Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler(innen)

Einführungsvorlesung

Dr. H. Stenzel
`hasko.stenzel@exp2.physik.uni-giessen.de`

`Tel.: 33 222, R 527`

II. Physikalisches Institut, Universität Gießen

Heinrich Buff Ring 16

Ein Tag im Praktikum

- Fröhlich und gutgelaunt erscheinen die bestens vorbereiteten Praktikanten und Praktikantinnen pünktlich beim Versuch.
- In der Vorbesprechung kann jedes Mitglied einer Praktikumsgruppe sicher, umfassend und richtig die Fragen des Praktikumsassistenten beantworten.
- Nach 30 min. Vorbesprechung geht es zügig und planvoll an die Durchführung des Versuches. Gute Protokollführung ist dabei eine Selbstverständlichkeit.
- Das ordentliche Protokolle und die gute Versuchsvorbereitung machen die anschliessende Auswertung zu einem schnellen Vergnügen.
- Frohgemut und stolz auf die vorbildliche Leistung seiner Praktikumsgruppe testiert der Assistent den Versuch im Protokollheft und auf dem Praktikumsschein.

Das Praktikum durch das Semester

- Sie beginnen entweder mit einem geraden oder ungeraden Versuch.
- Der darauffolgende Versuch ist der nächste gerade bzw. ungerade.
- Sie arbeiten in Zweiergruppen an einem Versuch; pro Versuch gibt es 2 Zweiergruppen.
- Die Gruppen und die Anfangszeit bleiben während des Semesters fest.
- Im internet www.physik.uni-giessen.de/nfprakt
- Nach 8 testierten Versuchen sind Sie zur Abschlussklausur zugelassen.
- Klausur: 1 Stunde. 22.12.2006, 14-15h, HBR 14, H1 (Physik).

Zur Einteilung

- Die Einteilung hängt am Praktikumsraum, Chemiegebäude, Heinrich Buff Ring 58, Erdgeschoß, aus, oder www.physik.uni-giessen.de/nfprakt
- Wechsel des Praktikumstermins NUR im Tausch möglich
- Anleitung herunterladen von www.physik.uni-giessen.de/nfprakt

Was ist mitzubringen ?

- Heft mit Versuchsanleitungen
- festes Protokollheft (am besten kariert), keine losen Blätter; Eintragungen mit Kugelschreiber oder Tinte
- Bleistift, Lineal oder Geodreieck, Millimeterpapier für Zeichnungen
- Taschenrechner (neben den Grundrechenarten min. trigonometrische Funktionen, Potenzieren und Radizieren, Logarithmieren); Statistische oder graphische Funktionen sind eigentlich nicht nötig
- das Wissen und Verständnis den anstehenden Versuch erfolgreich durchführen zu können.

Die Ausnahmen von der Regel

- Die Vorbesprechung ist integraler Bestandteil des Versuchstages. Verspätungen führen zum Ausschluß
- Ungenügende Vorbereitung führt zum Ausschluß
- Bei Problemen in der Versuchsdurchführung:
  - erstmal in Ruhe die Anleitung lesen;
  - wenn es nicht da steht, den Assistenten zu Hilfe holen.
- Mit unsauberen Protokollen macht man sich das Leben selbst unnötig schwer. Ordentlich und konzentriert spart u.U. viel Arbeit und Verwirrung.
- Im Falle von höherer Gewalt (z.B. Stromausfall) kann der Assistent ein Vortestat vergeben. Die endgültige Auswertung muß dann bis zum nächsten Versuchstag vorliegen, sonst verfällt der Versuch.
- Es gibt einen Nachholtermin (Do. 21.12 9-13h und 14-18h)

. . . und noch ein paar Regeln

- Bitte keine Dreiergruppen.
- Klausur am 22.12
- Nachklausur am 12.03
- 2.Nachprüfung (mündlich) am 26.03
- Schäden bitte sofort melden.
- Elektrische Schaltungen vom Assistenten vor dem Einschalten überprüfen lassen.
- Den Arbeitsplatz sauber und aufgeräumt hinterlassen.

Das gute Protokoll

Ein gutes Protokoll ist so angelegt, daß ein fachkundiger Leser in der Lage ist, den Versuchsablauf zu rekonstruieren: [a]

- Kopf: Datum, Versuchsthema und Experimentatoren
- grundlegende Formeln und Definitionen
- Versuchsplatz, ggfs. Skizze des Aufbaus
- Messungen (Zahlenwerte und Einheiten), am besten als Tabelle
- Auswertung: transparente Rechenschritte; Einheiten !
- Fehlerabschätzung
- Zusammenfassung der Ergebnisse, vgl. mit Literaturwert

Radieren und Tintenkiller sind verboten $\Rightarrow$ durchstreichen

[a] Das gilt insbesondere für die Verfasser

Physikalische Meßgrößen

Physikalische Größe = Zahlenwert $\times$ Einheit

Die Basiseinheiten des *S*ysteme *I*nternationale

Einheit	Meßgröße
Meter (m)	Länge l
Kilogramm (kg)	Masse m
Sekunde (s)	Zeit t
Ampere (A)	elek. Stromstärke I
Kelvin (K)	thermodyn. Temperatur T
Mol (mol)	Stoffmenge
Candela (cd)	Lichtstärke

Ein Ergebnis ohne Angabe der Einheit ist sinnlos !

