

Physik für (Zahn-)Mediziner und Pharmazeuten

Wintersemester 2007/08

Prof. Dr. Andre Melzer

Prof. Dr. Lutz Schweikhard

Institut für Physik

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Tel. (Skr.) 03834-86-4700

17./18 Okt. 2007 Einführung

Vorlesung

im Wintersemester 2007/08

Mittwochs 8 bis 10 bzw. 10 bis 12, sowie
donnerstags 10 bis 11 bzw. 9 bis 10

Abschluss mit Eingangstestat

(Zahn-)mediziner: voraussichtlich im Internet

Pharmazeuten: voraussichtlich Multiple Choice-Test (in der letzten Vorlesungswoche)
für das

Praktikum

im Sommersemester 2008

Hinweis: Für die (Zahn-)Mediziner beginnt das
Praktikum mit einem Block in der vorlesungsfreien Zeit

Abschluss mit einer schriftlichen Prüfung über den Stoff von
Vorlesung und Praktikum am Ende des Sommersemesters
(Zugangsvoraussetzung: Bestehen des Praktikums!)

**Haas: „Physik für Pharmazeuten und Mediziner“,
Wissensch. Verlagsges., Stuttgart, 6. Aufl., 2002**

Trautwein/Kreibig/Oberhausen: „Physik für Mediziner“, deGruyter, Berlin

Kamke/Walcher: „Physik für Mediziner“, Teubner, Stuttgart

Harten: „Physik für Mediziner“, Springer-Verlag

Jahrreiß/Neuwirth: „Einführung in die Physik“, Deutscher Ärzte-Verlag

Seibt: „Physik für Mediziner“, Chapman & Hall

Hellenthal: „Physik für Mediziner und Biologen“, Wissensch. Verlagsges., Stuttgart

Fercher: „Medizinische Physik“, Springer-Verlag

Schulbücher, Schülerduden, „Tafelwerk“, dtv-Atlas Physik Bd. 1&2, ...

Lexika, www.wikipedia.de, Google.de, ...

Bücher „für Bachelor- und Nebenfachstudium“,

z.B. Halliday Physik, Bachelor Edition, 2007

**Ulrich Haas: „Physik für Pharmazeuten und Mediziner“,
Wissensch. Verlagsges., Stuttgart, 6. Aufl., 2002
ISBN-10: 380471823X, ISBN-13: 978-3804718234
54,- €**

Im Paket mit CD „Pharma-Trainer“ (gibt es nicht einzeln!) 59,- €

Insgesamt angelehnt an die
**Gegenstandskataloge (gkg) für den Ersten Abschnitt der
Pharmazeutischen Prüfung bzw. für die Ärztliche Vorprüfung**
(<http://www.impp.de/index.php?id=11>)

Bitte **Einleitung** und **Grundlagen der Physik, [...]** anschauen!
(für Pharmazeuten: S. 45-63, <http://www.impp.de/pdf/gkp.pdf>)

Wird herausgegeben vom **IMPP** (www.impp.de),
Institut für Medizinische und Pharmazeutische Prüfungsfragen.

Für Pharmazeuten: Eine kostenlose CD mit Aufgaben/Lösungen der
letzten Jahre gibt es auch von **ratiopharm.**

aus Einführung des gkg ... pharm. Prüf. 1

Für das Erfassen naturwissenschaftlich-technischer Zusammenhänge sind einige mathematische Kenntnisse und Fertigkeiten im Umgang mit einfachen Formeln erforderlich. Aus der Mathematik-Ausbildung in der Sekundarstufe sollten sie in der Regel bei Studienaufnahme vorhanden sein; ...

A Allgemeine Grundlagen und elementare Funktionen

1. Grundrechnungsarten, Bruchrechnung und Potenzrechnung
2. Einfache Funktionen und deren graphische Darstellung: Potenzfunktion (auch Wurzelfunktion), Winkelfunktion, Exponentialfunktion
3. Dekadischer und natürlicher Logarithmus
4. Anwendung linearer und logarithmischer Darstellung (lin. und log. Koordinaten)

B Vektoren

1. Addition und Komponentenzerlegung von Vektoren (graphisch)
2. Skalarprodukt (Prinzip)
3. Vektorprodukt

C Differentialrechnung

1. Geometrische Bedeutung des Differentialquotienten
2. Differentiation der unter A 2. genannten Funktionen

D Integralrechnung

1. Geometrische Bedeutung des Integrals
2. Integration als Umkehrung der Differentiation (Prinzip)

Mathematik

„Keine menschliche Forschung kann man wahre Wissenschaft heißen, wenn sie ihren Weg nicht durch die mathematische Darlegung und Beweisführung hin nimmt. Sagst du, die Wissenschaften, die von Anfang bis zum Ende im Geiste bleiben, hätten Wahrheit, so wird dies nicht zugestanden, sondern verneint aus vielen Gründen, und vornehmlich deshalb, weil bei solchem reingeistigen Abhandeln die Erfahrung (oder das Experiment) nicht vorkommt; ohne dies aber gibt sich kein Ding mit Sicherheit zu erkennen.“

Leonardo da Vinci, 1452 - 1519

„Ohne Mathematik lassen sich die Naturwissenschaften weder verstehen noch erklären, weder lehren noch erlernen.“

Roger Bacon, ca. 1214 - 1292

„Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben.“

Galileo Galilei, 1564 - 1642

Mathematik-Bücher

„Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben.“
Galileo Galilei (erster „Experimentalphysiker“, 1564 – 1642)

=> Wiederhole (oder lerne endlich ;-) Mathe!

(Vieles ist „nur“ Rechnen!)

Werner Poguntke

Keine Angst vor Mathe, Hochschulmathematik für Einsteiger
2. Aufl., 2006, Teubner

bzw. viele weitere Titel:

„Mathematik-Vorkurs“, „Mathematischer Vorkurs“, „Brückenkurs
Mathematik“, „Starthilfe Mathematik“, ...

Kurzfassungen oft in Anhängen von Physikbüchern!

Schulbücher, Schülerduden, „Tafelwerk“, dtv-Atlas Physik Bd. 1&2, ...
Lexika, www.wikipedia.de, Google.de, ...

aus Einführung des gkg ... pharm. Prüf. 2

Im allgemeinen werden Zahlenwerte von Konstanten in den Prüfungsaufgaben mit der für die Rechnung erforderlichen Genauigkeit angegeben, einige sollten aber bekannt sein (Allgemeinwissen für einen Naturwissenschaftler). Sie sind in der folgenden Liste zusammengestellt. Soweit im Aufgabentext nicht ausdrücklich anders angegeben, ist die Genauigkeit dieser gerundeten Werte hinreichend:

A Reine Zahlenwerte

π	\approx	3,14
π^2	\approx	10
e	\approx	2,7
1/e	\approx	0,37
$\sqrt{2}$	\approx	1,4

B Physikalische Größen

1. Fallbeschleunigung g	\approx	$9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
zur Abschätzung reicht hier:	\approx	$10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
2. Dichte des Wassers	\approx	$1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
3. Absoluter Nullpunkt	=	$0 \text{ K} \approx -273 \text{ }^\circ\text{C}$
4. Schmelzenthalpie von Wasser	\approx	$330 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$
5. Verdampfungsenthalpie von Wasser	\approx	$2200 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$
6. Allgemeine Gaskonstante R	\approx	$8,3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
7. Elementarladung	\approx	$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
8. Faraday-Konstante F	\approx	$96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
9. Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	\approx	$3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
10. Avogadro-Konstante N_A	\approx	$6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
11. Molvolumen V_m	\approx	$22,4 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1}$

$\sin 0$	=	$\cos 90^\circ$	=	0
$\sin 90^\circ$	=	$\cos 0$	=	1
$\sin 30^\circ$	=	$\cos 60^\circ$	=	0,5
$\tan 45^\circ$	=	1		

Lernmaterialien allgemein

„Nobody is perfect“

Das gilt für
die mündliche Rede,
an der Tafel Skizziertes,
elektronische Präsentationenn ;-),
Skripte, Bücher, ...

