Was "ist" Physik?

- Modell der Natur
  - universell
  - "es war schon immer so"
- Kultur
  - "Aus was sind wir gemacht?"
    $\longrightarrow$ Ursprung und Aufbau der Materie
  - "Von wo/was kommen wir?"
    $\longrightarrow$ Ursprung und Aufbau von Raum und Zeit
- Wirtschaft

Modell der Natur

- Was macht den Tisch zum Tisch, den Stuhl zum Stuhl, den Stein zum Stein?
- Idee und Qualität
- Höhlengleichnis von Platon
- Der Einfluss von Modellen auf unser Denken
- Der Effekt der Gewöhnung (Meter, Atom, Elektron,. . .)

Der Massenpunkt als ideale Modellvorstellung

Modell für "reale" Objekte. Idealisierung eines ausgedehnten Körpers als mathematischer Punkt:

- hat deren Masse
- beliebig klein
- keine Rotationsfreiheitsgrade

Sinnvoll für die Beschreibung der Bewegung des Schwerpunktes eines Körpers.

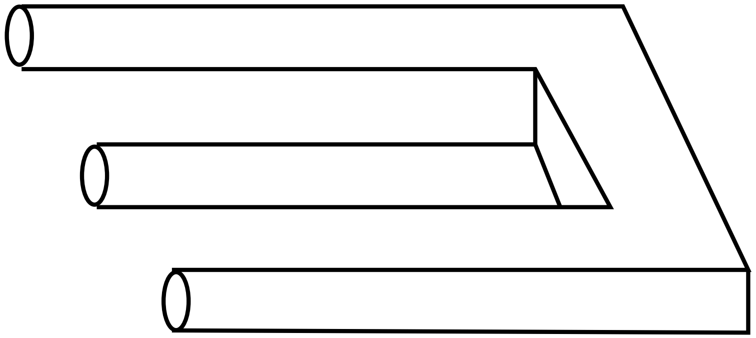
Wie “funktioniert” Physik?

- Natur lässt sich mathematisch beschreiben
- “exakte” Wissenschaft
- Modelle/Hypothesen sind überprüfbar (Experiment)
- Näherungen, Vereinfachungen in Anlehnung an Modellvorstellung
- Hypothesen und deren Falsifikation - und in Wirklichkeit?
- Gödel und die Intuition - und der Schweiß

“Das Buch der Natur kann man nur verstehen, wenn man vorher die Sprache und die Buchstaben gelernt hat, in denen es geschrieben ist. Es ist in mathematischer Sprache geschrieben, und die Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren, und ohne diese Hilfsmittel ist es Menschen unmöglich, auch nur ein Wort davon zu begreifen.”

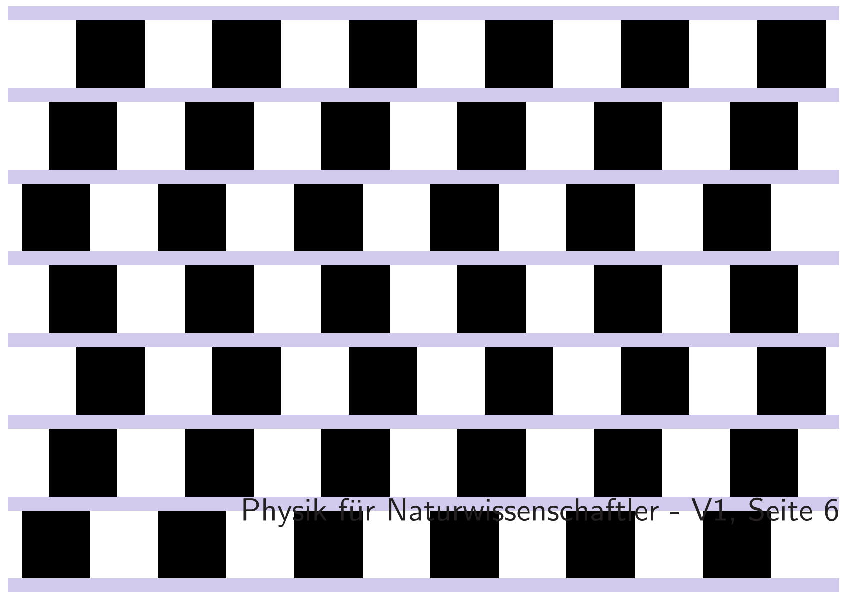
Galileo Galilei (1564 – 1642)

Optische Täuschungen



Nicht alles ist so, wie wir es zu sehen glauben. Unser Auge läßt sich leicht täuschen.

