©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Über Erscheinungen
an
fliegenden Projectilen.

Von

Prof. E. Mach.

Vortrag, gehalten den 10. November 1897.

(Mit Experimenten.)

Mit 9 Abbildungen im Texte.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Die Menschen fühlen sich heutzutage verpflichtet, zuweilen für recht fragwürdige Ziele und Ideale sich gegenseitig in kürzester Zeit möglichst viele Löcher in den Leib zu schießen. Und ein anderes Ideal, welches zu den vorgenannten meist in schärfstem Gegensatze steht, gebietet ihnen zugleich, diese Löcher von kleinstem Caliber herzustellen, und die hergestellten möglichst rasch wieder zu stopfen und zu heilen.

Da unter diesen Umständen das Schießen, und was daran hängt, in unserem heutigen Leben eine sehr wichtige, wo nicht die wichtigste Sache ist, werden Sie vielleicht Ihr Interesse für eine Stunde einigen Versuchen zuwenden wollen, welche zwar nicht in kriegerischer, wohl aber in wissenschaftlicher Absicht unternommen worden sind, und welche über die Vorgänge beim Schießen einige Aufklärung geben.

Die heutige Naturwissenschaft ist bestrebt, ihr Weltbild nicht auf Speculationen, sondern nach Möglichkeit auf beobachtete Thatsachen aufzubauen: sie prüft ihre Constructionen wieder durch die Beobach-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

tung. Jede neu beobachtete Thatsache ergänzt dieses Weltbild, und jede Abweichung einer Construction von der Beobachtung macht auf eine Unvollkommenheit, auf eine Lücke desselben aufmerksam. Das Gesehene wird durch das Gedachte, welches selbst nur das Ergebnis des vorher gesehenen ist, geprüft und ergänzt. Es hat deshalb einen besonderen Reiz, das, was man nur theoretisch erschlossen hat, oder theoretisch vermuthet, der Prüfung durch die Beobachtung unmittelbar zugänglich, d. h. wahrnehmbar zu machen.

Als ich im Jahre 1881 in Paris einem Vortrage des belgischen Ballistikers Melsens zuhörte, welcher die Vermuthung aussprach, dass Projectile von hoher Geschwindigkeit Massen von verdichteter Luft vor sich herführen, welche an den getroffenen Körpern nach seiner Meinung gewisse bekannte explosionsartige Wirkungen hervorbringen sollten, entstand in mir der Wunsch, diese Vorstellungen durch das Experiment zu prüfen und den Vorgang, wenn derselbe besteht, wahrnehmbar zu machen. Der Wunsch war um so lebhafter, als ich mir sagen konnte, dass alle Mittel, denselben zu erfüllen, schon bereit lagen, und als ich dieselben zum Theil schon bei anderen Arbeiten angewandt und erprobt hatte.

Machen wir uns zunächst die Schwierigkeiten klar, die wir bei Verfolgung dieses Zieles zu überwinden haben. Es soll das mit vielen hundert Metersecunden Geschwindigkeit bewegte Projectil sammt den Veränderungen, welche es in der umgebenden

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Luft hervorbringt, beobachtet werden. Schon der undurchsichtige feste Körper, das Projectil, ist unter solchen Umständen nur ausnahmsweise sichtbar, nur wenn es von bedeutender Größe ist, und wenn wir die Flugbahn in starker perspectivischer Verkürzung sehen, so dass die Geschwindigkeit scheinbar sehr vermindert ist. Wir sehen ein größeres Projectil recht gut, wenn wir hinter dem Geschütz stehend in der Flugbahn visieren, oder in dem weniger behaglichen Fall, wenn das Projectil auf uns zukommt. Dennoch gibt es da ein sehr einfaches und radicales Mittel, sehr rasch bewegte Körper so bequem zu beobachten, als ob dieselben an irgend einer Stelle ihrer Bahn ruhend festgebannt wären. Es ist dies die Beleuchtung durch den lichtstarken elektrischen Flaschenfunken von äußerst kurzer Dauer, natürlich im dunklen Raum. Da nun aber zur vollständigen Auffassung eines Bildes eine gewisse nicht unbeträchtliche Zeit nöthig ist, so wird man natürlich vorziehen, die Momentphotographie zur Fixierung dieses Bildes von äußerst kurzer Dauer anzuwenden, welches man dann in aller Bequemlichkeit betrachten und analysieren kann. Diese Mittel sind nun wirklich in der nachher anzugebenden Weise verwendet worden.

Zu dieser Schwierigkeit kommt in Bezug auf die Luft noch eine andere, größere. Die Luft ist gewöhnlich überhaupt nicht sichtbar, auch wenn sie ruht. Nun soll aber noch sehr rasch bewegte Luft sichtbar gemacht werden.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Damit ein Körper sichtbar sei, muss derselbe entweder selbst Licht aussenden, leuchten, oder das auf denselben fallende Licht irgendwie beeinflussen, dasselbe ganz oder theilweise aufnehmen, absorbieren, oder ablenkend, also reflectierend oder brechend auf dasselbe wirken. Man kann die Luft nicht wie eine Flamme sehen, denn sie leuchtet nur ausnahmsweise, etwa in einer Geißler'schen Röhre. Die Luft ist sehr durchsichtig und farblos; man kann sie also auch nicht so sehen wie einen dunklen oder farbigen Körper, nicht so wie Chlorgas, Brom- oder Joddampf. Die Luft hat endlich einen so kleinen Brechungsexponenten, eine so geringe ablenkende Wirkung auf das Licht, dass diese gewöhnlich ganz unmerklich ist.

