Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern

Band: - (1870)

Heft: 711-744

Artikel: Geschichtliche Uebersicht der Untersuchungen über die Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft

Autor: Cherbuliez

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-318843

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Dr. Cherbuliez.

Geschichtliche Uebersicht der Untersuchungen über die Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft.

(Vorgetragen in der Sitzung vom 19. November 1870 und in der folgenden.)

---

1) Die Fortschritte derjenigen wissenschaftlichen Disciplinen, welche unter dem allgemeinen Namen Physik bezeichnet werden, sind seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts so gross, so rasch und so unaufhörlich gewesen, dass den Männern, welche sich mit Forschungen auf diesem Gebiete abgeben, kaum Lust und noch viel weniger Zeit übrig bleibt, den Verlauf und die Entwicklung dieser Wissenschaft vom geschichtlichen Standpunkte aus zu betrachten. Auch muss man zugeben, dass die Resultate früherer Forschungen vor der Genauigkeit der modernen Beobachtungs- und Experimentirkunst meist ihre wissenschaftliche Bedeutung und Geltung verloren, dass viele der Theorien, die in den dem gegenwärtigen vorangegangenen Jahrhunderten über die physikalischen Erscheinungen aufgestellt wurden, höchstens noch den Werth scharfsinniger und geistreicher Spekulationen besitzen. Die Aufgabe des Physikers besteht daher in der Regel darin, dass er sich zuerst in den Besitz der in der Gegenwart geltenden Summe von Erkenntnissen setzt, welche heute seine Wissenschaft bilden, und diese als

Ausgangspunkt nehmend, durch eigenes Forschen weiter zu bauen sucht.

Indessen bilden die Errungenschaften auf dem Gebiete der Physik ein wichtiges Moment für die allgemeine Kultur; zu jeder Zeit stand die Entwicklung dieser Wissenschaft in engen Beziehungen zum geistigen und materiellen Zustand der Nationen, wirkte mächtig auf denselben und wurde von ihm beeinflusst. Staatsformen, kirchliche Einrichtungen, philosophische Anschauungen bald begünstigten, bald hemmten den Fortschritt, und Niemand, der, wenn auch nur oberflächlich, die allgemeine Geschichte der letzten drei Jahrhunderte kennt, wird läugnen, dass die Ergebnisse physikalischer Forschung zu einem grossen Theile zur allmäligen Hebung der Civilisation beitrugen.

Die geschichtliche Betrachtung der Entstehung und der Ausbildung der physikalischen Disciplinen bildet daher einen ebenso wichtigen als vernachlässigten Abschnitt der Kulturgeschichte der Menschheit; auch vom physikalischen Standpunkte aus, ist es nicht ohne Nutzen und gewiss nicht ohne Interesse zu wissen, wie aus zuerst rohen Beobachtungen und fast kindischen Theorien, durch stete Verfeinerung der technischen Hülfsmittel und Verschärfung des theoretischen Wissens und seiner mächtigsten Waffe, der mathematischen Analysis, das grossartige Gebäude der modernen Physik emporgewachsen ist; denn die Bahn des Fortschrittes ist eine stetige, und die Kenntniss des schon zurückgelegten Wegs ist wohl geeignet dem Wanderer für die künftige Fahrt ein lehrreiches Licht zu verschaffen.

Im Folgenden soll an einem der einfachsten Beispiele, an der Frage der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft, ein bescheidener Versuch geschichtlicher Be-

handlung physikalischer Gegenstände gemacht werden, ein Versuch, dem die vorigen Bemerkungen als Einleitung und Berechtigung dienen mögen. [1])

I. Uebersicht der Untersuchungen zur Bestimmung der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft bis Newton's Zeit.

2) Ein Spaziergänger sieht in einer gewissen Entfernung einem Schmiede zu und bemerkt, dass der Schall des den Ambos treffenden Hammers sein Ohr erst einige Zeit nachdem sein Auge den Schlag gesehen, trifft; Aehnliches begegnete, so erzählt man, dem Pythagoras (580 - 500 v. Chr. Geb.), der bei dieser Gelegenheit auf die Grundlagen der Harmonik gekommen sein soll. Man darf wohl annehmen, dass der scharfsinnige Philosoph die eben erwähnte Erscheinung wahrgenommen, und jedenfalls wird man ohne Mühe zugeben, dass diese und ähnliche Thatsachen in den ältesten Zeiten haben bemerkt werden und früh auf den Schluss führen müssen, dass das, was man Schall nennt, eine gewisse Zeit braucht, um sich in der Luft auf eine gewisse Entfernung fortzu-

---

[1]) Die biographischen Data (namentlich Geburts- und Todesjahr) sind in dieser Arbeit stets aus dem vortrefflichen „Biogr.-lit. Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften" von Poggendorf, Leipzig, 1863, 8°, entnommen worden.

Ausser den im Folgenden angeführten Original-Werken und Abhandlungen, wurden benutzt:

Gehler's Physikalisches Wörterbuch. Bd. VIII, S. 389—469. Leipzig, 1836. 8°.

Fischer, Geschichte der Physik. Bd. I, 471. Bd. II, 492—497. Bd. IV, 259—264. Bd. VI, 624—627. Göttingen, 1801—1805. 8°.

Whewell, History of the inductive Sciences etc., deutsch von Littrow. Stuttgart, 1840. 8°.

pflanzen. Sicher ist, dass sich Aristoteles (384—322 v. Chr.Geb.) von dieser Fortpflanzung eine gewisse Vorstellung machte: dieselbe schrieb er einer nicht näher definirten Bewegung der Luft zu. Doch kam man seit Aristoteles und bis Anfang des 17. Jahrhunderts (nach Chr. Geb.) in der Frage der Schallfortpflanzung in der Luft nicht über diese ersten Wahrnehmungen und über meistens inhaltlose Spekulationen über das Wesen der betreffenden Erscheinung hinaus. Wir haben hier eins der vielen Beispiele der Armuth dieses langen Zeitraumes an wahrer Naturforschung; in der That, hatte die Zurückführung der Erscheinung, wenigstens in einer ersten groben Annäherung, auf bestimmte Maasse, die Beobachtungshülfsmittel nicht überstiegen: handelte es sich ja, im Grunde genommen, bloss um Messung einer Länge und einer Zeit. [1]) Aber die Griechen liebten das Experimentalverfahren nicht, und warfen sich sonst, in der Akustik,

---

[1]) Es bezeichne V die Geschwindigkeit einer gleichförmigen Bewegung, D den während der Zeit T in dieser Bewegung zurückgelegten Raum; man hat: $V = \frac{D}{T}$; daraus ergibt sich: $\frac{dV}{V} = \frac{dD}{D} - \frac{dT}{T}$; diese letzte Gleichung gibt den Genauigkeitsgrad, den man bei der Berechnung von V erreicht, wenn man diese Grösse experimentell durch Beobachtung von D und T ermitteln will, und wenn diese Elemente mit den Genauigkeitsgraden $\frac{dD}{D}$ und $\frac{dT}{T}$ gemessen worden sind. Zur möglichst genauen Bestimmung von V müssen also $\frac{dD}{D}$ und $\frac{dT}{T}$ gleiche Zeichen haben, möglichst klein, und, vor allem, möglichst wenig von einander verschieden sein, denn wenn $\frac{dD}{D} = \frac{dT}{T}$, so ist $\frac{dV}{V} = 0$. Also muss man darnach streben, die Entfernung D und die Zeit T mit demselben Genauigkeitsgrade zu messen; aber, bei der Schallfortpflanzung in der Luft,

mehr auf Ausbildung der eigentlichen Musik; die Römer lagen andern Geschäften ob, und, als später das Abendland sich dem christlichen Glauben unterwarf, wurden, ausser der allgemeinen Verfinsterung, welche die Bildungsprozesse der mittelalterlichen Gesellschaft begleitete, der Mysticismus und der Dogmatismus der mönchischen Wissenschaft ein mächtiges Hinderniss für eine lebendige rationelle Naturforschung; die Araber endlich entwickelten ihre Thätigkeit, welche übrigens mehr konservativer als erfindender Art war, vorzüglich in andern Fächern, als in der Akustik.

3) Erst bei Baco von Verulam (1561—1626) finden wir die Frage der Schallfortpflanzung in der Luft neuerdings angeregt, und die erste Angabe eines Beobachtungsverfahrens, welches in seinen wesentlichen Zügen bis in das zweite Drittel des 19. Jahrhunderts unverändert beibehalten worden ist.

In einem 1605 erschienenen Werke Baco's finden sich folgende Stellen [2]: »Es ist gewiss, dass der Schall »der Kanone, was die Meisten verwundert, auf dem Lande »auf eine Fntfernung von wenigstens 20 Meilen, und auf

---

wenn, bei der Temperatur 0^0 nnd dem Barometerstand $0^m,760$, $D = 332^m$, so ist $T = 1''$ und wenn $\frac{dD}{D} = \frac{1}{10}$, so muss $dT = \frac{1''}{10}$; es ist aber viel leichter, D bis auf $\frac{1}{10}$ zu messen, als die Zeit bis auf $\frac{1}{10}$ einer Sekunde zu erhalten. Je weniger scharf also die Zeitmesser sind, über die man verfügt, um so grösser muss man die Entfernung D nehmen.

[2]) On the Advancement of learning. London, 1605. — Lateinisch unter dem Titel: Sylva sylvarnm. London, 1621. 4⁰. (Centuria III, No. 208 u. 209.)