Daher: Nicht alles glauben!

Dazu kommt:

Es gibt unterschiedliche Voraussetzungen und verschiedene Lernstile.

Nicht jedes Buch (allg. Lernmaterial) ist für jeden gleich gut geeignet!

Daher: Suche das jeweils Beste am Besten selbst!

(in der Bibliothek/Buchhandlung, im Internet,
bei „höheren Semestern“, ...)

„Nobody is perfect.“

Daher: Nicht alles glauben!

Die vorliegende Präsentation beruht auf
einer Bearbeitung von Vorlesungsfolien von

Prof. Dr. Andre Melzer (Inst. f. Physik, Univ. Greifswald)

im Rahmen der Mediziner Ausbildung

Trotzdem bin ich für die Fehler natürlich immer selbst verantwortlich!

Inhalt ohne Gewähr !

L.S.

Physik, Versuch einer Definition

Physik ist die Wissenschaft vom **Aufbau** und der **Bewegung** der (unbelebten wie belebten) Materie, den **Kräften**, die die Bewegung hervorrufen, und den **Feldern**, die die Kraftwirkungen vermitteln

„**Klassische Physik**“
(bis etwa 1900)

- **Mechanik**
- **Wärmelehre**
- **Elektrizitätslehre**
- **Optik**
-



„**Moderne Physik**“:

- **Quantenphysik (1900: Max Planck)**
- **Spez./allg. Relativitätstheorie (1905/1915: Albert Einstein)**

Plasmaphysik

Astrophysik/Kosmologie

Nichtlineare Systeme

Festkörperphysik

Atomphysik

Kernphysik

und viele mehr...

Molekülphysik

(grobe) Übersicht

- Einleitung
- Mechanik
 - „Punktmechanik“, starrer Körper
 - Mechanik der Kontinua (Flüssigkeiten, Gase)
- Schwingungen und Wellen (Akustik)
- Wärmelehre (Thermodynamik)
- Elektrizität und Magnetismus
- Optik
- Atom- und Kernphysik

Beachte:

- Die Übergänge sind oft fließend.

Beispiel: Schwingungen und Wellen kommen in der Akustik und bei „Elektrizität und Magnetismus“ vor.

- Bei Erklärungen der Phänomene wird zwischen klassischer (makroskopischer) und mikroskopischer Beschreibung hin- und hergesprungen.

Warum Physik für „Nicht-Physiker“?

Am Beispiel der Medizin

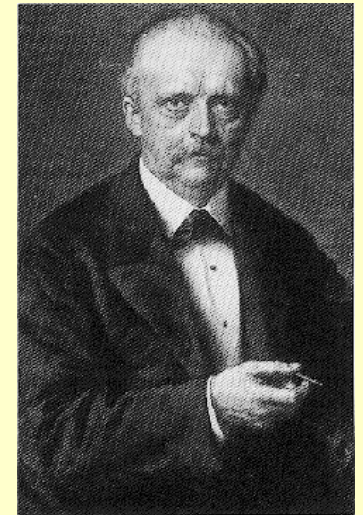
Die Medizin

war zu jeder Zeit eng verbunden mit physikalischen, chemischen und biologischen,

naturwissenschaftlichen Erscheinungen

Teil der allgemeinen **Lehre von der Natur**.
Siehe z.B. im 19. Jhdt.:

H. v. Helmholtz	1821-1894	Augenspiegel
R. Mayer	1814-1878	Energiesatz
J.L.M. Poiseuille	1799-1869	Blutströmung
J.W. v. Goethe	1749-1832	anatomische und physikalische/(sinnes-) physiologische Studien (Farbenlehre)



Warum Physik für „Nicht-Physiker“?

Insb. ab Mitte des 19. Jhdt. zunehmend Verzicht auf die Beschreibung des Lebenden (d.h. der speziellen Phänomene des Lebens; die Anwendbarkeit auf Lebewesen bleibt dabei erhalten!)

Vereinfachung bei der Beschreibung von Naturvorgängen

gleichzeitig Übergang von einer phänomenologischen (qualitativen: groß/klein; komperativen: größer/kleiner) zur quantitativen Beschreibung (3,5 km; 5,2 mm)

Spezialisierung (in Mechanik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre, Optik, ...)

Aber:

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Naturwissenschaften einschließlich der Medizin existieren nur im **Makroskopischen** und verschwinden im **Mikroskopischen**

Anwendungsbeispiele

Wieder am Beispiel der Medizin

Diagnostik- und Therapieverfahren

- Ultraschall
- Thermographie
- EKG, EEG, EMG, ERG, MEG, MKG,...
- Diathermie
- Elektrostimulation
- Elektrophorese
- Mikroskopieverfahren
- Laserchirurgie
- Röntgentherapie, -diagnostik, -strukturanalyse
- Computertomographie
- Kernspintomographie (Nobelpreis 2003, „Magnetic Resonance Imaging“)
- radioaktive „Tracer“(-Isotope)
- Positronen-Emissions-Tomographie
- ...

Physikalische Arbeitsmethoden

Induktive Methode:

von Einzelercheinungen zum allgemeinen Gesetz

(Vollst. Induktion nur in der Mathematik; in Naturwiss. keine „Beweise“
Experimente führen zu (Falsifikation oder) Bestätigung, keine Verifikation.)

