOG_0059

LOG Titel: Die Bedeutung der Unstetigkeiten im Verlauf der Schallgeschwindigkeit mit der Höhe für die normale und anomale Schallfortpflanzung

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

Es sei bemerkt, daß sich das Seismometer auch bei stärkeren Beben gut bewährt hat, wie die Registrierung eines Nahbebens, des Bebens von Chalkidiki am 26. September 1932 zeigt.

Konstanten des Seismometers.

M	V	T_0	r/T_0^2	ϵ	Registrier-Geschw.
40 kg	bis 10	2.5 sec	0.0035	4.0	15 mm/min

Die Bedeutung der Unstetigkeiten im Verlauf der Schallgeschwindigkeit mit der Höhe für die normale und anomale Schallfortpflanzung

Von **B. Sandmann** — (Mit 5 Abbildungen)

Unter besonderer Hervorhebung der „akustischen Umkehrschicht“ als einer Unstetigkeit im Verlauf der Schallgeschwindigkeit mit der Höhe werden die wesentlichen Formen von Unstetigkeiten in der Schichtung der Atmosphäre in ihrer Wirkung auf die Schallausbreitung bei verschiedenen Lagen der Schallquelle besprochen. Auf die hinsichtlich der Erscheinungsform vorhandene Ähnlichkeit mit der „Ullerschen geführten Welle“ wird hingewiesen. Viele der bei der Schallausbreitung in der freien Atmosphäre auftretenden Erscheinungen werden durch Unstetigkeiten hervorgerufen, so auch die in Verbindung mit einer „akustischen Umkehrschicht“ auftretende anomale Schallfortpflanzung. Hierüber liegt bereits eine Anzahl von Beobachtungsergebnissen vor, welche beweisen, daß das Brechungsgesetz unter gewissen Verhältnissen zur Darstellung des Schallweges nicht anwendbar ist und daß wir es hier mit Beugungserscheinungen zu tun haben.

A. Allgemeines. Für die hier behandelten Unstetigkeiten ist der Verlauf der Temperatur und des Windes in Abhängigkeit von der Höhe maßgebend, zweier Faktoren, von denen fast ausschließlich die Schallgeschwindigkeit in der Luft abhängig ist. Der Einfluß der relativen Feuchtigkeit und des Luftdruckes ist gering und jedenfalls nach den bisherigen Erfahrungen niemals die Ursache zu Besonderheiten in der Schallausbreitung.

Die Unstetigkeit kann sowohl durch Änderung des betreffenden Gradienten mit der Höhe oder auch an der Grenze zweier Schichten in Erscheinung treten. Außerdem kann durch Winddrehung mit der Höhe eine Unstetigkeit hervorgerufen werden. Hierzu ist zu bemerken, daß Unstetigkeiten hinsichtlich Temperatur und Wind sich unter Umständen in der Wirkung gegenseitig mehr oder weniger aufheben können, so daß sie sich also nicht immer im Verlauf der Schallgeschwindigkeit ausprägen.

Es wurde vom Verfasser an Hand von mehreren Beispielen nachgewiesen (s. 6b.), daß die „akustische Umkehrschicht“, welche eine Form der Unstetigkeit darstellt, unmittelbar die Ursache für die Rückkehr von Schall zur Erdoberfläche

ist und daß in diesem Falle der Schallweg in der Umkehrschicht seine Kulminationshöhe erreicht.

Daraus muß gefolgert werden, daß das Brechungsgesetz in seiner einfachen Form $\sin \alpha : \sin \beta = c_1 : c_2$ in bezug auf die freie Atmosphäre in manchen Fällen nicht anwendbar ist und daß dann die Schallfortpflanzung nach anderen Gesetzen vor sich geht. Es ergibt sich weiter, daß es gewagt ist, das Brechungsgesetz, das bisher für die Schallausbreitung in der Atmosphäre als allgemein gültig angesehen wurde, als Grundlage für die Berechnung des Schallweges bei der anomalen Schallausbreitung dienen zu lassen. Daß das Brechungsgesetz unter gewissen Verhältnissen dennoch für die Berechnung von Schallwegen in der freien Atmosphäre ausgezeichnete Dienste tut, darauf wird noch im folgenden eingegangen werden.

