

Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Teil 1

Messung einer physikalischen Größe, Meßunsicherheit

- Aufgabenstellung, Messung einer physikalischen Größe
- Meßunsicherheit, absoluter Fehler, relativer Fehler
- Verwendung von Meßinstrumenten, Meßbereich: Schiebelehre, Mikrometerschraube, elektrische Meßinstrumente, Vielfachmeßgeräte
- Auswertung von Messungen, Meßergebnis
- Auswertung von Messungen, systematische und statistische Abweichungen
- Systematische Abweichungen

• Literatur:

- Wolfgang Hellenthal: *Physik für Mediziner und Biologen*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart 2002
- Trautwein, Kreibig, Oberhauser, Hüttermann: *Physik für Mediziner, Biologen und Pharmazeuten*, Walter de Gruyter Berlin 2000
 - siehe auch
 - D. Meschede, *Gerthsen Physik*, Springer Verlag 2004
 - W. Walcher, *Praktikum der Physik*, Teubner Verlag 2004



Web-Link <http://www.sbg.ac.at/bio/people/musso/physikalische-messtechnik-ge.htm>

Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Aufgabenstellung: Messung einer physikalischen Größe

Aufgabenstellung:

Messung einer physikalischen Größe = Vergleich mit einer Einheit dieser Größe,

z.B. Länge $l = 100 \text{ cm}$ (siehe auch [Hellenthal S. 3](#), [Trautwein S. 3](#)).

Physikalische Größe = Maßzahl * Einheit ([Hellenthal S. 3](#), [Trautwein S. 3](#))

Basisgrößen und Basis-Einheiten bzw. abgeleitete Einheiten siehe [Hellenthal S. 5](#), [Trautwein S. 4](#),

im Detail  <http://physics.nist.gov/cuu/Units/index.html>

Die zur Messung einer bestimmten physikalischen Größe verfügbaren **Meßinstrumente** unterscheiden sich (neben anderem)

- durch den **Umfang ihres Meßbereiches**
 - z.B. 0 bis 3 V, oder 0 bis 300 V
- durch die mit ihnen erzielbare **Meßgenauigkeit**
 - z.B. $\pm 1\%$ vom Meßbereich,
 - Meßbereich 0 bis 3 V $\Rightarrow \pm 0.03 \text{ V}$,
 - Meßbereich 0 bis 300 V $\Rightarrow \pm 3 \text{ V}$



Aufgabenstellung:

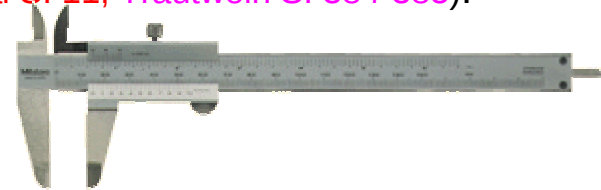
Aufgabe der **Versuchsplanung**: Auswahl der für den Versuch geeigneten Meßinstrumente, gegebenenfalls durch orientierende Vorversuche (Kosten/Nutzen-Betrachtung wichtig!).

Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Meßunsicherheit, absoluter Fehler, relativer Fehler

In vielen Fällen liefern die Meßinstrumente Meßwerte mit einem vom speziellen **Meßwert x** unabhängigen **absoluten Fehler Δx** , Angabe der Meßunsicherheit also **$x \pm \Delta x$** ; die **relative Genauigkeit $\pm \Delta x/x$** einer mit einem solchen Instrument vorgenommenen Messung wird um so *besser*, je *größer* der Meßwert ausfällt (siehe auch **Hellenthal S. 11**, **Trautwein S. 384-385**).

