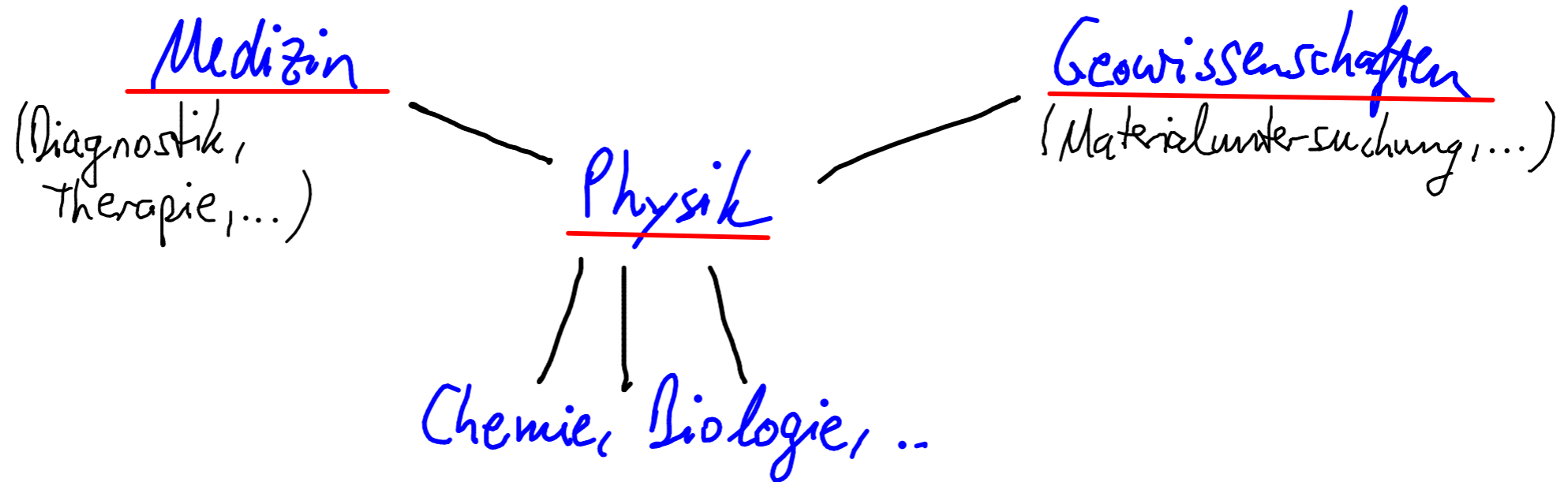


EP Experimentalphysik für Tiermediziner und Geowissenschaftler

1) Einführung

- Ziel der Physik: quantitative Beschreibung der Natur
- Empirische & exakte Wissenschaft: Experiment \leftrightarrow Theorie
⇒ enorm erfolgreiches Konzept

- Experimente:
 - + reproduzierbar
 - + quantitativ
 - + genau

- objektivierbarer Messvorgang: Vergleich mit Referenzmaß

$$\Rightarrow \boxed{\text{Physikalische (Mess-)Größe} = (\text{Zahl} \pm \text{Unsicherheit}) \cdot \text{Einheit}}$$

NB: Zahl ohne Einheit hat keine physikalische Aussagekraft
(vgl.: Geldbetrag ohne Währungsangabe)

Intermezzo: Andere Maßsysteme

- ▶ historisches: Apothekergewicht (1858)
 (1 Pfund = 12 Unzen = 373.2 g; 1 Unze = 8 Drachmen;
 1 Drachme (engl.: dram) = 3 Skrupel; 1 Skrupel = 20 Gran
 1 Gran (engl.: grain) \approx 64.799 mg)

- ▶ angloamerikanisch:

1 Zoll (engl.: inch)	$\hat{=}$	2.54 cm
1 Fuß (engl.: foot) = 12 inch	$\hat{=}$	30.48 cm
1 Meile = 5280 feet	$\hat{=}$	1.609 km
1 Seemeile = 6080 feet	$\hat{=}$	1.853 km

engl. Gewichte Handelsgewicht Avoirdupois (avdp)	1 pound (Pfund) = 7000 grain	$\hat{=}$	453.592 g
	1 ounce (Unze) = $\frac{1}{16}$ Pfund	$\hat{=}$	28.3495 g
	1 dram (Drachme) = $\frac{1}{16}$ Unze	$\hat{=}$	1.7718 g
	1 grain (Gran)	$\hat{=}$	64.799 mg
	1 psi (Pound per square inch)	$\hat{=}$	689.476 hPa $\hat{=}$ 0.689... bar