Deduktive Methode:

vom allgemeinen Gesetz oder Axiom zu den Einzelercheinungen

Induktive Methode:

Beobachtung eines Vorgangs



Experiment zur qualitativen und quantitativen Untersuchung des Vorgangs



Modell zur Beschreibung des Vorgangs (und evtl. weiterer)



Gesetz (Verallgemeinerung auf ähnliche Fälle)

Kapitel: Grundlagen der Physik, der physikalischen Chemie und der Arzneiformenlehre

1 Allgemeines

1.1 Physikalische Größen und Einheiten

1.1.1 Physikalische Größen: Darstellung mittels Einheit und Maßzahl

1.1.2 Einheiten: Kenntnis der 7 Basisgrößen und Basiseinheiten des SI (Système International d'Unités); abgeleitete Einheiten: Zusammenhang mit den Basiseinheiten über die Definitionsgleichung der abgeleiteten Größe; in Literatur und Praxis verbreitete Einheiten aus anderen Maßsystemen, z.B.: °C, eV, bar, cal

1.1.3 Vielfache und Bruchteile von Einheiten: Vorsätze für dezimale Teile und Vielfache

1.1.4 Skalare und vektorielle Größen: Unterscheidung; Einordnung der von dieser Prüfungsstoffsammlung abgedeckten physikalischen Größen

Physikalische Größen 1

Physikalische Größe a ist Produkt aus Zahlenwert $\{a\}$ und der Einheit $[a]$.

$$a = \{a\} \cdot [a]$$

Beispiel: $l = 35 \text{ km}$, also $\{a\} = 35$ und $[a] = \text{km}$

physik. Größe Länge (l)

Abk. *kursiv*

Zahlenwert: 35

Vorsatz k

Einheit Meter (m)

Abk. nicht kursiv

SI-System:

Basisgröße	Einheit	Symbol	Vorsatz	Symbol	Faktor
Länge	Meter	m	nano	n	$10^{-9}=1/1.000.000.000$
Zeit	Sekunde	s	mikro	μ	$10^{-6}=1/1.000.000$
Masse	Kilogramm	kg	milli	m	$10^{-3}=1/1000$
Temperatur	Kelvin	K	centi	c	$10^{-2}=1/100$
Stromstärke	Ampere	A	hekto	h	$10^2=100$
Stoffmenge	Mol	mol	kilo	k	$10^3=1000$
Lichtstärke	Candela	cd	mega	M	$10^6=1.000.000$
			giga	G	$10^9=1.000.000.000$

Vorsätze und griechisches Alphabet

„Hausaufgaben“:

- Wie heißen die Vorsätze für noch größere und noch kleinere Zehnerpotenzen?
- Wie heißen und wie schreibt man die Buchstaben des griechischen Alphabets?

Griechisches Alphabet

Name	Zeichen	Name	Zeichen	Name	Zeichen
Alpha	A, α	Iota	I, ι	Rho	P, ρ
Beta	B, β	Kappa	K, κ	Sigma	Σ , σ
Gamma	Γ , γ	Lambda	Λ , λ	Tau	T, τ
Delta	Δ , δ	My	M, μ	Ypsilon	Y, υ
Epsilon	E, ϵ	Ny	N, ν	Phi	Φ , ϕ
Zeta	Z, ζ	Xi	Ξ , ξ	Chi	X, χ
Eta	H, η	Omikron	O, o	Psi	Ψ , ψ
Theta	Θ , ϑ	Pi	Π , π	Omega	Ω , ω

Zusammengesetzte Größen

Beispiele von (aus Basisgrößen) zusammengesetzte Größen:

Geschwindigkeit: Weg (besser Ortänderung) pro Zeit

Ableitung der Ortsfunktion nach der Zeit

Beachte: Im Allg. sind Ort und damit auch

Geschwindigkeit Vektoren.

Unterscheide: Geschwindigkeit (velocity)

und Bahngeschwindigkeit (speed)

Beschleunigung: Geschwindigkeitsänderung pro Zeit

Siehe Bemerkungen bei Geschwindigkeit

Impuls: Masse mal Geschwindigkeit

Kraft: Masse mal Beschleunigung

Ableitung des Impulses nach der Zeit

Arbeit: Kraft mal „Weg“

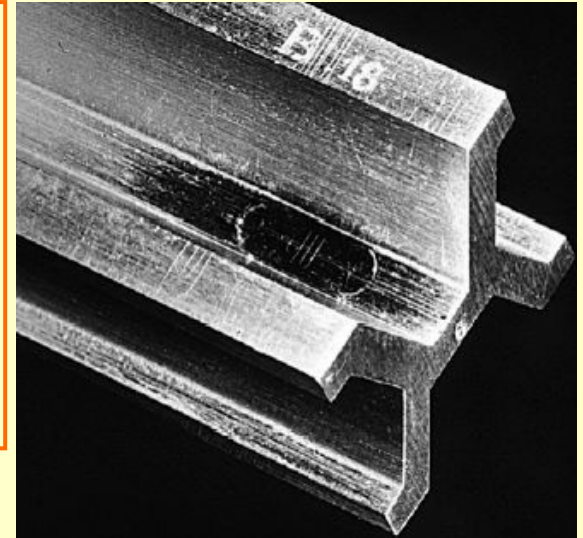
Beachte: Kraft und Ortsänderung sind Vektoren, daher Skalarprodukt;
und bei veränderlicher Kraft muss integriert werden.

Definition Meter und Sekunde

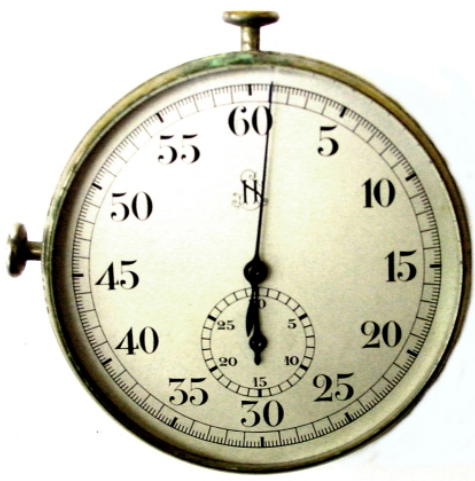
Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist eine zentrale Größe. Sie hat *per Definition* den **exakten** Wert **$c = 299\,792\,458$ m/s**.

Der Meter

(DAS Meter ist ein Messgerät, z.B. das Barometer, das Amperemeter, ...) ist definiert über die Sekunde und c als die Strecke, die Licht im Vakuum in $1/299.792.458$ Sekunden zurücklegt.



Alte Definition: Das Urmeter in Paris



6 cm

Eine Sekunde ist das 9.192.631.770-fache der Periodendauer der von Atomen des Nuklids ^{133}Cs ausgesandten Strahlung beim Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes

Größenordnungen Längen

Tab. 1.6 Einige typische Längen, ihre Größenordnung und Meßverfahren

10^{-15}	Kern-Durchmesser 10^{-15}	indirekte atomphys. Methoden (Streuung) Röntgenbeugung
10^{-12}	Atom-Durchmesser 10^{-10}	
10^{-9}		Elektronenmikroskopie
10^{-6}	Wellenlänge des sichtb. Lichts 10^{-6} Erythrozyten-Durchmesser 10^{-5}	
10^{-3}		Lichtmikroskopie
1		
		Bandmaße
10^3	Höhe des Mt. Everest 10^4	Trigonometrie
10^6	Erd-Durchmesser 10^7 Abstand Erde-Mond 10^9	
10^9		Laufzeit von Licht
10^{12}	Abstand Erde-Sonne 10^{12} Durchmesser des Sonnensystems 10^{13}	
10^{15}	Entfernung nächster Fixsterne 10^{17}	indirekte astrophys. Methoden (Rot-Versch.)
10^{18}		
10^{21}	Durchmesser der Milchstraße 10^{21}	
10^{24}	weiteste sichtbare Galaxis 10^{26}	

