

Werk

Jahr: 1928

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:4

Werk Id: PPN101433392X_0004

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X_0004 | LOG_0050

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

$T = 30 \text{ sec}$, $a = 10 \mu$ oder $T = 60 \text{ sec}$, $a = 20 \mu$ ist $E = \text{etwa } 0.4 \cdot 10^{-7} \text{ Erg}$, für $T = 200 \text{ sec}$, $a = 100 \mu$ ist $E = \text{etwa } 10^{-7} \text{ Erg}$. Dagegen ist für $T = 7 \text{ sec}$, $a = 5 \mu$ $E = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Erg}$. Bleibt die Temperatur unverändert oder steigt sie gar, so nimmt die Bewegung selbst dann ab, wenn noch erheblicher Frost vorhanden ist. Die Bewegung ist also nur kräftig bei Frost und fallender Temperatur. Irgendwelche andere meteorologischen Elemente, die bisher untersucht wurden (Luftdruck, Brandung, Wind), beeinflussen die Bewegung nicht. Auch ein Einfluß der Schneedecke war nicht feststellbar. Während ein Vergleich mit der Temperatur der Erde an der Oberfläche und in 10 cm Tiefe ähnlichen Parallelismus wie oben ergab, zeigte sich keinerlei Zusammenhang zwischen der Unruhe und der Temperatur in 50 cm oder größerer Tiefe. Es scheint hiernach, daß nur das Gefrieren der allerobersten Bodenschichten an der Station oder in ihrer Umgebung (100 bis 200 km) diese Bewegungen verursacht. Eine direkte Beeinflussung der Instrumente scheint unter den angegebenen Verhältnissen ausgeschlossen zu sein.

Beitrag zur Schallausbreitung in der Atmosphäre.

(Forschungsarbeit mit Unterstützung der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft.)

Von **Joseph Kölzer**, Berlin. — (Mit vier Abbildungen.)

Die Notwendigkeit der besseren Berücksichtigung der Witterungseinflüsse bei allen Untersuchungen über Schallausbreitung in der Atmosphäre wird betont. Die Grundlage jeder Forschung bildet die einwandfreie Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in freier Luft, die gegenwärtig noch ein Problem bildet. Die Schwierigkeit liegt bei den Witterungseinflüssen. Es wird ein neues Verfahren gezeigt, welches unter Voraussetzung vollständiger meteorologischer Daten eine bessere Erfassung und Berücksichtigung der Witterungseinflüsse gestattet. Aus dem Verlauf der Schallgeschwindigkeitskurve können bestimmte Gesetze der Schallausbreitung abgelesen werden. Zum Schluß wird eine Methode vorgeschlagen, um die Schallgeschwindigkeit in freier Luft experimentell neu zu bestimmen, da ihr wahrscheinlicher Wert nach Untersuchungen des Verfassers näher bei 332 m/sec (statt 330.7) liegt.

Seit 1923 wird von mir die Forderung vertreten, bei Untersuchungen über Schallausbreitung auf weite Entfernungen den Witterungseinflüssen mehr Beachtung zu schenken. Die Witterungseinflüsse begünstigen oder beeinträchtigen, je nach der Ausbreitungsrichtung des Schallstrahles, dessen Verlauf wesentlich. Eng damit zusammen hängt die Frage der Intensitätsverteilung der Schallenergie in verschiedenen Richtungen, über die wir bisher im wesentlichen nur qualitative Vorstellungen besitzen. Das Studium der Schallausbreitung auf nahe Entfernungen (bis etwa 25 km), muß dieser Frage ganz besondere Beachtung schenken. Die Witterungseinflüsse spielen ferner eine wichtige Rolle bei der exakten Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in freier Luft, eine

Frage, die meines Erachtens bis in die neueste Zeit offen ist, wie folgende Werte der Schallgeschwindigkeit beweisen: Thiesen (1908) 331.9, Ladenburg und Angerer (1917) 330.7, Esclangon (1918 bzw. 1925) 330.9, Ecole Militaire (1925) 332.0 m/sec. Die exakte Ermittlung der Schallgeschwindigkeit in freier Luft ist jedoch die Voraussetzung für jede weitere Forschung auf dem Gebiet der Schallausbreitung in der Atmosphäre.