Ein Glasstab in der Luft oder im Wasser ist sichtbar. Derselbe ist aber fast unsichtbar in einer Mischung von Benzol und Schwefelkohlenstoff, welche denselben mittleren Brechungsexponenten hat wie das Glas. Glaspulver in derselben Mischung zeigt eine lebhafte Farbe, weil die Gleichheit des Exponenten wegen der Farbenzerstreuung nur für eine Farbe zutrifft, welche ungehindert durch die Mischung geht, während die anderen Farben zahlreiche Reflexionen erleiden.[1])

Wasser in Wasser, Alkohol in Alkohol ist unsichtbar. Mischt man aber Alkohol mit Wasser, so sieht man sofort die Flocken des Alkohols im Wasser,

---

[1]) Christiansen, Wiedemanns Annalen XXIII, S. 298 XXIV, S. 439. (1884, 1885.)

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

oder umgekehrt. So sieht man nun unter günstigen Umständen doch auch die Luft. Man sieht ein Flimmern und Zittern der Gegenstände, wenn man dieselben über ein von der Sonne beschienenes erhitztes Dach hinweg betrachtet, oder über einen der Kohlenöfen hin, die zur Asphaltierung der Straße dienen. Da mischen sich eben Flocken von heißer und kalter Luft von merklich verschiedener Lichtablenkung.

In ähnlicher Weise erkennt man in ungleichmäßigem Glase die stärker ablenkenden Theile, die Schlieren, in der weniger ablenkenden Masse. Solche Gläser sind für optische Zwecke unbrauchbar. Man hat deshalb der Untersuchung derselben zum Zwecke der Ausscheidung besondere Aufmerksamkeit zugewendet, und dadurch hat sich eben die feine Untersuchungsmethode, die Schlierenmethode, entwickelt, welche für unsern Zweck geeignet ist.

Schon Huygens hat zur Erkennung der Schlieren die angeschliffenen Gläser in schiefer Beleuchtung, zuweilen aus größerer Entfernung, um der Wirkung der Ablenkung Raum zu geben, betrachtet, und hat dann mit Hilfe eines Fernrohres beobachtet. Zur höchsten Vollkommenheit ist die Schlierenmethode durch Toepler entwickelt worden, der folgendes Verfahren anwendet.

Eine kleine Lichtquelle a beleuchtet eine Linse L, welche von ersterer ein kleines Bild b entwirft. Stellt man das Auge so, dass dieses Bild in dessen Pupille fällt, so scheint jetzt die ganze Linse, wenn sie voll-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

kommen ist, gleichmäßig erleuchtet, weil alle Stellen derselben Strahlen ins Auge senden.

Grobe Fehler der Form oder der Gleichmäßigkeit des Glases werden nur dann sichtbar, wenn die Ablenkungen so stark ausfallen, dass das Licht mancher Stellen neben der Pupille vorbeigeht. Blendet man aber das Bild *b* mit dem Rande eines kleinen Schirmes

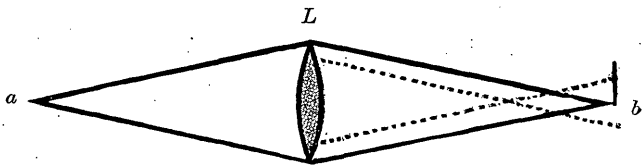

Fig. 1.

mehr oder weniger ab, so sieht man nun auf der in abgeschwächter Helligkeit erscheinenden Linse jene Stellen heller, deren Licht etwa durch stärkere Ablenkung noch neben der Blendung ins Auge gelangt, jene aber dunkler, welche infolge entgegengesetzter Ablenkung ihr Licht auf die Blendung senden. Dieser Kunstgriff der Abblendung, welchen schon Foucault bei Untersuchung der Spiegelfehler angewendet hatte, erhöht die Empfindlichkeit der Untersuchung ungemein. Dieselbe wird noch weiter erhöht durch Toeplers Anwendung eines Fernrohres hinter der Blendung. So vereinigt also Toeplers Methode die Vorzüge des Huygens'schen und des Foucault'schen Verfahrens.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Diese Methode ist nun so empfindlich, dass selbst geringe Ungleichmäßigkeiten der Luft in der Umgebung der Linse zum deutlichen Ausdruck kommen, was ich nur durch ein Beispiel erläutern will.

Ich stelle eine Kerze vor die Linse *L* und eine zweite Linse *M* so, dass die Kerzenflamme auf dem Schirm *S* abgebildet wird. Sobald in den Sammelpunkt *b* des von *a* ausgehenden Lichtes die Blendung eingeschoben wird, sehen Sie die Abbildung der durch die

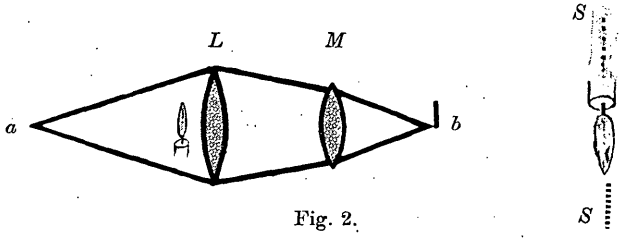

Fig. 2.

Kerzenflamme in der Luft eingeleiteten Dichtenänderungen und Bewegungen auf dem Schirm hervortreten. Von der Stellung der Blendung *b* hängt die Deutlichkeit der ganzen Erscheinung ab. Beseitigung von *b* macht alles undeutlich. Bei Ausschaltung der Lichtquelle *a* sehen wir bloß das Bild der Kerzenflamme auf dem Schirm *S*. Nehmen wir die Flamme weg und lassen *a* leuchten, so erscheint der Schirm *S* gleichmäßig hell.[1])

[1]) Die zu diesen Experimenten nöthigen achromatischen Linsen und Apparate hat Herr K. Fritsch (vorm.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Nachdem Toepler lange vergebens versucht hatte, die durch Schallbewegungen in der Luft erregten Ungleichmäßigkeiten nach diesem Princip sichtbar zu machen, führten ihm glückliche Umstände bei Untersuchung der elektrischen Funken solche Schallwellen vor. Die von den elektrischen Funken in der Luft erregten, den Knall begleitenden, Wellen sind nämlich kurz und kräftig genug, um nach diesem Verfahren sichtbar zu werden.