Die Frage, wie die durch die Umkehrschicht hervorgerufene Ablenkung der Schallstrahlen zu erklären ist, legt es nahe, auf die Ullersche „Welleninduktion“ einzugehen, bei der ebenfalls eine Unstetigkeit, bzw. eine Trennfläche zweier Mittel, die Hauptrolle spielt (7a.—d.).

Uller behauptet, eine neue allgemeine Art der Wellenausbreitung gefunden zu haben, nämlich die „geführte“ oder „gebundene“ Welle, welche durch Anlauf einer Welle gegen die Trennfläche zweier Mittel hervorgerufen wird und längs der U-Fläche (Unstetigkeitsfläche) entlangläuft. Diese Erscheinung nennt Uller ein Urphänomen. Z. B. wird von ihm auch die elektromagnetische Welleninduktion als Erzeugung gebundener Wellen aufgefaßt (7a.). Ebenso ist nach Uller die „Zone des Schweigens“, also die anomale Schallausbreitung durch Einfall induktion akustischer Wellen an der isothermischen Schicht zu erklären (7b., 7c.).

Im Verlauf der Schallgeschwindigkeit als Funktion der Höhe der Atmosphäre ist eine Unstetigkeit charakteristisch (s. Fig. 3), die durch die Temperaturinversion der Stratosphäre hervorgerufen wird und von Uller als Ursache der Erzeugung geführter Wellen und weiter der anomalen Schallausbreitung angesehen wird. Die obere Grenze der Troposphäre wird von Uller als Trennfläche zweier Mittel aufgefaßt. Der geführten Welle spricht Uller eine im Vergleich zur freien Welle eines homogenen Mediums besonders große Reichweite zu.

Dem Schallgeschwindigkeitsverlauf von Fig. 3 sei in Fig. 1 ein anderer Verlauf gegenübergestellt, von dem mit gleichem Recht gesagt werden kann, daß in der Höhe H eine Unstetigkeit vorhanden ist. Im ersten Fall hat die Schallgeschwindigkeit in der Unstetigkeitsfläche ein Minimum und im zweiten Falle ein Maximum. Die Bezeichnung U-Fläche wird hierfür im folgenden beibehalten. Damit sind die beiden charakteristischen Fälle einer Unstetigkeit gekennzeichnet, wie sie in der freien Atmosphäre nicht selten vorkommen. Im Zusammenhang hiermit muß noch die Erdoberfläche als stark ausgeprägte U-Fläche erwähnt werden.

Zur Untersuchung des Einflusses, den eine Unstetigkeit auf die Schallausbreitung in der freien Atmosphäre ausübt, gehen wir zunächst von dem idealen Fall einer Trennungsfläche zweier Mittel aus. Läuft eine Schallwelle gegen die

Trennfläche an, so wird die Welle in eine gebrochene und eine reflektierte Welle zerlegt, wenn das akustische Widerstandsverhältnis

$$q = \frac{c_1 \cdot \rho_1}{c_2 \cdot \rho_2}$$

von 1 verschieden ist und keine Totalreflexion erfolgt. c_1 und c_2 bedeuten die Schallgeschwindigkeiten und ρ_1, ρ_2 die Dichten der beiden Medien.

Wäre die Schallgeschwindigkeit c_1 des Mediums, gegen das die Welle anläuft, größer als c_2 und beständen beide Medien aus atmosphärischer Luft, so läge ein Idealfall vor, bei dem nach Uller bei entsprechendem Welleneinfall die Erzeugung geführter Wellen gefordert werden müßte.