1.1 Basisgrößen, Basiseinheiten (SI-System)

Größe	(übl. Symbol)	Namen	Abkürzung
Längen	(x, s, l)	Meter	m
Zeit	(t)	Sekunde	s
Masse	(m)	Kilogramm	kg
elektr. Stromstärke	(I)	Ampère	A
Lichtstärke	(I, J)	Candela	cd
Temperatur	(T)	Kelvin	K
Stoffmenge	(n)	Mol	mol

1.2 Abgeleitete Größen

Volumen (V)
Geschwindigkeit (v)

NB: Messvorschrift

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \hat{=} \text{mittlere Geschwindigkeit}$$

Kubikmeter m^3
Meter pro Sekunde m/s

Energie	(E)	Joule	$J = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
auch zulässig / gebräuchlich / historisch:			
Volumen		Liter	l
Temperatur		Grad Celsius	$^{\circ}\text{C}$
Druck	(p)	Torr/mm-Quecksilber-säule	Torr/mmHg
		Bar	bar

1.3 Dezimalvorsätze

Vorsatz/Präfix	Wert	Abk.	Vorsatz/Präfix	Wert	Abk.
Dezi	$10^{-1} = 0.1$	d	Deka	$10^1 = 10$	da
Centi	$10^{-2} = 0.01$	c	Hekto	$10^2 = 100$	h
Milli	$10^{-3} = 0.001$	m	Kilo	$10^3 = 1000$	k
Mikro	10^{-6}	μ	Mega	10^6	M
Nano	10^{-9}	n	Giga	10^9	G
Pico	10^{-12}	p	Tera	10^{12}	T
Femto	10^{-15}	f	Peta	10^{15}	P
			Exa	10^{18}	E

1.4 Messunsicherheiten, Messfehler

- Keine Messung ohne Unsicherheit
 → Messzahlen ohne Fehlerangabe bedeutungslos
- Messfehler ...
 - ▶ ... quantifizieren Unsicherheit eine Messung (Zahl ± Unsicherheit) · Einheit
 - ▶ innerhalb Messfehlers Übereinstimmung des wahren Werts mit Messzahl

4.3 µg	←————→	(5 ± 1) µg
4.3 µg	←————→	(5.0 ± 0.1) µg
- Arten von Messunsicherheiten
 - ▶ Statistische Unsicherheit, zufällige Fehler
 - Ablesungenauigkeit (z.B. bei Längenmessung mit Lineal)
 - unkontrollierbare Störungen
 - Zufälligkeit des untersuchten Ereignisses
 - reduzierbar durch mehrfache Wiederholung der Messung

▶ Systematische Fehler

- Eichung des Messapparatur (z.B. Genauigkeit der Millimeterteilung am Lineal)
- Durchführung der Messung (z.B. Auswahl der Messprobe, ... der Probanden, Zeitpunkt der Messung)
- nur zum Teil reduzierbar durch Abänderung/Verbesserung des Versuchsaufbaus

NB: systematische Fehler können durch so genannten Bias (= Voreingenommenheit, Befangenheit) entstehen