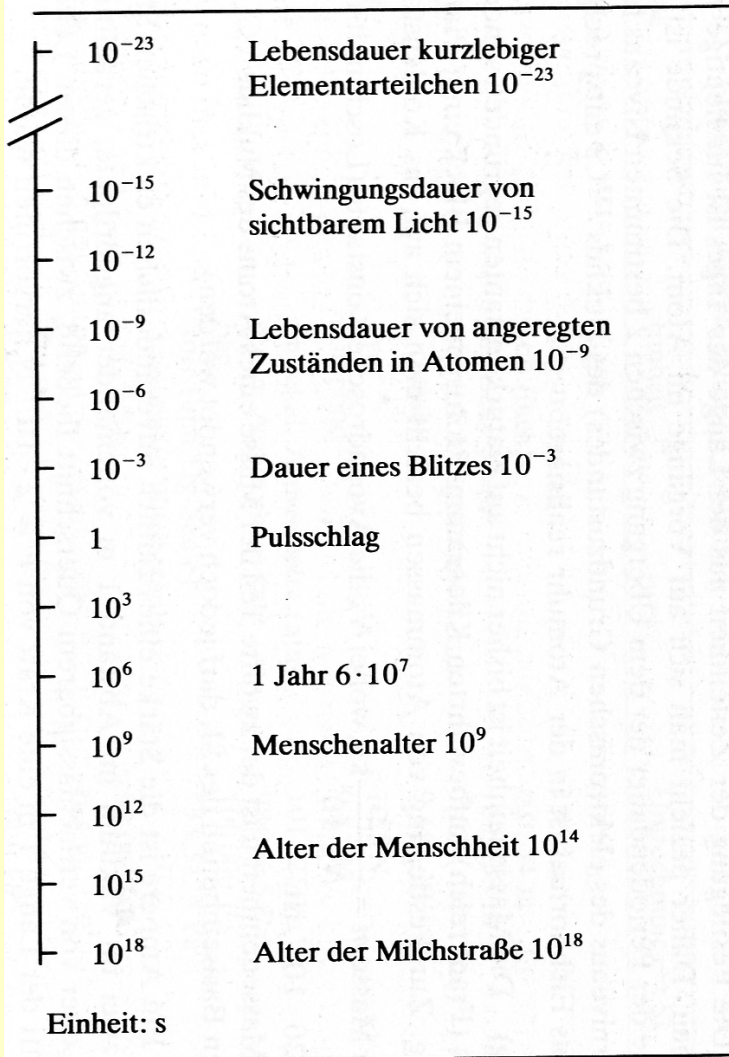
Einheit: m

17./18. Okt. 2007 Experimente

- Meßgeräte zur Bestimmung von Länge, Fläche etc.
- Zeitmessung auf Luftkissenbahn
- s-t-Diagramme
- Freier Fall: Fallröhre, Fallversuch
- Grundgesetz der Mechanik: $F = m a$
Messung der Beschleunigung bei unterschiedlicher Kraft bzw. Masse

Größenordnungen Zeiten und Massen

Tab. 1.7 Zeitdauern und ihre Größenordnung

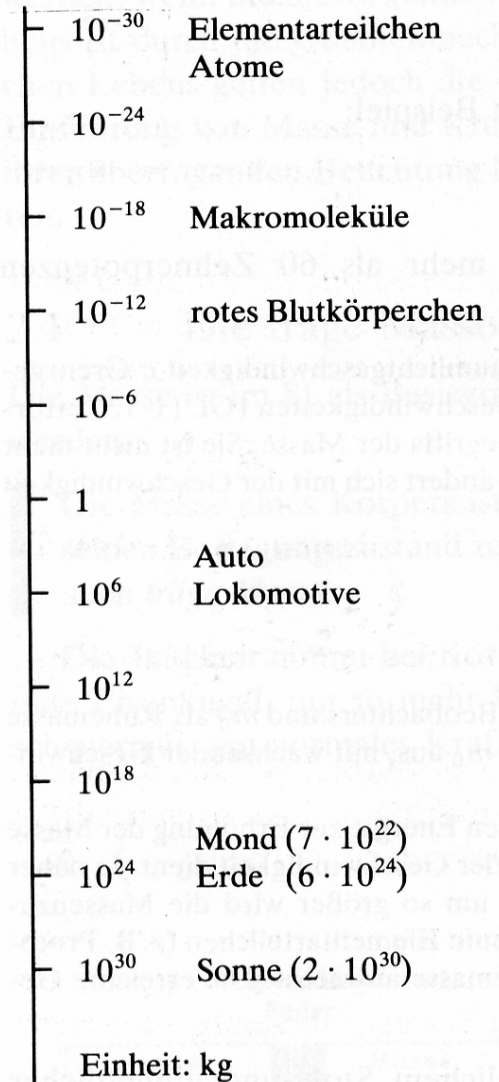


10^{-23}	Lebensdauer kurzlebiger Elementarteilchen 10^{-23}
10^{-15}	Schwingungsdauer von sichtbarem Licht 10^{-15}
10^{-12}	
10^{-9}	Lebensdauer von angeregten Zuständen in Atomen 10^{-9}
10^{-6}	
10^{-3}	Dauer eines Blitzes 10^{-3}
1	Pulsschlag
10^3	
10^6	1 Jahr $6 \cdot 10^7$
10^9	Menschenalter 10^9
10^{12}	
10^{15}	Alter der Menschheit 10^{14}
10^{18}	Alter der Milchstraße 10^{18}

Einheit: s

Zeiten

Tab. 2.1 Massen



10^{-30}	Elementarteilchen Atome
10^{-24}	
10^{-18}	Makromoleküle
10^{-12}	rotes Blutkörperchen
10^{-6}	
1	
10^6	Auto Lokomotive
10^{12}	
10^{18}	
10^{24}	Mond ($7 \cdot 10^{22}$) Erde ($6 \cdot 10^{24}$)
10^{30}	Sonne ($2 \cdot 10^{30}$)

Einheit: kg

Massen

Am Beispiel des Fallgesetzes:

Größengleichungen:

$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

g = Beschleunigung fallender Körper
in der Nähe der Erdoberfläche
(ca. 10 m/s^2 , „9,81 m/s^2 “)

Zahlenwertgleichungen:

$$s = 4,905 \cdot t^2$$

Vorsicht!!! Nur gültig bei Verwendung bestimmter Einheiten,
hier: t in Sekunden und s in Metern

- Dieser Gleichungstyp wird in der Physik möglichst vermieden.
- Zahlenwertgleichungen können bei Bedarf mithilfe der entsprechenden Konstanten aus den Größengleichungen leicht abgeleitet werden.

