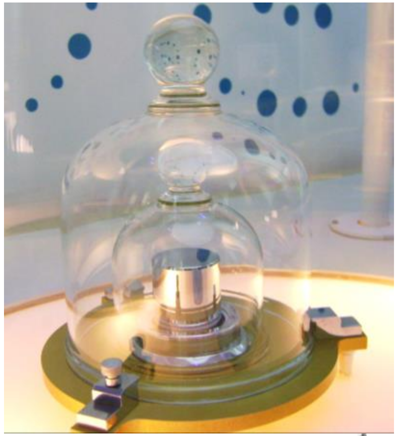
# M01 Physik für Mediziner

01.1 Grundbegriffe des Messens und der quantitativen Beschreibung

| GK Physik 1



Medical School Berlin
Hochschule für
Gesundheit und Medizin

Prof. Wim Walter, PhD | April 2021

## Ihre Ansprechpartner:

### Vorlesung

**Prof. Wim Walter, PhD**

Prof. Physiologie/Physik

wilhelm.walter
@health-and-medical-university.de

### Seminar und Praktikum

**Dr. Stephan Marquardt**

Dozent Physik

stephan.marquardt
@medicalschool-berlin.de

**Dr. Dennis Belger**

Dozent Physik

dennis.belger
@medicalschool-berlin.de

# Aufbau des Moduls

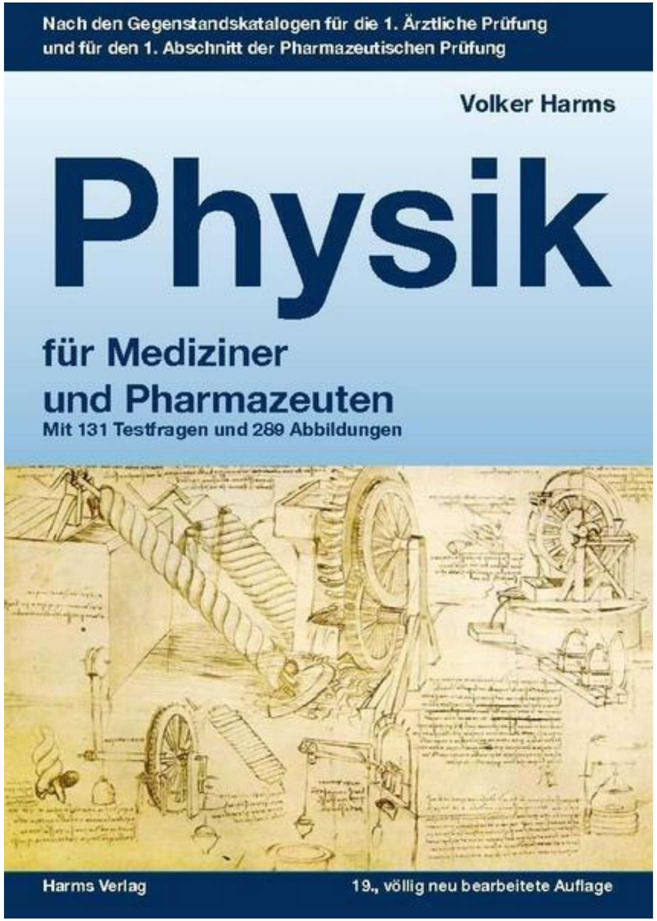
**Vorlesung** : 9 x 90 Minuten jede Woche in der KuraCloud

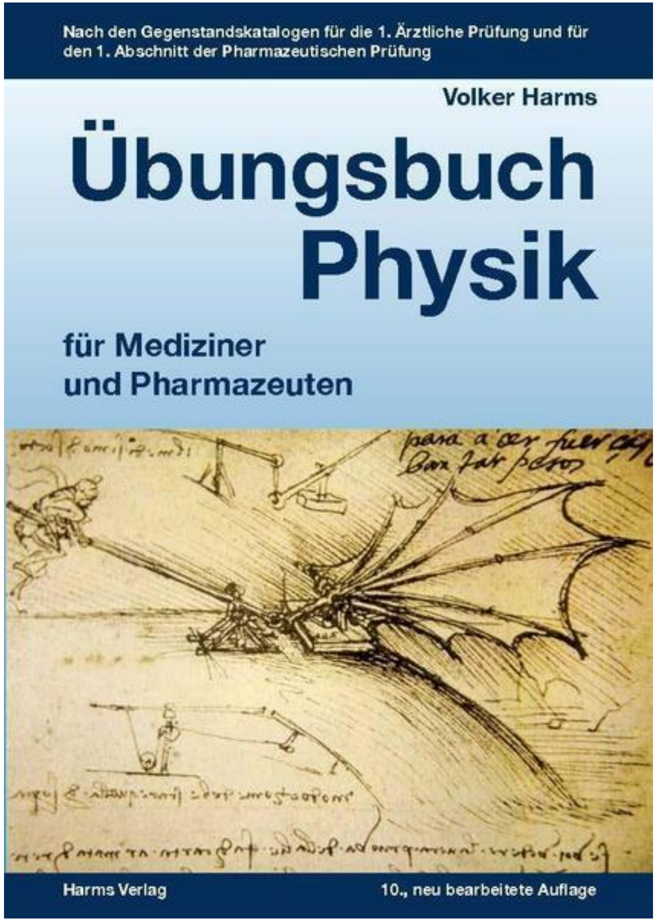
- Grundbegriffe des Messens und der quantitativen Beschreibung
- Mechanik
- Wärmelehre
- Schwingungen und Wellen
- Druck, Grenzflächen und Strömungen
- Elektrizitätslehre und Magnetismus
- Struktur der Materie und ionisierende Strahlung
- Optik
- Repetitorium zur Prüfungsvorbereitung