So sieht man, wie durch sorgfältige Beachtung der Spuren einer Erscheinung und durch sehr allmähliche zweckmäßige kleine Abänderungen der Umstände und der Methoden schließlich höchst überraschende Resultate erzielt werden können. Wer z. B. nur die Erscheinung am geriebenen Bernstein und die elektrische Straßenbeleuchtung ohne die in kleinen Schritten von der einen Thatsache zur andern überführenden Zwischenglieder kennt, dem werden diese beiden Thatsachen einander so fremdartig erscheinen als etwa Saurier und Vogel dem gewöhnlichen Beobachter, dem die embryologischen, anatomischen und paläontologischen Zwischenglieder unbekannt sind. Der Wert des Zusammenarbeitens der Forscher durch Jahrhunderte, von welchen jeder an die Arbeit der Vorgänger anknüpfen und dieselbe fortführen kann, wird an solchen Beispielen zum klaren Bewusstsein gebracht. Und

---

Prokesch) mit dankenswerter Freundlichkeit zur Verfügung gestellt.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

diese Erkenntnis zerstört in aufklärender Art dem Zuschauer den Eindruck des Wunderbaren, und schützt zugleich in heilsamer Weise den Arbeiter der Wissenschaft vor Überhebung. Ich muss auch noch die ernüchternde Bemerkung hinzufügen, dass alle Kunst vergebens wäre, wenn nicht die Natur selbst wenigstens schwache Fäden darbieten würde, welche von einem verborgenen Vorgang in das Gebiet des Beobachtbaren führen. So dürfen wir uns also nicht wundern, dass einmal unter besonders günstigen Umständen z. B. eine sehr kräftige, durch einige hundert Pfund explodierendes Dynamit erregte Schallwelle im Sonnenschein einen direct beobachtbaren Schatten wirft, wie Boys kürzlich berichtet hat. Wären die Schallwellen absolut ohne Einfluss auf das Licht, so könnte dies nicht vorkommen, aber alle unsere Künste wären dann auch vergebens. So ist auch die Erscheinung am Projectil, die ich Ihnen zeigen werde, allerdings in sehr unvollkommener Weise von dem französischen Ballistiker Journée gelegentlich gesehen worden, indem derselbe einfach mit einem Fernrohr einem Projectil nachvisierte, wie ja auch unsere Kerzenschlieren schwach unmittelbar sichtbar sind, und bei hellem Sonnenschein sich schattenhaft auf einer gleichmäßigen weißen Wand abbilden.

Momentbeleuchtung durch den elektrischen Funken, Schlierenmethode und photographische Fixierung

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

sind nun die Hilfsmittel, welche zur Erreichung unseres Zieles führen.

Im Sommer 1884 stellte ich meine ersten Versuche mit einer Scheibenpistole an, indem ich durch das Feld einer Schlierenaufstellung schoss, und dafür sorgte, dass das Projectil, während sich dasselbe im Felde befand, einen beleuchtenden Flaschenfunken auslöste, welcher dieses Bild im photographischen Apparat fixierte. Das Bild des Projectils erhielt ich ohne Schwierigkeiten sofort. Auch sehr zarte Bilder von Schallwellen (Funkenwellen) konnte ich mit Hilfe der damals noch etwas mangelhaften Trockenplatten leicht gewinnen. Eine vom Projectil erzeugte Luftverdichtung zeigte sich aber nicht. Ich untersuchte die Geschwindigkeit des Projectils und fand dieselbe zu 240 Metersecunden, also beträchtlich kleiner als die Schallgeschwindigkeit. Es war mir nun alsbald klar, dass unter diesen Umständen keine merkliche Verdichtung entstehen kann, da ja eine solche mit der Schallgeschwindigkeit (340 Metersecunden) fortschreitet, also dem Projectil vorauseilt und entflieht.

Von der Existenz des vermutheten Vorganges bei einer 340 Metersecunden überschreitenden Projectilgeschwindigkeit war ich aber so fest überzeugt, dass ich Herrn Professor Dr. Salcher in Fiume bat, einen solchen Versuch mit hoher Projectilgeschwindigkeit anzustellen. Im Sommer 1886 führte Salcher mit Professor Riegler in einem von der Leitung der k. k. Marineakademie zur Verfügung gestellten passenden

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Raume, ganz entsprechend meiner eigenen früheren Versuchsanordnung, solche Versuche aus, und das erwartete Ergebnis war auch sofort da. Die Erscheinung stimmte sogar der Form nach mit der Skizze, die ich voraus entworfen hatte. Bei weiteren Versuchen traten noch neue unerwartete Züge hinzu.

Es wäre nun unbillig gewesen, als Ergebnis dieser ersten Versuche gleich sehr vollkommene und in allen Theilen deutliche Bilder zu verlangen. Genug, dass der Erfolg nun gesichert war, und dass ich überzeugt sein konnte, weitere Arbeit und weiteren Aufwand nicht nutzlos zu verlieren. Hiefür bleibe ich beiden Herrn zu großem Dank verpflichtet.

