

Kontakt:

Prof. Dr. Michael Düren

Tel: 9933221

[Michael.Dueren@uni-giessen.de](mailto:Michael.Dueren@uni-giessen.de)

[www.physik.uni-giessen.de/dueren](http://www.physik.uni-giessen.de/dueren)



Zur Erinnerung:

Die Vorlesung beginnt  
um 14:00 s.t.

# Physikalische Größen und Einheiten

- \* Beobachtung und Experiment
  - \* Physikalische Begriffe
  - \* Physikalische Größen (messbar)
- \* Gesetzmäßigkeiten

Jede **physikalische Größe** lässt sich als ein Produkt aus einer (Maß-)zahl und einer Einheit angeben:  
**Größenwert = Zahlenwert \* Einheit**

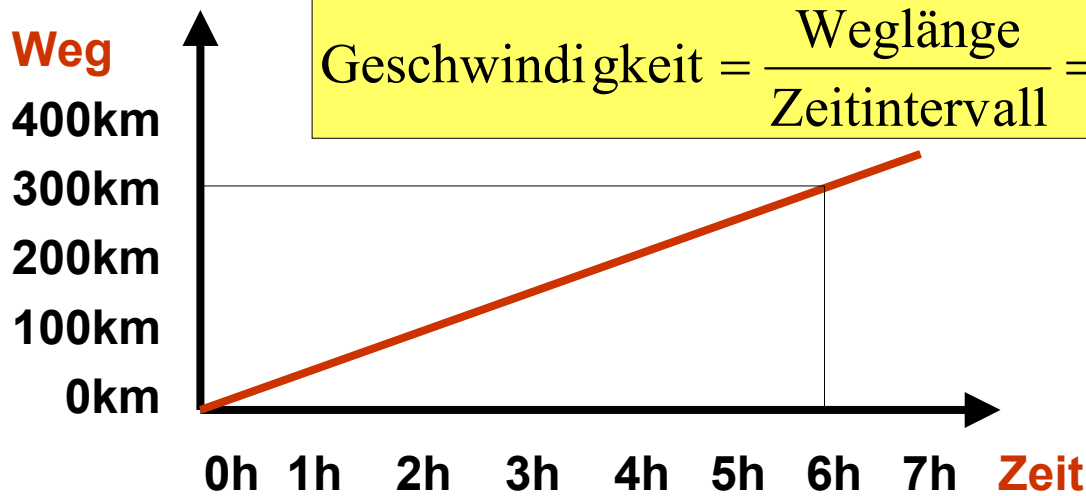
- \* Nicht: „Dauert viel zu lange“
- \* Sondern: „Zeit = 60 Minuten“  
„t = 60 min“

---

<b>Basisgrößen</b>	<b>Symbole</b>	<b>Basiseinheiten (Zeichen)</b>
Länge	<i>l</i>	Meter (m)
Masse	<i>m</i>	Kilogramm (kg)
Zeit	<i>t</i>	Sekunde (s)
elektr. Stromstärke	<i>I</i>	Ampere (A)
Temperatur	<i>T</i>	Kelvin (K)
Lichtstärke	<i>I</i>	Candela (cd)
Stoffmenge	<i>n</i>	Mol (mol)

---

# Abgeleitete Größen und Einheiten



$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weglänge}}{\text{Zeitintervall}} = \frac{300 \text{ km}}{6 \text{ h}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

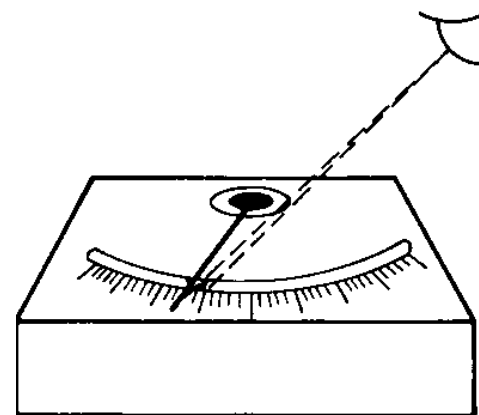
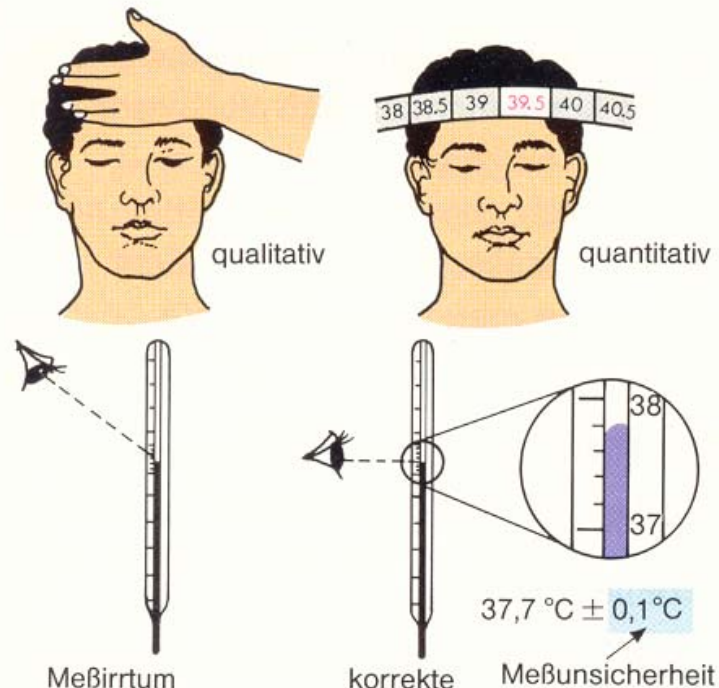
$$= \frac{50000 \text{ m}}{60 \cdot 60 \text{ s}} = 13,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Abgeleitete Größe	Empfohlenes Symbol	Dimension	Abgeleitete Einheiten
Fläche	$A$	Länge · Länge = $l^2$	$\text{m}^2$
Volumen	$V$	Länge · Länge · Länge = $l^3$	$\text{m}^3$
ebener Winkel	$\varphi$	$\frac{\text{Länge des Kreisbogens}}{\text{Länge des Radius}}$	einheitenlos
Geschwindigkeit	$v$	Länge/Zeit	$\text{m/s}$
Dichte	$\rho$	Masse/Volumen = $m/l^3$	$\text{kg/m}^3$