Beispiel: Schiebelehre mit Skaleneinteilung von 0,05 mm $\Rightarrow$



Meßunsicherheit (Ablesefehler) als **absoluter Fehler $\pm 0,05$ mm**,

Meßunsicherheit (Gerätefehler) als **absoluter Fehler $\Delta l = \pm 0,05$ mm**, d.h. $\leq$ kleinste Skaleneinteilung am Meßgerät

$\Rightarrow$ **Gesamtfehler Δl** = Ablesefehler + Gerätefehler = $\pm 0,1$ mm

- gemessene Länge $l = 15,00$ cm = 150,0 mm $\Rightarrow$ Meßunsicherheit von l als **absoluter Fehler $\Delta l = \pm 0,1$ mm**;
 $\Rightarrow$ Meßunsicherheit als **relativer Fehler $\Delta l/l = \pm (0,1 \text{ mm})/(150,0 \text{ mm}) = \pm 0,00067 = \pm 0,067\%$**
- gemessene Länge $l = 1,50$ cm = 15,0 mm $\Rightarrow$ Meßunsicherheit von l als **absoluter Fehler $\Delta l = \pm 0,1$ mm**;
 $\Rightarrow$ Meßunsicherheit als **relativer Fehler $\Delta l/l = \pm (0,1 \text{ mm})/(15,0 \text{ mm}) = \pm 0,0067 = \pm 0,67\%$**

Schreibweise (siehe **Trautwein S. 385-386**):

$l = 15$ mm bedeutet, daß die letzte Stelle (in diesem Fall 5) bestenfalls auf ± 1 mm ungenau ist, daher korrekte Schreibweise:

mit Hilfe der absoluten Fehlerangabe ± 1 mm $\Rightarrow l = (15 \pm 1) \text{ mm} = 15(1) \text{ mm}$ bzw.

mit Hilfe der relativen Fehlerangabe $\pm (1 \text{ mm})/(15 \text{ mm}) \Rightarrow l = 15 \text{ mm} \pm 6,7\%$

Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Verwendung von Meßinstrumenten, Meßbereich

Die Messung soll durch Auswahl des Instrumentes, des Meßbereiches oder durch geeignete Festlegung des Referenzwertes so eingerichtet werden, daß **der verfügbare Meßbereich des Instrumentes zu einem möglichst hohen Prozentsatz ausgenutzt wird.**

	Meßbereichumfang	Skalenteilung	Ablesefehler		
			Absolut	Bezogen auf Meßbereich	Bezogen auf $l = 30 \text{ mm}$
Schneidermaßstab	1,5 m	10 mm	3 mm	0,20%	10%
Lineal	300 mm	1 mm	0,3 mm	0,10%	1%
Schiebelehre	200 mm	1 mm	0,05 mm	0,03%	0,2%
Mikrometerschraube	30 mm	0.01 mm	0,003 mm	0,01%	0,01%



Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Verwendung von Meßinstrumenten, Schiebelehre



Mit der **Schiebelehre** (Hellenthal S. 10) werden Längen üblicherweise bis zu 200 mm mit einer Unsicherheit von $\pm 0,05$ mm abgelesen.

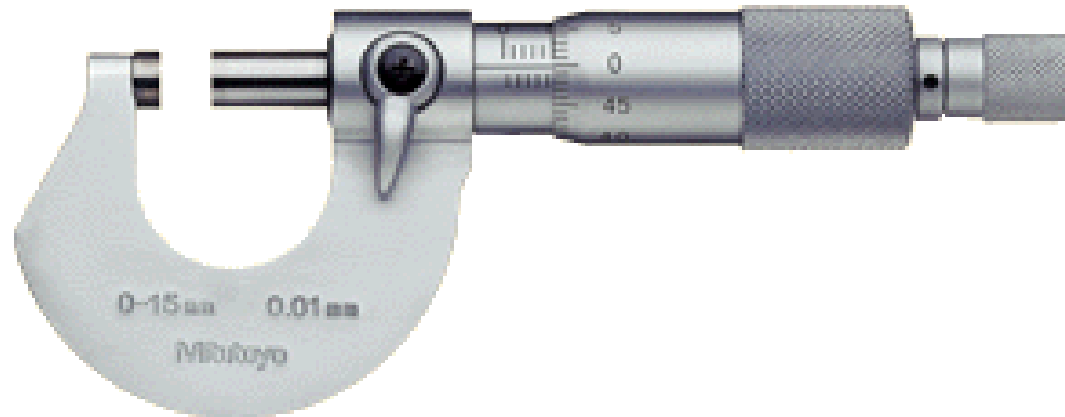
- Das Meßobjekt wird zwischen seinen beiden Schenkel gebracht und den beweglichen Schenkel ohne Druck an das Objekt heranzuführt. Die Verschiebung erfolgt dabei längs einer mit dem festen Schenkel verbundenen Millimeterskala.
- Eine besondere Markierung auf dem beweglichen Schenkel, der **Nonius**, gestattet die Ablesung auf dieser Skala mit der angegebenen Genauigkeit. Hinzu kommt noch der Gerätefehler = kleinste Markierung.