Also - Achtung!



Handwerkszeug der Physik

- Mathematik
- Messen
  - Grundlegende Größen (und wie kommt man drauf?)
  - SI-Einheiten
  - Fehler
- Analyse
- Interpretation

Mathematische Hilfsmittel

- Vektoren
- Analysis
- Näherungen (Taylorreihenentwicklung)
- Algebra, Differentialgeometrie, Topologie, Gruppentheorie
- Wahrscheinlichkeitstheorie, Statistik
- Numerische Methoden

SI-Einheiten

Eine physikalische Größe G ist gegeben durch einen numerischen Wert $\{G\}$ und eine Einheit $[G]$: $G = \{G\} \cdot [G]$. Einige Größen sind einheitslos.

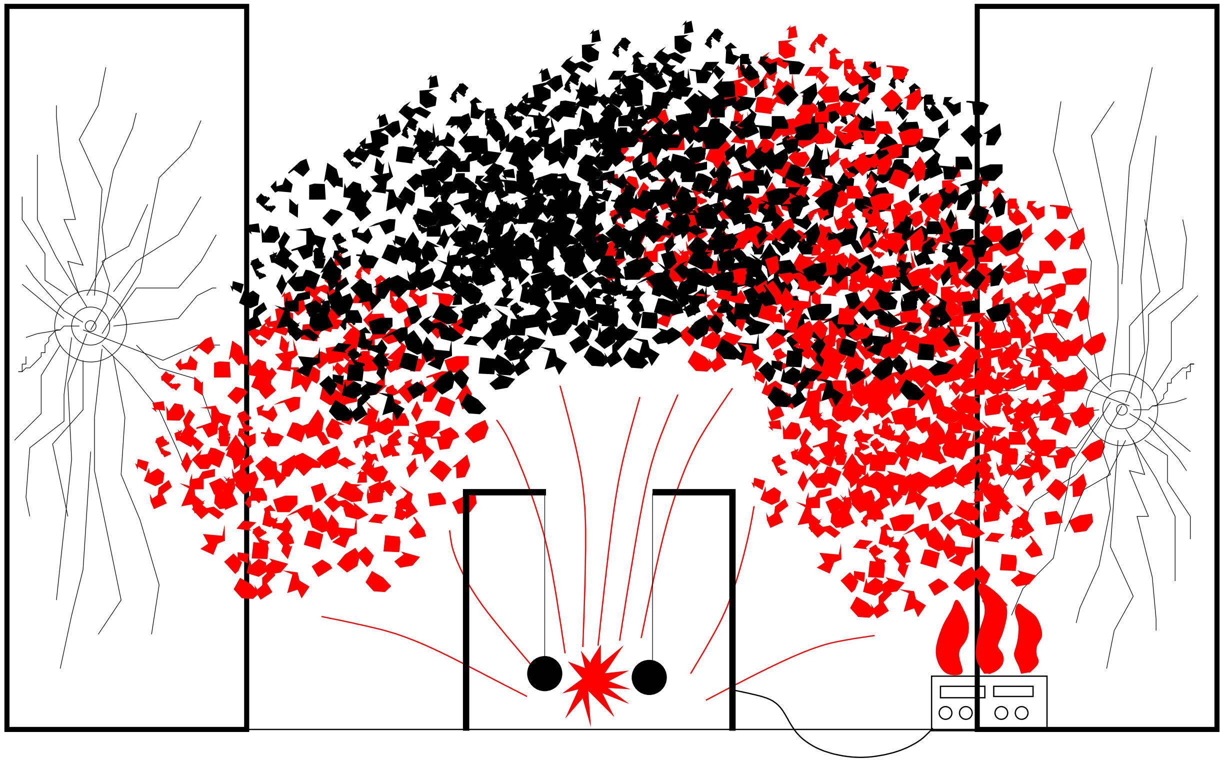
Grösse	Name der Einheit	Symbol
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Strom	Ampère	A
Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Strahlungsintensität	Candela	cd

Tabelle 1: SI-Einheiten

Fehler

- unnötige Fehler: können durch Wiederholung des Experimentes behoben werden
- systematische Fehler: im Messapparat inhärent, oft schwierig abzuschätzen
- statistische (zufällige) Fehler: Fluktuationen von Experiment(ator) zu Experiment(ator)
- “glückliche dumme” Fehler (äußerst selten, viele Gegenbeispiele!)