# Messungen und Messfehler

## Messunsicherheit

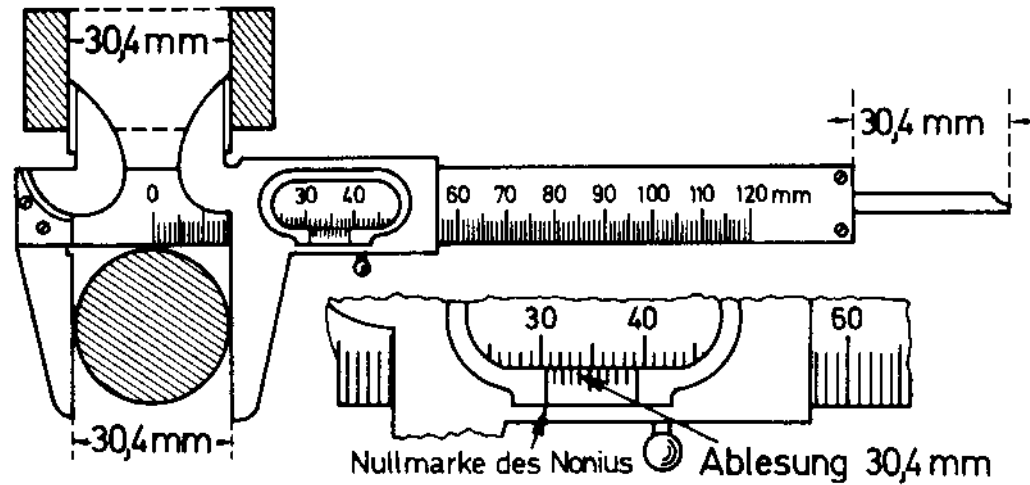
- \* **Systematische Fehler**  
(z.B. Fieberthermometer zeigt immer 0.2 Grad zu viel an)
- \* Zufällige Fehler,  
**statistische Fehler**  
(3 mal gemessen, 3 mal was anderes herausbekommen)



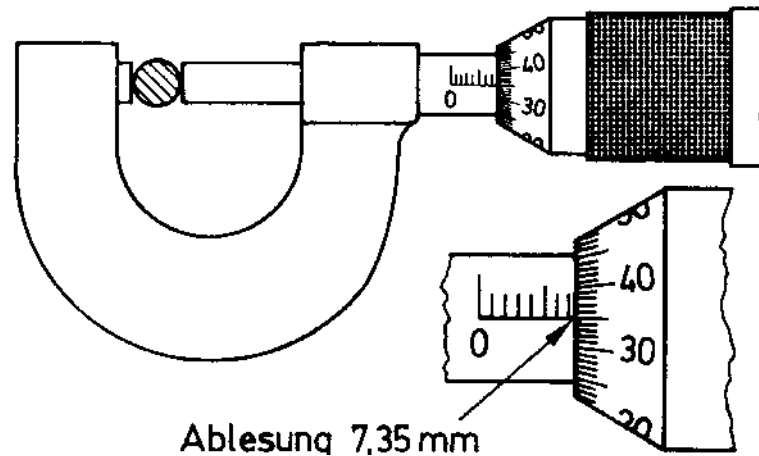
Spiegelskala

# Beispiel: Längenmessung

- \* Schublehre, Nonius



- \* Feinmessschraube



# Messungen und Messfehler

## Messunsicherheit

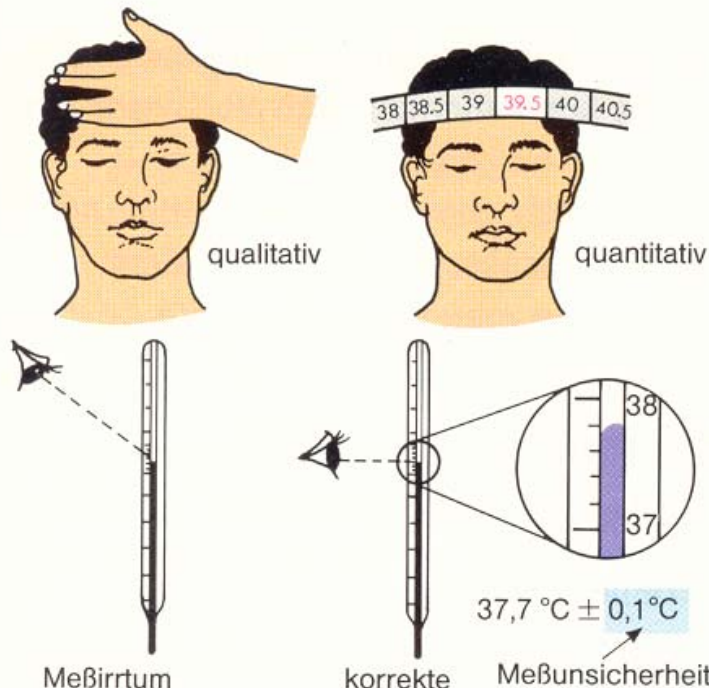
- \* **Systematische Fehler**  
(z.B. Fieberthermometer zeigt immer 0.2 Grad zu viel an)
- \* Zufällige Fehler,  
**statistische Fehler**  
(3 mal gemessen, 3 mal was anderes herausbekommen)

