

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_0045

LOG Titel: Zur Frage der anomalen Schallausbreitung

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

7) H. Hergesell u. P. Duckert: Sprengungen zu Forschungszwecken. Ergebnisse der vom 1. April 1923 bis zum 30. September 1926 an verschiedenen Orten Deutschlands ausgeführten Versuche. Sonderdruck aus: Die Arbeiten des Preuß. Aeronaut. Observatoriums bei Lindenberg, 1927. ... Dasselbst 1929. Die Ergebnisse der Sprengungen zu Forschungszwecken in Deutschland vom 1. Oktober 1926 bis zum 31. März 1929.

8) Kammüller: Die rechnerische Berücksichtigung von Wind- und Temperaturveränderungen beim Schallmeßverfahren. Dissertation, Hannover 1921.

9a) J. Kölzer: Beobachtungsergebnisse über Schallausbreitung auf nahe Entfernungen und Schlußfolgerungen zum Problem der anomalen Schallausbreitung. Berlin 1932. Veröffentlichungen des Preuß. Meteorologischen Instituts. Julius Springer.

9b) Beitrag zur Schallausbreitung in der Atmosphäre. Zeitschr. f. Geophys. 1928, Heft 5.

10) R. Ladenburg u. 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.

11) Lord Rayleigh: Theory of sound, Bd. II, 1926.

12) B. Sandmann: Beiträge zur Schallfortpflanzung, im besonderen zur Schallbeugung und anomalen Schallfortpflanzung. Gerlands Beitr. z. Geophys. 28, 1930.

13) A. Wegener: Akustik der Atmosphäre, Lehrbuch der Physik, Müller-Pouillet, Bd. V, 1. 1928.

14a) F. J. W. Whipple: The Investigation of Air Waves from Explosions, Quarterly Journal, Nr. 240, July 1931.

14b) F. J. W. Whipple: Researches of the Transmission of Air Waves to great Distances. Gerlands Beitr. z. Geophys. 24, 1929—1930.

15) Aerologische Berichte, Zusammenstellung von Messungen aus der freien Atmosphäre. Herausgegeben im Auftrage des Reichsverkehrsministeriums von der Leitung des Flugwetterdienstes.

Zur Frage der anomalen Schallausbreitung

Von **Joseph Kölzer**, Berlin-Grünwald

Die neueren Erklärungsversuche über die Ursache der anomalen Schallausbreitung werden zusammengestellt. Es wird darauf hingewiesen, daß die Annahme einer hohen Temperatur in der oberen Atmosphäre mangels ausreichender Daten und widerspruchsvoller Registrierergebnisse nicht als Lösung betrachtet werden kann. Die Notwendigkeit, Registrierergebnisse für mittlere Entfernungen mit gleichzeitigen vollständigen meteorologischen Daten zu organisieren, wird als wichtigste Forderung betont und die Vermutung ausgesprochen, daß nach den bisherigen Ergebnissen auf nahe und mittlere Entfernung in bestimmten Fällen die anomale Schallausbreitung auf Beugung zurückgeführt werden muß.

Vorbemerkung. Der vorstehende Aufsatz bezieht sich auf den Stand der Arbeiten, wie er durch Veröffentlichungen in der Fachliteratur bis etwa 15. Januar 1934 bekannt geworden ist.

Die Frage der anomalen Schallausbreitung ist längere Zeit in der Fachliteratur nicht mehr behandelt worden. Dafür sind meines Erachtens mehrere

Gründe maßgebend gewesen. Ein Hauptgrund besteht darin, daß von dem überwiegenden Teil der Autoren diese Frage bereits als so weit geklärt betrachtet wird, daß an der Ursache der anomalen Schallausbreitung, nämlich einer starken Temperaturzunahme in der Stratosphäre in etwa 35 bis 40 km Höhe, nicht zu zweifeln sei. Diese zuerst von Wiechert (s. 1., S. 66) ausgesprochene Ansicht wird vornehmlich auch von Gutenberg (s. 2., S. 429 u. a. a. O.), Hergesell (s. 3., S. 38), Bartels (s. 4., S. 313), Weickmann (s. 5., S. 641), Duckert (s. 6., S. 283 u. a. a. O.), Whipple (s. 7., S. 334), Meisser (s. 8., S. 250) und Angenheister (s. 9., S. 436) vertreten. Ein Teil der Autoren, vor allem Hergesell, Angenheister, Meisser und Bartels, läßt zwar die bestehenden Unsicherheiten gelten, will aber doch dem oben genannten Temperatureinfluß als Ursache die größere Wahrscheinlichkeit zusprechen.

