Max Planck Research Group
Epistemes of Modern Acoustics

Sound & Science: Digital Histories

Mach, Ernst, P. Salcher. "Photographische Fixierung der durch Projectile in die Luft eingeleiteten Vorgänge." Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften: Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe 95, (1887): 764–781.

https://acoustics.mpiwg-berlin.mpg.de/node/408

Scan licensed under: CC BY-SA 3.0 DE | Max Planck Institute for the History of Science

MAX PLANCK INSTITUTE
FOR THE HISTORY OF SCIENCE

Photographische Fixirung der durch Projectile in der Luft eingeleiteten Vorgänge.

Von **E. Mach** und **P. Salcher.**

(Mit 1 Tafel und 8 Holzschnitten.)

1.

Die Wirkungen, welche Projectile von grosser Geschwindigkeit durch den Druck der vor denselben verdichteten Luft ausüben, sind den Artilleristen wohl bekannt. Melsens hat die hieher gehörigen Erscheinungen zum Gegenstand einer besonderen Experimentaluntersuchung gemacht[1] und hat auch versucht, die verdichtete Luft aufzufangen. Melsens' Aufmerksamkeit wurde, wie es scheint, zuerst durch die eigenthümlichen Vorkommnisse an Schusswunden auf dieses Gebiet geleitet.[2]

Bei Gelegenheit einer früheren, gemeinschaftlich mit J. Wentzel ausgeführten Arbeit[3] beabsichtigte Mach, die Luftverdichtung vor dem Projectil nach der Schlierenmethode[4] sichtbar zu machen und durch Momentphotographie zu fixiren. Die betreffenden Versuche ergaben zwar zunächst ein negatives Resultat, doch überzeugte sich Mach, da sehr nahe verwandte Aufgaben (das Photographiren eines fliegenden Projectils und einer Schallwelle in der Luft) ohne sonderliche Schwierigkeit gelöst werden konnten, dass das negative Ergebniss nicht an der Methode, sondern vor Allem an der zu kleinen Projectilgeschwindigkeit (von höchstens $240 \frac{m}{sec}$) lag, welche bei diesen Versuchen

---

[1] Melsens, Ballistique expérimentale. Ann. de Chimie et de Physique 5e série. T. 25. Mars 1882.

[2] Melsens, Sur les plaies produites par les armes à feu. Société royale des sciences médicales. Bruxelles 1872.

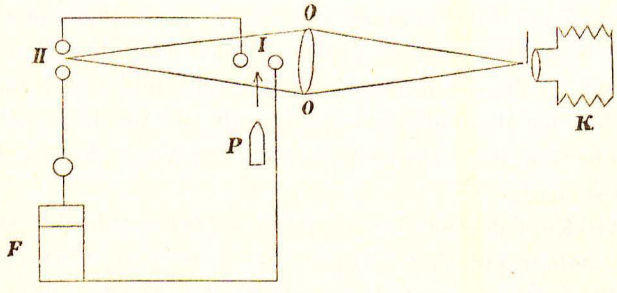
[3] Mach und Wentzel, Ein Beitrag zur Mechanik der Explosionen, Sitzungsber. d. Wiener Akademie, Bd. 92, II. Abth., S. 225.

[4] Toepler, Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode. Bonn. 1864.

angewandt werden konnte.[1] In der That kann, wie dies alsbald ersichtlich werden soll, nur bei Projectilgeschwindigkeiten, welche die Schallgeschwindigkeit in der Luft übersteigen, ein ausgiebiges Resultat erwartet werden.

Wir haben uns nun zur Lösung der in theoretischer und praktischer Hinsicht interessanten Aufgabe verbunden. Das Ziel und die Mittel der Untersuchung, in allen wesentlichen Punkten die schon in der vorerwähnten Arbeit angewandten, wurden von Mach angegeben, die sämmtlichen Versuche aber mit Ausnahme einiger zur Erläuterung angestellten wurden von Salcher ausge-

Fig. 1.



führt, welcher hiebei in höchst dankenswerther Weise von Prof. A. L. Riegler (in Fiume) unterstützt wurde. Das erwartete und theilweise auch der Form nach vorausgesagte Resultat wurde hiebei wirklich erzielt und erschien schon auf dem ersten Bilde fixirt.[2]

[1] Mach und Wentzel, a. a. O., S. 636 sagen darüber: „Wir hegten bei Beginn unserer Versuche die Hoffnung, dass es uns gelingen werde, die von Projectilen mitgeführten Luftmassen nach der Schlierenmethode sichtbar zu machen und durch Photographie zu fixiren. Dies ist uns zwar nicht gelungen, wir sind aber nach den Versuchen, die wir gleich anführen werden, überzeugt, dass dies nur an der Kleinheit der Projectile und der geringen Projectilgeschwindigkeit lag, welche wir im Zimmer anwenden konnten. Das Sichtbarmachen dieser Luftmassen scheint uns für ballistische und physikalische Zwecke nicht ohne Interesse und wir haben die Absicht, hierauf zurückzukommen.

[2] Allerdings wagten wir noch nicht die auf dem ersten ohne Abblendung gewonnenen Bilde erscheinende Grenzcurve als die gesuchte anzusehen. Dies geschah erst, als bei späteren Versuchen mit Abblendung dieselbe Curve ganz scharf hervortrat. Mach hat sich übrigens überzeugt, dass genügend starke Luftschlieren, z. B. von starken Funkenwellen, auch ohne alle Abblendung sichtbar sind.

In dem Folgenden erlauben wir uns an die Beschreibung der Versuche und der gewonnenen Bilder die Darlegung der Ansichten anzuschliessen, zu welchen uns die Analyse der Bilder geführt hat.

2.

Der Schliessungskreis einer Flaschenbatterie *F* (Fig. 1) enthielt zwei Unterbrechungsstellen *I* und *II*. Bei *I* bestehen die Elektroden aus in Glasröhrchen eingeschlossenen Drähten. Das hindurchfliegende Projectil *P* zerschlägt die Röhren und löst die Entladung bei *I* und *II* aus. Der zum Theil abgeblendete Funke *II* beleuchtet das Projectil vor dem Objectiv *O*, welches letztere von dem Funken *II* auf dem Objectiv der potographischen Kammer *K* ein Bild entwirft, das ganz oder theilweise abgeblendet wird. Das Projectil mit den Elektroden, dem Funken bei *I* und den Dichtenänderungen in der Luft bildet sich auf diese Weise bei der Momentanbeleuchtung ab, die in dem geeigneten Zeitpunkt von dem Projectil selbst im verdunkelten Zimmer ausgelöst wird.

Als Kopf des Schlierenapparates *(O)* wurde das Objectiv eines photographischen Apparates von Voigtländer von 10·5 Ctm. Öffnung und 38·2 Ctm. Brennweite, zum Photographiren ein Steinheil'scher Apparat verwendet.

