©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Über die Schallgeschwindigkeit beim scharfen Schuss nach von dem Krupp'schen Etablissement angestellten Versuchen

von

E. Mach,

w. M. k. Akad.

(Mit 1 Textfigur.)

Aus Anlass meiner Abhandlung „Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des durch scharfe Schüsse erregten Schalles“ [1] erhielt ich von dem Krupp'schen Etablissement die auf dem Schiessplatze bei Meppen über die Schallgeschwindigkeit angestellten Beobachtungen zur Einsicht und Benützung, wofür ich hier meinen besten Dank ausspreche. Ein Theil dieser Versuche ist schon vor ungefähr zwei Jahren ausgeführt worden.

Schon ein flüchtiger Blick auf die S. 1256 u. ff. mitgetheilten Tabellen zeigt, dass die auffallend grosse Schallgeschwindigkeit in der Schussrichtung, welche aus vielen dieser Versuche hervorgeht, sich sehr wohl mit der in zwei früheren Arbeiten [2] dargelegten Ansicht vereinigen lässt, nach welcher die knallende Kopfwelle des Projectils mit der Projectilgeschwindigkeit fortschreitet, so lange letztere grösser ist, als die normale Schallgeschwindigkeit.

---

[1] Diese Berichte, XCVIII. Bd., II. a., S. 41.

[2] Mach u. Salcher, Photogr. Fixirung der durch Projectile in der Luft eingeleiteten Vorgänge. Diese Berichte, XCV. Bd., II. a., S. 764 und die oben citirte Arbeit.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Für kurze Flugbahnen und hohe Projectilgeschwindigkeiten erweist sich wirklich die Schallfortpflanzungszeit und die Flugzeit als gleich. Ob die erwähnte Auffassung auch die Beobachtungsergebnisse für grössere Strecken erklärt, welche zum Theil mit kleinerer Projectilgeschwindigkeit durchflogen werden, muss durch eine genauere Betrachtung entschieden werden, welche hier folgt.

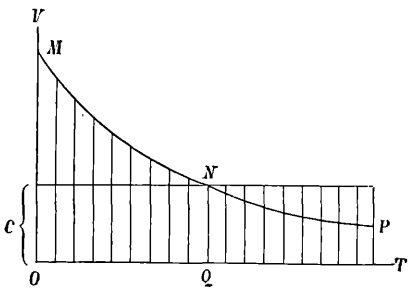


Fig. 1.

Wir tragen die Zeiten (t) nach OT, die zugehörigen Projectilgeschwindigkeiten (v) nach OV auf und erhalten so die Curve MNP. Wir nehmen an, dass, so lange v grösser ist als die Schallgeschwindigkeit c, Schall und Projectil mit einander gehen, und nur für $v < c$ der Schall mit c fortschreitet. Für alle Strecken, welche in einer Zeit $< OQ$ durchflogen werden, kommen dann Schall und Projectil zugleich am Ziel an, für Strecken grösserer Flugzeit ist die Schallfortpflanzungszeit (oder kürzer die „Schallzeit") kleiner als die Flugzeit.

Um genaueren Einblick in den Vorgang zu gewinnen, können wir folgendes einfache Verfahren anwenden. Wir denken uns ein Projectil von 1 cm^2 Querschnitt und 1 kg Gewicht mit der Geschwindigkeit v horizontal bewegt. Erfährt dasselbe in Luft von $1 \cdot 206$ kg Gewicht per Cubikmeter den Widerstand von p kg, so ist $\frac{dv}{dt} = -9 \cdot 81\, p$ [m. sec^{-2}]. Hiernach lässt sich die Geschwindigkeitsabnahme von Secunde zu Secunde (oder auch für kleinere Zeittheile) berechnen, wenn p für jedes v experimentell ermittelt ist. Kennt man so für jeden Zeitpunkt die Geschwindigkeit, so erlaubt die berechnete Tabelle auch (durch Summation entsprechend der Quadratur der Curve MNP) für jeden Zeitpunkt den zurückgelegten Weg, oder umgekehrt, zu bestimmen.[1]

