

66-770

Experimentalphysik I/II für Studierende der Biologie und der Zahnmedizin

Prof. Arwen Pearson & Prof. Nils Huse
arwen.pearson@cfel.de & nils.huse@uni-hamburg.de

Vorlesungen:

Mittwoch 08:15-09:45 Junguisstr. 9 Hörsaal 2

Freitag 08:15-09:45 Junguisstr. 9 Hörsaal 1

Information zur Vorlesung unter/über **STiNE**

Klasuren:

Sa, 24. Nov. 09:45 - 11:00

Sa, 8. Dez. 09:45 - 11:00

Physikalische Größen und Einheiten

(oder... was wir nutzen um die Welt zu beschreiben)

- zur quantitativen Beschreibung eines Ereignisses ist die zahlenmässige Angabe der untersuchten physikalischen Größe erforderlich
- Eigenschaften, Zustände oder Vorgänge die messbar sind, bezeichnet man als **physikalische Größen**
- Eine Physikalische Größe = **Masszahl** × **Masseinheit** ± **Messfehler**

z.B. Zeit: $t = 3.5 \times s \pm 0.02$

- Alle Maßeinheiten sind willkürlich, aber die überwiegende Mehrheit der Menschheit stimmt zu, dass man sie zumindest praktikabel machen sollte, indem man Einheiten vorhersagbar skalieren, intuitiv kombinieren und leicht reproduzieren kann.

Ryan North, How to Invent Everything



~~Der alte Scheffel war gleich 4 Pecks oder 8 Dry Gallons und wurde hauptsächlich für landwirtschaftliche Produkte wie Weizen verwendet.~~

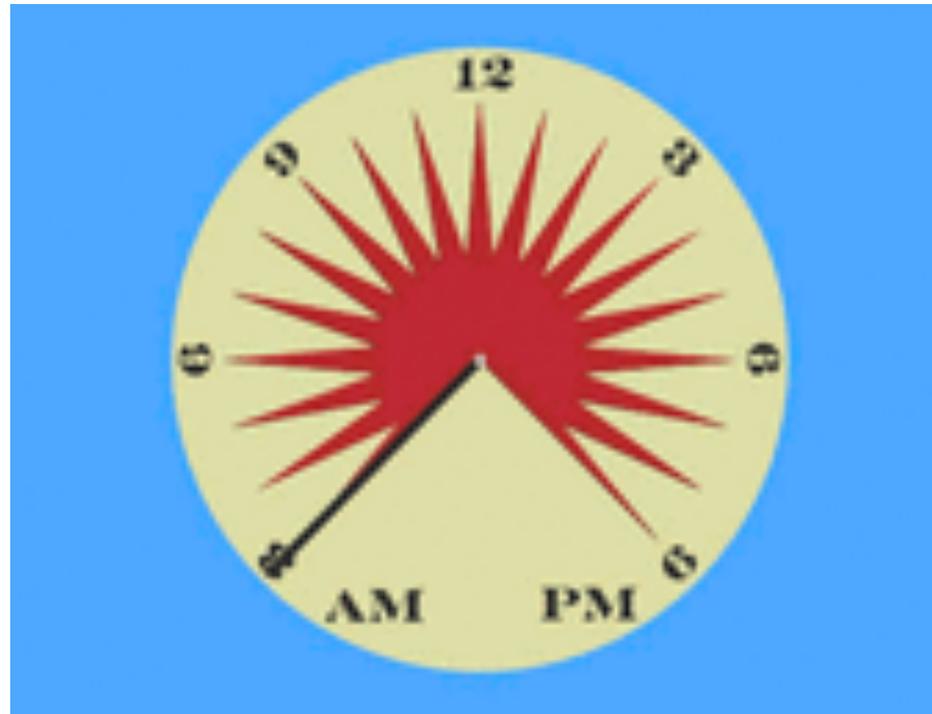
Wikipedia

- Heute benutzen wir das metrische System für (fast alle) unsere Einheiten.
- Vielfache von 10
 - 100, 1000, 10000 ...
 - z.B. 100 cm = 1 m, oder 1000g = 1 kg

Potenz	Name	Zeichen	Potenz	Name	Zeichen
10^{24}	Yotta	Y	10^{-1}	Dezi	d
10^{21}	Zetta	Z	10^{-2}	Zenti	c
10^{18}	Exa	E	10^{-3}	Milli	m
10^{15}	Peta	P	10^{-6}	Mikro	μ
10^{12}	Tera	T	10^{-9}	Nano	n
10^9	Giga	G	10^{-12}	Piko	p
10^6	Mega	M	10^{-15}	Femto	f
10^3	Kilo	k	10^{-18}	Atto	a
10^2	Hekto	h	10^{-21}	Zepto	z
10^1	Deka	da	10^{-24}	Yocto	y

Zeit

- Bevor Uhren entwickelt wurden, wurde der Zeitablauf auf qualitativere Weise gemessen, wie von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang.
- Wenn man einen Stock in den Boden in einem Winkel setzt, der die Breitengrad entspricht und in Richtung Norden zeigt, ist der Schatten des Stabes mittags immer direkt darunter und am 6 Uhr und 6 Uhr in 90 Grad Winkeln zu jeder Seite.



WillowW, Wikipedia

Zeit

- Bevor Uhren entwickelt wurden, wurde der Zeitablauf auf qualitativere Weise gemessen, wie von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang.
- Wenn man einen Stock in den Boden in einem Winkel setzt, der die Breitengrad entspricht und in Richtung Norden zeigt, ist der Schatten des Stabes mittags immer direkt darunter und am 6 Uhr und 6 Uhr in 90 Grad Winkeln zu jeder Seite.
- Die alten Ägypter scheinen die ersten gewesen zu sein, die einen Tag in Teile, Stunden geteilt haben. Sie teilten die Zeit zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang in 12 gleiche Teile.
- Aber sie bemerkten, dass es am Nachthimmel mehrere Sterne gab, mit denen man den Lauf der Zeit verfolgen und die Nacht in 12 Teile aufteilen konnte



World's oldest Sundial, Egypt Valley of the Kings
University of Basel

Zeit

- Bis zur Erfindung moderner Uhren wurden die Stunden in Hälften, Viertel und Drittel unterteilt, aber niemals in Minuten.
- Woher kommen also 60 Minuten pro Stunde?
 - Von den alten Griechen und den Sumerer!
 - Die Sumerer benutzten ein sexagesimales Zählsystem (Basis 60)
 - Der griechische Astronom Eratosthenes (276-194 v. Chr.) verwendete ein Sexagesimalsystem, um einen Kreis in 60 Teile zu unterteilen, um ein frühes geographisches System von Breiten zu entwickeln, wobei die horizontalen Linien durch bekannte Orte auf der Erde führen.
 - Ein Jahrhundert später wurde mit Hilfe von Hipparchus und Ptolemäus ein System von Breiten- und Längengradlinien, die 360 Grad umfassten und von Norden nach Süden von Pol zu Pol und von Ost zu West liefen entwickelt. Jeder Grad wurde in 60 Teile unterteilt, von denen jeder wiederum in 60 kleinere Teile unterteilt wurde. Die erste Abteilung, *partes minutae primae*, oder erste Minute, wurde einfach als "Minute" bekannt. Die zweite Segmentierung, *partes minutae secundae*, oder "zweite Minute", wurde als Sekunde bekannt.