Die Entfernung *IIO* betrug 48 Ctm., *OK* 230 Ctm. Die Entfernung der Mündung des Gewehrlaufes von den Elektroden *I* variirte in verschiedenen Versuchen von 2—4 M. Die Beleuchtungsbatterie variirte ebenfalls und man blieb schliesslich bei einer Flasche stehen, deren Capacität auf 410 Ctm. geschätzt wurde und die zu 6—7 Mm. Schlagweite geladen wurde. Zu grosse Capacitäten bedingen nämlich eine zu grosse Funkendauer, wodurch die Bilder bei den hohen Projectilgeschwindigkeiten unscharf werden, ja wegen discontinuirlicher Entladung selbst mehrfach auftreten.[1]

Die Versuche wurden ausgeführt:

1. mit einem Werndl-Infanteriegewehr, Anfangsgeschwindigkeit bei verstärkter Patrone $438 \frac{m}{sec} \left(\pm 5 \frac{m}{sec} \right)$, Geschossdurchmesser 11 Mm., Geschosslänge 27 Mm.;

[1] Manche der hieher gehörigen Erscheinungen sind noch nicht ganz aufgeklärt. Wir kommen bei anderer Gelegenheit auf dieselben zurück.

2. mit einem Werndl-Karabiner, Anfangsgeschwindigkeit $327—339 \frac{m}{sec}$, je nach der Pulverladung;

3. mit einem Guedes-Infanteriegewehr, Anfangsgeschwindigkeit nach einer empirischen Formel von Hebler berechnet $522 \frac{m}{sec}$, nach Versuchen mit dem ballistischen Pendel $530 \frac{m}{sec}$ (nach officiellen Angaben 505), Kaliber 8 Mm., Geschosslänge 33 Mm.

Zur Photographie wurden käufliche Trockenplatten (Bromsilbergelatine) verwendet. Die Bilder mussten, um mit dem gegebenen Licht auszureichen, klein aufgenommen werden. Einige der erhaltenen Negative sind in etwa dreifacher Vergrösserung auf der Tafel wiedergegeben. Die Grenze der Luftverdichtung erscheint hell oder dunkel bei verticaler Schneide der Blendungen des Schlierenapparates, theilweise hell und theilweise dunkel bei horizontaler Stellung der Blendungsränder, was keiner besonderen Erläuterung bedarf. Das Geschoss erscheint im Negativ hell auf dunklem Grunde und die Grenzen desselben treten durch die Beugung des Lichtes scharf hervor. Im Ganzen wurden etwa 80 Aufnahmen gemacht, die grossentheils als sehr gelungen zu bezeichnen sind.

3.

Die Versuchsergebnisse sind, kurz zusammengestellt, folgende:

1. Eine optisch nachweisbare Verdichtung vor dem Projectil, beziehungsweise eine sichtbare Grenze derselben zeigt sich nur bei Projectilgeschwindigkeiten, welche die Schallgeschwindigkeit von rund $340 \frac{m}{sec}$ übersteigen. So ergaben die Versuche mit dem Karabiner ebensowenig ein Resultat, als die älteren von Mach und Wentzel. Dagegen ist die Verdichtungsgrenze bei den Versuchen mit dem Werndl- und Guedesgewehr bei richtiger Disposition stets sehr schön und scharf sichtbar.

2. Bei genügender Projectilgeschwindigkeit erscheint auf dem Bilde die Grenze der vor dem Projectil verdichteten Luft ähnlich einem das Projectil umschliessenden Hyperbelast, dessen Scheitel vor dem Kopf des Projectils und dessen Axe in der Flugbahn liegt. Denkt man sich diese Curve um die Schuss-

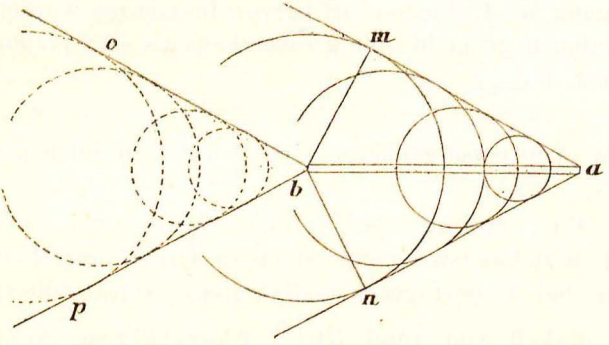
linie als Axe gedreht, so erhält man eine Vorstellung von der Grenze der Luftverdichtung im Raume. Ähnliche aber geradlinige Grenzstreifen gehen von der Kante des Geschossbodens divergirend und symmetrisch zur Schusslinie nach rückwärts ab. Ähnliche aber schwächere Streifen setzen endlich an anderen Punkten des Geschosses an. Alle diese Streifen schliessen etwas kleinere Winkel mit der Schusslinie ein als die Äste der erst-erwähnten Grenzlinie. Bei grösserer Projectilgeschwindigkeit werden die Winkel der Grenzstreifen mit der Schusslinie kleiner.

3. Bei der grössten bisher angewandten Geschwindigkeit tritt eine neue Erscheinung deutlich hervor. Der Schusscanal erscheint hinter dem Projectil mit eigenthümlichen Wölkchen erfüllt, deren Bedeutung alsbald näher erörtert werden soll.

4.

Um zum Verständniss der Erscheinungen zu gelangen, denken wir uns zunächst einen unendlich dünnen Stab $a\ b$, Fig. 2, von beträchtlicher Länge, welcher nach der Richtung $b\ a$ mit einer

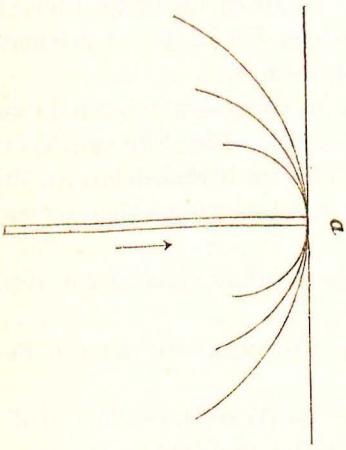
Fig. 2.



die Schallgeschwindigkeit übersteigenden Geschwindigkeit in der Luft bewegt wird. Derselbe wird bei a unausgesetzt unendlich kleine Verdichtungen erzeugen, welche sich als Schallwellen ausbreiten. Die betreffenden Huyghens'schen Elementarwellen werden als Enveloppe einen Kegel bilden, dessen Schnitt mit der Zeichnungsebene durch $m\ a\ n$ dargestellt ist. Bezeichnen wir den Winkel $m\ a\ b$ mit α, die Schallgeschwindigkeit mit v, die Progressivgeschwindigkeit (Projectilgeschwindigkeit des Stabes mit ω, so ist $\frac{v}{\omega} = \sin \alpha$.

In ähnlicher Weise geht eine kegelförmige Verdünnungswelle von dem Stabende b aus, für welche dieselbe Gleichung gilt.

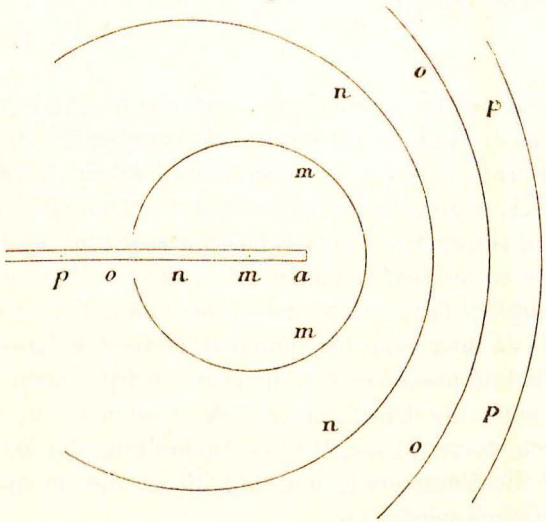
Fig. 3.