[1] Ich spreche hier in Übereinstimmung mit der Redeweise der Artilleristen vom Projectilgewicht, vom Luftgewicht, obgleich es sich eigentlich um die Massen handelt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Für ein Projectil vom Querschnitt q [cm^2], vom Gewicht r [kg] und für δ-mal dichtere Luft erscheint der Werth von $\frac{dv}{dt}$ im Verhältniss $1 : \frac{q\delta}{r} = \mu$ vergrössert; es findet also schon für eine μ-mal kürzere Zeit dieselbe Geschwindigkeitsabnahme statt. Wenn die Curve *MNP* für das erstere Projectil gilt, haben wir für das letztere die Abscissen (nach *OT*) μ-mal zu verkürzen. Alle Horizontalcomponenten von Projectilbewegungen sind phoronomisch ähnlich, wenn man Punkte von gleicher Geschwindigkeit als homolog betrachtet. Alle homologen Zeiten und homologen Wege zweier solcher Bewegungen stehen in demselben Verhältniss (μ).

Die Krupp'sche Schusstafel VI[1] entspricht dem oben fingirten Projectil für ein Luftgewicht von 1·206 *kg* per Cubikmeter, welches durch den Barometerstand von 750 *mm*, die Temperatur von 15° C. und die relative Feuchtigkeit von 50% bedingt ist. Anstatt der Geschwindigkeit von Secunde zu Secunde gibt dieselbe jedoch Zeit und Weg von Meter zu Meter Geschwindigkeitsverlust an. Für ein Projectil mit dem Coëfficienten μ sind alle Zeiten und horizontalen Wege zwischen denselben Geschwindigkeiten μ-mal kleiner als jene der Tafel.

Um also einen Fall der folgenden Versuche zu analysiren, bestimmen wir nach den Angaben über das Geschoss und nach den meteorologischen Daten den Coëfficienten μ und die normale Schallgeschwindigkeit c.[2] Ist die Strecke, welche die Krupp'sche

---

[1] Diese den Artilleristen leicht zugängliche Schusstafel habe ich hier natürlich nicht aufnehmen können.

[2] Zur Berechnung von c wurde (mit Verwendung der sehr guten Regnault'schen Zahl 330·7 für 0° C. und trockene Luft), weil es nicht nöthig war, mehr als die drei ersten Stellen zu berücksichtigen, die einfache Formel verwendet:

$$c = 330 \cdot 7\left(1 + 0 \cdot 00183\, t + 0 \cdot 889\, \frac{e}{b}\right),$$

in welcher t die Temperatur, b den Barometerstand und e den Dunstdruck bedeutet.

Die Windcorrectur, die immer etwas unzuverlässig ist, wurde, soweit sie auf die dritte Stelle Einfluss hatte, in einer besonderen Rubrik hinzugefügt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Schusstafel VI zwischen der Anfangsgeschwindigkeit v_0 und c ausweist s, und $\frac{s}{\mu}$ grösser als die Strecke, auf welcher beobachtet wurde (in den Tabellen S. 1256 u. ff. mit x bezeichnet), so soll nach unserer Auffassung die Schallzeit der Flugzeit gleich sein. Für v_0 und die Strecke μx gibt die Tafel VI die Zeit t, wodurch sich die Flugzeit zu $\frac{t}{\mu}$ bestimmt. Ist umgekehrt $\frac{s}{\mu} < x$ und entspricht s in Tafel VI die Zeit t_1, so wird $\frac{s}{\mu}$ in $\frac{t_1}{\mu}$ vom Projectil und vom Schall durchsetzt, während der Rest des Weges $x - \frac{s}{\mu}$ in der Zeit $\frac{x - \frac{s}{\mu}}{c}$ vom Schalle durchlaufen wird, so dass $\frac{t_1}{\mu} + \frac{x - \frac{s}{\mu}}{c}$ die ganze Schallzeit vorstellt.

Für eine merkliche Windgeschwindigkeitscomponente w in der Schussrichtung suchen wir in Tafel VI den Weg s anstatt zwischen v_0 und $c+w$,[1] zwischen $v_0 - w$ und c und bestimmen die zugehörige Zeit t_1. Der entsprechende, von Projectil und Schall durchlaufene Weg ist $\frac{s}{\mu} + \frac{wt_1}{\mu}$, während der Rest des Weges $x - \frac{s + wt_1}{\mu}$ mit der Geschwindigkeit $c+w$ vom Schall durchlaufen wird, so dass die ganze Schallzeit durch

$$\frac{t_1}{\mu} + \frac{x - \frac{s + wt_1}{\mu}}{c+w}$$

dargestellt ist.

