

# Grundlagen der medizinischen Biophysik

1. Vorlesung 09. 09. 2021

Ádám Orosz

## 1. Kurz über die naturwissenschaftliche Denkweise

- Warum lernen wir Physik?
- Erscheinungen und Forschung; Lernzyklus

## 2. Physikalische Größe und Einheit

- Definition
- Basisgrößen und Basiseinheiten
- Abgeleitete Größen und Einheiten
- Änderung einer Größe
- Skalar vs. Vektor
- Vorsätze und die wissenschaftliche Schreibweise

## 3. Wiederholung der mathematischen Grundlagen

- Rechenregeln
- geometrische Zusammenhänge
- Flächen- und Volumeneinheiten
- Winkelmessung
- Funktionen

1

„Des Anfängers Geist hat viele Möglichkeiten, der des Experten hat nur wenige.“ – Shunryu Suzuki

2

## Warum ist Physik Teil des Medizinstudiums?

### Die Gründe dafür:

1. Aufbau und Funktion des menschlichen Körpers und
2. die Methoden und Instrumente der medizinischen diagnostischen und therapeutischen Verfahren basieren auf den Naturwissenschaften. (φύσις = „Physis“ = Natur)
3. „Medizinisches Denken“: **Logisches, analytisches, systematisches** und **organisierendes** Denken. Ein wichtiges Merkmal: **ständiger Zweifel**.

### Ziele:

- I. Erwerb von Wissen und Fachkenntnisse
- II. Gute und schnelle Problemlösung und deren Methodologie
- III. Naturwissenschaftliche Betrachtungsweise, Einstellung

3

## Kurz über die naturwissenschaftliche Denkweise



4

# Physikalische Größen und Einheiten

**Genauere Begriffe und Definitionen sind erforderlich.**

„Strahlung“ ist z. B. keine physikalische Größe, daher können wir nicht von deren Abnahme oder Zunahme sprechen.

Eine physikalische Größe wird durch ihre Messvorschrift (Text oder Formel) definiert und mit einem (nicht festgelegten) Formelzeichen abgekürzt, z. B.:

Physikalische Größe	Formelzeichen	Maßeinheit
Länge	$l, L, h, r, d, \dots$	m, km, Meil, ...

Physikalische Größe = Zahlenwert  $\cdot$  Maßeinheit

Beispiel: Körperhöhe =  $170 \cdot \text{cm} = 170 \text{ cm}$   
 $h = 170 \text{ cm}$

Eine physikalische Einheit (Maßeinheit) ist eine festgelegte Größe, die als Vergleichsmaß zwischen physikalischen Größen gleicher Art dient. Sie wird mit einem festgelegten Formelzeichen abgekürzt, z. B. Meter (m).

Basisgrößen und Basiseinheiten

Abgeleitete Größen und abgeleitete Einheiten

5

## Abgeleitete Größen und Einheiten

Hergeleitet von den Basisgrößen und Basiseinheiten durch

- Text, z. B.

Messen Sie die Zeitdauer einer Schwingung einer Pendeluhr. Sie wird Periodendzeit ( $T$ ) genannt. Die Maßeinheit der Periodendzeit ist die Sekunde (s).

- Formel (Definitionsformel), z. B.

Die Frequenz ( $f$ ) ist der Kehrwert der Periodendzeit:  $f = \frac{1}{T}$   
 Die Maßeinheit der Frequenz ergibt sich aus der Definitionsformel:  
 $[f] = \frac{1}{s} = s^{-1} = \text{Hertz (Hz)}$

Bemerkung:

- Eine physikalische Größe hat oft mehrere (erlaubte oder nicht mehr erlaubte) Maßeinheiten, wie z. B.  
 Zeit: Sekunden (s), Minute (min), Stunde (h), ...  
 Frequenz: 1/s, 1/min, ...  
 Länge: Meter (m), Meil, Lichtjahr, ...  
 Druck: Pascal (Pa), Bar (bar), Atmosphäre (atm), mmHg, mmH<sub>2</sub>O, ...
- Bei Rechenaufgaben ist es am sichersten, wenn man die Daten in die Formeln in der SI-Einheit einsetzt. Wenn in der Aufgabenstellung nicht festgelegt wird, kann die Lösung in einer beliebigen Maßeinheit angegeben werden.