Für $\omega = v$ wird $\sin \alpha = 1$; das Stabende a berührt eben alle Elementarwellen, welche es auf seinem Wege erzeugt hat. (Fig. 3.) Für das Stabende b gilt dieselbe Bemerkung.

Wird aber $\omega < v$, so verliert die Gleichung ihren geometrischen Sinn. Gehen wir um zu erfahren, was in diesem Fall vorgeht, auf die ursprüngliche Vorstellung zurück, so sehen wir, dass der Stab in diesem Fall von den Elementarwellen überholt wird, dass dieselben

Fig. 4.



sich überhaupt nicht wirksam sammeln, sondern sich zerstreuen ähnlich wie dies nach der Huyghens'schen Vorstellung für den gebrochenen Lichtstrahl im Falle der totalen Reflexion stattfindet.

Wäre beispielsweise das Stabende, welches sich mit der halben Schallgeschwindigkeit bewegt, in a angelangt, so sind die Elementarwellen, die das Ende zuvor in den Punkten m, n, o, p erzeugt hatte, und welche einstweilen die Radien $2 \cdot ma$, $2 \cdot na$, $2 \cdot oa$, $2 \cdot pa$ angenommen haben, weit vorausgeeilt. In der Figur 4 sind die Elementarwellen mit denselben Buchstaben bezeichnet wie die zugehörigen Erregungsmittelpunkte.

Das Huyghens'sche Princip in seiner einfachsten Form ist selbstverständlich nicht ganz correct. Die Fresnel'sche Modification haben wir aber nicht nöthig zu berücksichtigen, da wir hier nicht mit periodischen Erregungen zu thun haben, wie in der Optik.

Schon aus dieser einfachen Betrachtung ersehen wir also, dass:

1. das Auftreten einer scharfen Dichtengrenze an die Bedingung $\omega \leqq v$ gebunden ist;

2. dass für $\omega > v$ aus $\sin \alpha$ sich das Verhältniss der Schallgeschwindigkeit zur Projectilgeschwindigkeit ergibt.

Hiemit ist das erste und theilweise auch das zweite Versuchsergebniss erklärt.

5.

Bewegt sich ein Körper von endlichem Querschnitt durch die Luft, so erzeugt er endliche und bei grosser Geschwindigkeit sogar sehr bedeutende Verdichtungen. Solche Verdichtungen pflanzen sich, wie aus theoretischen Untersuchungen (Lagrange, Poisson, Stokes, Earnshaw, Riemann, Tumlirz) hervorgeht und wie Versuche gelehrt haben, (Regnault, Mach) mit einer Geschwindigkeit fort, welche die normale Schallgeschwindigkeit übersteigt. Ja man kann behaupten, dass die Schallgeschwindigkeit, da die Luftmasse vor dem bewegten Körper nicht vernichtet werden, noch die Dichte unendlich werden kann, ins Unbegrenzte sich steigern lässt. Mit der Ausbreitung der Welle nimmt allerdings die Verdichtung und mit dieser die Fortpflanzungsgeschwindigkeit wieder ab.

Übertragen wir diese Bemerkung auf unseren Fall, so sehen wir, dass die Verdichtung vor dem Projectil bei einer die normale Schallgeschwindigkeit übersteigenden Projectilgeschwindigkeit

jedenfalls so weit anwachsen muss, bis die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Projectilgeschwindigkeit gleich geworden ist. Dann fällt der Grund zu weiterer Änderung weg. Die Verdichtung vor dem Projectil bleibt in ihrer Form und Grösse bestehen. Fingiren wir ein Projectil, das sich seit unendlich langer Zeit mit constanter Geschwindigkeit bewegt, so führt dieses eine Art stationärer Schallwelle mit sich, die in ihrer Form und Dichtengrösse unverändert erhalten bleibt.

Da nun unmittelbar vor dem Kopf des Projectils die grösste Verdichtung liegt, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Projectilgeschwindigkeit gleich ist, da ferner die Dichte und Geschwindigkeit mit der Ausbreitung der Welle abnimmt, so kann die Meridiancurve der Wellengrenzfläche keine geknickte Gerade sein. Verfolgen wir die Curve vom Scheitel nach rückwärts, so muss der Winkel α der Elemente gegen die Schusslinie allmählig abnehmen und sich dem Grenzwerthe $\text{Arcsin}\left(\frac{v}{\omega}\right)$ nähern, wie es aus der Betrachtung in 4 hervorgeht und wie es die Bilder thatsächlich zeigen. Dadurch erhält die Meridiancurve Ähnlichkeit mit einem Hyperbelast. Von welcher Art die Curve wirklich ist, kann durch die vorliegenden Versuche noch nicht ermittelt werden.

Denken wir uns ein Projectil mit der stationären vor ihm befindlichen Schallwelle in gleichförmiger Bewegung. Lassen wir nun die Projectilgeschwindigkeit abnehmen, so eilt der Scheitel der Welle etwas voraus, bis die Dichte so weit vermindert ist, dass die Schallgeschwindigkeit auf den Werth der verkleinerten Projectilgeschwindigkeit gesunken ist. Bei Steigerung der Projectilgeschwindigkeit nähert sich umgekehrt der Projectilkopf dem Scheitel der Welle, steigert die Dichte und mit dieser die Schallgeschwindigkeit auf den höheren Werth der Projectilgeschwindigkeit. Der Scheitel der Welle liegt also bei höheren Projectilgeschwindigkeiten unter sonst gleichen Umständen näher am Projectilkopf. Die Bilder bestätigen diese Ansicht.

Zuspitzen des Projectils nähert ebenfalls den Wellenscheitel dem Projectilkopf, wofür die Erklärung auf der Hand liegt. Die Verdichtung fällt hier unter gleichen Umständen überhaupt kleiner aus; soll sie denselben Werth erreichen, wie bei stumpfem

Projectil und gleicher Geschwindigkeit, so muss sich die Spitze dem Wellenscheitel nähern. Die Bilder zeigen das erwartete Verhalten.

Die Störungen der reinen Kegelform der Wellengrenze sind geringer für die von der Kante des Geschossbodens ausgehende Grenze; denn dort scheidet sich die Verdichtung von der Verdünnung und die Schallgeschwindigkeit wird nahezu die normale sein. Für die vom Geschossboden ausgehenden Streifen auf unseren Bildern wird also die Gleichung $\sin\alpha = \frac{v}{\omega}$ am besten erfüllt sein, weniger gut für die von anderen Punkten des Projectils ausgehenden Streifen und die grösste Abweichung von derselben wird die Meridiancurve der vorderen Wellengrenze zeigen, indem nur die Asymptoten der als Hyperbel gedachten Curve die Gleichung erfüllen.

Wir haben versucht, mit Hilfe eines Leson'schen (Doppelbrechungs-) Goniometers an den Photographien den Winkel α zu bestimmen. An den kleinen Originalen ist die Einstellung schwierig und dieselbe wird auch nicht merklich schärfer an den etwa dreimal vergrösserten Bildern, an welchen die Ungleichmässigkeiten der photographischen Schichte sehr störend hervortreten.