- \* **absoluter Fehler**

$$s = 5.0 \text{ km} \pm 200 \text{ m} = (5.0 \pm 0.2) \text{ km}$$

- \* **relativer Fehler**

$$s = 5.0 \text{ km} \pm 200 \text{ m} = 5.0 \text{ km} \left( \pm \frac{0.2}{5} \right) \\ = 5.0 \text{ km} \pm 4\%$$



# Fehlerrechnung, Fehlerfortpflanzung:

- \* Bei Addition und Subtraktion addieren sich deren **absolute** Unsicherheiten

$$s_1 = (16.0 \pm 0.3) \text{ km}; \quad s_2 = (6.0 \pm 0.7) \text{ km};$$
$$s = s_1 - s_2 = (10.0 \pm 1.0) \text{ km} = 10 \text{ km } (\pm 10\%)$$

absoluter Fehler

relativer Fehler

- \* Bei Multiplikation und Division von Messgrößen addieren sich deren **relative** Unsicherheiten

$$s = 10 \text{ km } (\pm 10\%); \quad t = 2 \text{ h } (\pm 5\%)$$
$$v = \frac{s}{t} = \frac{10 \text{ km } (\pm 10\%)}{2 \text{ h } (\pm 5\%)} = 5 \frac{\text{km}}{\text{h}} (\pm (10\% + 5\%))$$
$$= 5 \frac{\text{km}}{\text{h}} (\pm 15\%) = (5 \pm 0.75) \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Check: Extremwerte:

$$\left. \begin{array}{l} 16.3 - 5.3 = 11.0 \\ 15.7 - 6.7 = 9.0 \end{array} \right\} = 10.0 \pm 1.0$$

$$\frac{1.0 \text{ km}}{10.0 \text{ km}} = \frac{10}{100} = 10\%$$

Check: Extremwerte:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{11.0}{1.9} = 5.79 \\ \frac{9.0}{2.1} = 4.29 \end{array} \right\} \approx 5.0 \pm 0.75$$

$$\frac{0.75}{5} = \frac{15}{100} = 15\%$$

# Fehlerrechnung, Fehlerfortpflanzung:

- \* Wie sieht es beim Potenzieren aus? Welche Ungenauigkeit hat das Volumen eines Würfels dessen Kantenlängen auf 5% genau bekannt sind?

$$V = l^3$$

$$V = l \cdot l \cdot l$$

$$l = 10 \text{ cm } (\pm 5\%)$$

$$V = 1000 \text{ cm}^3 (\pm(5 + 5 + 5)\%)$$

relativer Fehler verdreifacht

- \* Bei Multiplikation und Division von Messgrößen addieren sich deren **relative** Unsicherheiten

$$s = 10 \text{ km } (\pm 10\%); \quad t = 2 \text{ h } (\pm 5\%)$$

$$v = \frac{s}{t} = \frac{10 \text{ km } (\pm 10\%)}{2 \text{ h } (\pm 5\%)} = 5 \frac{\text{km}}{\text{h}} (\pm(10\% + 5\%))$$

$$= 5 \frac{\text{km}}{\text{h}} (\pm 15\%) = (5 \pm 0.75) \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

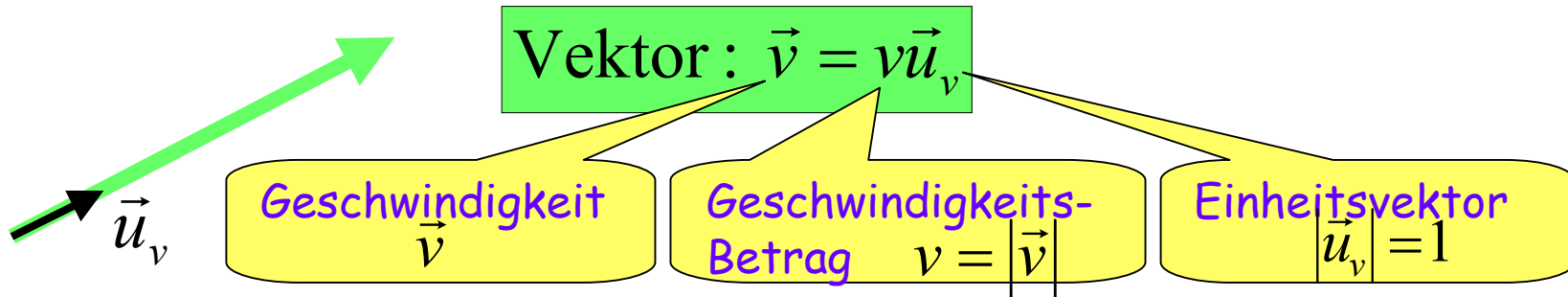
Check: Extremwerte:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{11.0}{1.9} = 5.79 \\ \frac{9.0}{2.1} = 4.29 \end{array} \right\} \approx 5.0 \pm 0.75$$

