

einzuprägen, eine Größe, welche immer noch nicht leicht zu messen seyn würde. Ich gebe auch darum nur die Idee, nicht die Details.

Utrecht, den 5. August 1845.

**II. Von der Geschwindigkeit des Schalls zwischen zwei Standpunkten von gleicher oder ungleicher Höhe über dem Meere;
von den HH. A. Bravais und Ch. Martins.**

(*Ann. de chim. et de phys.*, Ser. III, T. XIII, p. 5.)

I. Schallgeschwindigkeit zwischen zwei Standpunkten von gleicher Höhe über dem Meere.

Die ersten Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft zwischen zwei Standpunkten, deren Höhenunterschied Null oder unbedeutend ist, stammen von Mersenne und Gassendi her; sie wurden von vielen Physikern wiederholt, unter andern von denen der *Accademia del Cimento*, von Rob. Boyle, Bianconi, Flamsteed und Halley. Allein der Widerspruch zwischen den von ihnen erhaltenen Zahlen beweist genugsam, daß die experimentellen Methoden damals noch nicht weit genug waren, um genaue Resultate zu erlangen; auch hat es die Pariser Academie der Wissenschaften für ihre Pflicht gehalten, Versuche zu unternehmen, um die Gesetze dieser Fortpflanzung scharf zu bestimmen. Es wurde eine Commission ernannt, bestehend aus Lacaille, Maraldi und Cassini de Thury, denen mehre Gehülften hinzutraten ¹⁾. Die Sternwarte, die Pyramide von Montmartre, die Mühle von *Fontenay-aux-Roses* und das Schloß *Lay* waren die von den Acade-

1) *Sur la propagation du son*, par Mr. Cassini de Thury (*Mém. de l'acad.*, année 1738, p. 128.).

mikern erwählten Standpunkte. Bei dem letzten Versuche nahmen sie den Thurm von Dammartin hinzu. Man schoß folgwiese eine Kanone beim Observatorium, bei Montmartre und Montlhéry ab. Die Beobachter hatten sich vorgesetzt, den Einfluß des Windes zu ermitteln; sie ließen daher an zwei Standpunkten *wechselseitige* Schüsse thun ¹⁾ und nahmen als Maafs der Schallgeschwindigkeit in ruhiger Luft die halbe Summe der an jeder Station zwischen Blitz und Knall beobachteten Zeit. Allein Hr. Arago macht mit Recht die Bemerkung ²⁾, daß unter allen diesen Schüssen nur die vom 14. und 16. März 1738 zwischen Montlhéry und Montmartre wechselseitige genannt werden können, wenn man überhaupt Schüsse wechselseitige nennen kann, die in Zwischenzeiten von 35 Minuten gethan sind. Was die betrifft, welche um 9^h 25' und 9^h 30' Abends am 14., 16. und 20. März beim Observatorio und auf dem Montmartre gelöst wurden, so geben sie nur ein unrichtiges Resultat, und können es nur geben, weil beide Standpunkte nur 5713 Meter auseinander liegen. Zur Messung der zwischen dem Blitz und dem Knall der Kanone verstrichenen Zeit, hörten die Beobachter auf das Schlagen eines Secunden-Pendels, und begnügten sich, die halben Secunden zu schätzen. Sie zeichneten auch den Stand des Baro- und Thermometers auf; letzteres hielt sich während der ganzen Dauer der Versuche zwischen 5° und 7°,5 C. ³⁾. Allein sie hatten keine Mittel, die Menge des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfs zu schätzen. Jedenfalls hat die Commission nachgewiesen, daß die Schallgeschwindigkeit gleichförmig ist, daß sie ferner gleich ist bei schönem Wetter und bei Regen, bei Tage und bei Nacht, welch eine Richtung die Kanone auch haben möge.

Sie

1) *Histoire de l'acad. des sciences, année 1738, p. 2.*

2) *Connaissance des temps pour 1825, p. 370.*

3) *Mémoires de l'acad. des scienc., année 1738, p. 141.*

Sie hat den Einfluss der Richtung und Stärke des Windes hinsichtlich der Beschleunigung oder Verzögerung der Geschwindigkeit und der Verstärkung oder Schwächung der Intensität aufser allen Zweifel gesetzt. Aus der Gesamtheit ihrer Versuche ergiebt sich die Schallgeschwindigkeit in der Luft bei 0° im Mittel zu 332,9 Meter in der Secunde.

Im folgenden Jahre machten Lacaille und Cassini einige Versuche zwischen *Aigues-Mortes* und *Cette*, um den Einfluss der Nähe des Meeres und eines andern Clima zu ermitteln ¹⁾. Der Abstand zwischen beiden Stationen betrug 43574 Meter, allein die Schüsse waren nicht wechselseitig. Derselbe Vorwurf trifft die Versuche, welche La Condamine i. J. 1740 zu *Quito* ²⁾ und i. J. 1744 zu Cayenne ³⁾ machte. Für den in einer Zeitsecunde vom Schall durchlaufenen Raum fand er das erste Mal 339 Meter, das zweite Mal 357. Diese große Schallgeschwindigkeit in einer Luft, deren Temperatur hoch war, mußte die Physiker auf die Nothwendigkeit aufmerksam machen, die Temperatur der Luft, in welcher sich der Schall fortpflanzt, zu berücksichtigen.

Im J. 1778 wandte Kästner in Göttingen zuerst eine Terzienuhr mit Sperrung an, um die Zeit zwischen Blitz und Knall zu beobachten ⁴⁾; allein Benzenberg, der diese Uhr prüfte, lehrt uns, daß ihr Gang sehr unregelmäßig war und der Mechanismus des Sperrens auf sie Einfluss hatte ⁵⁾. Ueberdies war, da die Kanonenschüsse nicht wechselseitig geschahen, der Einfluss des

1) *Sur les opérations géométriques faites en France dans les années 1737 et 1738 (Mém. de l'acad., année 1739, p. 119.)*

2) *Journal du voyage fait par ordre du roi à l'équateur, T. I., p. 98.*

3) *Relation abrégée d'un voyage fait dans l'intérieur de l'Amérique (Mém. de l'acad., année 1745, p. 488.)*

4) Göttingische Anzeigen von gelehrten Sachen, Jahrg. 1778, S. 1145.

5) Gilbert's Annal. der Physik, Bd. 35, S. 385.