»der See auf eine viel grössere, fortgetragen werden kann; »er trifft das Ohr nicht im Augenblicke selbst der Explo»sion, sondern nach einer Stunde oder noch viel später. »Dieses ist nothwendiger Weise eine Fortsetzung des »ursprünglichen Tones, da keine Erschütterung, wodurch »er erneuert werden könnte, wahrgenommen wird, und »die Berührung der Kanone den Ton nicht schneller aus»löscht, so dass die Fortsetzung (d. h. Fortpflanzung) »stärkerer Töne mehr als augenblicklich ist (d. h. nicht »in einem Augenblicke stattfindet).

»Um nun die Zeit genau zu beobachten, fährt Baco »weiter fort, welche der Schall zur Fortpflanzung braucht, »besteige Jemand eine Pyramide oder einen Leuchtthurm »und versehe sich mit einem Lichte, welchem ein Schirm »vorgehalten wird; eine zweite Person stelle sich in einer »Entfernung von einer Meile. Schlage nun der erste »Beobachter auf eine Glocke und entferne, im Augenblicke »selbst des Schlags, den Schirm. Der andere, auf der »Ebene bleibend, bestimme, durch Zählung seiner Puls»schläge, den Zeitraum zwischen der Wahrnehmung des »Lichtes und derjenigen des Schalles; denn es ist ge»wiss, dass das Licht sich augenblicklich fortpflanze. »Der gleiche Versuch kann auf eine grössere Entfernung, »bei einer verhältnissmässigen Grösse des Lichtes und »des Schalles, ausgeführt werden.«

So weit Baco; man sieht, welche falsche Vorstellung er sich von der Grösse der Schnelligkeit der Fortpflanzung des Schalles machte: da er überhaupt über die Bewegungslehre die verworrensten Ansichten hatte, konnte er den wissenschaftlichen Begriff der gleichförmigen Bewegung nicht verwerthen. Indessen, und wenn er auch keine Versuche machte, war das von ihm angegebene Verfahren

fast für die ganze Reihe der nun kommenden Versuche maassgebend.

4) Bevor wir zu der Betrachtung dieser Versuche übergehen, erwähnen wir eines Umstandes, welcher die Ausführung derselben in einer wissenschaftlichen Form ermöglichte, wir meinen nämlich die Festsetzung der Grundsätze der Bewegungslehre durch Galiläi (1564—1642) und seine Entdeckung der Gesetze der Pendelbewegung; durch diese Arbeiten, welche erst 1638 veröffentlicht, aber doch durch Vorlesungen, Correspondenzen und mündliche Mittheilungen früher bekannt wurden, denn Galiläi hatte schon 1602 einen ziemlichen Theil dieser mechanischen Lehren fortgesetzt, war es möglich geworden, aus Versuchen die Natur der Fortpflanzungsbewegung kennen zu lernen: ebenso gab der, von Galiläi herrührende Gedanke der Verwendung der Schwingungen eines Pendels zur Zeitmessung, ein Mittel, gleich bei den ersten Versuchen, die Zeit mit verhältnissmässiger Genauigkeit zu beobachten.

5) Wenn man nun nach dem Namen der ersten Beobachter der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft fragt, so weichen die physikalischen Lehrbücher und Geschichtswerke in ihren Angaben von einander ab; die Meisten, so Whewell, Fischer und Andere, schreiben die ersten Versuche dem Gassendi (1592—1655) zu; man beschreibt sogar das von ihm, nach der Angabe Baco's, angewendete Verfahren und gibt die mit Hülfe desselben ermittelte Fortpflanzungsgeschwindigkeit auf 1473 P. F. = $478^m,49$ [1]) an; andererseits behauptet z. B. Muncke

---

[1]) Grösserer Bequemlichkeit halber sind in dieser Arbeit alle Längen auf Metermaass reducirt worden, und zwar, nach den An-

in dem bez. Artikel des Gehler'schen physikalischen Wörterbuchs [2]), dass Gassendi keine Versuche anstellte. Diese letztere Ansicht ist ohne Zweifel die richtige; in der That findet man in der Arbeit Gassendi's [3]) durchaus keine Erwähnung eigener Versuche über die Bestimmung der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit; derselbe erzählt bloss, wie er, durch Abfeuern von Gewehren verschiedener Kaliber, nicht diese Geschwindigkeit, sondern die Unabhängigkeit der Fortpflanzungsbewegung von der Intensität des Schalls untersucht und nachgewiesen habe; die Zeit maass der Beobachter bei diesen Versuchen durch Zählung seiner Pulsschläge; diese Versuche sollen in den 40er Jahren des 17. Jahrhunderts stattgefunden haben. — Am Schlusse des bezüglichen Abschnittes fügt noch Gassendi folgende Bemerkung hinzu: »An dieser »Stelle, sagt er, wollen wir die Beobachtung unseres »Mersenne nicht stillschweigend übergehen, welcher die »Geschwindigkeit des Schalles fleissig maass, und ent»deckte, dass derselbe in einer Sekunde eine Stunde, »230 Par. Toisen = 1380 P. Fuss (442 Meter) zurücklegt.«

Ein weiteres Argument, welches übrigens wohl überflüssig sein dürfte, gegen die Ausführung von solchen Versuchen durch Gassendi, ist, dass die unmittelbar fol-

---

gaben in Karsten's Encyclopädie der Physik, Bd. 1, Seite 485 u. ff., Leipzig 1869, 8⁰, hat man angenommen:

		Meter.
1 Englische Meile	=	1609,306.
1 Englischer Fuss	=	0,3047928.
1 Franz. Toise	=	1,949037.
1 Pariser Fuss	=	0,3248394.

[2]) Gehler's Phys. Wörterbuch. Bd. VIII, 391.

[3]) Opera Omnia. Lugd. 1658. 4⁰. Bd. I. — Physica Sectio I, Lib. VI, Cap. X. De Sono, Seite 410.

genden Beobachter, welche diejenigen Mersenne's anführen, nichts Aehnliches von Gassendi berichten. Es scheint uns daher festzustehen, dass die Ehre der ersten Beobachtungen dem Pater Mersenne (1588—1648) zuzuschreiben ist.

6) Die Versuche Mersenne's wurden 1636 veröffentlicht und sind daher wahrscheinlich am Anfange der 30er Jahre ausgeführt worden. Ich konnte mir das bezügliche Werk[1]) leider nicht verschaffen und muss mich auf einige Angaben beschränken, welche in den Berichten des spätern englischen Beobachters, Walker[2]), niedergelegt sind. Nach diesem Engländer hätte Mersenne aus vielen Beobachtungen, bei welchen er wahrscheinlich die Schwingungen eines Pendels zur Zeitmessung verwendete, eine Geschwindigkeit von 1474 Engl. F. (1383 Par. F. = 443 Meter) gefunden; eine zweite Zahl von 2050 Engl. F. = 624 Meter führt ebenfalls, nach demselben Berichte, Mersenne an; jedoch rührt dieselbe nicht von eigenen Versuchen her, sondern aus der ihm gemachten Angabe, dass der Schall einer grossen Kanone bei Nacht 1 Minute nach dem Abfeuern gehört wurde; aus der im Berichte nicht angeführten Entfernung schliesst Mersenne auf die eben erwähnte Zahl.

7) Mersenne's Versuche blieben ungefähr 20 Jahre noch die einzig vorhandenen; dass dem so gewesen sei, ist ziemlich erklärlich. Die allgemeine Verwirrung, welche der dreissigjährige Krieg verursachte (1617—1648) war der Ausführung solcher grossen und ziemlich kostspieligen Versuche wenig günstig; die regierenden Fürsten in Europa hatten meist ganz andere Geschäfte, als die

---

[1]) Mersenne, Harmonicorum. Lib. XII. Paris, 1636. 4°.

[2]) Philosophical Transactions. December 1698. Nr. 247. Walker, Some Experiments and Observations concerning sounds.

ruhige Pflege der Wissenschaften zu begünstigen. Es nahte aber eine für die Entwicklung der gesammten Naturforschung höchst bedeutungsvolle Zeit, diejenige der Gründung der Akademien. Da diese Gesellschaften bei der Bestimmung der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit eine hervorragende Rolle gespielt haben, scheint es nicht unzweckmässig, der Errichtung der ersten derselben hier in kurzen Worten zu gedenken.

Während des 16. Jahrhunderts waren in Italien zahlreiche Privatgesellschaften zu wissenschaftlichen, künstlerischen und literarischen Zwecken, einige derselben auch der Naturforschung speziell gewidmet, gegründet worden; indessen waren ihre Leistungen meist unbedeutend, und als die erste physikalische Akademie darf man mit Recht die am 19. Juli 1657 in Florenz gegründete Academie del Cimento (Akademie des Versuchs) betrachten; sie wurde durch den Herzog Ferdinand von Toscana, den Gönner Galiläi's, in's Leben gerufen und verblieb, während ihrer leider kurzen Lebensdauer, unter dem Präsidium seines Bruders, des Fürsten Leopold von Medici (1617—1675). Aus bloss 9 Mitgliedern bestehend, hatte diese Gesellschaft nur die Aufgabe des Experimentirens, und sie löste dieselbe mit bewunderungswerthem Geschick. Sie hätte auch kaum auf günstigerem Boden entstehen können. In der That hatte Galiläi die letzten Jahre seines Lebens in der Nähe von Florenz verlebt[1]), und sein Geist, seine Lehren, seine Methode beseelten die Männer, welche berufen wurden, die Academie del Cimento zu bilden; zwei von ihnen sogar waren seine Schüler gewesen. Leider, wahrscheinlich eben weil sie die Trägerin der Galiläi'schen Traditionen war, wurde bald die Academie del Cimento dem römischen Hofe verdächtig und

[1]) Von 1633 bis zu seinem Tode 1642 bewohnte Galiläi die der Familie Martellini gehörende Villa Giojello bei Arcetri.

als ihr Präsident sich um einen Cardinalshut bewarb, erhielt er denselben unter der Bedingung der Auflösung der Gesellschaft, welche auch 1667 stattfand.