Für die freie Atmosphäre ist das akustische Widerstandsverhältnis q stets $\cong 1$. Das Produkt $c \cdot \rho$ ändert sich mit zunehmender Höhe nur langsam. Es findet daher innerhalb der Atmosphäre keine Reflexion statt.

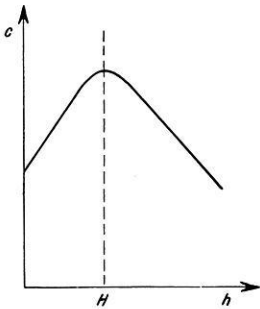


Fig. 1. Schallgeschwindigkeitsverlauf (Maximum)

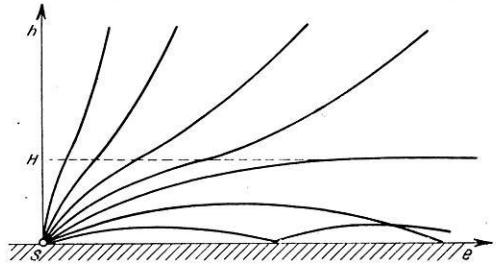


Fig. 2. Schallstrahlenbild

B. Das Schallgeschwindigkeitsmaximum. Bei dem in Fig. 1 dargestellten Schallgeschwindigkeitsverlauf nimmt die Schallgeschwindigkeit mit der Höhe zu, erreicht in einer bestimmten Höhe ein Maximum und nimmt dann wieder ab. Dieser Verlauf ist erfahrungsgemäß besonders häufig im untersten Teil der Atmosphäre in der Windrichtung anzutreffen.

Fall a. Schallquelle an der Erdoberfläche. Konstruiert man auf Grund dieser Verhältnisse das Schallstrahlenbild (s. Schema, Fig. 2), so geht daraus hervor, daß oberhalb der Höhe H , wo sich das Maximum befindet, die Schallstrahlen sämtlich nach oben gebrochen werden bzw. zum Erdboden zurückgelangen. In der Höhe des Maximums muß ein Schallstrahl parallel zur Erdoberfläche verlaufen (wobei die Erdoberfläche als eine Ebene angesehen wird). Aus dem Schallstrahlenbild geht anschaulich hervor, daß längs dieses Schallstrahles infolge der beiderseitigen Divergenz die Intensitätsabnahme im Vergleich zum ganzen Quadrant besonders groß ist, sobald er die Höhe des Maximums erreicht hat. Die Intensitätsabnahme geht um so schneller vorstatten, je stärker ausgeprägt das Maximum der Schallgeschwindigkeitskurve d. h., je stärker die Brechung ober-

halb und unterhalb der Höhe des Maximums ist. In etwa 200 m Höhe über dem Erdboden ist oft ein derartiges Schallgeschwindigkeitsmaximum vorhanden, welches durch die Schichtung des Windes hervorgerufen wird.

Damit findet die Tatsache ihre Erklärung, daß bei normalem Schall die ersten Schalleinsätze (Vorläufer), mit zunehmender Entfernung unter entsprechenden meteorologischen Verhältnissen außerordentlich schnell an Intensität abnehmen (4., S. 38 und 3a., S. 11 und 22) oder sogar verschwinden, denn die ersten Einsätze rühren unter diesen Umständen immer von Schallstrahlen her, deren Kulminationshöhe der Höhe des Maximums am nächsten kommt. Eine Bestätigung hierfür bilden die folgenden Ergebnisse von Emden und Kammüller:

Kammüller (2.) weist nach, daß die Schallintensität in der Mitwindrichtung gegenüber geradliniger Schallausbreitung geringer ist, wenn die Krümmung der Schallstrahlen mit der Kulminationshöhe abnimmt. Wie Emden nachgewiesen hat (1., S. 81 und 116), entsteht für den theoretischen Fall einer Spitze in der Schallgeschwindigkeitskurve in der Höhe des Maximums ein Schallschatten. Emden folgert weiter, daß in bestimmter Entfernung die Erdoberfläche schallfrei wird, berücksichtigt aber dabei ebensowenig wie Kammüller den am Erdboden reflektierten Schall. Daß die Erdoberfläche nicht schallfrei wird, bestätigt die Erfahrung, ebenso, daß der Schall an der Erdoberfläche mehrfach reflektiert wird (3a., S. 10). In der Höhe findet keine Reflexion, sondern nur Brechung statt.