Ferner muß bemerkt werden, daß mit der Zunahme der Registrierergebnisse, die von der Sprengkommission der Notgemeinschaft veranlaßt und herausgegeben wurden, das Bild der anomalen Schallausbreitung im Laufe der Jahre nicht eindeutiger, sondern verwickelter geworden ist. Während bis vor kurzem die Ansicht, daß die hohe Temperatur in der Stratosphäre die wesentliche Ursache für die anomale Schallausbreitung sei, noch durch andere Vorgänge in der hohen Atmosphäre gestützt zu werden schien, z. B. durch die Ergebnisse der Ozonforschung, kann neuerdings nach den Untersuchungen von Dobson und Götz (s. 10., S. 456) dieses Gebiet nicht mehr als Stütze für jene Ansicht herangezogen werden.

In diesem Zusammenhang verdient hervorgehoben zu werden, daß Duckert in einem zusammenfassenden Referat über die hohe Atmosphäre am 5. Dezember 1933 im Berliner Zweigverein der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft seine jetzigen Anschauungen über die Ursachen der anomalen Schallausbreitung dahin präzisiert hat, daß das vorhandene Beobachtungsmaterial als Beweis für die alleinige Anwendbarkeit des Brechungsgesetzes nicht ausreichend ist. Duckert kam in diesem Vortrag sogar zu dem Schluß, daß die Lage bezüglich der Klärung der Ursachen der anomalen Schallausbreitung gegenwärtig geradezu hoffnungslos sei.

Die mit besonderen Hoffnungen und umfangreichen Vorbereitungen auch auf meteorologischem Gebiet unternommene Sprengung von Oldebroek vom 15. Dezember 1932, deren Auswertung das vorliegende Sonderheft dieser Zeitschrift gewidmet ist, hat nach dem bisher veröffentlichten Material nun gerade hinsichtlich der von mir als Kernpunkt des Problems betrachteten Frage, nämlich der Beibringung ausreichender meteorologischer Beobachtungen, leider nur wenig neue Gesichtspunkte gebracht. Nur aus Brüssel sollen höhere Windmessungen vorliegen, die aber bis zur Drucklegung dieser Arbeit noch nicht allgemein bekanntgegeben wurden. Im allgemeinen konnten die Windmessungen nicht über 4000 m hinausgetrieben werden. Die Zusammenstellung des Geophysikalischen Instituts Göttingen (s. 11., S. 3) läßt zwar wichtige Schlüsse für die Windverteilung in der Stratosphäre zu, diese sind aber nur qualitativer Natur, während es bei dem

Problem der anomalen Schallausbreitung sehr darauf ankommt, die Windschichtung mit der Höhe im einzelnen zu kennen. Die von mir wiederholt seit dem Jahre 1923 in den Vordergrund gestellte Forderung nach ausreichenden meteorologischen Daten (s. 12 a., S. 24, 12 b., S. 251, 12 c., S. 461) konnten also auch bei den neuesten Sprengungen und Messungen von keiner Registrierstation, bis auf eine am Rande des Registriergebietes liegende, erfüllt werden.

Die Wetterkarte vom 15. Dezember 1932 ergibt für die Windverteilung über Deutschland wesentliche Unterschiede, so daß den Windmessungen in Brüssel nur für ein begrenztes Gebiet Bedeutung zukommt. Ferner ergibt die angezogene Zusammenstellung des Göttinger Geophysikalischen Instituts (s. 11., S. 3) die wichtige Tatsache, daß die Laufzeiten der Einsätze aller früheren, vor dem 15. Dezember 1932 liegenden Sprengungen für eine bestimmte Richtung einer Konstanten, d. h. von der Entfernung unabhängigen Oberflächengeschwindigkeit entsprechen. Da diese gleich der Scheitelgeschwindigkeit ist, muß mithin auch die Scheitelgeschwindigkeit für alle Entfernungen konstant angenommen werden. Diese Ansicht deckt sich mit den Ausführungen von Sandmann in diesem Heft über die akustische Umkehrschicht.