Die in der starken Veränderlichkeit der Witterungseinflüsse begründeten Schwierigkeiten in der exakten Bestimmung dieses Wertes sind bekannt, müssen aber gelöst werden. Alle bisher empirisch ermittelten Werte der Schallgeschwindigkeit in freier Luft besitzen nur den Anspruch auf eine mehr oder weniger große Wahrscheinlichkeit. Den aus theoretischen Überlegungen, vor allem auch hinsichtlich des angenommenen Zustandes der Atmosphäre gewonnenen Werten kann in dieser wichtigen Frage ohne empirische Bestätigung keine ausschlaggebende Bedeutung beigemessen werden. Ferner sei noch darauf hingewiesen, daß die aus Versuchen über größere Entfernungen als 2 km ermittelten Schallgeschwindigkeiten immer nur einen Mittelwert darstellen, bezogen auf die Horizontalentfernung Schallquelle—Aufnahmeapparat. Nur auf kurze Entfernung bis zur Grenze von höchstens 2 km stimmt die gemessene Schallgeschwindigkeit mit der wahren, wie sie sich aus dem Schalltransport in freier Luft ergeben würde, genügend überein, genügend insofern, als die Abweichungen im Hinblick auf die Meßgenauigkeit unserer Aufnahmeapparate praktisch vernachlässigt werden können.

Als wahrscheinlichster Wert der Schallgeschwindigkeit in freier Luft gilt gegenwärtig der 1917 von Ladenburg und Angerer bestimmte Wert für 0 Grad, trockene Luft und ruhige Atmosphäre mit 330.7 m/sec. Das Studium der von den Genannten benutzten Methode zeigt, daß wesentliche Fortschritte gegen früher gemacht wurden, daß überhaupt zum erstenmal auch die Witterungseinflüsse gründlicher erfaßt und berücksichtigt wurden; dennoch kann dieser Teil der Untersuchungen noch nicht befriedigen, z. B. wird die Temperatur in der Höhe vernachlässigt. Kammüller hat in seiner Dissertation 1920 auf die in den Witterungseinflüssen liegenden Schwierigkeiten für das vorliegende Problem eingehend hingewiesen und auch Verbesserungen vorgeschlagen, die zwar eine verbesserte Berücksichtigung der Witterungsfaktoren enthielten, jedoch die in der Variabilität dieser Faktoren liegenden Schwierigkeiten noch nicht beseitigten, außerdem ist das Verfahren für die Praxis zu kompliziert.

Das im nachfolgenden beschriebene neue Verfahren zur Berücksichtigung der Witterungseinflüsse gestattet nun nicht nur eine einfache und wirksame Erfassung der Witterungseinflüsse, sondern gibt auch interessante Einblicke in die Zusammenhänge zwischen Witterungseinflüssen und Schallausbreitung. Folgende Faktoren bestimmen wesentlich den Verlauf des Strahlenganges: Die Temperaturverteilung am Boden und in der Höhe, die Richtung des Schalltransportes, Windrichtung und Geschwindigkeit in bezug auf die Schallrichtung, ebenfalls am Boden und in der Höhe, die Entfernung des Aufnahmeapparates

von der Schallquelle. Unter allen möglichen Schallwegen gibt es einen ausgezeichneten, den des ersten Einsatzes, dessen Verlauf durch den jeweiligen Gesamtzustand der Atmosphäre z und durch die Entfernung e bedingt ist. Den Verlauf haben wir uns als eine Kurve mit variablen Schallgeschwindigkeiten