**Seminar**: 9 x 90 Minuten zum Thema der vorherigen Vorlesung

**Praktikum**: 6 x 180 Minuten zu ausgewählten Themen der Vorlesung

# Literatur – Ihre Pflichtlektüre



# Inhalte dieser Vorlesung

**1 Grundbegriffe des Messens und der quantitativen Beschreibung**

1.1 Physikalische Größen und Einheiten

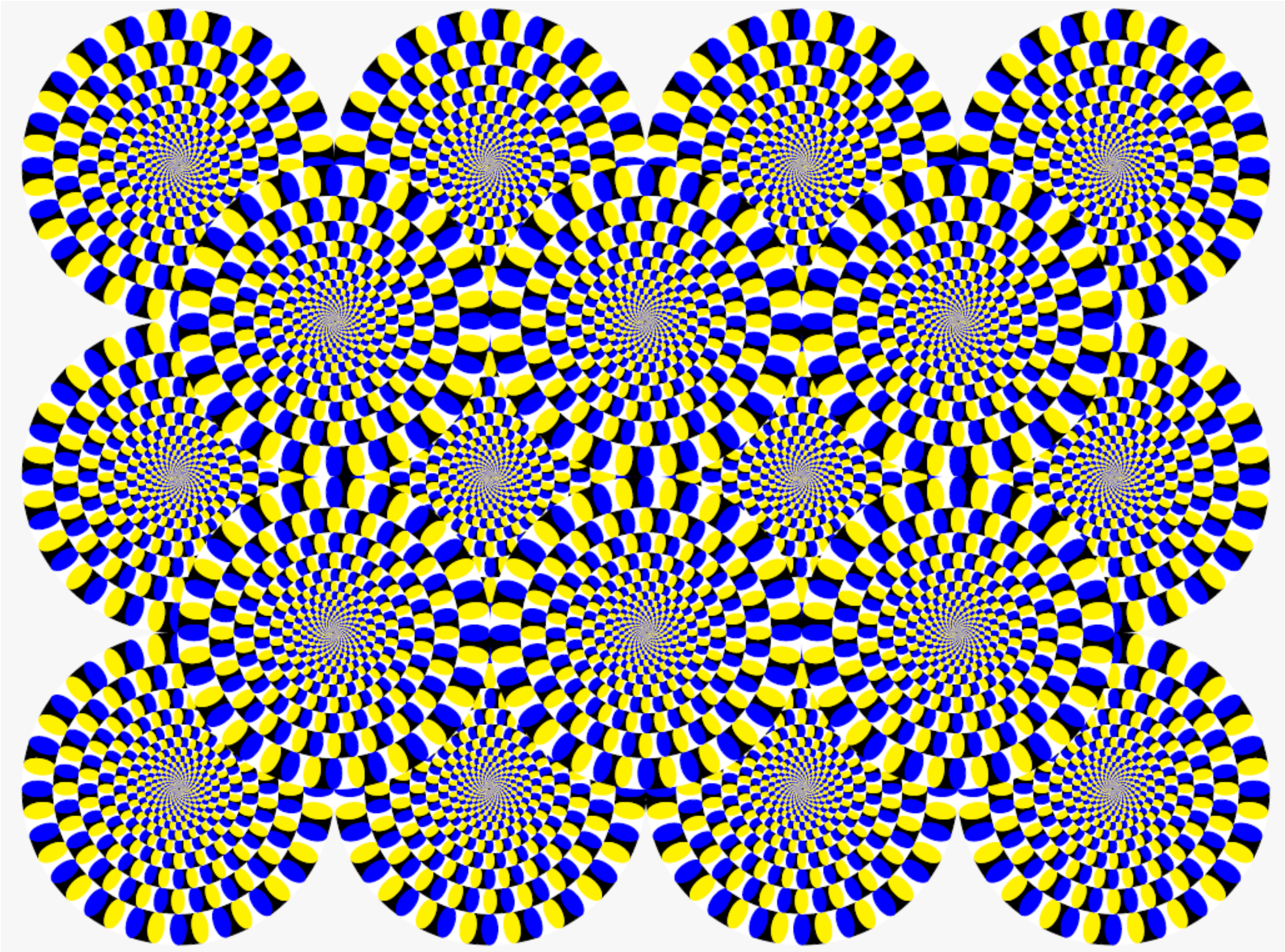
1.2 Mengengrößen, bezogene Größen

1.3 Messen und Unsicherheiten beim Messen

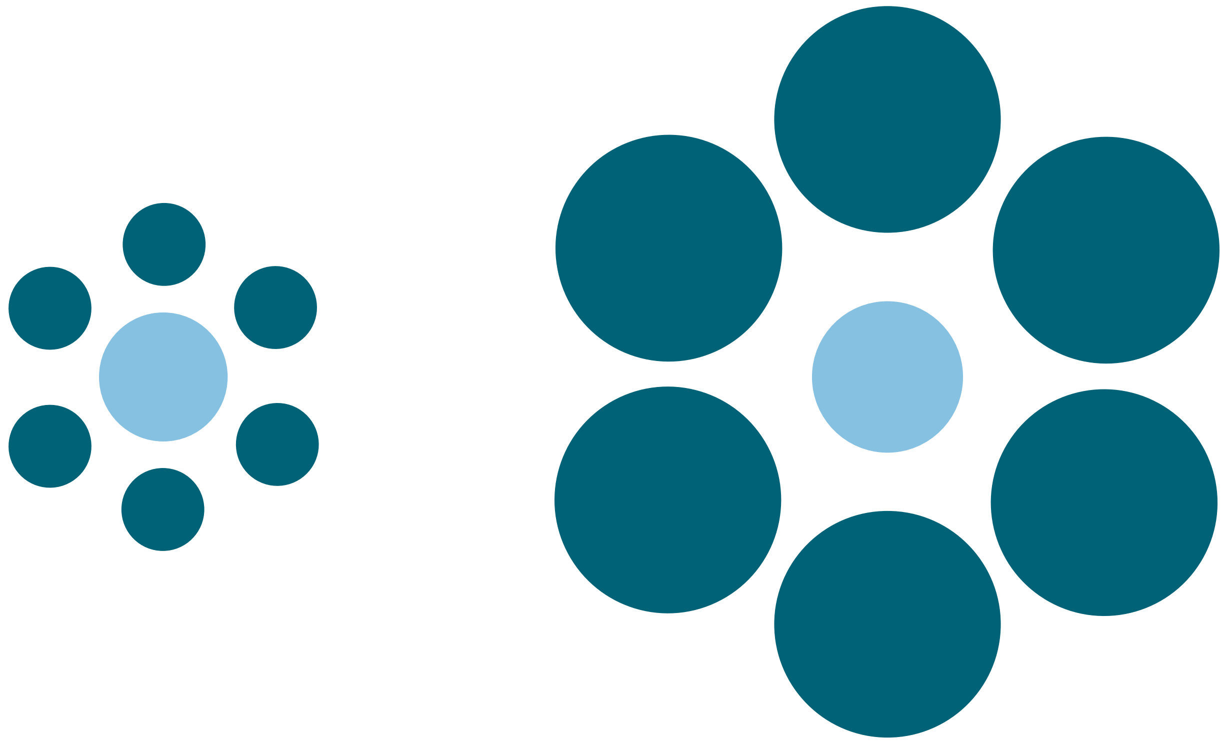
1.4 Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen

# 1.1 – 1.2 Physikalische Größen, Einheiten, Mengengrößen und bezogene Größen

| GK Physik 1.1 – 1.2



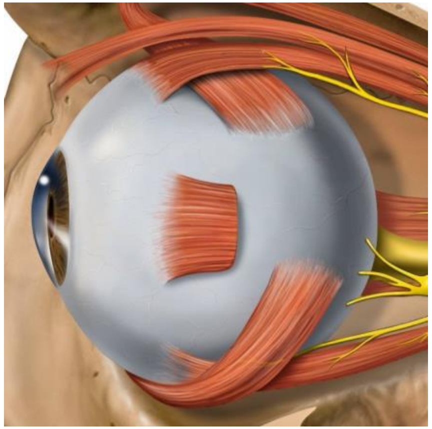
# Welcher hellblaue Kreis ist größer?



# Welcher hellblaue Kreis ist größer?

# Wie groß ist das Auge?

Wir müssen messen...