Die Projectilgeschwindigkeit ist:

	nach der officiellen Angabe	nach ballistischen Versuchen	nach dem α der Vorderstreifen	nach dem α der Hinterstreifen
für das Werndlgewehr . . .	438	445	375	460
für das Guedesgewehr . . .	505	530	465	570

Von den in der zweiten Columne angeführten Versuchen mit einem improvisirten ballistischen Pendel konnten nur wenige

angestellt werden, da das Pendel sehr rasch zu Grunde ging. Wie ersichtlich, ergibt das α der Vorderstreifen eine zu kleine, das α der Hinterstreifen eine zu grosse Projectilgeschwindigkeit. Nimmt man die officiell angegebene Projectilgeschwindigkeit als richtig an, so ist es möglich, aus den Vorderstreifen die Steigerung der Schallgeschwindigkeit zu bestimmen. Dieselbe beträgt an der Grenze des Gesichtsfeldes noch bis $400 \frac{m}{sec}$. Die Verkleinerung des α mit der Vergrösserung von ω tritt übrigens unzweifelhaft hervor.

Auf eine Erklärung der Streifen, welche zwischen der vorderen und hinteren Wellengrenze liegen, wollen wir hier noch nicht eingehen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass dieselben Unregelmässigkeiten der Reibung ihren Ursprung verdanken und mit dem Sausen des Projectils zusammenhängen.

Der blosse Anblick der Bilder lehrt, dass die Luftverdichtungen vor dem Projectil sehr bedeutende sein müssen. Sie sind jedenfalls von derselben Ordnung wie jene der Funkenwellen, für welche Mach bei früheren Versuchen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten bis $700 \frac{m}{sec}$ constatirt[1] und für deren schwächste Mach und v. Weltrubsky Verdichtungswerthe von 0·15 einer Atmosphäre beobachtet haben.[2]

6.

Betrachten wir nun die eigenthümlichen Wölkchen, welche bei sehr hoher Projectilgeschwindigkeit im Schusscanal hinter dem Projectil auftreten. Diese Wölkchen erscheinen fast regelmässig und symmetrisch wie Perlen auf eine längs der Schusslinie gezogene Schnur aufgereiht und haben ganz das Ansehen der Wölkchen von erwärmter Luft, welche der elektrische Funke beim Durchschlagen der Luft zurücklässt, in welchen man, nach der Schlierenmethode beobachtend, deutlich Wirbelbewegungen erkennt.

Es ist auch sehr wahrscheinlich, dass hinter dem Projectil solche auf der Schusslinie aufgereihte Wirbelringe entstehen,

---

[1] Mach und Sommer, Sitzgsb. Bd. 75; Mach, Tumlirz und Kögler, Sitzgsb. Bd. 77.

[2] Mach und v. Weltrubsky, Sitzgsb. Bd. 78.

weil die zunächst den hinteren Theil des Projectilmantels umgebende Luft wegen der Reibung mit geringerer Geschwindigkeit in den luftverdünnten Schusscanal einströmt, als die die erstere einschliessende Luft. Alle Bedingungen für das Auftreten von Wirbelringen sind hier gegeben, umsomehr, als bei genügender Projectilgeschwindigkeit und genügendem Projectildurchmesser am Boden ein wirkliches Vacuum entstehen kann, in welches hinein eine discontinuirliche Flüssigkeitsbewegung stattfindet.

Eine Schwierigkeit liegt nur in der Frage: Wie so sind diese Wirbelringe nach der Schlierenmethode sichtbar? Man kann nach dieser Methode nur Differenzen der Brechungsexponenten aber nicht Bewegungen der Luft an sich sehen. Wären die Wölkchen durch Druck verdichtete oder verdünnte Luft, so müssten sie Anlass zur Bildung einer Schallwelle, also zu der bereits bekannten Erscheinung geben. Die Wölkchen erfüllen aber noch weit hinter dem Projectil den cylindrischen Schusscanal.

Die Wölkchen können also nur aus einem von der Luft verschiedenem Gas oder aus Luft von anderer (höherer) Temperatur bestehen. Man denkt zunächst an das Eindringen der Explosionsgase aus dem Gewehrlauf in den Schusscanal. Die Gewehrmündung war aber bei diesen Versuchen über 4 M. von der photographirten Stelle entfernt. Dann müssten auch die Wölkchen, welche dem Projectil näher und weiter von der Laufmündung liegen, grösser sein. Die Bilder zeigen bei aufmerksamer Betrachtung das umgekehrte Verhalten; die weiter vom Projectil entfernten Wölkchen haben sich etwas ausgedehnt.

Die einfachste Auffassung ist also wohl, dass die Luft wirbelbildend in den Schusscanal einströmt, durch Reibung und Zusammenstoss bei der discontinuirlichen Bewegung sich erwärmt[1] und dadurch sichtbar wird.

---

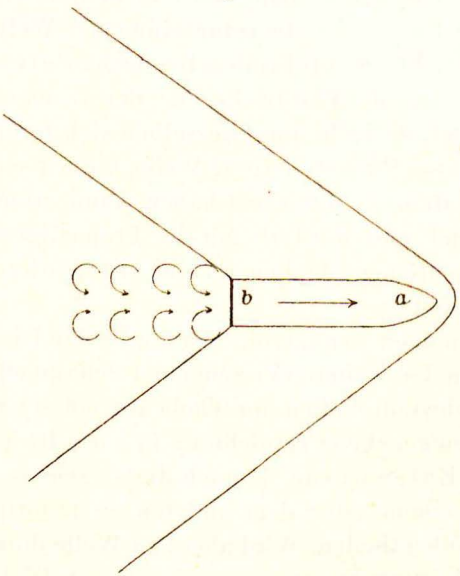
[1] So wie sich die aus einem Handblasebalg austretende, auf ein Hinderniss treffende Luft merklich erwärmt, was man durch Blasen gegen eine Thermosäule sofort zeigen kann. Nach den Versuchen von Joule mit einem in der Luft geschwungenen Thermometer (Scientific papers Vol. I, p. 399), würde sich für eine Projectilgeschwindigkeit von 340 $\frac{m}{sec}$ eine Temperaturerhöhung von etwa 47° C. ergeben.

Weitere Versuche, die sich nicht auf die optische Beobachtung beschränken können, werden wohl auch diese Frage zur Entscheidung bringen.

7.

Überschauen wir das Bild, welches wir von der Luftbewegung um ein Projectil gewonnen haben, so erkennen wir die Ähnlichkeit mit einer uns längst bekannten Erscheinung. Ein sich schnell im Wasser vorwärts bewegendes Schiff *a b*, Fig. 5, erzeugt im Wasser analoge Vorgänge wie das Projectil in der Luft. Die vordere und hintere Wellengrenze ist deutlich zu sehen, nicht minder die

Fig. 5.



Wirbel im Kielwasser. Man kann die Erscheinung im Kleinen jeden Augenblick nachahmen, wenn man ein Stäbchen mit dem Querschnitt *a b* in einen grossen Wasserbehälter taucht und fortbewegt. Bei einer Geschwindigkeit, welche die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen übersteigt, treten die Wellengrenzen sofort hervor. Die Wirbel hinter dem Stäbchen werden bei langsamer Bewegung leicht beobachtbar, wenn man das Wasser mit Goldbronze bestäubt.

