



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# **Lehrbuch der Experimentalphysik**

**Lommel, Eugen von**

**Leipzig, 1908**

55. Stoß

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83789](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-83789)

Hört die formändernde Kraft plötzlich auf zu wirken, so wird jedes Teilchen der angegriffenen Körper durch die elastische Kraft, welche jener gleich und entgegengesetzt ist, in seine ursprüngliche Lage zurückgetrieben, kommt aber in dieser wegen seiner Trägheit nicht plötzlich zur Ruhe, sondern geht jenseits darüber hinaus, wodurch eine entgegengesetzte Formänderung (z. B. Verkürzung statt Verlängerung) entsteht, kehrt dann unter dem Einfluß der wachgerufenen entgegengesetzten elastischen Kraft wieder zurück usf., und kommt erst nach einer Reihe solcher Schwingungen (Oszillationen, Vibrationen) endlich in der ursprünglichen (Gleichgewichts-) Lage zur Ruhe. Da hierbei die treibende Kraft stets der Entfernung von der Gleichgewichtslage oder dem bis dahin noch zu durchlaufenden Weg proportional ist, so sind diese elastischen Schwingungen alle von gleicher Dauer oder isochron, wie diejenigen eines Pendels von kleiner Schwingungsweite. Wir haben den Vorgang einer solchen Schwingung an dem Beispiel einer an einer Spiralfeder hängenden schweren Masse bereits in der Mechanik (20) kennen gelernt. Die Berechnung der Schwingungsdauer war in diesem Falle besonders einfach, weil gegenüber der großen Masse des angehängten Gewichts die Masse der Feder vernachlässigt werden konnte, so daß die Feder nur die Kraft lieferte, die die Masse bewegte. In anderen Fällen, z. B. bei einem schwingenden Stabe, ist die Berechnung der Schwingungsdauer sehr viel schwieriger, weil hier die Masse und die elastischen Kräfte über den ganzen Stab verteilt sind. Aber das Gesetz, daß die elastischen Schwingungen isochron sind, gilt auch in diesem Falle und gilt immer, solange die Deformationen den Kräften proportional sind.

Von der unverändert gleichen Dauer der elastischen Schwingungen macht man eine wichtige Anwendung zur Regulierung der Taschenuhren (Hooke, 1658); indem sich nämlich die an der Unruhe befestigte zarte Spiralfeder in gleichdauernden Schwingungen abwechselnd auseinander und wieder zusammenwindet, bewirkt sie, daß die Hemmung des Steigrades durch die Unruhe in genau gleichen Zeitabschnitten erfolgt und der Sekundenzeiger demnach beim Fortrücken zu jedem seiner Sprünge genau die gleiche Zeit braucht.

55. **Stoß.** Ein Stoß findet statt beim Zusammentreffen eines bewegten Körpers mit einem anderen in Ruhe oder ebenfalls in Bewegung befindlichen Körper. Es stoße z. B. ein in Bewegung befindlicher Eisenbahnwagen auf einen anderen, welcher ruhig auf den Schienen steht. Sobald die Puffer miteinander in Berührung kommen, übt jener Wagen auf diesen einen Druck aus und erleidet von ihm einen gleich großen Gegendruck; dadurch wird der gestoßene Wagen in Bewegung gesetzt und beschleunigt, die Bewegung des stoßenden dagegen verzögert. Dieser Druck kann jedoch nur so lange dauern, bis beide Wagen die gleiche Geschwindigkeit besitzen; in dem Augenblick, in welchem dies erreicht wird, ist der erste Teil der Stoßwirkung vollendet. Nun sind aber die Puffer der Eisenbahnwagen bekanntlich mit schraubenförmig gewundenen stählernen Federn ver-