Die hohe Marinesection des k. k. Kriegsministeriums stellte nun Salcher eine Kanone für einige Schüsse in Pola zur Verfügung, und ich selbst folgte mit meinem Sohne, damals Studenten der Medicin, einer freundlichen Einladung der Firma Krupp nach Meppen, wo wir mit einem für Versuche im Freien, auf dem Schießplatze, unvermeidlichen Aufwande von Apparaten einige Versuche ausführten, die sämmtlich schon leidlich gute und vollständige Bilder lieferten. Es wurden hiebei einige kleine Fortschritte erzielt. Die auf den Schießplätzen gemachten Erfahrungen befestigten aber die Überzeugung, dass wirklich gute Resultate nur bei sorgfältigster Ausführung der Versuche in einem zu diesem Zwecke gut adaptierten Laboratorium zu erzielen seien. Es kommt auch hiebei gar nicht auf die Kostspieligkeit der Mittel

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

an, indem z. B. die Größe des Projectils gar nicht maßgebend ist. Bei gleichen Projectilgeschwindigkeiten sind nämlich die Ergebnisse durchaus gleichartig, ob die Projectile groß oder klein sind. Die Veränderung der Anfangsgeschwindigkeit durch Veränderung der Ladung und des Projectilgewichtes hat man aber bei Laboratoriumsversuchen ganz in der Hand, sobald man sich einmal darauf eingerichtet hat. Solche Versuche habe ich nun in meinem Prager Laboratorium theils in Gemeinschaft mit meinem Sohne ausgeführt, theils sind dieselben später von diesem allein ausgeführt worden. Letztere sind die vollkommensten, und nur von diesen soll hier ausführlicher gesprochen werden.[1])

Denken Sie sich also eine Aufstellung für Schlierenbeobachtungen, natürlich im Dunkelzimmer.

Damit die Beschreibung nicht zu compliciert werde, will ich mich auf das Wesentliche beschränken, und feinere Einzelheiten, welche mehr für die Technik des Versuches von Belang sind, als für das Verständnis, weglassen. Das Projectil fliegt also durch das Feld des Schlierenapparates; es wird, während sich dasselbe in der Mitte des Feldes befindet, ein Beleuchtungsfunken ausgelöst, und das Bild wird durch die photographische Kammer hinter der Blendung fixiert. Bei den letzten und besten Versuchen war die Linse L durch einen sphärischen Glassilberspiegel von K. Fritsch

[1]) Ich habe dankend hervorzuheben, dass zahlreiche österreichische Officiere diese Versuche privatim gefördert haben.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

(vorm. Prokesch) in Wien ersetzt, wodurch die Aufstellung natürlich etwas complicierter wurde, als sie hier dargestellt ist. Die Funkenauslösung war anfänglich ungemein einfach. Das gut gezielte Projectil gieng im Felde zwischen zwei verticalen, isoliert gespannten Drähten hindurch, welche mit den Belegungen einer Leidnerflasche verbunden waren,

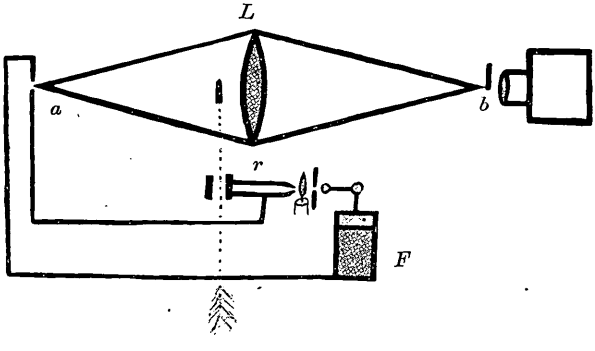

Fig. 3.

und löste, den Zwischenraum der Drähte ausfüllend, die Entladung der Flasche aus. Der Schließungsbogen hatte aber noch eine zweite Unterbrechung *a* in der Achse des Schlierenapparates, welche den Beleuchtungsfunken lieferte, dessen Bild auf die Blendung *b* fiel. Diese Drähte im Felde, welche mancherlei Störungen verursachten, wurden später vermieden. Das Projectil fliegt, bei der neuen Aufstellung, durch einen mit Papier verklebten Holzring, in welchem es einen Luft-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

stoß erzeugt, der als Schallwelle mit der Schallgeschwindigkeit von ungefähr 340 Metersecunden in dem Rohr *r* forteilt, eine am Ende desselben stehende Kerzenflamme durch die Bohrung eines elektrischen Schirmes herauswirft und so die Flaschenentladung einleitet. Die Rohrlänge ist so abgeglichen, dass die Entladung eintritt, sobald das Projectil sich in der Mitte des nun reinen und freien Gesichtsfeldes befindet. Wir wollen auch davon absehen, dass, zur Sicherung des Erfolges, durch die Flamme eine große Flasche *F* entladen wird, welche erst die Entladung einer kleinen Flasche von sehr kurzer Entladungsdauer zum Zwecke der Beleuchtung des Projectils einleitet. Größere Flaschen haben nämlich schon eine merkliche Entladungsdauer und liefern wegen der großen Projectilgeschwindigkeit schon etwas verwischte Bilder. Durch die sparsame Verwendung des Lichtes im Schlierenapparat, und durch den Umstand, dass hiebei viel mehr Licht auf die photographische Platte gelangt, als ohne diese Anordnung, kann man mit unglaublich kleinen Funken schöne, kräftige und zugleich scharfe Bilder erzielen. Die Contouren der Bilder erscheinen als sehr feine, scharfe, sehr nahe aneinanderliegende Doppellinien. Aus dem Abstand derselben und aus der Projectilgeschwindigkeit ergibt sich eine Beleuchtungsdauer oder Funkendauer von $^1/_{800000}$ einer Secunde. Es liegt nun auch auf der Hand, warum analoge Versuche mit mechanischen Momentverschlüssen kein nennenswertes Resultat liefern konnten.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Betrachten wir nun ein Projectilbild zunächst in der schematischen Fig. 4 und nachher in der photographischen Aufnahme Fig. 5, welche ich nach einem Originalnegativ auf den Schirm projiciere. Das letztere

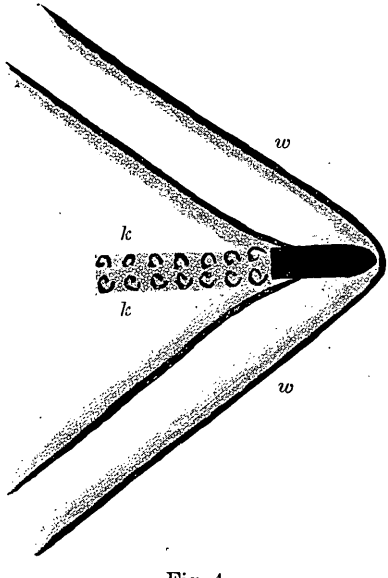

Fig. 4.