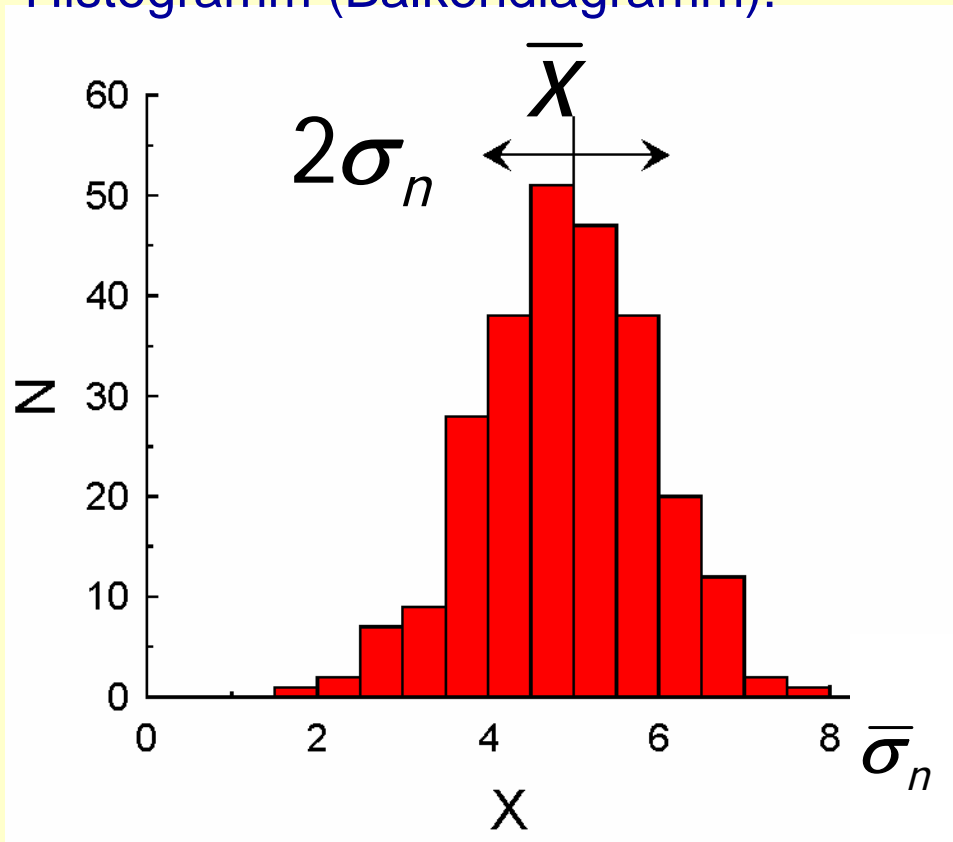
Messunsicherheiten/ „Fehlerrechnung“

(**Grober Fehler:** z.B. Verletzung der Meßvorschriften)

Messunsicherheiten ergeben sich durch

- **Systematische Abweichungen:** treten immer in bestimmter Richtung auf
- **zufällige Abweichungen:** Richtung und Betrag statistisch verteilt

Histogramm (Balkendiagramm):



Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

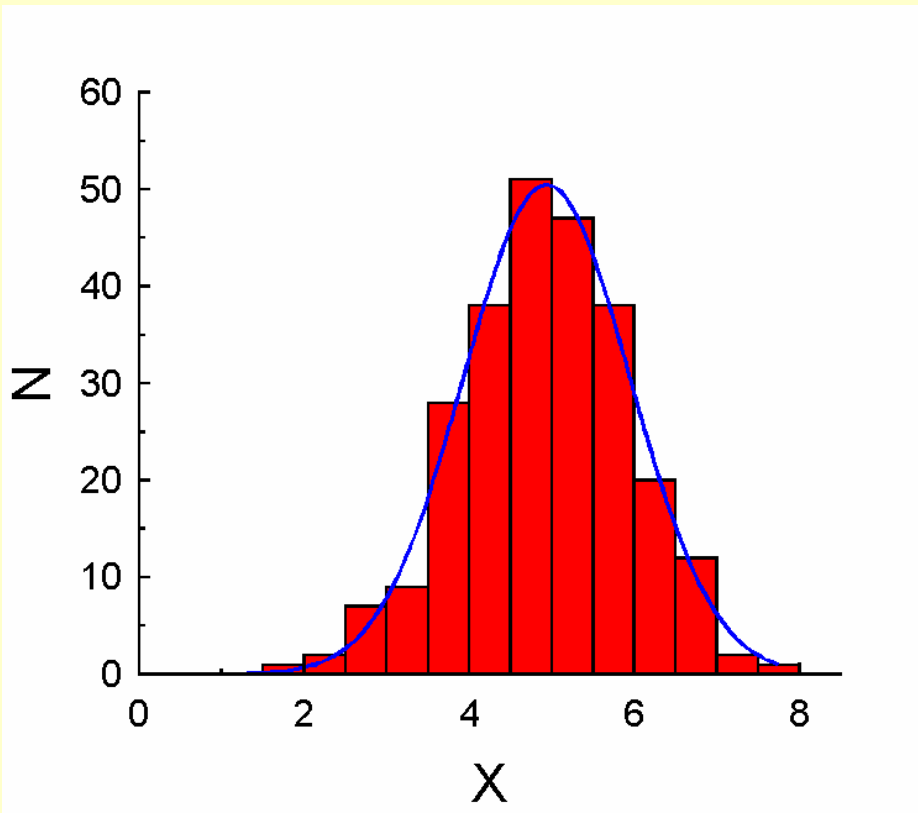
Standardabweichung

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Standardabweichung des Mittelwerts

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sigma_n}{\sqrt{n}}$$

Gauß-Verteilung



Die Definitionen der vorhergehenden Folie sind insb. sinnvoll bei der häufig auftretenden Gaußverteilung

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right)$$

Siehe auch die Formel auf den alten Zehn-Mark-Scheinen!

$$[\bar{x} - 1\sigma, \bar{x} + 1\sigma]$$



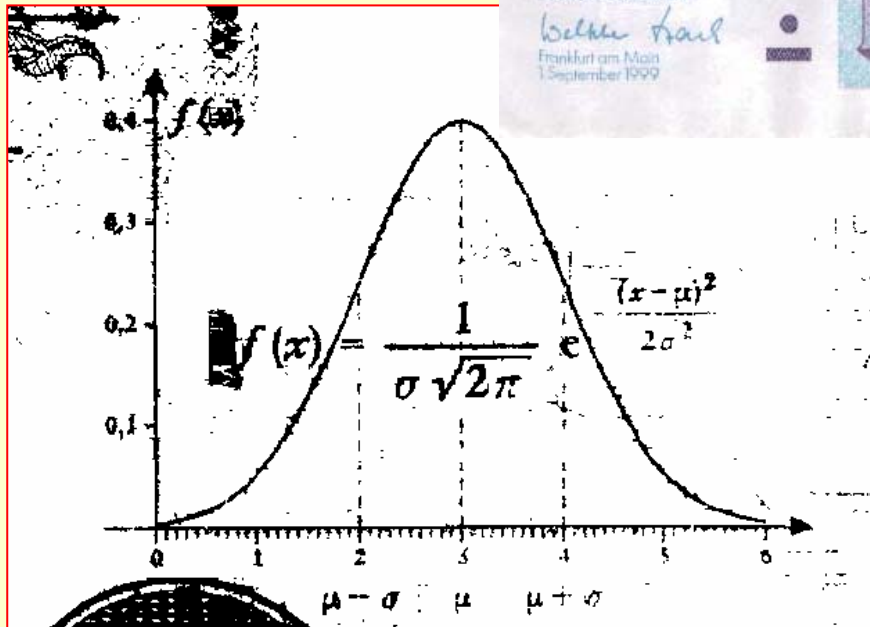
ca. 68 % statistische Sicherheit

$$[\bar{x} - 1.96\sigma, \bar{x} + 1.96\sigma]$$



ca. 95 % statistische Sicherheit

Gauß auf 10-DM-Schein



Gaußsche
„Glockenkurve“

„Fehlerfortpflanzung“

Auch wenn dies oft übergangen wird (auch in dieser Vorlesung):
Jede Messgröße hat eine Messunsicherheit, oft angegeben mit einem „Sigma-Wert“. Wenn nun mehrere Messgrößen zu einem neuen Wert kombiniert werden, stellt sich die Frage nach der Unsicherheit des Kombinationswertes. Bei Gauß-Verteilungen gilt:

zu bestimmende Größe

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

mit Unsicherheiten $\sigma_1, \dots, \sigma_k$
der Eingangsgrößen x_1, \dots, x_k

$$f(x_1 \pm \sigma_1, x_2 \pm \sigma_2, \dots, x_k \pm \sigma_k)$$

Unsicherheit der zu bestimmenden Größe

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_k}\right)^2 \sigma_k^2}$$

Gaußsches „Fehlerfortpflanzungsgesetz“

1.2 Physikalische Messungen

(wird insb. im Physikalischen Praktikum behandelt)

1.2.1 Graphische Darstellungen: Anfertigung, Gebrauch und Auswertung graphischer Darstellungen; Anwendung linearer und logarithmischer Skalen

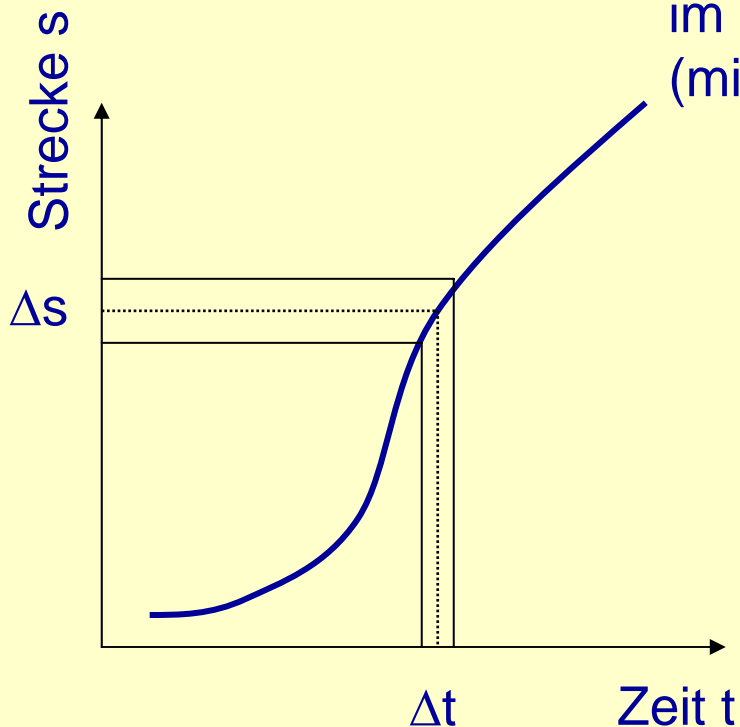
1.2.2 Unsicherheiten, Fehler: Unsicherheiten von Messungen, systematische Fehler, zufällige Fehler, Unsicherheiten bei Zählungen statistischer Ereignisse (s.a. PhAna 1.2.2)

1.2.3 Auswertung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten: Graphische Darstellung mit Unsicherheitsbalken; absolute und relative Unsicherheiten (Fehler); Bestimmung der maximalen Unsicherheit einer aus mehreren Messgrößen zusammengesetzten Größe aus den einzelnen Messfehlern; arithmetischer Mittelwert bei Messreihen

1.2.4 Messgeräte und ihr Gebrauch: Gebrauch von Maßstäben, Messschiebern (Schieblehren), Uhren, Zählern, Thermometern, Manometern, Messgeräten für elektrische Stromstärke und Spannung, Oszilloskopen; Messunsicherheit bei digital anzeigenden Messgeräten

Kinematik 1

Kinematik ist die Lehre von den Bewegungen im Raum unter Absehung von den Kräften.
(mit Kräften „Dynamik“, folgt in Kürze!)



$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

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

Translation:

„Strecke“, besser: Ort (in m)

Geschwindigkeit (in m/s)

Beschleunigung (in m/s²)

s

$$v = \frac{ds}{dt}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}$$

Translation (Bewegung von einem Ort zum anderen):

„Strecke“, besser: Ort (in m)

Geschwindigkeit (in m/s)

Beschleunigung (in m/s²)

$$s$$
$$v = \frac{ds}{dt}$$
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$$

analog

Rotation (Drehbewegung um eine Achse):

Winkel (in rad)

Winkelgeschwindigkeit (in rad/s)

Winkelbeschleunigung
(in rad/s²)

$$\phi$$
$$\omega = \frac{d\phi}{dt}$$
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\phi}{dt^2}$$

Bisherige Beschreibung der Bewegung eindimensional.
Tatsächlich finden die Bewegungen im dreidimensionalen Raum statt.
Das bedeutet für die

Translationen:

Es gibt jeweils drei Orts-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungskomponenten der entsprechenden Vektoren.

Man unterscheidet hier auch zwischen dem Vektor der Geschwindigkeit (engl. velocity) und seinem Betrag, der Bahngeschwindigkeit (engl. speed)

Rotationen:

Die entsprechenden Achsen (für Winkel, Winkelgeschwindigkeiten und –beschleunigungen) werden ebenfalls durch Vektoren ausgedrückt (die in ihren Richtungen nicht übereinstimmen müssen!)

2.2 Kraft, Drehmoment

- 2.2.1 Kräfte:** Vektorielle Addition von Kräften, Zerlegung einer Kraft in Komponenten vorgegebener Richtung (Kräfteparallelogramm)
- 2.2.2 Newton'sche Prinzipien:** Trägheitsprinzip; Zusammenhang zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung; Prinzip der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung (actio = reactio)
- 2.2.3 Kräfte und Bewegungen:** Einfache Beispiele (konstante Beschleunigung oder Verzögerung); Zusammenhang von Masse und Gewichtskraft, Fallbeschleunigung, freier Fall; Reibungskräfte (Richtung, Bremswirkung)
- 2.2.4 Drehmoment, Hebelgesetz:** Zusammenhang des Drehmoments mit Kraft und Hebelarm, Gleichgewichtsbedingung, Behandlung einfacher Beispiele, z.B. Hebel, Waage
- 2.2.5 Fliehkraft:** Betrag und Richtung der Zentrifugalkraft bei einer gleichförmigen Kreisbewegung (s.a. 2.5.7); Zentrifuge
- 2.2.6 Verformungen:** Zusammenhang zwischen Kraft und Längenänderung einer elastischen Feder (Federkonstante); plastische Verformungen
- 2.2.7 Dichte:** Dichte, relative Dichte, mittlere Dichte von Haufwerken (Pulvern); Porosität

Newton'sche Axiome

1. **Newton'sches Axiom:** Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der geradlinigen, gleichförmigen Bewegung, solange die Summe der einwirkenden Kräfte Null ist.
2. **Newton'sches Axiom:** Die Beschleunigung ist proportional der angreifenden Kraft,

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

Die Proportionalitätskonstante ist die Masse m .

