

EINFÜHRUNG IN DAS PHYSIKALISCHE PRAKTIKUM

Torsten Hehl

Physikalisches Institut Tübingen

11.2.2025

- **Anwendung** und Erweiterung physikalischer Kenntnisse und Konzepte durch eigenes Experimentieren
- **Kommunikation** über messtechnische und physikalische Probleme
- Erwerb experimenteller **Fertigkeiten**
- Kennenlernen ausgewählter **Messtechnik**
- **Versuchsplanung und -durchführung** erlernen
- Umgang mit **Messunsicherheiten**
- Protokollführung und **Versuchsauswertung**, grafische Darstellungen
- Kritische **Analyse der Ergebnisse**
- Strukturierte **Darstellung** der Auswertung

- Untergliederung in **Abteilungen**
- 6er-Gruppen
- Betreuung durch **wechselnde Assistenten** (u.U. **englischsprachig**)
- **Versuchsräume** in D-Bau, 3. Stock, Treff im **Foyer D3**
- Versuche sind (meist) in Schränken verstaut, **Auf- und Abbau** sind Teil der Versuchsdurchführung
- **Schäden** an Versuchsapparaturen oder Messgeräten bitte **melden**
- viele Versuche erfordern **Geduld und experimentelles Geschick** → die AssistentenInnen geben Unterstützung, das Praktikum ist aber kein Dienstleistungsbetrieb

- **Gefährden Sie weder sich selbst noch andere!**
- **Nicht essen und trinken** in den Praktikumsräumen!
- Melden Sie **Schäden**!
- **Fluchtwiege:** Richtung Foyer oder über Balkon
- **Feuerlöscher:** In den Räumen
- **Verbandskasten:** In D3 A19, hinter der Tür links am Schrank
- Bei **Feueralarm** Räume sofort verlassen,
Sammelplatz auf Platz zwischen D-Bau und HZ
- **Elektrische Schaltungen** nur spannungslos aufbauen oder verändern
- Bei Messgeräten auf **richtigen Messbereich** und -eingang achten
- Bei Unfällen **Hauptschalter** (roter Not-Ausknopf) drücken, Betreuer verständigen
- **Ionisierende Strahlung:** Inkorporation vermeiden, Exposition bei den im AP eingesetzten Quellen vernachlässigbar
- **Laser:** alles unter 1 mW oder eingehaust → Blick in den Laser oder seine Reflexionen (Uhren, Ketten!) vermeiden

Das Messprotokoll dient der nachvollziehbaren Aufzeichnung der Messdaten

- **Kopf:** Titel des Versuches, Teilnehmer, Betreuer, Datum
- **Messergebnisse** (Tabellen), wichtige **Parameter** (z.B. Probennr., Nr. der Versuchsapparatur)
- **Messunsicherheiten:** (u.U. geschätzte) Gerätegenauigkeiten, Ablesegenauigkeiten
- Zwischenauswertungen
- fertigen Sie möglichst zügig eine persönliche **Kopie des Messprotokolls** an, das gilt auch für Dateien mit Messwerten

Auswertung nach Möglichkeit **gemeinsam**, Arbeitsteilung hat mehr Nachteile als Vorteile

VERSUCHSPROTOKOLL

Die Versuchsprotokolle sind Ihre ersten “Mini-Veröffentlichungen”!

→ *übersichtlich, strukturiert, nachvollziehbar*

Nicht verwenden: Zeichnungen oder Fotos aus anderen Quellen, Fotos der Apparatur.

Besser: Eigene kleine Skizzen

Form: Handschriftlich oder mit PC (nur PDF)

- ① **Titel:** Versuchstitel, -datum, Autor und Partner, Gruppe, Betreuer, Abgabedatum
- ② **Zielstellung:** in 1-3 Sätzen kurze Darstellung des Versuchsziels
- ③ **Physikalische Grundlagen:** Mit *eigenen* Worten (+ ggf. Skizzen) verwendete Formeln erklären
- ④ **Durchführung:** Messapparate, Besonderheiten des Ablaufs, evtl. Skizze
- ⑤ **Ergebnisse und Diskussion:** Nachvollziehbare Darstellung der Messwerte, Berechnungen und Fehlerabschätzungen. Grafische Darstellungen mit Nummerierung, Legenden und Bildunterschriften, Diskussion der Ergebnisse (z.B. Vergleich mit Literaturwert)
- ⑥ **Kurze Zusammenfassung**

Tipp zur Erstellung: mit Punkt 4 beginnen, mit 2 schließen

Stil: wissenschaftlich, kein “Brief an die Oma”