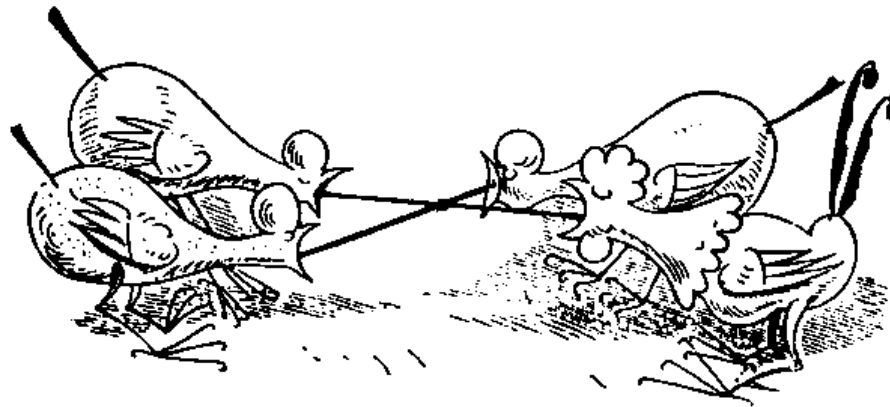
$$\frac{0.75}{5} = \frac{15}{100} = 15\%$$

# Skalare und vektorielle Größen

- \* Skalare Größe = Zahl \* Einheit  
(Masse, Temperatur, Energie, Leistung,...)
- \* Vektorielle Größe = Zahl \* Einheit und **Richtungsangabe**  
(Geschwindigkeit, Kraft, Beschleunigung, magnet. Feldstärke, ...)



Beispiel:  
Kräfte sind Vektoren



Aber als sie sich besinnen,  
Konnte keines recht von hinnen

# Rechnen mit Vektoren

## Vektoraddition

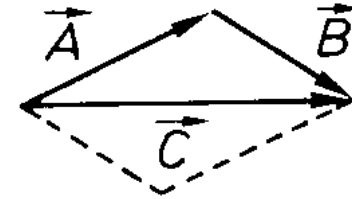
graphische Darstellung



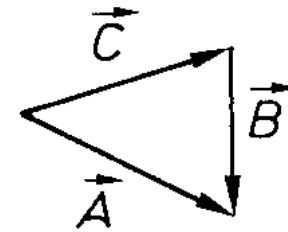
Plantarflexion

M.gastrocnemius

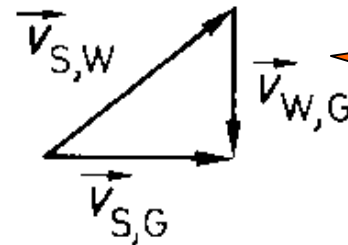
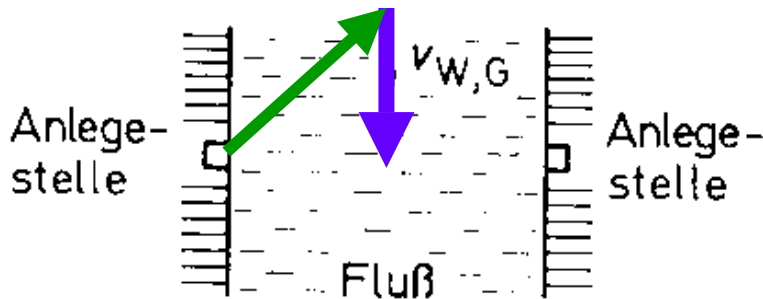
$$\vec{A} + \vec{B} = \vec{C}$$



$$\vec{A} - \vec{B} = \vec{C}$$



## Beispiel: Boot im Fluss

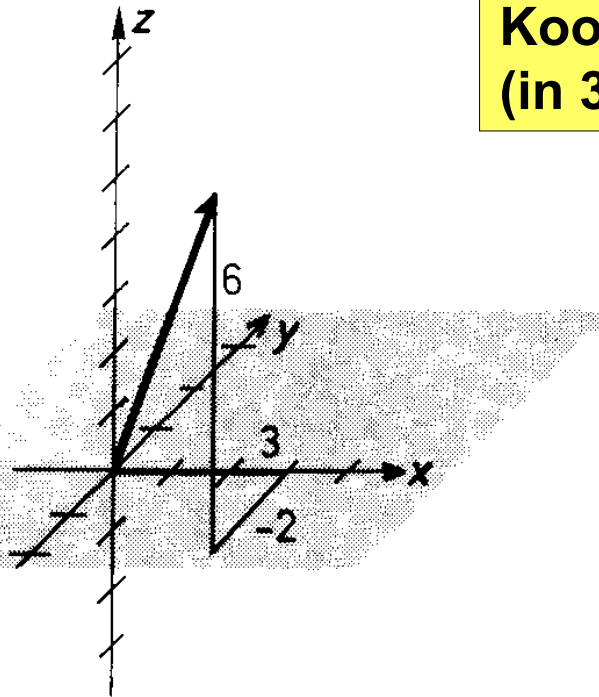


Überlagerung von Bewegungen



# Rechnen mit Vektoren

$$\text{Vektor: } \vec{v} = v\vec{u}_v$$



Koordinatendarstellung  
(in 3 Dimensionen)

