

# ANNALEN DER PHYSIK.

## VIERTE FOLGE. BAND 30.

### 1. *Experimentelle und theoretische Grundlagen des elastischen und mechanischen Stoßes;* *von Carl Ramsauer.*

(Heidelberger Habilitationsschrift.)

(Hierzu Taf. III, Figg. 1 u. 2, Taf. IV, Figg. 3–6.)

Inhalt: Einleitung. Entwicklung der beiden Stoßtheorien und bisherige Versuche p. 417. — I. Teil. Der elastische Stoß p. 420. 1. Kap. Theorie des elastischen Stoßes p. 420. § 1. Zylinder von gleichem Material und gleichem Querschnitt p. 420. § 2. Zylinder von beliebigem Material und Querschnitt p. 425. 2. Kap. Versuchsanordnung und Methoden p. 429. § 1. Material der Zylinder p. 429. § 2. Anordnungen zur Hervorbringung eines einwandfreien Longitudinalstoßes p. 431. § 3. Die Spiegelmethode zur Untersuchung des Stoßvorganges im einzelnen p. 434. § 4. Die Schattenmethode zur Messung der Geschwindigkeiten nach dem Stoß p. 443. § 5. Die elektrische Methode zur Messung der Stoßzeiten p. 445. 3. Kap. Versuchsergebnisse p. 446. § 1. Versuche zur Prüfung der Spiegelmethode p. 446. § 2. Versuche an Stahlschrauben p. 451. § 3. Versuche an Kautschukzylindern von gleichem Querschnitt p. 459. § 4. Versuche an Kautschukzylindern von ungleichem Querschnitt p. 470. § 5. Versuche an Zylindern von ungleichem Material p. 473. Zusammenfassung des ersten Teiles p. 477. — II. Teil. Der mechanische Stoß p. 478. 1. Kap. Untersuchung des Idealalles p. 478. 2. Kap. Die elastischen Vorgänge beim Stoß „starrer“ Körper p. 482. 3. Kap. Der Stoß zwischen Kautschukzylindern mit halbkugelförmigem Kopf p. 487. Zusammenfassung des zweiten Teiles p. 493.

#### Einleitung.

#### Entwicklung der beiden Stoßtheorien und bisherige Versuche.

Die gebräuchlichen Formeln des vollkommen elastischen Stoßes stellen die Geschwindigkeit nach dem Stoß als Funktion der Geschwindigkeiten vor dem Stoß und der Massen dar. Sie beruhen auf den beiden Sätzen von der Erhaltung der Schwerpunktsbewegung und der lebendigen Kraft als solcher. Letztere Annahme enthält aber einen inneren Widerspruch, da sie die Körper als absolut starr betrachtet, d. h. als unfähig, Energie

in potentieller Form aufzunehmen, während andererseits die Möglichkeit der Energieübertragung durch Kräfte die Voraussetzung des ganzen Gedankenganges ist. Außerdem geht die Leistung dieser sogenannten mechanischen Stoßtheorie nicht über die Angabe der Geschwindigkeiten nach dem Stoß hinaus, über die Stoßzeiten und besonders über den Stoßvorgang selbst sagt sie nichts.

Ihr gegenüber steht die sogenannte elastische Stoßtheorie. Diese untersucht den Stoßvorgang selbst in seiner Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, den Massen, Formen und Elastizitätskonstanten im einzelnen und gelangt so auch zu theoretisch widerspruchlosen Angaben über die Endresultate des Stoßes, d. h. über die Stoßzeiten und die Geschwindigkeiten nach dem Stoß. Für den Stoß von Zylindern ist diese Theorie nach vergeblichen Versuchen von Cauchy<sup>1)</sup> und Poisson<sup>2)</sup> durch F. Neumann<sup>3)</sup>, sowie unabhängig von St. Venant<sup>4)</sup> begründet und von letzterem in allen Einzelheiten mit voller Strenge durchgeführt worden. Für den Stoß von Kugeln hat H. Hertz<sup>5)</sup> die Frage im Anschluß an seine Härteuntersuchungen behandelt und — unter Vernachlässigung elastischer Wellen — mathematisch einwandfrei beantwortet.