Hilfe: “10 Schritte zum gelungenen Versuchsbericht” der Uni Bremen

- **Variablen, Parameter und Funktionen:** *kursiv*

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

- **Funktionen mit festem Namen und Operatoren:** aufrecht

$\sin(x)$, $\exp(x)$ oder $\log(x)$

- **Einheiten:** immer aufrecht!

richtig: $r = 3\text{ cm}$ falsch: $r = 3cm$

- Kleiner Zwischenraum zwischen Zahl und Einheit

in L^AT_EX: Paket *siunitx* verwenden

- **Konstanten:** Mathematische Konstanten: aufrecht $i = \sqrt{-1}$

naturwissenschaftliche und technische Konstanten kursiv:

$$c_0 \approx 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

- **Indizes:** für Variablen kursiv $c_P > c_V$, für Konstanten aufrecht μ_r

- **Vektoren:** kursiv und fett v oder mit Pfeil \vec{v}

- **Achsbezeichnungen:** *Größe/Einheit* oder *Größe in Einheit*: t/s , t in s (**falsch:** $t[\text{s}]$)

ERFORDERLICHE MESSGENAUIGKEITEN

Beispiel **Längenmessung:**

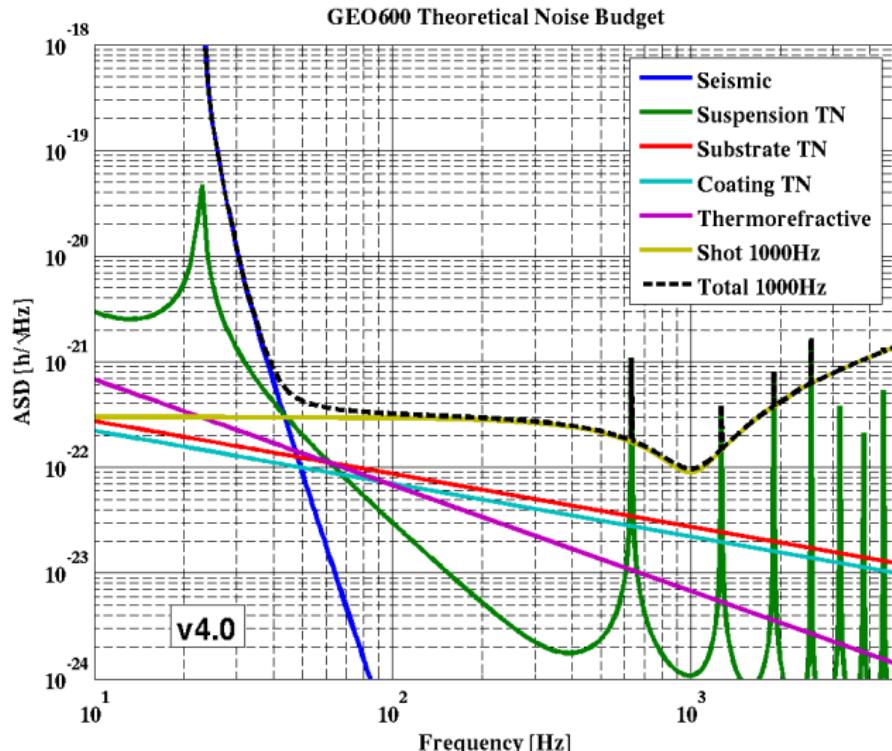
- **Maurer:** Man ist froh, wenn er auf dem Grundstück bleibt...
- **Zimmermann:** 10 mm
- **Tischler:** 1 mm
- **Mechanik** (Schieblehre): 0.1 mm
- **Feinmechanik** (CNC): 10 μm
- **Gravitationswellen:** rel. Änderung von $< 10^{-21}$