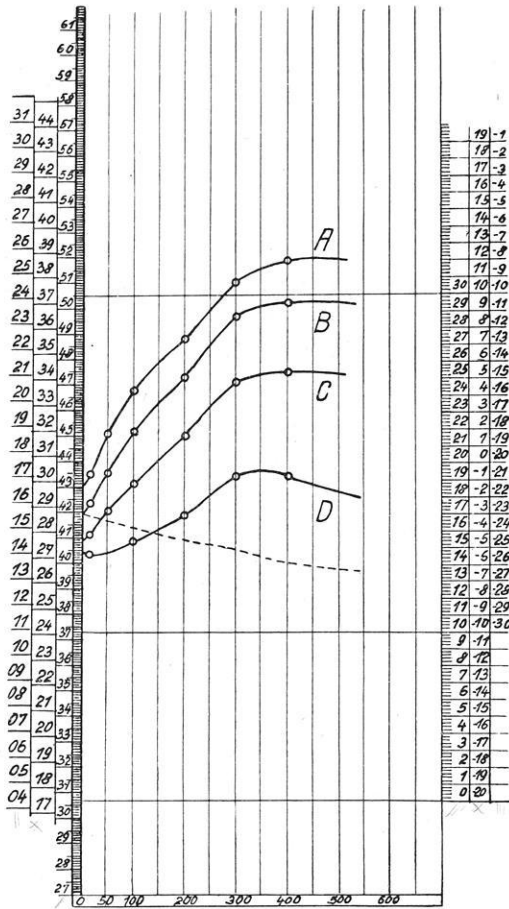


Fig. 1.

bis zur Kulminationshöhe h vorzustellen, wobei immer noch die vereinfachende Annahme gemacht werden muß, daß die Schallgeschwindigkeiten auf dem aufsteigenden und absteigenden Ast der Kurve in gleicher Weise verteilt sind. Diese einschränkende Bedingung soll den Geltungsbereich dieser Betrachtungsweise zunächst auf nahe Entfernungen bis etwa 25 km beschränken. Sind h_1 bis h_n die Höhenabschnitte oder Zonen, die der Schallstrahl auf seinem Wege zu durchheilen hat, so soll bei genügender Kleinheit dieser Zonenhöhen weiter die Voraussetzung gemacht werden, daß die Schallgeschwindigkeit von Zone zu Zone sich stetig ändert. Streng genommen wäre diese Bedingung nur für Zonen von der Größenordnung Δh erfüllt; wie die praktische Rechnung jedoch ergeben hat, ist sie mit genügender Annäherung auch noch für Zonen von 50 m Dicke erfüllt. Dies erleichtert sehr wesentlich das Rechenverfahren. Die aus

dem Gesamtstrahlverlauf sich ergebende Schallgeschwindigkeit stellt natürlich die mittlere Schallgeschwindigkeit in m/sec bzw. die Schallgeschwindigkeit über Grund für diese Entfernung dar.

Nach den vorausgehenden Ausführungen ist also der Weg des Schallstrahles in der Atmosphäre $s = f(z, e)$, wobei z die Gesamtheit der Witterungseinflüsse umfaßt, die für eine Schicht von je 50 m Dicke als konstant angenommen wird. Denkt man sich nun den Schallstrahl nacheinander die verschiedenen Höhengschichten in einer bestimmten Richtung durchheilen, so nimmt er die den z_n und h_n

entsprechenden Geschwindigkeiten c an, also $c = f(z, h)$, wobei natürlich sein Verlauf durch das Brechungsgesetz bestimmt wird. Aus dieser Beziehung ergibt sich folgende einfache Konstruktion der Schallgeschwindigkeitskurve einer Richtung:

Nachdem zuvor nach der bekannten Methode die Windkomponente in der Schallrichtung ermittelt wurde, wird die Schallgeschwindigkeitskurve gezeichnet. Auf einem Auswertblatt (siehe Fig. 1) als Koordinatensystem sind auf der Abszisse die Höhen als Parallelen zur Ordinate im Abstand von 1 cm abgetragen, wobei als Maßstab 1 cm = 50 m Höhe gewählt wurde. Entsprechend der Theorie über die Schallausbreitung auf nahe Entfernungen (Emden u. a.) wurde als maximale Höhe 600 m angenommen. Auf der Ordinate am linken Rande ist die Schallgeschwindigkeit in drei Skalen abgetragen, und zwar im Maßstab 1 cm = 1 m/sec. Die Ordinate umfaßt einen Bereich der Schallgeschwindigkeit von etwa 60 m/sec (300 bis 360), entsprechend den mittleren Verhältnissen in Bodennähe. Am rechten Rande auf der Ordinate befinden sich drei Temperaturskalen im Maßstab 0,635 cm = 1 Grad Temperatur; die zueinander gehörenden Skalen der Schallgeschwindigkeit links und der Temperatur rechts sind durch gleiche Farben gekennzeichnet. Hierbei ist eine mittlere Feuchtigkeit von 70 % angenommen worden (die Nichtberücksichtigung der Feuchtigkeit würde maximal bei 0 Grad einen Fehler von 0.3 m/sec bedingen). Die drei Skalen gelten für die entsprechenden Jahreszeiten, um das Auswertblatt nicht unnötig lang zu machen. Die bei 330.7 m/sec gezogene Nulllinie entspricht der Temperatur von 0 Grad und stellt also zugleich eine Schallgeschwindigkeitskurve für diese Temperatur und für Windstille dar.

