

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_0042

LOG Titel: Berechnung der Laufzeitkurven des anormalen Schalles für windstille Atmosphäre und Vergleich mit der Laufzeitkurve der Oldebroek-Sprengung vom 15. Dezember 1932

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

Berechnung der Laufzeitkurven des anormalen Schalles für windstille Atmosphäre und Vergleich mit der Laufzeitkurve der Oldebroek-Sprengung vom 15. Dezember 1932

Von **Heinrich Jung**, Göttingen — (Mit 6 Abbildungen)

Es werden unter Annahme verschiedener Schallgeschwindigkeits- bzw. Temperaturverteilungen in der Atmosphäre theoretische Laufzeitkurven für den anormalen Schall berechnet und mit den experimentellen Ergebnissen der Oldebroek-Sprengung vom 15. XII. 32 verglichen. Es zeigt sich, daß die Annahme windstillere Atmosphäre zur Deutung der Beobachtungen nicht ausreicht und daß es mit dem vorliegenden Material noch nicht möglich ist, zu entscheiden, ob Reflexion an einer Schichtgrenze oder stetige Umbiegung der Schallstrahlen in der Stratosphäre stattfindet.

Die Laufzeitkurve des anormalen Schalles im Ostprofil der Oldebroek-Sprengung vom 15. Dezember 1932*) weist folgende charakteristischen Merkmale auf:

1. Der Beginn liegt zwischen 129 und 145 km Entfernung vom Sprengort.
2. Das Ende ist nicht festzustellen; es liegt mindestens in 289 km Entfernung.
3. Die Laufzeitkurve ist konvex zur Δ -Achse gekrümmt und verläuft für große Δ nahezu parallel zur Laufzeitgeraden des normalen Schalles. Δ bedeutet die Entfernung Sprengherd—Beobachtungsort.

H. Regula**) hat in seiner Bearbeitung der Oldebroek-Sprengung gezeigt, daß eine derartige Laufzeitkurve theoretisch sowohl durch Reflexionen an Schichtgrenzen in der Stratosphäre als auch durch kontinuierliche Umbiegung der Schallstrahlen in der Stratosphäre erklärt werden kann. Durch Überschlagsrechnungen, denen für die Troposphäre und die untere Stratosphäre plausible aerologische Daten zugrunde wurden, zeigte sich jedoch, daß unter Annahme windstillere Atmosphäre bezüglich der Ausdehnung des Gebietes, in welchem anormaler Schall auftritt, keine Übereinstimmung mit der Beobachtung zu erzielen war.

Zur näheren Untersuchung dieser Fragen wurden nunmehr verschiedene theoretische Fälle, zunächst für windstille Atmosphäre, systematisch durchgerechnet und mit der Beobachtung verglichen. Die hierbei verwendeten Daten waren folgende:

Schallgeschwindigkeit am Boden 334.5 m/sec, in 10 km Höhe (obere Grenze der Troposphäre) 300 m/sec, Abstieg linear mit der Höhe. Dies entspricht einer Temperatur von + 4° C am Boden, von — 50° C in 10 km Höhe. Der Tempe-

*) Von der Aufspaltung des anormalen Schalles in mehrere Einsätze soll hier abgesehen werden.

) H. Regula: Schallausbreitung in der Atmosphäre, III. Ergebnisse der Sprengungen in Oldebroek. Zeitschr. f. Geophys. **10, 179 ff. (1934).

raturabstieg kann ebenfalls in ausreichender Näherung als linear angesehen werden*). Die Schallstrahlen sind Kreisbögen.

In der Stratosphäre wird die Schallgeschwindigkeit zunächst als konstant zu 300 m/sec angenommen (Temperatur -50°C), und zwar für den Fall der

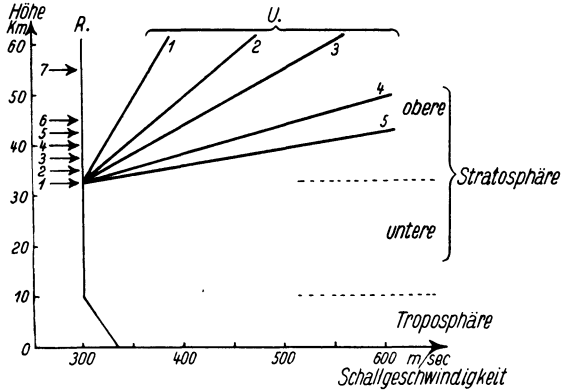


Fig. 1 a. Angenommene Schallgeschwindigkeiten als Funktion der Höhe R für Reflexionen (\rightarrow = reflektierende Schicht), U für stetige Umbiegung