Es folgen nun die auf dem Krupp'schen Schiessplatz angestellten Beobachtungen (I—XIV) mit allen zur Berechnung nöthigen Angaben, an welche sich besondere Tafeln (Ia—XIVa)

---

[1] Hiebei ist also c die Schallgeschwindigkeit ohne Rücksicht auf die Windcorrectur.

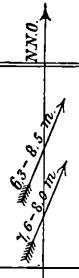
©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

zur Vergleichung der Beobachtung und Rechnung anschliessen. In letzteren bedeutet μ den erwähnten Coëfficienten, t_r die nach der Theorie berechnete, t_b die beobachtete Schallzeit, f_r die berechnete, f_b die beobachtete Flugzeit, c die den meteorologischen Umständen entsprechende Schallgeschwindigkeit. Zu einer Auswahl der Reihen, welche leicht den Anschein der Willkürlichkeit hätte gewinnen können, mochte ich mich nicht entschliessen. Vielleicht interessiren sich auch Andere für das vollständige Material.

Geschütz	Datum	Anfangsgeschwindigkeit	Schallversuche				Schiessversuche				Meteorologische Angaben			
			Beobachtungspunkt 0 und x	Anzahl	Gemessene Schallzeit im Mittel	Mittlere Geschwindigkeit des Schalles	Anzahl	Mittlere: Entfernung	Mittlere: Flugzeit	Mittl. Fluggeschwindigkeit des Geschosses von 0 bis x Meter	Barometer	Thermometer in Celsiusgraden	Relative Feuchtigkeit in Percenten	Windrichtung und Stärke
		m/sec	m		Sec.	m/sec		m	Sec.	m/sec	mm			
I. 26 *cm* RK L/20 Nr. 27 (DM) Geschossgewicht: 187 *kg*	18./3. 89	474	2082	4	5·11	407					758	+ 5	93	N.N.O. 2.3 – 2.5 m.
		494		3	4·96	420						"	93	"
		482		2	5·00	416	5	2060	4·97	415		"	93	"
		486		3	4·99	417	5	2094	5·05	414		+ 8	95	2.3 – 2.8 m.
		456		4	5·14	405					751	+ 6	92	2.3 – 2.5 m.
		451		5	5·15	404							92	"

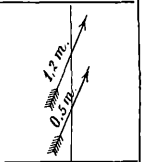
©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

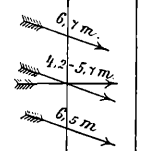
II. 15 *cm* K L/30 Nr. 157 (DM) Geschossgew.: 51 *kg*	1./9. 87	505	6500	10	17·44	373	19	6444	18·43	350	758	+20	86	6.8 - 7.5 m.
		490	3953	5	11·01	359	15	4259	11·06	385	759	+21	83	6.3 - 8.5 m.
	2./9. 87	505		8	11·11	356	25	4103	10·65	385	753	+20	87	6.5 - 1.3 m.
		504	2082	9	5·71	365	20	2075	4·55	456	754	+23	84	7.8 - 9.0 m.
	3./9. 87	490	8000	7	22·39	357	15	8410	26·73	315	760	+20	85	einzelne Stöße bis 10.4 m.
	1./10. 87	501	6500	6	18·15	358	13	6431	18·99	339	758	+ 6	100	0 - 0.5 m.
III. 15 *cm* K L/30 Nr. 118 (DM) Geschossgew.: 51 *kg*	26./10. 87	487	3958	7	11·59	342	20	4165	11·22	371	771	+ 3	94	2.8 m.

