

## Mechanik:

# Zusammensetzung von Kräften und Flaschenzug

## 1. Teil : Zusammensetzung von Kräften

### Aufgabenstellung:

Zu zwei Kräften  $F_1$  und  $F_2$  soll die Kraft  $F_{\perp}$  gesucht werden, die diesen das Gleichgewicht hält und lotrecht nach unten wirkt.

### Experimentelle Vorgangsweise:

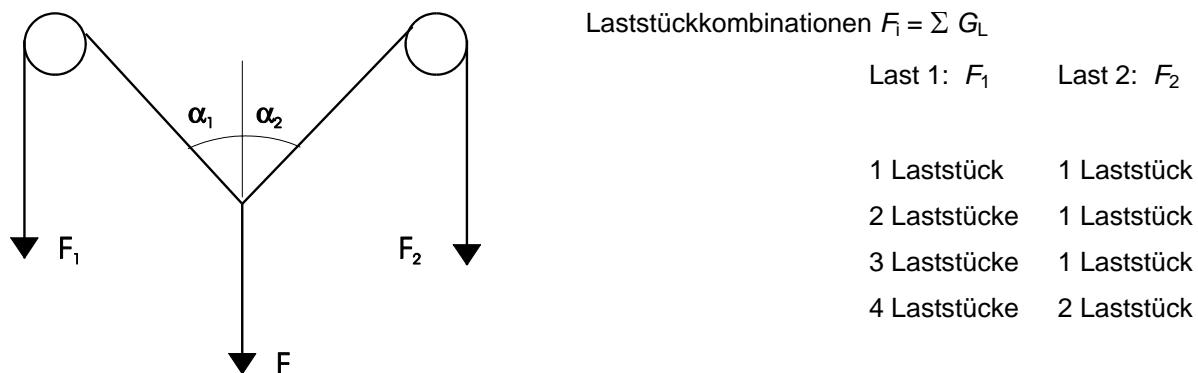


Abb. 1: Zusammensetzung von Kräften

Im Experiment wird die senkrecht nach unten weisende Kraft  $F_{\perp}$  gesucht, die zwei Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  kompensiert, welche mit der Lotrechten den Winkel  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  einschließen.

Den Betrag von  $F$  erhält man, wenn man die Vertikalkomponenten von  $F_1$  und  $F_2$  addiert:

$$F_{\perp} = F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 \quad (1)$$

1. Zuerst werden mit einer Waage die Massen  $m_L$  der Laststücke ermittelt und daraus die Gewichtskräfte  $G_L = m_L g$  berechnet. Mit den Kraftmessern ist das Ergebnis zu überprüfen, etwaige Abweichungen sind zu notieren (Gesamtfehler  $\Delta F = \text{Ablesefehler} + \text{Gerätefehler}$ ).
2. Danach werden für folgende Laststückkombinationen  $F_i = \sum G_L$  unter Beachtung des Lotrechtstehens der Kraft  $F_{\perp}$  die Kraft  $F_{\perp}$  und die Winkel  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  bestimmt (Gesamtfehler  $\Delta F = \text{Ablesefehler} + \text{Gerätefehler}$ , Gesamtfehler  $\Delta \alpha_i = \text{Ablesefehler} + \text{Gerätefehler}$ ):

Aus den Winkeln  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  und den Kräften  $F_1$  und  $F_2$  kann man nun die Kraft  $F_{\perp}$  nach obiger Gleichung (1) errechnen und mit dem am Kraftmesser abgelesenen Wert vergleichen.

Berechnung des Maximalfehlers von  $\Delta F$  mittels Fehlerfortpflanzung ausgehend von Gl. (1):

$$\Delta F|_{F_1} = |\cos \alpha_1| \Delta F_1,$$

$$\Delta F|_{F_2} = |\cos \alpha_2| \Delta F_2,$$

$$\Delta F|_{\alpha_1} = |F_1 \sin \alpha_1| \Delta \alpha_1,$$

$$\Delta F|_{\alpha_2} = |F_2 \sin \alpha_2| \Delta \alpha_2$$

$$\Delta F = \Delta F|_{F_1} + \Delta F|_{F_2} + \Delta F|_{\alpha_1} + \Delta F|_{\alpha_2}$$

Überprüfen Sie durch Einsetzen der Messwerte für  $F_i$  und  $\alpha_i$ , ob die Beziehung  $F_1 \sin \alpha_1 = F_2 \sin \alpha_2$  gilt, mit Berücksichtigung der jeweiligen Fehlergrenzen für  $F_i$  und  $\alpha_i$ . Abweichungen sind zu notieren, Meßfehler sind abzuschätzen, das Ergebnis ist zu diskutieren.

## 2. Teil: Flaschenzug: Kräftebilanz

### Aufgabenstellung:

An einem Flaschenzug soll gezeigt werden, dass

- a. die Zugkraft  $F$  proportional zur Gewichtskraft  $G_L$  der angehängten Last ist und
- b. die Zugkraft  $F$  bei konstanter Last  $G_L$  umgekehrt proportional zur Zahl  $N$  der verwendeten Rollen abnimmt, der Weg  $s$  um die Last  $G_L$  zu heben jedoch zunimmt (was bleibt dabei insgesamt konstant?).