Ablesen der Schiebelehre (Meßschieber):

siehe Hellenthal S. 10 und  <http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/ruler/vernier.html>

Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Verwendung von Meßinstrumenten, Mikrometerschraube



Die **Mikrometerschraube** (Hellenthal S. 10, Trautwein S. 7) erlaubt die Messung kleiner Längen mit einer Ablesegenauigkeit von bis zu $\pm 0,003$ mm. Sie ist im Prinzip eine Schraubzwinde (Bild).

- Das zu messende Objekt wird zwischen Spindel und Amboß gebracht und die Spindel langsam an das Objekt herangeführt. Um eine undefinierte Deformation des Objektes bei der Messung zu verhindern, sorgt eine **Ratsche**, daß immer bei gleichem Anschraubdruck gearbeitet wird.
- Die Millimeter werden auf der Grobskala der Schafthülse abgelesen (Rand der **Meßtrommel**).
- Die hundertstel Millimeter liest man auf der Feinskala der Meßtrommel ab, wobei man beachten muß, ob der Rand der Meßtrommel innerhalb oder außerhalb der ersten oder zweiten Hälfte eines Millimetersintervall liegt. Im zweiten Fall muß man zum abgelesenen Zahlenwert noch 50/100 mm hinzuzählen.
- Wichtig: vor der Messung Nullpunkt der Mikrometerschraube kontrollieren.

Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Verwendung von Meßinstrumenten, elektrische Meßinstrumente



Elektrische Meßinstrumente werden durch ihre Skalenbeschriftung charakterisiert. Ein A, mA oder A kennzeichnet **Strommeßgeräte**, während **Spannungsmeßgeräte** mit kV, V oder mV bezeichnet werden. Weitere Daten geben **Sinnbilder** an, von denen im allgemeinen fünf auf jeder Skala aufgedruckt sind.

- Das Zeichen – bezeichnet **Gleichstrom**-Meßinstrumente, das Zeichen ~ entsprechend **Wechselstrom**-Meßinstrumente.
- Ein Meßwerkzeichen gibt das eingebaute **Meßwerk** an (Drehspulmeßwerk, Dreheisenmeßwerk, elektrodynamisches Meßwerk) an.
- Ein Zahlzeichen ist das **Klassenzeichen** (Güteklasse), und gibt den Instrumentenfehler in Prozent des Skalenendwertes an. Zu diesem Instrumentenfehler kommt noch die Ablesungenauigkeit hinzu.
- Ein weiteres Zeichen beschreibt die **Gebrauchslage** (waagrecht, senkrecht, geneigt). Die Ziffer im Stern bezeichnet die Prüfspannung.

Siehe auch [Hellenthal S. 194-195](#), [Trautwein S. 220-223](#),  <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/mes/0211231.htm>

Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Verwendung von Meßinstrumenten, elektrische Meßinstrumente



Die Verwendung von Zeigerinstrumenten führt, falls man nicht senkrecht auf den Zeiger blickt, zu einem **Parallaxenfehler**.