Zeit

- Basierend auf diesen Ideen, Kreise in Minuten und Sekunden zu teilen, war es natürlich, das Ziffernblatt in Minuten (eine 60stel Stunde) und schließlich Sekunden (eine 60stel Minute) zu teilen.

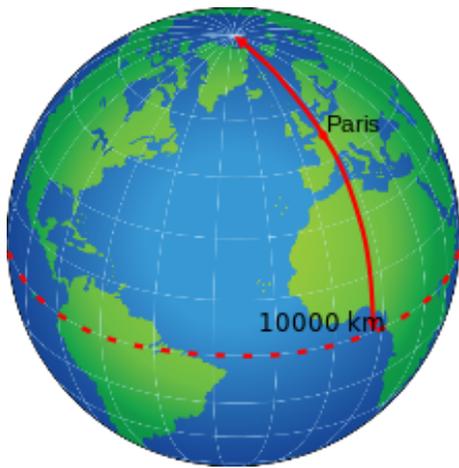
			1 Sekunde
		1 Minute	60 Sekunden
	1 Stunde	60 Minuten	3600 Sekunden
1 Tag	24 Stunden	1440 Minuten	86400 Sekunden

- Da sich die Länge eines Tages abhängig von der Jahreszeit leicht ändert (wenn Sie sich auf eine Sonnenuhr verlassen, werden Sie feststellen, dass sie im Laufe des Jahres ~ 15 Minuten schnell oder langsam wird), wurde eine bessere Definition einer **Sekunde** benötigt.
- Einer **Sekunde** ist derzeit definiert als das 9192631770-fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Cäsium-Isotops ^{133}Cs entsprechenden Strahlung

Internationales Einheitssystem - SI-Einheiten

Basisgröße	SI-Einheit	Abkürzung
Zeit	Sekunde	s
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Elektrische Stromstärke	Ampere	A
Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd

- Alle anderen Einheiten (**abgeleitete** Größen) können von diesen sieben **Basiseinheiten** ohne zusätzliche Faktoren abgeleitet werden
- Die Basisgrößen können *beliebig* aber möglichst zweckmäßig festgelegt werden

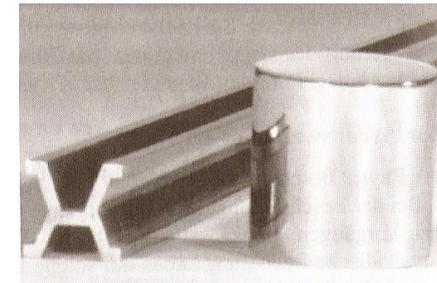
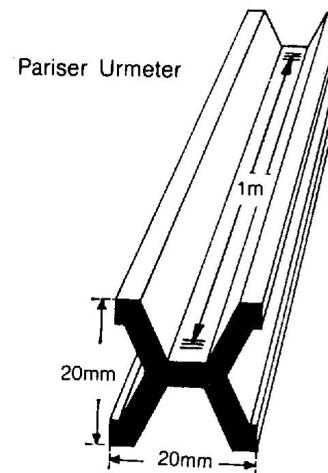
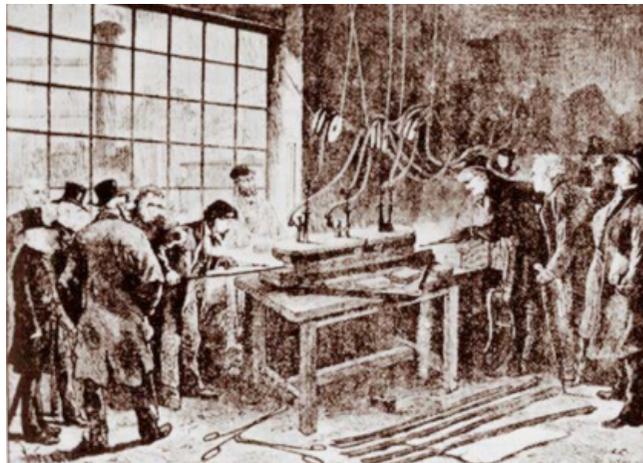


Definition des Meters

„Das würde eher auf natürlichen Phänomenen beruhen als auf königlichem Dekret, und würde auch dezimal sein, anstatt die verschiedenen Systeme der Unterteilung, oft duodezimal, zu benutzen, die zu der Zeit koexistierten.“ John Wilkins (17. Jahrhundert)

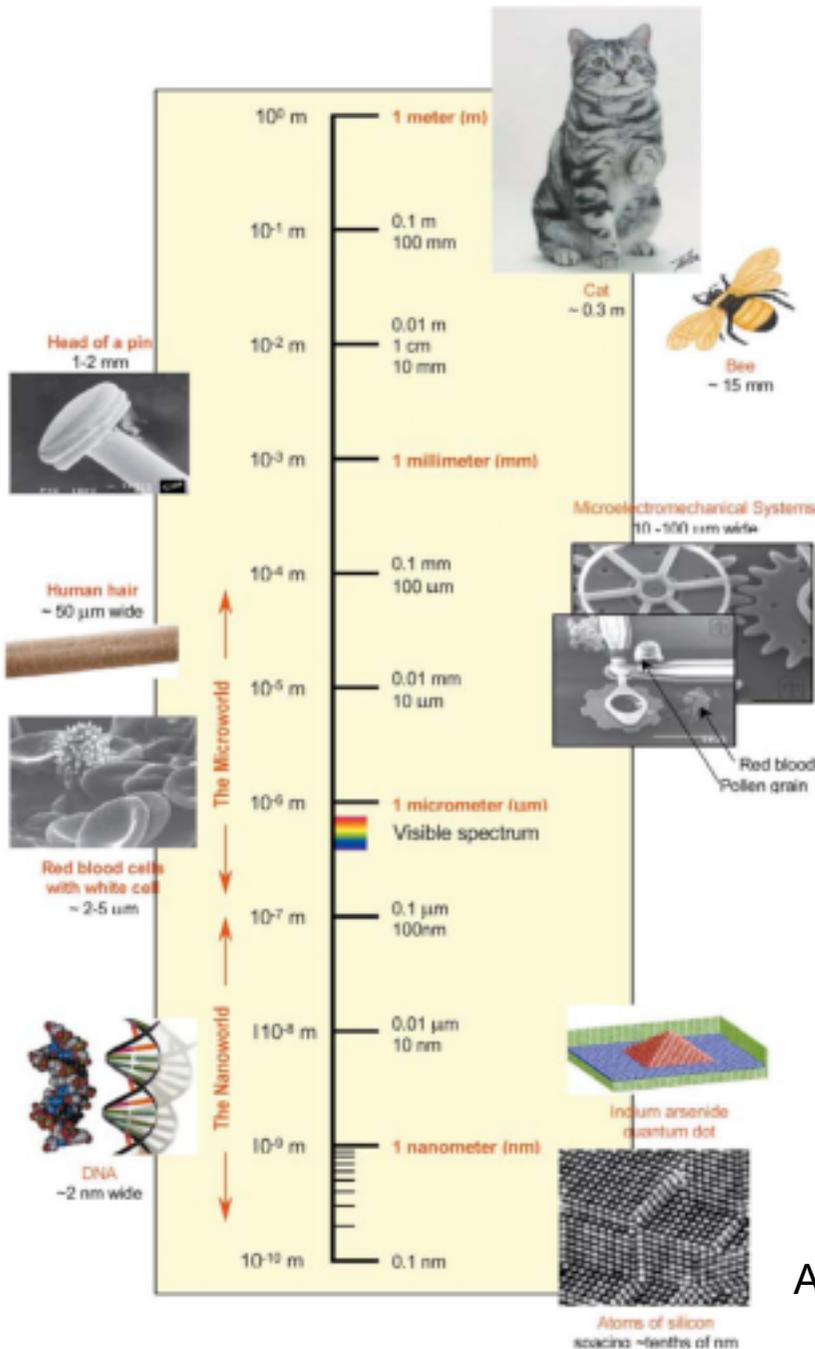
1793 1 m = 1/10,000,000 der Entfernung zwischen dem Nordpol und dem Äquator