Durchmesser = 24 mm

**Maßzahl = Zahl · Einheit**

Messen ist der Vergleich einer Messgröße mit ihrer Einheit.

## Die Grundgrößen des Internationalen Einheitensystems (SI)

1. die **Länge** mit der Einheit **Meter** (m)
2. die **Zeit** mit der Einheit **Sekunde** (s)
3. die **Masse** mit der Einheit **Kilogramm** (kg)
4. die **elektrische Stromstärke** mit der Einheit **Ampère** (A)
5. die **Temperatur** mit der Einheit **Kelvin** (K) Grad Celsius + 273,15
6. die **Stoffmenge** mit der Einheit **Mol** (mol)
7. die **Lichtstärke** mit der Einheit **Candela** (cd)

## Die Grundgrößen des Internationalen Einheitensystems (SI)

Historisch festgelegt als z.B. „Urkilo“ und „Urmeter“.

Heute abgeleitet von fundamentalen Naturkonstanten wie Lichtgeschwindigkeit, Elementarladung oder Graviationskonstante.

Kopie des Pariser Urkilos von 1889

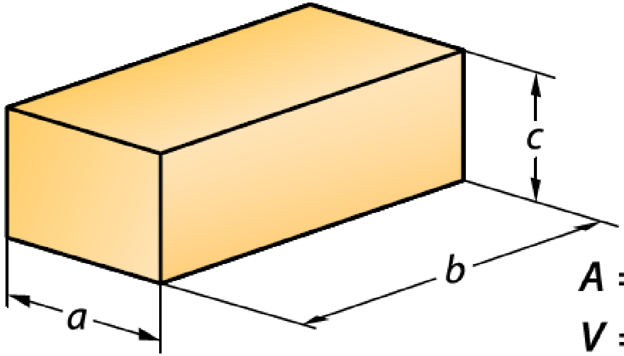
wikipedia.org

# Die sieben Grundgrößen des Internationalen Einheitensystems (SI)

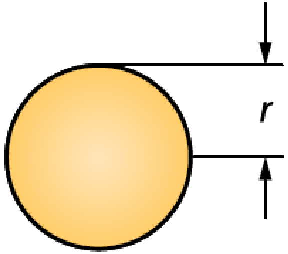
1. die **Länge** mit der Einheit **Meter** (m)
2. die **Zeit** mit der Einheit **Sekunde** (s)
3. die **Masse** mit der Einheit **Kilogramm** (kg)
4. die **elektrische Stromstärke** mit der Einheit **Ampère** (A)
5. die **Temperatur** mit der Einheit **Kelvin** (K) Grad Celsius + 273,15
6. die **Stoffmenge** mit der Einheit **Mol** (mol)
7. die **Lichtstärke** mit der Einheit **Candela** (cd)

# Zusammengesetzte Einheiten

Flächen und Volumina: $A$ in m$^2$, $V$ in m$^3$




$$A = 2(a \cdot c + a \cdot b + b \cdot c)$$
$$V = a \cdot b \cdot c$$




$$A = 4\pi \cdot r^2$$
$$V = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3$$

Harten - Abb. 1.4

Beispiel Geschwindigkeit: Geschwindigkeit = Strecke/Zeit = d$s$/d$t$ in m/s

# Mengengrößen

Dieselbe Menge an Materie kann auf verschiedene Weise angegeben werden:

- Masse in kg
- Volumen in $m^3$
- Stoffmenge in Mol

Avogadro-Konstante $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1} \approx 6 \cdot 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$

molare Masse $M = {}^{m}/_{n}$ in g $\mathrm{mol}^{-1}$

M(Wasserstoff H) = 1 g $\mathrm{mol}^{-1}$

M(Sauerstoff O) = 16 g $\mathrm{mol}^{-1}$ $M(H_2O)$ = 18 g $\mathrm{mol}^{-1}$

1l Wasser = 0,001 $m^3$ ≙ 1kg Wasser (bei Dichte $\frac{1g}{cm^3}$) ≙ 55,6 mol

# Volumenbezogene Größen

| Name | Formelzeichen | Einheit |
|---|---|---|
| $\text{Dichte} = \dfrac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}$ | $\rho = \dfrac{m}{V}$ | $\dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ |
| $\text{Stoffmengendichte} = \dfrac{\text{Stoffmenge}}{\text{Volumen}}$ | $\rho_n = \dfrac{n}{V}$ | $\dfrac{\text{mol}}{\text{m}^3}$ |
| $\text{Teilchenanzahldichte} = \dfrac{\text{Teilchenanzahl}}{\text{Volumen}}$ | $\rho_N = \dfrac{N}{V}$ | $\dfrac{1}{\text{m}^3}$ |
| $\text{spezifisches Volumen} = \dfrac{\text{Volumen}}{\text{Masse}} = \dfrac{1}{\text{Dichte}}$ | $V_S = \dfrac{V}{m}$ | $\dfrac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ |
| $\text{Molvolumen} = \dfrac{\text{Volumen}}{\text{Stoffmenge}}$ | $V_n = \dfrac{V}{n}$ | $\dfrac{\text{m}^3}{\text{mol}}$ |

# Stoffgemische

$$\textbf{Gehalt} = \frac{\text{Teilmenge}}{\text{Gesamtmenge}}$$

Beispiele:

$$\textbf{Massengehalt} = \frac{\text{Masse des gelösten Stoffes}}{\text{Masse der Lösung}}$$

$$\textbf{Volumengehalt} = \frac{\text{Volumen des gelösten Stoffes}}{\text{Volumen der Lösung}}$$

alle keine Einheit!

$$\textbf{Stoffmengengehalt} = \frac{\text{Stoffmenge des gelösten Stoffes}}{\text{Stoffmenge der Lösung}}$$

# Weiter Messbereich in der Medizin

| | | |
|---|---|---|
| Wim Walter | 1,85 m | $10^0 = 1$ |
| Länge eines Auges | 0,024 m | $10^{-1} = 0{,}1$ |
| Dicke eines Haares | 0,000 1 m | $10^{-3} = 0{,}001$ |
| Dicke von *E. coli* | 0,000 001 m | Zehnerpotenzen |
| Protein | 0,000 000 005 m | |
| Wasserstoffatom | 0,000 000 000 1 m | |
| Proton | 0,000 000 000 000 001 7 m | |

# Weiter Messbereich in der Medizin

| | | |
|---|---|---|
| Wim Walter | 1,85 m | $1{,}85 \cdot 10^{0}$ m |
| Länge eines Auges | 0,024 m | $24 \cdot 10^{-3}$ m |
| Dicke eines Haares | 0,000 1 m | $1 \cdot 10^{-4}$ m |
| Dicke von *E. coli* | 0,000 001 m | $1 \cdot 10^{-6}$ m |
| Protein | 0,000 000 005 m | $5 \cdot 10^{-9}$ m |
| Wasserstoffatom | 0,000 000 000 1 m | $100 \cdot 10^{-12}$ m |
| Proton | 0,000 000 000 000 001 7 m | $1{,}7 \cdot 10^{-15}$ m |

# dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

| **Werte < 1** | | | **Werte > 1** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Pico | p | $10^{-12}$ | Hekto | h | $10^{2}$ |
| Nano | n | $10^{-9}$ | Kilo | k | $10^{3}$ |
| Mikro | µ | $10^{-6}$ | Mega | M | $10^{6}$ |
| Milli | m | $10^{-3}$ | Giga | G | $10^{9}$ |
| Zenti | c | $10^{-2}$ | Tera | T | $10^{12}$ |
| Dezi | d | $10^{-1}$ | | | |

# Weiter Messbereich in der Medizin

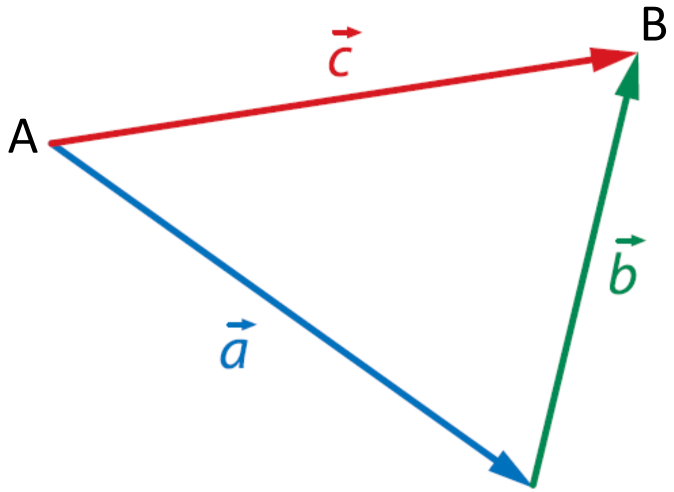
| | | |
|---|---|---|
| Wim Walter | 1,85 m | 1,85 m |
| Länge eines Auges | 0,024 m | 24 mm |
| Dicke eines Haares | 0,000 1 m | 100 µm |
| Dicke von *E. coli* | 0,000 001 m | 1 µm |
| Protein | 0,000 000 005 m | 5 nm |
| Wasserstoffatom | 0,000 000 000 1 m | 100 pm |
| Proton | 0,000 000 000 000 001 7 m | 1,7 fm |

# Skalare und Vektoren

In der Physik haben einige Größen – z.B. Kräfte, Bewegungen – eine Richtung im Raum.

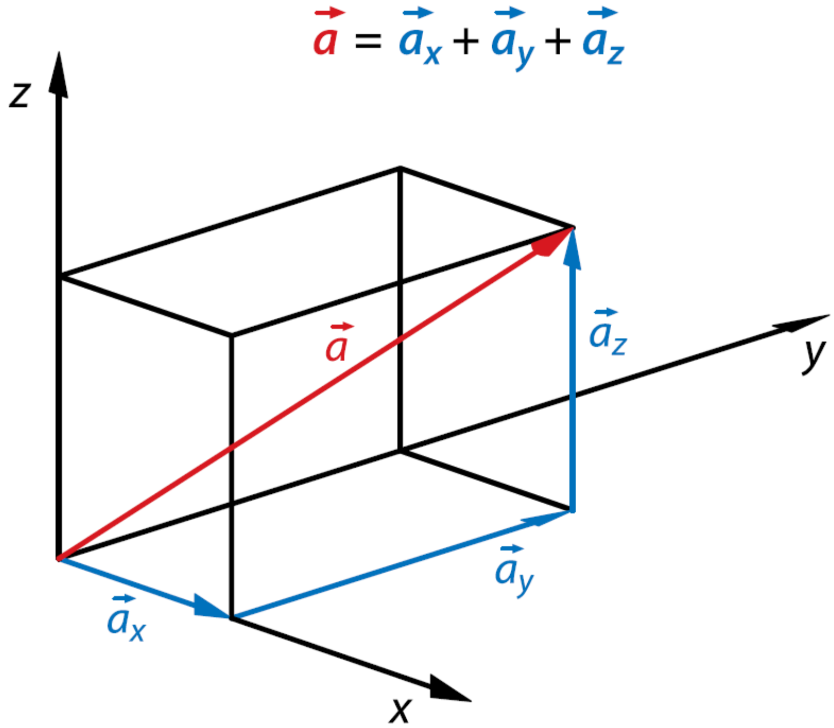
Sie werden Vektoren genannt im Gegensatz zu den ungerichteten Skalaren.

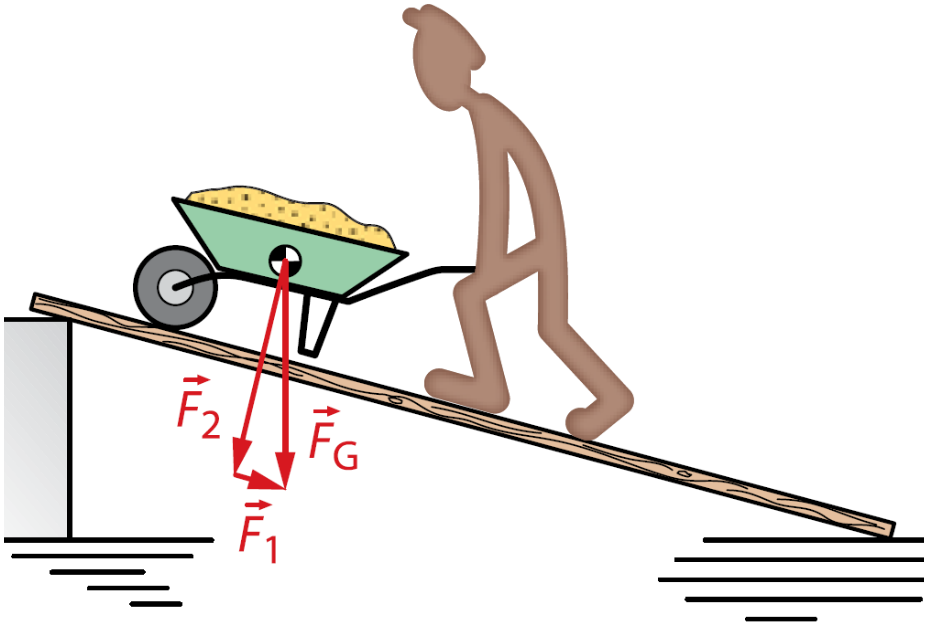
Vektoraddition:



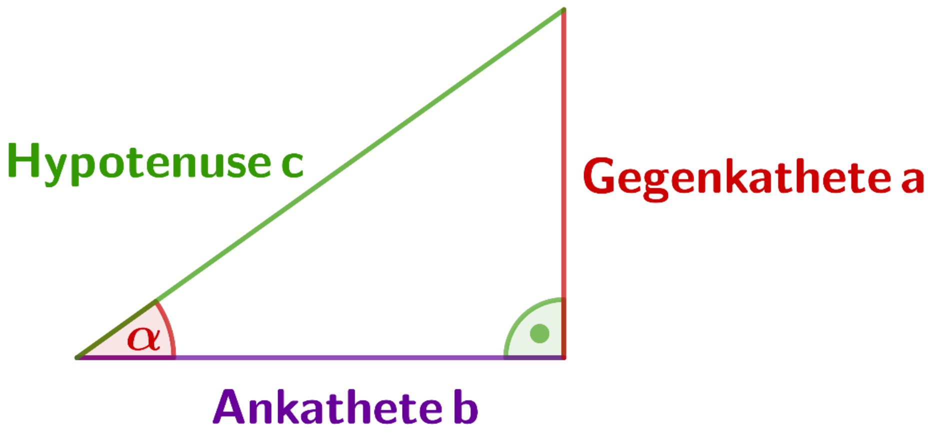

$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$

# Vektorzerlegung



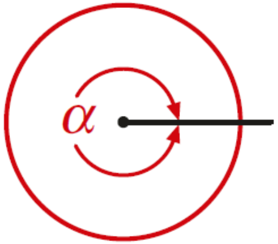



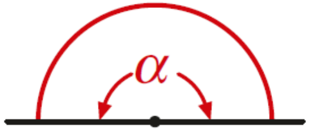
# Sinus und Cosinus



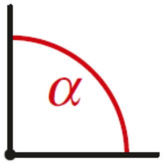

$$\sin(\alpha) = \frac{a}{c} \qquad \cos(\alpha) = \frac{b}{c}$$

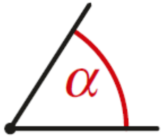
# Winkel und Bogenmaß



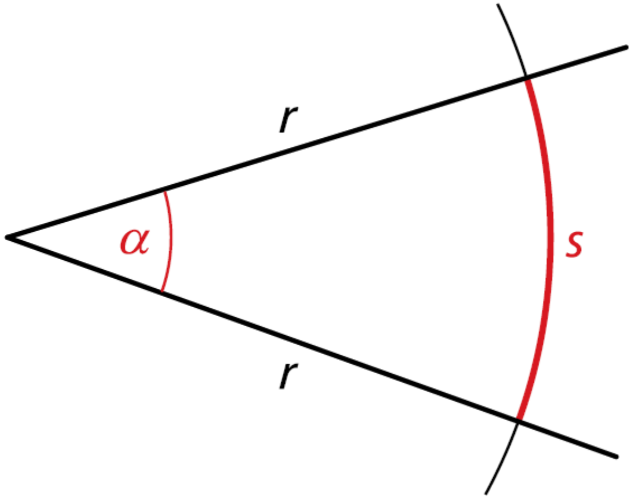




$2\pi = 360°$ $\pi = 180°$



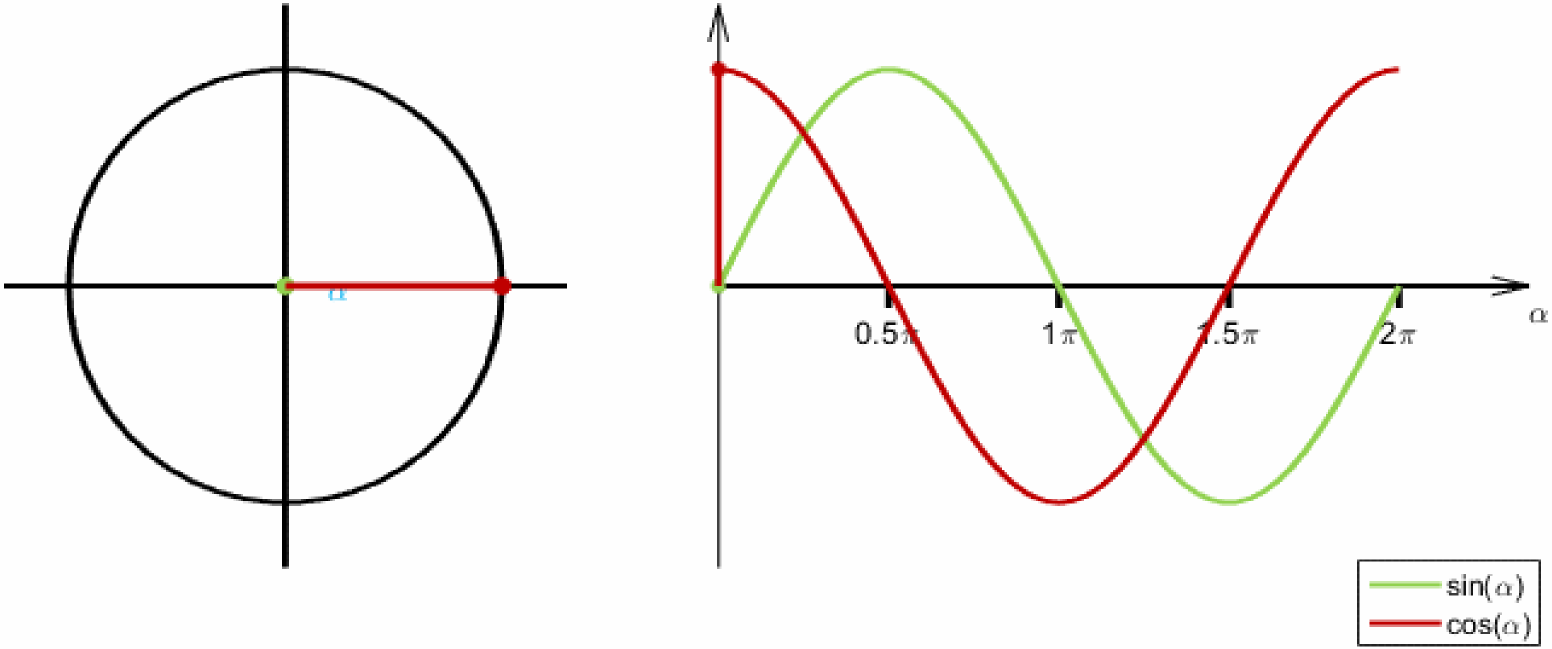

$\frac{\pi}{2} = 90°$ $1 = 57{,}3°$




**Winkel im Bogenmaß:** $\alpha = s/r$

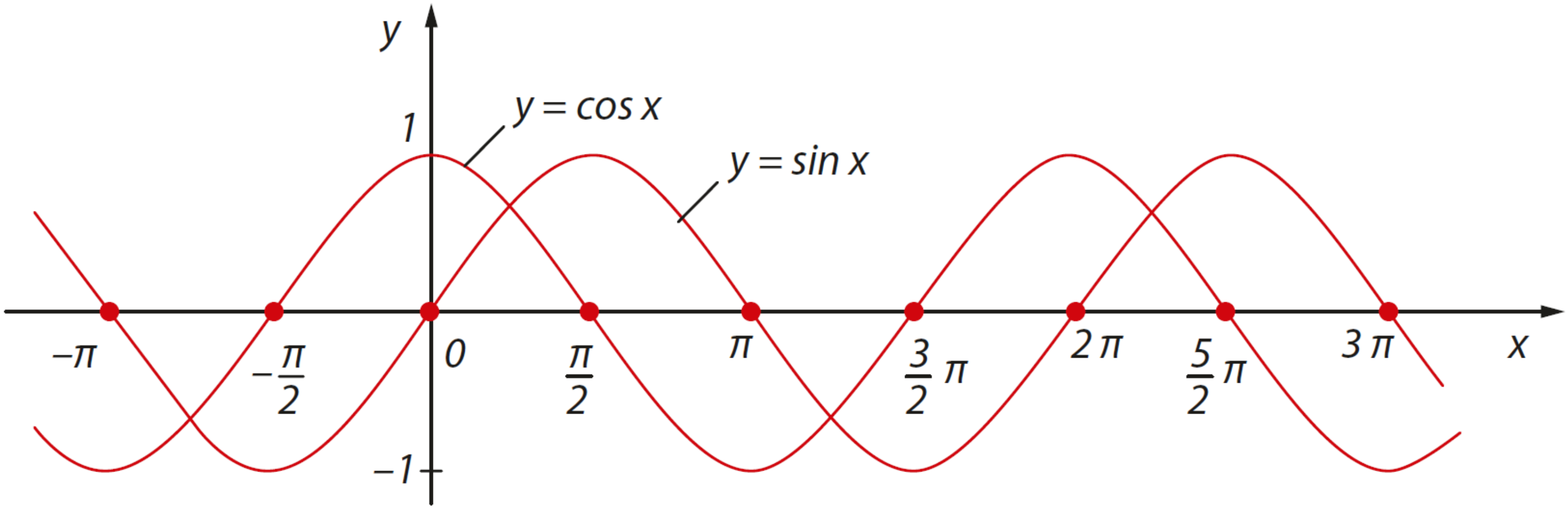
Umfang $U = 2\pi \cdot r$

# Sinus und Cosinus




wikipedia.org

# Sinus und Cosinus



# 1.3 Messen und Unsicherheiten beim Messen

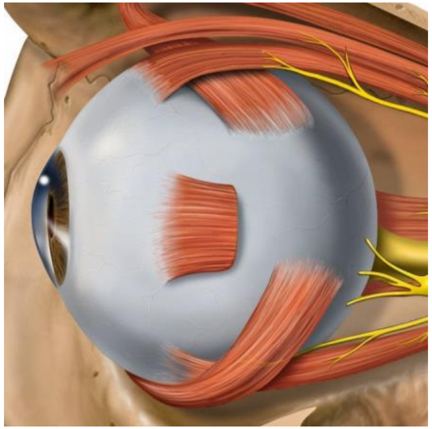
| GK Physik 1.3

# Messunsicherheiten

Messen ist der Vergleich einer Messgröße mit ihrer Einheit.

Ein Messfehler ist die Differenz zwischen Messwert und dem grundsätzlich unbekanntem wahren Wert der Messgröße.

Eigentlich müssen wir schreiben:



Länge $x = 24{,}0 \pm 0{,}5$ mm

Messwert $x$ ± Messunsicherheit $u(x)$

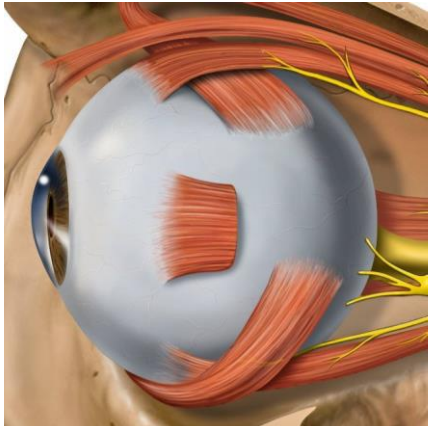
Intervall, in dem der unbekannte wahre Wert wahrscheinlich liegt:

$x - u(x) \leq x \leq x + u(x)$

# Absolute und relative Messunsicherheiten

absolute Messunsicherheit: $u(x) = 0{,}2\ \text{cm}$

relative Messunsicherheit: $\dfrac{u(x)}{x} = \dfrac{0{,}2\ \text{cm}}{4{,}0\ \text{cm}} = 0{,}05 = 0{,}05 \cdot 100\ \% = 5\%$