$$\vec{x} = 3\vec{e}_x - 2\vec{e}_y + 6\vec{e}_z$$

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 6 \end{pmatrix}$$

## Multiplikation eines Vektors mit einem Skalar

### Beispiele:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$\vec{F}$  Kraft

$m$  Masse

$\vec{a}$  Beschleunigung

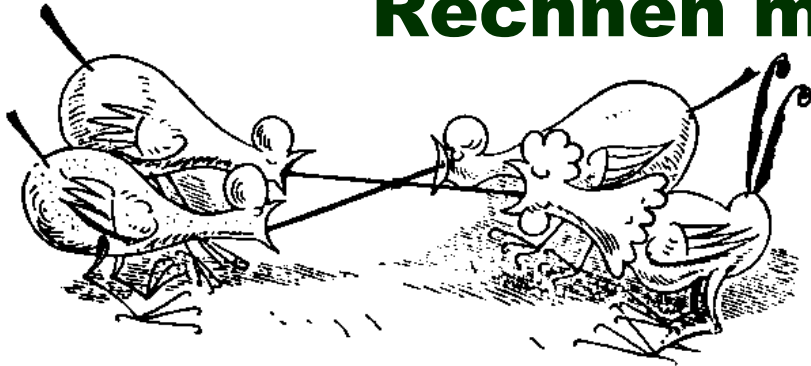
$$\vec{F} = e\vec{E}$$

$\vec{F}$  Kraft

$e$  elektrische Ladung

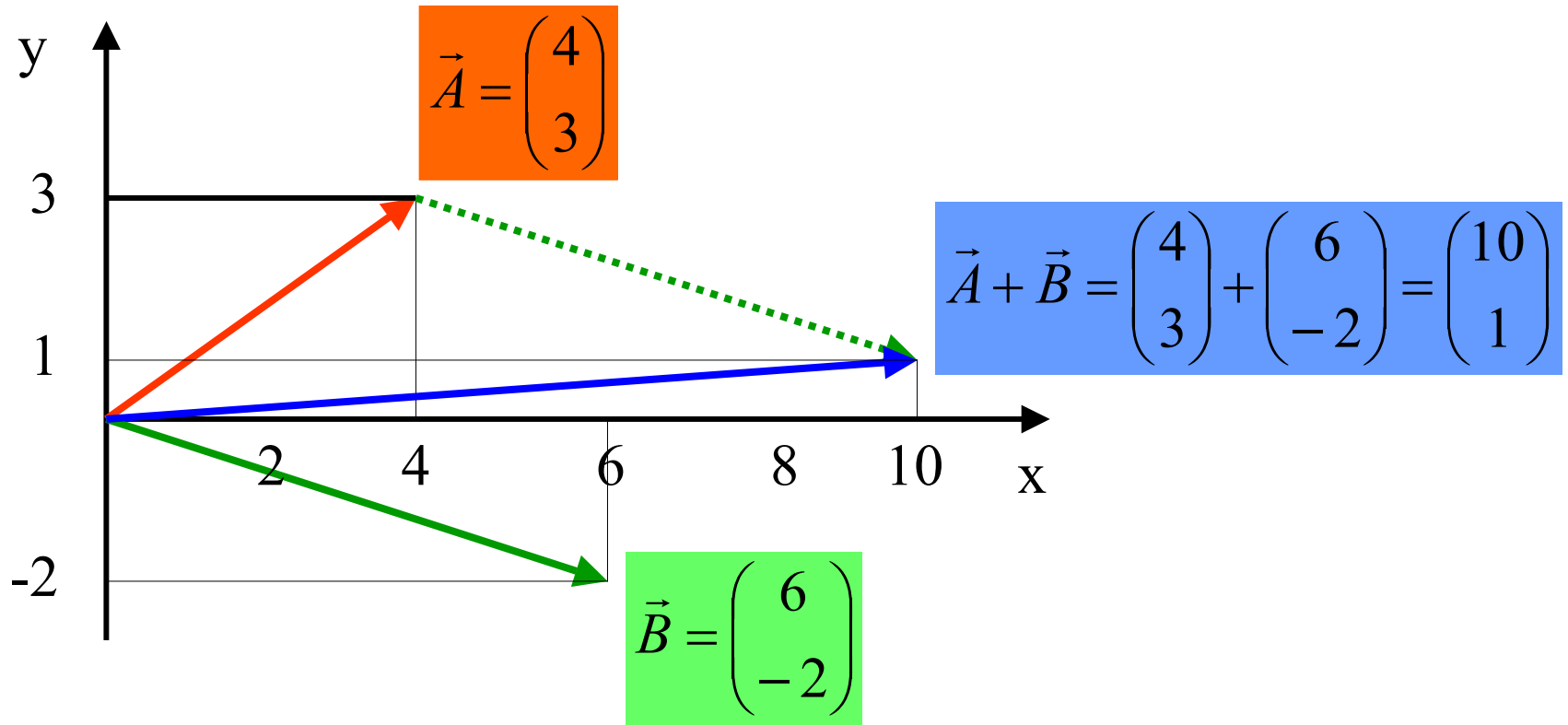
$\vec{E}$  elektrische Feldstärke

# Rechnen mit Vektoren



Aber als sie sich besinnen,  
Konnte keines recht von hinnen

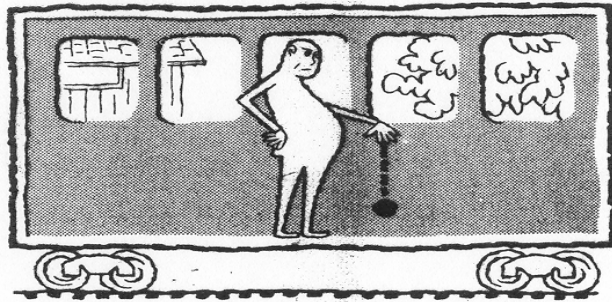
## Vektoraddition in Koordinatendarstellung