7

# Basisgrößen und Basiseinheiten

Willkürlich ausgewählte Größen und Einheiten, mit denen man alle andere Größen und Einheiten ausdrücken kann:

Internationales Einheitensystem (SI)

Basisgröße		SI-Basiseinheit	
Name	gewöhnliches, jedoch nicht obligatorisches Zeichen	Name	obligatorisches Zeichen
Länge	$l$	Meter	m
Masse	$m$	Kilogramm	kg
Zeit	$t$	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	$I$	Ampere	A
Thermodynamische Temperatur	$T$	Kelvin	K
Stoffmenge	$n$	Mol	mol
Lichtstärke	$I$	Candela	cd

Bemerkungen:

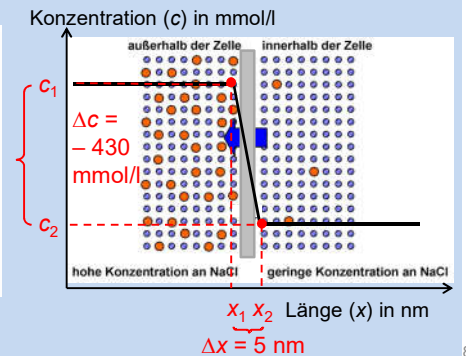
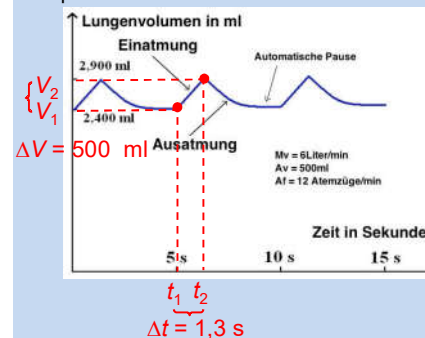
- „m“ steht für Masse, „m“ steht für Meter
- „I“ kann sowohl für el. Stromstärke als auch für Lichtstärke stehen

6

## Änderung einer Größe

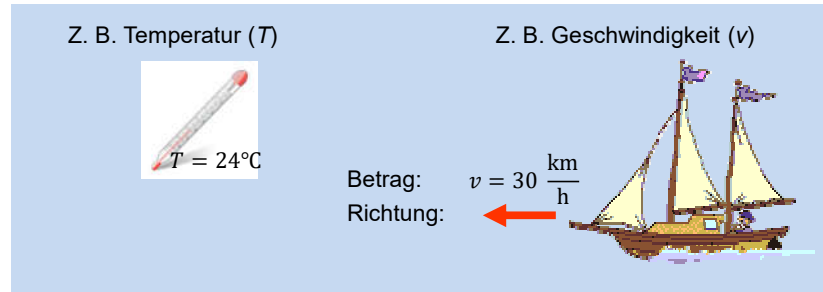
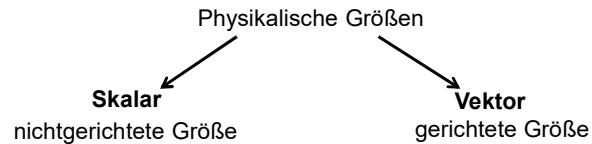
- In vielen Erscheinungen spielt nicht die Größe sondern ihre Änderung die bestimmende Rolle, z. B. bei der Diffusion oder bei der Atmung.
- Die Größenänderung wird in der Regel mit dem griechischen Buchstaben „Δ“ (Delta) abgekürzt, z. B.  $\Delta V$  (=Volumenänderung)  
 $\Delta c$  (=Konzentrationsänderung)  
 $\Delta v$  (=Geschwindigkeitsänderung)  
 $\Delta t$  (=Zeitänderung, d. h. eine Zeitspanne) ...
- Die Änderung wird immer so gebildet, dass von dem späteren Wert der frühere Wert abgezogen wird, z. B.  $\Delta T = T_2 - T_1$   
 $\Rightarrow$  Bei Größen**zunahme** ist die Änderung **positiv**, bei Größen**abnahme** ist sie **negativ**.

Beispiele:



8

## Skalar vs. Vektor



### Bemerkung:

- Die vektorielle Eigenschaft einer Größe wird im Grundkurs und auch im Biophysikkurs oft vereinfacht behandelt: Raum wird auf eine Achse reduziert (3D→1D). In diesem Fall gibt es nur 2 Richtungen: + oder –, die man willkürlich festlegen kann.

