



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# **Lehrbuch der Experimentalphysik**

**Lommel, Eugen von**

**Leipzig, 1908**

35. Kräftepaar

---

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

$C$  drehbaren unteren Hebel  $CD$ , und kann, wenn der Hebelarm  $CD$   $n$  mal so groß ist wie der Hebelarm  $CA$ , durch die Kraft  $q'/n$  in  $D$  ersetzt werden, welche an der bei  $G$  am Wagebalken angehängten Stange  $DG$  zieht. Hat man nun auch  $EG$  ( $E$  ist der Drehungspunkt des Wagebalkens)  $n$  mal so groß gemacht wie  $EF$ , so kann man sich statt der Kraft  $q'/n$  in  $G$  die  $n$  mal so große Kraft  $q'$  in  $F$  wirkend denken, so daß die Last  $Q = q + q'$ , an welcher Stelle der Brücke sie auch liegen mag, gerade so wirkt, als wäre sie unmittelbar an die Zugstange  $BF$  angehängt. Macht man nun den Hebelarm  $EH$ , welcher die Wagschale trägt, 10 mal (oder 100 mal) so lang als den Hebelarm  $EF$ , so kann man die Last mit einem 10 mal (oder 100 mal) kleineren Gewichte ins Gleichgewicht setzen (Dezimal- und Zentesimalwagen).

Bei Neigungs- oder Zeigerwagen bewegt sich der längere Arm eines Winkelhebels als Zeiger längs einer durch Versuche ein-

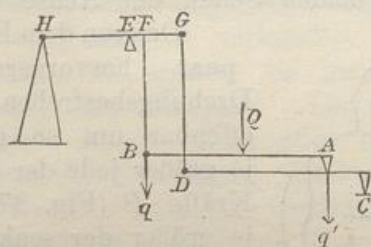


Fig. 34.  
Brückenwaage.

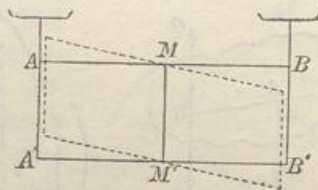


Fig. 35.  
Oberschalige Tafelwaage.

geteilten kreisbogenförmigen Skala, wenn man die Last an dem anderen kürzeren Arme wirken läßt.

Die oberchalige Tafelwaage (Roberval, 1670) besteht dem Wesen nach aus zwei gleich langen, um ihre Mittelpunkte  $M$  und  $M'$  (Fig. 35) drehbaren Balken  $AB$  und  $A'B'$ , welche durch zwei lotrechte Stangen  $AA'$ ,  $BB'$  zu einem Parallelogramm beweglich verbunden sind, und oben die fest mit ihnen verbundenen Wagschalen tragen.

**35. Kräftepaar.** Wir müssen noch einmal auf die Betrachtungen über die Zusammensetzung paralleler Kräfte (28 und 31) zurückgreifen und einen Sonderfall entgegengesetzt paralleler Kräfte näher ins Auge fassen. Die Mittelkraft zweier entgegengesetzt paralleler Kräfte ist gleich ihrem Unterschied. Läßt man aber die beiden entgegengesetzt parallelen Kräfte  $P$  und  $Q$  (Fig. 36) immer mehr und mehr einander gleich werden, so nähert sich ihr Unterschied  $P - Q$  dem Wert Null und der Angriffspunkt  $M$  rückt immer weiter in die Ferne. Wird endlich  $P = Q$ , so ergibt sich an einem unendlich fernen Angriffspunkte eine Mittelkraft Null, d. h. es kann in diesem Falle eine Mittelkraft überhaupt nicht angegeben werden. Zwei gleiche entgegengesetzt parallele Kräfte haben demnach keine Mittelkraft: sie bilden ein „Kräftepaar“, das sich auf etwas



Einfacheres nicht weiter zurückführen läßt. Es ist ersichtlich, daß die Kräfte des Paares keine fortschreitende Bewegung, sondern nur Drehung des Körpers um eine Achse, welche auf der durch die beiden parallelen Krafrichtungen gelegten Ebene (auf der Ebene der Zeichnung) senkrecht steht, bewirken können. Will man daher einem Körper nur eine drehende, keine fortschreitende Bewegung erteilen, oder will man einen um eine Achse drehbaren Körper drehen, ohne einen Druck auf die Achse auszuüben, so muß man sich stets nicht einer einzelnen Kraft, sondern zweier entgegengesetzt gleicher Kräfte, eines Kräftepaares bedienen. So dreht man eine Schraube, indem man zwei Finger am Schraubenkopf mit gleicher Kraft nach entgegengesetzten Richtungen wirken läßt. Man greift den Querarm einer Schraubenpresse mit beiden Händen an. Die Flügel einer Windmühle stehen symmetrisch so um die Achse herum, daß die Zerlegung des Winddruckes an den schräggestellten Flächen gleiche entgegengesetzte Kräfte zu beiden Seiten der Achse ergibt.

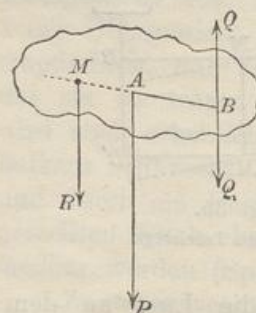


Fig. 36.  
Antiparallele Kräfte.