Abgeleitete Einheiten

Die Einheit abgeleiteter Größen setzt sich aus den SI Einheiten zusammen

Größe	Definition	SI–Einheit	Name
Geschwindigkeit v	$v = dl/dt$	m s^{-1}	
Kraft F	$F = md^2l/dt^2$	kg m s^{-2}	Newton
Frequenz f	$f = 1/t$	s^{-1} = Hz	Hertz

$$F = ma \quad [F] = [m] \cdot [a] = 1 \text{ kg m s}^{-2} = 1 \text{ Newton}$$

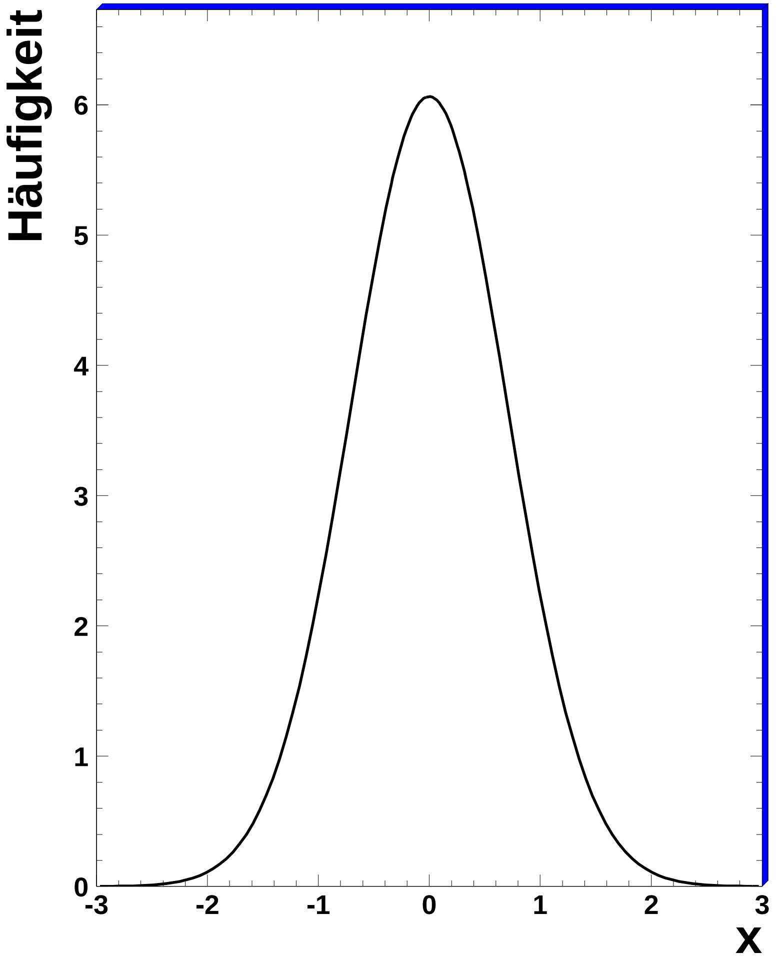
u.U. trägt eine Naturkonstante weitere Einheiten:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{l^2} \qquad [F] = [G] \cdot \frac{[m_1] \cdot [m_2]}{[l]^2} \quad \Rightarrow [G] = \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2}$$

$$[F] = \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2} \cdot \frac{\text{kg}^2}{\text{m}^2} \qquad = \text{kg m s}^{-2} \qquad = 1 \text{ Newton}$$

Der Meßprozeß

- Wiederholte Messungen x_i liefern nicht den selben Wert
- Sie streuen um einen Mittelwert $\bar{x}$ (hier 0)
- Der Mittelwert $\bar{x}$ ist der beste Schätzwert für den wahren Wert x_w
- Die Breite der Verteilung gibt Aufschluß über die Zuverlässigkeit der Messung (Fehler). Für zufällige Fehler gilt die Gaussverteilung. Das Maß für die Streuung ist die Standardabweichung s.



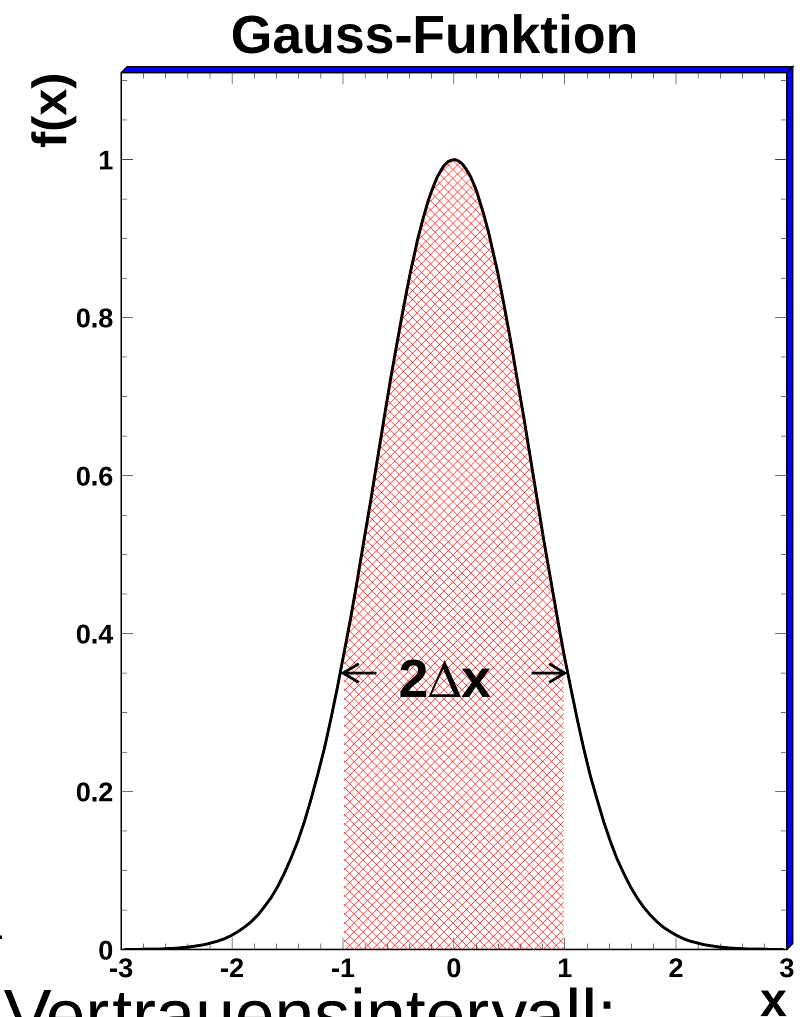
$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

Das Vertrauensintervall

Die Messungen x_i streuen um den Mittelwert $\bar{x}$

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

Mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% liegt der wahre Wert x_w innerhalb von $\bar{x} \pm \Delta x$



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

Vertrauensintervall:

$$\bar{x} - \Delta x \leq x_w \leq \bar{x} + \Delta x$$

Absolut oder Relativ ?