# Mechanik

## Bewegungslehre (Kinematik)

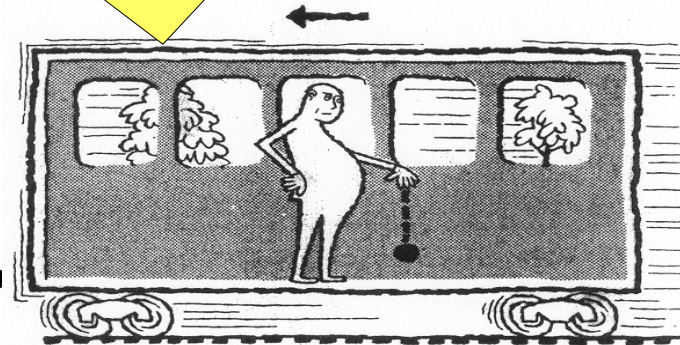
### \* Bezugssystem



(a)

Naturgesetze sind  
in jedem  
Bezugssystem  
gleich!  
„Relativitätsprinzip“

Ich sitze im Zug und der  
Baum fährt an mir vorbei...



(b)

Rätsel: Was ist das?



Bewegung einer Fahrradpedale aus zwei verschiedenen  
Bezugssystemen: Strasse und Fahrrad („ruhend“ und „mitbewegt“)  
Bewegung = Kombination aus Rotation und Translation

# Mechanik

## Bewegungslehre (Kinematik)

- \* Bewegung eines Massenpunktes in Raum und Zeit

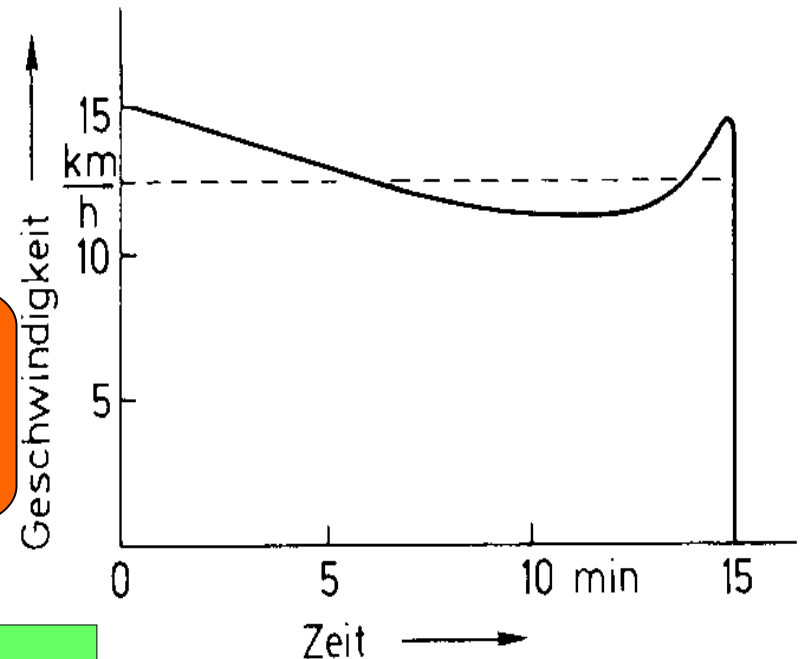
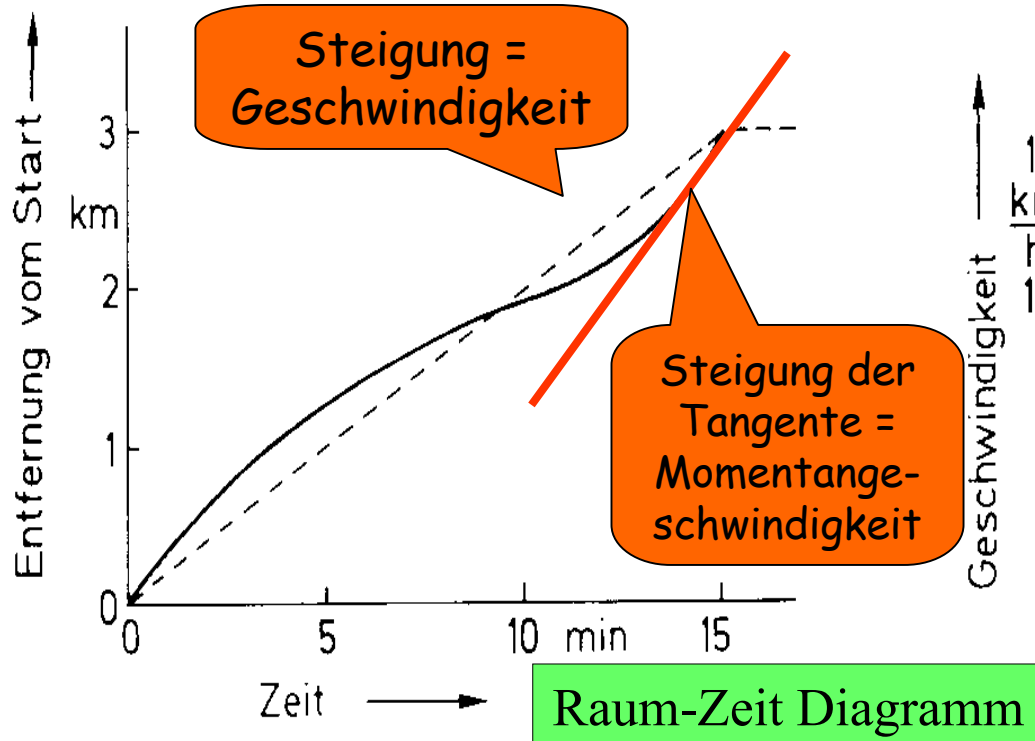
mittlere Geschwindigkeit =  $\frac{\text{Gesamtstrecke } \Delta s}{\text{Gesamtzeit } \Delta t}$