Kein Experiment ist je völlig sinnlos -
es kann immer als schlechtes Beispiel dienen!



Fehler II:

Beispiel: Messung der Länge eines Tisches (direkte Messung)

- Messung ergibt 1,982 m
- Maßstab war bei 25°C geeicht, Messung fand bei 20°C statt: Expansionskoeffizient 0,0005/K
  Korrektur: Neues Resultat = altes Resultat mal $(1 - 5 \times 0,0005)$, also 1,977 m.
- Parallaxenfehler beim Ablesen: Systematisch 2 mm zu kurz gemessen, neues Resultat 1,979 m.

Fehler III:

- Genauigkeit (Accuracy): Maß dafür, wie nahe das experimentelle Resultat am “wahren” Wert liegt

- Präzision: Maß dafür, wie gut die Messungen sind, kein Bezug zu einem “wahren” Wert

<u>Problem:</u> Der “wahre” Wert ist nicht bekannt!

Fehler IV:

Ersetzen "wahren" Wert durch den "Mittelwert" $\bar{x}$.

$$\bar{x} \doteq \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i = \frac{1}{N}\left(x_1 + x_2 + \ldots + x_{N-1} + x_N\right)$$

Definition des arithmetischen Mittels der Messwerte.

Er wird sehr oft gebraucht, aber

Es geht auch anders. . .

Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f(x)$ gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass eine Messung x im Intervall zwischen x und $x + \mathrm{d}x$ liegt.

- f ist normiert

$$\int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{d}x \; f(x) = 1$$

- Erwartungswert

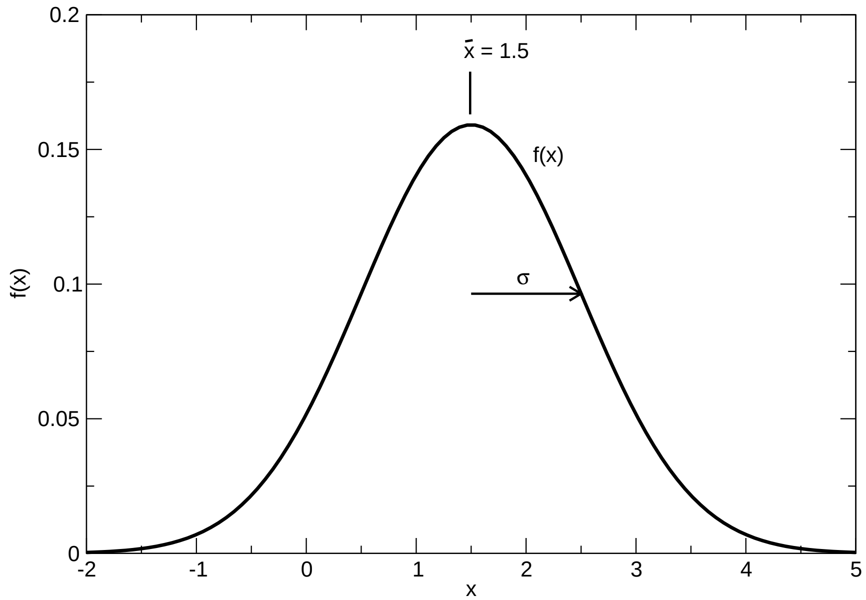
$$\mathbf{E}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{d}x \, f(x) \; x$$