- Bisher diskutiert: der absolute Fehler Δx

$\Rightarrow$ steht im direkten Bezug zur Messung

- Oft auch: relative Fehler (prozentuale Abweichung $\Delta x / x \cdot 100\%$
- Relative Fehler vermitteln ein besseres Gefühl über die Präzision der Messung
- Systematische Fehler sind oft nur relativ zugänglich (z.B. Genauigkeitsklassen bei Amperemetern)
- Deshalb: besser beide Fehler angeben.

Abgeleitete Größen – Fehlerfortpflanzung

Z.B. beim Stoßversuch (Messung und Eichung)

$$v = \frac{(m_1 + m_2)\, Bx}{m_1 m_2} \quad \text{mit} \quad B = 2\pi \frac{m_2}{T}$$

Allgemeine Regel (Fehlerfortpflanzungsgesetz):

$$\Delta f\,(x, y, \ldots) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\Delta y\right)^2 + \ldots}$$

Also:

$$\Delta v = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial B}\Delta B\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x}\Delta x\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{(m_1 + m_2)\, x}{m_1 m_2}\right)^2 + \left(\frac{(m_1 + m_2)\, B}{m_1 m_2}\right.}$$

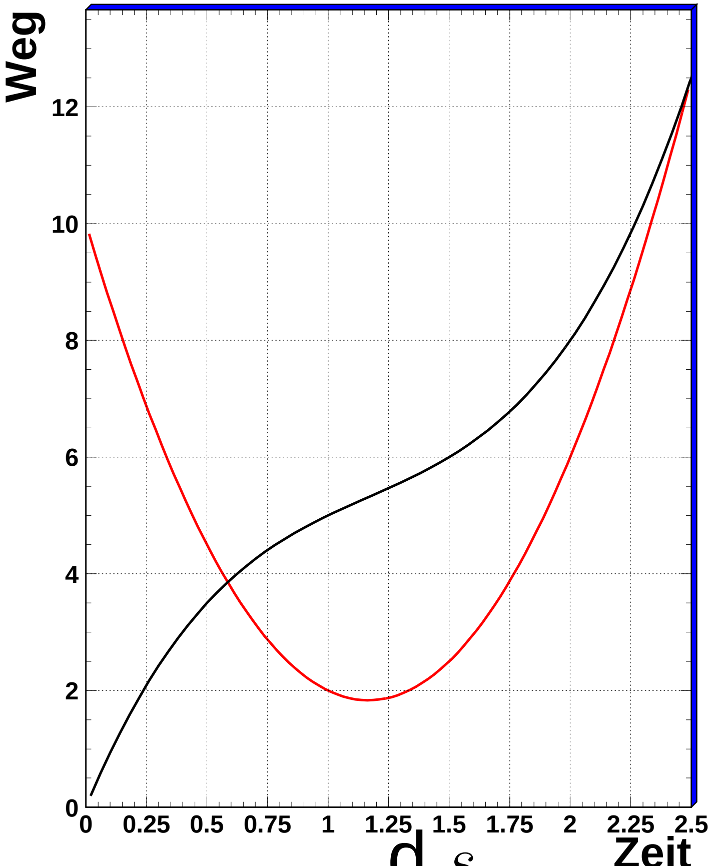
Ableitung beschreibt die Veränderung einer Größe Δy als Funktion einer Variablen Δx; Im Grenzfall infenitesimal kleiner Änderungen: Differentialquotient $\frac{\mathrm{d}\,y}{\mathrm{d}\,x}$

$$y = x^n \qquad \frac{\mathrm{d}\,y}{\mathrm{d}\,x} = x \cdot x^{n-1}$$

$$y = \sin x \qquad \frac{\mathrm{d}\,y}{\mathrm{d}\,x} = \cos x$$

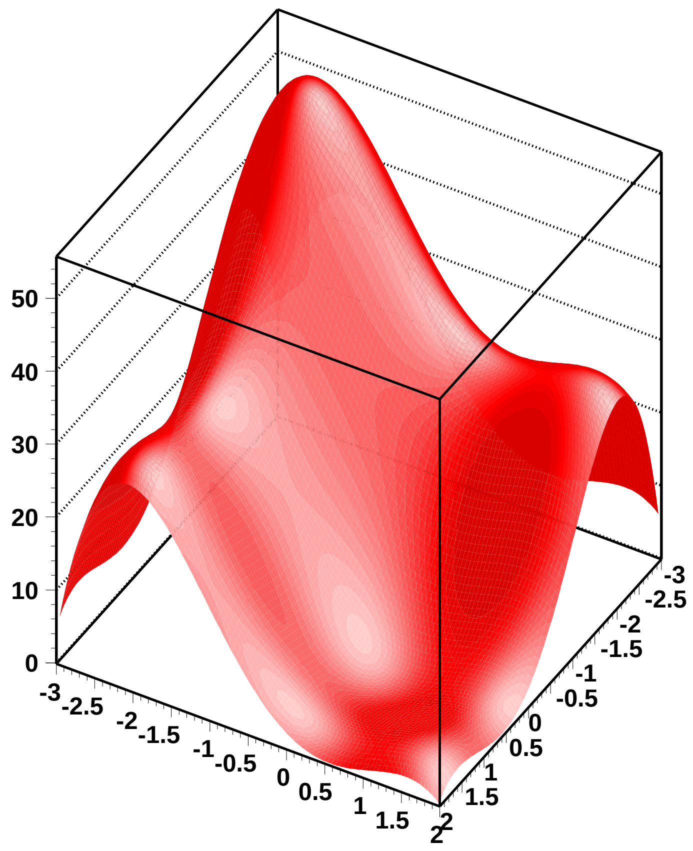
$$y = e^x \qquad \frac{\mathrm{d}\,y}{\mathrm{d}\,x} = e^x$$