In der theoretischen Betrachtung der Möglichkeit des Aufbaues der Atmosphäre bei der Sprengung vom 15. Dezember 1932 kommt der Göttinger Bericht zu dem Ergebnis, daß man durch plausible Annahmen über eine geeignete Windverteilung bis etwa 37 km Höhe und unter Festhalten an den tiefen Temperaturen in der Stratosphäre zu einem Resultat kommt, das sich mit der Beobachtung deckt. Das gleiche wird erreicht, wenn bei einer geringeren Zunahme des Windes mit der Höhe etwa von 32.5 km an eine Temperaturerhöhung angenommen wird, so daß die Umbiegung der Schallwellen etwa zwischen 35 und 45 km erfolgt. Hierzu ist zu bemerken, daß gerade diese Tatsache einer zweifachen Auslegung über den Aufbau der Atmosphäre, die für die Beispiele der Sprengung von Oldebroek in beiden Fällen Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung erzielt, meines Erachtens der beste Beweis dafür ist, wie notwendig die Forderung nach ausreichenden meteorologischen Unterlagen ist.

Die gesamten bisherigen Berichte gehen im übrigen von der Tatsache aus, daß das Brechungsgesetz in der Atmosphäre uneingeschränkt gilt. Es liegen aber in dem veröffentlichten Material der Sprengkommission auch für mittlere und nahe Entfernungen, z. B. für die Entfernung Jüterbog—Potsdam, genügend einwandfreie Registrierergebnisse vor, deren Deutung mit dem Brechungsgesetz nicht möglich ist und in den meisten Fällen leider nur daran scheitert, daß gleichzeitige und ausreichende meteorologische Unterlagen fehlen.

Nun soll nicht verkannt werden, daß nach dem gegenwärtigen Stand der meteorologischen Meßtechnik die Wahrscheinlichkeit, Temperatur- und vor allem Windmessungen aus Höhen über 30 km zu erhalten, noch ziemlich gering ist. Wenn dagegen in einigen Publikationen zu dieser Frage, so vor allem bei Gutenberg (s. 13., S. 221), das Bestreben hervortritt, trotz des mangelhaften Beweismaterials für die gefundenen Beobachtungsergebnisse Erklärungen als Ursachen

abzugeben, wie z. B. in seiner Deutung des Ergebnisses der Sprengung vom 19. Dezember 1928 (s. 13., Fig. 3), die durch keinerlei Erfahrungen oder Tatsachen der aerologischen Meßergebnisse gestützt werden können, so muß ich solche Erklärungen schon als Spekulation bezeichnen.

Betrachtet man die bisher veröffentlichten Ergebnisse der Sprengkommission unter dem Gesichtspunkt der Möglichkeit der Beibringung meteorologischer Daten und zunächst unter Festhalten an der Gültigkeit der bekannten Brechungsgesetze, so kann man in bezug auf die Kulminationshöhe und Entfernung der ausgesandten Schallwellen in der Bearbeitung eine Zweiteilung vornehmen, nämlich in solche Meßergebnisse, für die bei geeigneter Organisation der meteorologischen Seite ausreichende Daten in den meisten Fällen beigebracht werden können, und solche, für die (immer unter Voraussetzung der Gültigkeit der Brechungsgesetze) eine Beibringung ausreichender meteorologischer Daten nicht möglich ist. Als eine solche Kulminationshöhe betrachte ich z. B. die Höhe von 15000 m.