- Varianz

$$\sigma^2 = \mathbf{E}((x - \mathbf{E}(x))^2)$$

Beispiel für $f(x)$: Die Gaußsche- oder Normalverteilung

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$



Beispiele für Wahrscheinlichkeitsverteilungen

- Moleküle im Gas

$$f(\vec{v}) = \frac{1}{N}\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}v} = 4\pi v^2 \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} \ e^{\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)}$$

- Die Fermi-Verteilung

$$n(E) = \frac{1}{e^{(E-E_F)/kT}+1}, \text{ wo } E_F \text{ die Fermi-Energie ist.}$$

Mittlerer Fehler der Einzelmessung

$$\sigma_x \doteq \overline{\delta x} = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}$$

Mittlerer Fehler des Mittelwertes

$$\overline{\sigma_x} \doteq \overline{\delta\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}$$

Achtung: zentraler Grenzwertsatz!

Angabe des Messresultates: Resultat = $\bar{x} \pm \overline{\delta\bar{x}}$

Zentraler Grenzwertsatz

Seien $X_1, X_2, \ldots, X_N$ eine Menge von N unabhängigen zufälligen Variablen, wo X_i eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $P(x_1, x_2, \ldots, n_N)$ hat mit Erwartungswert μ_i und endlicher Varianz σ_i^2, dann hat die Größe

$$X_{Norm} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i - \sum_{i=1}^{N} \mu_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} \sigma_i^2}}$$

eine kumulative Verteilungsfunktion, welche für große N eine Normalverteilung annähert.

Indirekte Messungen

Beispiel: Durchschnittliche Fallgeschwindigkeit

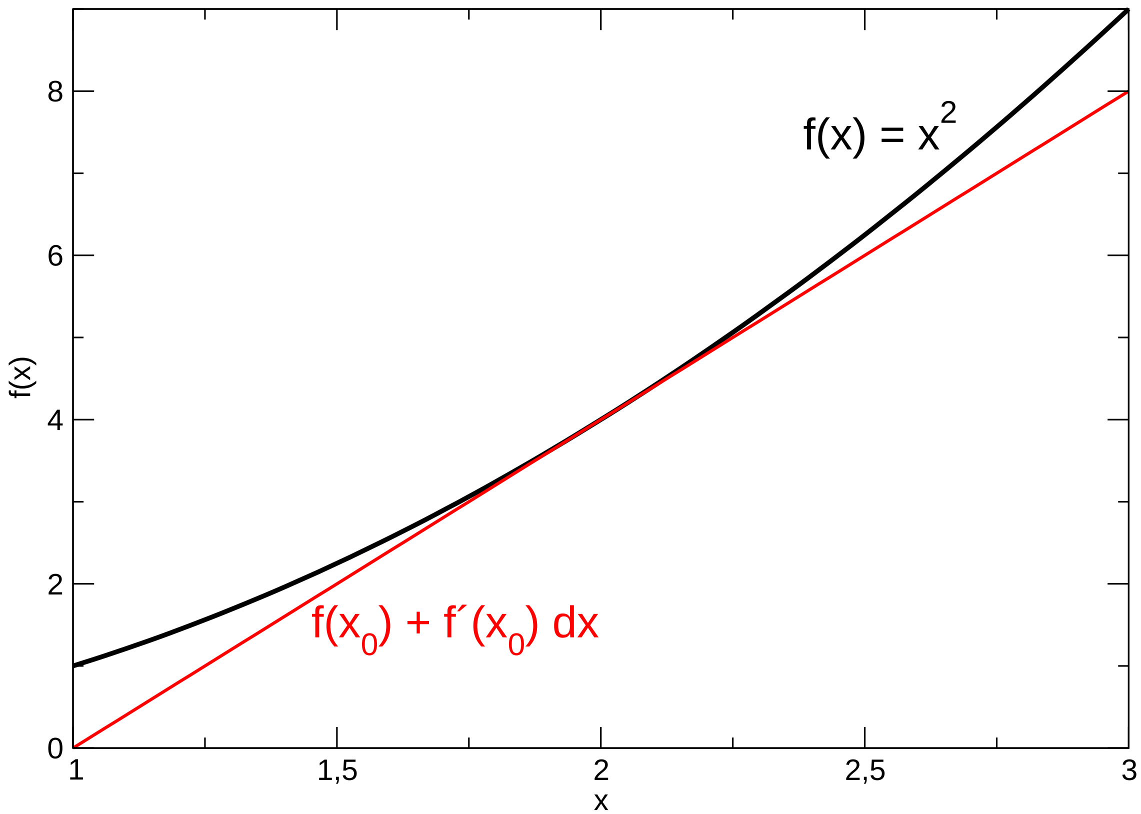
$$\langle v \rangle = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Fallhöhe Δh, Fallzeit Δt

$\longrightarrow$ direkte Messung von Δh und Δt (Urdaten im Protokoll festhalten!)

