

Über longitudinale fortschreitende Wellen im Glase

VON

E. Mach und **L. Mach.**
w. M. k. A. Med. Stud.

(Mit 1 Tafel und 2 Textfiguren.)

Es ist seit langer Zeit bekannt,¹ dass stehende Longitudinalwellen in Glasstäben vermöge der Doppelbrechung, welche dieselben hervorrufen, zwischen gekreuzten Nikols sichtbar werden. E. Mach hat auch schon vor vielen Jahren versucht, durch elektrische Funken kurze fortschreitende longitudinale Wellen in Glasstäben zu erregen und bei Momentbeleuchtung zwischen den gekreuzten Nikols dieselben zu beobachten. Man konnte hoffen auf dieses einfache Verfahren optische Zeitmessungen mit der Schallgeschwindigkeit im Glase (5000 *m/sec.*) als Basis zu gründen. Diese Aussicht bildete die Haupttriebfeder der von E. Mach und F. Halsch angestellten Versuche, welche im Akademie-Anzeiger 1887, Nr. X, S. 103, erwähnt wurden.²

Die an diese Versuche geknüpften Erwartungen scheiterten jedoch zunächst an einem eigenthümlichen Umstande, welcher allerdings erst klar hervortreten konnte, als wir die Versuche gemeinsam mit einem optischen Apparate von grösserem Gesichtsfelde und mit exacteren, von L. Mach hergestellten mechanischen Mitteln nochmals vornahmen. Es zeigte sich nämlich, dass ein auf das Ende eines Glasstabes wirkender Funken nicht wie in der

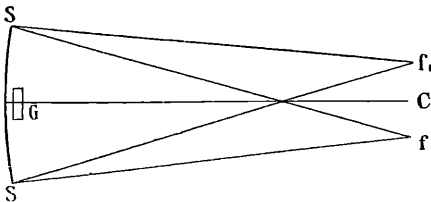
¹ Vergl. E. Mach, optisch-akustische Versuche. Pag. 1873, S. 34.

² Herr Med. Cand. Halsch, einer unserer tüchtigsten und hoffnungsvollsten Studenten, ist in Folge eines Unglücksfalles mit einer Petroleumlampe gestorben.

Luft eine einzelne Compressionswelle erzeugt, sondern dass viel mehr in den meisten Fällen eine ganze Schaar solcher Wellen wechselnd mit Dilatationswellen von der Funkenstelle ausgeht. Hiezu kommt noch, dass die Wellen oft den Querschnitt des Stabes nicht gleichmässig erfüllen, in welchem Falle dieselben zwischen den Seitenwänden hin und her reflectirt werden. So lange es nicht gelingt, regelmässig eine einzelne Welle zu erzeugen, kann von der in Aussicht genommenen Anwendung keine Rede sein. Wir wollen jedoch die beobachteten Erscheinungen kurz beschreiben, da sich an dieselben mancherlei neue Untersuchungen knüpfen könnten. Bemerkenswerth möchte es auch sein, dass man selbst bei so hohen Bewegungsgeschwindigkeiten (ungefähr 5000 $m/sec.$) noch scharfe photographische Momentbilder erhalten kann. Während also von mancher Seite die Herstellung unserer Projectil-Photographien bei 500 $m/sec.$ Geschwindigkeit noch vor Kurzem für eine Unmöglichkeit erklärt wurde, ist es hier gelungen noch zehnmal weiter zu gehen.

Das optische Verfahren, welches wir anwendeten, ist ganz ähnlich jenem der Schlierenmethode. Das Licht des Beleuchtungsfunkens f passirt eine Beleuchtungslinse l , ein Nicol N_1 , fällt auf ein grosses Fernrohrobjectiv O (22 cm Öffnung, 3 m Brennweite) und sammelt sich in dem conjugirten Punkte f_1 auf der Objectivöffnung des photographischen Apparates, vor welchem noch ein Nicol N_2 steht. Der zu untersuchende Glasstab steht unmittelbar vor dem Objectiv O . Die Polarisations Ebenen von N_1 und N_2