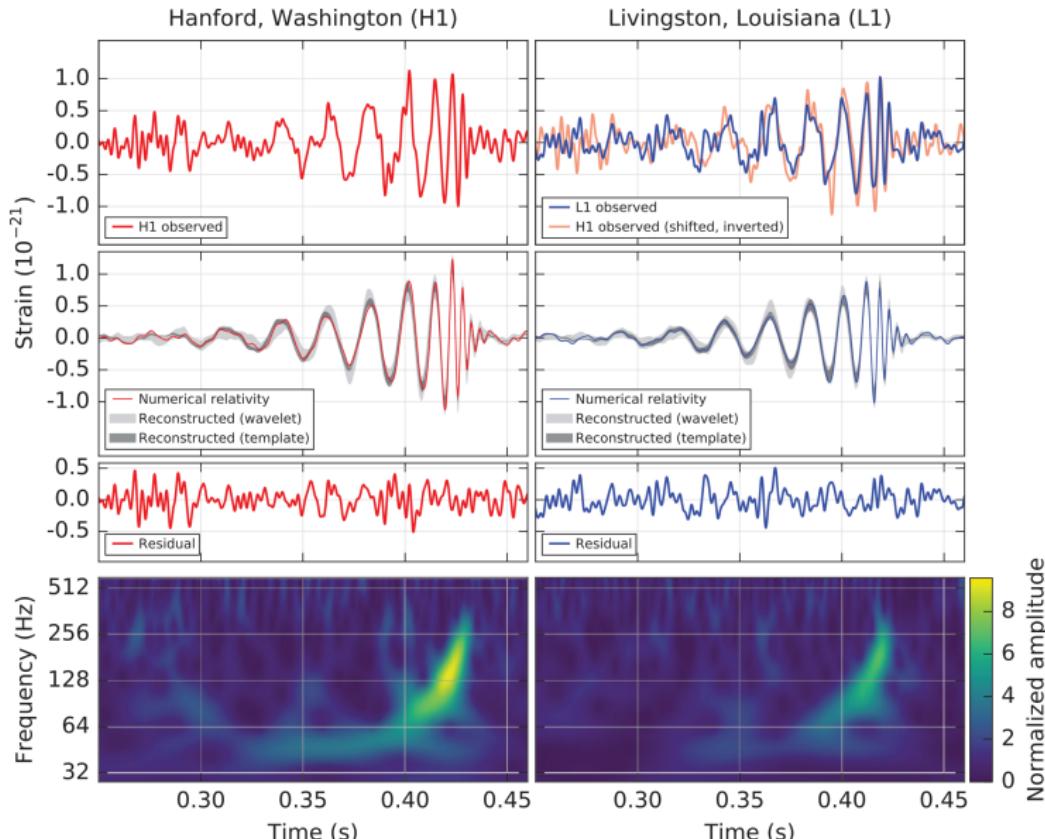
HÖCHSTE PRÄZISION BEI LÄNGENMESSUNGEN

Kann ein Wert von 1203.321 743 589 273 961 98 m **gemessen** werden?

Mit dem richtigen Aufwand schon: **GEO600** misst Gravitationswellen:



DETEKTION VON GRAVITATIONSWELLEN MIT LIGO



MESSUNSICHERHEITEN

Messunsicherheiten ergeben sich in jeder Messung aus folgenden Gründen:

- A unvollständige **Festlegung** der Messgröße
- B nicht perfekte **Umsetzung** der Definition
- C nicht repräsentative **Messpunkte**
- D ungenügende Berücksichtigung von **Umgebungseffekten**
- E persönliche **Voreingenommenheit** (bias)
- F endliches **Auflösungsvermögen** und Messbereichsgrenzen
- G ungenaue Werte der **Messstandards** und Referenzmaterialien
- H ungenaue **Konstanten** und Parameter in der Datenanalyse
- I **Näherungen und Annahmen** in Messmethode und Auswerteverfahren
- J **Variationen des Messwerts** bei offensichtlich identischen Versuchsbedingungen

Ursachen können mehrfach auftreten, Punkt J ist oft nicht von A-I trennbar.

Messgrößen müssen stets mit ihrer **Messunsicherheit** angegeben werden!

Fehler sind in der Regel keine falschen Messungen, sondern unvermeidbar!

Man unterscheidet

- **Grobe Fehler:** echte Irrtümer, z.B. Schreibfehler, defekte Messgeräte.
Erkannte grobe Fehler dürfen eliminiert werden.
- **Systematische Fehler:** Messunsicherheiten A-I.
Sie müssen, sofern möglich, korrigiert werden.
Die verbleibenden Restfehler werden oft vom Hersteller angegeben
oder sind gesetzlich limitiert (Eichfehlergrenzen)
- **Zufällige Fehler:** J und teilweise in A-I,
sofern innerhalb einer Messreihe veränderlich

ANGABE DER ERGEBNISSE

Systematische und zufällige Fehler nach Möglichkeit getrennt angeben

$$s = (7,9 \pm 0,1(\text{zuf.}) \pm 0,2(\text{syst.})) \text{ m}$$

Ergebnis auf sinnvolle Stellenzahl runden:

RUNDUNG

richtig

falsch

$$\begin{array}{ll} s = (7,84 \pm 0,05) \text{ m} & s = (7,8393 \pm 0,0517) \text{ m} \\ U = (17,00 \pm 0,04) \text{ V} & U = (17 \pm 0,04) \text{ V} \end{array}$$