9

## Wissenschaftliche Schreibweise und Vorsätze

- Eine **kurze Schreibweise** ist bei sehr großen oder kleinen Werten oft nützlich, z.B. die Dicke einer Zellmembran ist  $\Delta x = 0,000\,000\,005\text{ m}$ .
- Dafür kann die **wissenschaftliche Schreibweise** dienen:  $0,000\,000\,005\text{ m} = 5 \cdot 10^{-9}\text{ m}$ .
- Alternativ können **Vorsätze** benutzt werden:  $0,000\,000\,005\text{ m} = 5 \cdot 10^{-9}\text{ m} = 5\text{ nm}$

Vorsatz	Zeichen	Faktor	Herkunft
Exa	E	$\times 10^{18} = \times 1000^6$	Gr. 6 (ἕξ = hex)
Peta	P	$\times 10^{15} = \times 1000^5$	Gr. 5 (πέντε = pente)
Tera	T	$\times 10^{12} = \times 1000^4$	Gr. 4 (τέτταρες = tettares), ursprünglich: Monstrum (τέρας = teras)
Giga	G	$\times 10^9 = \times 1000^3$	Gr. riesig (γίγας = gigas)
Mega	M	$\times 10^6 = \times 1000^2$	Gr. groß (μέγας = megas)
Kilo	k	$\times 10^3 = \times 1000^1$	Gr. 1000 (χίλιοι = khilioi)
Hekto	h	$\times 10^2$	Gr. 100 (ἑκατόν = hekaton)
Deka	da (dk)	$\times 10^1$	Gr. 10 (δέκα = deka)
Dezi	d	$\times 10^{-1}$	Lat. 10 (decem)
Zenti	c	$\times 10^{-2}$	Lat. 100 (centum)
Milli	m	$\times 10^{-3} = \times 1000^{-1}$	Lat. 1000 (mille, pl. milia)
Mikro	μ	$\times 10^{-6} = \times 1000^{-2}$	Gr. klein (μικρός = mikros)
Nano	n	$\times 10^{-9} = \times 1000^{-3}$	Gr. Zwerg (νᾶνος = nanos)
Piko	p	$\times 10^{-12} = \times 1000^{-4}$	Sp. klein, bißchen (pico)
Femto	f	$\times 10^{-15} = \times 1000^{-5}$	Dän. 15 (femten)
Atto	a	$\times 10^{-18} = \times 1000^{-6}$	Dän. 18 (atten)

10

- Schreiben Sie die folgenden Größen ohne Vorsatz in der wissenschaftlichen Schreibweise:

$2,4\text{ pN} = 2,4 \cdot 10^{-12}\text{ N}$   
 $0,4\text{ PJ} = 0,4 \cdot 10^{15}\text{ J} = 4 \cdot 10^{14}\text{ J}$   
 $500\text{ }\mu\text{m} = 500 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-4}\text{ m}$

- Schreiben Sie die folgenden Größen mit Vorsätzen so auf, damit die Werte mit den **wenigsten Ziffern** geschrieben werden:

$0,001\text{ m} = 1\text{ mm}$   
 $850 \cdot 10^5\text{ W} = 85\text{ MW}$   
 $0,24 \cdot 10^{-11}\text{ s} = 2,4\text{ ps}$

- Wandeln Sie um:

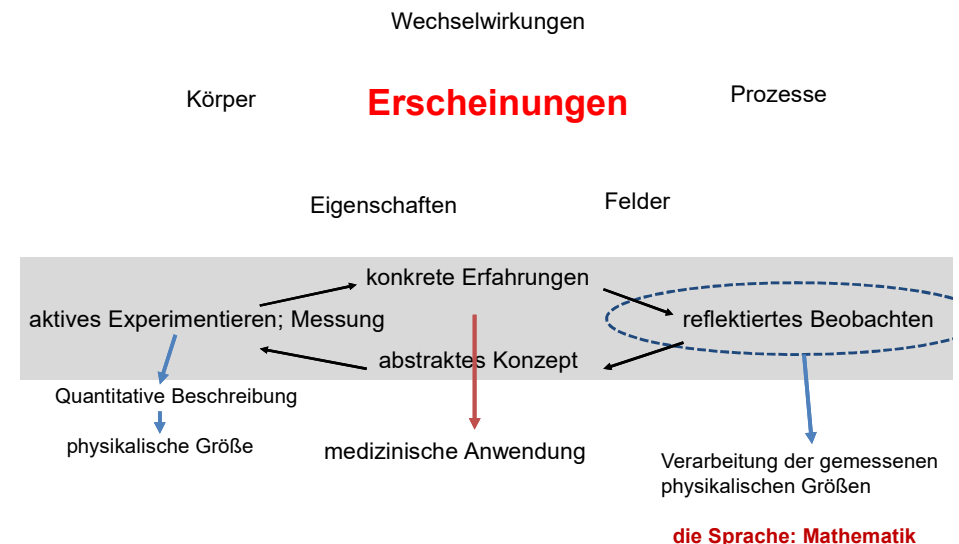
$0,2\text{ cm} = 2000\text{ }\mu\text{m}$   
 $6\,200\text{ kHz} = 6,2\text{ MHz}$   
 $330\,000\text{ fs} = 0,33\text{ ns}$   
 $0,011\text{ GJ} = 11\,000\text{ kJ}$