Fig. 1.



stehen zu einander senkrecht und schliessen einen Winkel von 45° mit der Längsaxe des Stabes ein. Das Objectiv O zeigt bei dieser Anordnung ein breites, verwaschenes, dunkles Kreuz, welches jedoch in den meisten Fällen

die Beobachtung nicht wesentlich beeinträchtigt. In manchen Fällen schien es uns jedoch zweckmässig, das Objectiv O durch einen sphärischen Glassilberspiegel S (16 cm Öffnung 3 m Radius)

zu ersetzen. Dann lagen f und f_1 , wie in Fig. 1, symmetrisch zu beiden Seiten des Krümmungsmittelpunktes. Der Glasstab, dessen Querschnitt durch G dargestellt ist, wurde unmittelbar vor S angebracht, so dass die Doppelbrechungsschliere mit ihrem eigenen Spiegelbilde fast zusammenfiel. Die Wirkung derselben wurde dadurch verstärkt, die Erkenntniss der Form derselben nicht beeinträchtigt. Der Spiegel S gab bei gekreuzten Nikols ein fast vollkommen gleichmässiges, dunkles Feld, so zwar, dass es nöthig war Marken von Glimmer oder Quarz anzubringen, um in der Photographie die Grenzen des Feldes zu bezeichnen.

Die Übertragung des Funkenstosses auf den Glasstab wurde in mannigfaltiger Weise eingeleitet. Das Ende des Glasstabes war mit einer angepassten und angekitteten Hartgummiplatte versehen, welche auf eine zweite solche Platte aufgeschliffen war; letztere sass wieder auf einem Glasstabe, der in einem massiven Bleifuss eingelassen war. Zwischen beiden fest aufeinandergeschraubten Platten wurde durch Messingelektroden und eine Reihe kleiner, in die eine Platte eingesetzter Metallstiftchen der Funken hindurchgeführt.

Der Stab kann auch unter dem Boden eines Hartgummigefässes durch Hartgummibacken und Kitt befestigt werden. Das Gefäss wird mit Öl gefüllt und in demselben überspringt am Boden ein Funke von 3 bis 4 *mm* Schlagweite, dessen Entstehung zweckmässig durch Bestreichen der Unterbrechungsstelle mit Graphit befördert wird.

Man kann ferner das freie Ende des Stabes mit Broncepulver bestreichen, Siegellack oder Wachs aufdrücken und durch das Pulver einen Funken leiten. Das Broncepulver verflüchtigt theilweise, das Wachs fliegt ab und der Rückstoss ist kräftig genug, sichtbare Wellen zu erzeugen.

Der Rückstoss wird kräftiger, wenn man das Broncepulver durch eine kleine Quantität Knallsilber ersetzt.

Der Funkenstoss kann bei der ersten und zweiten Anordnung, namentlich bei der letzteren, so heftig werden, dass der Stab oder das Ölgefäss in Trümmer geht. Man darf deshalb in diesen Fällen keine grosse Batterie anwenden.

Die Regulirung der Momentbeleuchtung war dieselbe, welche wir in unserer Arbeit über Interferenz von Schallwellen

grosser Excursion beschrieben haben. Man hat nur zu berücksichtigen, dass einem Luftwellenradius von 1 *cm* ein Glaswellenradius von mehr als 12 *cm* entspricht, wodurch sich auch alle Unregelmässigkeiten der Momentbeleuchtung, welche bei Untersuchung der Luftwellen kaum störend werden, in demselben Masse vergrössern.