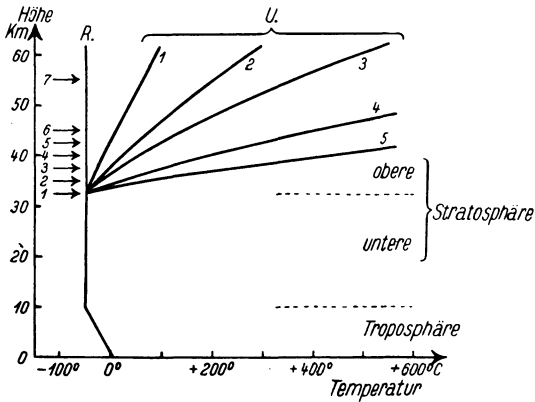


Fig. 1 b. Temperaturverteilung (entsprechend Fig. 1 a)

Reflexion bis zur reflektierenden Schichtgrenze (in 32.5, 35, 37.5, 40, 42.5, 45, 55 km Höhe), für stetige Umbiegung der Strahlen bis zu 32.5 km Höhe. Im letzteren Falle soll die Schallgeschwindigkeit oberhalb 32.5 km, ausgehend von 300 m/sec,

*) Die Temperaturen wurden nach der bekannten Beziehung $T_{\text{abs.}} = \frac{\mu}{R \kappa} \cdot v^2$ berechnet (μ = mittleres Molekulargewicht der Luft = 29, R = Gaskonstante = $= 8,31 \cdot 10^7$ erg/C $^{\circ}$, $\kappa = c_p/c_v = 1,4$).

linear mit der Höhe zunehmen, und zwar pro Kilometer um 3, 6, 9, 18, 36 m/sec (die Schallstrahlen sind wiederum Kreisbögen). Die Verteilung der für die Rechnung verwendeten Geschwindigkeiten und der zugehörigen Temperaturen zeigt Fig. 1 (S. 187).

Im folgenden bezeichnet Δ die Entfernung vom Sprengort, h die Höhe, T die Laufzeit für das in Frage kommende Stück der Strahlbahn. Die Zugehörigkeit zur Troposphäre wird durch den Index tr , zur Stratosphäre durch s angegeben. Im Falle der stetigen Umbiegung erhalten außerdem diejenigen Größen, die sich auf den oberen Teil der Stratosphäre beziehen, einen Strich rechts oben. Näheres

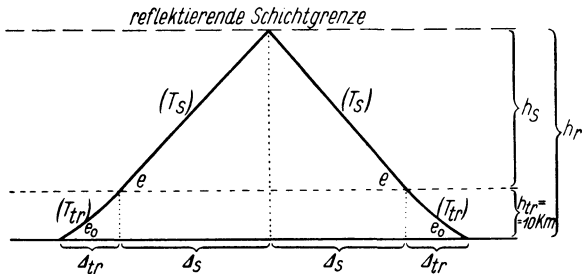


Fig. 2 A. Strahlverlauf bei Reflexion

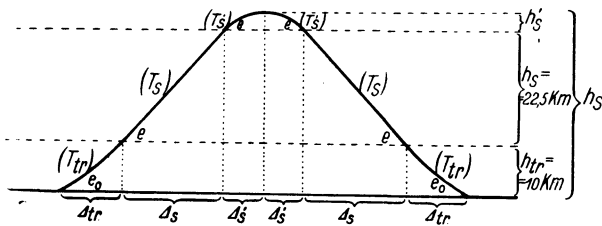


Fig. 2 B. Strahlverlauf bei stetiger Umbiegung

zeigt Fig. 2. e_0 ist der Emergenzwinkel des betrachteten Strahls am Boden, e der Emergenzwinkel desselben Strahls an der unteren Stratosphären-Grenze. Da nach Voraussetzung in der unteren Stratosphäre die Schallgeschwindigkeit konstant ist, behält der Strahl den Emergenzwinkel e bis zur Reflexionsschicht bzw. bis zum Beginn der Umbiegung.