Man zeichnet zunächst die Temperaturkurve aus den gemessenen meteorologischen Daten ein. Mit dem Zirkel trägt man dann für jede Höhe die Windgeschwindigkeitskomponente ab, und zwar in demselben Maßstab wie die Schallgeschwindigkeit. Die Abtragung erfolgt bei Mitwind von der Temperaturkurve aus nach oben hin, bei Gegenwind nach unten hin. Die gefundenen Punkte werden durch einen stetigen Kurvenzug verbunden. Bei Mitwind erhalten wir daher im allgemeinen eine ansteigende Kurve = steigende Schallgeschwindigkeiten mit der Höhe, bei Gegenwind umgekehrt. Wie die Untersuchung von mehreren 100 Fällen bisher ergab, hört in der Mehrzahl aller Fälle (mehr als 80 %) die Steigung bei Mitwind schon in 200 bis 300 m Höhe auf. Jede Richtung ergibt in der Regel auch eine andere Schallgeschwindigkeitskurve. In Fig. 1 sind z. B. vier verschiedene Schallgeschwindigkeitskurven für denselben atmosphärischen Zustand gezeichnet. Das wesentlich Neue an dieser Darstellung besteht in der gleichzeitigen Erfassung sämtlicher Witterungseinflüsse am Boden und in der Höhe durch die Schallgeschwindigkeitskurve. Um aus diesen Kurven die für die Praxis wichtige Größe der Schallgeschwindigkeit über Grund zu erhalten, wird folgender Weg eingeschlagen: Denkt man sich für die gewählten Schichten die Schallgeschwindigkeiten gesetzmäßig mit der Höhe anwachsen, dann kann man für eine bestimmte Entfernung eine der-

artige Verteilung der Schallgeschwindigkeiten (= Schar von Schallgeschwindigkeitskurven) vornehmen, daß der abgehende Strahl aus jeder Höhe zu derselben Zeit am Empfangsort ankommt, als wenn er sich mit der Anfangsgeschwindigkeit horizontal über Grund fortgepflanzt hätte. Der Anfangswert der Schallgeschwindigkeitskurve ist also in diesem Falle identisch mit dem mittleren