An der Erdoberfläche treten infolge der Reflexion oft mehrere aufeinanderfolgende Einsätze auf, zwischen denen Ruhe herrscht (s. auch Kölzer, 3a., S. 11 und 22). Die Anzahl und der zeitliche Abstand der Einsätze ist von dem Schallgeschwindigkeitsgradient abhängig. Ein Bild des Querschnittes der Wellenfront in der Nähe des Erdbodens ist vom Verfasser schon in einer früheren Arbeit gegeben worden (6a., S. 254). Die Zulänglichkeit des Brechungsgesetzes bei der Berechnung des Schallstrahlenverlaufes wird durch die Beobachtungsergebnisse und rechnerische Nachprüfung der gemessenen Laufzeiten vollauf bestätigt.

Aus obigem geht hervor, daß die Unstetigkeitsfläche unter diesen Umständen energieerztreuend wirkt.

Fall b. Schallquelle in der Höhe des Maximums. Befindet sich die Schallquelle in der Unstetigkeitsfläche selbst (Höhe H in Fig. 1), so wird die Schallintensität in dieser Höhe mit zunehmender Entfernung wie im Fall a überquadratisch abnehmen, da die Schallstrahlen entsprechend divergieren. Je ausgeprägter das Maximum in der Schallgeschwindigkeitskurve ist, desto stärker ist die Intensitätsabnahme. Das Loslösen der Schallwelle von der Unstetigkeitsfläche oberhalb und unterhalb derselben muß ebenso erwartet werden, wie es auch an der Erdoberfläche infolge von Brechung in Erscheinung tritt, wenn die Schallgeschwindigkeitskurve mit der Höhe abnimmt. Von einem Versagen des Brechungsgesetzes oder von Schwierigkeiten bei seiner Anwendung kann hier ebensowenig die Rede sein wie im vorigen Falle.

C. Das Schallgeschwindigkeitsminimum. Der in Fig. 3 dargestellte Schallgeschwindigkeitsverlauf ist durch die obengenannte „akustische Umkehrschicht“ gekennzeichnet. Die Schallgeschwindigkeit erreicht in einer bestimmten Höhe H ein Minimum und nimmt dann wieder zu. Eine derartige Unstetigkeit ist in allen bisher erforschten Höhen der Atmosphäre mehr oder weniger häufig anzutreffen und zwar nicht nur in der Gegenwindrichtung, sondern auch in der Mitwindrichtung.

Es sei hier zunächst Fall b. behandelt:

Fall b. Schallquelle in der Höhe des Minimums. Befindet sich die punktförmig angenommene Schallquelle S in der Unstetigkeitsfläche in Höhe H , so wird das Aussehen der Wellenfront an der U-Fläche ziemlich verwickelt. Es ergibt sich gewissermaßen eine Stauung der Schallenergie in der Höhe des Schallgeschwindigkeitsminimums (d. das schematische Schallstrahlenbild, Fig. 4). Die Wirkung ist also die entgegengesetzte wie oben. In Fig. 4 ist oberhalb und

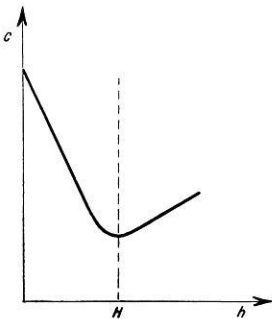


Fig. 3. Schallgeschwindigkeitsverlauf (Minimum)