$x = 24{,}0 \pm 0{,}5\ \text{mm}$

$= 24{,}0 \cdot (1 \pm 2\%)\ \text{cm}$

Nachkommastellen werden immer nur in der Größenordnung der Messunsicherheit angegeben.

# Systematische und zufällige Fehler

Messfehler können in zwei Gruppen eingeteilt werden:

**systematische Fehler**:

- prinzipielle Fehler des Messverfahrens oder Messinstruments, z. B. Eichfehler, Abweichungen der Skalen,…
- in der Regel reproduzierbar aber nicht abzuschätzen

**zufällige Fehler**:

- sind zufällig verteilt
- verraten sich durch Streuung der Messwerte
- können darum abgeschätzt werden: Mittelwert ± Standardabweichung

# Mittelwert

Den Mittelwert $\bar{x}$ bestimmt man, indem die Werte der Einzelmessungen einer Stichprobe ($x_1,\ldots,x_n$) addiert werden und die Summe durch die Anzahl der Einzelmessungen *n* geteilt wird.

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + \cdots + xn) = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_j \qquad \frac{a}{b} = \frac{1}{b}a$$

Der Mittelwert der Stichprobe wird umso zuverlässiger sein, je größer man den Umfang der Stichprobe macht.

# Mittelwert - Beispiel

5 Augen: 24,0 mm; 24,5 mm; 23,5 mm; 24,0 mm; 25,0 mm

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + \cdots + xn)$$

$$= \frac{1}{5}(24{,}0 + 24{,}5 + 23{,}5 + 24{,}0 + 25{,}0)$$

$$= \frac{1}{5}\,(121{,}0) = 24{,}2$$

# Varianz und Standardabweichung

Die Standardabweichung ist ein Maß für die Messunsicherheit.