8) Die Versuche über die Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft, welche die Florentiner Akademiker, wahrscheinlich beim Beginn des Bestehens ihrer Gesellschaft, veranstalteten, sind in der 1667 herausgegebenen Sammlung[1]) der Arbeiten derselben beschrieben; sie sind die ersten, welche in ächtwissenschaftlicher Form auf diesem Gebiet ausgeführt wurden, wesshalb wir sie hier etwas vollständig mittheilen wollen. Drei Versuche wurden nämlich zur Prüfung ebensovieler Sätze[2]) gemacht.

Erster Satz. Der Schall der Explosion verschiedener Geschütze legt den gleichen Raum in einer und derselben Zeit zurück.

Dieses zu beweisen, wurde auf die gleiche Entfernung mit drei verschiedenen Geschützarten (Spingarda, Smeriglio, Canon dimidiatus) gefeuert und je durch Beobachtung der Schwingungen eines Pendels, die Zeit zwischen der Wahrnehmung des Abfeuerns und derjenigen des Schalles gemessen. Die verschiedenen Versuche ergaben stets die gleiche Zeit.

Zweiter Satz. Der Wind, möge er günstig oder ungünstig sein, weder beschleunigt die Fortpflanzung noch verzögert dieselbe; ungünstiger Wind vermindert bloss die Intensität des Schalls.

Es wurden bei Westwind, östlich und westlich vom Beobachtungspunkte und in gleichen Entfernungen von

---

[1]) Saggi di naturali Esperienze fatte nell' Academia del Cimento. Firenze, 1667, 8⁰. — Von Musschenbroeck 1731, unter dem Titel: Tentamina experimentorum naturalium captorum in Academia del Cimento, Leyden, 1731, 4⁰, in's Lateinische übersetzt.

[2]) Tentamina exper. P. II, Seite 106 u. ff.

demselben, Geschütze aufgestellt; von beiden Stellen aus wurden eine Anzahl Schüsse abgefeuert, während im Beobachtungsort der Zeitraum zwischen der Wahrnehmung der Flamme der Explosion und derjenigen des Schalles durch die Anzahl der Schwingungen eines Pendels gemessen wurde. Bei allen Versuchen ergab sich die gleiche Zeit.

Dritter Satz. Die Bewegung des Schalles, d. h. die Fortpflanzungsbewegung desselben, ist gleichförmig; hier sagt der Bericht, dass ein Mitglied der Akademie auf diesen Gedanken der gleichförmigen Fortpflanzungsbewegung gekommen sei und denselben in folgender Weise geprüft habe:

In einer Entfernung von einer italienischen Meile (ca. 5925 Par. Fuss = 1935 Meter) wurden ein grösseres (Spingarda) und ein kleineres Geschütz (Mastio) aufgestellt und aus jedem derselben sechs Schüsse abgefeuert; bei allen Versuchen wurden, zwischen dem Augenblick der Explosion und der Wahrnehmung des Schalls, je 10 Schwingungen eines Pendels gezählt, welches die halbe Sekunde schlug; dann wurden die gleichen Geschütze in einer Entfernung von einer halben Meile vom Beobachtungsorte aufgestellt und wiederum aus jedem derselben sechs Schüsse gefeuert; bei jedem Schusse fand man für die Zeit der Fortpflanzung 5 Schwingungen des vorher gebrauchten Pendels, wodurch der dritte Satz bestätigt und zugleich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft auf 1185 Par. F. = 385 Meter festgesetzt war.

Der Bericht schliesst mit einigen Vorschlägen zur Anwendung der Ergebnisse des dritten Versuchs auf Bestimmung von Entfernungen, z. B. zur Messung der Entfernung zweier einander unsichtbaren Stationen, und zu förmlichen topographischen Aufnahmen durch Winkel-

messungen von einer Centralstation aus und Abfeuern von Geschützen an den aufzunehmenden Punkten.

9) Diese Versuche tragen einen unverkennbaren Charakter wissenschaftlicher Nüchternheit und ihre Beschreibung ist durch keine unklare und konfuse Auseinandersetzung leerer theoretischer Spekulationen verunstaltet, wie sie so häufig in den Werken dieser Zeit vorkommen. Man kann sich freilich fragen, ob dieselben mit allen Hülfsmitteln ausgeführt wurden, welche den Florentiner Akademikern zur Verfügung standen. Sie besassen nämlich schon Thermometer, Barometer und Hygrometer[1]). Die Thermometer waren Weingeistthermometer, die eine Theilung in 50° am Glase angebracht trugen; der 50. Grad entsprach der grössten in Florenz bekannten Sonnenhitze (circa 44° R.); der 16. oder 17. Grad war der Punkt grösster, in Florenz beobachteter Kälte; nach Vergleichungen solcher (1829 aufgefundener) Thermometer mit der Réaumur'schen Scala ergibt sich, dass 50° Flor. = 44° R. } also 1° Flor. = 1°,18 Reaum.
0° „ = —15° „ } = 1°,475 Celsius.

Das Hygrometer war ein noch sehr rudimentäres Instrument, das jedenfalls zu den Beobachtungen, die uns beschäftigen, nicht hätte verwendet werden können.

Das Barometer war noch ein unvollständiges Gefässbarometer mit willkürlicher Scala, welches mehr zur Wiederholung des Toricellischen Versuchs und zu Untersuchungen über das Verhalten der Körper im luftleeren Raume, als zu Beobachtungen des Luftdrucks bei den vorigen Versuchen dienlich sein konnte.

---

[1]) Tentamina experiment. P. I, Cap. I u. II.

Die Florentiner Akademiker hätten daher wohl Thermometer-, aber keine Hygrometer- und Barometer-Beobachtungen bei ihren Versuchen anstellen können; da sie aber, und das ist gerade, was man an dieser Leistung am meisten aussetzen kann, auf zu kleine Entfernungen beobachteten und keine Reihe von Versuchen veranstalteten, so hätten solche Thermometer-Aufzeichnungen wenig genützt. Auch wäre es unbillig, für eine Zeit, wo die wissenschaftliche Experimental-Physik eigentlich erst begann, eine Berücksichtigung von Faktoren zu verlangen, deren Vorhandensein kaum geahnt werden konnte. Es scheint uns daher, dass die Florentiner Versuche vollkommen auf der Höhe, die, damals und in dieser Frage, erreichbar war, stehen.

10) An dieser Stelle wären noch die Versuche zu erwähnen, die Kircher (1601 — 1680), ungefähr 1670 anstellte; dieselben sind in einem 1672 herausgegebenen Werke [1]) dieses Gelehrten besprochen. Bei diesen Versuchen bediente sich Kircher der Methode des Echos, das heisst, er stellte sich in einer gewissen Entfernung von einer Mauer und beobachtete die Zeit, welche zwischen dem Aussprechen eines Lautes (z. B. einer Sylbe) und der Wahrnehmung des Echos desselben verfloss; da die Entfernungen, welche er wählte, sehr klein waren, und dadurch die ohnehin geringe Schärfe seiner Zeitbestimmungen (Pendelschwingungen) vollkommen annulirt wurde, haben diese Versuche eigentlich keinen Werth. Mit dem Pendel scheint Kircher nicht recht umzugehen gewusst zu haben; wenigstens sagt er, dass er sich zur Zeitmessung eines Pendels, aber stets

---

[1]) Pater Kircher, Phonurgia Nova etc. Campidonæ, 1673, 4⁰. Liber I, Cap. I, Prælusio 3, § 2.

mit geringem Erfolge bedient habe, und er kommt zu dem Schlusse, dass es besser sei, auf den Gebrauch dieses Instrumentes zur Zeitbestimmung zu verzichten.

Aus den Ergebnissen seiner Untersuchungen schöpfte Kircher den Glauben, dass die Fortpflanzungsbewegung eine verzögerte, und zu verschiedenen Tageszeiten eine verschiedene sei; daher gibt er auch für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit keinen bestimmten Werth an. Im Ganzen stehen diese Versuche nicht auf der wissenschaftlichen Höhe der Zeit, zu welcher sie gemacht wurden.

11) Nach den Florentiner Versuchen, verfloss wiederum eine ziemlich lange Zeit, bis solche Bestimmungen wieder in ernster Weise aufgenommen wurden. Der jungen, 1666 gegründeten Pariser Akademie der Wissenschaften, war es vorbehalten, diese Frage neuerdings anzuregen. Die Versuche, welche von dieser Gesellschaft am 23. Juni 1677 veranstaltet wurden[1]) sind besonders durch den wissenschaftlichen Werth der Männer, von denen sie ausgingen, und weil dieselben drei verschiedenen Nationalitäten angehörten, merkwürdig. In der That, der Italiener Domenico Cassini I. (1625—1712), der dänische Astronom Römer (1644—1710), der Entdecker der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts, der französische Astronom und Geodät Picard (1620—1682), der Leiter der ersten wissenschaftlichen Gradmessung, welche die neue Bestimmung der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft vornahmen, vereinigten eine Summe von Specialkenntnissen, wie sie kaum zu dieser Zeit hätte grösser getroffen werden können, und bildeten eine wissenschaftliche Autorität, die die ganze damalige

---

[1]) Duhamel, Regiæ scientiarum Academiæ historia. Paris, 1698, 4⁰. Lib. II, Sect. 3, Cap. 2.

naturforschende Welt anerkannte. Leider, und dieses zeigt welche kleine Rolle unsere Frage, die, später und bis auf die heutige Zeit, so viele Gelehrte beschäftigen sollte, damals noch spielte, enthalten die Memoiren der Pariser Akademie keine Spur dieser Arbeit, deren Resultate nur in der, vom Sekretär der Akademie, Duhamel, 1698 herausgegebenen Geschichte derselben mitgetheilt werden. Man fand, durch ein, demjenigen der Florentiner ähnliches Verfahren, eine Geschwindigkeit von 1097 Par. F. = 356 Meter; die Entfernung, auf welche beobachtet wurde, betrug 1280 Toisen = 2495 Meter.