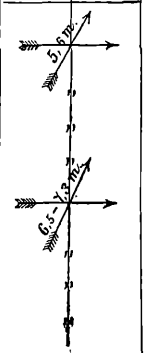
Geschütz	Datum	Anfangsgeschwindigkeit	Schallversuche				Schiessversuche				Meteorologische Angaben			
			Beobachtungspunkt 0 und x	Anzahl	Gemessene Schallzeit im Mittel	Mittlere Geschwindigkeit des Schalles	Anzahl	Mittlere: Entfernung	Mittlere: Flugzeit	Mittl. Fluggeschwindigkeit des Geschosses von 0 bis x Meter	Barometer	Thermometer in Celsiusgraden	Relative Feuchtigkeit in Percenten	Windrichtung und Stärke
		m/sec	*m*		Sec.	*m*/sec		*m*	Sec.	*m*/sec	*mm*			
IV. 15 *cm* MK L/22 Nr. 33 (DM) Geschossgew.: 29·5 u. 34·5 *kg*	1./9. 87	532	3953	3	11·12	356	25	3981	10·26	388	759	+21	87	
			6500	10	17·82	365	28	6703	22·78	294	758	+20	86	
V. 12·5 *cm* RK L/23 Nr. 45 (DM) Geschossgew.: 18·25 *kg*	19./3. 89	469	2082	2	5·64	369	5	2047			750	+ 9	88	
		468	2880	4	7·96	362	8	2915	8·74	334	„	+13	85	
			3951	3	11·19	353	10	4044	13·58	298	„	+11	85	

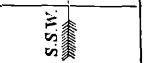
©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

VI. 10·5 *cm* K L/35 Nr. 1 (DM) Geschossgew.: 18·0 *kg*	14./12. 87	512	5466	20	15·99	342	18	5391	15·98	337	751	+ 8	95	
				18	15·98	342	20	5203	15·17	343			95	
VII. Schnellf. 6 *cm* K L/40 Geschossgew.: 3·0 *kg*	14./3. 89	603	552	4	0·89	620					762	+ 6	90	
			1029	2	2·01	512							90	
			1500	11	3·19	470							90	
VIII. 21 *cm* Haubitze L/12 Nr. 1 Geschossgew.: 140, 140, 91, 91, 91, 140, 91, 140 *kg*	19./2. 89	156	2210	4	6·47	342	5	2358	22·27	106	766	+ 8	94	
		„	„	4	6·50	340	5	2395	22·38	107			94	„
		187	2559	3	7·55	339	5	2741	33·49	82			94	„
			3219	4	9·63	334	5	3265	26·57	123			94	„
		236	4679	2	13·76	340	5	4013	41·21	97	765	+ 7	95	
		242		4	13·76	340	5	4500	41·76	108			95	„
		236		5	13·83	339	3	4794	33·86	142			95	„
		242		5	13·81	341	5	5261	33·81	156	„	„	95	„





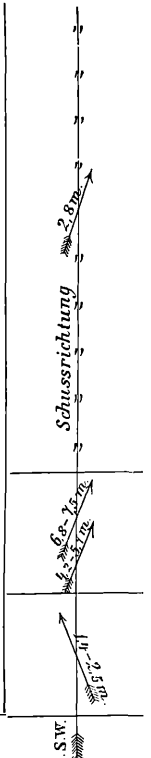




Geschütz	Datum	Anfangsgeschwindigkeit	Schallversuche				Schiessversuche				Meteorologische Angaben			
			Beobachtungspunkt 0 und x	Anzahl	Gemessene Schallzeit im Mittel	Mittlere Geschwindigkeit des Schalles	Anzahl	Mittlere: Entfernung	Mittlere: Flugzeit	Mittl. Fluggeschwindigkeit des Geschosses von 0 bis x Meter	Barometer	Thermometer in Celsiusgraden	Relative Feuchtigkeit in Percenten	Windrichtung und Stärke
		m/sec	m		Sec.	m/sec		m	Sec.	m/sec	mm			
IX. 15 *cm* Haubitze L/12 Nr. 1 (DM) Geschossgew.: 51, 51, 51, 51, 51,	20./3. 89	113	552	4	1·60	345					743	+10	90	
		205	990	2	2·90	341	5	1090	5·21	209			90	
		172		3	2·89	342							90	
		171		3	2·89	342	5	786	4·63	169			90	
		245	1500	3	4·42	339	5	1525	6·22	245			90	
		248		2	4·41	340	3	1527	6·26	244		„	90	
		309		2	4·41	340	3	1523	5·26	290			90	
			1949	10	5·85	333					„	+12	80	
			3958	10	11·39	345					„		80	