Windes nicht beseitigt. Aus beiden Gründen müssen diese Versuche weniger Zutrauen einflößen, als die der französischen Akademiker. Die von Müller i. J. 1791 gleichfalls zu Göttingen angestellten Versuche sind mit derselben Fehlerquelle behaftet ¹⁾. Die i. J. 1794 von Espinosa und Bauza zu *St. Jago de Chili* gemachten, hatten den Zweck, den Einfluß der Temperatur zu ermitteln, die von 21 bis 25° C. ging ²⁾. Allein die Mittel aus vier Beobachtungsreihen stimmen wenig mit einander überein und können also den Physikern kein großes Vertrauen einflößen.

Am 5. Nov. 1809 schätzte Benzenberg bei fünfzehn Kanonenschüssen zu Düsseldorf die Zeit zwischen Blitz und Knall in einem Abstände von 4627 Metern. Am 2. und 3. December begab er sich auf den Thurm von Ratingen, der 9072 Meter von Düsseldorf entfernt ist. Er bediente sich einer mit Sperrung versehenen Terzienuhr von Pfaffius, welche den Tag in zehu Millionen Theile theilte und hinsichtlich ihres Ganges sorgfältig studirt worden war. Die Zahl der beobachteten Kanonenschüsse stieg auf 60 ³⁾.

Diese Versuche würden untadelhaft seyn, wenn die Schüsse wechselseitig gewesen wären. Sie wurden bei niederen Temperaturen gemacht und Gilbert spricht in einer Anmerkung zu Benzenberg's Abhandlung die Nothwendigkeit aus, Temperatur und Druck zu berücksichtigen, und mittelst der Newton'schen Formel in Rechnung zu nehmen, da sie die Undulationsgeschwindigkeit in einem elastischen Mittel in Function der Schwerkraft, des Drucks und der Dichtigkeit des Fluidums giebt ⁴⁾. Diese Bemerkung von Gilbert veranlafte Benzenberg seine

1) Götting. Anzeig. u. s. w., Jahrg. 1791, S. 1593.

2) *Ann. de chim. et de phys.*, Ser. II, T. VII, p. 93.

3) Gilbert's Annalen, Bd. 35, S. 383.

4) Ebendasselbst.

Versuche im Juni 1811 zu wiederholen ¹⁾). Bei drei auf einander folgenden Reihen war die Temperatur der Luft $12^{\circ},0$, $29^{\circ},0$ und $28^{\circ},4$ C. Die Gesamt-Anzahl der Schüsse stieg auf vierzig. Durch Vergleich der bei verschiedenen Temperaturen angestellten Versuche konnte Benzenberg eine empirische Tafel entwerfen, welche die Schallgeschwindigkeit in einer Sexagesimalsecunde für alle Temperaturen zwischen 0° und 30° C. angab. Die Zahl, welche er aus der Gesamtheit seiner Beobachtungen für den in Luft von 0° in einer Secunde durchlaufenen Raum ableitet, ist $333^m,7$.

Vom Juli 1820 bis November 1821 beobachtete Goldingham, Astronom zu Madras, mehr als achthundert Kanonenschüsse, die auf dem Fort St. George und bei der Artilleriekaserne auf dem St. Thomasberg abgefeuert wurden ²⁾). Wählt man 91 bei vollkommen ruhiger Luft zwischen Blitz und Knall beobachtete Zeiten aus, so findet man $331^m,0$ für die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft, deren Temperatur nach der Newton'schen Formel auf 0° zurückgeführt worden.

Dieser kurze geschichtliche Abriss genügt zu zeigen, daß die experimentellen Methoden, welche man, um zu einer strengen Bestimmung der Schallgeschwindigkeit zu gelangen, angewandt hat, seit den berühmten Versuchen von 1738 keine erhebliche Fortschritte gemacht hatten. Die Beobachter erfüllten nicht die Bedingung der Wechelseitigkeit der Schüsse, obwohl die französischen Akademiker die ganze Wichtigkeit derselben hervorgehoben hatten. Nur die Mittel zur Zeitmessung waren vervollkommen worden. Ueberdies hatten Gilbert und Benzenberg zuerst das Element der Temperatur bei der Reduction der Beobachtungen eingeführt, obwohl schon Bianconi

1) Gilbert's Annalen, Bd. 42, S. 1.

2) Poggendorff's Ann. d. Physik, Bd. 5, S. 476.

i. J. 1740 erwiesen hatte ¹⁾, daß die Schallgeschwindigkeit in einer Luft von 35° weit größer ist als in einer von — 1°,5.

Um diesen Unsicherheiten ein Ende zu machen, ernannte das *Bureau des Longitudes* i. J. 1822 eine Commission zum Behufe der Anstellung von Versuchen über die Schallgeschwindigkeit und somit einer Prüfung der neuen theoretischen Bestimmung, welche La Place, aus den Versuchen des Hrn. Gay-Lussac abgeleitet, über die specifische Wärme der Luft gemacht hatte. Diese Commission bestand aus den HH. Prony, Bouvard, Mathieu und Arago, denen die HH. Gay-Lussac und v. Humboldt hinzutraten ²⁾. Die von den Beobachtern gewählten Stationen waren Villejuif und Montlhéry, deren Entfernung, durch Hrn. Arago trigonometrisch bestimmt, 18613 Meter beträgt. An jeder derselben hatten sie einen Sechspfünder, von Artilleristen bedient. Fünf Chronometer mit Sperrung, von Hrn. Breguet, dienten zur Messung der Zeit. Hr. de Prony hatte einen Chronometer ohne Sperrung, der 150 Schläge in der Minute machte. Am 21. Juni 1822 wurden die zu Montlhéry gethanenen Schüsse vollkommen zu Villejuif gehört, während die von Villejuif dermaßen geschwächt in Montlhéry anlangten, daß sie unter den drei Beobachtern nur von zwei und zuweilen nur von einem einzigen vernommen wurden. Sieben correspondirende, in Zwischenzeiten von fünf Minuten abgefeuerte Schüsse wurden indeß an jedem der beiden Standpunkte gehört. Die größte Abweichung in der Schätzung der Zeit zwischen Blitz und Knall eines Schusses betrug für

1) *Della diversa velocita del suono in Venezia*, 1746, und *Commentarii Bononienses*, T. II, Pars I, p. 365.