Dementsprechend würde man eine Trennung der Beobachtungsergebnisse von anomaler Schallausbreitung in solche vornehmen, bei denen die Kulminationshöhe höchstens 15000 m betrug, und in solche, bei denen sie höher gewesen sein kann. Die Höhe von 15000 m hat dann noch den weiteren Vorteil, daß hierfür der mittlere Zustand der Stratosphäre für alle Jahreszeiten bekannt ist, so daß man es also als sicher unterstellen kann, daß bis zu dieser Höhe in der Stratosphäre Temperaturinversionen nur von geringen Ausmaßen vorkommen und daß beispielsweise Temperaturen, wie sie in etwa 35 bis 40 km Höhe vermutet werden, in der unteren Stratosphäre einwandfrei nicht auftreten.

Unter den Beobachtungsergebnissen mit anomaler Schallausbreitung und höchstens 15000 m Kulminationshöhe kann man wieder zwei Untergruppen unterscheiden:

a) Beobachtungsergebnisse auf nahe Entfernungen bis etwa 20 km mit vollständigen meteorologischen Daten.

b) Mittlere Entfernungen bis etwa 80 km mit nahezu vollständigen meteorologischen Daten.

Wie sehr das ganze Problem mit dem komplizierten Aufbau der Tropo- und Stratosphäre zusammenhängt, ergibt sich nicht nur aus den teilweise überraschenden Beobachtungsergebnissen auf nahe Entfernungen (s. 14., Fig. 7, 20, 22), sondern auch aus den Erfahrungen über die Windströmungsverhältnisse eines größeren Bezirks. Wer wie ich in die Lage versetzt wurde, Serien von einwandfreien Höhenwindmessungen (d. h. solche aus Doppel- und Dreifachanschnitten) an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Jahreszeiten bearbeiten zu können, wobei unter Serien Aufstiege in Abständen von 2 bis 3 Stunden über mehrere Tage hinweg verstanden sind, die höchstens in den Nachtstunden kürzere Unterbrechungen erfuhren, der wird einen eindrucksvollen Einblick in die begrenzte örtliche, räumliche und zeitliche Gültigkeit jeder Windmessung gewinnen. Die

Grenzen dieser Gültigkeit liegen zurzeit noch nicht fest, können jedoch in erster Annäherung im Mittel auf etwa 2 bis 3 Stunden der Zeit nach, 10 bis 30 km der Entfernung nach und für die Höhe etwa für dieselbe Dauer von 2 bis 3 Stunden als unverändert angegeben werden. Liegen Serien von Windmessungen vor, so kann man je nach Anlage dieser Messungen schon mit ziemlicher Sicherheit inter- und extrapolieren. Liegt aber nur eine einzelne Messung vor, so ist es meines Erachtens unstatthaft, diese als Grundlage für örtlich, räumlich und zeitlich abweichende Schallregistrierungen zu benutzen, sofern die Abweichungen mehr betragen, als in obigen Mittelwerten angegeben ist. Nach diesen Ausführungen ergibt sich die Forderung nach ausreichenden meteorologischen Unterlagen in bezug auf die Windmessungen von selbst. Für die Temperaturmessungen in der Höhe gilt dieser örtlich und zeitlich begrenzte Bereich vor allem dort, wo Temperatursprünge an bestimmte Vorgänge in der Atmosphäre (Wolkenschichten, Windsprünge) gebunden sind. Immerhin ist es möglich, bei dem geringeren Einfluß der Temperatur auf das Schallregistrierergebnis mit einer der Jahreszeit entsprechend angenommenen mittleren Temperaturverteilung oft nur einen kleineren Fehler zu begehen.

Eine der bisher am unvollkommensten gelösten Aufgaben betrifft die Erfassung der Windverteilung nach der örtlichen Verteilung. Wenn hier mit angenommenen Werten doch brauchbare Resultate erzielt werden, so kann das auf die Tatsache zurückgeführt werden, daß die Veränderlichkeiten des Windes in der horizontalen Erstreckung wesentlich geringer sind als in der vertikalen Erstreckung bzw. als im zeitlichen Ablauf. Auf Grund dieser Tatsache werden auch Fehler in der Annahme der horizontalen Verteilung des Windes das Meßergebnis weit weniger fälschen, als unzulässige Annahmen über die zeitliche und räumliche Änderung des Windes.