Um die Standardabweichung *s* einer Verteilung abzuschätzen, nehmen wir den Umweg über die Varianz $s^2$, um mit positiven Werten zu rechnen:

Varianz: $$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Standardabweichung: $$s = \sqrt{Varianz}$$

# Varianz und Standardabweichung - Beispiel

5 Augen: 24,0 mm; 24,5 mm; 23,5 mm; 24,0 mm; 25,0 mm

$$s^2 = \frac{\sum(x_j - \bar{x})^2}{n-1}$$

$$= \frac{(24{,}0 - 24{,}2)^2 + (24{,}5 - 24{,}2)^2 + (23{,}5 \; - 24{,}2)^2 + (24{,}0 - 24{,}2)^2 + (25{,}0 - 24{,}2)^2}{5-1}$$

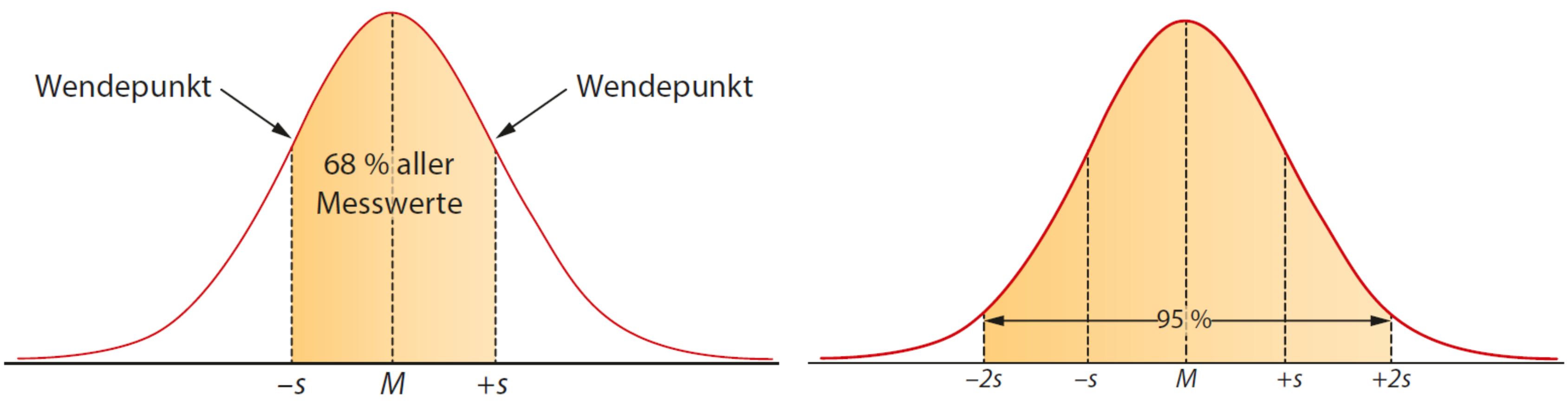
$$= \frac{(-0{,}2)^2 + (0{,}3)^2 + (-0{,}7)^2 + (-0{,}2)^2 + (0{,}8)^2}{4} = \frac{1{,}3}{4} = 0{,}325$$

$$s = \sqrt{Varianz} = \sqrt{0{,}325} = \pm 0{,}57$$

Größe der Augen: $24{,}20 \pm 0{,}57\text{cm}$

# Gaußsche Normalverteilung

In der Medizin sind Messungen in der Regel normalverteilt, d.h. sie sind zufällig um einen Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung in der typischen Glockenform.




Die sogenannten Konfidenzintervalle ($\pm s$, $\pm 2s$) sagen voraus, dass unser wahrer Wert mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit (68%, 95%) innerhalb dieser Grenzen liegt.

## Fortpflanzung von Messunsicherheiten

zwei einfache Regeln:

1. Bei der **Addition/Subtraktion** von Messwerten addieren sich die **absoluten Unsicherheiten**.

$$(10 \pm 2)\mathrm{m} + (20 \pm 2)\mathrm{m} = (30 \pm 4)\mathrm{m}$$

2. Bei der **Multiplikation/Division** von Messwerten addieren sich die **relativen Unsicherheiten**.

$$(10 \pm 2)\mathrm{m} \cdot (20 \pm 2)\mathrm{m} = 200 \cdot (1 \pm (20\% + 10\%))\mathrm{m}^2 = 200 \cdot (1 \pm 30\%)\mathrm{m}^2$$

# 1.4 Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen

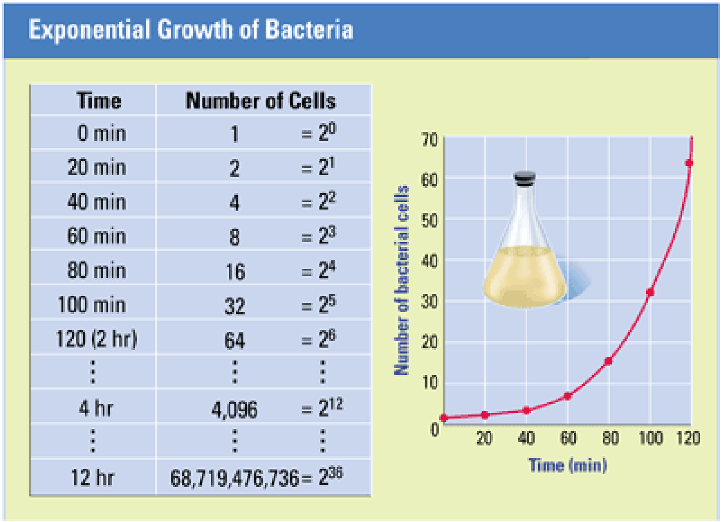
| GK Physik 1.4

# Exponentialfunktion

Die Exponentialfunktion beschreibt exponentielles Wachstum (eines Tumors, einer Bakterienkultur,…) oder exponentiellen Abbau (radioaktiver Zerfall).

$y(x) = ex$ Euler-Zahl: $e = 2{,}71828\ldots \approx 2{,}7$

Potenzwert = Basis$^{\text{Exponent}}$



Exponential Growth of Bacteria

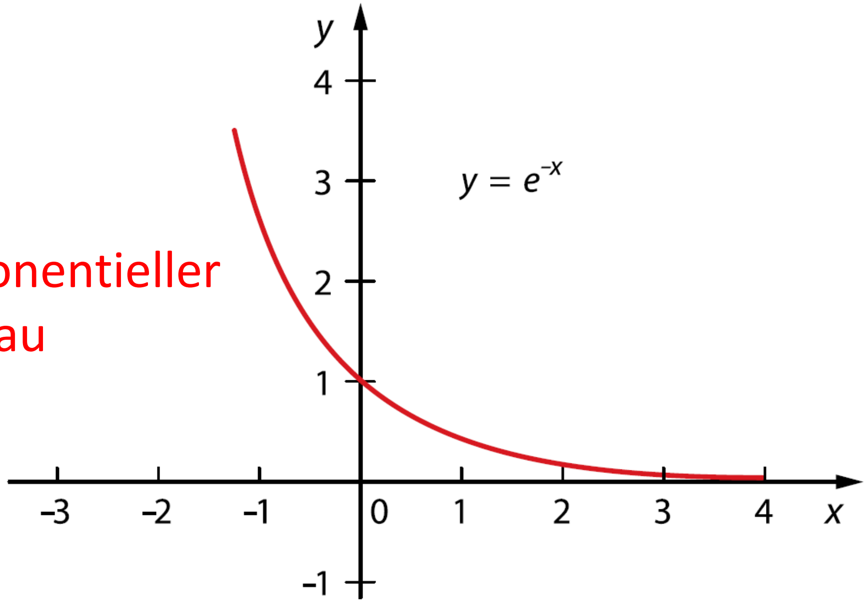
| Time | Number of Cells |
|---|---|
| 0 min | 1 $= 2^0$ |
| 20 min | 2 $= 2^1$ |
| 40 min | 4 $= 2^2$ |
| 60 min | 8 $= 2^3$ |
| 80 min | 16 $= 2^4$ |
| 100 min | 32 $= 2^5$ |
| 120 (2 hr) | 64 $= 2^6$ |
| ⋮ | ⋮ ⋮ |
| 4 hr | 4,096 $= 2^{12}$ |
| ⋮ | ⋮ ⋮ |
| 12 hr | 68,719,476,736 $= 2^{36}$ |