1889 an einen physischen Prototyp gebunden



1983 1 m = die Länge der Strecke, die Licht in Vakuum während der Dauer von 1/299292458 Sekunden durchläuft

- Lichtjahr, ly, ist eine Länge
- die Länge die Licht in Vakuum in einem Jahr zurücklegt
- $9,5 \times 10^{12} \text{ km} = 9,5 \text{ Billionen Kilometer}$



Mikrowissenschaften

Nanotechnologie

Biochemie

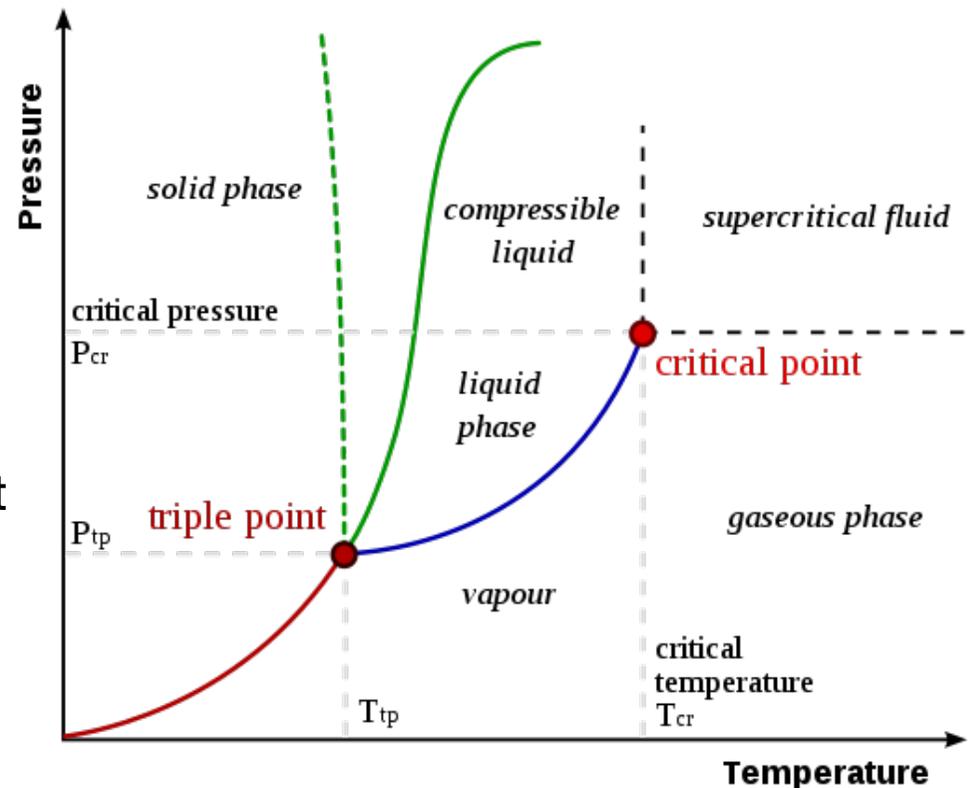
Chemie

Atom- & Teilchen-Physik

Mehr intuitiv? Probieren Sie diese interaktive Animation aus

Temperatur

- Die Celsius- oder Celsius-Temperaturskala basiert auf den Gefrier- und Siedepunkten von Wasser.
- Es definiert 0 Grad als den Punkt, an dem Wasser gefriert, und 100 Grad als den Punkt, an dem Wasser kocht
- Dies ist jedoch nicht ideal, da die Temperatur, bei der Wasser gefriert und kocht, mit dem Druck variiert.
- Aus diesem Grund schlug Lord Kelvin eine neue Temperaturskala vor, wobei Null als die Temperatur definiert ist, bei der alle thermischen Bewegungen aufhören.
- Der Tripelpunkt von Wasser (wo sich Eis, Flüssigkeit und Dampf im Gleichgewicht befinden) ist definiert als 273,16 K (entspricht 0 Grad Celsius).
- Die Kelvin-Skala verwendet die gleichen Abstufungen wie Celsius. Also $10\text{ K} = 10\text{ Grad Celsius}$



Matthieumarechal, Wikipedia

Übungsfragen im Rahmen der Vorlesung:

Ein Molekül hat die Länge $l = 1\text{nm}$

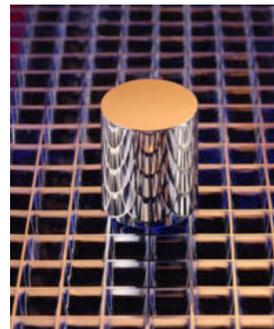
- a) Schreiben sie l in eine Darstellung mit der Einheit Zentimeter (cm) um
- b) Wie viele Mikroliter (μl) sind in einem Deziliter (dl) einer Flüssigkeit enthalten ?
- c) Sie finden häufig die Einheiten:

Minute, Kelvin, Jahr, Grad, Celcius und Tag

Mit wie vielen verschiedenen Basisgrößen sind diese darstellbar ?

Masse

- Jetzt haben wir Länge und Temperatur definiert und können darüber nachdenken, wie wir Masse definieren
- Das Kilogramm wurde ursprünglich definiert als die Masse eines Liters Wasser bei seiner maximalen Dichte (d. H. Bei 4 °C)
- Dies war zu der Zeit (1795) schwierig genau zu reproduzieren und so wurde ein Stück Platinlegierung hergestellt, das der Masse eines Liters Wasser so nahe wie möglich war.
- es wurde den Vereinigten Staaten im Jahr 1889 zugeeignet und wird regelmäßig neu zertifiziert und ist zurückzufolgen auf den primären internationalen Standard, „das Kilogramm“, das im Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) bei Paris aufbewahrt wird
- dieser internationale Prototyp, der aus Platin-Iridium besteht, wird unter absolut gleichen Bedingungen aufbewahrt, die 1889 definiert wurden - das **Urkilogramm**

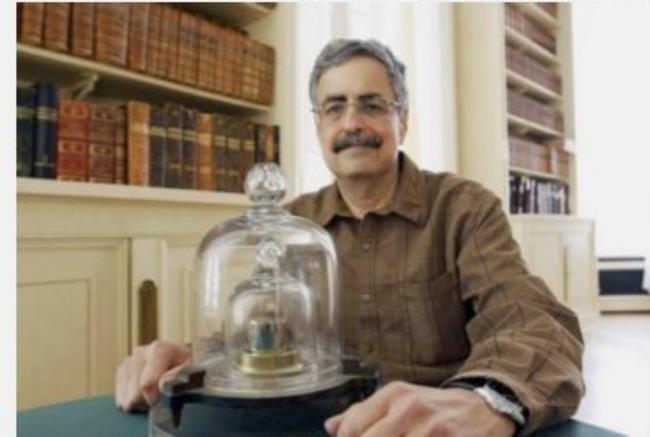


- Es wurden 40 Repliken des Original-Kilogramms angefertigt. Diese sind in Standardlabors auf der ganzen Welt verteilt.
- Aber egal, wie sorgfältig sie gelagert werden, sie gewinnen durch die Aufnahme von Verunreinigungen aus der Luft langsam an Masse.
- Besorgniserregend, sie alle gewinnen Masse mit unterschiedlichen Raten, und einige von ihnen verlieren sogar Masse!