2) *Résultats des expériences faites par ordre du bureau des longitudes pour la détermination de la vitesse du son dans l'atmosphère*, par Mr. Arago (*Connaissance des Temps*, 1825, p. 361).

beide Stationen 0,4 Secunden. Am andern Tage, 22. Juni, wurde von 12 zu Villejuif abgefeuerten Schüssen nur ein einziger zu Montlhery gehört, von den HH. Bouvard und Gay-Lussac, so dafs diese Versuche denen des vorherigen Tages nichts hinzufügten. Während der ganzen Dauer der Versuche beobachtete man von 5 zu 5 Minuten das Baro-, Thermo- und Hygrometer. Die sieben wechselseitigen, in Zwischenräumen von 5 Minuten abgefeuerten Schüsse geben für die Schallgeschwindigkeit in *trockner* Luft bei 0° , wenn man 0,0366 als Ausdehnungscoëfficient der Luft und die von La Place ¹⁾ für die Feuchtigkeit der Luft nachgewiesene Berichtigung $0^{\text{m}},57$ annimmt, die Zahl $330^{\text{m}},8$.

Der berühmte Berichterstatter der Commission besteht dringend auf die Nothwendigkeit, die Kanonenschüsse wechselseitig abzufeuern, um den Einfluß des Windes zu eliminiren. Er zeigt, dafs das Ideal dieser Art von Versuchen ein gleichzeitiges Abfeuern der Kanonen an beiden Stationen verlangte, und beweist, dafs selbst in diesem Fall die halbe Summe der Zwischenzeiten nicht immer nothwendig das Maafs der Fortpflanzung des Schalls in ruhiger Luft seyn würde.

Ohne Zweifel waren es diese Gründe, welche die HH. Moll und v. Beek bewogen, diese Versuche zu wiederholen, und dabei alle Vorsichtsmaafsregeln zu treffen, dafs die wechselseitigen Schüsse in so kurzen Zwischenzeiten wie möglich abgefeuert wurden ²⁾. Prinz Friedrich von Holland hatte den beiden Gelehrten vier Kanonen, 6- und 12-Pfünder, zur Verfügung gestellt. Mehre Officiere und Studenten der Universität Utrecht wirkten als Gehülfen mit zu diesen Versuchen. Die Zeit

1) *Sur la vitesse du son, par M. de la Place (Connaissance des Temps, 1825, p. 372.)*.

2) Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls, gemacht in Holland (Poggendorff's Annal. der Physik, Bd. 5, S. 351 und 469. — *Philosoph. Transact.*, 1824, p. 424.).

wurde durch zwei Chronometer von wohlbekanntem Gange gemessen. Die Zeiten zwischen Blitz und Knall maß man durch zwei Pfaffius'sche Terzienuhren mit Sperrung, deren Zeiger geradezu Hundertel einer Decimalsecunde angaben ¹⁾. Bei diesen Uhren hat das Pendel eine doppelte Aufhängung und beschreibt einen Kegel, dessen Scheitel der Aufhängepunkt ist. Im Moment, da man den Blitz gewahrt, setzt man durch einen Druck auf eine Feder den Zeiger in Gang; im Augenblick, da man den Knall vernimmt, zieht man den Daum zurück und der Zeiger steht. Ueberdies waren die Beobachter mit Barometern, Thermometern und Daniell'schen Hygrometern versehen. Eine Windfahne zeigte die Richtung des Windes an. Als Standpunkte wählten sie in der Haide von Utrecht zwei Hügel, *Zevenboompjes*, welchen wir mit *A* bezeichnen wollen, und *Kooltjesberg*, welchen wir *B* nennen. Die Entfernung beider Stationen ist 17669^m.3. Sie wurde aus vier verschiedenen Dreiecken berechnet, die sich auf ein Dreieck der Krayenhoff'schen Vermessung stützte ²⁾. Der größte Unterschied zwischen diesen vier Bestimmungen stieg auf 2^m.45.

Die Versuche wurden auf folgende Weise angestellt. Am 23. Juni 1823, Abends, liefs man von der Station *A* eine Rakete aufsteigen. Diefs war das Signal, daß auf dieser Station alles bereit war. Als Antwort stieg vom Punkte *B* eine Rakete auf; sie benachrichtigte die Beobachter an der ersten Station, daß die der zweiten auf ihren Posten waren. Um 8^h 0' 0" des Chronometers der Station *A* that man den ersten Kanonenschufs, und um 8^h 5' einen zweiten; einen dritten Schufs that man an beiden Stationen gleichzeitig um 8^h 10' 0". Diese drei Schüsse beabsichtigten die Chronometer in Beziehung zu

1) Ueber ein Centrifugal-Pendel (Gilbert's Annal. d. Physik, 1804, Bd. 16, S. 494.).

2) *Précis des opérations géodésiques et trigonométriques en Hollande; par Mr. le Général Krayenhoff.*

setzen. Um genau in einem Augenblick abzufeuern verfuhr man folgendergestalt: Ein Officier hielt die brennende Lunte über dem Zündloch; ein anderer hielt den Chronometer vor Augen und faßte den ersteren am Arm. Genau im Moment, da der Zeiger die verabredete Secunde erreichte, drückte er den Arm, der die Lunte hielt, nieder und die Kanone ging los. Wenn die Chronometer verglichen waren, begannen die Versuche. Man that auf der Station *A* einen Schuss, und eine oder höchstens zwei Secunden hernach antwortete man auf der Station *B* mit einem Schuss. Am 23., 24. und 25. Juni wurden indels die Schüsse der Station *A* nicht an der Station *B* gehört, obwohl man sich am 24. und 25. eines 12-Pfünders, geladen mit 3 Kilogramm. Pulver, bediente. Am 25. verhielt es sich umgekehrt. Die Beobachter der Station *A* hörten nicht die Schüsse der Station *B*. Allein am 27. hatte man 22 wechselseitige Schüsse und am 28. deren 14. Das Mittel der bei diesen 36 wechselseitigen Schüssen zwischen Blitz und Knall beobachteten Zeit giebt für die Geschwindigkeit des Schalls in trockner Luft bei 0°, berechnet nach dem neuen Ausdehnungscoëfficienten, 332^m,25. Der Unterschied der Resultate beider Reihen, vom 27. und 28. Juni, beträgt 0^m,66. Berechnet man dagegen aus den 36 nicht wechselseitigen Schüssen des 25. und 26. Juni die Schallgeschwindigkeit, so findet man, dafs die Mittel der an beiden Abenden gemachten Bestimmungen um 6^{mm},35 von einander abweichen. Diese Zahlen machen genugsam einleuchtend, wie äufserst wichtig die Wechselseitigkeit der Schüsse ist.