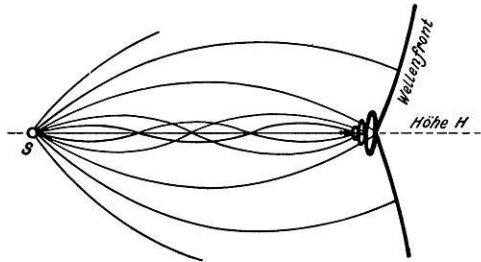


Fig. 4
Schematisches Schallstrahlenbild

unterhalb der Höhe H ein gleicher Schallgeschwindigkeitsgradient bezogen auf die Höhe H angenommen. Man könnte hier einen unmittelbaren Zusammenhang mit der Ullerschen „geführten Welle“ suchen (direkte Induktion), jedoch stößt die Anwendung des Brechungsgesetzes auf keinerlei Schwierigkeiten. Die gebrochenen Schallstrahlen, die zur U-Fläche zurückkehren, durchlaufen abwechselnd die beiden Schichten. Interessant ist an diesem Fall, daß der Schalleinsatz an der U-Fläche in gewissem Abstand von der Schallquelle große Ähnlichkeit haben muß mit dem Schalleinsatz, wie er bei ansteigender Schallgeschwindigkeitskurve infolge von Reflexion am Boden an der Erdoberfläche auftritt. Infolge der großen Schwierigkeiten der hierzu notwendigen Messungen liegen hierüber noch keine Beobachtungsergebnisse vor.

Fall a. Schallquelle am Erdboden. Ganz anders ist der Schallstrahlenverlauf, wenn sich die Schallquelle am Erdboden befindet. Sämtliche Schallstrahlen werden vom Boden aus nach aufwärts gebrochen (siehe z. B. 1., 4., 5.), wobei der Schallgeschwindigkeitsgradient maßgebend ist.

Dem Brechungsgesetz zufolge müßte man annehmen, daß die Schallstrahlen in der oberen Schicht (d. h. oberhalb der Höhe H) zwar in gewissem Maße zurückgebrochen werden, jedoch keinesfalls zum Erdboden zurückgelangen, falls nicht mit zunehmender Höhe die Schallgeschwindigkeit am Erdboden wieder erreicht wird. Eine Ähnlichkeit mit vorstehend behandeltem Fall hinsichtlich der Wirkung der Brechung, wie sie nach dem Brechungsgesetz hier erwartet werden müßte, ist im Gegensatz zu den beiden für das Schallgeschwindigkeitsmaximum untersuchten Fällen nicht festzustellen. Die Besonderheit dieses Falles ist offensichtlich.

Daß in Wirklichkeit die obige Annahme unter Zugrundelegung des Brechungsgesetzes falsch ist und die Schallfortpflanzung nach besonderen, bisher unerkannten Gesetzen vor sich geht, ist an Hand von Beobachtungsergebnissen dargelegt worden (s. auch 3a., 6a. und 6b.). Das Brechungsgesetz versagt hier also.

Ohne von diesen Beobachtungstatsachen Kenntnis zu haben, hat Uller seinerzeit die Vermutung ausgesprochen, daß die anomale Schallausbreitung auf die Erzeugung „geführter Wellen“ an Unstetigkeitsflächen zurückzuführen sei. Dies stößt auf mehrere Schwierigkeiten: Es gibt nämlich in der freien, bereits erforschten Atmosphäre keine idealen Unstetigkeitsflächen, d. h. im wahren Sinne des Wortes sprunghafte Änderungen der Schallgeschwindigkeit mit der Höhe, derart, daß man von einer Trennfläche zweier Mittel sprechen kann, die nach Uller wesentlich ist für die sogenannte Einfallinduktion.

Hiergegen ließe sich einwenden, daß an Stelle der U-Fläche eine Übergangsschicht von beschränkter Ausdehnung angenommen werden könnte.