Urkilo leidet unter Schwindsucht

Das Urkilogramm nimmt ab – zwar langsam, aber messbar, wie der Wächter des streng gehüteten Referenzgewichtes in Sèvres bei Paris erklärt. Das hat Folgen. Wissenschaftler rätseln über den Gewichtsverlust und zerbrechen sich den Kopf, wie die inkonstante Konstante stabilisiert werden kann.



Streng gehütet: Urkilo in Sèvres bei Paris

Foto: AP

Seit 118 Jahren wird der Prototyp, ein 39 Millimeter hoher Zylinder aus einer Platin- und Iridium-Legierung, in einem Tresor des Internationalen Büros für Maß und Gewicht (BIMP) in Sèvres bei Paris aufbewahrt. Nur alle vierzig Jahre wird das Maß aller Kilos aus dem dreifach gesicherten Schrank hervorgeholt, um es mit Kopien des Urkilogramms abzugleichen.

Bei den jüngsten Messungen zeigte sich, dass das Original 50 Mikrogramm leichter war als die Vergleichskilos im Durchschnitt. „Sonderbar, denn alle Kopien sind aus dem gleichen Material wie das Urkilo“, sagt der Physiker Richard Davis. Und viele der Referenzzylinder wurden ebenfalls 1889 gegossen.

„Über die Gründe der Masseänderung gibt es nur Hypothesen“, sagt Michael Borys von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig, wo der deutsche Prototyp gehütet wird. Veränderungen könnten durch Umgebungseinflüsse während der Aufbewahrung oder des Gebrauchs hervorgerufen werden, aber sicher sei man sich nicht.

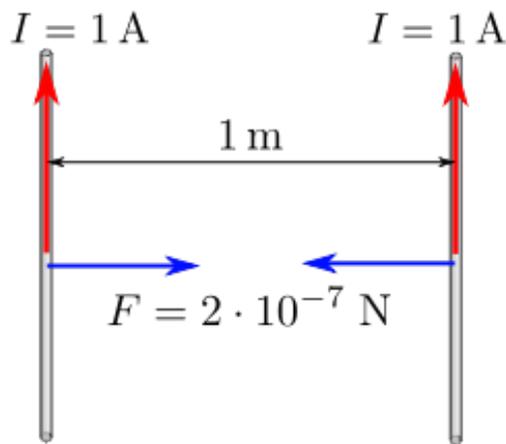
Die Abmagerung des Urkilogramms hat Folgen: Das Kilo ist das einzige Maß im internationalen Einheitensystem, das tatsächlich nur durch den Vergleichsgegenstand festgelegt wird. Das Urkilogramm, nimmt es nun ab oder zu, „verkörpert als Masseneinheit per Definition weiterhin genau ein Kilogramm“, so Borys. Dadurch entstehe ein zusätzlicher Unsicherheitsfaktor etwa bei Kalibrierungen.

Der Ruf nach Preissenkungen für ein Kilo Rinderfilet oder eine Neujustierung der Haushaltswaage wäre indes verfrüht. Die bislang festgestellte Masseänderung von 50 Mikrogramm macht sich erst in der achten Stelle hinter dem Komma bemerkbar.

Dennoch zerbrechen sich Wissenschaftler weltweit darüber den Kopf, wie das inkonstante Referenzgewicht stabilisiert werden kann, schließlich sind sie jeden Tag auf exakte Messungen angewiesen. Auf einer Konferenz im November wollen Experten in Paris über Lösungen beraten. Geprüft wird etwa eine Kugel aus Silikon-Kristall mit einer einzigen Form von Atomen. Am Braunschweiger PTB wird mit Ionenakkumulation experimentiert, um das

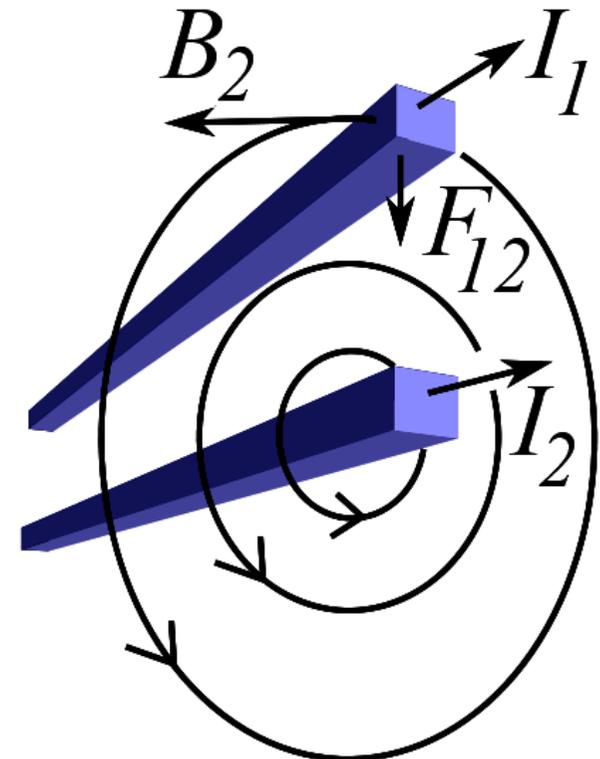
Elektrische Stromstärke

- 1 **Ampere** (1 A) ist die Stärke des zeitlich konstanten elektrischen Stromes, der im Vakuum zwischen zwei parallelen, unendlich langen, geraden Leitern mit vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt und dem Abstand von 1 m zwischen diesen Leitern eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ Newton pro Meter Leiterlänge hervorrufen würde.



DanMichaelo, Wikipedia

Der obere Draht mit Stromstärke I_1 erfährt eine Lorentzkraft F_{12} aufgrund des Magnetfelds B_2 , das der untere Draht erzeugt. (Der spiegelbildliche Sachverhalt für die Lorentzkraft auf den unteren Draht ist nicht eingezeichnet.)



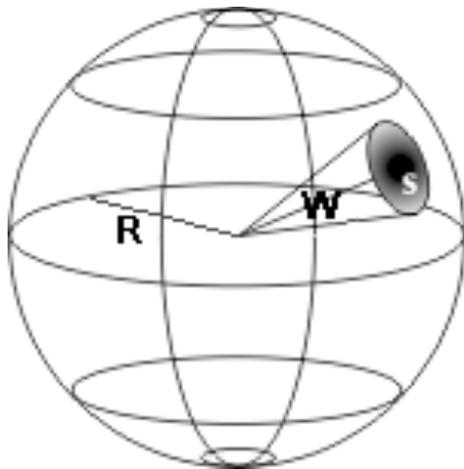
SByrnes321, Wikipedia

Ein Newton ist die abgeleitete Einheit, die Kraft beschreibt.