12) Mit diesen Versuchen schliesst sich, was ich die erste Periode der Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft nennen möchte; was sie von der folgenden unterscheidet ist einerseits, dass bei allen die Entfernungen auf welche verfahren wurde, zu klein und die Zeitmessung nicht genau genug, so dass die Fehlerquellen bedeutend waren, andererseits der Mangel theoretischer Untersuchungen über den Process der Fortpflanzung des Schalles in der Luft; an Muthmassungen, an Vorstellungsweisen über diesen Process fehlte es zwar nicht; allein sie sind kaum der Erwähnung werth; darüber hatte schon mehr als 1600 Jahre früher der Römer Vitruv das Beste gesagt [1]: »Der »Ton ist ein fliegender Hauch, der die Luft erschüttert »und sich dadurch unserem Ohre kund gibt. Dabei »bewegt sich die Luft in zahllosen concentrischen Kreisen, »gleich den Wellen des Wassers, in welches ein Stein »geworfen wird, die aus unzähligen Kreisen bestehen, die »immer grösser werden, je weiter sie sich von ihrem »Mittelpunkte entfernen, und die so lange auswärts »schreiten, bis sie von einer Begränzung des Raumes

[1]) Whewell, History of the inductive Sciences. Bd. II, Buch VIII, cap. I.

»oder sonst einem Hindernisse in ihrer Bewegung auf-
»gehalten werden. Ganz ebenso schreitet auch der
»Schall in Kreisen durch die Luft fort. Allein im Wasser
»gehen diese Kreise bloss in der Breite und in horizon-
»taler Richtung fort, während der Schall in der Luft nicht
»nur in der Breite, sondern auch in der Tiefe allmälig
»immer weiter schreitet.«

Die folgende Periode beginnt eben mit der ersten mathematischen Behandlung unserer Frage und bietet eins der merkwürdigsten Beispiele der Bemühungen, die wissenschaftliche Theorie mit der experimentellen Erkenntniss der Naturerscheinungen in Einklang zu bringen.

II. Uebersicht der Untersuchungen zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in der Luft von der Aufstellung der Newton'schen Theorie bis zur Laplace'schen Correction.

A. Newton's Theorie.

13) Wie in mehreren andern Gebieten der Physik und der Mathematik, bezeichnet für unsere Frage das Eingreifen Newton's (1643—1727) in die Wissenschaft einen epochemachenden Fortschritt. Während ihm aber in andern Fragen seine Vorgänger und seine Zeitgenossen ein bedeutendes Material an wichtigen Vorarbeiten überliefert hatten, fand Newton die Frage der Fortpflanzung der Bewegung in elastischen Flüssigkeiten beinahe unberührt. Seine Theorie war daher wirklich neu, und wenn sie durch die Arbeiten seiner Nachfolger überflügelt worden ist, so gebührt ihm das Verdienst, die ersten Begriffe scharf festgesetzt und dieselben einer mathematischen Behandlungsweise unterworfen zu haben, welche noch in unseren Tagen, wenn auch in verändertem Gewande,

ihre Geltung hat. Diese Theorie bildet die VIII. Section des 2. Buches der 1687 herausgegebenen Principia philosophiæ Naturalis; das Buch war aber früher verfasst worden [1]), und es ist sicher, dass der Hauptabschnitt desselben, welcher uns beschäftigt, im Sommer 1685 fertig ausgearbeitet wurde. Versuchen wir die Hauptsätze der Newton'schen Fortpflanzungstheorie in aller Kürze anzuführen; dieselben sind in den folgenden Propositionen enthalten [2]).

1. Der Druck pflanzt sich in Flüssigkeiten nicht nach geraden Linien fort, ausgenommen an den Stellen, wo die Flüssigkeitstheilchen in gerader Linie liegen. (Satz der Fortpflanzung des Drucks nach allen Richtungen.)
2. Jede durch eine Flüssigkeit fortgepflanzte Bewegung weicht vom geraden Weg ab und in die noch unbewegten Theile derselben.
3. Jeder in einem elastischen Medium schwingende Körper wird die schwingende Bewegung nach allen Seiten in geraden Linien fortpflanzen, während derselbe, in einem nicht elastischen Medium, eine kreisförmige (eigentlich eine Wirbel-) Bewegung erzeugen wird.
4. Die Schwingungen einer Flüssigkeit in communicirenden Röhren haben, wenn man dabei von der Reibung absieht, eine Dauer, welche derjenigen der Schwingungen eines Pendels gleich ist, dessen Länge die halbe Länge der Flüssigkeitssäule in den Röhren ist.

---

[1]) David Brewster, The Life of Sir Isaac Newton. London, 1833, 8⁰. Chap. XI, pag. 157.

[2]) Newton, Philosophiæ naturalis principia mathematica. 2. Bd. Cambridge, 1713, 4⁰. Lib. II, Sect. VIII, Proposit. 41—50.

5. Eine Flüssigkeitswelle schreitet um ihre eigene Länge in einer Zeit fort, welche der Schwingungszeit eines Pendels gleich ist, dessen Länge die Wellenlänge beträgt; Wellenlänge nennt Newton die Entfernung zweier auf einander folgenden Wellenbäuche oder Wellenthäler. Diesen Satz gibt Newton bloss als eine Annäherung an.
6. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit zweier Wellen ist der Quadratwurzel ihrer Längen proportional. Diese letzte Proposition folgt unmittelbar aus der vorhergehenden.
7. Wenn Schwingungen sich in einem Fluidum fortpflanzen, die einzelnen Flüssigkeitstheilchen, in einer sehr kleinen hin- und hergehenden Bewegung begriffen, werden stets nach dem Gesetze eines schwingenden Pendels beschleunigt und verzögert.
8. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten von Wellen, welche in einem elastischen Medium fortschreiten, verhalten sich, unter der Voraussetzung, dass die elastische Kraft des Fluidums dem Drucke desselben proportional ist, direkt wie die Quadratwurzel der elastischen Kraft, und umgekehrt wie die Quadratwurzel der Dichtigkeit.
9. In dieser Proposition wird die Aufgabe der Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen in einem elastischen Medium von der bei 8. vorausgesetzten Beschaffenheit, bei gegebener elastischer Kraft und Dichtigkeit des Mediums gelöst.

Newton denkt sich, dass das Fluidum, in analoger Weise wie die Atmosphäre, einem Drucke ausgesetzt wird, den er für die elastische Kraft nimmt, und durch die Höhe A einer Säule eines homogenen Fluidums von der glei-

chen Dichtigkeit wie das Medium, ausdrückt; durch eine Reihe wahrhaft scharfsinniger Betrachtungen zeigt er, dass, wenn man, mit dieser Höhe A als Radius, einen Kreis beschreibt, ein Punkt, der sich auf die Peripherie desselben mit der gesuchten Fortpflanzungsgeschwindigkeit gleichförmig bewegen würde, diese Peripherie in eben der Zeit zurücklegen, während welcher ein Pendel von der Länge A eine Doppelschwingung ausführen würde.

Man denke sich, zum Beispiel, atmosphärische Luft, unter dem Barometer-Druck B; es sei ε das specifische Gewicht des Quecksilbers, und δ dasjenige der Luft; die Luftsäule vom specifischen Gewichte δ, deren Druck dem Barometerdruck B gleich wäre, hat eine Höhe A, welche durch die Gleichung

$$A \,.\, \delta = B \,.\, \varepsilon \text{ oder } A = B \,.\, \frac{\varepsilon}{\delta}$$

bestimmt wird.

Die Peripherie des Kreises vom Radius A ist: $P = 2\pi A$.

Die Dauer T einer Doppelschwingung des Pendels von der Länge A ist: $T = 2\pi\sqrt{\frac{A}{g}}$

Der Punkt, der den Weg P in der Zeit T gleichförmig zurücklegt, hat daher die Geschwindigkeit:

$$V = \frac{P}{T} = \frac{2\pi A}{2\pi\sqrt{\frac{A}{g}}} = \sqrt{A \,.\, g}$$

Diese Geschwindigkeit ist aber, nach Newton's Beweis, eben die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Wellen in der Luft. Setzt man in obige Formel den vorhin gefundenen Werth von A ein, so ergibt sich:

$$V = \sqrt{\frac{B \,.\, \varepsilon \,.\, g}{\delta}} = \sqrt{\frac{\frac{B \,.\, \varepsilon}{\delta}}{g}}$$

Ist aber M die Masse eines Volumens W von Luft, vom specifischen Gewichte δ, so hat man: $\frac{M}{W} = \frac{W\delta}{Wg} = \frac{\delta}{g}$; $\frac{\delta}{g}$ ist also die Dichtigkeit dieser Luft, und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist daher gleich der Quadratwurzel des Quotienten der elastischen Kraft, durch die Dichtigkeit des fortpflanzenden Mediums.

Der Ausdruck $V = \sqrt{A.g} = \sqrt{2.\frac{A}{2}.g}$ gibt Newton zu der Bemerkung Veranlassung, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung in einem elastischen Medium, derjenigen gleich ist, welche ein von der Höhe $\frac{A}{2}$ frei fallender Körper erlangen würde.

10. Diese Proposition gibt das Mittel an, die Wellenlänge zu berechnen; sie ist nichts anders als die Aufstellung der Formel $\lambda = V.T$, wobei λ die Wellenlänge, V die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, und T die Schwingungsdauer der schwingenden Theilchen bezeichnet.