Weg–Zeit Diagramm

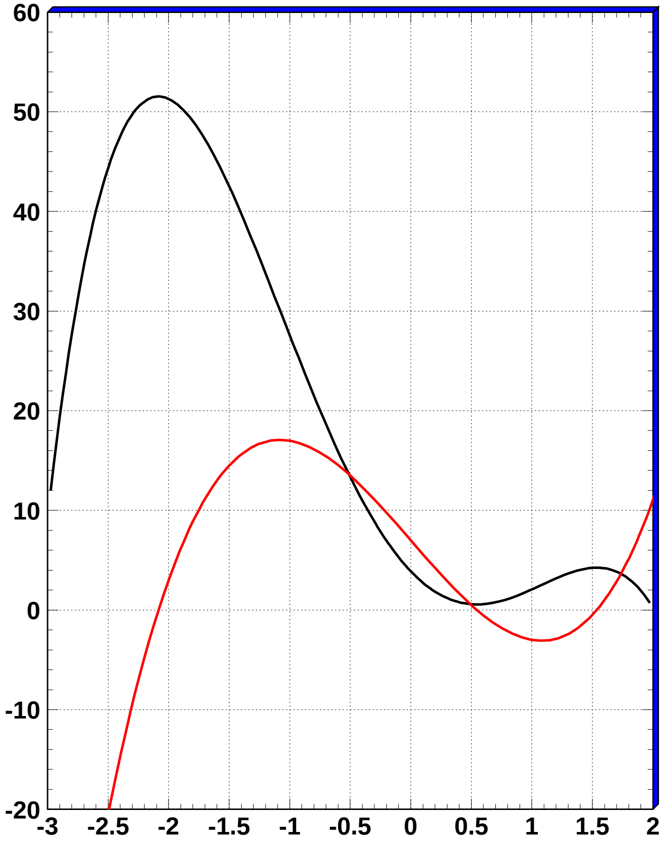


$$v = \frac{\mathrm{d}\,s}{\mathrm{d}\,t}$$

Partielle Ableitungen



Ableitung ? Kompliziert



Einfach, wenn eine Variable konstant gehalten wird

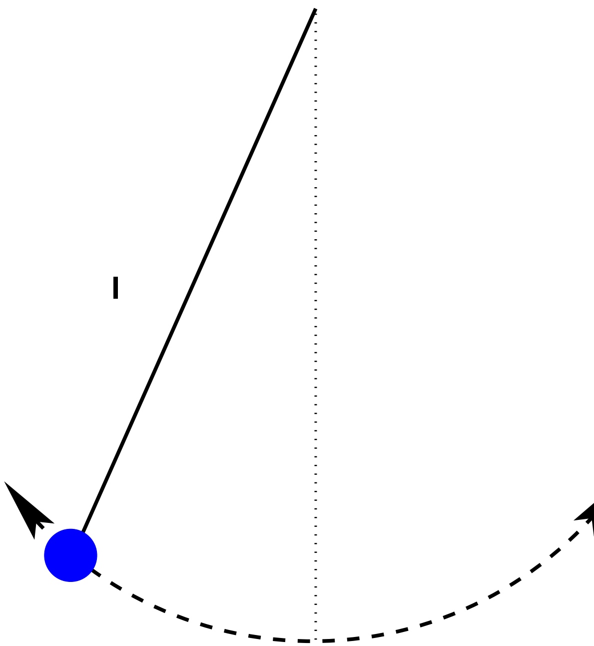
Die Illusion der Präzision

- Jede Messung ist fehlerbehaftet. Es ist also sinnlos, das Ergebisse genauer als den Fehler anzugeben.
- Man lasse sich nicht von der vermeintlichen Genauigkeit auf dem Taschenrechner verführen
- Messergebnisse und Fehler werden also auf eine sinnvolle Anzahl von Stellen gerundet. Das Messergebnis wird mathematisch gerundet, Fehler sinnvollerweise immer auf.
- Die sinnvolle Anzahl von Stellen ergibt sich aus der Präzision der Messung, sie muß für Mittelwert und Fehler gleich sein