2 Mechanik

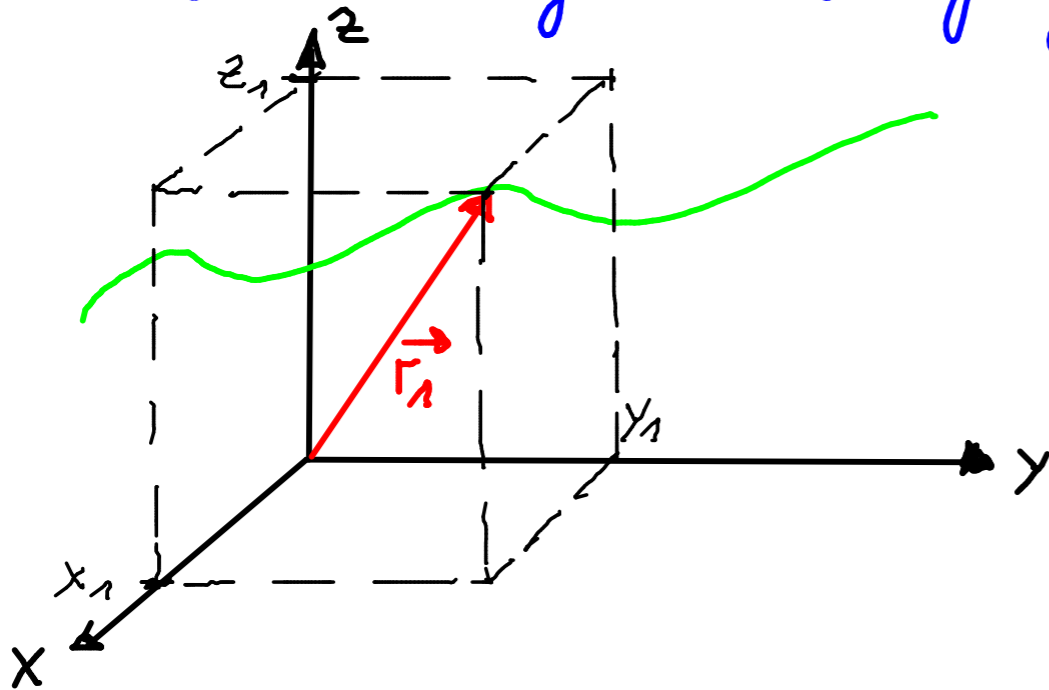
▶ Kinematik: Bewegung ohne Kräfte

▶ Dynamik: — " — mit — " —

● Massenpunkt

↳ Bewegung: Translation, Drehbewegung

● Beschreibung der Bewegung



$$\vec{r}_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \text{ zum Zeitpunkt } t_1$$