$\longrightarrow$ indirekte Messung von $\langle v \rangle$

Fehlerfortpflanzung

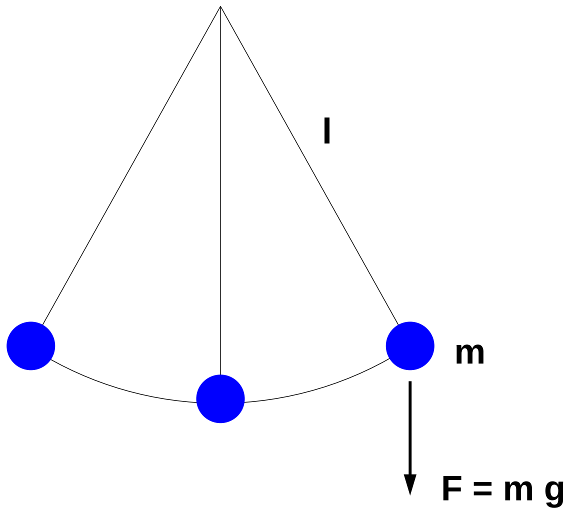


Fehlerfortpflanzung für den Fehler des Mittelwertes

$$\overline{\delta \overline{f(x_i)}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \overline{\delta x_i}^2}$$

“Ideales” Pendel und die Bestimmung von g

$$T = 2\pi\sqrt{l/g} \qquad \longrightarrow \qquad g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$



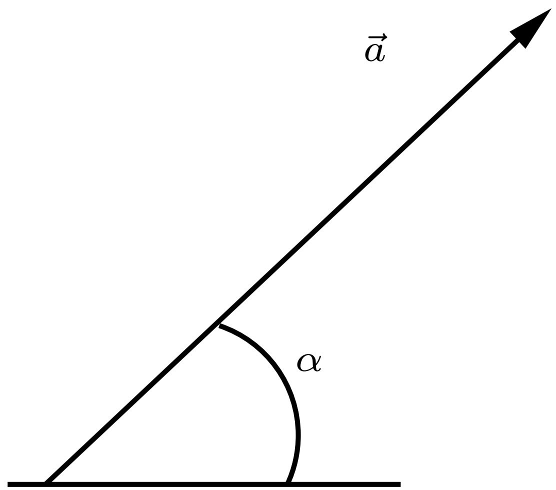
“Ideales” Pendel und die Bestimmung von g II

$$\frac{\partial g}{\partial l} = \frac{4\pi^2}{T^2}$$

$$\frac{\partial g}{\partial T} = -2\frac{4\pi^2 l}{T^3}$$

$$\overline{\delta \overline{g}} = \sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{T^2}\right)^2 \delta \bar{l}^2 + 4\left(\frac{4\pi^2 l}{T^3}\right)^2 \delta \bar{T}^2}$$

Mathematische Hilfsmittel - Vektoren

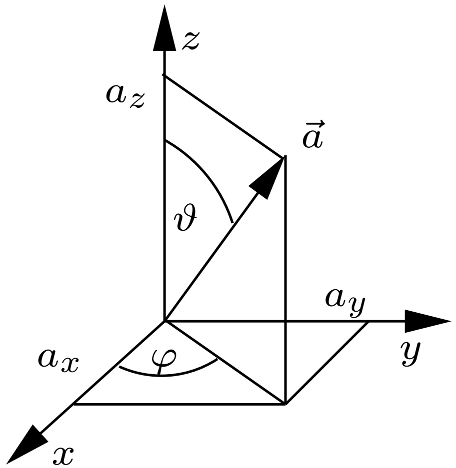


Ein Vektor $\vec{a}$ ist durch seine Länge (Betrag) $a = |\vec{a}|$ und (mindestens) einen Winkel α definiert. Für seine Darstellung ist ein Koordinatensystem erforderlich.