Bemerkung: Hier ist die „träge Masse“ gemeint.

3. **Newton'sches Axiom:** *actio=reactio*; die Erfahrung zeigt, daß, wenn ein Körper A auf einen Körper B eine Kraft F_{AB} ausübt, der Körper B umgekehrt auch eine Kraft F_{BA} ausübt. Die Kräfte sind entgegengesetzt und gleich groß, also

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$



1642-1747

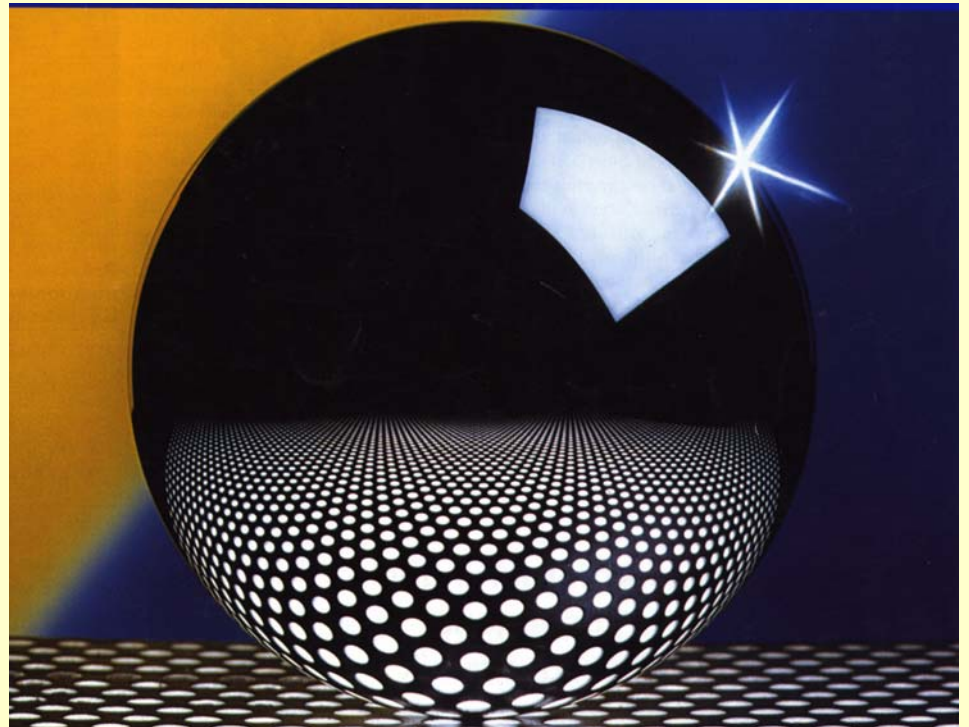
Massenstandard



Das Ur-Kilogramm im Bureau International des Poids et Mesures in Paris

Zylinder aus Pt-Ir-Legierung

Kugel aus
hochreinem,
einkristallinem
Silizium
→ Zählen von Atomen



$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \text{Gravitations-Gesetz}$$

$$\gamma = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$$

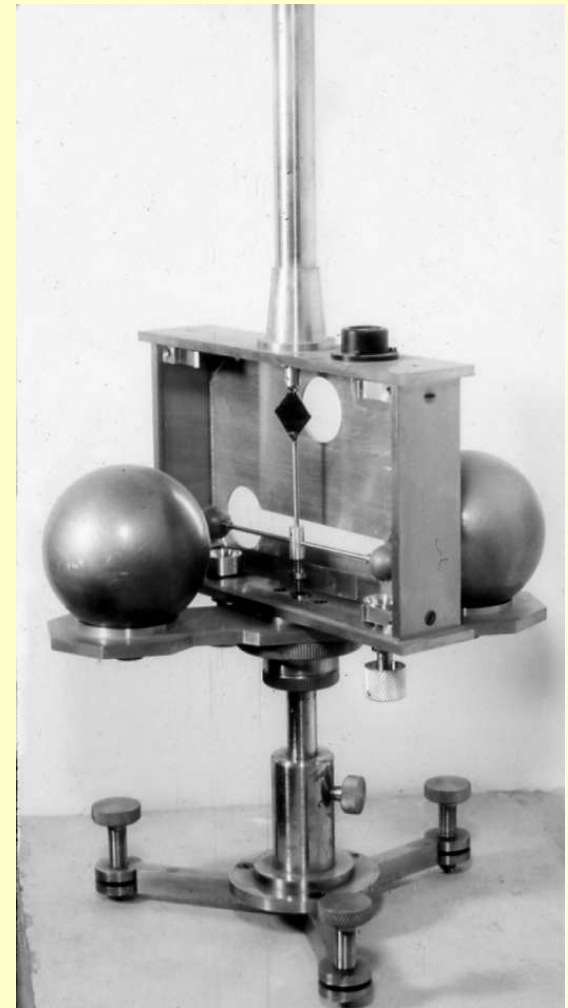
$$1 \text{ N (Newton)} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

Ein **Feld** ordnet jedem Punkt des Raumes eine bestimmte physikalische Größe zu.

Hier: Schwerefeld (der Erde)

Bemerkung:

Mit diesem Versuch wurde gamma und damit die Masse der Erde bestimmt!



„Gravitations-Waage“

Fallversuch 1

Kann die Reibung vernachlässigt werden, so gelten für alle Körper die gleichen Fallbeschleunigungen im Gravitationsfeld der Erde.

Newton: $F = m \cdot a = \gamma \frac{m \cdot m_{\text{Erde}}}{r^2}$

träge bzw. schwere Masse sind gleich
(Einstein, allg. Relativitätsth.)

Fallbeschleunigung
an der Erdoberfläche $g = \gamma \frac{m_{\text{Erde}}}{r_{\text{Erde}}^2} \approx 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Aus g , r_{Erde} und γ
folgt die Erdmasse!

Genauer Wert ist ortsabhängig!
(Abstand vom Erdmittelpunkt
plus „Zentrifugalkraft“)


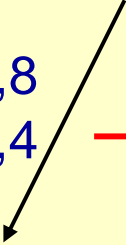

Fallversuch 2

Gemessen wird die Fallzeiten t für die Fallhöhen 0,2 m bzw. 0,8 m.

Die Bestimmung der Fallgeschwindigkeit v erfolgt nach der Beziehung $v = \Delta s / \Delta t$.

Hierbei ist Δt die Zeitspanne, die beim Verdunkeln der Lichtschranke durch den Fallkörper vergeht.