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix}$$

- Einschub: Koordinatensysteme

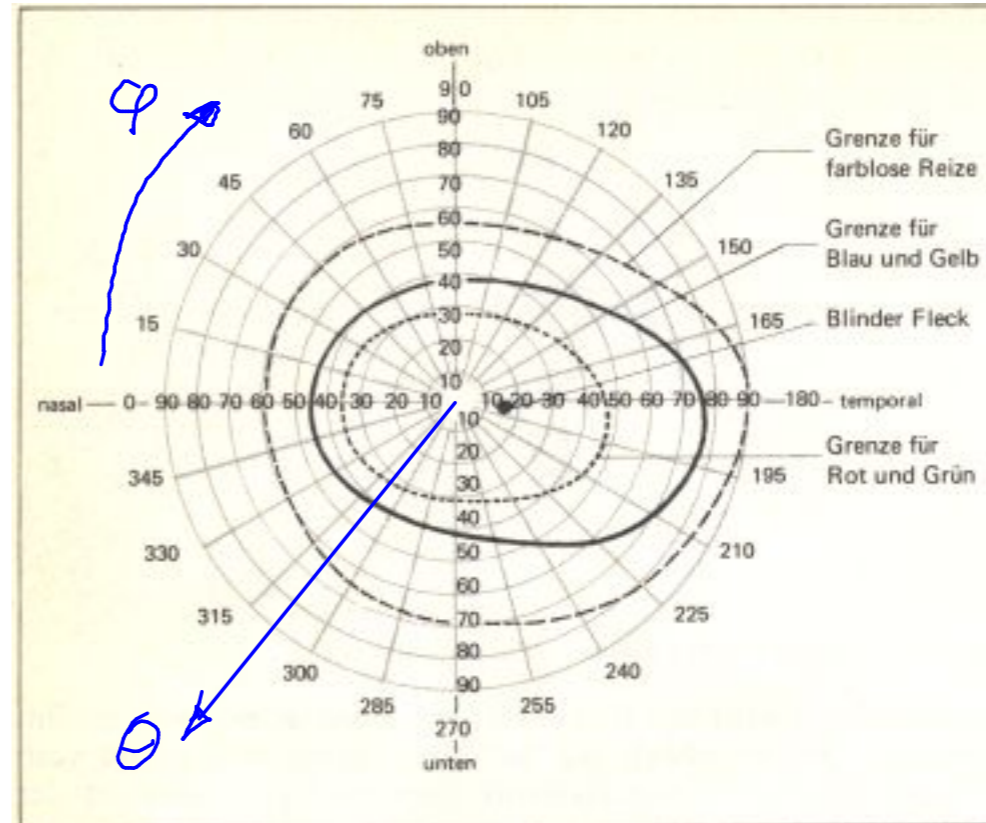


Abb. 1.11 Das Gesichtsfeld des rechten Auges.

Kugelkoordinaten:

Längengrade φ : $-180^\circ \dots +180^\circ$
 östlich \uparrow westlich \uparrow

Breitgrade θ : $-90^\circ \dots +90^\circ$
 südlich \uparrow nördlich \uparrow

Kugelkoordinaten: $\varphi = 0 \dots 360^\circ$
 $\theta = 0 \dots 90^\circ$

Mathematik: Umrechnung zwischen Koordinatensystemen

1-dimensionale Bewegung

Arten der Bewegung:

▶ **ruhend** ($v=0$)

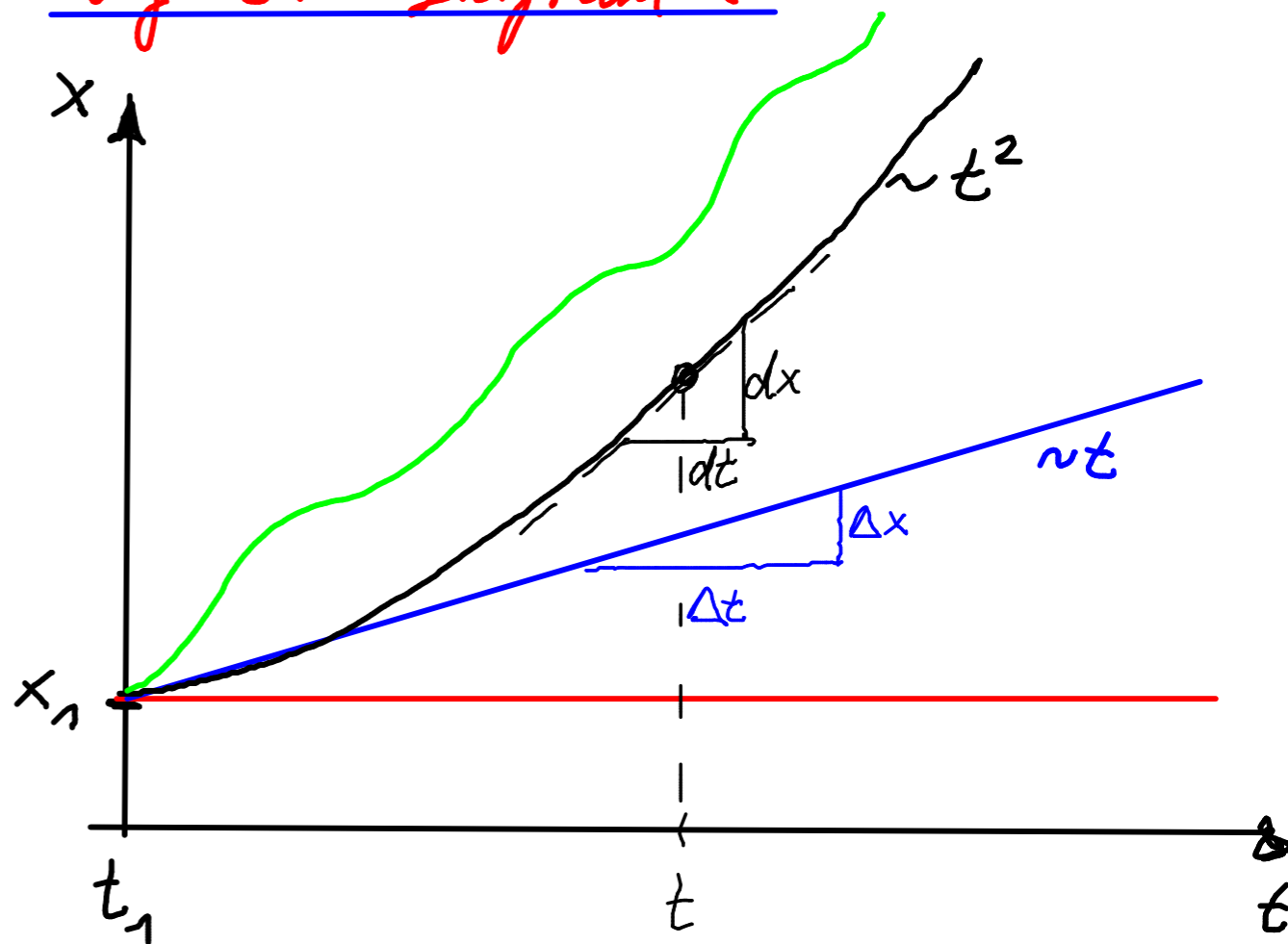
▶ **gleichförmig geradlinig**
($v = \text{const.}$)