Bild entspricht einem Schusse mit dem österreichischen Mannlichergewehr. Wenn ich nicht sagen würde, was das Bild vorstellt, so könnten Sie wohl glauben, dass es das Bild ist eines rasch auf dem Wasser dahinfahrenden Bootes, aus der Vogelperspective aufgenom-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

men. Vorn sehen Sie die Bugwelle *ww*, hinter dem Körper eine Erscheinung *kk*, welche dem Kielwasser mit seinen Wirbeln sehr ähnlich sieht. In der That ist der helle, hyperbelähnliche Bogen am Scheitel des

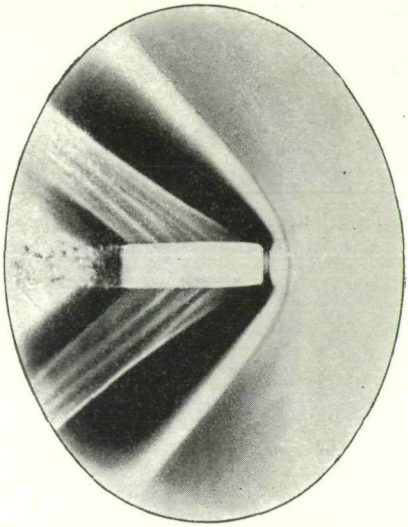

Fig. 5.

Projectils eine Luftverdichtungswelle, die ganz analog ist der Bugwelle eines Schiffes, nur dass erstere keine Oberflächenwelle ist. Sie entsteht im Luftraume und umgibt das Projectil glockenförmig von allen Seiten. Die Welle wird in derselben Weise sichtbar wie bei den vorher angestellten Versuchen die warme Luft-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

hülle, welche die Kerzenflamme umschließt. Und der Cylinder aus durch Reibung erwärmter Luft, welche das Projectil in Form von Wirbelringen abgestreift hat, entspricht in der That dem Kielwasser.

So wie nun ein langsam bewegtes Boot keine Bugwelle zeigt, und so wie diese erst dann auftritt, wenn das Boot sich mit einer Geschwindigkeit bewegt, die größer ist als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wasserwellen, so kann man auch vor dem Projectil keine Verdichtungswelle sehen, so lange die Projectilgeschwindigkeit kleiner ist als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles. Erreicht und übersteigt aber die Projectilgeschwindigkeit diesen Wert, so nimmt die Kopfwelle, wie wir sie nennen wollen, zusehends an Mächtigkeit zu, und zugleich wird dieselbe immer gestreckter, d. h. der Winkel der Contouren der Welle mit der Flugrichtung wird immer kleiner, gerade so wie beim Wachsen der Bootgeschwindigkeit etwas Ähnliches geschieht. In der That kann man nach einem in der dargelegten Weise gewonnenen Momentbild die Projectilgeschwindigkeit ungefähr abschätzen.

Die Erklärung der Bugwelle und der Kopfwelle beruht auf demselben schon von Huygens verwendeten Princip. Denken Sie sich Steinchen in regelmäßigem Takte ins Wasser geworfen, so dass alle getroffenen Stellen in gerader Linie liegen, und dass jede später getroffene Stelle um ein bestimmtes Stück weiter nach rechts liegt. Die zuerst getroffenen Stellen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

werden dann die am weitesten ausgebreiteten Wellenkreise liefern, und alle zusammen werden, wo sie am dichtesten zusammentreffen, einen Wulst darstellen, der eben der Bugwelle gleicht. Die Ähnlichkeit wird um so größer werden, je kleinere Steinchen wir wählen, und je rascher wir dieselben einander folgen lassen. Taucht man einen Stab ins Wasser, und führt denselben an der Oberfläche hin, so findet das Steinchenwerfen, sozusagen, ununterbrochen statt, und man hat

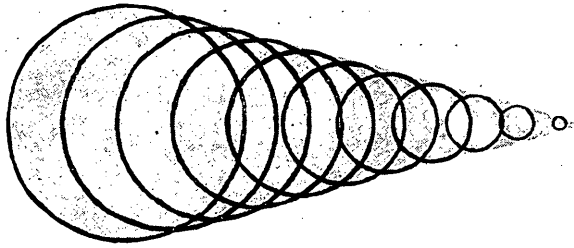

Fig. 6.

eine wirkliche Bugwelle. Setzen wir Verdichtungswellen der Luft an die Stelle der Oberflächenwellen des Wassers, so haben wir die Projectil-Kopfwelle.

Sie können nun sagen: Es ist ja recht schön und interessant, ein Projectil im Flug zu beobachten, was kann man aber praktisch damit anfangen?

Darauf antworte ich: Kriegführen kann man mit photographierten Projectilen allerdings nicht! So musste ich oft auch meinen medicinischen Zuhörern sagen, wenn sie sich sofort nach dem praktischen Wert

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

einer physikalischen Beobachtung erkundigten: Kurieren, meine Herren, kann man damit nicht! Ähnlich musste ich einmal auf die Frage antworten, wie viel Physik in einer Müllerschule gelehrt werden müsse, wenn man sich auf das für den Müller Unentbehrliche beschränken wolle. Ich musste sagen: Der Müller wird stets so viel Physik brauchen, als er wissen wird. Ein Wissen, das man nicht besitzt, kann man natürlich nicht verwenden.