sehen; diese werden, während die Wagen aufeinander wirken, mit einer dem gegenseitigen Druck gleichen Kraft zusammengedrückt, springen aber, sobald der Druck aufhört, vermöge ihrer Elastizität mit derselben Kraft wieder heraus, so daß in diesem zweiten Teil der Stoßwirkung der stoßende Wagen nochmals den gleichen Druck nach rückwärts, der gestoßene nach vorwärts empfängt wie im ersten Teile. Sind z. B. die beiden Wagen von gleicher Masse, d. h. gleich schwer, so hat am Ende des ersten Teiles der Stoßwirkung der nachfolgende Wagen die Hälfte seiner Geschwindigkeit verloren, da er sie an den vorausgehenden abtreten mußte; im zweiten Teile erleidet er den gleichen Verlust nochmals und kommt demnach zur Ruhe, während der gestoßene, anfangs in Ruhe befindliche Wagen, indem er im zweiten Teile dieselbe Beschleunigung erfährt wie im ersten, mit der ganzen ursprünglich dem stoßenden Wagen eigenen Geschwindigkeit vorwärts geht. Ganz das nämliche ereignet sich, wenn zwei elastische Körper, z. B. zwei elfenbeinerne Billardkugeln, zusammenstoßen; im ersten Teile des Stoßes platten sie sich an der Berührungsstelle gegenseitig ab, im zweiten Teile nehmen sie ihre ursprüngliche Gestalt wieder an, indem die Abplattungen federnd herausspringen, und sie gehen mit vertauschten Geschwindigkeiten weiter. Daß eine Abplattung beim Zusammenstoß stattfindet, kann man nachweisen, indem man eine Elfenbeinkugel auf eine mit Ruß geschwärzte Marmorplatte herabfallen läßt; dieselbe springt bis fast zur ursprünglichen Höhe wieder zurück, und zeigt, obgleich wieder vollkommen rund geworden, einen kreisförmigen schwarzen Fleck von beträchtlich größerem Durchmesser, als wenn man sie nur einfach auf die rußige Fläche gelegt hätte; sie war also im Augenblick des Stoßes in der ganzen Ausdehnung jenes Fleckes mit der ebenen Platte in Berührung. Beim elastischen Stoß geht von der gesamten Wucht der aufeinander treffenden Körper nichts verloren; denn derjenige Teil der Wucht, welcher im ersten Abschnitt des Stoßes zur Abplattung oder zum Zusammendrücken der Feder verbraucht (als Bewegungsenergie verschwunden und in ruhende Energie der gespannten Feder verwandelt) war, wird im zweiten Abschnitt, indem die Abplattung sich ausgleicht oder die Feder sich entspannt, wieder vollkommen in Bewegungsenergie (Wucht) zurückverwandelt. Anders verhält es sich beim Stoß unelastischer Körper; wären z. B. die Federn der Puffer aus Blei statt aus Stahl gemacht, so würden sie beim Zusammentreffen der beiden Eisenbahnwagen ebenfalls zusammengedrückt werden, dann aber nicht wieder herausspringen; der zweite Akt des Stoßes fällt also ganz weg, die Wagen gehen jetzt mit der halben Geschwindigkeit des stoßenden vereint weiter und haben nun denjenigen Teil der ursprünglich vorhandenen Wucht, welcher auf die Zusammendrückung und Erwärmung des Bleies verwendet wurde, eingebüßt. Desgleichen gehen zwei unelastische gleiche Kugeln aus feuchtem Ton nach dem Stoß mit dauernder Abplattung und mit der halben Geschwindigkeit



vereint weiter. Trifft ein elastischer Körper senkrecht gegen eine unbewegliche elastische Wand, so prallt er mit unveränderter Geschwindigkeit in derselben Richtung zurück. Trifft er die Wand in schiefer Richtung, so wird er unter gleichem Winkel und mit derselben Geschwindigkeit zurückgeworfen, wie man beim Billardspiel leicht beobachten kann.

Bewegen sich zwei Massen  $m$  und  $m'$  (Fig. 60) in derselben Geraden mit den Geschwindigkeiten  $c$  und  $c'$  ( $c' > c$ ) in gleicher Richtung ( $\rightarrow$ ), und haben sie nach Beendigung des ersten Teils des Stoßes die gemeinsame Geschwindigkeit  $u$  erlangt, so hat die erstere den Betrag  $u - c$  an Geschwindigkeit gewonnen, die letztere  $c' - u$  verloren. Die Stoßkräfte, welche die beiden Körper dabei aufeinander ausübten, werden durch die Produkte der Massen mit den entsprechenden Geschwindigkeitsänderungen ausgedrückt (16); sie sind als Druck und Gegendruck einander gleich. Man hat daher

$$m(u - c) = m'(c' - u)$$

oder

$$(m + m')u = mc + m'c',$$

d. h. die Summe der Bewegungsgrößen vor und nach dem Stoß ist die nämliche. Dies gilt sowohl für elastische als für unelastische Körper.

Da bei unelastischen Körpern der zweite Akt des Stoßes wegfällt, so gehen sie vereint mit der gemeinsamen Geschwindigkeit

$$u = \frac{mc + m'c'}{m + m'}$$

weiter; die Geschwindigkeit nach dem Stoß ist also das nach der Mischungsregel berechnete Mittel aus den Geschwindigkeiten vor dem Stoß.

Sind dagegen die aufeinander stoßenden Körper vollkommen elastisch, so gewinnt die Masse  $m$  im zweiten Akte des Stoßes zu der Geschwindigkeit  $u$  noch den Zuwachs  $u - c$ , die Masse  $m'$  verliert nochmals  $c' - u$ , und ihre Geschwindigkeiten  $v$  und  $v'$  nach dem Stoß sind  $v = u + (u - c)$  und  $v' = u - (c' - u)$ , oder

$$v = 2u - c, \quad v' = 2u - c',$$

wo man nur den obigen Wert von  $u$  einzusetzen hat, um  $v$  und  $v'$  durch  $m$ ,  $m'$ ,  $c$ ,  $c'$  ausgedrückt zu erhalten.

Sind die Massen gleich ( $m' = m$ ), so ist  $2u = c + c'$  und daher

$$v = c' \text{ und } v' = c,$$

d. h. gleiche elastische Massen gehen nach dem Stoß mit vertauschten Geschwindigkeiten weiter. Alle diese Gleichungen gelten nicht nur, wenn sich, wie angenommen wurde, die Körper in gleicher Richtung bewegen, sondern auch, wenn sie sich entgegengehen; man hat nur die entgegengesetzte Geschwindigkeit negativ zu nehmen.