Das Interessanteste aber in dieser Proposition ist ein Zusatz, welcher wörtlich in folgender Weise beginnt: »Diese ganz neuen Sätze betreffen auch die Bewegung des Lichtes und des Schalles. In der That, da das Licht eine geradlinige Fortpflanzung hat, so kann es (nach 1°—2°) in einer blossen Wirkung (d. h. etwa Druck oder Bewegung) nicht bestehen. Die Töne aber, da sie durch schwingende Körper erzeugt werden, sind nichts anders als fortgepflanzte Wellen der Luft.« — Dann geht Newton zu der Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft nach der vorher angegebenen Formel über; er nimmt:

$$B = 30 \text{ Engl. Zoll. } \frac{\delta}{\varepsilon} = \frac{1}{11890},$$

woraus $A = B . \frac{\varepsilon}{\delta} = 30 . 11890 = 356700$ Engl. Zoll.

$A = 29725$ Engl. F. Die Peripherie $2\pi A = 185768$ Engl. F.; ferner ist die Schwingungsdauer T eines Pendels von 29725 Engl. Fuss, $T = 190{,}75$ Zeitsecunden, und folglich

$$V = \frac{186768}{190{,}75} = 979 \text{ Engl. F.} = 918{,}58 \text{ Par. F.} = 298{,}09 \text{ Met.}$$

14) Neben den grossartigen Leistungen Newton's auf dem Gebiete der physischen Astronomie und der reinen Mathematik, so wie neben seinen merkwürdigen optischen Entdeckungen und Untersuchungen, musste ganz natürlich seine Theorie der Wellenbewegung, und deren Anwendung auf die Bestimmung der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft, ziemlich unbemerkt bleiben, um so mehr, als diese letztere Grösse, beim damaligen Stand der Physik, eigentlich ohne grosse Wichtigkeit war; und in der That verfloss ein halbes Jahrhundert, bis diese Theorie Gegenstand weiterer und eingehenderer Discussionen wurde. Dieses indessen soll uns nicht hindern, den Reichthum an Folgerungen zu bewundern, den diese wenigen, oben angeführten Sätze enthalten. Freilich gehört eine ziemlich ausdauernde Arbeit dazu, aus der eigenthümlichen, vorzüglich geometrischen Art der Newton'schen Beweisführung, welche ausserdem von ungemeiner Kürze ist, den wahren und ganzen Inhalt herauszufinden; wenn man aber sich die Mühe gibt, denselben in die Sprache der modernen Analysis zu übersetzen, so wird man finden, dass diese Sätze wirklich den Keim zu einer grossen Anzahl der Entwicklungen unserer heutigen Wellenlehre enthalten; besonders interessant ist die geniale Zurückführung aller Untersuchungen

auf Pendelbewegungen. Freilich kann man sagen, dass in Beziehung auf Pendellehre Newton in den Arbeiten Huyghens ein schon ausgezeichnet bearbeitetes Material vorfand; ja man kann sogar Huyghens in Beziehung auf Wellenlehre vielleicht die Priorität zu geben geneigt sein. In der That hatte dieser grosse Mann 1678 der Pariser Akademie seine Lichtlehre vorgelegt, die jedoch erst 1690 herausgegeben wurde; indessen, abgesehen davon, dass um diese Zeit, aller Wahrscheinlichkeit nach, Newton seine »Principia« schon zum grössten Theil ausgearbeitet hatte, muss man sagen, dass Huyghens von der Wellenlehre gerade den Theil ausgebildet, den Newton nicht berührte und umgekehrt; Huyghens hat sich besonders mit der Wellenfläche beschäftigt, während Newton die schwingende Bewegung der Theilchen und die Fortpflanzung derselben untersuchte; Huyghens war der vollkommen selbstständige Erfinder der Undulationstheorie des Lichts, Newton wurde in ebenso selbstständiger Weise der Schöpfer der ersten Theorie der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung. Nach diesen Bemerkungen, welche uns über die engen Grenzen, die sich gegenwärtige Arbeit gesteckt hat, hinausgeführt haben, kehren wir zu dem von Newton als Ergebniss theoretischer Betrachtungen gefundenen Resultat zurück.

15) Diese Zahl von 298^m war bedeutend kleiner als diejenige Mersenne's (444^m), der französischen Akademiker (356^m) und der Florentiner (385^m), welche wahrscheinlich alle Newton bekannt waren; der Unterschied zwischen dem Resultat der Theorie und denjenigen der Versuche war zu gross, um blossen Beobachtungsfehlern in den letztern zugeschrieben werden zu können, besonders da die Pariser und Florentiner Zahlen ziemlich sorgfältig ermittelt worden waren; andererseits liessen

sich die Grundsätze der Theorie nicht bestreiten, und der aus ihnen durch eine Reihe logischer Betrachtungen gezogene Schluss konnte nicht aufgegeben werden. Dieser Zwiespalt zwischen Theorie und Experiment beschäftigte von Anfang an Newton, und er kam auf den vollkommen richtigen Gedanken, dass, bei der Aufstellung der Theorie, einige Faktoren nicht berücksichtigt worden waren; er versuchte nun dieselben aufzufinden, und glaubte in folgender Weise verfahren zu können. Er stellte sich nämlich die Luft vor, als zum Theil aus festen Partikelchen bestehend, welche in gleichen Zwischenräumen liegen und ungefähr die Dichtigkeit des Wassers haben; nun, sagte er, pflanze sich durch ein solches festes Theilchen der Schall augenblicklich fort, und folglich müsse die gefundene Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 979′ nur für die mit der eigentlichen elastischen Flüssigkeit ausgefüllten Zwischenräume zwischen diesen festen Theilchen gelten; das Dichtigkeitsverhältniss der Luft zum Wasser sei ungefähr $\frac{1}{870}$; drücke man also Luft, unter dem gewöhnlichen atmosphärischen Druck, auf ein 870 Mal kleineres Volumen zusammen, so würde sie die Dichtigkeit des Wassers erhalten, und folglich müssten die Zwischenräume auf 0 reducirt werden; bei einer Volumenverminderung auf $\frac{1}{870}$, werden aber die linearen Dimensionen auf $\frac{1}{\sqrt[3]{870}}$, also auf beinahe $\frac{1}{10}$ reducirt werden; die Zwischenräume zwischen den Mittelpunkten der festen Theilchen müssen daher 10 Mal ihrem Durchmesser gleich sein, und also sei der leere Zwischenraum zwischen zwei Theilchen gleich 9 solchen Durchmessern; oder auf eine

Länge L, sei $\frac{1}{9}$ L durch die festen Theilchen eingenommen, und pflanze sich durch dieses $\frac{1}{9}$ L der Schall augenblicklich fort; die Länge, welche der Schall in einer Secunde zurücklege, sei demnach:

$$979' + \frac{979'}{9} = 979 + 108{,}8 = \text{circa } 1088' = 331{,}61 \text{ Met.}$$

Mit Hülfe dieser Korrektion hatte Newton seine Zahl derjenigen der französischen Akademiker um ein Bedeutendes näher gebracht, und sich zufällig der in neuerer Zeit ermittelten merkwürdig genähert. Hingegen wird man wohl zugeben, dass diese Erklärung, soweit man sie überhaupt auffassen kann, werthlos und zum Theil eben im Widerspruche mit dem Begriffe selbst der Wellenfortpflanzung stand.

Eine zweite Korrektion suchte Newton durch Berücksichtigung der in der Luft vorhandenen Dämpfe anzubringen. »Diese Dämpfe, sagte er, da sie eine an»dere Elasticität besitzen, nehmen an der Bewegung der »wirklichen Luft, durch welche der Schall fortgepflanzt »wird, keinen oder fast keinen Antheil; da sie nun in »Ruhe sind, so wird die Bewegung durch die wirkliche »Luft allein, schneller fortgepflanzt werden, und zwar »im Verhältniss zur Quadratwurzel der geringen Masse. »Sind auf 11 Theile, 10 Theile Luft und 1 Theil Dampf, »so wird die Fortpflanzungsgeschwindigkeit V mit dem »Faktor $\sqrt{\frac{11}{10}}$ noch zu multipliciren sein.«

In der That, bei reiner Luft ist $V = \sqrt{\frac{F}{\frac{M}{W}}}$; aber, bei der gemachten Voraussetzung, ist die Masse der wirklichen Luft nur $\frac{10}{11}$ M; also muss man haben:

$$V_1 = \sqrt{\frac{F}{\frac{10}{11} \cdot \frac{M}{W}}} = \sqrt{\frac{11}{10}} \cdot \sqrt{\frac{F}{\frac{M}{W}}} = \sqrt{\frac{11}{10}} \cdot V$$

oder, weil $\sqrt{\frac{11}{10}}$ beinahe $\frac{21}{20}$ ist;

$$V_1 = \frac{21}{20} V = \frac{21}{20} \cdot 1088 \text{ Engl. F.} = 1142 \text{ Engl. F.} = 348 \text{ Met.}$$

Wenn auch diese Korrektion, ihrem Wesen nach, berechtigter als die vorige war, so muss man gestehen, dass ihre numerische Grösse rein durch das Bedürfniss der Uebereinstimmung zwischen Theorie und Versuch bedingt wurde.

B. Uebersicht der Versuche seit Newton's Zeit bis zur 2. Hälfte des XVIII. Jahrhunderts.

16) In den ersten Jahren nach der Veröffentlichung der Newton'schen Theorie, d. h. bis zum Schlusse des XVII. Jahrhunderts, finden wir nur eine namhafte neue experimentelle Bestimmung der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft; freilich werden Boyle (1627—1691) und Roberts, von Muncke [1]) als Veranstalter von Versuchen angegeben; Boyle's Bestimmung soll 1685 [2]) veröffentlicht worden sein; ich konnte mir das betreffende Werk nicht verschaffen, glaube aber, aus einer Citation in der spätern englischen Abhandlung von Walker schliessen zu dürfen, dass Boyle am betreffenden Orte bloss sagt: er habe mehr als einmal sorgfältig beobachtet, dass der Schall in einer Secunde mehr als 1200 Engl. F. = 360 Meter zurücklege. Eine ausführliche Mittheilung des Beobachtungs-Verfahrens scheint kaum stattgefunden zu haben.