Es ist definiert als Masse \times Beschleunigung und hat somit Einheiten von $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

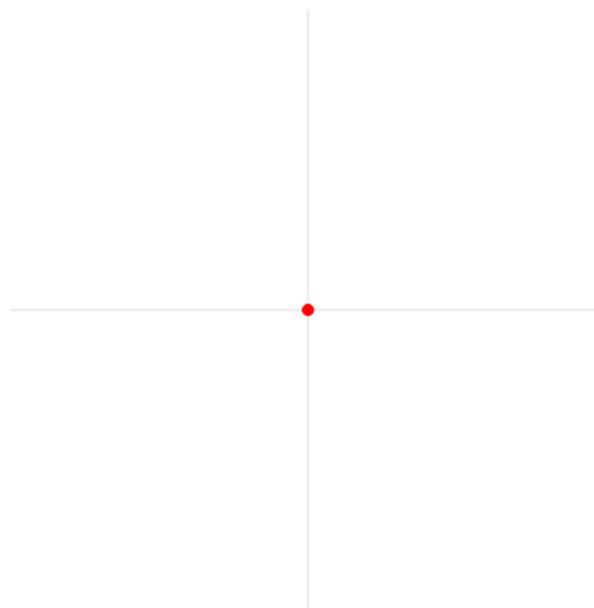
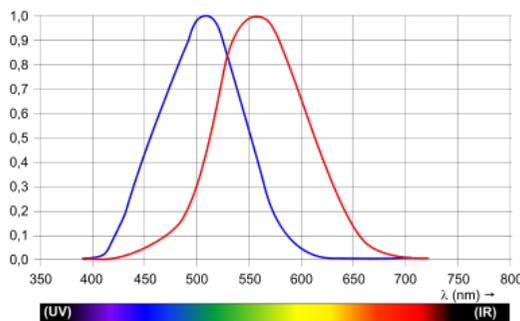
Lichtstärke

- Ein **Candela** ist die Lichtstärke (Lichtstromdichte) einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz entsprechend einer Wellenlänge λ von ca. 555 nm, mit einer Leistung von 1/683 Watt pro Steradian (Raumeinheitwinkel) aussendet



Der **Steradian**, Einheitenzeichen: sr, ist im SI System der besondere Name für einen Raumwinkel.

Der Raumwinkel ist die Fläche, die ein Kegel auf der Oberfläche der Einheitskugel herauschneidet.



Der Radiant (Einheitenzeichen: rad) ist ein Winkelmaß, bei dem der Winkel durch die Länge des entsprechenden Kreisbogens im Einheitskreis angegeben wird.

Lucas V. Barbosa, Wikipedia

Stoffmenge

- ein **Mol** ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebensoviel Einzelteilchen, wie z.B. Atomen, Molekülen, Ionen, Elektronen ect. besteht, wie Atome in 12 g des Kohlenstoff Nuklids ^{12}C enthalten sind
- die Anzahl der Teilchen in einer Stoffmenge von 1 mol ist die Avogadro-Konstante (auch eine Naturkonstante) $N_A := 6.022 \times 10^{23}/\text{mol}$



Lorenzo Romano Amedeo Carlo **Avogadro**

- 1811 veröffentlichte er seine Hypothese, dass gleiche Volumina von Gasen bei gleicher Temperatur und gleichem Druck die gleiche Anzahl von Teilchen (Molekülen) enthalten

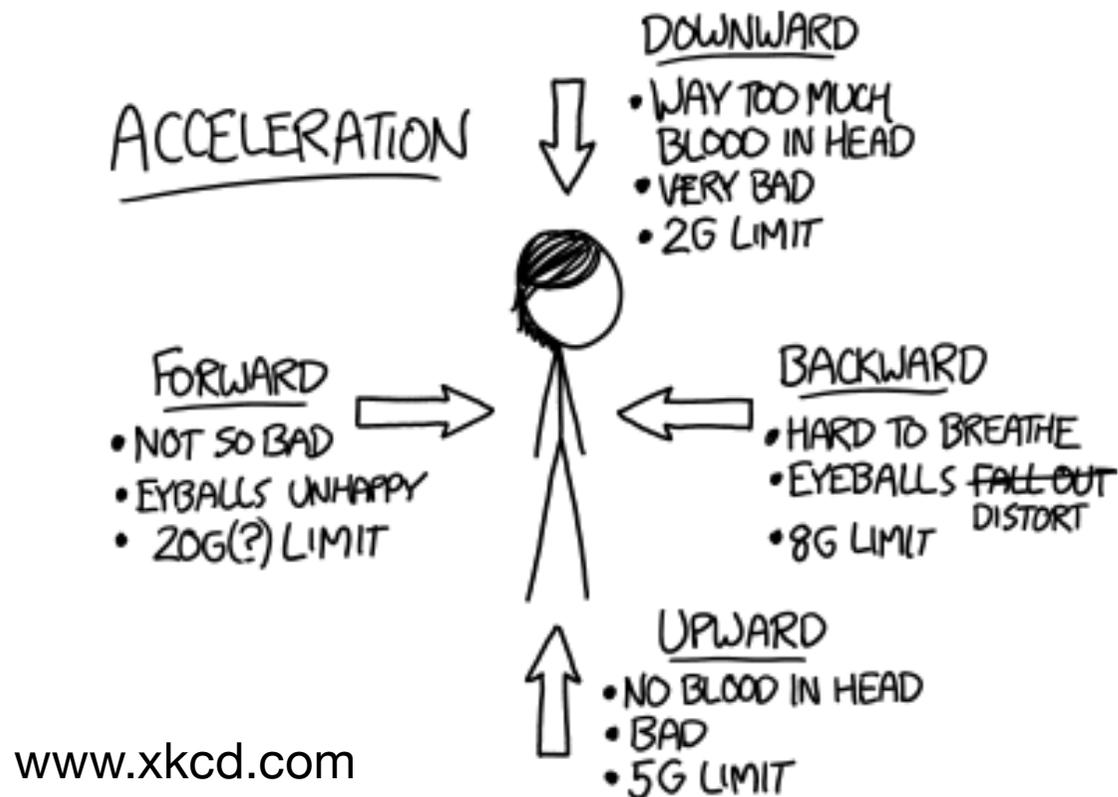
Abgeleitete Größen

- Abgeleitete Größen sind Einheiten, die sich auf SI-Einheiten bzw. Basisgrößen zurückführen lassen
- Wichtig! Nicht vergessen das Einheiten sind Teil der Gleichung!

Abgeleitete Größe	Empfohlenes Symbol	Dimension	Abgeleitete Einheiten
Fläche	A	Länge x Länge = l^2	m^2
Volumen	V	Länge x Länge x Länge = l^3	m^3
Dichte	ρ	Masse/Volumen = m/l^3	kg/m^3
Winkel	ϕ	Bogen/Radius = m/m	rad
Raumwinkel	Ω	Fläche des Kugelausschnitts/ Quadrat des Kugelradius = m^2/m^2	sr
Frequenz	f oder ν	1/Periodendauer = $1/s$	Hz
Geschwindigkeit	\vec{v}	Wegintervall/Zeitintervall = m/s	m/s
Beschleunigung	\vec{a}	Geschwindikeitsänderung/ Zeitintervall = $(m/s)/s$	m/s^2
Kraft	\vec{F}	Masse x Beschleunigung = $kg \times m/s^2$	N
Arbeit, Energie	W oder E	Kraft x Weg = $kg \times m^2/s^2$	J
Leistung	P	Arbeit/time = $kg \times m^2/s^3$	W

Skalare & Vektoren

- **Skalare** (nur Wert) physikalische Größen ohne Richtungseinheit
- **Vektoren** (Wert und Richtung), d.h. neben Zahl und Einheit wird noch eine Richtungsangabe benötigt
- Beschleunigung ist ein gutes Beispiel.
- Beschleunigung bedeutet eine Änderung der Geschwindigkeit
- Aber es ist wichtig zu wissen, ob Sie beschleunigen oder verlangsamen!