Uller schreibt (7b.), es könnte sein, daß die untere Flanke einer an der isothermischen Schicht induzierten Welle allmählich den Boden erreicht und so den anomalen Schall hervorruft. Uller führt also die eigentliche Schallumkehr, ohne es direkt auszusprechen, auf Beugung zurück, denn Beugung ist zweifelsohne ein Effekt, der von der freien Wellenflanke ausgeht. Dieser Effekt muß aber ohne den Umweg über die geführte Welle unmittelbar erwartet werden, sobald die ganze Schallwelle in die akustische Umkehrschicht eingedrungen ist.

Es ist auffallend, daß einerseits in der Literatur die der Beugung entgegenwirkende Bildung eines Schallschattens durch Schallstrahlenbrechung in mathematischer Hinsicht anerkannt und durch die Erfahrung bestätigt wird, andererseits aber die Wiederauffüllung des Schallschattens durch gleichsinnig wirkende Beugung und Brechung zum Schallschatten hin bisher noch nicht diskutiert worden ist.

Oben wurde hervorgehoben, daß es keine idealen Unstetigkeitsflächen in der freien Atmosphäre gibt. In Fig. 5 ist ein Schallgeschwindigkeitsverlauf dargestellt, derart, wie er zu den hier untersuchten Erscheinungen Anlaß gibt. Hier läßt sich keine bestimmte Höhe für eine Trennfläche angeben. Nehmen wir die Trennfläche in der Höhe des Minimums an, so können wir auch nicht von verschiedenen Bewegungszuständen oder von einer Verschiedenheit zweier Mittel

sprechen, die doch wohl hauptsächlich möglichst nahe der Trennfläche gefordert werden müßte. In dieser Höhe ist der Schallgeschwindigkeitsgradient gleich Null, während für die ideale Unstetigkeitsfläche ein unendlich großer Schallgeschwindigkeitsgradient gefordert werden müßte.

Auch für einen Bereich, wo das Brechungsgesetz nicht anwendbar ist, muß der Brechung, die sich in einer Verlagerung der Wellenfront im inhomogenen Medium bemerkbar macht, Rechnung getragen werden.

Alle diese Unstimmigkeiten fallen fort, wenn wir die Beugung als Ursache der Schallumkehr auffassen. Verfolgen wir die Schallwelle auf ihrem Wege von der am Boden befindlichen Schallquelle:

Bei mit der Höhe abnehmender Schallgeschwindigkeit werden die Schallstrahlen nach oben gekrümmt, wobei die Schallwege nach dem Brechungsgesetz berechnet werden können. Der rechnerische Nachweis steht mit den Beobachtungsergebnissen in keinem Widerspruch. Es bildet sich nämlich in diesem Falle ein Schallschatten aus, der ohne das Vorhandensein eines festen Hindernisses allein durch Brechung zustande kommt. Je stärker die Brechung, desto näher rückt der Schallschatten an die Schallquelle heran. Hierüber sind die Anschauungen in der Literatur einheitlich.

Die kontinuierliche Brechung nach oben, d. h. die stetige Abnahme der Schallgeschwindigkeit mit der Höhe, ist anscheinend die Ursache des Schallschattens, denn durch eine einmalige oder mehrmalige Brechung in der Höhe an einer oder mehreren Schichtbegrenzungen wird kein Schallschatten hervorgerufen; vielmehr werden sämtliche Schichten vom Schall durchsetzt, wie die einfache Anwendung des Brechungsgesetzes ergibt.