Sehen wir von dem allgemeinen Umstand ab, dass jeder wissenschaftliche Fortschritt, jede Aufklärung, jede Erweiterung oder Berichtigung unserer Kenntnisse des Thatsächlichen im allgemeinen, auch eine bessere Grundlage für die praktische Bethätigung gibt. Fragen wir insbesondere: können wir aus der genaueren Kenntnis der Vorgänge in der Umgebung des Projectils gar keinen Vortheil ziehen?

Jeder Physiker, der sich mit Schallwellen beschäftigt, der die Bilder derselben fixiert hat, wird an der Schallwellennatur der Luftverdichtung am Projectilkopf nicht zweifeln. Wir nannten diese Verdichtung deshalb auch ohne weiteres die Kopfwelle. Steht nun dies fest, so erweist sich die Vorstellung von Melsens, nach welcher das Projectil Massen von Luft mit sich führt, und in die getroffenen Körper einpresst, als nicht mehr haltbar. Eine fortschreitende Schallwelle ist keine fortschreitende Masse, sondern eine fortschreitende Bewegungsform, ebenso wie die Wasserwelle oder die Welle in einem Kornfeld nur

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

eine fortschreitende Bewegungsform, keine Fortführung von Wasser oder Korn ist.

Durch Lichtinterferenzversuche, auf die ich hier nicht näher eingehen kann, deren Ergebnis aber in der schematischen Fig. 7 dargestellt ist, hat es sich überdies gezeigt, dass die glockenförmige Kopfwelle

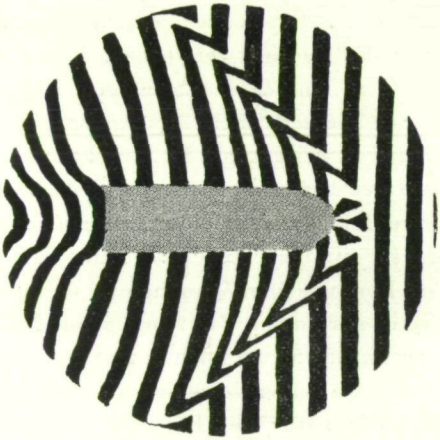

Fig. 7.

eine recht dünne Schale ist, und dass die Verdichtungen derselben recht mäßige sind, welche $^2/_{10}$ einer Atmosphäre nicht überschreiten.

Von Explosionswirkungen durch Luftdruck in dem vom Projectil getroffenen Körper kann also nicht die Rede sein. Die Erscheinungen an Schusswunden z. B. sind also nicht so aufzufassen, wie Melsens und

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Busch, sondern so wie Kocher und Reger es gethan haben, als Druckwirkungen des Projectils selbst.

Wie gering die Rolle ist, welche die Luftreibung, das vermeintliche Mitreißen der Luft bei der Projectilbewegung, spielt, lehrt ein einfacher Versuch. Man fixiert das Bild des Projectils, während dasselbe eine Flamme, also sichtbares Gas durchdringt. Die Flamme wird nicht etwa zerrissen und deformiert, sondern glatt und rein durchbohrt, wie ein fester Körper. In- und außerhalb der Flamme sieht man die Contouren der Kopfwelle. Das Flackern, Auslöschen u. s. w. erfolgt erst, nachdem das Projectil längst hindurch ist, durch die nacheilenden Pulvergase oder die vor denselben liegende Luft.

Der Physiker, welcher die Kopfwelle ansieht, und die Schallwellennatur derselben erkennt, sieht zugleich, dass dieselbe von derselben Art ist, wie die kurzen kräftigen Funkenwellen, dass dieselbe eine Knallwelle ist. Immer also, wenn ein Theil der Kopfwelle das Ohr erreicht, wird dieses einen Knall vernehmen. Es wird den Anschein haben, als ob das Projectil den Knall mit sich führen würde. Außer diesem Knall, welcher mit der Projectilgeschwindigkeit forteilt, die gewöhnlich größer ist als die Schallgeschwindigkeit, wird noch der Knall der Pulvergase zu hören sein, der mit der gewöhnlichen Schallgeschwindigkeit fortschreitet. Man hört also zwei zeitlich getrennte Explosionen. Der Umstand, dass diese Thatsache längere Zeit von den Praktikern ver-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

kannt wurde, als sie aber erkannt war, zuweilen eine recht abenteuerliche Erklärung fand, und dass schließlich meine Meinung doch als die richtige angenommen wurde, scheint mir hinreichend zu beweisen, dass Untersuchungen wie die hier besprochenen auch in praktischer Beziehung nicht ganz überflüssig sind. Dass die Blitz- und Knallerscheinungen zur Schätzung der Entfernung feuernder Batterien benützt werden, ist bekannt, und selbstverständlich ist es ferner, dass eine unklare theoretische Auffassung der Vorgänge auch der Richtigkeit der praktischen Schätzung Eintrag thun würde.