Ein einfacher Versuch

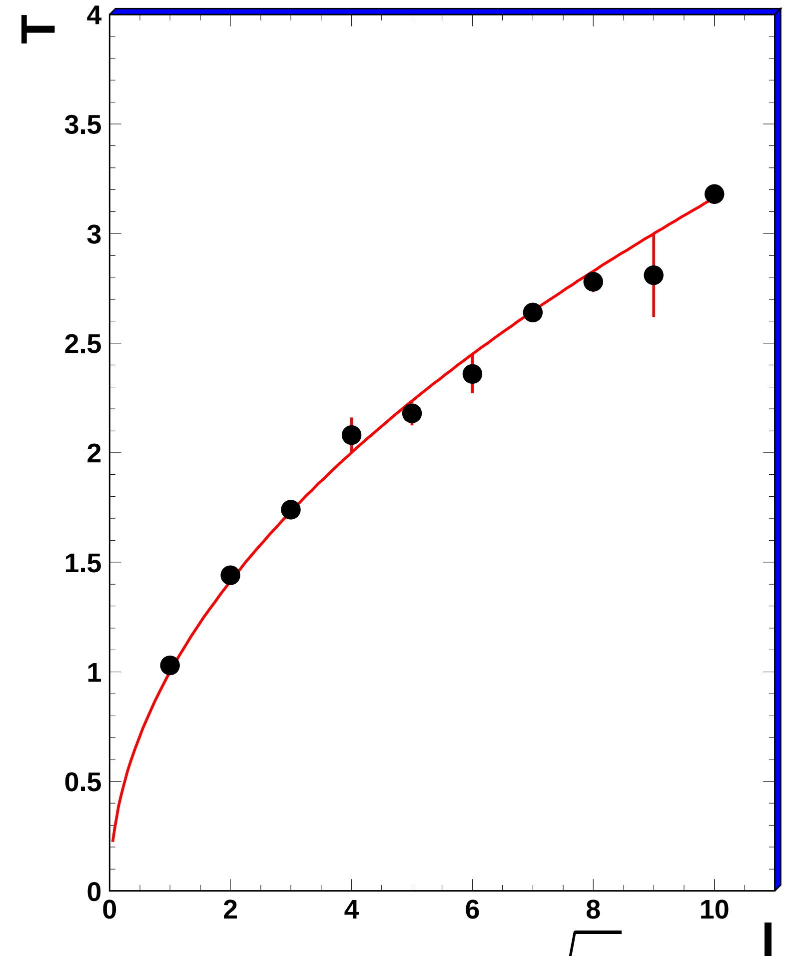
Gemessen wird die Schwingungsdauer T eines Pendels für verschiedene Fadenlängen l

l [cm]	T [s]	T [s]	T [s]	$\langle T \rangle$ [s]
10.	6.12	5.69	6.55	6.12±0.21
20.	8.42	8.79	9.15	8.79±0.18
30.	10.91	10.78	11.05	10.92±0.07
40.	11.10	12.15	13.21	12.16±0.53
50.	14.50	15.14	13.86	14.50±0.32
60.	17.23	16.10	14.97	16.10±0.57
70.	16.80	16.85	16.76	16.80±0.03
80.	18.73	18.21	17.67	18.20±0.26
90.	19.58	20.70	18.47	19.59±0.56
100.	19.66	19.93	20.18	19.93±0.13



- Graphische Darstellungen machen Zusammhänge leichter anschaulich als Tabellen und Zahlenkolonnen
- Parallelverarbeitung aller Daten im Gehirn statt serieller Aufnahme beim Lesen
- unabhängige Größe als Abszisse, abhängige Größe als Ordinate

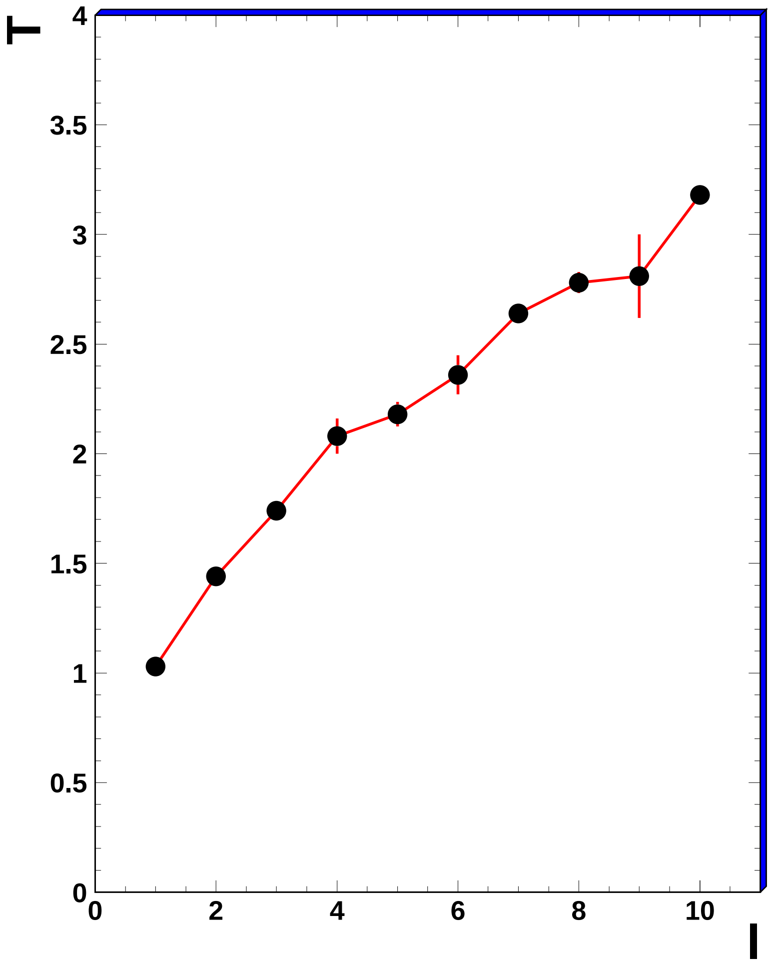
Schwingungsdauer (Pendel)