Die eben angeführten Versuche scheinen uns alle Genauigkeitsbedingungen, welche man an diese Art von Versuchen zu machen berechtigt ist, zu erfüllen, denn: 1) die Standlinie, genau gemessen, betrug über 17 Kilometer; 2) die wechselseitigen Schüsse wurden in Zwischenzeiten von einer bis zwei Secunden, und in hinreichender Anzahl abgefeuert, um einen genauen Mittelwerth zu geben; 3) alle

erforderlichen meteorologischen Instrumente wurden während der ganzen Dauer der Versuche beobachtet; 4) die Zähler waren sorgfältig verglichen mit Chronometern, die nach astronomischen Beobachtungen regulirt worden; indefs sind die Zähler selbst nicht gegen allen Einwurf gesichert. Der Zeiger setzt sich, wie gesagt, in Gang, sobald man an eine Feder drückt. Ehe er in Bewegung kommt, geht nothwendig Zeit verloren; und dieser Zeitverlust kann nicht derselbe seyn wie beim Anhalten des Zeigers. Es findet also keine Compensation statt, wie bei den Uhren mit gewöhnlichen Sperrungen. Die punktirenden Zähler der HH. Breguet sind gegen diesen Uebelstand vollkommen sicher gestellt; denn der Hebel, welcher den Punkt macht, ist von dem Uhrwerk ganz unabhängig und folglich ohne Einfluß auf den Gang des Secundenzeigers. Noch mehr: da man den Augenblick eines Phänomens dadurch anmerkt, daß man einen Knopf mit dem Daumen niederdrückt, so haben die Verzögerungen gegen diesen Augenblick immer einen fast gleichen Werth und compensiren sich daher. Bei den von den holländischen Beobachtern angewandten Uhren erfordern das Anhalten und Loslassen verschiedene Muskelbewegung, und da fragt es sich dann, ob diese beiden Bewegungen gleiche Dauer haben.

Nach den denkwürdigen Versuchen der französischen und holländischen Physiker finden wir die, welche Gregory i. J. 1824 zu Woolwich machte, um den Einfluß des Windes zu ermitteln ¹⁾. Sie konnten nicht zu genauen Resultaten führen, weil weder die Schüsse wechselseitig geschahen, noch die Entfernung groß genug war.

Obwohl diese beiden Vorwürfe auch die Versuche treffen, welche die englischen Seefahrer auf ihrer Ueberwinterung in Nordamerika anstellten, so können wir sie

1) *An Account of some experiments made in ordre to determine the velocity with which the sound is transmitted in the atmosphere (Philosoph. Magazine, 1824, T. LXIII, p. 401.).*

doch nicht mit Stillschweigen übergehen, denn sie zeigen, daß die Schallgeschwindigkeit abnimmt, so wie das Thermometer sinkt. Auf der Reise von Franklin liefs Lieutenant Kendall am 31. Octbr., 3., 5., 14. Novbr. und 23. Decbr. 1825 vierzig Schüsse am Ufer des großen Bärensee abfeuern ¹⁾. Die Temperaturen lagen zwischen $-2^{\circ},5$ und $-40^{\circ},0$ C., und die Abstände gingen von 464 bis 1856 Meter. Er suchte den Einfluß der Winde zu bestimmen, indem er denselben durch directe Versuche schätzte. Kendall fand die Schallgeschwindigkeit in einer Secunde bei $-2^{\circ},5$ C. $= 331^m,2$ und bei $-40^{\circ} = 313^m,9$.

Während seiner Ueberwinterung zu *Inglookik* und *Winter-Island* machte Parry, mit seinen Lieutenants HH. Nyas und Fischer, achtzehn Versuche über die Schallgeschwindigkeit ²⁾. Sieben davon wurden bei Abständen von 878 bis 1629 Meter gemacht, die übrigen elf bei dem Abstände von 2580 Meter. Die Schüsse waren nicht wechselseitig. Sie fanden, daß bei $-0^{\circ},7$ C. der Schall $326^m,1$ in der Secunde durchläuft, dagegen bei $-40^{\circ},7$ C. nur $300^m,5$. Diese Resultate stimmen bei weitem nicht mit denen von Kendall. Auf seiner dritten Reise wiederholte Parry diese Versuche zu Port Bowen mit seinem Lieutenant Hrn. Foster ³⁾. Die Kanone befand sich am Lande, und die Beobachter auf der 3930 Meter vom Ufer vor Anker liegenden Corvette. Sie schätzten die Zeit zwischen Blitz und Knall mittelst Ta-

1) *Observations in the velocity of sound at different temperatures (Narrative of a second expedition to the shores of the polar sea, by John Franklin. Appendix IV.).*

2) *Appendix to captain Parry's Journal of a second voyage for the discovery of the North-west-passage in the years 1821—1823.*

3) *Experiments to determine the rate at which sound travels at various temperatures and pressures of the atmosphere (Journal of the third voyage for the discovery of a North-west-passage in the years 1824—1825. Appendix, p. 86.).*

schenchronometer, auf deren Schläge sie hörten. Bei ruhiger Luft und einer Temperatur von $-38^{\circ},5$ C. fanden sie eine Geschwindigkeit von $309^m,2$ in der Secunde.

II. Schallgeschwindigkeit zwischen zwei Standpunkten von ungleicher Höhe über dem Meere.

Bei allen so eben angeführten Versuchen war der Höhenunterschied der beiden Stationen entweder Null oder unbedeutend. Die Theorie zeigt an, daß die Fortpflanzung des Schalls in lothrechter oder in mehr oder weniger schiefer Richtung mit derselben Geschwindigkeit geschehen müsse wie in horizontaler. Es läßt sich auch voraussehen, daß der emporsteigende Ton sich mit gleicher Schnelligkeit bewegen muß wie der herabkommende. Indefs da es immer gut ist, die Angaben einer Theorie durch Erfahrung zu prüfen, so beschlossen zwei österreichische Gelehrte, die HH. Stampfer und v. Myrbach, dazu die Signalf Feuer zu benutzen, durch welche man im Sommer 1822 den Längenunterschied mehrerer Berge in Tyrol bestimmte ¹⁾.