(Länge des Fallkörpers $\Delta s = 20$ mm)

s in m	0,2	0,8		
t in s	0,2	0,4		$\delta t = 0,2$ s
Δt in ms	10	5		
v in m/s	2	4		$\delta v = 2$ m/s

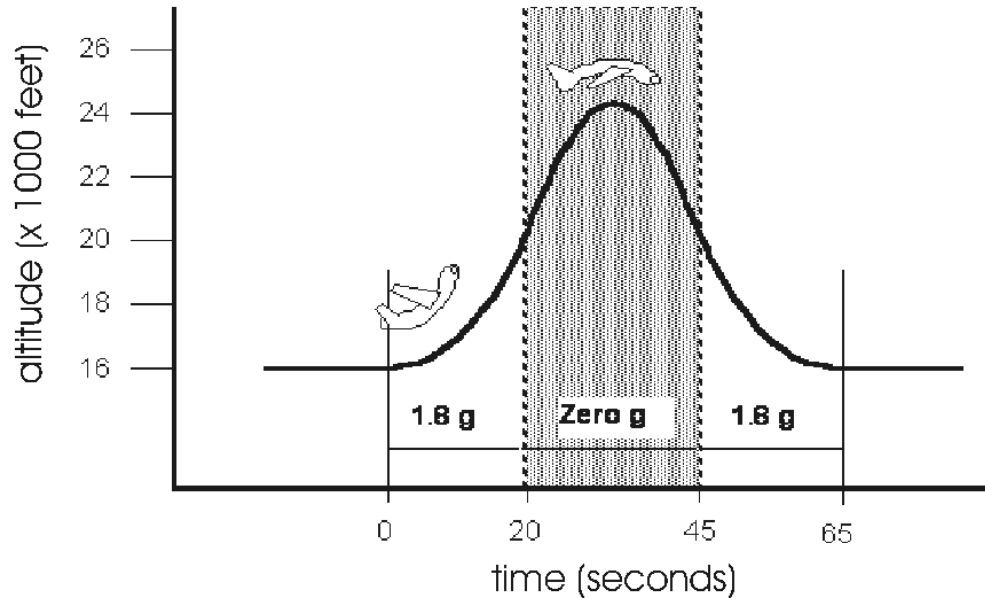
Mithilfe dieser Werte erhält man für die Fallbeschleunigung den Wert $g = \delta v / \delta t = (2 \text{ m/s}) / (0,2 \text{ s}) = 10 \text{ m/s}^2$.

Schwerelosigkeit

In gewissem Sinne paradox:
Im „freien Fall“
erfährt man
„Schwerelosigkeit“



„Parabelflug“



Ohne Beschleunigung ($a = 0$):

Gleichförmige Bewegung, $v = \text{const.}$

Damit (Integrieren!) Ort x (manchmal auch s genannt)

$$x = v t$$

bzw. allgemeiner $x = v t + x_0$

(x_0 heißt Anfangswert)

Beim freien Fall

konstante Beschleunigung $a = g$

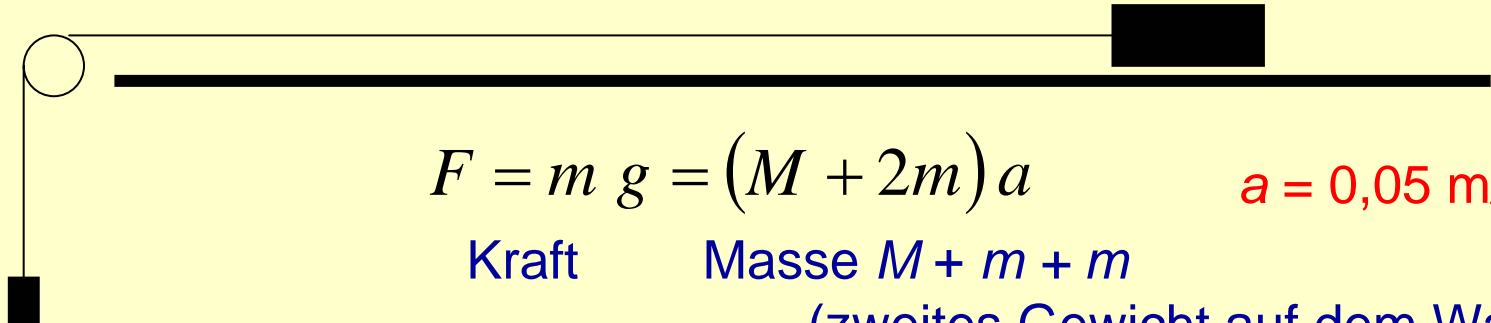
Damit $v = g t$

und durchfallene Höhe

$$h = (g/2) t^2$$

Beschleunigung von Luftkissenwagen

Luftkissenwagen der Masse M wird beschleunigt durch Schwerkraft, die über eine Rolle an einem kleinen Gewicht der Masse m angreift.



$$F = m g = (M + 2m) a \quad a = 0,05 \text{ m/s}^2$$

Kraft Masse $M + m + m$

(zweites Gewicht auf dem Wagen)

$$\frac{m}{M} \approx \frac{a}{g} \approx \frac{0,05 \text{ m/s}^2}{10 \text{ m/s}^2} \approx 0,5 \%$$

Wiegen ergibt $M = 194 \text{ g}$
 $m = 1 \text{ g}$

Verdopplung der Kraft: $2m g = (M + 2m) a \quad a = 0,10 \text{ m/s}^2$

Erhöhung (fast Verdopplung) der Trägheit (durch zweiten Wagen):

$$m g = (2M + 2m) a \quad a = 0,03 \text{ m/s}^2$$

Kombination: $2m g = (2M + 2m) a \quad a = 0,055 \text{ m/s}^2$

Bemerkung: Auch die Rolle wird beschleunigt!

Wurfparabel

- a) „Fallgesetz“, wobei zunächst Bewegungsrichtung nach oben
- b) zwei-dimensionale Bewegung, da auch „nach der Seite“

ad a) konst. Beschleunigung führt durch Integration und Einsetzen der Anfangsbedingungen zum Ort

$$y = \frac{g}{2} t^2 + v_{0,y} t + y_0$$

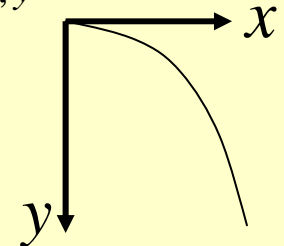
ad b) Analog für die gleichförmige Bewegung in x-Richtung:

$$x = +v_{0,x} t + x_0$$

Vereinfachung mit „horizontalem Wurf“ und $x_0 = y_0 = v_{0,y} = 0$

Auflösen nach t und Einsetzen in y-Gleichung führt zur Parabelform:

$$y = \frac{g}{2 v_{0,x}^2} x^2$$



Beim „schiefen Wurf“ werden eine Anfangsgeschwindigkeiten in x- und y-Richtung angenommen und oft durch den Winkel gegen die Horizontale ausgedrückt.

$$v_{0,x} = v_0 \cos \alpha$$

$$v_{0,y} = v_0 \sin \alpha$$

$$v_0^2 = v_{0,x}^2 + v_{0,y}^2$$