---

[1]) Gehler's Physik. Wörterbuch. Bd. VIII, Seite 390.

[2]) Boyle, Essay on languid Motion. 1685.

Was den Engländer Roberts anbelangt, so befindet sich in der von Muncke citirten Arbeit [1]) vom Jahre 1694, bloss die beiläufige Angabe, dass man annimmt, der Schall lege in einer Secunde 1300 Engl. F. = 396 Meter zurück. Die vorhin erwähnte Versuchsreihe wurde im Jahre 1698 von einem Engländer Walker angestellt [2]); sie hat, auch für ihre Zeit, keinen wirklichen Werth, verdient aber, weil zum ersten Male bei derselben der Einfluss des Windes bemerkt wurde, und des Beobachtungsverfahrens wegen, angeführt zu werden. Dieses letztere war, in zweckmässigerer Weise, dasjenige, welches Kircher schon angewendet hatte: mit einem sorgfältig ausgeführten Pendel, das die halbe Secunde gab, stellte sich Walker vor einer Wand auf, und schlug zwei Holzbrettchen gegen einander, wobei er die Zeit bis zur Ankunft des Echos bestimmte; er verrückte seinen Standpunkt meistens so lange, bis diese Zeit eine genaue Anzahl von Secunden, oder eine gerade Anzahl von Pendelschwingungen betrug; war dann die Entfernung d seines Standortes bis zur Wand gemessen, und 2n die Anzahl der Pendelschwingungen, so ergab sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit:

$$V = \frac{2d}{n}$$

Walker führte 11 verschiedene Versuchsreihen aus, bei welchen die Windesrichtungen beobachtet wurden, und die ihm folgende sehr verschiedene Werthe für V ergaben:

---

[1]) Philosophical Transactions for 1694. No. 209. Concerning the Distance of the fixed Stars, by Tr. Roberts, Esq.

[2]) Philosophical Transactions. No. 247, December 1698. Some Experiments and Observations concerning Sounds. By Walker.

Engl. Fuss.	Meter.	Engl. Fuss.	Meter.	Engl. Fuss.	Meter.
1) 1256 . .	382	5) 1292 . .	393	9) 1278 . .	389
2) 1507 . .	461	6) 1378 . .	420	10) 1290 . .	392
3) 1526 . .	465	7) 1292 . .	393	11) 1200 . .	366
4) 1150 . .	350	8) 1185 . .	361		

Nimmt man, bei Auslassung der Zahlen 2), 3) und 6) den Durchschnitt dieser Bestimmu ngen, so ergibt sic, eine mittlere Zahl

$$V = 378 \text{ Meter.}$$

Am Schlusse seiner Abhandlung sagt Walker, dass er die Fortpflanzungsbewegung für schneller am Anfang derselben als später zu halten geneigt sei, »wie es, »meint er, bei einer heftigen Bewegung der Fall sei«; aus diesem letzten Satze geht hervor, dass Walker über die Art dieser Bewegung gar keine klare Vorstellung hatte, und die Newton'sche Theorie, die er mit keinem Worte berührte, nicht annahm; über den Einfluss des Windes, spricht er sich dahin aus, dass durch den Wind, wenn er entgegengesetzt gerichtet, die Fortpflanzungsbewegung etwas verzögert zu sein scheine.

17) Die ersten Beobachtungen am Anfange des 18. Jahrhunderts, verdankt man den englischen Astronomen Flamstead (1646—1719) und Halley (1656—1724), über ihre Versuche enthalten die Philosophical Transactions eben nur eine Notiz des bald zu erwähnenden Derham's; dieselben fallen, aller Wahrscheinlichkeit nach, in das Jahr 1703, und ergaben, durch die Methode des Abfeuerns von Geschützen, und bei Anwendung einer Entfernung von 4700 Meter, welche der Schall in 13″,5 zurücklegte, eine Geschwindigkeit von 1142 Engl. F. = 348 Meter. Beobachtungsort war die Greenwicher Sternwarte, die damals unter der Leitung Flamstead's stand.

18) Alle Versuche, welche wir bis jetzt betrachteten, waren mehr oder weniger unvollständig; wir kommen jetzt zu der ersten allseitigen Untersuchung über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft, welche von einem englischen Geistlichen, Derham, (1657—1735) in Upminster, Grafschaft Essex, in den Jahren 1704—1706 angestellt wurde. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen sind in einer Abhandlung niedergelegt, deren Inhalt, in seinen wichtigsten Zügen, folgender ist: [1])

Derham beginnt mit einer Zusammenstellung der bisher für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ermittelten Zahlen, betont die bedeutenden Abweichungen derselben von einander, und findet die Ursache dieser Verschiedenheit in den mangelhaften Beobachtungen, bei welchen er drei Hauptfehlerquellen nachweist: 1. Eine ungenaue Zeitmessung, besonders durch den Gebrauch einfacher Pendeln veranlasst; 2. die zu geringen Entfernungen, auf welche beobachtet wurde; 3. die Nichtberücksichtigung des Einflusses des Windes. Diese Fehlerquellen, welchen er noch die zu geringe Anzahl der Beobachtungen hätte hinzufügen können, zu beseitigen, machte Derham seine Versuche, wobei er die Methode des Abfeuerns von Geschützen anwendete, auf Entfernungen von 1—13 Meilen (1,6 bis 21 Kilom.), bediente sich zur Zeitmessung einer ausgezeichneten portativen Pendeluhr, welche die halbe Sekunde schlug, und berücksichtigte jedesmal die Windesrichtung; überdiess beobachtete er auch den Barometerstand. Bevor er an die Arbeit ging, entwarf er ein Programm, das in den folgenden Fragen bestand:

---

[1]) Philosophical Transactions. 1708. Nr. 313. Experimenta et Observationes de soni motu, factae a Reverendo. W. Derham, Ecclesiæ Upminsteriensis rectore.

1. Welchen Weg legt der Schall in einer Sekunde oder in jeder andern Zeit zurück?
2. Erreicht der Schall den Beobachter in derselben Zeit, wenn die Mündung des Geschützes gegen denselben gerichtet ist, als wenn sie die entgegengesetzte Richtung hat?
3. Legt der Schall in derselben Zeit denselben Raum, welcher auch der Stand der Atmosphäre und des Barometers sei, zurück?
4. Pflanzt sich der Schall mit gleicher Geschwindigkeit am Tage und während der Nacht fort?
5. Haben die Winde auf die Schallfortpflanzung Einfluss, und wie?
6. Hat der Schall eine andere Bewegung im Sommer und im Winter, bei einem schneedrohenden und bei trockenem, klarem Himmel?
7. Haben schwache und starke Töne die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit?
8. Erreicht der Schall das Ohr des Beobachters stets in der gleichen Zeit, wenn die Elevation des Geschützes 0°, 10°, 20°, 90° beträgt?
9. Hat der Schall, welcher auch sein Ursprung sein mag, die gleiche Fortpflanzungsbewegung?
10. Aendert die verschiedene Explosionskraft des Schiesspulvers die Fortpflanzungsbewegung des Schalles?
11. Ist die Fortpflanzungsbewegung des Schalles dieselbe in den höheren Theilen der Atmosphäre als in den tieferen?
12. Bewegt sich der Schall in gleicher Weise von oben nach unten, als von unten nach oben?
13. Ist die Fortpflanzungsbewegung eine gleichförmige?
14. Ist die Fortpflanzungsbewegung die gleiche in allen

Gegenden, in England und in Frankreich, in Italien und in Deutschland etc.?

15. Pflanzt sich der Schall in gerader Linie fort, oder schmiegt er sich an die Bodenfläche an?

Dieses Programm ist reichhaltig; Derham suchte dasselbe, soweit es ihm seine Hülfsmittel erlaubten, zu erfüllen; und wir dürfen sagen, dass es ihm in befriedigendem Maasse gelang.

Zur Prüfung der Frage über die Natur der Fortpflanzungsbewegung, nahm er an, sie sei gleichförmig, und aus einer Reihe von Versuchen, welche am 13. Februar 1704, von 6 Uhr Abends bis Mitternacht, alle Halbstunden stattfanden, ermittelte er, dass der Schall, zur Zurücklegung einer Entfernung von 20,116 Kil., 115 bis 117 halbe Sekunden brauchte; eine kleine Unsicherheit in der Zeitmessung verursachte der Umstand, dass man den Schall jedesmal zweifach hörte, was Derham der Reflexion desselben an Wänden, die den Aufstellungsplatz der Geschütze umgaben, zuschrieb. Bei den Versuchen herrschte, in einer der Fortpflanzung entgegengesetzten Richtung, ein schwacher Wind. Aus diesen Beobachtungen bestimmte Derham die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles zu 1142 Engl. F. = 348 Meter.