Es wurden zwei Kanonen aufgepflanzt, die eine am Mönchstein, bei Salzburg, die andere am Untersberg. Der Höhenunterschied beider Standpunkte beträgt 1364 Meter, die schiefe Entfernung derselben 9940 Meter. Mithin machte die vom Schall durchlaufene Linie einen Winkel von $7^{\circ} 53'$ mit dem Horizont. Hr. Stampfer befand sich an der oberen Station und beobachtete mit Hülfe eines Secundenpendels und eines Chronometers, der 4,7 Schläge in der Secunde machte. Hr. v. Myrbach war am Mönchstein stationirt und beobachtete ein Secundenpendel. Am 30. Sept. 1822 wurden unten 13 und oben 20 Schüsse gethan. Bei diesen Versuchen wich die Geschwindigkeit des aufsteigenden Tons von der des absteigenden im Mittel nur um $0^m,22$ ab, und die halbe

1) Poggendorff's Annal. d. Physik, Bd. 5, S. 496, und Jahrbücher des Wiener polytechnischen Instituts, Bd. 7, S. 23.

Summe beider Geschwindigkeiten in Luft von 0° betrug pro Secunde $332^{\text{m}},96$, wenn man sie mit dem neuen Ausdehnungscoëfficienten der Luft berechnet. Die österreichischen Gelehrten haben nicht das Hygrometer beobachtet; wenn man aber eine mittlere Feuchtigkeit von 75 pCt. bei der Temperatur $3^{\circ},4$ voraussetzt, so nähert sich die erhaltene Zahl noch mehr der holländischen Beobachter.

Begierig diese Versuche bei einem noch bedeutenderem Höhenunterschied zu wiederholen, verschafften wir uns zwei solche gusseiserne Kanonen von kurzem Laufe, wie man gewöhnlich *Böller* (*boîtes*) nennt. Das Gewicht einer jeden betrug 25 Kilogramm. und ihr innerer Durchmesser 44 Millimeter. Sie hatten ein Zündloch zur Seite. Eine dieser Kanonen wurde auf das Faulhorn gebracht, die andere im Dorfe Tracht, bei Brienz, am Ufer des gleichnamigen Sees, gelassen. Die schiefe Entfernung beider Stationen betrug im Mittel $9650^{\text{m}},7$, ihr Höhenunterschied 2079 Meter, und die Neigung der vom Schall durchlaufenen Linie $12^{\circ} 26'$.

Zum Messen der Zeit zwischen dem Erscheinen des Lichts und der Wahrnehmung des Tons besaßen wir zwei punktirende Zähler (No. 521 und 528), welche Hr. Breguet die Güte hatte uns zur Verfügung zu stellen. Bei diesen Instrumenten verpflanzt sich bekanntlich der mit dem Daumen auf einen äußeren Knopf ausgeübte Druck durch einen sinnreichen Mechanismus auf einen beweglichen Hebel, welcher, indem er auf das Zifferblatt niedergeht, daselbst einen schwarzen Punkt hinterläßt, und dadurch die Zeitsecunde und deren Bruch bezeichnet. Ueberdies hatten wir eine Sperr-Uhr von Jacob (No. 180), die 320 Schläge in der Minute machte. Der Mechanismus dieser Uhren ist von ihrem Erfinder im *Bulletin de la Société d'Encouragement* (Aôut 1830) beschrieben. Unser letztes Instrument endlich war ein sehr guter Chronometer (No. 63) von Winnerl, dessen täg-

licher Gang $+3'',0$ war, und welcher halbe Secunden schlug.

Bei jedem der auf der oberen Station gemachten Versuche wurden die Uhren vor- und nachher mit dem Chronometer No. 63 verglichen. An der unteren Station konnte dieser Vergleich nicht jeden Abend gemacht werden, allein der zu dieser Station gehörende Zähler No. 528 wurde am 20. Oct. Abends mit dem Chronometer in Beziehung gesetzt, unter Temperatur-Umständen, die mit denen der vorherigen Abendbeobachtungen sehr nahe identisch waren.

Die ersten Versuche fanden am 21. Sept. Abends statt; es war für uns der Probe-Abend, dessen Resultate wir hier fortlassen. Die Kanone auf dem Faulhorn wurde mit 70 Grm. Pulver geladen, die bei Tracht mit 75 Grm. Alle Schüsse wurden deutlich gehört; allein der Knall der Kanone auf dem Berge langte in Tracht sehr geschwächt an; in Folge deß wurde die Pulverladung auf der Faulhorn Station vergrößert und bis 90 Grm. gebracht. Von da an war die Wahrnehmung des Knalls genügend; der Knall war stets scharf und von keinem Rollen begleitet.

Die folgenden Tafeln geben die Resultate der Beobachtungen vom 24., 25. und 27. September Abends; die Dauer der Fortpflanzung, wie sie sich in die zweite, dritte und vierte Spalte eingeschrieben findet, ist zuvor berichtigt worden wegen des täglichen Ganges der Uhr, deren jeder der Beobachter sich bediente.

An den Abenden des 24. und 25. bediente sich Hr. A. Bravais der Uhr No. 180 auf der oberen Station; allein da die Sperrung dieser Uhr am Morgen des 27. plötzlich in Unordnung gerieth, so wandte derselbe späterhin den Chronometer No. 63 an; er hörte die Schläge, zählte sie selbst und schätzte die Unterschiede. Hr. Martins beobachtete stets mit dem Zähler No. 521. Ein dritter Beobachter endlich, Hr. Camille Bravais, Bruder

des einen von uns, an der unteren Station aufgestellt, hatte den Zähler No. 528 in Händen.

Zuweilen erblickte man, Schlag auf Schlag, zwei gesonderte Feuer, das der Mündung und das des Zündlochs, welches letztere nothwendig dem ersteren voranging. In diesem Fall war es unmöglich den Daumen zur rechten Zeit von der Sperrfeder abzuziehen, und der auf dem Zifferblatte abgelesene Zeitpunkt entsprach immer dem Erscheinen des Lichts vom Zündloch ¹⁾. In diesem Falle fand man eine zu große Zwischenzeit; wir haben dies in unseren Registern angegeben und diese Fehlerquelle kann also eliminirt werden. Die Fälle des Doppellichts sind in der Tafel durch ein Doppelsternchen bezeichnet.

Zu Anfang und Ende jeder Reihe wurden Temperatur, Luftdruck und Dampfspannung gemessen. Die angegebenen Barometerstände sind wegen des constanten Fehlers der Instrumente berichtigt und stellen also absolute Werthe des Druckes vor. Alle Beobachtungen der unteren Station sind überdies reducirt auf das Niveau des Brienzer Sees (563^m,9), alle der oberen Station auf das Niveau der Horizontalebene, die den Gipfel des Berges berührt (2683 Met.).