Zur Berechnung der Strahlbahnen und Laufzeiten in der Troposphäre wurden die bekannten Formeln verwendet, die direkt aus dem Brechungsgesetz folgen*). Setzt man die Schallgeschwindigkeit v als lineare Funktion der Höhe an (v_0 = Schallgeschwindigkeit am Boden, v = Geschwindigkeit in der Höhe h),

$$v = v_0 \cdot (1 + \beta \cdot h),$$

*) Vgl. O. Meisser: Luftseismik. Handbuch der Experimentalphysik XXV/3, S. 218—219.

so gilt:

$$\Delta_{tr} = \frac{1}{\beta \cdot \cos e_0} \cdot (\sin e_0 - \sin e),$$

$$T_{tr} = \frac{1}{\beta \cdot v_0} \cdot \ln \left(\frac{1 + \sin e_0 \cdot \cos e}{1 + \sin e \cdot \cos e_0} \right).$$

e_0 wird als gegeben angesehen (und zwar zu 0^0 , 10^0 , 20^0 , . . . , 90^0). Hieraus folgt e mittels des Brechungsgesetzes

$$\frac{\cos e}{\cos e_0} = \frac{v_{tr}}{v_0},$$

worin v_{tr} die Schallgeschwindigkeit in der Höhe h_{tr} (obere Grenze der Troposphäre) bedeutet. β ergibt sich ebenfalls aus v_0 und v_{tr} :

$$\beta = \frac{v_{tr} - v_0}{h_{tr} \cdot v_0}.$$

Setzt man nunmehr die Daten für die Troposphäre ein ($v_0 = 334.5$ m/sec, $v_{tr} = 300$ m/sec, $h_{tr} = 10$ km), und beachtet man, daß beim Durchlaufen der Troposphäre auf dem Hin- und Rückweg Δ_{tr} und T_{tr} je zweimal auftreten (Fig. 2), so ergibt sich schließlich:

$$2 \cdot \Delta_{tr} = 194 \cdot \frac{\sin e - \sin e_0}{\cos e_0} \quad (\text{in km}),$$

$$2 \cdot T_{tr} = 1336 \cdot \left(0,0473 + \log_{(10)} \frac{1 + \sin e}{1 + \sin e_0} \right) \quad (\text{in sec}).$$

Das Ergebnis zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1. Troposphäre

e_0	0^0	10^0	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0	90^0
e	$26^0 15'$	$27^0 56'$	$32^0 36'$	$39^0 03'$	$46^0 36'$	$54^0 48'$	$63^0 22'$	$72^0 08'$	$81^0 02'$	90^0
$2 \cdot \Delta_{tr}$	85.8	58.1	40.7	29.1	21.2	15.4	10.8	6.9	3.4	0 km
$2 \cdot T_{tr}$	276	193	143	111	92	80	71	67	64	63 sec

Für die untere Stratosphäre gelten bei konstanter Schallgeschwindigkeit v die einfachen Beziehungen

$$\Delta_s = h_s \cdot \cotg e,$$

$$T_s = \frac{h_s}{v \cdot \sin e}.$$

Setzt man hier für v den oben angegebenen Wert $v_{tr} = 300$ m/sec, so ergibt sich:

$$2 \cdot \Delta_s = 2 h_s \cdot \cotg e \quad (\text{in km}),$$

$$2 \cdot T_s = \frac{h_s}{0,15 \cdot \sin e} \quad (\text{in sec}),$$

wenn h_s in Kilometer angegeben wird, und zwar entsprechend den oben erwähnten verschiedenen Fällen für die Reflexionshöhe $h_r = h_{tr} + h_s$ nacheinander zu 22.5, 25, 27.5, 30, 32.5, 35, 45 km. Es ergibt sich folgende Übersicht:

Tabelle 2. Untere Stratosphäre

e_0	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$h_r = 32.5 \text{ km} :$										
2. Δ_s	91.2	84.8	70.4	55.5	42.5	31.8	22.6	14.5	7.1	0 km
2. T_s	339	320	278	238	206	184	168	158	152	150 sec
$h_r = 35 \text{ km} :$										
2. Δ_s	101.3	94.2	78.2	61.6	47.3	35.3	25.1	16.1	7.9	0 km
2. T_s	377	355	309	264	229	204	186	175	169	167 sec
$h_r = 37.5 \text{ km} :$										
2. Δ_s	111.4	103.7	86.0	67.8	52.0	38.8	27.6	17.7	8.7	0 km
2. T_s	414	391	340	291	252	224	205	193	186	183 sec
$h_r = 40 \text{ km} :$										
2. Δ_s	121.6	113.1	93.9	74.0	56.7	42.3	30.1	19.3	9.5	0 km
2. T_s	452	426	371	317	275	245	224	210	202	200 sec
$h_r = 42.5 \text{ km} :$										
2. Δ_s	131.7	122.6	101.7	80.2	61.4	45.9	32.6	21.0	10.2	0 km
2. T_s	490	462	402	344	298	265	242	228	219	217 sec
$h_r = 45 \text{ km} :$										
2. Δ_s	141.8	132.0	109.5	86.3	66.2	49.4	35.1	22.6	11.0	0 km
2. T_s	528	498	433	370	321	285	261	245	236	233 sec
$h_r = 55 \text{ km} :$										
2. Δ_s	182.4	169.8	140.8	111.1	85.1	63.5	45.2	29.0	14.2	0 km
2. T_s	678	640	556	476	413	367	336	315	304	300 sec

Im Falle der Reflexionen in den verschiedenen Höhen h_r erhält man nun die endgültigen Werte für die Laufzeitkurven durch Addition der entsprechenden Zahlen aus Tabelle 1 und 2. Es ist:

$$\Delta = 2 \cdot \Delta_{tr} + 2 \cdot \Delta_s \quad (\text{in km}),$$

$$T = 2 \cdot T_{tr} + 2 \cdot T_s \quad (\text{in sec}).$$

Das Ergebnis findet sich in Tabelle A*) und Fig. 3 A (S.194).

Im Falle stetiger Umbiegung soll die Geschwindigkeitszunahme in 32.5 km Höhe beginnen. Die Werte für 2. Δ_s und 2. T_s sind daher aus Tabelle 2 für

*) Abweichungen in der letzten Stelle von der Summe der entsprechenden Zahlen in Tabelle 1 und 2 sind eine Folge der Abrundungen. Bei der Berechnung wurden im allgemeinen ein bis zwei Stellen mehr mitgeführt als in den Tabellen angegeben.

$h_r = 92.5$ km zu entnehmen. Für den Anteil der Strahlen in der oberen Stratosphäre gelten die Beziehungen

$$\Delta'_s = \frac{2}{\beta'_s} \cdot \operatorname{tg} e,$$

$$T'_s = \frac{1}{\beta'_s \cdot v_{tr}} \cdot \ln \frac{1 + \sin e}{1 - \sin e},$$

die man aus den entsprechenden Gleichungen für die Troposphäre erhält, indem man zunächst $e = -e_0$ setzt und hernach e_0 , v_0 und β durch die für die

Tabelle A. Reflexionen

e_0	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$h_r = 32.5$ km:										
Δ	177.0	142.9	111.1	84.6	63.8	47.2	33.4	21.4	10.5	0 km
T	615	514	421	349	299	264	239	224	216	213 sec
$h_r = 35$ km:										
Δ	187.1	152.4	118.9	90.8	68.5	50.7	35.9	23.0	11.3	0 km
T	653	549	452	376	321	284	258	242	232	230 sec
$h_r = 37.5$ km:										
Δ	197.2	161.8	126.7	96.9	73.2	54.3	38.4	24.6	12.1	0 km
T	690	584	483	402	344	304	276	259	249	246 sec
$h_r = 40$ km:										
Δ	207.4	171.2	134.5	103.1	78.0	57.8	40.9	26.2	12.9	0 km
T	728	620	514	428	367	324	295	277	267	263 sec
$h_r = 42.5$ km:										
Δ	217.5	180.7	142.4	109.3	82.7	61.3	43.4	27.8	13.7	0 km
T	766	656	545	455	390	345	314	294	284	280 sec
$h_r = 45$ km:										
Δ	227.6	190.1	150.2	115.4	87.4	64.8	45.9	29.4	14.5	0 km
T	804	691	576	481	413	365	332	312	300	296 sec
$h_r = 55$ km:										
Δ	268.2	227.9	181.5	140.1	106.3	79.0	56.0	35.9	17.6	0 km
T	954	833	699	587	505	447	407	382	368	363 sec