### Vorsätze (SI-Präfixe)

Vorsatz		Faktor
Name	Zeichen	
Exa	E	$10^{18}$
Peta	P	$10^{15}$
Tera	T	$10^{12}$
Giga	G	$10^9$
Mega	M	$10^6$
Kilo	k	$10^3$
Hekto	h	$10^2$
Deka	da	10
Dezi	d	$10^{-1}$
Zenti	c	$10^{-2}$
Milli	m	$10^{-3}$
Mikro	μ	$10^{-6}$
Nano	n	$10^{-9}$
Piko	p	$10^{-12}$
Femto	f	$10^{-15}$
Atto	a	$10^{-18}$



## Die naturwissenschaftliche Denkweise



11

12

## Wiederholung einiger mathematischer Grundlagen

Rechenregeln für Zehnerpotenzen

$$\blacksquare 10^n \cdot 10^m = 10^{n+m}$$

$$\blacksquare \frac{10^n}{10^m} = 10^{n-m}$$

$$\blacksquare (10^n)^m = 10^{n \cdot m}$$

Rechenregeln des Logarithmierens

$$\blacksquare \lg(a \cdot b) = \lg a + \lg b$$

$$\blacksquare \lg\left(\frac{a}{b}\right) = \lg a - \lg b$$

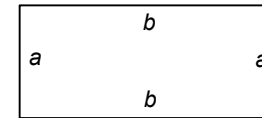
$$\blacksquare \lg(a^n) = n \cdot \lg a$$

$$\frac{(10^3)^2 \cdot 10^4}{10^{12}} \cdot 10^{-10} = 100 = 10^2$$

$$\begin{aligned} 2 \lg 5 + 2 \lg 20 &= 4 \\ \lg 5^2 &= \lg 25 & \lg 20^2 \\ \lg 25 \cdot 400 &= \lg 10000 = 4 & \lg 400 \end{aligned}$$

13

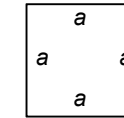
## Umfang und Fläche



das Rechteck

$$\text{Umfang: } 2 \cdot (a+b)$$

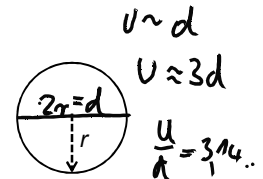
$$\text{Fläche: } a \cdot b$$



das Quadrat

$$\text{Umfang: } 4a$$

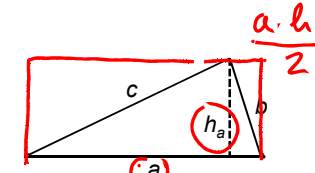
$$\text{Fläche: } a \cdot a = a^2$$



der Kreis

$$\text{Umfang: } 2\pi r = \pi \cdot d$$

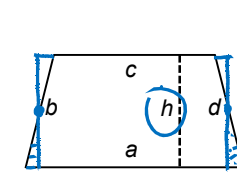
$$\text{Fläche: } r^2 \pi$$



das Dreieck

$$\text{Umfang: } a+b+c$$

$$\text{Fläche: } a \cdot h_a / 2$$



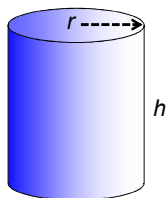
das Trapez

$$\text{Umfang: } a+b+c+d$$

$$\text{Fläche: } (a+c)/2 \cdot h$$

14

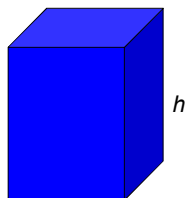
## Oberfläche und Volumen



der Zylinder (offen):