Bei strengem Maßstab können daher nur bei Schallregistrierungen auf nahe Entfernungen vollständige meteorologische Unterlagen gefordert und erwartet werden. Solche liegen z. B. meiner oben zitierten Arbeit zugrunde (s. 14). Schon bei mittleren und erst recht bei großen Entfernungen der Schallregistrierung wachsen die Schwierigkeiten zur Herbeischaffung meteorologischer Daten erheblich. Ich bin überzeugt, daß alle sich scheinbar widersprechenden Registrierergebnisse, soweit sie als eindeutig aufgenommen gelten können, allein auf die Mannigfaltigkeit des Aufbaues der Atmosphäre zurückzuführen sind. Unter dem vorstehenden Maßstab betrachtet sind die meteorologischen Unterlagen der Schallregistrierungen auf mittlere und weite Entfernungen, soweit sie in Deutschland und außerhalb von Deutschland bisher veröffentlicht wurden, höchst mangelhaft. Diese Tatsache muß im Hinblick auf das Kernproblem, das meines Erachtens in der Aufdeckung des jeweiligen Zustandes der Atmosphäre bei der Ausführung von Sprengungen zu Schallregistrierungen besteht, einmal klar ausgesprochen werden. Wo bisher bei Schallregistrierungen ausreichende meteorologische Daten vorhanden waren, da hat sich das Bild der anomalen Schallausbreitung ganz anders dargestellt, als

es die eingangs erwähnte Hypothese der hohen Temperatur in der Stratosphäre erklärt. Dies scheint mir gegenwärtig für die nahen und einen Teil der mittleren Entfernungen der Schallregistrierung erwiesen. Außer auf die Ergebnisse meiner eigenen Arbeit (s. 14.) verweise ich hierbei auf die Arbeit meines Mitarbeiters Sandmann in diesem Heft, der aus dem reichhaltigen Beobachtungsmaterial der Sprengkommission diejenigen Fälle für mittlere Entfernungen ausgesucht hat, bei denen die meteorologischen Daten als angenähert ausreichend bezeichnet werden können. Es sind zwar nur wenige Fälle, aber sie sind um so wertvoller, als sie neue Gesichtspunkte zur Frage der anomalen Schallausbreitung beibringen und im übrigen sich an meine Ergebnisse für nahe Entfernungen anschließen. Gerade die Widersprüche mit der Hypothese der hohen Stratosphärentemperatur, wie sie sich aus einwandfreien Registrierergebnissen auf mittlere und weite Entfernungen vielfach darbieten, sind in der Literatur infolge der Unmöglichkeit einer Erklärung unter Zuhilfenahme der angezogenen Hypothese bisher nicht behandelt worden. Die Schallregistrierergebnisse für die relativ kurze Entfernung Jüterbog—Potsdam (37 km) lassen selbst bei Fehlen meteorologischer Daten spekulative Ausflüge in das Gebiet der hohen Stratosphäre nicht zu, da die Laufzeiten unter Annahme des Brechungsgesetzes nur eine Kulminationshöhe bis zu 15000 m erlauben.

Ein Erklärungsversuch der komplizierten Potsdamer Registrierergebnisse wurde in der Literatur bisher nicht unternommen. Nach den Ausführungen von Sandmann ist an der Realität der Registrierungen nicht zu zweifeln, ferner ebensowenig daran, daß es sich wie in den von mir behandelten Fällen auf nahe Entfernungen (s. 14.) um anomale Schallausbreitung handelt. Der hierbei bekannte Aufbau der Atmosphäre hat gezeigt, daß das Brechungsgesetz in diesem Falle nicht angewendet werden kann, sondern daß die Registrierergebnisse nur durch Beugung erklärt werden können. Die Erklärung durch Beugung hat früher schon Nölke (s. 15.) versucht. Auf die wesentlichen Unterschiede seiner übrigens nicht durch experimentelle Versuche erhärteten Hypothese und den Ergebnissen, wie sie sich aus den Arbeiten von Sandmann und mir darstellen, ist in einer früheren Arbeit von Sandmann (s. 16.) hingewiesen worden.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß auf nahe und mittlere Entfernungen anomale Schallausbreitung auftreten kann, die bei vollständigen meteorologischen Daten über den Aufbau der Atmosphäre sich nur durch Beugung erklären läßt. Es liegt nahe, diese durch Beobachtungen gestützte Tatsache auch für weite Entfernungen gelten zu lassen. Wenn mangels ausreichender meteorologischer Daten heute dieser Beweis auf Grund der vorhandenen Schallregistrierergebnisse noch nicht geführt werden kann, so muß umgekehrt gesagt werden, daß die Annahme der Hypothese von der hohen Temperatur in der Stratosphäre nicht nur keinerlei Parallelen auf nahe und mittlere Entfernungen besitzt, sondern vielfach erhebliche Widersprüche zeitigt, die meines Erachtens nur durch Abgehen von der Allgemeingültigkeit des Brechungsgesetzes gelöst werden können. Als wichtigste Aufgabe der Sprengkommission zur Lösung dieser Frage betrachte ich