obere Stratosphäre geltenden entsprechenden Werte e , v_{tr} und β'_s ersetzt*). Aus $v_{tr} = 300$ m/sec ergibt sich schließlich:

$$2. \Delta'_s = \frac{4}{\beta'_s} \cdot \operatorname{tg} e \quad (\text{in km}),$$

$$2. T'_s = \frac{15,35}{\beta'_s} \cdot \log_{(10)} \frac{1 + \sin e}{1 - \sin e} \quad (\text{in sec}).$$

*) Vgl. O. Meisser: l. c., S. 219.

Für β'_s sind die sich in den verschiedenen der Rechnung zugrunde gelegten Fällen aus den angenommenen Geschwindigkeitsgradienten mittels

$$\beta'_s = \frac{v - v_{tr}}{(h - h_{tr} - h_s) \cdot v_{tr}}$$

ergebenden Werte zu verwenden, wobei h beliebig, nur größer als $h_{tr} + h_s$ ist, die Höhen in Kilometer einzusetzen sind und v die Schallgeschwindigkeit in der Höhe h bedeutet. Man erhält so die Werte

$$\beta'_s = 0.01, 0.02, 0.03, 0.06, 0.1.$$

Zur Berechnung der Scheitelhöhen der einzelnen Strahlen dient die Beziehung

$$h'_s = \frac{1 - \cos e^*}{\beta'_s \cdot \cos e} \quad (\text{in km}).$$

Das Ergebnis zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3. Obere Stratosphäre

e_0	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$\beta'_s = 0.01:$										
2. Δ'_s	98.7	106.1	127.9	162.1	211.6	283.4	398.5	620.6	1268.0	∞ km
2. T'_s	317	339	402	494	615	766	961	1234	1700	∞ sec
h'_s	11.5	13.2	18.7	28.8	45.5	73.4	123.0	226.0	542	∞ km
$\beta'_s = 0.02:$										
2. Δ'_s	49.4	53.0	64.0	81.0	105.8	141.7	199.2	310.3	634.0	∞ km
2. T'_s	158	170	201	247	307	383	480	617	850	∞ sec
h'_s	5.7	6.6	9.4	14.4	22.8	36.7	61.5	113.0	271.0	∞ km
$\beta'_s = 0.03:$										
2. Δ'_s	32.9	35.4	42.6	54.0	70.5	94.5	132.8	206.9	422.7	∞ km
2. T'_s	106	113	134	165	205	255	320	411	567	∞ sec
h'_s	3.8	4.4	6.2	9.6	15.2	24.5	41.0	75.3	180.6	∞ km
$\beta'_s = 0.06:$										
2. Δ'_s	16.4	17.7	21.3	27.0	35.3	47.2	66.4	103.4	211.3	∞ km
2. T'_s	53	56	67	82	103	128	160	206	283	∞ sec
h'_s	1.9	2.2	3.1	4.8	7.6	12.2	20.5	37.6	90.3	∞ km
$\beta'_s = 0.1:$										
2. Δ'_s	9.9	10.6	12.8	16.2	21.2	28.3	39.8	62.1	126.8	∞ km
2. T'_s	32	34	40	49	61	77	96	123	170	∞ sec
h'_s	1.1	1.3	1.9	2.9	4.6	7.3	12.3	22.6	54.2	∞ km

*) Vgl. O. Meisser: l. c., S. 219.