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Typische Fehler – Teil I

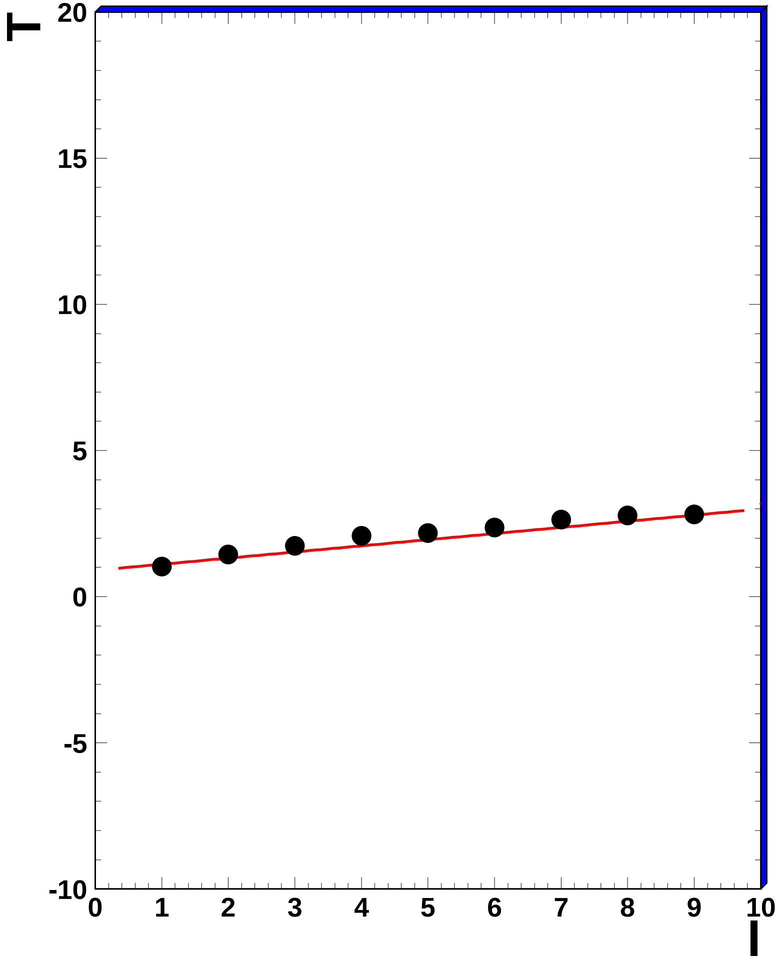
- "Malen nach Zahlen" ist naturwissenschaftlicher Unsinn.
- Zusätzliche Meßwerte werden i. allg. nicht auf den Linien liegen, sondern um die mittlere Kurve streuen.
- Daher: glatte, ausgleichende Kurve und Meßpunkte zeichnen. Die Streuung der Meßpunkte um die Kurve gibt ein optisches Gefühl für den Fehler der Messung.



Typische Fehler – Teil II

- Falscher Maßstab oder Abbildung zu klein
- Abbildung so groß wie möglich ! (Evtl. sogar Detailvergrösserungen)
- Unterdrückter Nullpunkt von Abszisse und/oder Ordinate verbessern die Skalierung

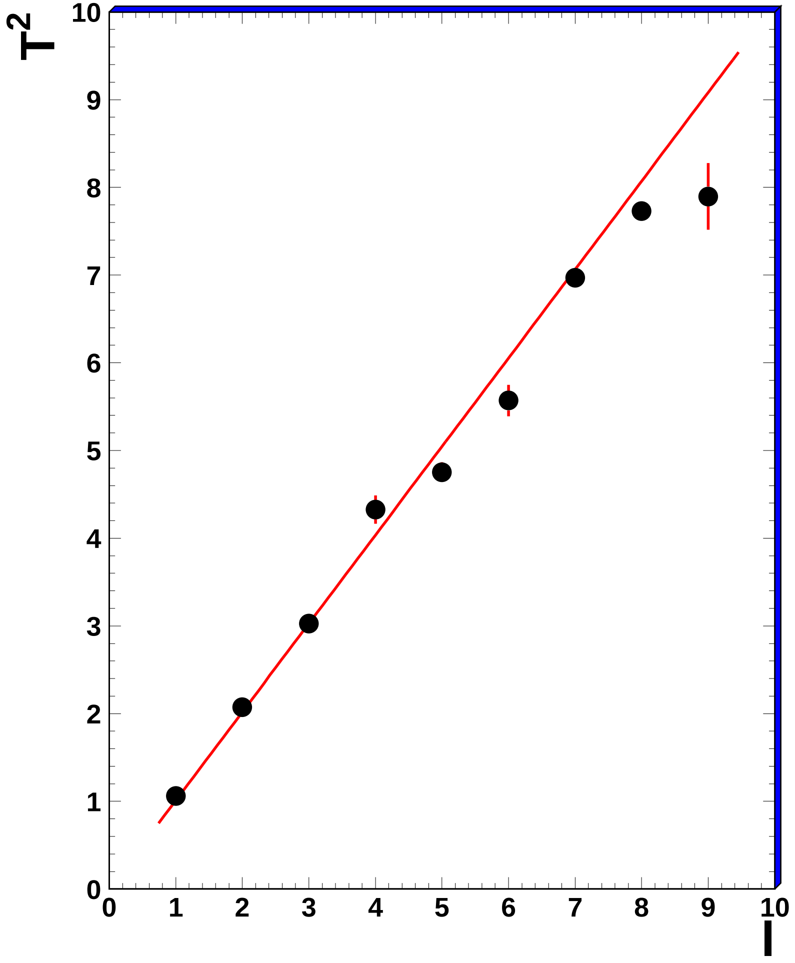
Falscher Maßstab verbirgt korrekte funktionale Abhängigkeit



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Linerarisierung

- komplizierte Zusammenhänge durch Variablentransformation linearisieren
- Eine Gerade lässt sich leicht anpassen
- Variation der Geradensteigung ergibt das Fehlerintervall
- Häufigster Fall: halblogarithmische Darstellung



$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} \cdot l \quad \rightarrow y = S \cdot x$$