$$\text{Oberfläche (nur Mantel): } 2r \pi \cdot h$$

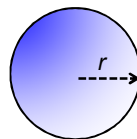
$$\text{Volumen: } r^2 \pi \cdot h$$



das Prisma (offen)

$$\text{Oberfläche (nur Mantel): } (\text{Umfang der Grundfläche}) \cdot h$$

$$\text{Volumen: } (\text{Fläche der Grundfläche}) \cdot h$$



die Kugel:

$$\text{Oberfläche: } 4r^2 \pi$$

$$\text{Volumen: } 4/3 r^3 \pi$$

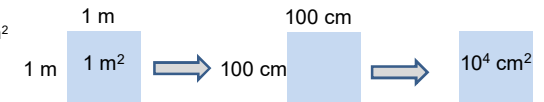
15

## Flächen- und Volumeneinheiten



1. Wandeln Sie um:

$$1 \text{ m}^2 = \dots \text{ cm}^2$$



2. Wandeln Sie um:

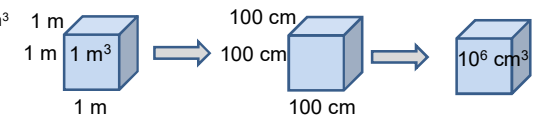
$$0,2 \text{ m}^2 = \dots \text{ cm}^2$$

$$0,05 \text{ cm}^2 = \dots \text{ mm}^2$$

$$30\,000 \text{ mm}^2 = \dots \text{ dm}^2$$

3. Wandeln Sie um:

$$1 \text{ m}^3 = \dots \text{ cm}^3$$



4. Wandeln Sie um:

$$0,01 \text{ m}^3 = \dots \text{ cm}^3$$

$$0,005 \text{ cm}^3 = \dots \text{ mm}^3$$

$$30\,000 \text{ mm}^3 = \dots \text{ dm}^3$$

16

# Winkelmessung

Ein Winkel kann entweder in **Grad-Einheiten** ( $^{\circ}$ ) oder in **Radian-Einheiten** (rad) „Bogenmaß“ angegeben werden.

**Grad:** praktische, traditionelle Einheit

Für kleineren Winkel: **Bogenminute**  $1^{\circ}=60'$  und **Bogensekunde**  $1'=60''$

Bei der ersten wird die wohlbekannte Vereinbarung verwendet, dass ein Vollwinkel (ein ganzer Kreis) in  $360^{\circ}$  eingeteilt ist.

**Definitionsformel des Winkels in Radian-Einheiten:**

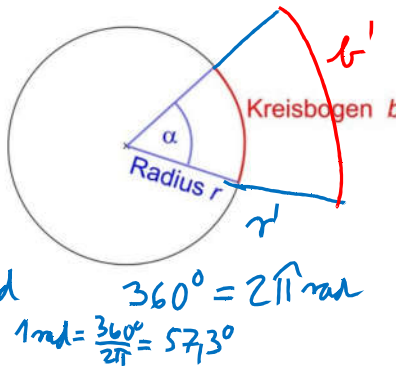
$$\alpha = \frac{b}{r} \quad \left( \frac{m}{m} = 1 \right)$$

$$\frac{b'}{r'} = \alpha$$

rad (wird oft nicht ausgeschrieben)

Bei einem Vollwinkel:

$$1^{\circ} = \frac{2\pi}{360} = 0,01745 \text{ rad} \quad \alpha = \frac{2\pi}{1} = 2\pi \text{ rad}$$



$$360^{\circ} = 2\pi \text{ rad} \quad 1 \text{ rad} = \frac{360^{\circ}}{2\pi} = 57,3^{\circ}$$