Damit war die Frage physikalisch aber noch nicht gelöst. Die Prüfung der Endergebnisse über Stoßzeit und Geschwindigkeiten, welche experimentell keine Schwierigkeiten zu machen schien, führte nur für die Hertzschen Entwicklungen zu einigermaßen befriedigenden Resultaten<sup>6)</sup>, während die Theorie für den Stoß von Zylindern nicht bestätigt werden konnte. Die auftretenden Differenzen waren so groß, daß nicht einmal von einer qualitativen Bestätigung die Rede sein kann. So fand Hr. Hamburger<sup>7)</sup> bei seinen Versuchen über die Stoß-

1) A. Cauchy, Bull. Soc. philom. p. 180. 1826.

2) S. D. Poisson, Traité de mécan. 2. § 499.

3) F. Neumann, Vorl. über die Theorie der Elastizität p. 332. 1885; nach Hrn. Voigts Angaben bereits in den fünfziger Jahren vortragen.

4) St. Venant, Liouville Journ. (2) 12. p. 237. 1867.

5) H. Hertz, Crelles Journ. 92. p. 156. 1882.

6) M. Hamburger, Wied. Ann. 28. p. 653. 1886.

7) M. Hamburger, Bresl. Inaug.-Diss. 1885.

zeit zum Teil 5 mal so große Werte, wie die Theorie fordert, und außerdem im Gegensatz zur Theorie eine Abhängigkeit der Stoßzeit von der Länge des längeren Stabes, von der Dicke und von der Geschwindigkeit. Ähnliche Widersprüche zeigen die Messungen der Stoßzeit von Hrn. Hausmaninger.<sup>1)</sup> In bezug auf die Geschwindigkeiten nach dem Stoß liegt die Sache ähnlich. Außer den Arbeiten von Hrn. Hausmaninger<sup>2)</sup> und Boltzmann<sup>3)</sup> kommt hier wesentlich die Untersuchung von Voigt<sup>4)</sup> an Stahlstäben in Betracht. Hr. Voigt findet bei ungleichen Stablängen ein Rückprallen des kürzeren Stabes, während die Theorie sein Stehenbleiben verlangt, und einen wesentlich zu großen Restbetrag an lebendiger Kraft.

Diese Versuchsergebnisse zeigen, daß der Stoßvorgang erheblich anders verläuft, wie die elastische Theorie es verlangt, sie zeigen aber nicht, wie er in Wirklichkeit verläuft, da sie ja nur die Endergebnisse des Vorganges wiedergeben. Die von Hrn. Voigt<sup>5)</sup> aufgestellte Theorie, welche für die Vermittelung des Stoßes eine besonders elastische Zwischenschicht annimmt, sucht diese Lücke auszufüllen, ohne daß jedoch die experimentellen Grundlagen zu einer quantitativen Begründung im einzelnen ausreichen.

In der nachstehenden Arbeit habe ich mir die Aufgabe gestellt, diese Widersprüche nach Möglichkeit zu beseitigen. Als Untersuchungsmittel habe ich neben der Bestimmung von Stoßgeschwindigkeiten aus den Ausschlägen und von Stoßdauern nach der bekannten elektrischen Methode, deren Anwendbarkeit ich jedoch einer eingehenden Prüfung unterwerfe, eine neue optische Methode ausgearbeitet, welche die Verfolgung des Stoßvorganges für jeden Einzelmoment gestattet und damit unabhängig von jeder Theorie die Feststellung des wirklichen Stoßverlaufes ermöglicht. Speziell werde ich versuchen, die Bedingungen der elastischen und der mechanischen bzw. Voigtschen Theorie so rein wie möglich zu erfüllen, und

---

1) V. Hausmaninger, Wien. Ber. 88. p. 768. 1883.

2) V. Hausmaninger l. c.

3) L. Boltzmann, Wien. Ber. 84. p. 1225. 1881; Wied. Ann. 17. p. 343. 1882.

4) W. Voigt, Wied. Ann. 19. p. 43. 1883.

5) W. Voigt l. c.