Die endgültigen Werte für die Laufzeitkurven bei stetiger Umbiegung ergeben sich nunmehr durch einfache Addition:

$$\left. \begin{aligned} \Delta &= 2 \cdot \Delta_{tr} + 2 \cdot \Delta_s + 2 \cdot \Delta'_s \quad (\text{in km}) \\ T &= 2 \cdot T_{tr} + 2 \cdot T_s + 2 \cdot T'_s \quad (\text{in sec}) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} (\Delta_s \text{ und } T_s \text{ aus Tabelle 2} \\ \text{für } h_r = 32.5 \text{ km}). \end{array}$$

ebenso die Scheitelhöhen:

$$h_s = 32.5 + h'_s \quad (\text{in km}).$$

Das Ergebnis zeigt Tabelle B und Fig. 3B (S. 195).

Tabelle B. Stetige Umbiegung

e_0	0^0	10^0	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0	90^0
$\beta'_s = 0.01:$										
Δ	275.7	249.0	239.0	246.7	275.4	330.6	431.9	642.0	1308.5	∞ km
T	932	852	823	843	913	1030	1200	1458	1916	∞ sec
h_s	44.0	45.7	51.2	61.3	78.0	105.9	155.5	258.5	574.5	∞ km
$\beta'_s = 0.02:$										
Δ	226.4	196.0	175.0	165.6	169.6	188.9	232.6	331.7	644.5	∞ km
T	773	683	622	596	606	646	720	841	1066	∞ sec
h_s	38.2	39.1	41.8	46.9	55.3	69.2	94.0	145.5	303.5	∞ km
$\beta'_s = 0.03:$										
Δ	209.9	178.3	153.7	138.6	134.3	141.7	166.2	228.3	433.2	∞ km
T	721	626	555	514	504	519	559	636	783	∞ sec
h_s	36.3	36.9	38.7	42.1	47.7	57.0	73.5	107.8	213.1	∞ km
$\beta'_s = 0.06:$										
Δ	193.4	160.6	132.4	111.6	99.1	94.4	99.8	124.8	221.8	∞ km
T	668	570	488	432	402	391	399	430	500	∞ sec
h_s	34.4	34.7	35.6	37.3	40.1	44.7	53.0	70.1	122.8	∞ km
$\beta'_s = 0.1:$										
Δ	186.9	153.5	123.9	100.8	85.0	75.5	73.2	83.5	137.3	∞ km
T	647	547	461	399	360	340	335	348	386	∞ sec
h_s	33.6	33.8	34.4	35.4	37.0	39.8	44.8	55.1	86.7	∞ km

In jeder Zeile dieser Tabelle gehören die Zahlen links vom Doppelstrich zu solchen Schallstrahlen, denen Punkte auf dem konvexen Ast der Laufzeitkurve entsprechen und die für die Erklärung der experimentell bestimmten Laufzeitkurve der Oldebroek-Sprengung vom 15. Dezember 1932 allein in Frage kommen. Die anderen sind nur der Vollständigkeit halber mit angegeben.

Die gestrichelte Linie in Fig. 3 A und 3 B stellt die Laufzeitkurve des anormalen Schalles bei der Oldebroek-Sprengung dar. Von einer Übereinstimmung mit

einer der theoretisch berechneten Laufzeitkurven kann keine Rede sein. Bei Reflexionen (Fig. 3 A) müßte die Höhe der reflektierenden Schichtgrenze noch