Es mag jedem, der es zum erstenmal hört, recht auffallend scheinen, dass ein Schuss einen doppelten Knall, und zwar von zwei verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten auslöst. Die Überlegung aber, welche uns lehrt, dass Projectile, deren Geschwindigkeit kleiner ist als die Schallgeschwindigkeit, keine Kopfwellen erzeugen, weil jeder auf die Luft ausgeübte Impuls mit der Schallgeschwindigkeit fort-, also vorauseilt, klärt uns, consequent fortgeführt, auch über den vorerwähnten sonderbaren Umstand auf. Bewegt sich das Projectil schneller, als der Schall fortgeht, so kann die Luft vor demselben nicht rasch genug ausweichen. Dieselbe wird verdichtet und erwärmt, und hiemit steigt bekanntlich die Schallgeschwindigkeit, bis die Kopfwelle ebenso rasch fortschreitet als das Projectil, so dass die Ursache einer weiteren Steigerung der Wellengeschwindigkeit weg-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

fällt. Würde eine solche Welle sich selbst überlassen, so würde sie sich verlängern und in eine gewöhnliche, langsamer fortschreitende Schallwelle übergehen. Das Projectil ist aber hinter ihr her, erhält sie auf ihrer Dichte und Geschwindigkeit. Selbst wenn das Pro-

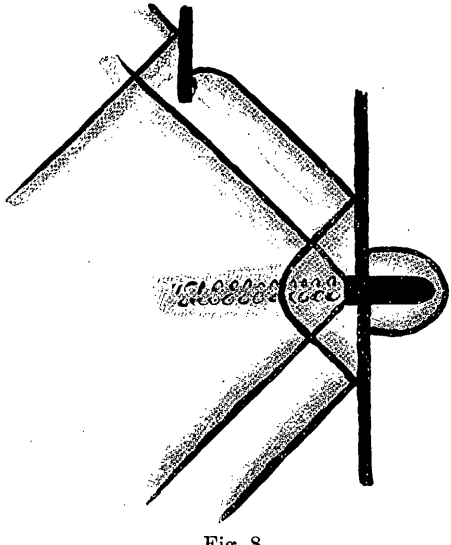

Fig. 8.

jectil einen Carton oder ein Brett durchdringt, welches die Kopfwelle abfasst und zurückhält, tritt, wie die Fig. 8 lehrt, an der durchdringenden Spitze sofort wieder eine neugebildete, um nicht zu sagen junge, Kopfwelle auf. An dem Carton kann man die Reflexion und Beugung, an einer Flamme die Brechung

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

der Kopfwelle beobachten, so dass kein Zweifel an deren Natur übrig bleibt.

Erlauben Sie mir, das Wichtigste von dem eben Gesagten noch durch ein schematisches Bild zu erläutern, welches nach älteren, weniger vollkommenen Photographien gezeichnet ist. In diesem Bild Fig. 9 sehen Sie das Projectil, welches eben den Gewehrlauf verlassen hat und, einen Draht berührend, die Funkenbeleuchtung auslöst. Sie sehen an der Spitze schon die Anfänge einer kräftigen Kopfwelle, vor derselben aber einen durchsichtigen pilzförmigen Klumpen. Es ist die vor dem Projectil aus dem Laufe ausgestoßene Luft. Bogenförmige Schallwellen, Knallwellen, welche aber bald vom Projectil überholt werden, gehen ebenfalls vom Laufe aus. Hinter dem Projectil aber dringt der undurchsichtige Pilz der Pulvergase hervor.

Es ist kaum nöthig zu bemerken, dass man nach dieser Methode auch andere auf die Ballistik bezügliche Fragen, z. B. die Bewegung der Lafette während des Schusses u. s. w., studieren kann.

Ein hervorragender französischer Artillerist, Herr Gossot, hat die hier dargelegten Vorstellungen über die Kopfwelle in anderer Weise verwertet. Man pflegt die Geschossgeschwindigkeiten zu bestimmen, indem man an verschiedenen Stationen aufgestellte Drahtgitter vom Geschoss zerreißen, und dadurch elektromagnetische Zeitsignale auf fallenden Schienen oder gedrehten Trommeln auslösen lässt. Gossot ließ diese Signale direct durch den Stoß der Kopfwelle aus-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

lösen, ersparte dadurch die Drahtgitter und war außerdem im Stande, selbst bei großen Elevationen, bei hoch gehenden Geschossen, noch Geschwindigkeiten zu messen, also in Fällen, in welchen die Anwendung der Drahtgitter ganz ausgeschlossen ist.

Die Gesetze des Widerstandes der Flüssigkeiten und der Luft bilden eine sehr verwickelte Frage. Man

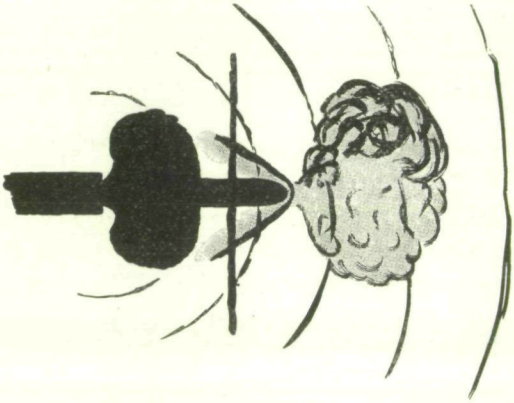

Fig. 9.

kann sich ja das Problem in sehr einfacher Weise zurechtphilosophieren, und hat dies ja gelegentlich gethan. Derselbe Körper, mit 2-, 3- . . . facher Geschwindigkeit bewegt, verdrängt in derselben Zeit die 2-, 3- . . . fache Flüssigkeits- oder Luftmasse, und ertheilt derselben zudem die 2-, 3- . . . fache Geschwindigkeit. Hiezu ist aber die 4-, 9- . . . fache Kraft

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nöthig. Der Widerstand wächst also mit dem Quadrat der Geschwindigkeit.

Das sieht sehr schön, einfach und einleuchtend aus. Allein die Praxis will von dieser einfachen Theorie nichts wissen; sie sagt vielmehr, dass, wenn man die Geschwindigkeit steigert, sich das Gesetz des Widerstandes ändert. Für jeden Spielraum der Geschwindigkeit ist das Gesetz ein anderes.