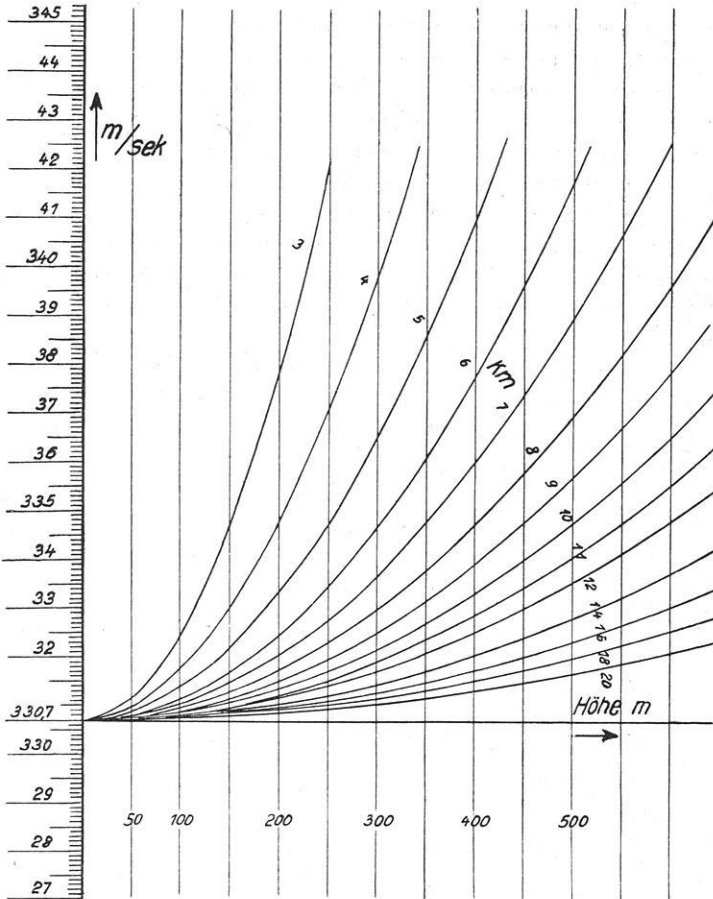


Fig. 2.

Werte der Schallgeschwindigkeit jeder dieser Kurven über Grund. Der Anfangswert wurde daher als Leitwert bezeichnet, die Kurve gleicher Schallzeit als Umwegkurve. Sie ist die Einhüllende aller Schallgeschwindigkeitskurven dieser Eigenschaft. Die Umwegkurve ist also auch eine Schallgeschwindigkeitskurve, aber mit den Eigenschaften, daß sie nicht nur einem bestimmten atmosphärischen Zustand $\alpha = f(w, t)$ entspricht, sondern auch einem bestimmten

atmosphärischen Gradienten $g = f(dw, dt)$. Außerdem gilt sie nur für eine bestimmte Entfernung. Durch diese Definition ist die Umwegkurve unter den vielen Möglichkeiten des Schalltransportes zwischen zwei Punkten eindeutig ausgezeichnet. Wie die weitere Untersuchung ergab, stellt die Umwegkurve eine Parabel zweiter Ordnung dar. In Fig. 2 ist die Schar der Umwegkurven für die Entfernungen von 3 bis 20 km dargestellt, wobei als Leitwert der empirisch ermittelte Wert von Ladenburg und Angerer mit 330.7 m/sec zugrunde gelegt wurde. Strenggenommen haben die Umwegkurven für einen anderen Leitwert auch einen etwas anderen Verlauf, die Abweichungen sind jedoch für die vorkommenden Schallgeschwindigkeiten so gering, daß sie praktisch vernachlässigt werden können und jedenfalls für die nachfolgenden Ausführungen ohne Belang sind.

Aus der Umwegkurve einer bestimmten Entfernung und der Schallgeschwindigkeitskurve für einen gegebenen atmosphärischen Zustand wird der Leitwert des ersten Einsatzes für diese Entfernung auf folgende Weise ermittelt: Bringt man die beiden Kurven zur Berührung, indem man die Umwegkurve (z. B. als Schablone) längs der Ordinaten an die gegebene

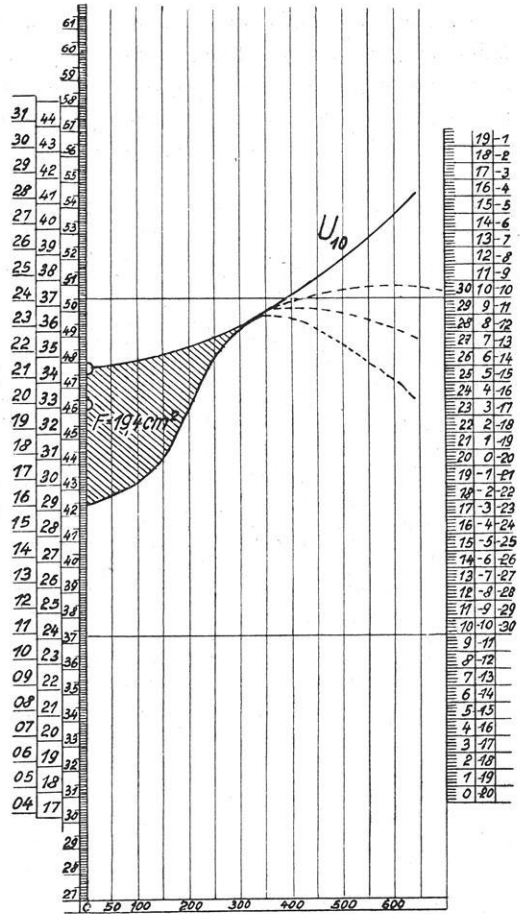


Fig. 3.