### Experimentelle Vorgangsweise:

Beim Flaschenzug mit  $N$  Rollen verteilt sich die Gewichtskraft  $G_L$  der angehängten Last gleichmäßig auf  $N$  Seilstücke. Da das Seil entlang seiner gesamten Länge unter einer einheitlichen Zugspannung steht, bedeutet dies für die am Seilende aufzuwendende Zugkraft  $F$ :

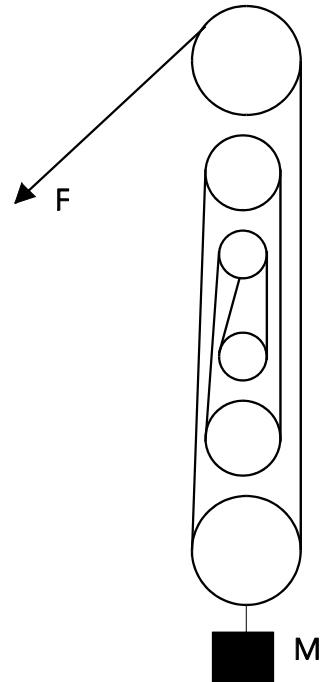


Abb. 2: Flaschenzug

$$F = G_L / N$$

Zu a.) Zunächst wird an dem Flaschenzug mit 6 Rollen gezeigt, daß die Zugkraft  $F$  proportional zur angebrachten Gewichtskraft  $G_L$  ist. Dazu ist die Gewichtskraft  $G_L = m_L g$  der 3 Laststücke (500 g, 1000 g, 2000 g) zu bestimmen und die Zugkraft  $F$  mit dem Kraftmesser zu ermitteln (Gesamtfehler  $\Delta F$  = Ablesefehler + Gerätefehler).

**Achtung:** Da der bewegliche Teil des Flaschenzuges selbst eine Masse hat, muß die Kraft  $F_{fl}$ , die notwendig ist, um den Flaschenzug in Schweben zu halten, abgezogen werden von der Kraft  $F_{ges}$ , die mit der Last gemessen wird. Die korrigierte Kraft  $F$  ist also:  $F = F_{ges} - F_{fl}$ .

Zu b.) Danach wird für das Laststück mit 1000 g für den Flaschenzug mit 2, 4 und 6 Rollen die aufzuwendende Zugkraft  $F$  und der Weg  $s$ , der erforderlich ist, um das Laststück um 10 cm zu heben, bestimmt. Wie genau wurde die Kraft bestimmt (Gesamtfehler  $\Delta F = \text{Ablesefehler} + \text{Gerätefehler}$ ), wie genau den Weg  $s$ ?

### Auswertung:

Zu a.) Die gemessene Zugkraft  $F$  wird in einem Diagramm als Funktion der am Flaschenzug angebrachten Gewichtskraft  $G_L$  aufgetragen. Die Meßfehler sind abzuschätzen und das Ergebnis der obigen Messungen ist zu diskutieren.

Zu b.) Berechnen Sie die (indirekt gemessene) Arbeit  $W = F s$  aus den direkt gemessenen Größen Zugkraft  $F$  und Weg  $s$ . Bestimmen Sie mittels Fehlerfortpflanzung den maximalen relativen Fehler  $\frac{\Delta W}{W}$  für die

Arbeit  $W = F s$ :

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta s}{s}$$

Bleibt die Arbeit  $W$  konstant innerhalb der ermittelten Fehlergrenzen?

### Vorbereitung:

- H. Tritthart: *Medizinische Physik und Biophysik*, 2001, Schattauer GmbH Stuttgart
  - 1.1 Direkte und indirekte physikalische Messungen; 1.3 SI-System; 1.3.5 Vektor und Skalar; 1.3.7 Masse; 1.3.8 Kraft; 1.4 Meßfehler; 1.6 Darstellung von Messwerten; 2.1 Statik und Dynamik; 2.1.1 Newton'sche Axiome; 2.1.4 Arbeit, Energie, Leistung
- W. Hellenthal: *Physik für Mediziner und Biologen*, 7. Auflage 2002, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft
  - Kap. 1.4 Skalare und vektorielle Größen; Kap. 2.2.1 Kräfte und Deformationen fester Körper; Kap. 2.2.2 Gewichtskraft; Kap. 2.2.3 Zusammensetzung von Kräften; Kap. 2.2.4; Kräfte und geradlinige Bewegung; 2.2.5 Energie; Kap. 14.8 Vektoren
- Trautwein, Kreibig, Oberhauser, Hüttermann: *Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten*, 5. Auflage 2000, Walter de Gruyter
  - Kap. 2.2.1 Newton'sche Axiome; Kap. 2.2.2 Verschiedene Arten von Kräften; Kap. 2.2.3 Statisches und dynamisches Gleichgewicht von Kräften; Kap. 2.2.5 Dynamometer; Kap. 3 Arbeit, Energie, Leistung; Kap. 4.1 Energieerhaltungssatz; Kap. A.3 Rechnen mit Vektoren.
- *Physikalische Grundlagen der Messtechnik*, Teil 1 und Teil 6
-  Vektoraddition: [http://www.explorescience.com/activities/Activity\\_page.cfm?ActivityID=15](http://www.explorescience.com/activities/Activity_page.cfm?ActivityID=15)
-  Vektoraddition und Subtraktion: <http://comp.uark.edu/~jgeabana/java/VectorCalc.html>