Die Studien des genialen englischen Schiffbau-Ingenieurs Froude haben in diese Frage Aufklärung gebracht. Froude hat gezeigt, dass der Widerstand durch eine Combination sehr verschiedenartiger Vorgänge bedingt ist. Ein bewegtes Schiff erfährt im Wasser Reibung, es erregt Wirbel und erzeugt außerdem noch Wellen, welche ins Weite gehen. Jeder dieser Vorgänge hängt in anderer Weise von der Geschwindigkeit ab, und es ist also kein Wunder, wenn das Widerstandsgesetz kein einfaches ist.

Die hier dargelegten Beobachtungen legen ganz analoge Betrachtungen in Bezug auf die Projectile nahe. Auch hier haben wir Reibung, Wirbelbildung und Wellenerregung. Wir werden uns also nicht wundern, wenn wir kein einfaches Gesetz des Luftwiderstandes finden, und werden nicht befremdet sein, wenn die Praxis lehrt, dass das Widerstandsgesetz sich wesentlich ändert, sobald die Projectilgeschwindigkeit die Schallgeschwindigkeit überschreitet, denn gerade da tritt das eine Element des Widerstandes, die Wellenbildung überhaupt erst in Wirksamkeit.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Niemand zweifelt, dass ein spitzes Geschoss mit geringerem Widerstande die Luft durchschneidet. Dass für spitze Geschosse die Kopfwelle schwächer ist, lehren auch die Photographien. Es ist nun nicht unmöglich, dass Geschossformen erdacht werden, welche geringere Wirbelbildung u. s. w. bedingen, und dass man auf photographischem Wege die betreffenden Vorgänge studiert. Ich glaube nach den wenigen Versuchen, die ich in dieser Richtung angestellt habe, allerdings nicht, dass man bei hohen Geschwindigkeiten durch Änderung der Geschossform noch viel erzielen wird, doch bin ich dieser Frage nicht nähergetreten.

Solche Untersuchungen werden übrigens der artilleristischen Praxis ebenso gewiss wenigstens nicht schaden, als in großem Maßstabe unternommene Experimente der Artilleristen der Physik sicher nützen werden.

Wer Gelegenheit hat, die heutigen Geschütze und Geschosse in ihrer Vollkommenheit, in der Gewalt und Präcision ihrer Wirkung kennen zu lernen, der muss gestehen, dass in diesen Objecten eine bedeutende technische und eine hohe wissenschaftliche Leistung verkörpert ist. Man kann sich diesem Eindruck so sehr hingeben, dass man zeitweilig ganz vergisst, welchem furchtbaren Zwecke diese Vorrichtungen dienen.

Erlauben Sie mir, bevor wir uns trennen, nur noch einige Worte über diesen Contrast. Der bedeutendste Krieger und Schweiger unserer Zeit hat be-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

hauptet, der ewige Friede sei ein Traum und nicht einmal ein schöner Traum. Wir dürfen ja dem großen Menschenkenner ein Urtheil in diesen Fragen zutrauen und können seine Furcht vor Versumpfung durch allzulangen Frieden begreifen. Es gehört aber doch ein starker Glaube an die Unüberwindlichkeit mittelalterlicher Barbarei dazu, keine wesentliche Verbesserung der internationalen Verhältnisse zu hoffen und zu erwarten. Denken wir an unsere Vorfahren, an die Zeit des Faustrechtes zurück, da innerhalb desselben Landes und Staates brutaler Angriff und ebenso brutale Selbsthilfe allgemein waren. Diese Zustände wurden so drückend, dass schließlich die verschiedensten Umstände dazu drängten, denselben ein Ende zu machen. Und die Kanone hat hiebei sogar das meiste gethan. Das Faustrecht war hiemit allerdings nicht so rasch aus der Welt geschafft; es war zunächst nur in andere Fäuste übergegangen. Wir dürfen uns ja auch keinen Rousseau'schen Illusionen hingeben. Rechtsfragen werden in gewissem Sinne immer auch Machtfragen bleiben. Ist doch selbst in den Vereinigten Staaten, wo jeder grundsätzlich das gleiche Recht hat, nach J. B. Stallos treffender Bemerkung, der Stimmzettel nur ein Surrogat für den Knüttel. Sie wissen ja, dass auch manche unserer Mitbürger gar sehr noch das Echte lieben. Sehr, sehr langsam, mit fortschreitender Cultur, nimmt aber der Verkehr der Menschen doch mildere Formen an, und niemand, der die „liebe, gute alte Zeit“ kennt, wird sie in Wirklich-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

keit je zurückwünschen, so schön sie sich auch dichten und malen lässt.

Im Verkehr der Völker besteht nun das alte rohe Faustrecht noch. Weil aber dieser Zustand die intellectuellen, moralischen und materiellen Mittel der Völker schon aufs äußerste in Anspruch nimmt, kaum eine geringere Last im Frieden als im Kriege, kaum eine leichtere für den Sieger als für den Besiegten, wird derselbe immer unerträglicher. Die denkende Erwägung ist auch nicht mehr das ausschließliche Eigenthum derjenigen, welche sich die obersten Zehntausend nennen. Wie überall wird auch hier das Übel selbst die intellectuellen und ethischen Kräfte wecken, welche geeignet sind, dasselbe zu mindern. Mag immerhin der Racen- und Nationalitätenhass noch so gewaltig toben, dennoch wird der Verkehr der Völker zusehends ausgedehnter und inniger. Neben den die Völker trennenden Fragen treten nacheinander, immer deutlicher und stärker, die großen gemeinsamen Ziele hervor, welche alle Kräfte der Menschen der Zukunft vollauf in Anspruch nehmen werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1898

Band/Volume: 38

Autor(en)/Author(s): Mach Ernst

Artikel/Article: Über Erscheinungen an fliegenden Projectilen. 37-67