Schallgeschwindigkeitskurve herauführt, so entsteht in allen Fällen, in denen die Schallgeschwindigkeitskurve stärker ansteigt als die Umwegkurve, eine Fläche zwischen beiden Kurven (siehe Fig. 3). Nur der Berührungspunkt ist gemeinsam. Würde die Schallgeschwindigkeitskurve bis zu diesem dem Verlauf der Umwegkurve gefolgt sein und dann abfallen, so würde, ihr Leitwert mit dem der Umwegkurve identisch sein, da die eventuell aus dem abfallenden Kurventeil, d. h. aus höheren Schichten ankommenden Schallstrahlen später ankommen

müssen. Fällt der aufsteigende Teil der Schallgeschwindigkeitskurve nicht mit dem Verlauf der Umwegkurve zusammen, dann muß ihr Leitwert zwischen ihrem Anfangswert und dem Leitwert der betreffenden Umwegkurve liegen. Der Leitwert jeder Schallgeschwindigkeitskurve läßt sich bei gegebenem x und c rechnerisch ermitteln. Die Untersuchung ergab, daß er auch als Funktion des Leitwertes der Umwegkurve und der von dieser und der Schallgeschwindigkeitskurve gebildeten Fläche dargestellt werden kann, also $c_e = f(c_u, F)$; c_u = Leitwert der Umwegkurve. Die mannigfache Gestalt, welche die Fläche annehmen kann als Folge der variablen x , machte die rechnerische Nachprüfung für eine große Zahl von Fällen erforderlich. Mit einem von meinem Mitarbeiter

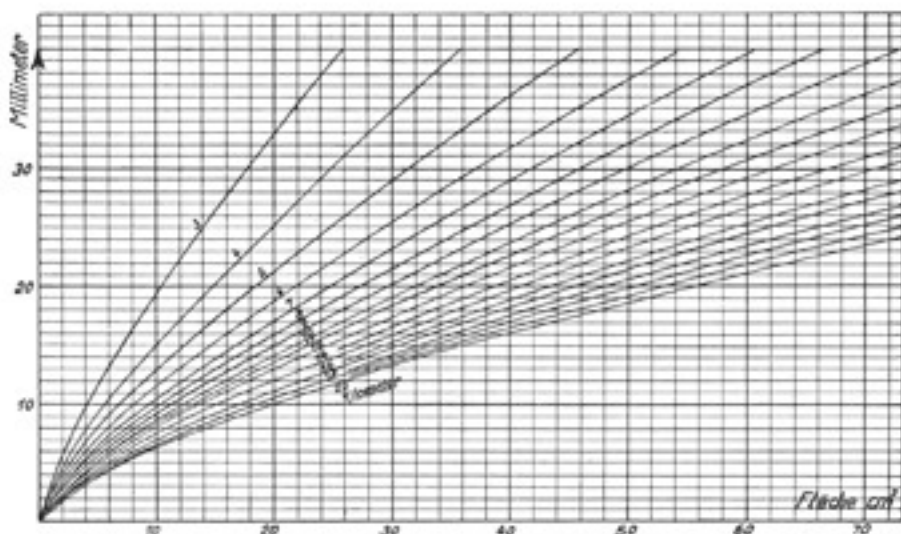


Fig. 4.

auf diesem Gebiet, Dipl.-Ing. Sandmann, konstruierten Auswertegerät läßt sich der Leitwert an Hand der errechneten Flächenkorrekturtafel (siehe Fig. 4) rasch ermitteln, und zwar wird die Verbesserung aus den Werten der Fläche in Quadratcentimeter für eine bestimmte Entfernung c in Millimeter ($1 \text{ mm} = \frac{1}{10} \text{ m/sec}$ Schallgeschwindigkeit) der Tafel entnommen. Die Verbesserung, vom Leitwert der Umwegkurve subtrahiert, ergibt den Leitwert der Schallgeschwindigkeitskurve für eine bestimmte Entfernung c und bei gegebenem x .