Dann, an 11 Stationen, deren Entfernungen von 1 bis 12 Meilen von seinem Beobachtungsstand in Upminster mit grösster Sorgfalt trigonometrisch bestimmt worden waren, liess er Geschütze abfeuern, und bestimmte jedesmal die Zeiten zwischen der Explosion und der Schallwahrnehmung; diese Zeiten in Sekunden mit der vorher bestimmten Zahl von 1142 Engl. F. multiplizirend, erhielt er die Entfernungen, welche mit den trigonometrisch bestimmten verglichen wurden. Diese Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, die erste, welche bei solchen Untersuchungen vorkommt:

Locus quo displosio facta fuit.	Penduli vibrationum Numerus.	Distantia Locorum.		Ventorum Tendentia.
		Trigonometrice.	Per Sonum.	
		Milliaria.	Milliaria.	
Hornchurch Ecclesia	9	0,9875		transverso
Okendon Bor. Ecclesia	18,5	2,004	2,0	transverso
Mola Upminsteriensis	22,5 23	2,4	2,4 2,48	favente nive. transv.
Warley parvæ Eccles.	27,5	3	2,97	forte favente
Rainham Eccles.	33,25	3,58	3,59	transverso
Mola Alveleientis	33	3,58	3,57	transverso
Dagenham Eccles.	35	3,85	3,78	faventa
Weal Austrin Eccles.	45	4,59	4,86	transverso
Thorndon Orient Eccles	46,5	5,09	5,03	paulò fav.
Barkink Eccles.	70,5	7,7	7,62	favente
Tormenta Blackheath	116	12,5	12,55	transverso
		1 Engl. Meile = 5280 Engl. F.		

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, stimmte das Ergebniss der akustischen mit den Angaben der trigonometrischen Bestimmung der Entfernungen in befriedigender Weise überein, wodurch die Voraussetzung Derham's bestätigt wurde.

Durch zahlreiche andere Versuche wies Derham nach, dass diese Fortpflanzungsgeschwindigkeit, unter allen Umständen, bei Anwendung verschiedener Geschützarten, bei verschiedenen Lagen und Richtungen der Geschütze, bei verschiedenen Barometerständen, zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, den gleichen Werth behalte. Der Zustand der Atmosphäre (Nebel etc.) schien ihm bloss auf die Intensität des Schalles Einfluss zu haben; seine Beobachtungen aber zeigten ihm einen Einfluss des Windes, den er in einer grösseren, sich auf drei Jahre erstrekenden, und zu 15 verschiedenen Malen angestellten Versuchsreihe weiter untersuchte.

Er stellte diese Beobachtungen, welche auf eine Entfernung von 20 Kilom. 116 gemacht wurden, in folgender, wirklich praktisch eingerichteter Tabelle, zusammen:

Tabella sonorum Bombardarum in agro Blackheath, pro Ventorum, Viriumque quibus agitantur, varietate.

Dies mensis anni.	Hora diei.	Numerus Vibrationum	Ventorum plaga. (Soni plaga = S. W. b. W.)	Nubium plaga.	Altitudo. ☿
1704					
Febr. 13.	6 h ad med. noct.	120 122	N. E. b. E. 1	N. E. b. E.	29″,99
„ 11.	11½ mane	119	E. 2	E.	30″,22
1705					
Mar. 30.	10 mane	113	S. W. 7	S. W.	29″,30
Apr. 2.	8½ p. M.	114,5	S. b. W. 1		
„ 3	10 mane	116,5	S. 4.	Inferior S. Super. W.b.N.	29″,80
„ 5.	1 p. M.	111	S.W.b.W. 7	S. W. b. W.	29″,70
„ 13.	8½ mane	120	N. b. E. 2		29″,26
„ 24.	5 p. M.	116	S.W.b.W. 0	N. W.	29″,59
Sept. 11.	6½ p. M. 7 p. M.	115 115,5	W. 2 W. b. N. 2	W. b. W.	Saker [1] Mortar
„ 29.	10½ mane	112	S. S. W. 6	S. S. W.	29″,38
Octob. 6.	10 mane	117	E.S.E. 1 et 2	S. E.	29″,34
Nov. 30.	meridie	115	S. S. W. 4	S. S. W.	29″,10
Febr. 15.	11 mane	116	S. b. W. 1	S. W.	29″,60
1706					
Nov. 29.	11½ mane meridie	116 118	S. W. 0 S.W.b.S. 1	S. W. b. W.	30″,06
Febr. 7.	meridie	113	S.W.b.W. 4	W.	29″,83
			Figuræ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, varias Ventorum vires significant		

[1]) Diese beiden Namen sind die englischen Benennungen zweier Arten von grösseren Geschützen, mit welchen an diesem Tage der Versuch gemacht wurde.

Bei direkt entgegengesetztem, schwachem Winde wurde die angegebene Entfernung in 120—122 halben Sekunden zurückgelegt, bei günstigem, mehr oder weniger heftigem Winde, fiel die Zeit der Fortpflanzung auf 111, 113, 116 halbe Sekunden herab; aus diesen Beobachtungen zog Derham den Schluss, dass der Wind, im Verhältniss seiner Stärke, wenn er die Fortpflanzungsrichtung oder die entgegengesetzte hat, eine schnellere oder eine langsamere Bewegung des Schalles bedingt, so dass die Geschwindigkeit derselben, welche für mittlere Zustände 348 Meter beträgt, bei günstigem Winde 368 Meter überschreiten, und bei ungünstigem Winde unter 341 Meter heruntergehen kann.

Ueber die Frage der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in gerader Linie von einem Ort zum andern, und von oben nach unten und umgekehrt, wagt es Derham nicht, aus seinen Versuchen einen Schluss zu ziehen, weil die Verhältnisse des Bodens, auf welchem er arbeitete, ihm grössere Niveaudifferenzen und Unebenheiten nicht darboten. »Es wäre zu wünschen, sagt er, dass bezügliche Versuche in den Alpen ausgeführt werden könnten,« ein Wunsch, der 140 Jahre später, wie wir sehen werden, in Erfüllung ging. Auffallend mag im ersten Augenblicke scheinen, dass in der ganzen Arbeit Derham's, welcher doch, wie Newton, Mitglied der königlichen Gesellschaft war, nicht die geringste Bezugnahme auf dieses letzteren Arbeiten gefunden wird: die Newton'sche Zahl führt zwar Derham mit der Quellenangabe an, aber ohne nur anzugeben, dass sie das Resultat rein theoretischer Untersuchungen war.

Allein, einerseits, wenn auch die Geometer, die Astronomen und die Physiker viel über Newton's Naturphilosophie stritten, so waren bis in die zwanziger Jahre des

18. Jahrhunderts seine Ansichten weit entfernt sich allgemein Eingang verschafft zu haben, und, andererseits, war Derham ein Mann, der, wie auch zu unserer Zeit mehrere Landgeistliche, ohne sich mit theoretischen Spekulationen viel abzugeben, gerne Thatsachen sammelte; galt ja seine Hauptthätigkeit in der Physik meteorologischen Beobachtungen. Seine Versuche waren gewissenhaft und sind um so zuverlässiger, als er nicht in die Versuchung kam, dieselben mit den Ergebnissen der Theorie übereinstimmen lassen zu wollen.

19) Zwanzig Jahre vergingen, bis die Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft von neuem experimentell bestimmt wurde: diese neuen Versuche wurden, mit Unterstützung der französischen Regierung, von den Mitgliedern der Akademie, Cassini de Thury (1714—1784), Enkel des vorher erwähnten Domenico Cassini, Maraldi (1709—1788) und La-Caille (1713—1762), im Frühjahr 1738 ausgeführt; ihre Veranlassung war nicht etwa die Newton'sche Theorie und die die Differenz zwischen der theoretisch gefundenen Zahl und den bisher ermittelten Erfahrungsresultaten (Cassini führt Newton's Arbeit in einer Weise an, welche zeigt, dass er seine Theorie gänzlich ignoriren wollte), sondern hauptsächlich die Nichtübereinstimmung zwischen den Zahlen, welche die Florentiner (385 Meter), die ersten französischen Akademiker (356 Meter) und Derham (348 Meter) gefunden hatten.

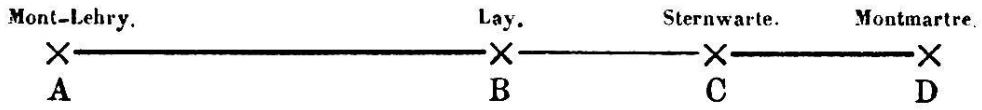
Die Hauptzüge des Beobachtungsverfahrens [1]) sind dieselben wie früher, nur wurden grössere Entfernungen gewählt, die Zeiten mit Hülfe von sorgfältig ausgeführten

---

[1]) Mémoires de l'académie des sciences de Paris. 1738. Pag. 128 u. ff.

Sekundenuhren, und zwar an jeder Station durch zwei verschiedene Beobachter, gemessen, die Fortpflanzung auf jeder Strecke in zwei entgegengesetzten Richtungen beobachtet; bei allen Versuchen fanden Barometer- und Wind-, bei einigen auch, zum ersten Male, aber leider ohne Consequenz, Thermometer-Beobachtungen statt. Die Akademiker wählten eine beinahe gerade Linie, gebildet durch den Hügel Montmartre, die Pariser Sternwarte, das Schloss Lay und den Thurm de Mont-Lehry, bei Paris; die Entfernungen dieser einzelnen Stationen waren, bei den geodätischen Operationen der vorigen Jahre, trigonometrisch sehr genau ermittelt worden, und betrugen:

	Toisen		Meter
Mont-Lehry — Sternwarte . .	11756	=	22912,88
Sternwarte — Montmartre . .	2931	=	5712,63
Mont-Lehry — Lay . , . .	8304	=	16184,80
Lay — Sternwarte	3460	=	6743,67



Auf jeder Station befanden sich zwei, mit Sekundenuhren versehene Beobachter. Abends 9 Uhr 20′ wurde als Signal auf der Sternwarte ein Kanonenschuss gefeuert; dann in Montmartre wurde, um 9 Uhr 30 und um 9 Uhr 50, je ein Schuss gefeuert, und in den 3 übrigen Stationen die Zeit der Fortpflanzung beobachtet; endlich um 10 Uhr und 10 Uhr 20′ wurde von Mont-Lehry aus je ein Schuss gefeuert und an den übrigen Stationen die Fortpflanzungszeit bestimmt; auf diese Art hatte man in einer Nacht, zur Bestimmung der gesuchten Geschwindigkeit, 12 direkte und 12 indirekte Beobachtungen; es wurden, bei verschiedener Witterung und unter verschiedenen Wind-

verhältnissen, viermal Nachts und einmal am Tage, solche Versuchsreihen angestellt, welche 60 direkte und 60 indirekte, im Ganzen also 120 Beobachtungen zur Bestimmung der Geschwindigkeit hätten liefern sollen; diese Anzahl wurde aber in der Wirklichkeit etwas geringer, weil ein paar Mal, bald von der einen, bald von der andern Station, in Folge des heftigen Windes, die Explosionen der Geschütze nicht gehört werden konnten. Endlich führte man noch, zwischen den um 16079 Toisen = 31338,57 Meter von einander entfernten, nur durch Flachland getrennten Stationen Montmartre und Dammartin, eine sechste Versuchsreihe aus, welche, da man von jeder Station aus 3 Schüsse abfeuerte, 6 Bestimmungen lieferte. Der Durchschnittswerth, den alle diese Beobachtungen für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles ergaben, war 17 Toisen = 337,18 Meter.