Die Dampfspannung wurde an beiden Stationen mittelst des Psychrometers gemessen und nach der Formel

$$E = e' - 0,00085(t - t')B$$

berechnet ²⁾; endlich bediente man sich der neuerlich von Hrn. Regnault veröffentlichten Tafel der Dampfspannung.

Die Temperatur der Luft wurde genommen, indem man die Thermometer in der Luft herumschwenkte; die Lage ihrer Nullpunkte war am 24. Juli und 2. Sept. geprüft worden. Unten enthält die Tafel die Mittelwerthe

1) Eben so verhielt es sich, im Fall der Beobachter auf die Schläge des Chronometers hörte.

2) Siehe die französische Uebersetzung von Kämtz's Meteorologie, S. 78.

der Beobachtungen eines jeden Abend. Bei der Berechnung der mittleren Dauer der Fortpflanzungszeit sind die mit dem Erscheinen eines Doppellichts behafteten Beobachtungen ausgeschlossen; glücklicherweise sind diese Fälle selten. Ueberdies wird man bemerken, daß die sechs Zahlen, welche mit einem Doppelsternchen bezeichnet sind, alle das entsprechende Mittel unter der Tafel übersteigen. Der Mittelwerth dieses Ueberschusses ist 0",24.

Endlich haben wir angegeben: den Zustand des Himmels, die Stärke des Windes, gemessen mittelst des Anemometers von Hrn. Combes, und die Richtung desselben, geschätzt nach dem Azimuth wohlbekannter irdischer Gegenstände in der Umgebung. Die obere Station lag N. 19° O. von der untern.

[In den drei letzten Spalten sind die Beobachtungen der unteren Station mit *U*, und die der oberen mit *O* bezeichnet.]

Zeit des Schusses.	Aufsteigender Schall.		Niedersteig. Schall.	Temper. d. Luft.	Barom. 6°,0	Dampfspannung.
	A. Bravais.	Martins.	C. Bravais.			
7 ^h 29' 50"	28",65**			{ <i>U.</i> +14°,4 { <i>O.</i> + 1°,2	mm. 713,0 552,75	mm. 9,7 4,6
7 38 35			28",9			
7 43 40	28,35	28",41				
7 53 25		28,31				
8 0 30			28,3			
8 4 50	28,60	28,71				
8 18 0	28,45**	28,96**				
8 24 45			28,85**			
8 28 30	28,15	28,41				
8 34 35			28,7			
8 39 35	28,55	28,76		{ <i>U.</i> +13°,1 { <i>O.</i> + 0°,9	mm. 713,4 552,95	9,9 4,3
Mittel	28",41	28",52	28",63	{ <i>U.</i> +13,75 { <i>O.</i> + 1,0	713,2 552,85	9,8 4,45

Himmel heiter, aber schwach beschleiert; einige *Cirro-stratus*.

Untere Station. — Ruhig, um 7^h 45' schwacher Nordwind, und zuletzt schwache Brise aus NNO.

Obere Station. — Süd, in SSW. übergehend, sehr schwach.

Zeit des Schusses.	Aufsteigender Schall.		Niedersteig. Schall.	Temper. d. Luft.	Barom. 6° 0	Dampfspannung.
	A. Bravais.	Martins.	C. Bravais.			
7 ^h 18' 40"	28",58	28",51		{ U. + 12°,9 O. + 1°,4	mm. 715,9	mm. 10,65
7 35 40			28",85		554,75	4,8
7 43 0	28,68	28,56		O + 0°,9		
7 47 50			28,9			
7 52 40	28,78	28,64				
7 58 35			28,55			
8 3 45		28,39				
8 14 55	28,58	28,81				
8 20 15			28,45			
8 25 50	28,63	28,75		{ U. + 12°,75 O. + 0°,7	716,2 554,9	10,6 4,8
Mittel	28",65	28",61	28",69	{ U. + 12°,82 O. + 0°,95	716,05 554,82	10,62 4,8

Himmel halb bedeckt durch Cumuli aus SW. kommend, zu Anfange der Beobachtungen 4000 Meter hoch, gegen 8^h 40' bis zum Gipfel des Faulhorn herabsinkend.

Untere Station. — Windstill.

Obere Station. — Um 7^h 48' schwache Brise aus N.; um 8^h 10' unausgesetzt bald SW., bald W.; die Geschwindigkeit in der Secunde um 8^h 10' = 0^m,9, um 8^h 18' = 1^m,4, um 8^h 22' = 4^m,0 und um 8^h 26' = 2^m,6.

Zeit des Schusses.	Aufsteigender Schall.		Niedersteig. Schall.	Temper. d. Luft.	Barom. 6° 0	Dampfspannung.
	A. Bravais.	Martins.	C. Bravais.			
7 ^h 19' 40"	28",35	28",53		{ U. + 15°,9 O. + 5°,2 O. + 5°,1	mm. 718,0	mm. 11,5
7 25 30			28",45		557,75	5,4
7 30 40	28,60**	28,48**		U. + 16°,2		
7 38 55			28,72			
7 44 50	28,15	28,43				
7 50 5			28,55			
7 56 30	28,40	28,38		U. + 16°,0		
8 2 30			28,35			
8 8 25	28,65	28,68				
8 14 15			28,35			
8 20 5	27,90	27,98				
8 26 35			28,9			
8 32 30	28,15	28,48		{ U. + 16°,1 O. + 4°,8	718,1 557,6	11,15 5,5
Mittel	28",27	28",41	28",55	{ U. + 16°,07 O. + 4°,95	718,05 557,67	11,33 5,45

Himmel halb heiter, geküpfelt; *Cirro-cumuli* aus SW.

Untere Station. — Anfangs sehr schwacher NO.; um 8^h 14' und 8^h 30' schwacher O.

Obere Station. — Anfangs schwacher NNO.; um 8^h 30' schwacher N. mit einer Geschwindigkeit von 1^m,9 in der Secunde.

Wir haben nun noch aus den obigen Zahlen die Schallgeschwindigkeit abzuleiten. Im vorliegenden Fall betrug der vom aufsteigenden Schall durchlaufene Weg 9624^m,2 (siehe den Zusatz am Ende) bei einem Höhenunterschied von 2116^m,4. Der vom niedersteigenden Schall zurückgelegte Weg betrug 9677^m,3 bei einem Höhenunterschied von 2041^m,5. Das Mittel aus beiden Abständen ist 9650^m,7.