17

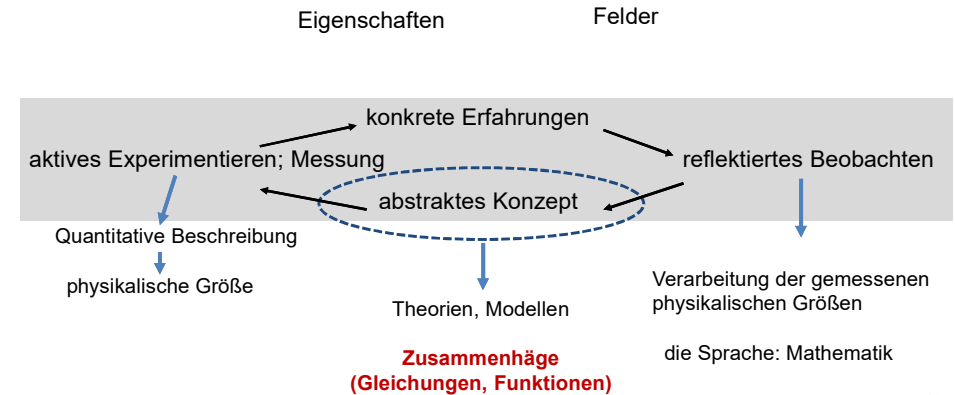
# Die naturwissenschaftliche Denkweise

Wechselwirkungen

Körper

**Erscheinungen**

Prozesse



18

# Was ist eine Funktion?

Die eindeutige Zuordnung einer Menge von Werten zu anderer Menge von Werten

INPUT (ARGUMENT, UNABHÄNGIGE VARIABLE)  
 $x$

DEFINITIONSMENGE

-1 1 3 5  
2 0 4

1 1 3 5  
-1 2 0 4

$$x \mapsto f(x) \quad \text{oder} \quad y = f(x)$$

x	-1	0	1	2	3	4	5
f(x)	1	0	1	4	9	16	25

$$x \mapsto f(x) \quad \text{oder} \quad y = f(x)$$

$f$  symbolisiert die Funktion, die die Beziehung zwischen  $x$  und  $f(x)$  definiert

eine Funktion als eine "Maschine"

OUTPUT (WERT, ABHÄNGIGE VARIABLE)  
 $f(x)$  oder  $y$

1 4 9 25  
0 16

1 4 9 25  
0 16

ZIELMENGE

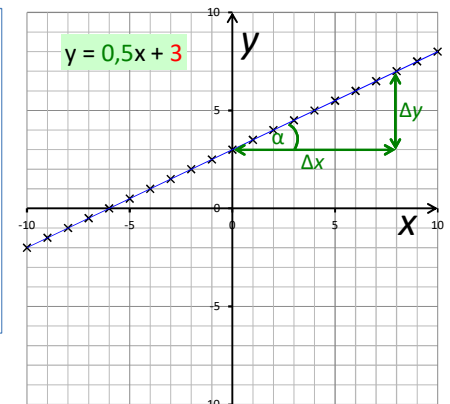
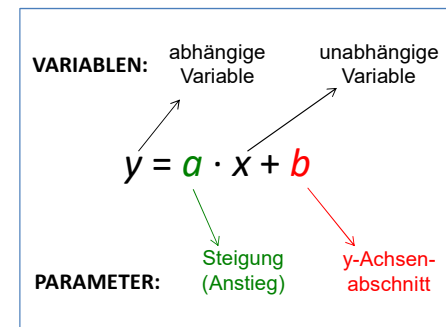
19

# Lineare Funktionen

wenn  $x = 0$   
dann  $y = b$

wenn  $\Delta x = 1$   
dann  $\Delta y = a$

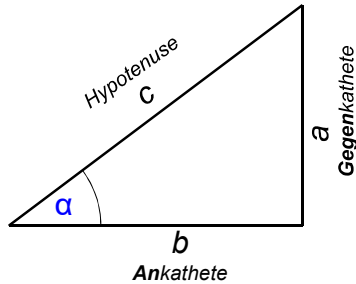
$$a = \Delta y / \Delta x = \tan \alpha$$



20

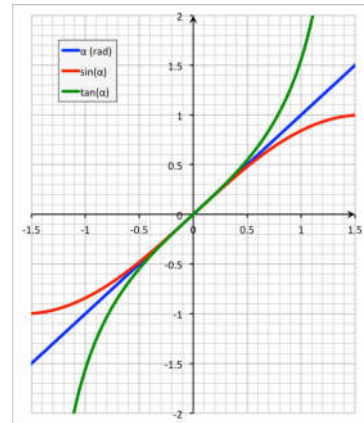
## Trigonometrische Funktionen

$$y = \sin x \quad y = \cos x \quad y = \operatorname{tg} x$$



Sinus:  $\sin(\alpha) = a/c$   
 Kosinus:  $\cos(\alpha) = b/c$   
 Tangens:  $\tan(\alpha) = \operatorname{tg}(\alpha) = a/b$