Da es nur auf die Relativbewegung des Wassers und des starren Körpers ankommt, so tritt dieselbe Erscheinung an einem ruhenden Brückenpfeiler auf, gegen welchen das Wasser strömt. Der Vorgang ist hier sogar noch reiner, weil die Störung durch den Motor des Schiffes wegfällt. Natürlich muss auch hier die Stromgeschwindigkeit den Werth der Wellengeschwindigkeit übersteigen, wenn die Wellengrenzen auftreten sollen.

8.

Die letzte Bemerkung lehrt uns, die Luftbewegung um das Projectil von einem neuen Gesichtspunkt aus zu betrachten. Man kann jeden Zug ebener Schallwellen auch als eine stationäre Strömung ansehen, wenn man sich das Medium mit der Schallgeschwindigkeit dem Fortpflanzungssinne der Wellen entgegenströmend denkt. Für den ruhenden Beobachter stehen dann die Wellen, wie etwa die Fluthwelle für den Beobachter auf dem Monde steht und die Erde unter derselben sich fortdreht.

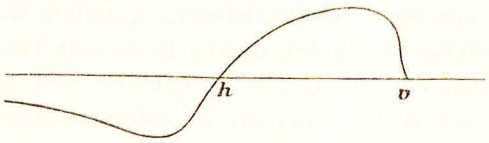
Auch die vom Projectil erregte Welle, die wir schon gelegentlich als eine stationäre bezeichnet haben, kann, wenn wir uns das Projectil ruhend und die Luft mit der Projectilgeschwindigkeit gegen dasselbe strömend denken, als eine stationäre Strömung aufgefasst werden.

Im Allgemeinen genügt die Kenntniss der Dichte für jeden Punkt nicht, um den weiteren Verlauf einer Schallwelle anzugeben. Auch die Geschwindigkeiten der Theilchen müssen noch bekannt sein. Selbst eine gegebene Verdichtung in einer Röhre kann sich ja, wie schon Euler wusste, je nach den Geschwindigkeiten der Theilchen in einem oder dem anderen Sinne fortpflanzen oder gar in zwei Wellen theilen. Wird aber eine Welle durch Bewegung eines starren Körpers erregt, so sind mit den Dichten auch die Geschwindigkeiten bestimmt. Kann ferner die Welle als eine stationäre Strömung aufgefasst werden, so sind die Geschwindigkeiten ebenfalls durch die Dichten bestimmt.

Wenn gleich die analytische Behandlung unserer Aufgabe wegen der Strömung in einem dreidimensionalen Raum, wegen des Einflusses der Reibung, wegen der Form des Projectils u. s. w. noch immer schwierig genug bleibt, so sind doch Aufgaben, welche stationäre Strömungen betreffen, im Allgemeinen leichter zu lösen.

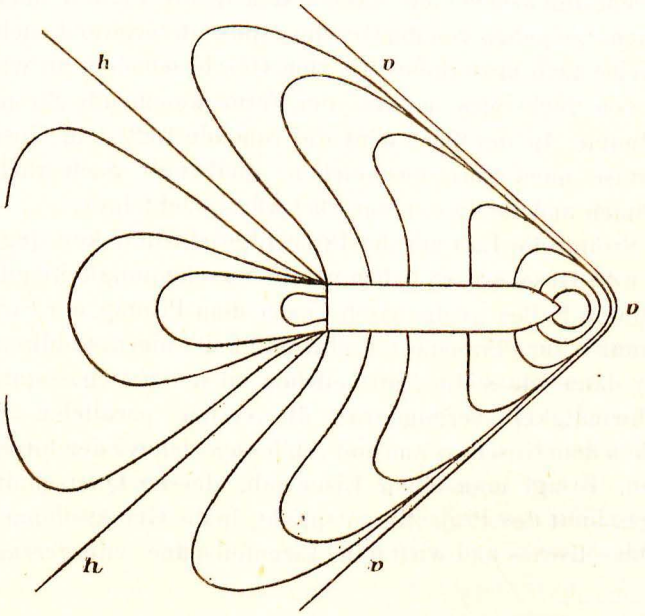
Wir können zunächst die analytische Behandlung vorbereiten, indem wir uns auf Grund der noch nicht zureichenden Versuchsergebnisse ein schematisches und qualitatives Bild des Vorganges entwickeln.

Fig. 6.



Von den Erfahrungen über Funkenwellen[1] ausgehend nehmen wir an, dass die Dichtenordinaten auf einer der Projectilaxe parallelen Geraden aufgetragen die Curve Fig. 6 ergeben, wobei v die vordere Wellengrenze, h die vom Projectilboden aus-

Fig. 7.



gehende Grenze bedeutet. Wir nehmen ferner an, dass die Ordinaten desto kleiner werden und sich desto mehr den Ordinaten einer Sinuswelle annähern, je weiter die Gerade von der Projectil-

[1] Mach und Weltrubsky, a. a. O.

axe entfernt ist. Wenn man hiernach die Punkte gleicher Dichte (oder gleichen Druckes) verbindet, erhält man beiläufig die in Fig. 7 dargestellten Curven gleichen Druckes.[1] Die betreffenden Curven lassen sich nach dem Nobili-Guebhard'schen[2] Verfahren veranschaulichen, indem man ein versilbertes Kupferblech auf den Boden eines mit einer Metallsalzlösung gefüllten Gefässes legt, einen nichtleitenden Cylinder, dessen Basis dem Querschnitt des Projectils entspricht, darauf stellt, nach *vv* und *hh* gebogene Bleche eintaucht, die man mit der Mitte der galvanischen Batterie verbindet und an der der Projectilspitze entsprechenden Stelle etwa den positiven, am Projectilboden den negativen Pohldraht der galvanischen Batterie einsenkt. Bei dieser Darstellung ist auf die Discontinuität am Geschossboden noch keine Rücksicht genommen.

Die Stromlinien, welche die dargestellten Druckcurven senkrecht durchschneiden, lassen sich in die Figur 7 leicht einzeichnen. Sie gehen von der Geschossspitze divergirend nach vorn, theilweise auch nach rückwärts zum Geschossboden, an welchem auch von rückwärts her aus der Ferne kommende Stromlinien einmünden. In der That wird die ruhende Luft dem Geschosse theilweise nach vorn ausweichen, theilweise nach rückwärts abströmen und theilweise von rückwärts nachfolgen.

Strömt die Luft mit der Projectilgeschwindigkeit gegen das ruhende Geschoss, so haben wir die Geschwindigkeiten des vorerwähnten Falles geometrisch (nach dem Princip der Streckenrechnung) zur Transportgeschwindigkeit hinzuzuaddiren. Wir sehen dann, dass die Lufttheilchen an der Geschossspitze ihre Geschwindigkeit vermindern; die vorher parallelen Bahnen weichen dem Geschoss aus und schliessen sich wieder hinter demselben. Bringt man einen Eisenstab, dessen Querschnitt dem Längsschnitt des Projectils entspricht, in die Gebläseflamme eines Glasblasetisches und wirft feine Eisenfeilspäne (oder *ferrum lima-*

---

[1] Selbstverständlich dürfen die vorderen Äste der Curven sich in Wirklichkeit nicht berühren, wie dies die Unvollkommenheit des Holzschnittes mit sich bringt, sondern müssen hart neben einander verlaufen.