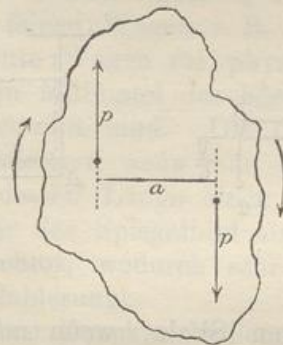


Fig. 37.  
Kräftepaar.

Das von dem Kräftepaar hervorgerufene Drehungsbestreben ist offenbar um so größer, je größer jede der beiden Kräfte  $P$  (Fig. 37) und je größer der senkrechte Abstand  $a$  ihrer parallelen Richtungen ist. Das Produkt  $Pa$  aus der einen Kraft und diesem Abstand, welcher als Arm des Kräftepaares bezeichnet wird, dient

daher als Maß für das Drehungsbestreben und wird das Moment des Kräftepaares genannt. Ein Kräftepaar kann, ohne seine Wirkung zu ändern, in seiner Ebene beliebig verschoben und gedreht, oder in eine andere parallele Ebene, welche mit der ursprünglichen starr verbunden ist, verlegt und durch ein anderes von gleichem Drehungsbestreben oder Moment ersetzt werden. Durch die Lage seiner Ebene, seine Drehrichtung und sein Moment ist ein Kräftepaar völlig bestimmt. Eine auf der Ebene der Paares errichtete Senkrechte gibt die Lage dieser Ebene und auch die Drehungsrichtung an, wenn man sie nach der Seite hin zieht, von welcher aus gesehen die Drehung rechtläufig, d. i. im Sinne des Uhrzeigers, erfolgt. Gibt man ihr auch noch eine dem Momente des Paares proportionale Länge, so wird das Kräftepaar durch diese seine Achse nach Größe und Richtung anschaulich dargestellt. Kräftepaare, deren Ebenen parallel sind und deren Achsen demnach zusammenfallen, können durch ein einziges ersetzt werden, dessen Moment (oder Achse) gleich ist der Summe der Momente (der Achsen) der komponierenden Kräfte-



paare, wobei die nach der einen Richtung drehenden Momente positiv, die nach der entgegengesetzten Richtung drehenden negativ zu zählen sind, gerade so, wie Kräfte, die in derselben Geraden an einem Punkte wirken, durch bloße Addition zusammengesetzt werden. Auch zwei Kräftepaare, deren Ebenen und demnach auch deren Achsen einen Winkel miteinander bilden, werden nach derselben Regel zusammengesetzt, wie zwei Kräfte; die Achse (das Moment) des resultierenden Paares ist nämlich der Größe und Richtung nach die Diagonale des Parallelogramms, das die Achsen (Momente) der gegebenen Paare zu Seiten hat, und ebenso kann auch jedes Kräftepaar oder Drehungsmoment in zwei Komponenten zerlegt werden.

**36. Zusammensetzung beliebiger Kräfte, die an verschiedenen Punkten eines starren Körpers angreifen.** An einem beliebig gewählten Punkte  $O$  (Fig. 38) des Körpers werde eine Kraft angebracht, welche einer der gegebenen Kräfte parallel und gleich ist, und eine ihr gleiche und entgegengerichtete Kraft. Da die beiden letzteren an dem Punkte  $O$  wirkenden Kräfte sich aufheben, so ändern sie nichts an dem Zustande des Körpers. Diese entgegengerichtete Kraft bildet aber mit der gegebenen ein Kräftepaar. Es kann demnach jede Kraft  $P$  ersetzt werden durch eine gleiche parallele Kraft an irgendeinem mit ihrem Angriffspunkte  $A$  starr verbundenen Punkte  $O$ , und durch ein Kräftepaar, das durch eine der letzteren gleiche und entgegengesetzte und durch die gegebene Kraft gebildet wird. Verfährt man ebenso mit den anderen an beliebigen Punkten des Körpers wirkenden Kräften unter Beibehaltung desselben Punktes  $O$ , so hat man schließlich die sämtlichen Kräfte jede parallel mit sich selbst an einen und denselben Punkt  $O$  verlegt, und außerdem noch ebensoviele Kräftepaare, als Kräfte gegeben waren. Die Kräfte an  $O$  einerseits und die Achsen der Paare andererseits können nun nach der Regel des Parallelogramms zusammengesetzt werden, und es erscheinen hiermit die an dem Körper in verschiedenen Punkten und in beliebigen Richtungen angreifenden Kräfte auf eine einzige Kraft und ein einziges Kräftepaar zurückgeführt, welche im allgemeinen eine fortschreitende und zugleich eine drehende Bewegung des Körpers hervorbringen.

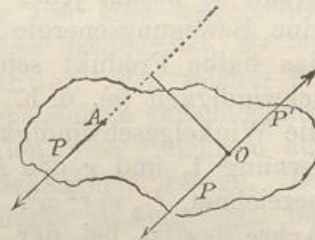


Fig. 38.

Zusammensetzung beliebig gegebener Kräfte.

**37. Winkelgeschwindigkeit.** Wenn sich ein Körper um eine Achse dreht, so beschreibt jeder seiner Punkte einen Kreis, dessen Mittelpunkt auf der Achse liegt, und dessen Ebene in diesem Punkt auf der Achse senkrecht steht. Die Geschwindigkeiten der verschiedenen Punkte stehen in demselben Verhältnis wie die Halbmesser der durchlaufenen Kreise oder, was dasselbe ist, wie die Abstände der Punkte von der Achse. Kennt man daher die Geschwindigkeit für irgendeinen Abstand, z. B. für die Entfernung 1 von der Achse,