Es ist leicht jede beobachtete Dauer, z. B. 28^{''},7, in die zu verwandeln, welche sie für diese letztere Entfernung seyn würde. Für den aufsteigenden Schall wird die an der beobachteten Dauer anzubringende Berichtigung seyn: $+28'',7 \left(\frac{9650,7}{9624,2} - 1 \right) = +0'',08$; für den niedersteigenden wäre sie $-0'',08$.

Berichtigen wir hienach die Mittel der Beobachtungen von jedem Abend, nehmen wir die halbe Summe aus den an jedem Abend von den beiden Beobachtern der oberen Station gelieferten Mittelwerthe, und bezeichnen wir endlich mit *K* das Verhältniß der Spannung des in der Luft vorhandenen Wasserdampfs zum Barometerdruck, dann haben wir die Resultate der folgenden Tafel:

Mittlere Dauer der Fortpflanzung des Schalls.

Sept.	Dauer der Fortpflanzung.		Mittel.	Mitteltemperatur.	Dauer reducirt auf 0°	Mittel von <i>K</i> .	Dauer in trockner Luft b. 0°
	Aufsteig. Schall.	Niederst. Schall.					
24	28 ^{''} ,545	28 ^{''} ,55	28 ^{''} ,547	+7°,25C.	28 ^{''} ,922	0,0108	28 ^{''} ,982
25	28 ^{''} ,71	28 ^{''} ,61	28 ^{''} ,66	+6°,77	29 ^{''} ,010	0,0117	29 ^{''} ,074
27	28 ^{''} ,42	28 ^{''} ,47	28 ^{''} ,445	+10°,42	28 ^{''} ,984	0,0126	29 ^{''} ,053
Mittel	28 ^{''} ,558	28 ^{''} ,543	28 ^{''} ,551	+8°,17C.	28 ^{''} ,972	+0,0117	29 ^{''} ,036
Schallgeschwindigkeit.							
[337 ^m ,92]		[338 ^m ,10]		[333 ^m ,11]		[332 ^m ,37]	

Ver-

Vergleicht man den Gang des aufsteigenden Schalls mit dem des niedersteigenden, so sieht man zuvörderst, daß beide einander gleich sind. Die kleinen von Tag zu Tag veränderlichen Unterschiede, rühren ohne Zweifel von dem Winde her, der während der Beobachtungen wehte. Uebrigens war diese Wirkung immer nur von geringem Belang und ihr Einfluß muß aus dem Mittel der drei Abende fast gänzlich verschwinden.

Es scheint indessen, sowohl durch Theorie als durch Erfahrung, daß die Schallgeschwindigkeit unabhängig ist vom Barometerstand; allein, wenn man auch dies Gesetz annimmt, so könnte man doch glauben, daß die Fortpflanzung einer aufsteigenden Schallwelle in ihrer Geschwindigkeit modificirt werde durch den Uebergang in eine immer lockerere Luft, und daß eine umgekehrte Abänderung bei der niedersteigenden Welle stattfinde. Man würde dann zwischen der Geschwindigkeit des Gehens und Kommens constante Unterschiede wahrnehmen, allein der Unterschied $0'',15$ zwischen den beiden Zeiten ist ein solches Minimum, daß es dieser, übrigens auch nicht durch die Theorie begründeten Ansicht gänzlich widerspricht.

Wie dem auch sey, und selbst wenn die Dichtigkeitsveränderung des durchlaufenen Mittels die Schallgeschwindigkeit modificiren würde, genügte es, zur Elimination dieses Einflusses das arithmetische Mittel aus den Fortpflanzungszeiten des auf- und absteigenden Schalls zu nehmen. Man findet diese Mittel in der vierten Spalte der letzten Tafel.

Um den Einfluß der Temperatur in Rechnung zu ziehen, haben wir angenommen, daß dieses Element vom Niveau des Brienzer See's bis zur oberen, 2119 Meter darüber liegenden Station regelmäsig abnehme. Sey t die so erhaltene Mitteltemperatur: die Reduction auf 0° geschieht dann, indem man die beobachtete Dauer mit $\sqrt{1+0,00366.t}$ multiplicirt. Um endlich die Feuchtigkeit der Luft in Rechnung zu ziehen, muß man die Zei-

ten durch $\sqrt{1-0,38K}$ dividiren; der Coëfficient 0,38 bezeichnet den Dichtigkeitsunterschied zwischen trockner Luft und Wasserdampf.

Die letzte Spalte der obigen Tafel zeigt, daß die Resultate der einzelnen Abende bis auf 0,1 Secunde mit einander übereinstimmen. Die Unterschiede lassen sich erklären entweder durch Mangel an Gleichzeitigkeit der wechselseitigen Schüsse, oder durch eine weniger regelmäßige Temperatur-Abnahme, als die angenommene; sie überschreiten übrigens nicht die Fehler, die man bei dieser Art von Beobachtungen erwarten kann.

Combinirt man die mit der Entfernung 9650^m,7 erhaltenen mittleren Zeiten, so findet man für die Schallgeschwindigkeit in der Luft pro Secunde die Zahlen, die in der letzten Zeile der vorstehenden Tafel enthalten sind. Wir machen bemerklich, daß das Endresultat 332^m,37 nur wenig von dem der HH. Moll und v. Beek abweicht, denn deren Versuche geben, mit Anwendung des Coëfficienten 0,0366, eine Geschwindigkeit von 332,25 Meter pro Secunde.

Endlich stellt sich noch eine Frage ein. Kann bei Wahrnehmung der Dauer durch den Beobachter selbst eine constante Fehlerquelle hinzutreten? Es scheint zuvörderst, daß die Person, welche beim Erblicken des Blitzes den Sperrhaken zu spät niederdrückte, sich auch beim Hören des Schalls um dieselbe Gröfse verspäten müßte. Allein dieser Schluß wird voreilig erscheinen, wenn man bedenkt, daß das in Anspruch genommene Organ in beiden Fällen nicht dasselbe ist; dieß macht die Existenz *persönlicher Gleichungen* möglich. Um diesen Verdacht zu prüfen, haben wir die gleichzeitigen Schätzungen von A. Bravais und Martins verglichen, in jedem der 16 Paare, welche diese Schätzungen unter sich bilden. Bei diesem letzten Beobachter überstieg die Mitteldauer des Intervalls um 0,10 Secunde das von seinem Begleiter erhaltene Mittel, und wenn man annimmt,

dafs die halbe Summe der beiden Zeiten die wahre Dauer des Intervalles sey, so gehen daraus persönliche Gleichungen $= \pm 0'',05$ hervor. Ein Fehler gleicher Ordnung steht also in der vom dritten Beobachter an der unteren Station gemachten Messung der Dauer zu befürchten.