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

51, 29·5, 29·5, 29·5, 29·5, 51, 51, 51, 29·5, 29·5, 29·5, 51, 51, 51 *kg*			5466	5	15·9	344	15	5461	50·8	107·5			80	
		245	1949	10	5·79	337							80	
			3958	6	11·40	347							80	
			5466	10	15·9	344	13	4453	43·02	103·5			80	
		309	1949	10	5·79	337							80	
			3951	10	11·46	345							80	
			5466	5	15·9	344	15	5468	50·5	108			80	
		245	1949	10	5·79	337					„		80	
			3958	6	11·40	347							80	
			5466	10	15·9	344	15	4464	42·99	104			80	
X. 12 *cm* Feldmörser Nr. 1 Geschossgew.: 16·4, 16·6 *kg*	1./9. 87	295	5500	5	15·42	357	10	5455	28·42	192	758	+20	86	
	30./5. 88	209	4000	3	11·24	356	9	3556	28·53	125	759	+23	65	
XI. 12 *cm* K L/35 *c*/87 Nr. 9 (Norwegen) Geschossgew.: 26 *kg*	25./5. 89	545	7033	5	19·15	367	5	8273	26·9	308	754	+28	56	



Geschütz	Datum	Anfangsgeschwindigkeit	Schallversuche				Schiessversuche				Meteorologische Angaben			
			Beobachtungspunkt 0 und x	Anzahl	Gemessene Schallzeit im Mittel	Mittlere Geschwindigkeit des Schalles	Anzahl	Mittlere: Entfernung	Mittlere: Flugzeit	Mittl. Flussgeschwindigkeit des Geschosses von 0 bis x Meter	Datum	Thermometer in Celsiusgraden	Relative Feuchtigkeit in Percenten	Windrichtung und Stärke
		m/sec	m		Sec.	m/sec		m	Sec.	m/sec	mm			
XII. 24 *cm* K L/35 Nr. 5 (Holland) Geschossgew.: 215 *kg*	4./6. 89	548	2531	3	5·11	495					769	+23	80	7,5 m.
		548	4028	4	8·53	472	12	4020	8·63	466	769	+21	82	0,8-1,5 m.
		548	7033	5	17·56	401	10	7292	17·89	408	767	+23	70	1,8-2,3 m.
		548	10000	5	26·52	377	10	10338	28·45	363	767	+23	70	1,8-2,3 m.
		548	4000	6										
		Schall hin u. zurück			20·2	davon ist								
		die Flugzeit .			8·63	bis zur Scheibe abzuziehen,								
		Schallzeit also			11·57	345					769	+21	82	0,8-1,5 m.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

XIII. 35 *cm* K L/35 Nr. 6 (Türkei) Geschossgew.: 725 *kg*	7./6. 89	547	2531	6	5·12	494	7	2567	5·16	497·5	765	+26	58	3,5 – 4,8 m.
XIV. 34 *cm* K L/35 Geschossgew.: 586 *kg*	5./7. 89	585	11997	1	29·80	403					766	+21	68	2,5 m.
														S W. S

Nummer der Reihe	μ	Endgeschw. des Projectils	t_r	t_b	$t_b - t_r$	f_r	f_b	$f_b - f_r$		c mit Rücksicht auf den Wind
I *a*.	2·969	376	4·91	5·11	+0·20				334	335
	2·969	391	4·75	4·96	+0·21				334	335
	2·969	382	4·86	5·00	+0·14	4·85	4·97	+0·12	343	335
	2·933	386	4·82	4·99	+0·07	4·85	5·05	+0·20	336	339
	2·930	365	5·12	5·14	+0·02				335	336
	2·930	362	5·23	5·15	—0·07				335	336