Da man bei so hohen Geschwindigkeiten scharfe Bilder nur durch Anwendung sehr kleiner Beleuchtungsflaschen erzielen kann, und da ferner das Licht nach dem Durchgange durch den Glasstab und die beiden Nikols nur $\frac{1}{4}$ derjenigen Intensität hat, die es ohne Anwendung der Nikols hätte, so erfordert die Behandlung der photographischen Platten eine besondere Umsicht. Die Hervorrufung des Bildes nahm zuweilen eine halbe Stunde in Anspruch.¹

Lässt man durch das Ölgefäss kräftige Funken schlagen, so erscheint der Stab von dem Gefässe aus auf eine gewisse Strecke aufgehell, welche desto grösser ist, je mehr Zeit zwischen dem Wellenfunkens und Beleuchtungsfunkens verflossen ist. Bei genauem Zusehen bemerkt man eine Querstreifung des Stabes, d. h. es wechseln hellere und dunklere Stellen. Bei schwächeren Wellenfunkens erhält man nun deutlich eine ganze Reihe getrennter, heller Querstreifen, welche einer Schaar von Stosswellen entsprechen. Die Breite eines solchen Querstreifens beträgt oft nicht mehr als 2 *cm*, was einer Stossdauer von 4 Millionstheilen einer Secunde entspricht. Bei weiterer Abschwächung des Wellenfunkens werden die Querstreifen weniger zahlreich und weiter getrennt. Nur bei Anwendung ganz kleiner Flaschen (Capacität elektrost. 500 *cm*) gelang es ausnahmsweise eine einzelne Stosswelle ins Gesichtsfeld zu bekommen. Die Welle ist aber dann auch so schwach, dass dieselbe für den eingangs erwähnten Zweck kaum verwertbar erscheint.

Auch der Funkenstoss am freien Ende des Stabes bei Anwendung von Broncepulver, oder die Explosion von Knallsilber am Stabende, gaben kein wesentlich anderes Resultat. Im letzteren

¹ L. Mach, welcher sich eingehend mit diesem Gegenstande beschäftigt hat, wird gelegentlich eine Mittheilung darüber machen.

Falle namentlich deutet das Bild auf sehr zahlreiche Stösse von äusserst kurzer Dauer.

Die natürliche Voraussetzung beim Anblicke einer Einzelwelle ist die, dass man mit einer Compressionswelle zu thun hat, doch zeigt die nähere Untersuchung, dass auch Dilatationswellen vorhanden sind. Der Sinn und die Form einer solchen Welle lässt sich in einfacher Weise ermitteln. Wir stellen unmittelbar vor den

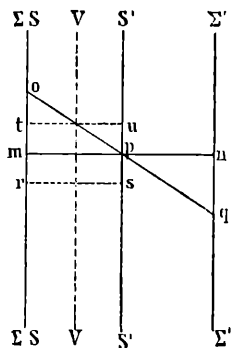


Fig. 2.

Stab $SS'S'$, durch welchen die Welle zieht, einen zweiten $\Sigma\Sigma'\Sigma$ von doppelter Breite, so wie dies Fig. 2 andeutet. Der zweite Stab wird in einer Presse gebogen, so dass die auf mn errichteten Ordinaten der Geraden opq die Dehnung oder Pressung an der betreffenden Stelle bedeuten, je nachdem sie auf- oder abwärts errichtet sind. Erfährt nun SS' eine Compression rs , so entspricht die Zusammenwirkung beider gleich dicker Stäbe einer Verlegung der Abscissenaxe nach tu . Der neutrale, schwarze Streifen von $\Sigma\Sigma'$ rückt aus der Lage $S'S'$ nach VV . Einer nach der Länge

von SS , variablen Compression entspricht eine Verschiebung und Biegung des schwarzen Streifens, aus welcher man ungefähr die Form der Welle abnehmen kann. Mit Hilfe eines Quarzcompensators konnte man ermitteln, dass die optische Wirkung des gekrümmten Glasstabes am Rande ungefähr jener von 0.03 mm dickem, axenparallelem Quarze gleichkam. Da nun Ausbiegungen des dunklen Streifens bis zum Rande auftraten, musste der Druck in der Welle in diesen Fällen etwa $150 \frac{\text{kg}r}{\text{cm}^2}$ betragen.¹

Würden nur Verdichtungswellen in dem gestossenen Stabe fortschreiten, so könnten Ausbiegungen des neutralen Streifens nur nach der gedehnten Seite des gekrümmten Stabes hin stattfinden. Man erhält nun meist auch eine Curve, wenn der gestossene Stab durch die gepresste Seite des gekrümmten Stabes

¹ Vergl. E. Mach, optisch-akustische Versuche. Prag, 1873, S. 14.

gedeckt wird, woraus hervorgeht, dass Dilatationswellen zwischen den Compressionswellen auftreten.