Wie dem auch sey, das Endresultat unserer Versuche wird seyn: dafs auf- und absteigende Schalle in trockner Luft und bei 0° eine Geschwindigkeit $= 332,4$ Meter in der Secunde besitzen.

Zusatz. Wir geben hier die Elemente und Hauptdetails der Rechnung, welche uns die Länge des bei unseren Versuchen vom Schall durchlaufenen Weges kennen lehrte.

Berechnung der horizontalen Entfernungen.

Die Seite zwischen Faulhorn-Gipfel und Brienz (Kirche) läfst sich mittelst des Dreiecks Faulhorn-Tannhorn-Brienz (Kirche) berechnen; bekannt darin sind ¹⁾:

Winkel am Tannhorn $49^\circ 16' 0'',8$,
 Seite Faulhorn-Tannhorn 34429,5 Par. F.,
 Seite Brienz-Tannhorn 11197,6 do.
 Daraus: Seite Faulhorn-Brienz . . $= 9231'',6$.

Dieselbe Seite ergibt sich aus dem Dreieck Faulhorn-Rothhorn-Brienz, worin bekannt sind ²⁾:

Winkel am Rothhorn $11^\circ 8' 15'',1$,
 Seite Faulhorn-Rothhorn 40022,5 Par. F.,
 Seite Brienz-Rothhorn 11923,5 do.
 Daraus: Seite Faulhorn-Brienz . . $= 9231'',0$,
 Mittel beider Resultate $= 9231'',3$.

Im Dreieck Faulhorn (Gipfel)-Brienz (Kirche)-Tracht (Belvedere) kennt man die eben berechnete Seite Faulhorn-Brienz und die folgenden, von uns mit einem Theodolith gemessenen Winkel:

- 1) und 2) Diese Elemente ergeben sich aus den Dreiecken No. 16 und No. 366 des Registers der Triangulation des Kanton Bern vom Ingenieur Wagner. Das Register befindet sich in den Archiven der Stadt Bern.

Winkel am Faulhorn $7^{\circ} 1' 15''$,

Winkel bei Tracht $74^{\circ} 28' 0''$.

Daraus ergibt sich der dritte Winkel; der sphärische Ueberschuß, weniger eine Secunde, kann vernachlässigt werden. Man findet dann:

Seite Faulhorn-Tracht = $9475^m,7$.

Das Belvedere zu Tracht ist die Station der *Wahrnehmung* des herabsteigenden Schalls.

Die obere Schiefs-Station fiel nicht genau mit dem Gipfel des Faulhorns zusammen; der Abstand davon betrug $24^m,1$. Mit den beiden Seiten $9475^m,7$ und $24^m,1$, und dem eingeschlossenen Winkel $24^{\circ},23$, der direct mit dem Theodolithen gemessen wurde, findet man:

Seite Faulhorn (Kanone)-Tracht (Belvedere) = $9458^m,0$.

Dies ist die *horizontale* Entfernung, welche der herabsteigende Schall durchlief.

Mit einer auf ebenem Boden gemessenen Basis von $45^m,9$, die einerseits an der Kanone bei Tracht und andererseits an einem Hülfpunkt endete, mit den am Theodolith gemessenen Winkeln an der Basis $81^{\circ} 49' 50''$ und $69^{\circ} 57' 35''$, fand man für die diesem letztern Winkel gegenüberliegende Seite:

Seite Tracht (Kanone)-Tracht (Belvedere) = $91^m,22$.

Mit den beiden Seiten $9475^m,7$ und $91^m,22$, mit dem eingeschlossenen Winkel (gemessen am Theodolith) $20^{\circ} 31'$, dessen Scheitel im Belvedere zu Tracht liegt ¹⁾, fanden wir

Faulhorn (Gipfel)-Tracht (Kanone) = $9390^m,31$.

Die Hör-Station auf dem Faulhorn endlich, war 5 Meter vom Gipfel entfernt, in einer Richtung, die 50° abwich von der, in welcher der auf dem Gipfel befindliche Beobachter nach der Kanone zu Tracht visirte. Man schloß daraus:

Horizontale Entfernung, aufsteigender Schall = $9387^m,1$.

1) Der Winkel, dessen Scheitel an der Kanone zu Tracht liegt, gab, direct gemessen, $159^{\circ} 16'$.

Berechnung der verticalen Entfernungen.

Der Gipfel des Faulhorn liegt $2683^m,0$ über dem Meere und der Brienzer See (dessen Spiegel zur Sommerszeit kaum um $0^m,5$ schwankt) $563^m,9$ (siehe: *Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz*). Der Unterschied $2119^m,1$ wäre der lothrechte Abstand der beiden Stationen, wenn sie genau in jenen Höhen lägen, allein die untere Station lag über dem See, und die obere unter dem Gipfel des Berges. Daher denn die folgenden subtractiven Correctionen.

Aufsteigender Schall. Die Kanone zu Tracht stand $1^m,2$ über dem Spiegel des Sees; die Beobachter auf dem Faulhorn befanden sich $1^m,5$ unter dem Gipfel. Daraus: *Lothrechter Weg* des aufsteigenden Schalls $2116^m,4$.

Absteigender Schall. Das kleine Hilfsdreieck zwischen Tracht (Belvedere), Tracht (Kanone) und dem schon erwähnten Hülfpunkt, ein Dreieck, an den Enden von dessen Basis die Höhenwinkel des Belvedere von Tracht gemessen wurden, lehrte, daß die untere Hör-Station (Belvedere zu Tracht) $74^m,1$ über dem Spiegel des See's lag. Die Kanone auf dem Faulhorn stand $3^m,5$ unter dem Gipfel. Man hat also:

Lothrechter Weg des absteigenden Schalls $2041^m,5$.

Berechnung der schiefen Entfernungen.

Aufsteigender Schall. Mit den beiden Componenten des Weges, nämlich $9387^m,1$ und $2116^m,4$, dabei die Krümmung der Erde und den die beiden Verticalen trennenden Bogen $0^\circ 5' 4''$ in Rechnung gezogen, erhalten wir:

Aufsteigender Schall, schiefer Weg $9621^m,2$.

Absteigender Schall. Mit den beiden Componenten $9458^m,0$ und $2041^m,5$, dabei die Krümmung der Erde und den die beiden Verticalen trennenden Bogen $0^\circ 5' 6''$ in Rechnung genommen, finden wir:

Absteigender Schall, schiefer Weg $9677^m,3$.