Beispiele für vektorielle Größen sind Geschwindigkeit, Ort, Impuls, Kraft, elektrisches Feld, Spin, etc.

Vektoren können addiert, subtrahiert und multipliziert werden.

Koordinatensysteme



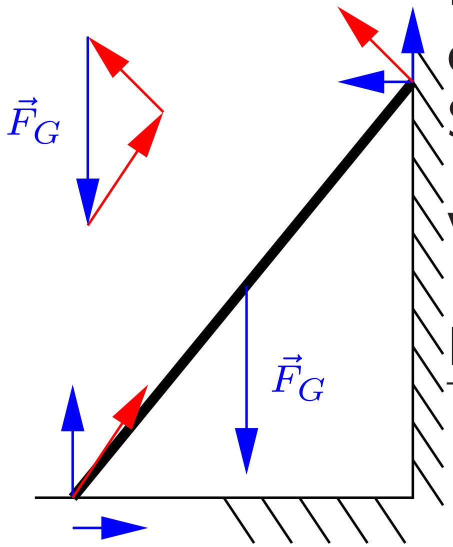
Das am Besten bekannte Koordinatensystem ist das kartesische (rechtwinklige), in welchem ein Vektor $\vec{a}$ durch seine Komponenten in x, y und z Richung gegeben ist,

$$\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$$

Manchmal ist es aber günstiger, sogenannte Kugelkoordinaten zu verwenden, etwa um die Bewegung auf einer Kugeloberfläche zu beschreiben. Das nutzt man z.B. in der Navigation aus, wo man ja geographische Länge und Breite angibt.

$$\vec{a} = |\vec{a}| \begin{pmatrix} \sin\vartheta\cos\varphi \\ \sin\vartheta\sin\varphi \\ \cos\vartheta \end{pmatrix}$$

Leiter an der Wand



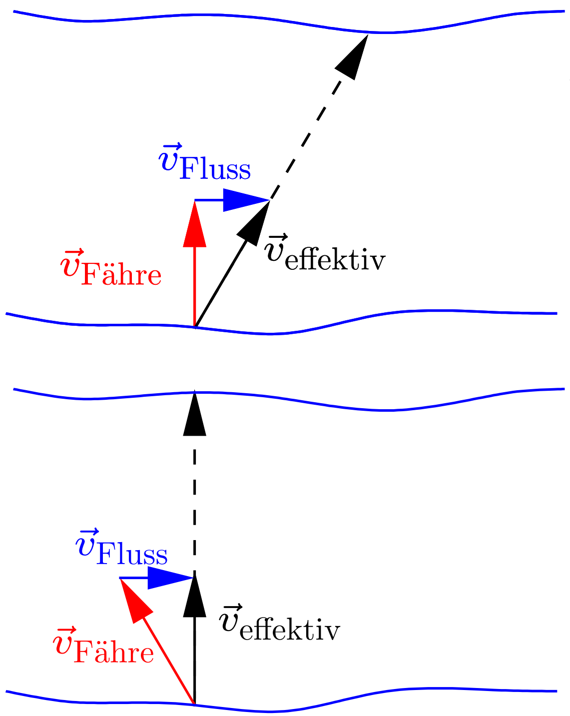
Ein Beispiel für die Vektorrechnung ist links gegeben. Eine an der Wand lehnende Leiter kann nur in Ruhe bleiben, wenn die Summe der angreifende Kräfte (Vektoren) verschwindet[1].

Vektoren lassen sich addieren (oder auch zerlegen).

Frage: Was passiert, wenn noch eine Person nach oben steigt?

[1]Dabei muss auch die Summe der angreifenden Drehmomente verschwinden - sonst dreht sich die Leiter!

Fähre über den Fluss



Will eine Fähre über den Fluss setzen, muss sie ein wenig gegen die Strömung fahren, damit ihr Weg gerade über den Fluss verläuft. Die Geschwindigkeit der Fähre und des Flusses addieren sich vektoriell.