daher die Ausführung weiterer Sprengungen unter Organisation vollständiger meteorologischer Daten, wobei zunächst einmal die Höhe von 15000 m als Mindestforderung in Aussicht genommen werden könnte. Hinsichtlich der Durchführung dieser meteorologischen Organisation kann ich auf meine Vorschläge in der Sitzung der Sprengkommission vom 22. Februar 1933 verweisen.

Literatur

1. E. Wiechert: Bemerkungen über die anomale Schallausbreitung in der Luft. Nachr. d. Ges. f. Wiss. zu Göttingen, math.-phys. Kl. 1925.
2. B. Gutenberg: Der Aufbau der Atmosphäre. Meteorol. Zeitschr. 1926, Heft 11.
3. H. Hergesell: Die Erforschung der Schallausbreitung in der Atmosphäre. Deutsche Forschung, Heft 4, 1928.
4. J. Bartels: Die höchsten Atmosphärenschichten. Die Naturwissensch. 16, 1928, Heft 18.
5. L. Weickmann, Abschnitt Akustik im Lehrbuch der Geophysik von Gutenberg. Gebr. Borntraeger, Leipzig 1928.
6. P. Duckert: Über die Ausbreitung von Explosionswellen in der Atmosphäre. Ergebnisse der kosmischen Physik 1931. Band I.
7. J. W. Whipple: Die Erforschung von Explosionsluftwellen. Quarterly Journal, Juli 1931, Nr. 240.
8. O. Meisser: Luftseismik, im Handb. d. Experimentalphys. Bd. XXV, 3, S. 211—251.
9. G. Angenheister: Die Höhe der Polarlichter und die Temperatur der oberen Atmosphäre. Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, Dezember 1932.
10. P. Götz: Neue Arbeiten zum Ozonproblem. Meteorol. Zeitschr. 50, 1933, Heft 12.
11. G. Angenheister, H. Jung u. H. Regula: Stand der Forschung über die Schallausbreitung in der Atmosphäre. Zusammenstellung des Geoph. Inst. in Göttingen, der Sprengkommission vorgelegt am 4. Mai 1933.
- 12a. J. Kölzer: Die Schallausbreitung in der Atmosphäre und die äußere Hörbarkeitszone. Meteorol. Zeitschr. 1925, Heft 12.
- 12b. J. Kölzer: Beitrag zur Schallausbreitung in der Atmosphäre. Zeitschr. f. Geophys. 1928, Heft 5.
- 12c. J. Kölzer: Einige grundsätzliche Bemerkungen zur Frage der Schallausbreitung auf große Entfernungen. Meteorol. Zeitschr. 1929, Heft 12.
13. B. Gutenberg: Schallgeschwindigkeit und Temperatur in der Stratosphäre. Gerlands Beitr. 27, 1930.
14. J. Kölzer: Beobachtungsergebnisse über Schallausbreitung auf nahe Entfernung und Schlußfolgerungen zum Problem der anomalen Schallausbreitung. Veröffentl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 10, Nr. 1, 1932.
15. F. Nölke: Zur Erklärung der anomalen Schallfortpflanzung. Phys. Zeitschr. 1927, Nr. 8.
16. B. Sandmann: Beiträge zur Schallfortpflanzung, im besonderen zur Schallbeugung und anomalen Schallfortpflanzung. Gerlands Beitr. z. Geophys. 28, 1930.