Übungsfragen im Rahmen der Vorlesung:

Wieviele verschiedene Basisgrößen brauchen Sie zur Darstellung:

a) Einer Dichte ?

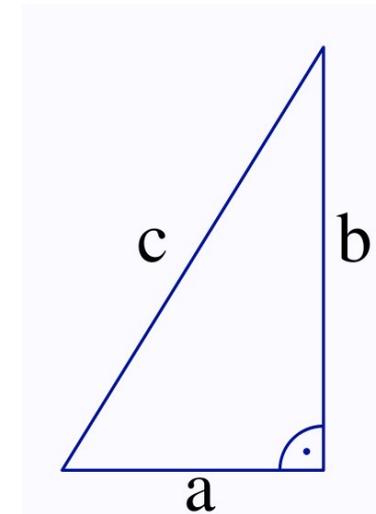
b) Eines Volumens ?

c) Ist die Kraft eine Basisgröße des SI-Systems:

Übungsfragen im Rahmen der Vorlesung:

Sie fahren auf einer Rolltreppe, die sich mit $0,6 \text{ m/s}$ bewegt auf ihrer Stufe wechseln Sie mit 0.8 m/s die Seite.

Wie groß ist dabei ihre Gesamtgeschwindigkeit ?



Auswertungen

Daten von eine Enzymekinetik Experiment

Substrate Concentration (mM)	Rate ($\mu\text{M/s}$)
1	2.00
2	3.33
5	5.56
10	7.14
20	8.33

- Diese Tabelle zeigt die Daten, die in einem Enzymkinetik-Experiment erhalten wurden.
- Wenn wir die Zahlen nur als Zahlen behandeln, können wir keine allgemeine oder prädiktive Aussage über das Verhalten des Enzyms machen.
- Die Tabelle zeigt, wie hoch die Raten bei Substratkonzentrationen von 5 mM und 10 mM sind, aber sie sagt uns nicht, welche Rate bei 8 mM zu erwarten ist.

Auswertungen

Daten von eine Enzymekinetik Experiment

Substrate Concentration (mM)	Rate ($\mu\text{M/s}$)
1	2.00
2	3.33
5	5.56
10	7.14
20	8.33

- Wenn wir die Raten als v und die Substratkonzentrationen als S darstellen, dann stellt die folgende Gleichung ein Gesetz dar, das alle Zahlen in der Tabelle beschreibt.

$$v = 10S/(4+S)$$

Auswertungen

Daten von eine Enzymekinetik Experiment

Substrate Concentration (mM)	Rate ($\mu\text{M/s}$)
1	2.00
2	3.33
5	5.56
10	7.14
20	8.33

- Wir können einen Schritt weiter gehen und die Zahlen $10 \mu\text{M} / \text{s}$ und 4 mM durch V bzw. K_M ersetzen.
- Dies gibt uns eine Gleichung, die jetzt allgemein für jedes Enzym gilt.
- Sie werden diese Gleichung wahrscheinlich wieder in Ihren Biochemie-Klassen erfüllen - das ist die Michaelis-Menten-Gleichung

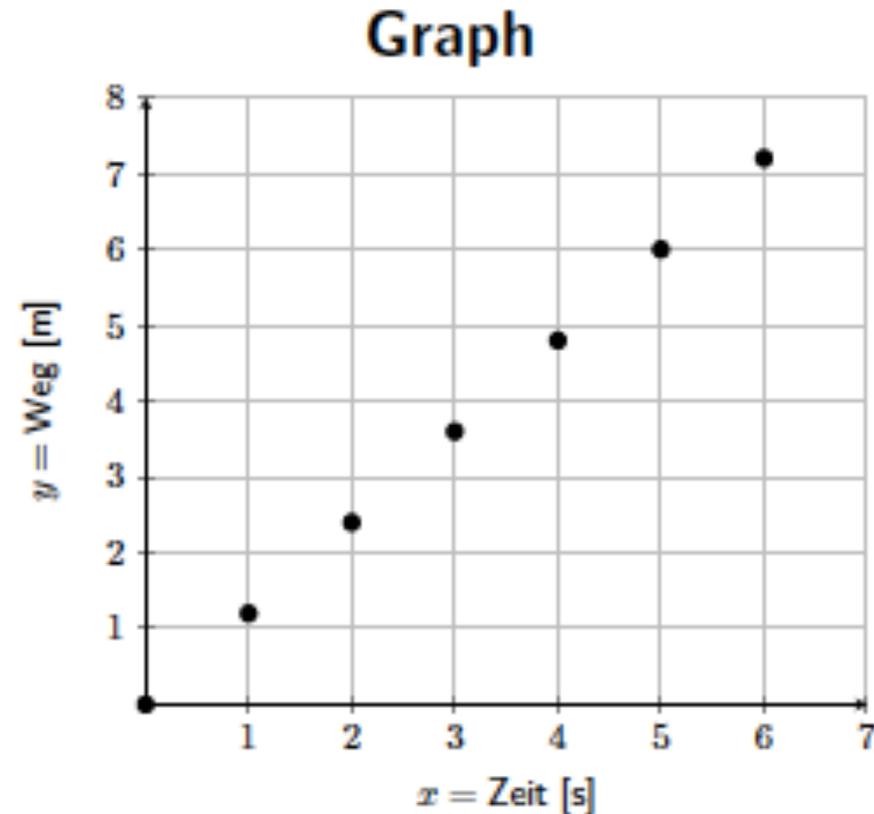
$$v = VS/(K_M+S)$$

Auswertungen

Einfachster Fall: 2 Messgrößen

- z.B. Zeit, t , und zurückgelegte Strecke, s
- Häufig: Experimenteller Parameter (t) und Observable (s)

Zeit (s)	Weg (m)
0	0
1	1.2
2	2.4
3	3.6
4	4.8
5	6
6	7.2



Auswertungen

Graphen lassen sich durch Kurven beschreiben

Einfachster Fall: Gerade

Kurven werden durch Funktion f beschrieben

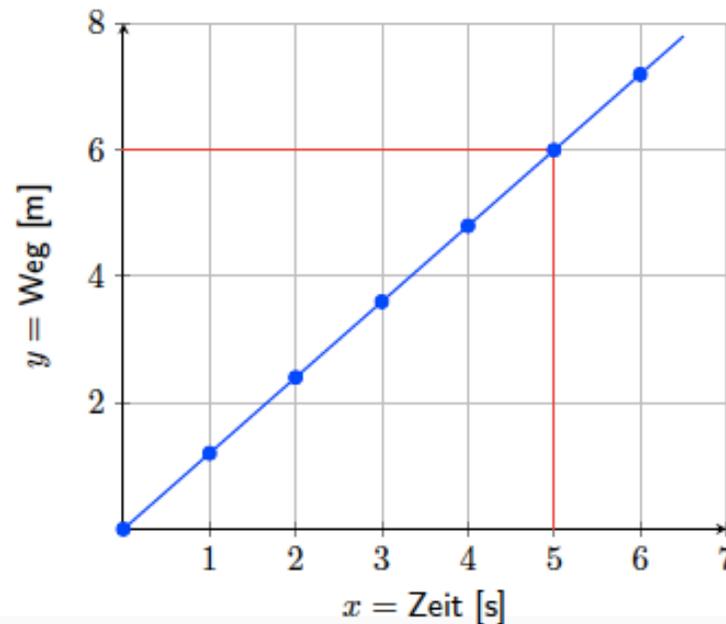
$$y = f(x)$$

Gerade:

$$f(x) = a \cdot x$$

Hier:

$$s(t) = v \cdot t$$



z.B.