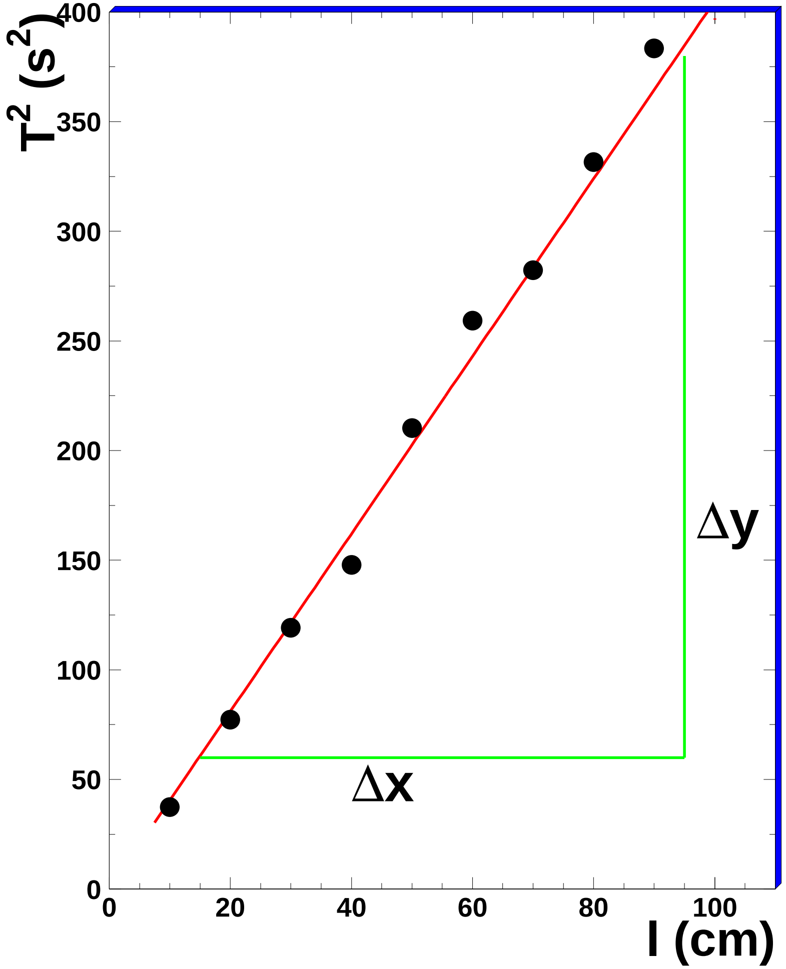
Linearisierung erlaubt einen einfachen Fit (Ausgleichsgerade)

$$y = S \cdot x + A$$

S: Geradensteigung
A: Ordinatenabschnitt

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}$$

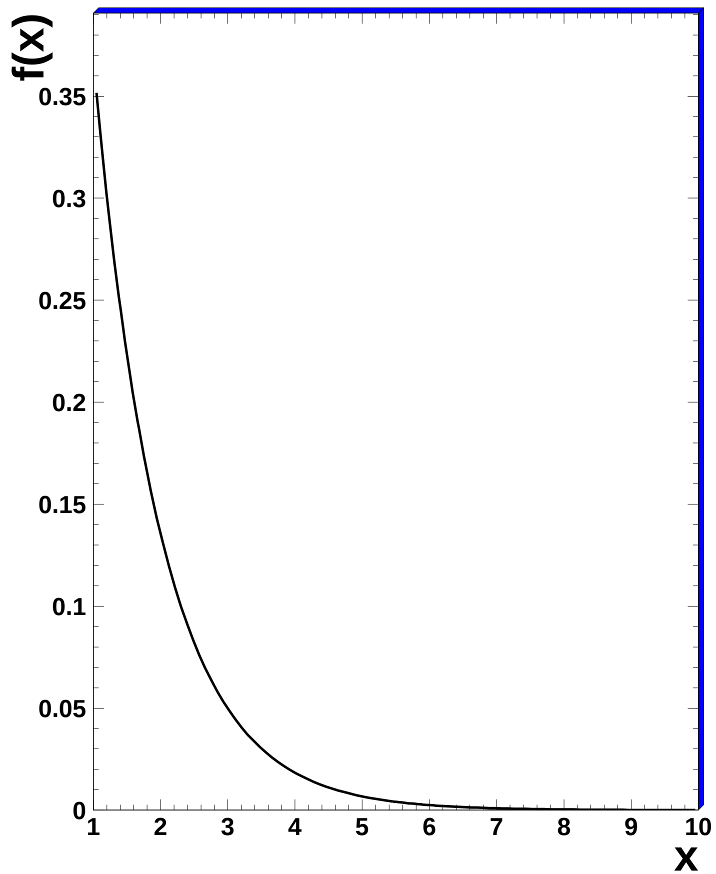
Steigungsdreieck möglichst groß und nicht an Meßpunkten wählen

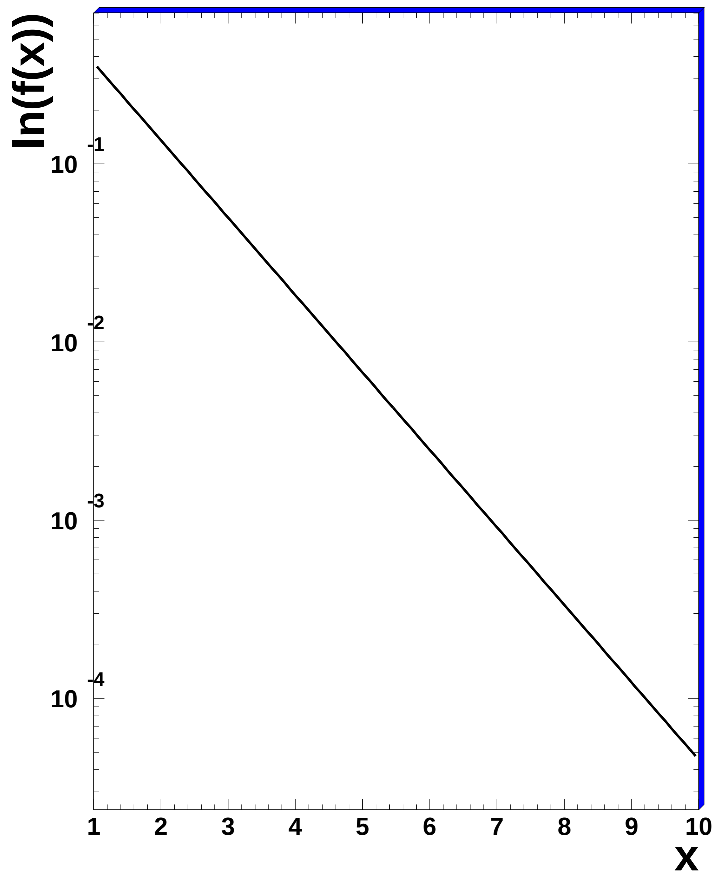


$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} \cdot l \quad \rightarrow y = S \cdot x$$