Der Einfluss des Windes zeigte sich z. B. bei folgenden Beobachtungen:

Am 24. März 1738 brauchte der Schall, bei ungünstigem, d. h. entgegengesetztem Winde, zur Zurücklegung der Entfernung von 31338,57 Meter eine Zeit von 94 Sekunden, was einer Geschwindigkeit von 333,39 Meter entspricht; am 20. März war, bei günstigem, d. h. direkt gerichtetem Winde, die Fortpflanzungszeit auf eine Entfernung von 22912,88 Meter, 66 Sekunden gewesen, woraus sich eine Geschwindigkeit von 347,62 Meter ergibt.

Der Bericht Cassini's über diese Versuche schliesst mit folgenden Sätzen:

1. Die Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft beträgt 173 Toisen = 1038 Par. F. = 337,18 Meter.
2. Diese Geschwindigkeit ist unabhängig von der Intensität des Schalls.

3. Sie ist von den Witterungsverhältnissen und von der Tageszeit unabhängig.
4. Die Fortpflanzungsbewegung ist gleichförmig.
5. Die Geschwindigkeit ist von der Richtung des abgefeuerten Geschützes unabhängig.
6. Sie ist von der Windsrichtung abhängig.
7. Sie ist von der Bodenbeschaffenheit unabhängig.
8. Sie ist vom Barometerdruck unabhängig.

Wie die Florentiner und Derham, gibt auch Cassini, unter anderen Anwendungen dieser Bestimmungen, die Messung von Entfernungen an. Neu, und desshalb erwähnenswerth, scheint mir sein Vorschlag zur Bestimmung der Entfernung zweier einander nicht sichtbaren Stationen A und B, aus einem dritten, den beiden ersten sichtbaren Standorte C. In A wird ein Schuss gefeuert und in B, sobald derselbe dort gehört wird, ein Feuer, z. B. einfach Pulver, angezündet; von C aus wird die Zeit zwischen dem Erscheinen des Lichtes in A und B gemessen; diese Zeit, in Sekunden ausgedrückt und mit V multiplicirt, gibt die Entfernung AB.

20) Unmittelbar nach diesen Versuchen wiederholte Cassini dieselben in Süd-Frankreich, am Meeresufer, vom Fanal de Cettes bei Aigues-Mortes, nach Tours de Conflans, auf einer trigonometrisch bestimmten Entfernung von 22572 Toisen = 43993,66 Meter, sowie auf einigen andern Strecken [1]). Die Beobachtungen wurden in ähnlicher Weise, wie zu Paris, mehrere Tage hintereinander angestellt; man fand, dass die oben angegebene Entfernung von 43993,66 Meter in einer Zeit von 130 Sekunden zurückgelegt wurde, woraus sich eine Geschwindigkeit von 338,41 Meter ergibt. Dieser Werth ist etwas grösser als der in Paris ermittelte. Im Ganzen aber be-

[1]) Mémoires de l'académie de Paris. 1739. Seite 126.

stätigten diese neuen Versuche die Ergebnisse, welche schon in Paris gewonnen worden waren, vollkommen.

Die Versuche der Pariser Akademiker übertrafen offenbar alle vorhergehenden, namentlich in Beziehung auf die Zeitmessung, an Sorgfältigkeit in ihrer Ausführung und daher an Zuverlässigkeit in ihren Ergebnissen. Sie blieben auch lange Zeit maassgebend, und hätten's noch mehr sein können, wenn die Akademiker die Temperaturbeobachtungen sorgfältig und systematisch ausgeführt hätten, was sie nicht thaten; namentlich werden die Versuche in Süd-Frankreich ohne Temperaturangabe mitgetheilt.

21) Der gleiche Vorwurf lässt sich den, ebenfalls im Auftrage der französischen Regierung, in Quito und Cayenne, von La-Condamine (1701—1774) geleiteten, in den Jahren 1740 (?) und 1744 ausgeführten Versuchen machen. Ueber die Versuche in Quito habe ich mir keine andere Quelle verschaffen können, als die Mittheilung, welche La-Condamine selbst in seinem Berichte über seine Reise am Amazonenfluss [1]) macht, und wo er bloss die in Quito ermittelte Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu 341,08 Meter, ohne auf ihre Bestimmung näher einzutreten, angibt. Was die Versuche in Cayenne anbelangt, so wurden sie, nach dem gleichen Berichte, am 1. und 2. April 1744 in einer grossen Ebene veranstaltet; in derselben wurde eine Strecke von 20230 Toisen = 39429,02 Meter trigonometrisch vermessen, und zu 5 verschiedenen Malen ergab sich, bei demselben Verfahren, welches in Paris angewendet worden war, dass die Schallfortpflanzungszeit auf diese Strecke, bei geringem Winde, 110″ betrug; von diesen fünf Zeitmessungen stimmten vier bis auf eine halbe Sekunde überein. Demnach berechnete

[1]) Mémoires de l'académie de Paris. 1745. Pag. 488.

La-Condamine die Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit auf 183,9 Toisen = 358,44 Meter. Diese Versuche sind, so viel wir wissen, die ersten, welche ausser Europa stattfanden, und verdienen daher, abgesehen von der wissenschaftlichen Befähigung der Männer, die sie ausführten, erwähnt zu werden.

22) Während La-Condamine in Cayenne, durch Vernachlässigung von Temperaturbeobachtungen, seine Bestimmungen eines guten Theils ihres wissenschaftlichen Werthes beraubte, stellte sich 1740 ein junger Italiener, Bianconi, (1717—1781) die Aufgabe zu untersuchen, ob die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft dieselbe im Winter und im Sommer sei. Zu diesem Zwecke [1]) benutzte er eine Strecke von 13000 Schritten, ungefähr 25600 Meter, in der Nähe von Urbana, an deren einem Endpunkte eine Kanone abgefeuert wurde; die Zeit wurde mit Hülfe einer Pendeluhr gemessen. Bianconi stellte drei Versuche an:

1. am 19. August 1740, Nachts, bei Windstille, einem Barometerstand von 28",1 und einer Temperatur von + 20° R. ergab sich, bei viermaliger Wiederholung des Versuchs, eine Fortpflanzungszeit von 76 Sekunden;
2. am 7. Februar 1741, Nachts, bei starkem, günstigem Ostwind. einem Barometerstand von 27",6 und einer Temperatur von — 1°,2 R., fand man, wiederum bei einem viermal wiederholten Versuche, eine Fortpflanzungszeit von 78",5 bis 79" Sekunden;
3. am 18. Februar 1741, Nachts, bei Windstille, einem Barometerstand von 28",4 und einer Temperatur von 0° R., wurde die Beobachtung wiederholt; da

---

[1]) Comment. Bonon. II, Seite 365, und Hamburger Magazin, XVI, Seite 476.

aber starker Nebel die Wahrnehmung des Lichtes der Explosion verhinderte, wurde das Verfahren des Schiessens an beiden Endpunkten der Beobachtungslinie angewendet; der Beobachter am ersten Endpunkt vernahm die Explosion am andern Endpunkte 157 Sekunden, nachdem er zuerst geschossen hatte; durch Zählung seiner Pulsschläge schätzte Bianconi den Zeitverlust beim Abfeuern des zweiten Schusses auf 3 Sekunden; es bleiben somit für die Fortpflanzungszeit auf circa 51200 Meter, $157 - 3 = 154''$; für die einfache Strecke erhält man daher eine Zeit von $77''$.

Aus diesen Versuchen ergibt sich freilich ein Einfluss der Temperatur auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft, und zwar in dem Sinne, den die Theorie verlangt; indessen waren diese Beobachtungen zu wenig zahlreich, und andererseits, namentlich in Beziehung auf Zeitmessung, zu wenig genau, um mehr als die Festsetzung der Thatsache zu gestatten. Auch suchte Bianconi nicht, diese Erscheinung weiter zu erforschen; die Geschwindigkeit der Fortpflanzung selbst suchte er nicht aus seinen Versuchen, wahrscheinlich weil die Strecke, auf welche verfahren wurde, nicht genau gemessen war, zu bestimmen.

Während, seit dem Beginn des 18. Jahrhunderts, alle die im Vorigen erwähnten Beobachter die theoretische Seite der Frage vollkommen ausser Acht liessen, hatte sich, seit den dreissiger Jahren, eine ganz andere Kategorie von Forschern, nämlich diejenige der Mathematiker, mit derselben zu beschäftigen begonnen. Ihren zahlreichen, zum Theile sehr beachtenswerthen Arbeiten wollen wir nun unsere Aufmerksamkeit zuwenden.

(Schluss folgt im nächsten Jahrgang.)