Man kann sich leicht überzeugen, daß  $mv^2 + m'v'^2 = mc^2 + m'c'^2$  ist, dagegen  $mu^2 + m'u'^2 < mc^2 + m'c'^2$ , d. h. beim Stoß elastischer Massen ist die gesamte Bewegungsenergie vor und nach dem Stoß die nämliche, beim Stoß unelastischer Massen dagegen geht Bewegungsenergie verloren.

Ist die Lage der beiden Massen  $m$  und  $m'$  auf der ihre Schwerpunkte verbindenden Geraden in irgend einem Augenblick vor dem Stoß durch ihre Abstände  $r$  und  $r'$  von einem beliebigen Punkte  $A$  (Fig. 61) dieser Geraden gegeben, so wird der Abstand  $s$  ihres gemeinsamen Schwerpunktes von  $A$  bekanntlich (32) durch die Gleichung

$$(m + m')s = mr + m'r'$$

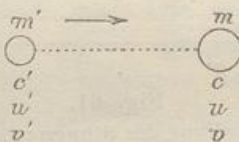


Fig. 60.  
Stoß.



bestimmt. Bewegen sich die Massen im nächsten kleinen Zeitteilchen  $\tau$  um die kleinen Strecken  $q$  und  $q'$  weiter, so wird sich auch ihr Schwerpunkt gleichzeitig um die Strecke  $\sigma$  derart verschieben, daß noch immer die Gleichung

$$(m + m')(s + \sigma) = m(r + q) + m'(r' + q')$$

gilt, aus welcher, da die vorige ihre Geltung behält, hervorgeht, daß auch

$$(m + m')\sigma = m q + m' q'$$

ist. Dividiert man hier beiderseits mit  $\tau$ , so sind  $q/\tau = c$  und  $q'/\tau = c'$  die Geschwindigkeit der Massen  $m$  und  $m'$  für sich, und  $\sigma/\tau = u$  die Geschwindigkeit ihres gemeinsamen Schwerpunktes, und letztere wird bestimmt durch dieselbe Gleichung

$$(m + m')u = m c + m' c',$$

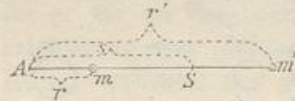


Fig. 61.  
Erhaltung des Schwerpunktes.

aus welcher sich vorhin die Geschwindigkeit nach dem Stoß ergab. Die Geschwindigkeit des gemeinschaftlichen Schwerpunktes vor dem Stoß ist also die nämliche, wie dessen Geschwindigkeit nach dem Stoß, oder die Bewegung des gemeinsamen Schwerpunktes wird durch den Stoß nicht geändert.

Dieses Prinzip der Erhaltung des Schwerpunktes gilt nicht nur für zwei, sondern für beliebig viele Massen, die bei ihren Bewegungen beliebig oft zusammenstoßen, weil bei jedem Stoß die ausgeübten Druckkräfte gleich und entgegengesetzt sind, und daher auf die Bewegung des Schwerpunktes der Gesamtheit keinen Einfluß üben können. Beim Platzen einer Granate z. B. bewegt sich der gemeinsame Schwerpunkt aller Sprengstücke in der ursprünglichen parabolischen Bahn unbeirrt weiter.

**56. Reibung (Friktion).** Wenn zwei unter gegenseitigem Druck in Berührung befindliche Körper sich aneinander hinbewegen, so wirkt infolge der mangelhaften Glätte ihrer Oberflächen ihrer Bewegung eine Kraft entgegen, welche man als Reibung bezeichnet. Die Größe des Reibungswiderstandes kann durch folgende einfache Vorrichtung (Coulombs Tribometer, 1781) ermittelt werden. Ein zur Aufnahme von Belastungsgewichten bestimmtes Kästchen mit flachem Boden kann auf einer wagrechten Fläche oder auf zwei Schienen gleiten; eine an dem Kästchen befestigte wagerecht laufende Schnur geht über eine Rolle nach unten und trägt an ihrem Ende eine Wagschale. Auf diese werden so lange Gewichte aufgelegt, bis sich das Kästchen in Bewegung setzt; das hierzu erforderliche Gewicht (mit Einrechnung des Gewichtes der Wagschale) gibt den Reibungswiderstand an, welcher zu überwinden war. Es ergibt sich zunächst, daß der Reibungswiderstand der Belastung mit Einrechnung des Gewichtes des Kästchens, also dem senkrecht gegen die Berührungsfläche ausgeübten Druck, proportional ist. Er ist ferner bei gleichem Druck auf die Flächeneinheit um so größer, je größer die Fläche ist. Bei gleichem Gesamtgewicht ist er daher unabhängig von der Größe der Berührungsfläche, weil in diesem Falle der Druck auf die Flächeneinheit um so größer wird, je kleiner die Unterstüßungsfläche der Last wird.

Den für die nämlichen Materialien unveränderlichen Bruchteil, welcher angibt, der wievielte Teil jenes Druckes zur Überwindung des Reibungswiderstandes erforderlich ist, nennt man den Reibungs-