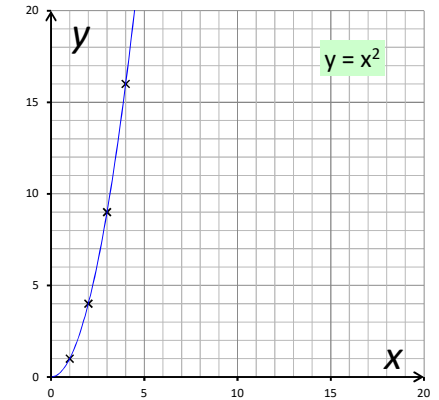
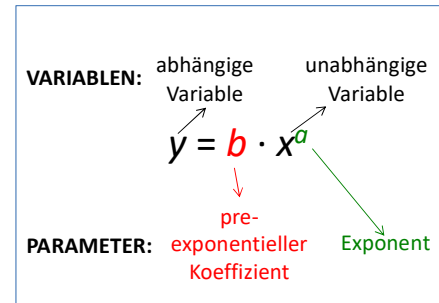
für kleinen Winkel: ( $<10^\circ \approx 0.2 \text{ rad}$ ):  
 $\sin(\alpha) \approx \alpha [\text{rad}] \approx \tan(\alpha)$



21

## Potenzfunktionen

wenn  $x = 1$   
dann  $y = b$



weitere Potenzfunktionen  
 die indirekte Proportionalität:

$$y = \frac{b}{x} = b \cdot x^{-1}$$

die Quadratwurzel-Funktion:

$$y = \sqrt{x} = x^{\frac{1}{2}}$$

22

## Exponentielle Funktionen

$$y = b \cdot a^{x/k}$$

### PRAKTISCHE ÄNDERUNGEN FÜR PHYSIK:

- sei die Basiszahl  $e$  (manchmal auch 2 oder 10)
- statt  $/k$  kann man auch  $\cdot p$  in den Exponenten schreiben (wo  $p = 1/k$ )
- sei das Exponentenvorzeichen negativ
- statt  $b$  schreiben wir  $y_0$

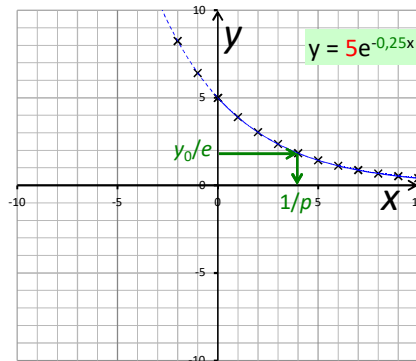
**VARIABLEN:** abhängige Variable  $y$ , unabhängige Variable  $x$

$$y = y_0 \cdot e^{-px} = y_0 \cdot e^{-x/k}$$

**PARAMETER:** pre-exponentieller Koeffizient  $y_0$ , exponentieller Koeffizient  $p$  (bzw.  $1/k$ )

wenn  $x = 0$   
dann  $y = y_0$

wenn  $y = y_0/e$   
dann  $x = 1/p = k$



23

## Logarithmusfunktionen

$$y = b \cdot \log_a(x)$$

### PRAKTISCHE ÄNDERUNGEN:

- sei die Basis 10 (oder  $e$  oder 2)
- wenn die Basiszahl festgesetzt wird, der Faktorparameter muss so geändert werden:

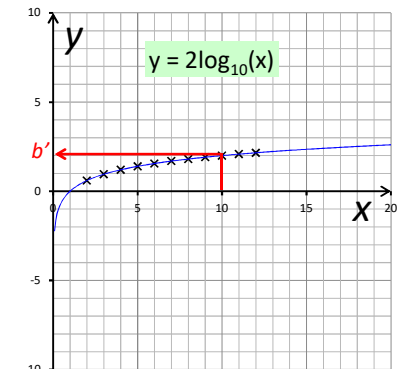
$$(b \cdot \log_a(x) = b / \log_{10}(a) \cdot \log_{10}(x) = b' \cdot \log_{10}(x))$$

**VARIABLEN:** abhängige Variable  $y$ , unabhängige Variable  $x$

$$y = b' \cdot \log_{10}(x)$$

**PARAMETER:** Faktorparameter  $b'$

wenn  $x = 10$   
dann  $y = b'$



Hausaufgaben: Grundschrift Kapitel 1, 2

*„Jeder sieht die Grenzen seines Gesichtsfeldes als die Grenzen der Welt an.“ – Arthur Schopenhauer*