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

momentane Geschwindigkeit

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta t \rightarrow 0} \frac{ds}{dt} = v$$

"Differentialrechnung"



# Differentialrechnung

$y$  ist Funktion von  $x$ :  $y = f(x)$

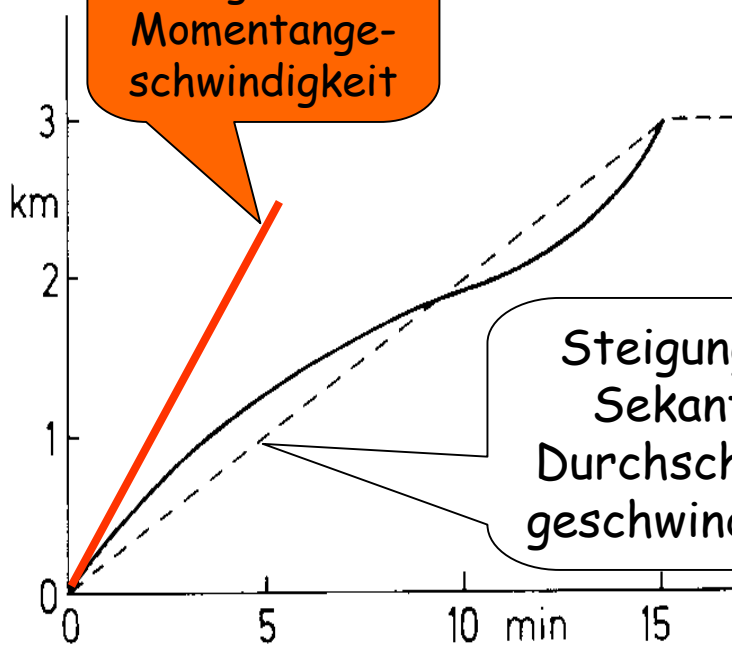
Steigung der Sekante

Differenzenquotient:  $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$

Ableitung der Funktion  $f(x)$   
(Steigung der Tangente)

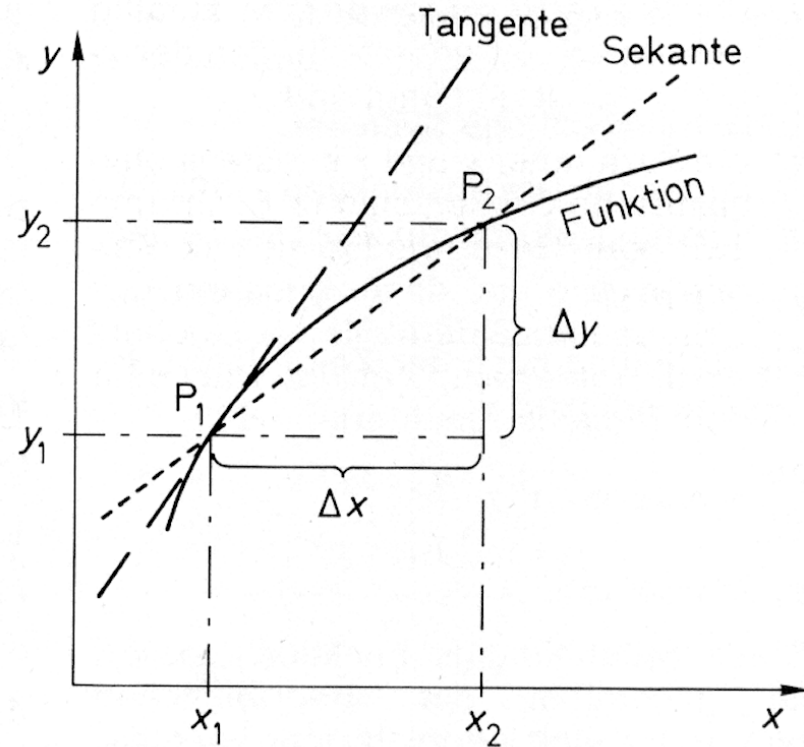
Differentialquotient:  $\frac{\Delta y}{\Delta x} \xrightarrow{\Delta x \rightarrow 0} \frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx} f(x) = f'(x) = y'$