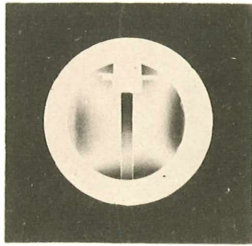
Die angehängte Tafel gibt eine deutliche Anschauung von den beobachteten Erscheinungen, deren weitere Verfolgung doch noch bemerkenswerte Ergebnisse liefern möchte.

Erklärung der Tafel.

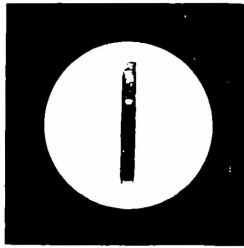
- Fig. 1. Starke Stosswelle. Capacität 3500 *cm*.
 Fig. 2. Starke Stosswelle. Capacität 3500 *cm*.
 Fig. 3. Schwächere Welle. Capacität 1000 *cm*.
 Fig. 4. Schwächere Welle. Capacität 500 *cm*.
 Fig. 5. Schwache Wellen, Fixirung der Form durch den gekrümmten Stab. Capacität 500 *cm*.
 Fig. 6. Der gekrümmte Stab für sich.
 Fig. 7. Stärkere Wellen auf der gedehnten Seite des gekrümmten Stabes.
 Fig. 8. Eine frei hängende Glasplatte. Stosswellen durch einen Funken in der Mitte des oberen Randes erregt.
 Fig. 9. Eine frei hängende Platte. Stosswellen an 2 symmetrischen Stellen des oberen Randes erregt.

Die Bilder 1 — 5 und 7 wurden mit Anwendung des Ölgefässes gewonnen. Das 1. Bild ist mit Hilfe des grossen Objectivs, 2 — 9 sind mit dem sphärischen Spiegel hergestellt.

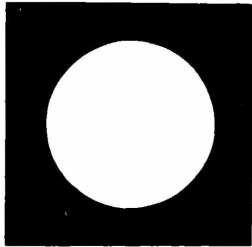
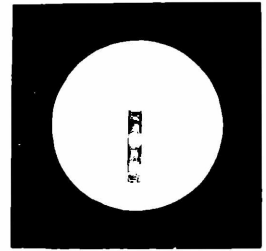
Alle Wellen gehen von oben nach unten durch das Gesichtsfeld.



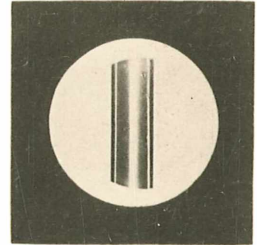
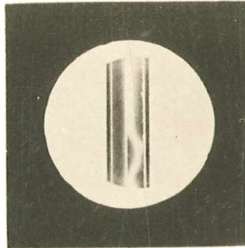
1



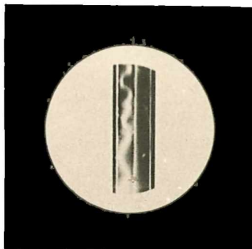
2



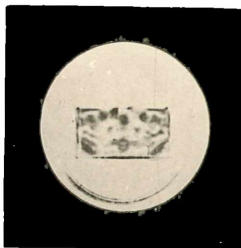
4



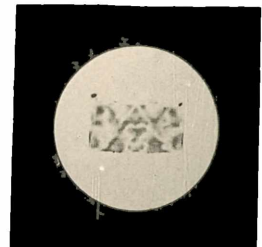
6



7



8



9

Nach den Originalnegativen vergrößert und in Lichtdruck vervielfältigt von Carl Bellmann in Prag.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1889

Band/Volume: [98_2a](#)

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

Artikel/Article: [Über longitudinale fortschreitende Wellen im Glase 1327-1332](#)