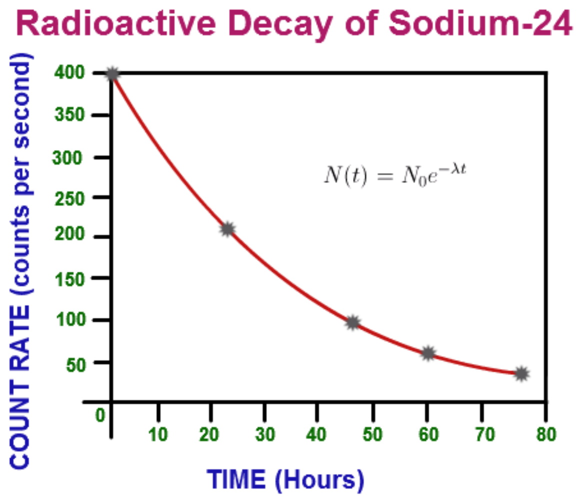
# Exponentialfunktion

Die Exponentialfunktion beschreibt exponentielles Wachstum (eines Tumors, einer Bakterienkultur,…) oder exponentiellen Abbau (radioaktiver Zerfall).

$y(x) = ex$ Euler-Zahl: $e = 2{,}71828\ldots \approx 2{,}7$

exponentieller Abbau



# Natürlicher und dekadischer Logarithmus

Exponentialfunktion | Logarithmusfunktion

$$y = a^x \qquad\qquad x = log_a y$$

„$x$ gleich Logarithmus von $y$ zur Basis $a$“

natürlicher Logarithmus: $x = log_e y = \ln y$

dekadischer Logarithmus: $x = \log_{10} y = \lg y$

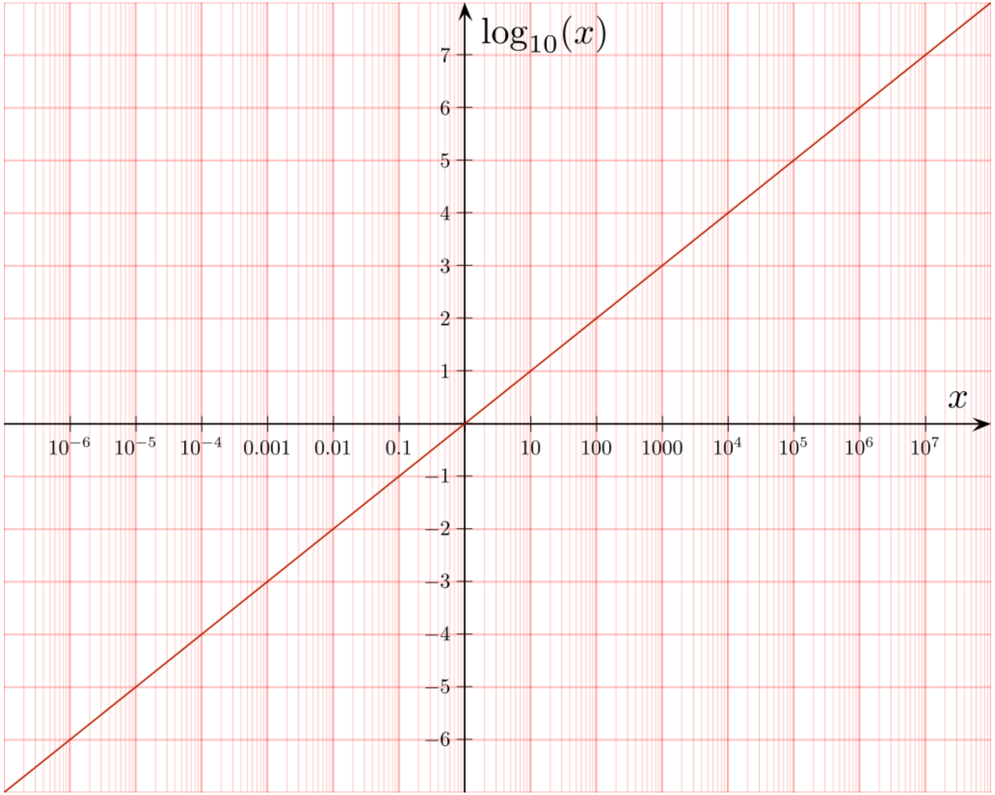
„Mit welchem Exponenten muss ich die Basis potenzieren, um den Potenzwert zu erhalten?“

## Beispiele: Dekadischer Logarithmus

| Exponentialfunktion | Logarithmusfunktion | |
|---|---|---|
| $y = 10^{x}$ | $x = \log_{10} y$ | |
| $100 = 10^{2}$ | $x = \log_{10}(100)$ | $2 = \log_{10}(100)$ |
| $10.000 = 10^{4}$ | $x = \log_{10}(10.000)$ | $4 = \log_{10}(10.000)$ |

„Mit welchem Exponenten muss ich die Basis potenzieren, um den Potenzwert zu erhalten?“

# einfach-logarithmische Skalierung für $x = \lg y$




**Beispiele:**

- pH-Wert
- Helligkeitsempfinden (Weber-Fechner)
- Schalldruckpegel

Mit dem Logarithmus lassen sich exponentiell wachsende Phänomene leichter darstellen, da der Logarithmus für große Zahlen viel langsamer steigt als die Zahlen selbst.

# Zahlen- und Größenwerte, die Sie kennen müssen!

- $\pi \approx 3{,}14$
- $e \approx 2{,}7$
- $\sqrt{2} \approx 1{,}4$

- Fallbeschleunigung an der Erdoberfläche $\approx\ 10\,\frac{m}{s^2}$
- Dichte von Wasser $\approx\ 1\,\frac{g}{cm^3} \ =\ 10^3\ \frac{kg}{m^3}$
- Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und in Luft $\approx\ 3 \cdot 10^8\,\frac{m}{s}$
- Schallgeschwindigkeit in Luft $\approx\ 330\,\frac{m}{s}$
- Avogadro-Konstante $\approx\ 6 \cdot 10^{23}\,mol^{-1}$
- Molares Gasvolumen (Normbedingungen) $\approx\ 22{,}4\,\frac{l}{mol}$
- Brechzahl von Luft $\approx\ 1$

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Weitere Informationen und Seminarunterlagen finden Sie in der KuraCloud.

**Prof. Wim Walter, PhD**
Prof. Physiologie/Physik

wilhelm.walter
@health-and-medical-university.de

**Dr. Stephan Marquardt**
Dozent Physik

stephan.marquardt
@medicalschool-berlin.de

**Dr. Dennis Belger**
Dozent Physik

dennis.belger
@medicalschool-berlin.de