Das Studium der Schallgeschwindigkeitskurven gab interessante Einblicke in die Vorgänge beim Schalltransport auf nahe Entfernungen. Folgende Erfahrungssätze können mitgeteilt werden, wobei bemerkt wird, daß die Schallenergie einer schwachen Sprengung bis zu höchstens 1 kg Sprengladung entstammte:

1. Von einer Schallquelle kommt an einer Aufnahme Stelle nur eine beschränkte Anzahl von Schallstrahlen an, da durch den jeweiligen

- atmosphärischen Zustand eine bestimmte Auswahl der Schallstrahlen getroffen wird.
2. Unter den ankommenden Strahlen kommen mehrere mehrfach reflektierte und höchstens ein einfach reflektierter Strahl vor; letzterer repräsentiert den ersten Einsatz (Leitwert bzw. kürzeste Schallzeit).
 3. Wenn eine Schallgeschwindigkeitskurve stetig abfällt (Gegenwind), dann kommen nur in den nächsten Entfernungen bis etwa 5 km Schallstrahlen an, darüber hinaus nichts mehr.
 4. Wenn eine Schallgeschwindigkeitskurve zuerst abfällt und mit der Höhe (150 bis 200 m) wieder ansteigt, oder auch nur horizontal verläuft (Inversion oder Winddrehung bzw. beides), dann tritt je nach dem Werte des Gradienten g in 4 bis 7 km von der Schallquelle eine Zone des Schweigens auf. Darüber hinaus kommen wieder Schallstrahlen an, die sogar stärkere Intensität zeigen als die in 3 bis 4 km ankommenden Strahlen. Dieser Vorgang ist so zu erklären, daß die in der Höhe liegende Schicht wie eine Sammellinse auf die Schallstrahlen wirkt.
 5. Wenn eine Schallgeschwindigkeitskurve stetig ansteigt oder bis zu einer mittleren Höhe von 150 bis 200 m ansteigt und dann abfällt, dann kommen auf alle Entfernungen Schallstrahlen an, unter denen stets ein ausgezeichneter erster Einsatz vorhanden ist.

Es ließen sich diesen Tatsachen weitere anfügen, doch möge das Mitgeteilte zunächst genügen. Das Ergebnis zeigt, welche Vorteile die neue Methode durch die wirksame Erfassung der komplexen Witterungseinflüsse besitzt. Sie gestattet auch eine Nachprüfung des empirisch gefundenen Wertes der Schallgeschwindigkeit in freier Luft. Wie dargelegt, beruht dessen Unsicherheit in erster Linie auf der Schwierigkeit der Berücksichtigung der Witterungseinflüsse. Die Nachprüfung ergab mit hoher Wahrscheinlichkeit, daß der wahre Wert mehr bei 332 als bei 330.7 m/sec liegt. Jedenfalls erscheint es mir unbedingt notwendig, daß diese Frage mit Unterstützung der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft neu geprüft wird. Ich schlage folgendes Verfahren vor: In Anlehnung an vorhandene Funktürme, welche die Aufstellung von Aufnahmeapparaten in verschiedenen Höhen gestatten, wird ein Meßsystem kreisförmig angelegt (wie es z. B. früher von K. Becker für akustische Untersuchungen in Analogie zu seinen auf Rossitten 1918 durchgeführten ballistischen Versuchen gefordert wurde). In verschiedenen Richtungen wird die Schallgeschwindigkeit gemessen, wobei gleichzeitig vollständige meteorologische Daten im Sinne des oben definierten z laufend vorhanden sein müssen. Unter schrittweiser Vergrößerung der Entfernungen könnten aus den vertikal auf den Meßtürmen übereinander verteilten Aufnahmestellen wichtige Aufschlüsse über Schalltransport und Verteilung der Schallenergie in den einzelnen Azimuten gewonnen werden. Meines Erachtens würden diese Untersuchungen auch wertvolle Ergebnisse für die Erforschung der Schallausbreitung auf weite Entfernungen liefern.