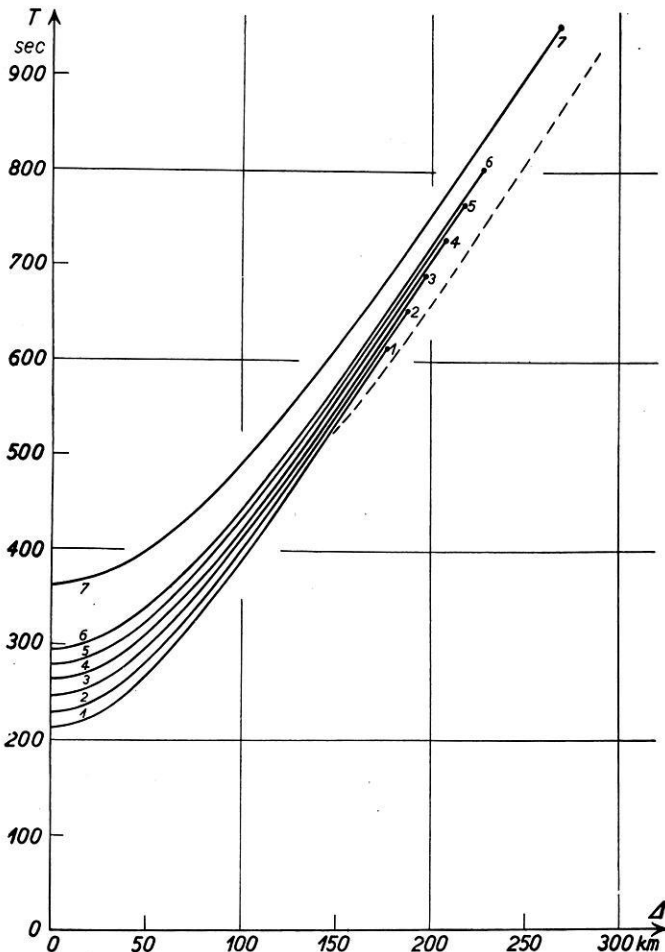


Fig. 3 A. Theoretische Laufzeitkurven für Reflexion

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1. Reflexion in 32.5 km Höhe | 5. Reflexion in 42.5 km Höhe |
| 2. " " 35 " " | 6. " " 45 " " |
| 3. " " 37.5 " " | 7. " " 55 " " |
| 4. " " 40 " " | |

(- - - = beobachtete Laufzeitkurve vom 15. Dezember 1932)

höher als 55 km gewählt werden, wenn die Laufzeitkurve mindestens bis $\Delta = 289$ km reichen soll. Dann würden aber die Laufzeiten noch größer ausfallen als in Kurve 7, also noch schlechter mit der Beobachtung übereinstimmen.

Für den Fall der Reflexion läßt sich demnach ein besseres Ergebnis nur durch entsprechende Änderung der Schallgeschwindigkeit in der Troposphäre erzielen.

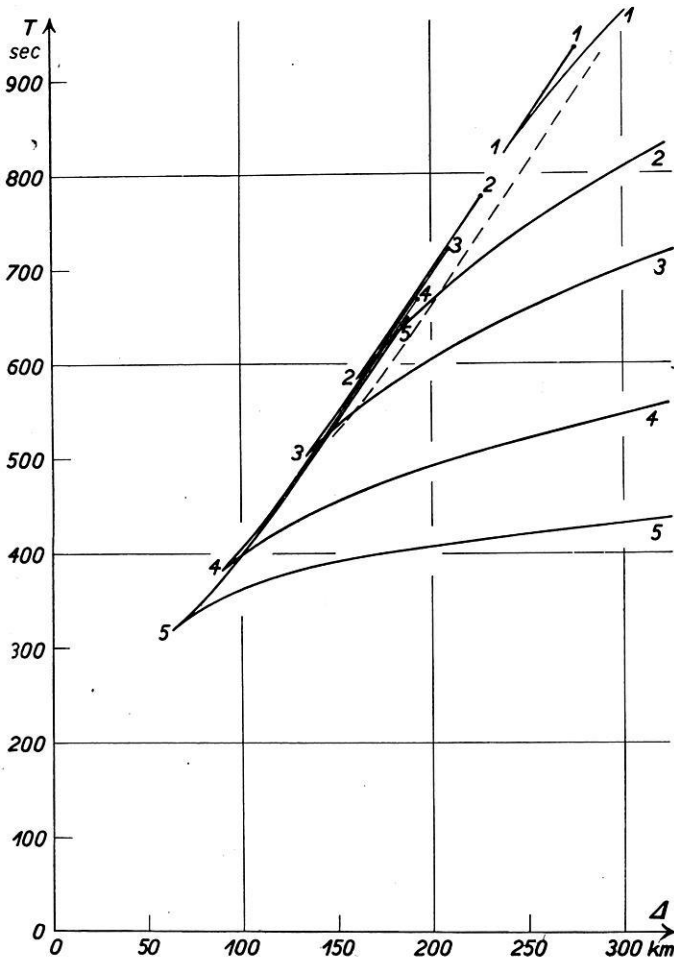


Fig. 3 B. Theoretische Laufzeitkurven für stetige Umbiegung

- | | | |
|----------------------|----------------------|---------------------|
| 1. $\beta'_s = 0.01$ | 3. $\beta'_s = 0.03$ | 5. $\beta'_s = 0.1$ |
| 2. $\beta'_s = 0.02$ | 4. $\beta'_s = 0.06$ | |
- (--- = beobachtete Laufzeitkurve vom 15. Dezember 1932)