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Nummer der Reihe	μ	Endgeschw. des Projectils	t_r	t_b	$t_b - t_r$	f_r	f_b	$f_b - f_r$		c mit Rücksicht auf den Wind
II *a*.	3·415	289	17·17	17·44	+0·27	18·52	18·43	—0·09	344	350
	3·405		10·31	11·01	+0·70	10·46	11·06	+0·60	344	351
	4·388		9·96	11·11	+1·15	10·53	10·65	+0·12	344	348
	3·357	387	4·73	5·71	+0·98	4·71	4·55	—0·16	346	350
	3·426	247	21·86	22·39	+0·53	26·44	26·73	+0·29	344	352
	3·598		17·80	18·15	+0·35	18·77	18·99	+0·22	335	334
III *a*.	3·705		10·60	11·59	+0·99	11·26	11·22	—0·04	333	335
IV *a*.	5·874		10·21	11·12	+0·91	11·17	10·26	—0·91	344	351
	5·078		16·78	17·82	+1·04	21·28	22·78	+1·50	344	351
V *a*.	2·182		4·84	5·64	+0·80				336	337
	2·150		6·92	7·96	+1·04	7·02	8·74	+1·72	339	340
	2·168		9·92	11·19	+1·17	10·19	13·58	+3·39	338	339
VI *a*.	4·927		15·01	15·99	+0·98	16·14	15·98	—0·16	336	337
	4·927		15·01	15·98	+0·97	15·42	15·17	—0·25	336	336
VII *a*.	9·873		1·01	0·89	—0·12				335	333
	9·873		2·08	2·01	—0·07				335	333
	9·873		3·33	3·19	—0·14				335	333

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Nummer der Reihe	*c* beobachtet	*c* berechnet	*c* berechnet mit Rücksicht auf den Wind	*c* beobachtet	*c* berechnet	*c* berechnet mit Rücksicht auf den Wind
VIII *a*.	342	336	341	340	335	341
	340	336	341	340	335	341
	339	336	341	339	335	341
	334	336	341	341	335	341
IX *a*.	345	337	342	337	338	341
	341	337	342	347	338	341
	342	337	342	344	338	341
	342	337	342	337	338	341
	339	337	342	345	338	341
	340	337	342	344	338	341
	340	337	342	337	338	341
	333	338	341	347	338	341
	345	338	341	344	338	341
	344	338	341			
X *a*.	357	344	351	356	345	350

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Nummer der Reihe	μ	t_r	t_b	$t_b - t_r$	f_r	f_b	$f_b - f_r$	c berechnet	c berechnet m. Rücks. a. d. Wind
XI *a.*	4·155	18·38	19·15	+0·77	25·88	26·90	+1·02	350	351
XII *a.*	2·087	5·10	5·11	+0·01				346	345
	2·104	8·64	8·53	—0·11	8·65	8·63	—0·02	344	344
	2·085	16·67	17·56	+0·89	17·82	17·89	+0·07	346	345
	2·085	25·55	26·52	+0·97	27·81	28·45	+0·64	346	345
XIII *a.*	1·333	4·91	5·12	+0·21	4·98	5·16	+0·18		
XIV *a.*	1·549	28·93	29·80	+0·87					

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Wir nehmen zuerst die Reihen VIII—X in Augenschein. In denselben ist die Projectilgeschwindigkeit durchaus kleiner als die Schallgeschwindigkeit; die fragliche Theorie kommt also hier gar nicht in Betracht. Die Reihen sind hingegen sehr geeignet, um auf Grund derselben die Güte der Beobachtungen zu beurtheilen. In VIII ist die normale Schallgeschwindigkeit 335—336, mit Rücksicht auf den Wind 341 (in der Schussrichtung). Die Beobachtungen ergeben in der That in den meisten Fällen sehr nahe die letztere Geschwindigkeit. Die grösste Differenz ergibt die vierte Beobachtung: 341—334 = 7, was einem Fehler von 0·2 Secunden entspricht. Es wäre jedoch unbillig, den ganzen Betrag als Beobachtungsfehler anzusehen, da in diesem Fall viel wahrscheinlicher ein zeitweiliges Nachlassen des Windes die Herabdrückung des Werthes hervorgebracht hat. Ungefähr innerhalb derselben Grenzen liegen die Differenzen in den Reihen IX und X, so dass man die Beobachtungen, namentlich in Anbetracht der sehr einfachen Mittel, als recht gute bezeichnen kann. Eine sehr genaue Bestimmung der Schallgeschwindigkeit ist bei der fraglichen Versuchsanordnung nicht zu erwarten, weil der bedeutende und wechselnde Einfluss des Windes nur durch gleichzeitige Beobachtung in entgegengesetzter Richtung auf derselben Strecke fortschreitender Schallwellen eliminirt werden kann. [1]