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

▶ **gleichförmig beschleunigt**
 $v = \text{Steigung der Tangente}$ ($a = \text{const.}$)

▶ **ungleichförmig**

Weg-Zeit-Diagramm



•
$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{zurückgelegter Weg}}{\text{benötigte Zeit}}$$

$$v := \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1}$$

(NB: $x(t_2)$ bezeichnet den Ort x des Massenpunktes zum Zeitpunkt t_2
 x_2 ist eine Kurznotation für $x(t_2)$)

Beispiel: 1) Gewehrkugel durch zwei rotierende Scheiben:

Treffer bei Winkel: $\varphi_1 = 173^\circ, \varphi_2 = 185^\circ \rightarrow \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 12^\circ$
 $25 \text{ Umdrehungen/s} = 25 \cdot 360^\circ/\text{s} = 9000^\circ/\text{s}$

$$\Rightarrow \frac{\Delta\varphi}{9000^\circ/\text{s}} = \frac{12^\circ}{9000^\circ/\text{s}} \approx 1.33 \cdot 10^{-3} \text{ s} \approx \Delta t$$

Abstand zwischen Scheiben: $0.5 \text{ m} = \Delta x$

$$\Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0.5 \text{ m}}{1.33 \cdot 10^{-3} \text{ s}} \approx 375 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Beispiel 2) Lichtgeschwindigkeit

$$\Delta x = 2 \cdot 13.439 \text{ m} = 26.878 \text{ m}$$

$$\Delta t = 89.6 \text{ ns}$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{26.878 \text{ m}}{89.6 \cdot 10^{-9} \text{ s}} \approx 299977 \cdot 10^3 \text{ m/s} = 299977 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

(Lit.: $299793 \frac{\text{km}}{\text{s}}$)

Durchschnittsgeschwindigkeit

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \hat{=} \quad \bar{v}$$

(Momentan-) Geschwindigkeit

$$v(t) = \frac{dx}{dt} \quad \hat{=} \quad \dot{x}(t)$$

Differentialquotient \uparrow bzw. Ableitung
 ($\hat{=}$ Steigung der Tangente an Kurve im
 Weg-Zeit-Diagramm zum Zeitpunkt t)

(NB: Die Schreibweise " $\hat{=}$ " bzw. " $\hat{=}$ " ist eine Kurznotation für die Definition einer Größe durch einen Ausdruck, z.B. $\bar{v} \hat{=} \frac{\Delta x}{\Delta t}$ definiert \bar{v} als $\frac{\Delta x}{\Delta t}$)

• Beschleunigung = $\frac{\text{Geschwindigkeitsänderung}}{\text{benötigte Zeit}}$

$$a := \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{v(t_2) - v(t_1)}{t_2 - t_1}$$

(Momentan-) Beschleunigung $a(t) = \frac{dv}{dt} =: \dot{v}(t)$
 $= \frac{d^2x}{dt^2} =: \ddot{x}(t)$

• Bewegungsgesetze (1-dim):

▶ $a(t) = a = \text{const}$

▶ $v(t) = a \cdot t + v_0$

▶ $x(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + x_0$

Anfangsgeschwindigkeit

Anfangsort

bei Bewegungsbeginn