Immer nur das Endergebnis runden, zu frühes Runden kann zu Rundungsfehlern führen

- **Skalierung:** der dargestellte Bereich muss dem gemessenen Bereich entsprechen
- **Transformation:** einfach logarithmische (bei exponentiellen Abhängigkeiten) bzw. doppelt logarithmische (bei Potenzgesetzen) Achsen verwenden. Gelegentlich sind auch quadrierte Achsen sinnvoll
- **Messdaten:** stets als Punkte (Symbole), NIE verbinden! Ausnahme: Bei schnell oszillierenden Punkten ist u.U. die Abfolge nicht mehr erkennbar
- **Fehler:** als Balken oder Kreuze
- **Theoretische Kurven:** anpassen und stets als durchgehende Kurven zeichnen!
- **Farben** oder Schraffuren zur Unterscheidung verwenden
- **Beschriftung:**
 - **Physikalische Größe:** Einheiten in sinnvollen Größen an die Achse
 - **Teilstiche:** sinnvolle Anzahl für gute Ablesbarkeit, evtl. Koordinatennetz
 - **Zahlen:** ca. jeden 5. - 10. Teilstrich beschriften, möglichst kurze Mantissen (lieber 10, 20, 30, 40, 50 m statt 0,01 km oder 10000 mm)
 - **Legende:** bei verschiedenen Messreihen oder Kurven Pflicht (bitte nicht Excels Reihe 1 lassen!)
- **Zeichnungsgröße:** Messfehler müssen ablesbar sein (d.h. ca. 0,2 mm entsprechen). Ansonsten Ausschnittsvergrößerung oder Residuumen (Abweichung von Ausgleichskurve) zeichnen. Volle Textbreite nutzen, keine Briefmarken!
- **Fontgröße:** lesbar, sollte restlichem Text entsprechen

WICHTIGE MESSGERÄTE

- **Zeit:** digitale Stoppuhren (Armbanduhr, Handy)
- **Längen:** Lineal, Schieblehre, Laserentfernungsmessgerät
- **elektrische Größen:** Multimeter (U , I , R), Oszilloskop
- **Temperatur:** Thermometer (Glas), digitale Thermometer, Widerstandsthermometer Pt100, Pt1000
- **optische Wellenlängen:** Handspektrometer, USB-Spektrometer
- **Detektoren:** Geiger-Müller-Zählrohre (Gamma), Halbleiterdioden (Röntgen, Gamma)

- Mikroprozessor-gesteuerte **Messboxen**: digitale Anzeigen, Einstellung der Größen mit $+/++$ bzw. $-/-$ Tasten
- **CASSY** (Firma Leybold Didactic): modulares Messsystem (SENSORCassy, POWERCassy, PROFICassy) mit zahlreichen Sensoren und Aufnahmesoftware CASSYLab, Anschluss per USB
- **PHYCON** (Firma PHYWE): Spannungsmessung per USB
- **LabView** (Firma National Instruments): erst im F-Praktikum
- **Arduino**: Messung mit US-Sensor und Wägezelle, Anschluss per USB an Notebook
- **IR-Rahmen**: Positionsbestimmung, Anschluss per USB an Notebook
- **Smartphone**: Beschleunigungssensor, Gyroskop per Phyphox

- **CASSYlab:** Mess- und Auswertesystem von Leybold didactic, wird in einigen Versuchen als Messsystem eingesetzt, leicht erlernbar, sehr variabel, keine Fehlerberechnung innerhalb CASSYlab möglich, zur Auswertung ohne Lizenz einsetzbar (Windows)
- **Python + Matplotlib:** Leicht erlernbare Skriptsprache mit mächtigem Plotpaket
- **MATLAB** (Uni-Lizenz)
- **Origin** (teuer) und günstige Clones wie Qtiplot oder SciDAVis
- **Gnuplot** freie Plot-Software, recht mächtig, Bedienung über Kommandozeile (Linux/Windows)
- **Grace** (aka xmGrace): Einfach zu bedienendes Plotprogramm mit Fitfunktionen (beliebt bei Theoretikern)
- **ROOT:** Framework zur Datenanalyse und -darstellung, sehr mächtig, Open Source, entwickelt am CERN, C++-Kenntnisse von großem Vorteil (Linux/Windows/Mac)
- **Excel:** Tabellenkalkulationsprogramm von Microsoft mit Möglichkeiten zur grafischen Darstellung, sehr flexibel, viele Standardeinstellungen sind allerdings ungünstig, lizenpflichtig (Windows)