In der Reihe I sind die Anfangsgeschwindigkeiten und auch noch die Endgeschwindigkeiten des Projectils durchaus grösser als die normale Schallgeschwindigkeit. In der That stimmen auch, was schon ohne Rechnung ersichtlich, die beobachteten Flugzeiten und Schallzeiten sehr genau überein. Selbstverständlich folgen auch für die mittleren Schallgeschwindigkeiten

---

[1] Die neueren Bestimmungen der Schallgeschwindigkeit können als sehr zuverlässig gelten und die drei ersten Stellen sind jedenfalls sicher. Mit feineren Mitteln gewinnt man dieselben schon auf sehr mässigen Strecken. So hat Dr. Tumlirz in meinem Laboratorium die Schallgeschwindigkeit für trockene Luft von 0° C. in einer Röhre von nur 42 *m* Länge gemessen und die Zahlen 330·36, 330·43, 330·70, 330·69, 330·77, 330·49, 330·45, 330·58, 330·60, 330·60 (Mittel 330·57) gewonnen, die also untereinander und mit der Regnault'schen in den drei ersten Stellen übereinstimmen. (Vergl. Tumlirz, diese Berichte, LXXX. Bd., II. a., October 1879.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

und Fluggeschwindigkeiten dieselben Werthe. Die normale Schallzeit würde 6·14—6·21 statt 5 Secunden betragen.

In der Reihe II kommen schon grössere Strecken in Betracht, auf welchen die Endgeschwindigkeit des Projectils unter die Schallgeschwindigkeit sinkt. In diesen Fällen wird auch die Flugzeit grösser als die Schallzeit. Berechnet man nun die Schallzeiten nach der theoretischen Ansicht, so stimmt auch die Rechnung (t_r) oft mit der Beobachtung (t_b) sehr gut überein. In der überwiegenden Zahl von Fällen bleibt aber in allen Reihen die berechnete Schallzeit gegen die beobachtete mehr oder weniger zurück. Da aber auch die berechneten Flugzeiten gegen die beobachteten zurückbleiben, so folgt zunächst nur, dass die der Rechnung zu Grunde gelegten Coëfficienten μ etwas zu klein waren. Bei genauerer Durchsicht sämmtlicher Reihen zeigt sich nun, dass die berechneten Schallzeiten etwas mehr hinter den beobachteten zurückbleiben, als die berechneten Flugzeiten. Während die Differenzen von $f_b - f_r$, öfter auch negativ sind bleiben die Differenzen $f_b - t_r$, sehr wenige Fälle abgerechnet, positiv. Die algebraische Abweichungssumme $\Sigma(f_b - f_r) = +0\cdot034\,\Sigma f_r$, dagegen $\Sigma(t_b - t_r) = +0\cdot046\,\Sigma t_r$, wenn sämmtliche Beobachtungen in Betracht gezogen werden. Denkt man sich die Coëfficienten μ so gewählt, dass $\Sigma(f_b - f_r) = 0$ wird, so fallen die berechneten Schallzeiten im Ganzen noch immer etwas zu klein aus, so dass ungefähr $\Sigma(t_b - t_r) = +0\cdot012\,\Sigma t_r$ wird.

Eine ernstliche Schwierigkeit für die erwähnte theoretische Ansicht wird man in den dargelegten Verhältnissen kaum finden, zumal die Mitführung der knallenden Kopfwelle durch das Projectil optisch nachgewiesen ist, demnach eine andere Auffassung recht künstlich erscheinen müsste. Doch bleibt die Tendenz der Beobachtung die Schallzeit der berechneten gegenüber zu vergrössern, zu erklären. Eine vollständige Analyse von Beobachtungen, die ich selbst nicht mitgemacht habe, vermag ich natürlich nicht zu geben. Es sei jedoch erlaubt, Vermuthungen auszusprechen.