[2] Mach, über Herrn A. Guébhard's Darstellung der Aequipotentialcurven. Sitzungsber. d. Wiener Akademie, Bd. 86, II. Abth. S. 8.

tum) in die Flamme, so kann man die eben angedeutete Erscheinung ganz wohl an den fortgeführten glühenden Theilchen beobachten.[1]

9.

Die gegebene Darstellung ist von Vollständigkeit und Strenge noch weit entfernt. Doch bringt sie die Vorgänge der Anschauung näher und leitet die Aufmerksamkeit auf die Punkte, welche durch Versuche noch näher zu ermitteln sind. Hieher gehört zunächst die quantitative Ermittlung der Drucke in der Umgebung des Projectils. Es erscheint ganz wohl als möglich, dieselben in ähnlicher Weise zu bestimmen, wie dies Mach und v. Weltrubsky[2] für Funkenwellen gethan haben. Auch in Bezug auf den Einfluss der Reibung, der Rotation des Geschosses, so wie der Discontinuität hinter dem Projectil sind die bisher angestellten Versuche noch unzureichend. Hoffentlich wird die Weiterführung dieser Versuche auch für den Ballistiker von Interesse sein. Man sieht jetzt schon, dass die Energie des Geschosses theils zur Unterhaltung einer gewaltigen Schallwelle, theils zur Erzeugung von Wirbeln verwendet wird. Die empirischen Widerstandsgesetze können dadurch eine theoretische Grundlage und Aufklärung erhalten. Nicht minder können nach dem Princip der Ähnlichkeit der Flüssigkeitsbewegung, wie dies Froude[3] bei seinen Studien über Schiffe gethan hat, die an kleinen Modellen gewonnenen Versuchsergebnisse zur rationellen Verbesserung der Form grösserer Geschosse verwerthet werden.

10.

Wir können nicht unterlassen zu erwähnen, dass unsere Untersuchung wesentlich gefördert wurde durch das freundliche Entgegenkommen des Herrn C. Ritter v. Seemann, k. k. Linienschiffscapitains und Commandanten der Marineakademie in Fiume, des Herrn J. Werndl, Generaldirectors der Steyr. Waffenfabriksgesellschaft, des Herrn Linienschiffslieutenants H. Ritter v. Jedina, des kön. Honvédhauptmanns A. Edlen v. Gillyen, des k. k. Hauptmanns P. Krajnovic und des k. k. Hauptmanns F. Wallek, wofür wir hiemit unseren herzlichsten Dank aussprechen.

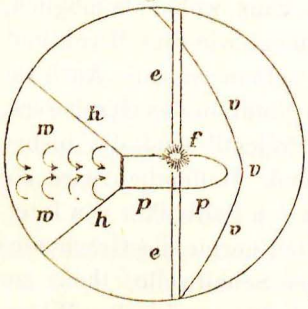
[1] Vergl. Mach, optisch-akustische Versuche, Prag 1873, S. 53.

[2] a. a. O.

[3] Froude, Royal Inst. May. 1876.

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 8.



Um die Figuren der Tafel nicht durch eingesetzte Buchstaben zu stören, geben wir eine schematische Abbildung: Fig. 8, *p p* Projectil, *e e* Elektroden, *f* Funke *I*, *v v* vordere Wellengrenze, *h h* hintere Wellengrenze, *w w* Wirbel.

Die Figuren 1—3 der Tafel stellen Versuche mit dem Werndl-Infanteriegewehr $\left(438\frac{\text{m}}{\text{sec}}\right)$, 4—6 solche mit dem Guedes-Infanteriegewehr $\left(530\frac{\text{m}}{\text{sec}}\right)$ dar. In allen Bildern der Tafel geht das Projectil von links nach rechts durch das Gesichtsfeld. In 1, 2, 3, und 5 ist die Kopfwelle, in 4 und 6 die Erscheinung hinter dem Projectil (Achterwelle und Wirbel) dargestellt. Um den Auslösungsfunken *f* ist meist noch ein Stück einer kreisförmigen Funkenwelle sichtbar.

Mach u. Salcher. Photogr. Fixirung der Projectile.

Fig. 1.

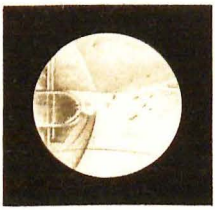


Fig. 2.

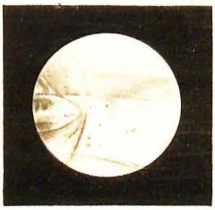


Fig. 3.

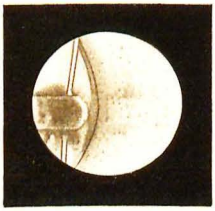


Fig. 4.

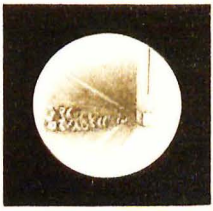


Fig. 5.

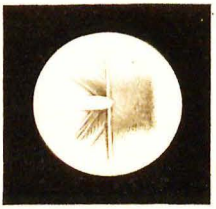


Fig. 6



Seite

v. Ettingshausen, Die Widerstandsveränderungen von Wismuth, Antimon und Tellur im magnetischen Felde. (Mit 2 Tafeln.) [Preis: 80 kr. = 1 RMk. 60 Pfg.] 714

X. Sitzung vom 21. April 1887: Übersicht 761

Mach u. *Salcher*, Photographische Fixirung der durch Projectile in der Luft eingeleiteten Vorgänge. (Mit 1 Tafel und 8 Holzschnitten.) [Preis: 40 kr. = 80 Pfg.] 764

Waelsch, Über eine Strahlencongruenz beim Hyperboloid. [Preis: 20 kr. = 40 Pfg.] 781

Biermann, Über das algebraische Gebilde n^{ter} Stufe im Gebiete von $(n+1)$ Grössen. [Preis: 22 kr. = 44 Pfg.] . . . 802

Horbaczewski, Über eine neue Synthese und die Constitution der Harnsäure 825

Peukert, Über die Erklärung des Waltenhofen'schen Phänomens der anomalen Magnetisirung. [Preis: 8 kr. = 16 Pfg.] 832

Gegenbauer, Über ein Theorem des Herrn Pépin. 838

— Über primitive Congruenzwurzeln 843

— Note über die Exponentialfunction 846

Benedikt u. *Ulzer*, Zur Kenntniss der Türkischrothöle 851

Karcz, Über Glyoxal-Önanthylin und dessen Abkömmlinge . . 861

Bandrowski, Über das Vorkommen alkaloidartiger Basen im galizischen Roherdöle 867

v. Hepperger, Bahnbestimmung des Kometen 1846 IV (De Vico). [Preis: 35 kr. = 70 Pfg.] 870

XI. Sitzung vom 5. Mai 1887: Übersicht 915

Stefan, Über veränderliche elektrische Ströme in dicken Leitungsdrähten. [Preis: 20 kr. = 40 Pfg.] 917

Boltzmann, Über einen von Prof. Pebal vermutheten thermochemischen Satz, betreffend nicht umkehrbare elektrolytische Processe. [Preis: 10 kr. = 20 Pfg.] 935