Logarithmische Abhängigkeiten

Exponentialgesetze durch logarithmieren linearisieren





$$y = y_0 \cdot e^{-{\color{red}a}\cdot x} \qquad \ln y = \ln y_0 - {\color{red}a} \cdot x \qquad {\color{red}a} = S = \frac{(\ln y)_2 - (\ln y)_1}{x_2 - x_1}$$

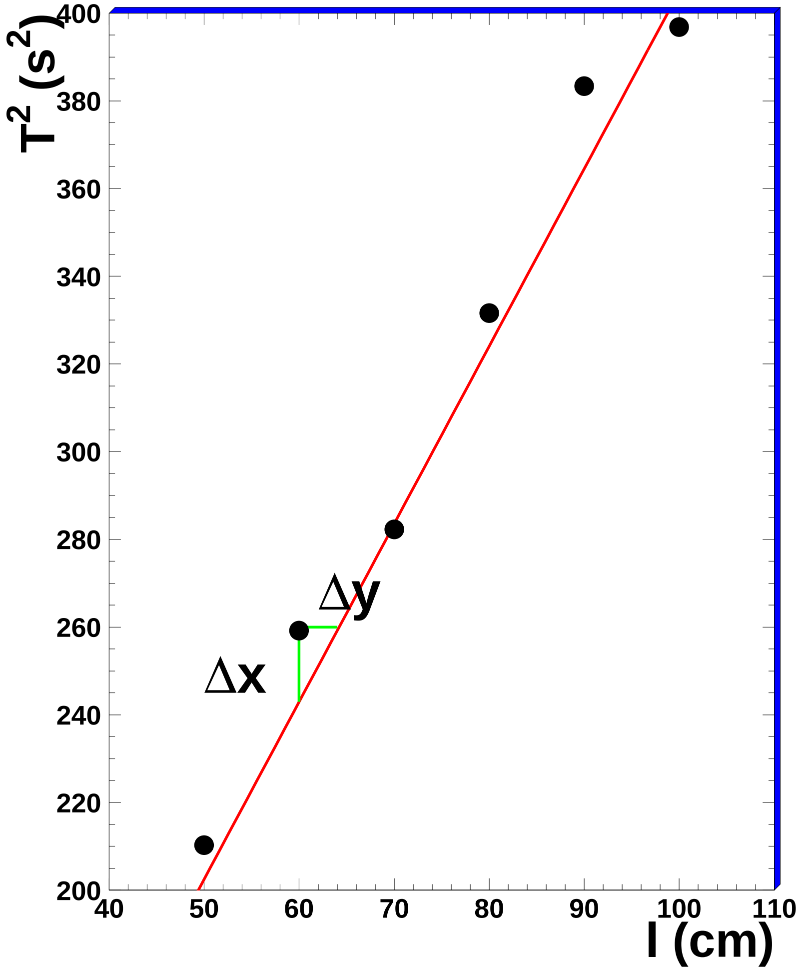
Graphische Fehlerabschätzung

Ein Maß: größte Abweichung eines Meßpunktes von der Geraden:

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{2 \cdot \Delta x}{x_2 - x_1}$$
$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{2 \cdot \Delta y}{y_2 - y_1}$$

Für die Achsenabschnitte gilt

$$\Delta A_x = \left(\frac{y_1 + y_2}{2}\right) \frac{\Delta S}{S^2}$$
$$\Delta A_y = \left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right) \frac{\Delta S}{S^2}$$



Am Ende des Tages . . .

$$
\begin{aligned}
S = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} &= \frac{380 - 60}{95 - 15} = 4s^2/m \\
\frac{\Delta S}{S} = \frac{2 \cdot \Delta y}{y_2 - y_1} &= \frac{2 \cdot 17}{380 - 60} = 0.05 \\
g = 4\pi^2/S &= 9.87m/s^2 \\
\Delta g = \frac{\Delta S}{S^2} &= \frac{\Delta S}{S}\frac{1}{S} = 0.05\frac{1}{4s^2/m} \cdot 4\pi^2 = 0.49m/s^2
\end{aligned}
$$

Also: $g = 9.87 \pm 0.49\text{ms}^{-2}$

Literaturwert: $g = 9.81\text{ms}^{-2}$

Ein paar Literaturtipps

. . . muß man nicht kaufen $\rightarrow$ Bibliothek

- Tipler: Physik
- Halliday, Resnik, Walker: Physik
- Meschede: Gerthsen Physik
- Metzler: Oberstufenphysik
- Hellenthal: Physik für Mediziner und Biologen
- . . . und viele ähliche Lehrbücher (siehe auch Hinweise zu den begleitenden Vorlesungen)
- Walcher: Praktikum der Physik
- Eichler, Kronfeldt, Sahm: Das neue physikalische Grundpraktikum

Kontakt

Dr. Hasko Stenzel

- II. Physikalisches Institut
  Heinrich Buff Ring 16, Zimmer 530
- (0641) 99 33 222
- hasko.stenzel@physik.uni-giessen.de

Dr. Markus Ehrenfried

- II. Physikalisches Institut
  Heinrich Buff Ring 16, Zimmer 527
- (0641) 99 33 226
- markus.ehrenfried@des

Wär jedes Stück von den sechstausend Dukaten
sechsfach geteilt und jedes Teil 'n Dukat
Ich nähm ' sie nicht, ich wollte meinen Schein! [a]

[a] Klassischer Praktikant, oder ...