Regula*) hat gefunden, daß die Laufzeiten der Oldebroek-Sprengung befriedigend erklärt werden können, wenn man annimmt, daß die Schallgeschwindigkeit in der Troposphäre von 334.5 m/sec am Boden linear mit der Höhe abnimmt bis

*) Durch ähnliche Rechnungen wie oben eingehend besprochen (l. c.) vgl. S. 185.

auf 321 m/sec in 10 km Höhe und in der Stratosphäre konstant bleibt gleich 321 m/sec bis zur reflektierenden Schicht bei 37 km Höhe. Dies würde bei Windstille in 10 km Höhe einer Temperatur von -17°C entsprechen, die aus aerologischen Gründen unmöglich ist. Es bleibt daher nur übrig, von der Annahme einer windstillen Atmosphäre abzusehen. So nimmt beispielsweise Regula einen Westwind an, der am Boden die Geschwindigkeit Null hat, nach oben linear zunimmt bis zu 21 m/sec in 10 km Höhe und darüber konstant gleich 21 m/sec bleibt. Die Temperaturen behalten die Werte, die den theoretischen Rechnungen zugrunde gelegt wurden.

Bei stetiger Umbiegung (Fig. 3 B) liegen die konvexen Äste der berechneten Laufzeitkurven wiederum zu hoch, außerdem sind sie viel zu kurz. Eine Verlängerung des konvexen Astes ist zu erreichen durch Annahme eines nach oben steigenden Gradienten der Schallgeschwindigkeit in der oberen Stratosphäre, eine Verkleinerung der Laufzeiten durch Senkung der Grenze zwischen unterer und oberer Stratosphäre (auf etwa 28 bis 30 km). Letzteres widerspricht jedoch den bisher bekannten Ergebnissen aerologischer Beobachtungen in großen Höhen. Es bleibt also auch hier nur übrig, die Schallgeschwindigkeit in der Troposphäre und der unteren Stratosphäre geeignet abzuändern. Regula fand, daß die Laufzeiten der Oldebroek-Sprengung bis auf $1/2\%$ zu erklären sind, wenn man annimmt, daß die Schallgeschwindigkeit linear abnimmt von 334.5 m/sec am Boden bis zu 318 m/sec in 10 km Höhe, dann konstant bleibt gleich 318 m/sec bis zu 35.8 km Höhe und oberhalb 35.8 km einem Temperaturgradienten von 2.5°C pro 100 m entsprechend anwächst. Bei Windstille würde sich hieraus für die untere Stratosphäre die unmögliche Temperatur von -22°C ergeben. Es bleibt also, wie im Falle der Reflexionen, nur übrig, eine geeignete Windverteilung anzunehmen, z. B. am Boden Windstille, linear zunehmender Westwind bis zu 18 m/sec in 10 km Höhe, darüber konstanter Westwind von 18 m/sec (Temperaturen wie bei den theoretischen Rechnungen). Die Umkehrung der Strahlen erfolgt dann zwischen 35 und 45 km Höhe.

Da unter Annahme geeigneter Winde die Laufzeitkurve der Oldebroek-Sprengung bei Reflexion und bei stetiger Umbiegung in befriedigender Weise erklärt werden kann, ist eine Entscheidung zwischen Reflexion und stetiger Umbiegung zunächst nicht möglich. Hierzu ist es bei künftigen Sprengungen notwendig, die Beobachtungsstationen so anzulegen, daß man die der windfreien Atmosphäre entsprechende Laufzeitkurve ermitteln kann. Die nähere Untersuchung dieser Laufzeitkurve ermöglicht dann vielleicht eine Entscheidung.

Göttingen, Geophysikalisches Institut, Dezember 1933.

Im Entwurf der Sprengkommission vorgelegt im Mai 1933.