Die Messungen wurden mit einer Tertienuhr ausgeführt, welche der Beobachter mit dem Telephon am Ohr beim Hören des Knalls auslöste, beim Ankommen des Schalls arretirte. Eine Verkürzung der beobachteten Zeit kann sich nur ergeben, wenn

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

der Beobachter auf den ersten Knall langsamer reagirt, als auf den zweiten, eine Verlängerung ergibt sich in dem umgekehrten Fall. Nun ist es nicht wahrscheinlich, dass der Beobachter, welcher durch das Horchen am Telephon auf das Abfeuern vorbereitet ist, bei diesem schlechter reagiren wird, als beim Ankommen des Schalles nach einer noch unbekannten Zeit. So setzen auch die im Orchester spielenden Musiker ohne merklichen Fehler gleichzeitig ein, während dieselben beim Beginn der Musik ohne vorausgegangene Tactirzeichen sicherlich ungleich einsetzen würden. Bei Ausführung einer Bewegung nach einem Schall beträgt nach S. Exner die Reactionszeit 0·136 Secunden. Dieselbe ist aber wahrscheinlich kleiner oder grösser, je nachdem der Beobachter auf den Eintritt des Schalles mehr oder weniger vorbereitet ist.

Ich vermuthete, dass der Knall bei Beobachtungen auf grössere Entfernungen etwas verlängert erscheint, wodurch der Beobachter verführt werden kann, den zweiten Druck etwas später auszuüben, dies wird jedoch von Seiten des Leiters der Beobachtungen bestritten.

Vielleicht bedarf auch die Theorie selbst einer quantitativen Modification. Die knallende Kopfwelle existirt nachgewiesenermassen nur bei die Schallgeschwindigkeit übersteigenden Projectilgeschwindigkeiten. Je mehr sich die letzteren der ersteren nähern, desto schwächer wird die Kopfwelle. Wann sie aufhört durch das Ohr wahrnehmbar zu sein, ist nicht untersucht. Vielleicht findet dies schon bei 360—370 *m*/sec. statt. Dann käme diese Welle nicht mehr in Betracht, und man hätte sich vorzustellen, dass von da an die Schallfortpflanzung mit der normalen Geschwindigkeit stattfindet, wodurch ebenfalls die beobachtete Schallzeit vergrössert würde.

Soviel sich nach dem bisher Vorliegenden urtheilen lässt, dürften die hervorgehobenen Umstände zur Erklärung der Differenzen zwischen Beobachtung und Rechnung ausreichen. [1]

---

[1] Es wird mir nachträglich von artilleristischer Seite eingewendet, dass die Erhöhung der Schallgeschwindigkeit durch die mit grosser Geschwindigkeit ausgestossenen Pulvergase hervorgebracht werden könnte. Ich zweifle nicht daran, dass bei Messungen auf kleinen Strecken auch die Pulvergase eine bescheidene Rolle spielen, wie dies schon Regnault bekannt war. Die Ausflussgeschwindigkeit der Pulvergase kann bei grossem

rückständigem Gasdruck bedeutend, selbst grösser sein, als jene des Projectils, wird aber der geringen Masse der Gase und ihres grossen Volums wegen schon auf der Strecke von wenigen Metern vernichtet sein. Der Gasstrahl wird plattgedrückt und nimmt die Pilzform an, wie der blosse Anblick und noch überzeugender die Momentphotographie lehrt.

Die Existenz der optisch nachgewiesenen Kopfwelle wird nicht mehr in Abrede gestellt. Man ist jedoch geneigt, dieselbe nicht mit dem Knall, sondern mit dem Sausen des herankommenden Projectils in Zusammenhang zu bringen. Den Beweis, dass die Kopfwelle einen Knall erzeugt, glaube ich bereits erbracht zu haben. Die Kopfwelle ist stationär, wie ich mich durch zweimalige photographische Fixirung desselben Projectils wiederholt überzeugt habe. Das Sausen erfordert einen periodischen Wechsel der Luftverdichtung. Ein Projectil, das sich mit einer die Schallgeschwindigkeit übersteigenden Geschwindigkeit annähert, kann man vor der Ankunft überhaupt nicht hören, denn sonst müsste ja der Schall doch vorausgehen, was gegen die Voraussetzung ist. Saust das ankommende Projectil, so ist seine Geschwindigkeit gewiss kleiner als die Schallgeschwindigkeit und es fehlt die Kopfwelle, ein schnelleres Projectil mit der Kopfwelle saust aber für den Beobachter am Ziel nicht.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1889

Band/Volume: 98_2a

Autor(en)/Author(s): Mach E.

Artikel/Article: Über die Schallgeschwindigkeit beim scharfen Schuss nach von dem KruppÂ'schen Etablissement angestellten Versuchen 1257-1276