$$s(5 \text{ s}) = 6 \text{ m}$$

Auswertungen

Graphen lassen sich durch Kurven beschreiben

Einfachster Fall: Gerade

Kurven werden durch Funktion f beschrieben

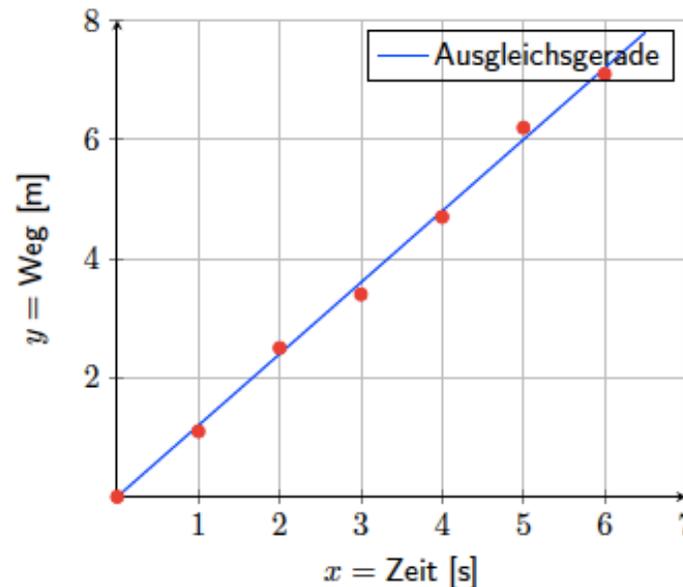
$$y = f(x)$$

Gerade:

$$f(x) = a \cdot x$$

Hier:

$$s(t) = v \cdot t$$



Bei einem Experiment
nie einfach die Punkte
des Graphens aller
Messwerte verbinden,
sondern **interpolieren**
und so die
Ausgleichsgerade
finden!

Auswertungen

Lineare Funktion

Allgemeine Geradengleichung

$$f(x) = y = a \cdot x + b$$

b : y -Achsenabschnitt ($f(0) = b$)

Sonderfall: $b = 0$ Proportionalität

$$y \propto x$$

a : Proportionalitätsfaktor

Auswertungen

Definition der Steigung:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x}$$

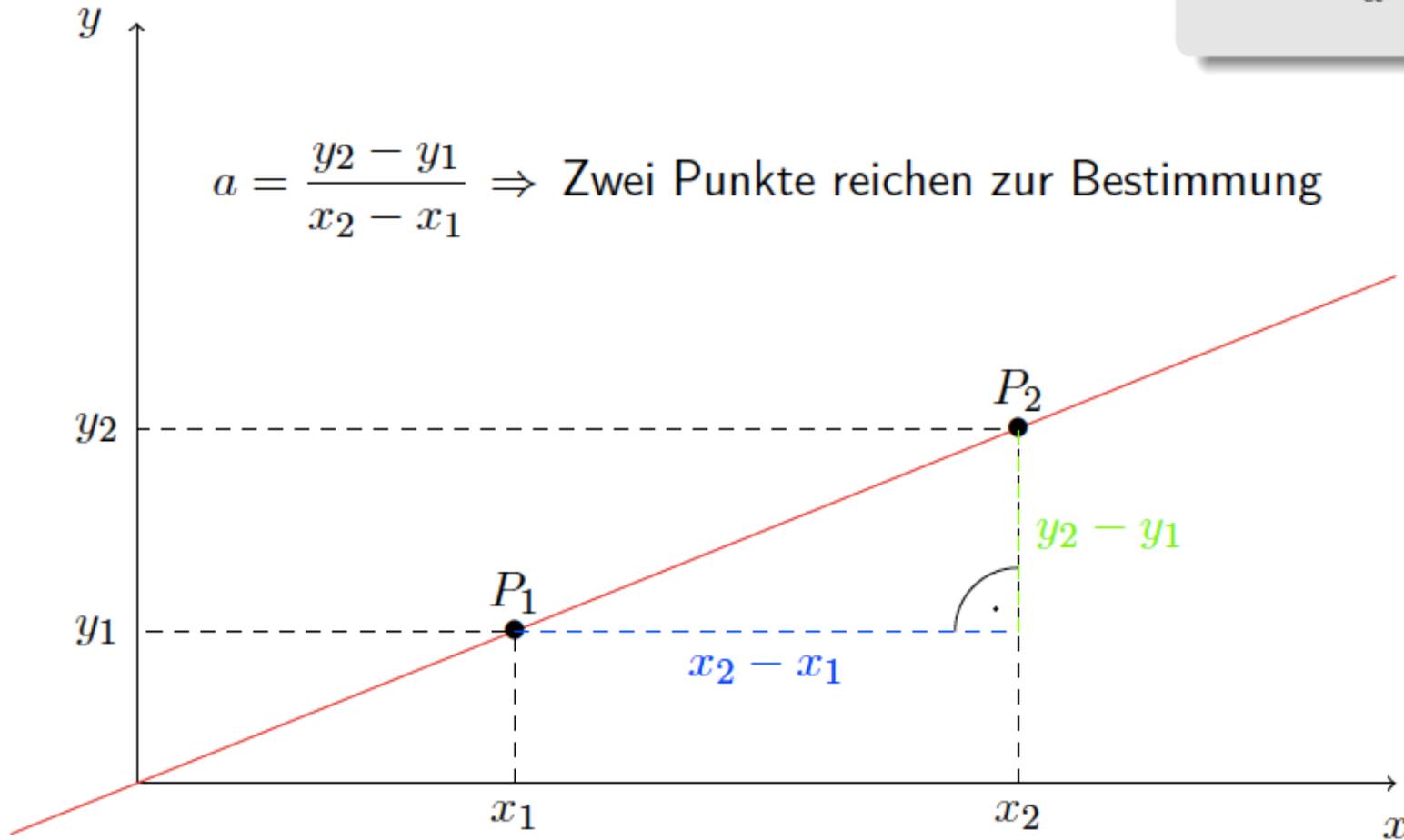
Steigerung einer Geraden

Für eine Gerade:

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

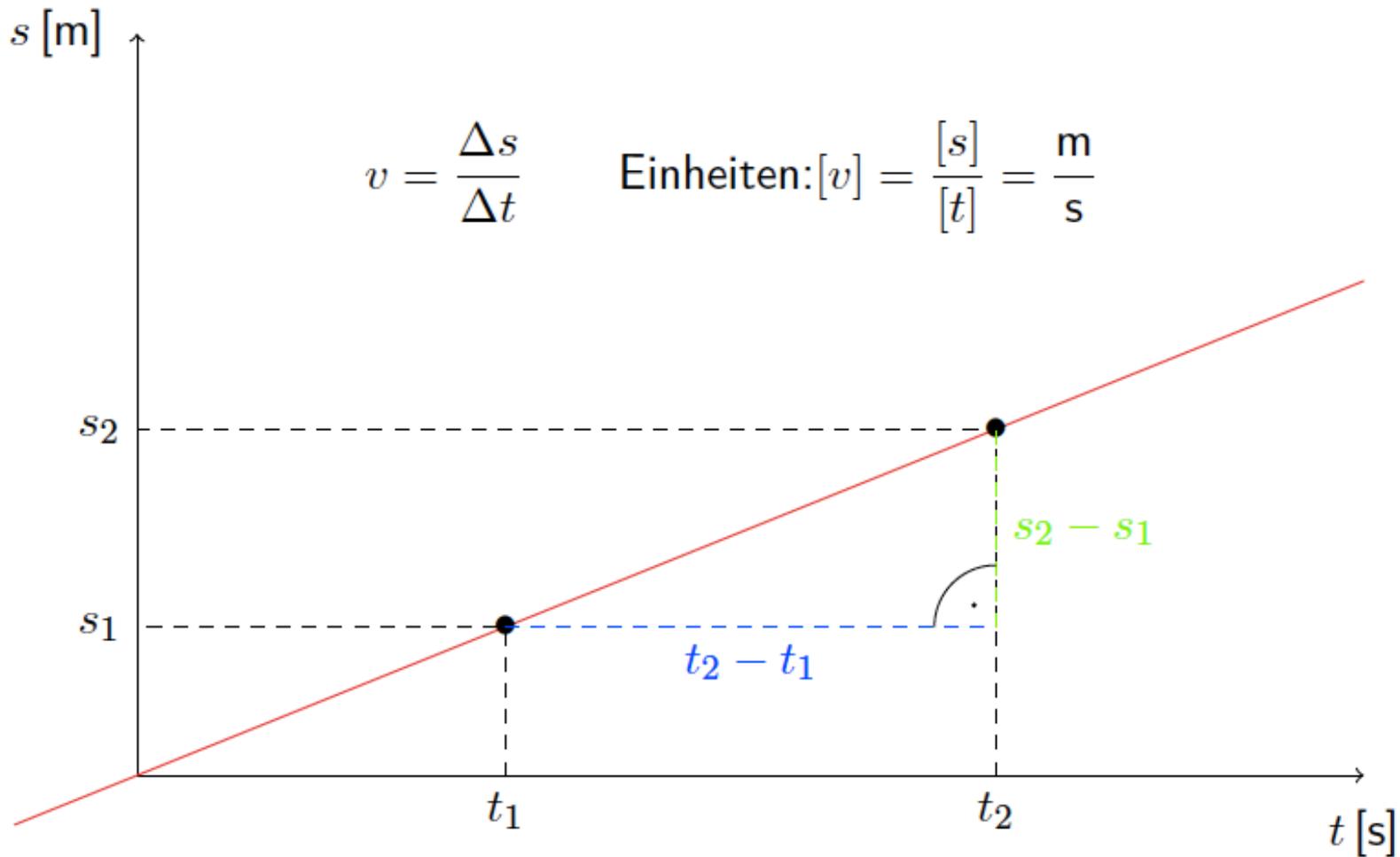
Steigung $a = \frac{\Delta y}{\Delta x}$

$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \Rightarrow$ Zwei Punkte reichen zur Bestimmung

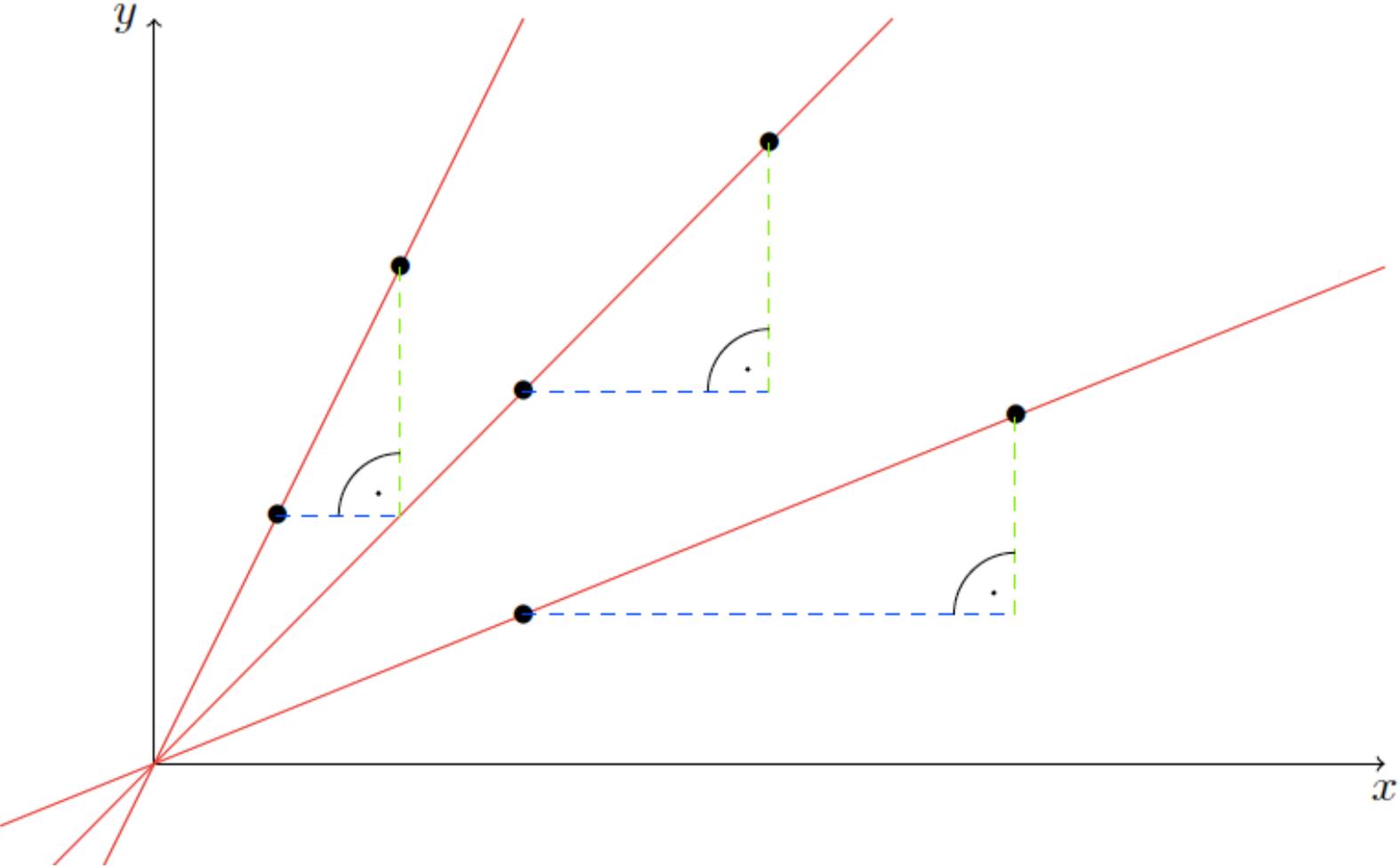


Geschwindigkeit = $\frac{\text{Zurückgelegter Weg}}{\text{Benötigte Zeit}}$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{Einheiten: } [v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Gerade unterschiedlicher Steigung



Negative Steigung