Mertens, Über invariante Gebilde ternärer Formen. [Preis: 40 kr. = 80 Pfg.] 942

Lecher, Neue Versuche über den galvanischen Lichtbogen. (Mit 3 Holzschnitten.) [Preis: 20 kr. = 40 Pfg.] 992

Herzig, Notiz über Isodulcit 1011

Tumlirz u. *Krug*, Über die Änderung des Widerstandes galvanisch glühender Drähte mit der Stromstärke. (Mit 1 Tafel.) [Preis: 50 kr. = 1 RMk.] 1014

XII. Sitzung vom 12. Mai 1887: Übersicht 1048

Hazura, Über trocknende Ölsäuren. (IV. Abhandlung) 1050

Fossek, Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Luft in Schulzimmern. (Mit 1 Tafel.) 1061

XIII. Sitzung vom 20. Mai 1887: Übersicht: 1082

Exner, Über transportable Apparate zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität. (Mit 8 Holzschnitten.) [Preis: 20 kr. = 40 Pfg.] 1084

Zehenter, Über Bromderivate des Resorcins 1101

Verzeichniss der an die mathematisch-naturwissenschaftliche Classe vom 1. Jänner bis 30. Juni 1887 gelangten periodischen Druckschriften 1107

SITZUNGSBERICHTE

DER

KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE CLASSE.

XCV. Band. I. Heft.

ZWEITE ABTHEILUNG.

Enthält die Abhandlungen aus dem Gebiete der Mathematik, Physik, Chemie, Mechanik, Meteorologie und Astronomie.

SITZUNGSBERICHTE

DER

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN CLASSE

DER KAISERLICHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

XCV. BAND. II. ABTHEILUNG.

JAHRGANG 1887. — HEFT I BIS V.

(Mit 8 Tafeln und 47 Holzschnitten.)

AMERICAN
GEOGRAPHICAL
SOCIETY.

WIEN.

AUS DER K. K. HOF- UND STAATSDRUCKEREI.

IN COMMISSION BEI CARL GEROLD'S SOHN,

BUCHHÄNDLER DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

1887.

Universitätsbibliothek
Freie Universität Berlin

AMERICAN GEOGRAPHICAL SOCIETY

Z 1956.926

INHALT.

Seite

I. Sitzung vom 7. Jänner 1887: Übersicht 3

Smolka, Über die Einwirkung von Kaliumpermangat auf Glukose in neutraler Lösung 5

Bobek, Über hyperelliptische Curven. (III. Mittheilung.) [Preis: 10 kr. = 20 Pfg.] 31

Schwarz, Über einen Satz aus der Polarentheorie der algebraischen Curven 42

Adler, G., Über das Verhältniss von Energie und Arbeitsleistung beim Condensator. [Preis: 10 kr. = 20 Pfg.] 50

Wachlowsky, Die Hagelverhältnisse in der Bukowina. [Preis: 10 kr. = 20 Pfg.] 58

Brodsky, Über die Einwirkung der Aldehyde auf Rhodanammonium 68

II. Sitzung vom 13. Jänner 1887: Übersicht 82

v. Lang, Messung der elektromotorischen Kraft des elektrischen Lichtbogens. II. [Preis: 10 kr. = 20 Pfg.] . . . 84

Gegenbauer, Über die Anzahl der Primzahlen 94

Edlund, Über unipolare Induction (Mit 3 Holzschnitten.) [Preis: 8 kr. = 16 Pfg. 97

III. Sitzung vom 20. Jänner 1887: Übersicht 104

Benedikt u. *Ulzer,* Über die Untersuchung von Acetylverbindungen und eine neue Methode zur Analyse der Fette. 107

Lorentz, Über das Gleichgewicht der lebendigen Kraft unter Gasmolekülen. (Mit 7 Holzschnitten.) [Preis: 35 kr. = 70 Pfg.] 115

Boltzmann, Neuer Beweis zweier Sätze über das Wärmegleichgewicht unter mehratomigen Gasmolekülen. [Preis: 12 kr. = 24 Pfg.] 153

Gegenbauer, Die Bedingungen für die Existenz einer bestimmten Anzahl von Wurzeln einer Congruenz 165

Aulinger, Über Membranen, deren beide Hauptspannungen durchaus gleich sind. [Preis: 10 kr. = 20 Pfg.] 170

Adler, G., Über die Energie und Gleichgewichtsverhältnisse eines Systemes dielektrisch-polarisirter Körper. [Preis: 20 kr. 40 Pfg.] 180

Stolz, Bemerkung zu der Abhandlung des Herrn Professor Dr. E. Weiss: „Entwicklungen zum Lagrange'schen Reversionstheorem u. s. w.“ 199

Seite

IV. Sitzung vom 3. Februar 1887: Übersicht 207

Winckler, Über den Multiplicator der allgemeinen elliptischen Differentialgleichung. [Preis: 12 kr. = 24 Pfg.] 209

Gegenbauer, Über ein Theorem des Herrn Bugajef 219

Janovsky, Beiträge zur Kenntniss der Azoverbindungen. (Mit 3 Holzschnitten.) 225

Ruth, Über den geraden Kreiskegel. (Mit 1 Holzschnitt.) . . . 240

Smolka, Über die Einwirkung von Brom auf Harnstoff 246

Jost, Über einen neuen Ellipsenzirkel. (Mit 1 Tafel.) [Preis: 15 kr. = 30 Pfg.] 251

Olszewski, Bestimmung des Siedepunktes des Ozons und der Erstarrungstemperatur des Äthylens 253

— Über das Absorptions-Spectrum des flüssigen Sauerstoffes und der verflüssigten Luft. (Mit 1 Holzschnitt.) . 257

Gintl u. *Storch*, Zur Chemie des Ecgonins 262

Morawski u. *Stingl*, Über die Natur der Zuckerarten der Sojabohne. 266

— — Über das Fett der Sojabohne 269

V. Sitzung vom 10. Februar 1887: Übersicht 272

Gegenbauer, Über die Functionen $T_n^m(x)$ 274

— Arithmetische Notiz 291

Mahler, Über den Stern *mišri* der Assyrer. [Preis: 10 kr. = 20 Pfg.] 299

Sieber u. *Smirnow*, Über das Verhalten der drei Isomeren Nitrobenzaldehyde im Thierkörper 309

VI. Sitzung vom 3. März 1887: Übersicht 315

Kohn, Zur Theorie der rationalen Curven vierter Ordnung [Preis: 20 kr. = 40 Pfg.]. 318

— Über die zu einer allgemeinen Curve vierter Ordnung adjungirten Curven neunter Classe. [Preis: 12 kr. = 24 Pfg.] 338

Bobek, Über Raumcurven m-ter Ordnung mit $(m-2)$-fachen Secanten. [Preis: 8 kr. = 16 Pfg.] 349

Puluj, Objective Darstellung der wahren Gestalt einer schwingenden Saite. (Mit 2 Holzschnitten.) [Preis: 5 kr. = 10 Pfg.] 355

Mahler, Über eine in einer syrischen Grabinschrift erwähnte Sonnenfinsterniss. [Preis: 10 kr. = 20 Pfg.] 359

Tumlirz, Über die Fortpflanzung ebener Luftwellen endlicher Schwingungsweite. (Mit 2 Holzschnitten.) [Preis: 20 kr. = 40 Pfg.] 367