Dringt nun eine Schallwelle im Laufe ihres Fortschreitens nach vorhergehender kontinuierlicher Brechung in eine akustische Umkehrschicht ein, so ist nicht zu erwarten, daß in dieser Schicht ebenso wie in der unteren Schicht ein ausgesprochener Schallschatten bestehen bleibt. Es ist vielmehr anzunehmen, daß die in die obere Schicht gelangte Schallwelle an ihrer Flanke gleichsam als neue Schallquelle wirkt. Der Schall wird gebeugt. Dies folgt aus dem Grundgedanken des Huygenschen Prinzips, wenn auch letzteres hinsichtlich seiner einzelnen theoretischen Erwägungen unzureichend ist (s. auch Uller, 7e., S. 130—132). Insbesondere ist im Falle der Beugung in einem stetig inhomogenen Mittel weder die Anwendung des Brechungsgesetzes möglich, noch kann die Darstellung der Schallausbreitung mit Hilfe der Huygen-Fresnelschen Elementarkugeln erfolgen (s. 6a., S. 246—249 und 7f., S. 71—73).

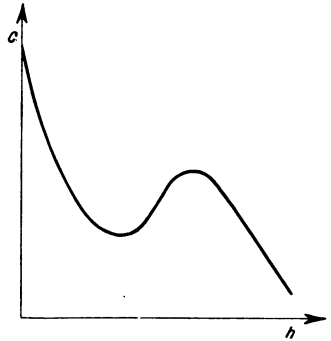


Fig. 5
Schallgeschwindigkeitsverlauf

Es ist von besonderer Bedeutung, daß die Schallwelle unter vorliegenden Verhältnissen an ihrer Flanke eine relativ große Intensität besitzt (s. 6a., S. 257 und 258), ebenso, daß wir es bei Explosionswellen mit sehr niederfrequenten Wellen zu tun haben.

Der Verlauf der gebeugten Schallstrahlen, die von oben in die untere Schicht zurückgelangen, muß dort der Brechung in demselben Maße unterliegen wie die aufsteigenden Schallstrahlen.

Nach diesen Anschauungen ist bei dem neuen Phänomen anomaler Schallfortpflanzung der wesentliche Faktor nicht die ausgeprägte Trennfläche zweier Schichten der Atmosphäre, sondern die Bedingung, daß in der oberen Schicht keine Aufwärtsbrechung stattfindet, wie in der unteren Schicht.

Die Realität der Ullerschen „geführten Welle“ wird damit nicht bestritten. Eine gewisse Ähnlichkeit in der Erscheinung der beiden Vorgänge besteht offenbar darin, daß auch die akustische Umkehrschicht in gewissem Sinne führend auf die gebeugten Wellen einwirkt. Daß aber hinsichtlich der Begleitumstände und Auswirkungen die beiden Vorgänge nicht identifiziert werden dürfen, ergibt sich aus obigem und den Beobachtungsergebnissen.

Die Eigenart der Erscheinungen liegt in der Inhomogenität der Atmosphärenschichten begründet.

D. Zusammenfassung. Man sieht, daß die Unstetigkeiten in der Schichtung der Atmosphäre und Trennflächen zweier Mittel (Erdoberfläche) bei der Schallausbreitung in der freien Atmosphäre in der Tat eine große Rolle spielen, ja sogar den Anlaß zu den meisten hierbei auftretenden auffälligen Erscheinungen geben. Es stellte sich weiter heraus, daß die Erscheinungen durchaus mit den bekannten Vorgängen der Brechung, Beugung und Reflexion erklärt werden können, wenn auch insbesondere die Kombination von Beugung und Brechung bisher noch von keiner Seite untersucht worden ist. Auch die anomale Schallfortpflanzung kann ohne irgendwelche Annahmen auf die Wirkung einer akustischen Umkehrschicht zurückgeführt werden, die in der Regel in der oberen Inversion mehr oder weniger ausgeprägt vorhanden ist.