Entfernung vom Start  $\rightarrow$



Zeit  $\rightarrow$

Physik



Mathematik

# Differentialrechnung

## Allgemeine Regeln der Differentialrechnung (ausgewählte)

---

aus

ergibt die  
Differentiation

---

$$y = \text{const}$$

$$y' = 0$$

$$y = k \cdot f(x)$$

$$y' = k \cdot f'(x)$$

$$y = f(x) \pm g(x)$$

$$y' = f'(x) \pm g'(x)$$

(Summenregel)

$$y = f(x) \cdot g(x)$$

$$y' = f'(x) \cdot g(x) + f(x) \cdot g'(x)$$

(Produktregel)

---

# Einfache Ableitungen

Funktion	Ableitung	2. Ableitung
$y = c$	$y' = 0$	$y'' = 0$
$y = c \cdot x$	$y' = c$	$y'' = 0$
$y = c \cdot x^2$	$y' = 2cx$	$y'' = 2c$
$y = c \cdot x^3 + b \cdot x$	$y' = 3cx^2 + b$	$y'' = 2 \cdot 3cx$
$y = c \cdot x^n$	$y' = ncx^{n-1}$	$y'' = n(n-1)cx^{n-2}$

Mathematik

Bewe-  
gungs-  
-los

Ort	Geschwindigkeit	Beschleunigung
$s = c$	$s' = v = 0$	$s'' = v' = a = 0$
$s = c \cdot t$	$v = c$	$v' = a = 0$
$s = \frac{1}{2} c \cdot t^2$	$v = ct$	$v' = a = c$

Physik

Parabel

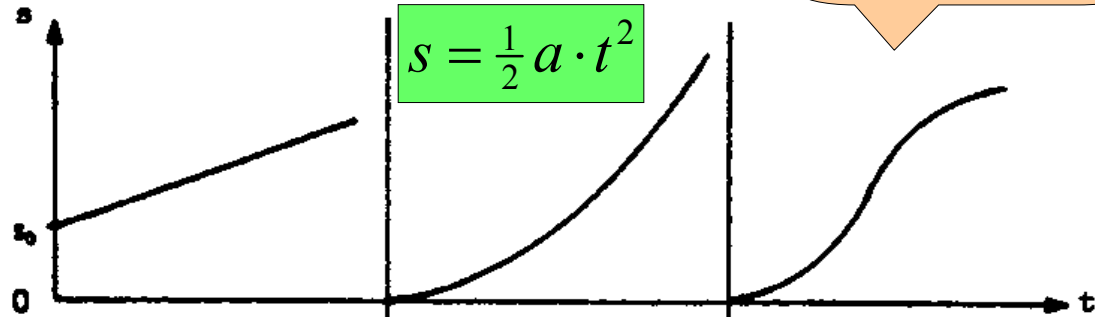
Gleichförmige  
Bewegung

Konstante  
Beschleunigung

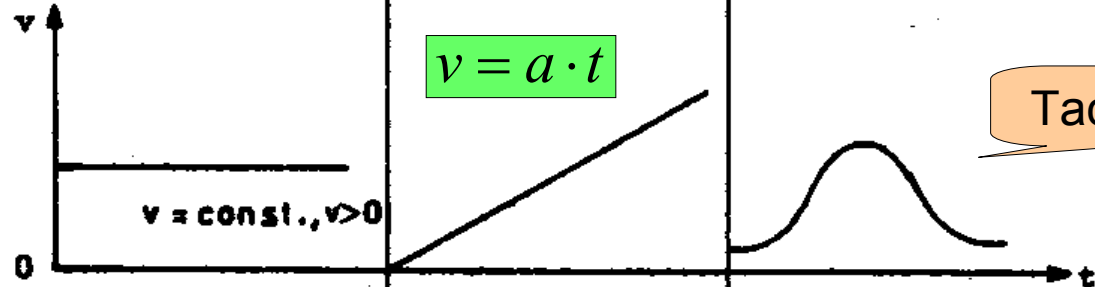


# Vom Weg zu Geschwindigkeit und Beschleunigung

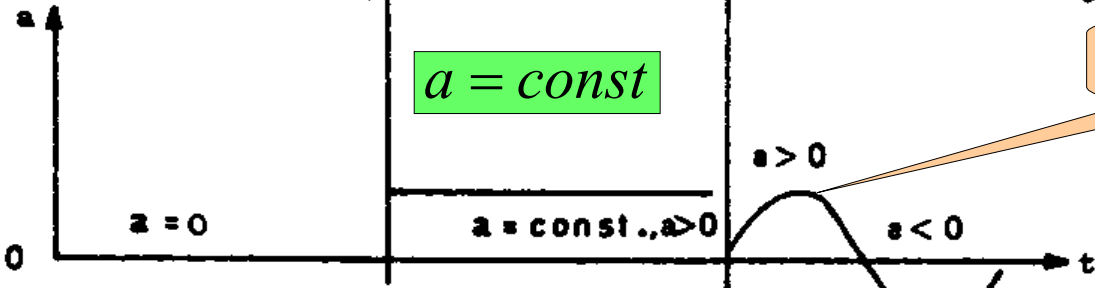
Weg-Zeit-Diagramm



Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm



Beschleunigung-Zeit-Diagramm



km-Zähler

Differentialquotient  
↓  
Integral  
↑

Tachometer

Gas geben

Bremsen

gleichförmige Bewegung

gleichförmig beschleunigte Bewegung

ungleichförmig beschleunigte Bewegung