Schramm, Über den Einfluss des Lichtes auf den Verlauf chemischer Reactionen bei der Einwirkung der Halogene auf aromatische Verbindungen. 388

Seite

VII. Sitzung vom 10. März 1887: Übersicht 393

Liznar, Über die 26tägige Periode der erdmagnetischen Elemente in hohen magnetischen Breiten. (Mit 1 Tafel.) [Preis: 25 kr. = 50 Pfg.] 394

Gegenbauer, Über die Bessel'schen Functionen. 409

Satke, Über den täglichen Gang der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung in Tarnopol. (Mit 1 Tabelle.) [Preis: 18 kr. = 36 Pfg.]. 411

VIII. Sitzung vom 17. März 1887: Übersicht 422

Raupenstrauch, Über Condensation des Normalbutyraldehydes 424

Weidel, Studien über Reactionen des Chinolins. (I. Abhandlung.) 436

Hazura, Untersuchungen über die Hanfölsäure. (II. Abhandlung.) 463

Hazura u. *Friedreich*, Über trocknende Ölsäuren. (III. Abhandlung.) 472

Pelz, Zum Normalenproblem der Ellipse. (Mit 1 Tafel.) [Preis: 35 kr. = 70 Pfg.] 481

Lebensbaum, Über die Menge des bei der Spaltung des Hämoglobins in Eiweiss und Hämatin aufgenommenen Sauerstoffs. (Mit 1 Holzschnitt.) [Preis: 15 kr. = 30 Pfg.] . . 492

Berlinerblau, Indol aus Dichloräther und Anilin. 507

Berlinerblau u. *Polikiev*, Über die bei der Indolbildung aus Dichloräther und aromatischen Aminen entstehenden Zwischenproducte 514

IX. Sitzung vom 31. März 1887: Übersicht 519

Biermann, Über die regelmässigen Punktgruppen in Räumen höherer Dimension und die zugehörigen linearen Substitutionen mehrerer Variabeln. [Preis: 25 kr. = 50 Pfg.] . 523

Waelsch, Über das Normalensystem und die Centrafläche der Flächen zweiter Ordnung. (I. Mittheilung.) 549

Marktanner-Turneretscher, Photometrische Versuche über die Lichtempfindlichkeit verschiedener Silberverbindungen. [Preis: 15 kr. = 30 Pfg.]. 579

Exner, Zur Contacttheorie. [Preis: 12 kr. = 24 Pfg.]. 595

Gegenbauer, Über ein arithmetisches Theorem des Herrn J. Liouville. 606

— Über Congruenzen 610

— Über Zahlensysteme 618

Lecher, Über Edlund's Disjunctionsströme. (Mit 3 Holzschnitten.) [Preis: 15 kr. = 30 Pfg.]. 628

Miesler, Die elektromotorischen Verdünnungsconstanten von Silber- und Kupfersalzen. [Preis: 6 kr. = 12 Pfg.] . . 642

Luggin, Eine einfache Methode zur Vergleichung magnetischer Felder 646

Jaumann, Über ein Schutzring-Elektrometer mit continuirlicher Ablesung. (Mit 4 Holzschnitten.) [Preis 12 kr. = 24 Pfg.] 651

Stolz, Über die Lambert'sche Reihe. [Preis: 22 kr. = 44 Pfg]. 659

Weidel u. *Wilhelm*, Zur Kenntniss der Oxydationsproducte des Pyα-Pyα Dichinolyls. 682

Streintz, Experimentaluntersuchungen über die galvanische Polarisation. (II. Abhandlung.) (Mit 1 Holzschnitt.) [Preis: 15 kr. = 30 Pfg.) 686

Alth, Über die Reduction einer Gruppe Abel'scher Integrale auf elliptische Integrale 702

Seite

v. Ettingshausen, Die Widerstandsveränderungen von Wismuth, Antimon und Tellur im magnetischen Felde. (Mit 2 Tafeln.) [Preis: 80 kr. = 1 RMk. 60 Pfg.] 714

X. Sitzung vom 21. April 1887: Übersicht 761

Mach u. *Salcher*, Photographische Fixirung der durch Projectile in der Luft eingeleiteten Vorgänge. (Mit 1 Tafel und 8 Holzschnitten.) [Preis: 40 kr. = 80 Pfg.] 764

Waelsch, Über eine Strahlencongruenz beim Hyperboloid. [Preis: 20 kr. = 40 Pfg.] 781

Biermann, Über das algebraische Gebilde n^{ter} Stufe im Gebiete von $(n+1)$ Grössen. [Preis: 22 kr. = 44 Pfg.] . . . 802

Horbaczewski, Über eine neue Synthese und die Constitution der Harnsäure 825

Peukert, Über die Erklärung des Waltenhofen'schen Phänomens der anomalen Magnetisirung. [Preis: 8 kr. = 16 Pfg.] 832

Gegenbauer, Über ein Theorem des Herrn Pépin. 838

— Über primitive Congruenzwurzeln 843

— Note über die Exponentialfunction 846

Benedikt u. *Ulzer*, Zur Kenntniss der Türkischrothöle 851

Karcz, Über Glyoxal-Önanthylin und dessen Abkömmlinge . . 861

Bandrowski, Über das Vorkommen alkaloidartiger Basen im galizischen Roherdöle 867

v. Hepperger, Bahnbestimmung des Kometen 1846 IV (De Vico). [Preis: 35 kr. = 70 Pfg.] 870

XI. Sitzung vom 5. Mai 1887: Übersicht 915

Stefan, Über veränderliche elektrische Ströme in dicken Leitungsdrähten. [Preis: 20 kr. = 40 Pfg.] 917

Boltzmann, Über einen von Prof. Pebal vermutheten thermochemischen Satz, betreffend nicht umkehrbare elektrolytische Processe. [Preis: 10 kr. = 20 Pfg.] 935

Mertens, Über invariante Gebilde ternärer Formen. [Preis: 40 kr. = 80 Pfg.] 942

Lecher, Neue Versuche über den galvanischen Lichtbogen. (Mit 3 Holzschnitten.) [Preis: 20 kr. = 40 Pfg.] 992

Herzig, Notiz über Isodulcit 1011

Tumlirz u. *Krug*, Über die Änderung des Widerstandes galvanisch glühender Drähte mit der Stromstärke. (Mit 1 Tafel.) [Preis: 50 kr. = 1 RMk.] 1014

XII. Sitzung vom 12. Mai 1887: Übersicht 1048

Hazura, Über trocknende Ölsäuren. (IV. Abhandlung) 1050

Fossek, Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Luft in Schulzimmern. (Mit 1 Tafel.) 1061

XIII. Sitzung vom 20. Mai 1887: Übersicht: 1082

Exner, Über transportable Apparate zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität. (Mit 8 Holzschnitten.) [Preis: 20 kr. = 40 Pfg.] 1084

Zehenter, Über Bromderivate des Resorcins 1101

Verzeichniss der an die mathematisch-naturwissenschaftliche Classe vom 1. Jänner bis 30. Juni 1887 gelangten periodischen Druckschriften 1107

SITZUNGSBERICHTE

DER

KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE CLASSE.

XCV. Band. I. Heft.

ZWEITE ABTHEILUNG.

Enthält die Abhandlungen aus dem Gebiete der Mathematik, Physik, Chemie, Mechanik, Meteorologie und Astronomie.