Wenn man glaubt, von der gemessenen, anomalen Schallgeschwindigkeit auf die Temperatur in der Scheitelhöhe des Schallstrahles schließen zu können, so liegt diesen Berechnungen die Annahme zugrunde, daß dem Brechungsgesetz entsprechend die Schallgeschwindigkeit in der Scheitelhöhe des Schallstrahles mindestens so groß sein muß wie am Erdboden (s. z. B. 8b., S. 72). Diese Voraussetzung ist für besondere Fälle des Aufbaues der Atmosphäre nicht mehr gegeben, denn nach den vorliegenden Beobachtungsergebnissen genügt zur Rückkehr des Schalles zum Erdboden das Vorhandensein einer akustischen Umkehrschicht, d. h. einer Luftschicht, in welcher die Schallgeschwindigkeit mit der Höhe relativ zunimmt, ohne den Wert am Boden wieder zu erreichen.

An dem durch die Beobachtungsergebnisse über Schallausbreitung an akustischen Umkehrschichten klar erwiesenen neuen Phänomen der atmosphäri-

sehen Schallfortpflanzung kann man nicht mehr vorübergehen. Wenn es noch nicht gelungen ist, den physikalischen Vorgang exakt mathematisch darzustellen, so ist zu bedenken, daß auch die Schallbeugung bisher nur unter einfachsten Bedingungen auf Grund des Huygenschen Prinzips untersucht wurde.

Herrn Oberreg.-Rat Prof. Dr. Kölzer möchte ich für die Förderung, welche er meiner Arbeit zuteil werden ließ, auch an dieser Stelle herzlich danken.

Literatur

1. E. Emden: Beiträge zur Thermodynamik der Atmosphäre. Meteorol. Zeitschr. 1918.
2. Kammüller: Die rechnerische Berücksichtigung von Wind- und Temperaturveränderungen beim Schallmeßverfahren. Dissertation Hannover 1921.
- 3a. J. Kölzer: Beobachtungsergebnisse über Schallausbreitung auf nahe Entfernungen und Schlußfolgerungen zum Problem der anomalen Schallausbreitung. Berlin 1932. Veröffentlichungen des Preußischen Meteorologischen Instituts. Julius Springer.
- 3b. J. Kölzer: Beitrag zur Schallausbreitung in der Atmosphäre. Zeitschr. f. Geophys. 1928, Heft. 5.
- 3c. J. Kölzer: Zur Frage der anomalen Schallausbreitung. Zeitschr. f. Geophys. 1934, Heft 3/4.
4. R. Ladenburg und E. von Angerer: Über die Ausbreitung des Schalles in der freien Atmosphäre. Bericht über die Versuche des Kommandos der Artillerie-Prüfungskommission in Flandern. Berlin 1918.
5. Lord Rayleigh: Theory of sound, 1926, Band II.
- 6a. B. Sandmann: Beiträge zur Schallfortpflanzung, im besonderen zur Schallbeugung und anomalen Schallfortpflanzung. Gerlands Beitr. z. Geophys. **28** (1930).
- 6b. B. Sandmann: Beobachtungsergebnisse über den Einfluß der „akustischen Umkehrschicht“ auf die Schallausbreitung. Zeitschr. f. Geophys. 1934, Heft 3/4.
- 7a. K. Uller: Die elektromagnetische Welleninduktion I. Zeitschr. f. Phys. 1921/22.
- 7b. K. Uller: Über die Verzerrungswelleninduktion. Verhandl. d. Physikal. Ges. 1922, 8.
- 7c. K. Uller: Welleninduktion. Gerlands Beitr. z. Geophys. **19** (1928).
- 7d. K. Uller: Die Entwicklung des Wellenbegriffs I. Ebenda **18** (1927).
- 7e. K. Uller: Widersprüche gegen die Wellenkinematik. Physikal. Zeitschr. 1917.
- 7f. K. Uller: Die Entwicklung des Wellenbegriffs VI. Gerlands Beitr. z. Geophys. **31** (1931).
- 8a. F. J. W. Whipple: The Investigation of Air Waves from Explosions. Quarterly Journal, Nr. 240, July, 1931.
- 8b. F. J. W. Whipple: Researches on the Transmission of Air Waves to great Distances. Gerlands Beitr. z. Geophys. **24** (1929/30).