Dieser Parallaxenfehler läßt sich bei Instrumenten mit einer **Spiegelskala** (Hellenthal S. 12) vermeiden. Dabei muß man beim Ablesen des Meßwertes den Zeiger und sein Spiegelbild zur Deckung bringen.

Siehe auch Hellenthal S. 194-195 und  <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/mes/0211231.htm>

Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Verwendung von Meßinstrumenten, Vielfachmeßgeräte

Die Messung soll durch Auswahl des Instrumentes, des Meßbereiches oder durch geeignete Festlegung des Referenzwertes so eingerichtet werden, daß **der verfügbare Meßbereich des Instrumentes zu einem möglichst hohen Prozentsatz ausgenutzt wird.**



Vielfachmeßgeräte haben einen **umschaltbaren Meßbereich** (siehe Trautwein S. 221).

- Der sich aus dem Instrumentenfehler *ergebende absolute Fehler* muß aus dem jeweils eingestellten **Skalenendwert** ermittelt werden (siehe auch Hellenthal S. 10):
 - z.B. Skalenendwert (Meßbereich bis) 300 V, Fehlerangabe am Meßgerät $\pm 1\%$ vom Skalenendwert (Meßbereich) $\rightarrow$ absoluter Fehler des Meßgerätes = $\pm 1\%$ von 300 V, also ± 3 V.
- 😊 Zur *Vermeidung* einer Überlastung des Gerätes ist jede Messung stets mit dem **größten** Meßbereich zu beginnen.
- 😊 Zur Ablesung des Meßwertes geht man *schrittweise* auf denjenigen Meßbereich über, bei dem sich ein *möglichst großer* Zeigerausschlag einstellt.
- ☹ Es ist besonders darauf zu achten, daß man bei Spannungsmessungen nicht versehentlich einen Strommeßbereich einschaltet (Kurzschluß-Gefahr ☠).

Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Auswertung von Messungen, Meßergebnis

Aufgabenstellung:

Messung einer physikalischen Größe = Vergleich mit einer Einheit dieser Größe.

Wiederholter Vergleich unter **gleichen** Bedingungen $\Rightarrow$ Meßwerte weichen voneinander und von dem zu ermittelnden wahren Wert der Meßgröße ab.

Aufgabe im Rahmen der **Datenauswertung**:

Fehlerbetrachtung: aus den Meßwerten bestmöglichen **Schätzwert** für den wahren Wert der Meßgröße, sowie ein Maß für die **Unsicherheit** des Schätzwertes zu ermitteln
siehe Hellenthal S. 11 bzw. S. 13, Trautwein S. 384-385.

Meßergebnis:

Angabe des Schätzwertes und seiner Unsicherheit, z.B. für eine Länge $l = (1.00 \pm 0.01) \text{ cm}$
siehe Hellenthal S. 11 bzw. S. 13, Trautwein S. 384-385.

Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Auswertung von Messungen, Meßabweichungen

Unterteilung der **Meßabweichungen**



Systematische Abweichungen

(Hellenthal S. 11, Trautwein S. 386)



Es gibt keine ganz genaue Meßinstrumente.

Meßwerte in gleicher Weise in *einer* Richtung
etwas verfälscht.



Statistische (zufällige) Abweichungen



Durch ungenaue Handhabung bzw. Ablesung.
Durch Schwankungen bzw. Rauschen.

Meßwerte zufällig in *beiden* Richtungen



Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Auswertung von Messungen, systematische Abweichungen

Systematische Abweichungen sind gegeben durch:

1. Messung mit falsch geeichten (Eichamt) oder kalibrierten Meßgeräten, z. B.

- „Meteremaß“ tatsächlich 999 mm oder 1002 mm lang
- ungleichmäßige Skaleneinteilung

Eich- und Kalibrierfehler sind schwer zu erkennen!

- Prüfung der „inneren Konsistenz“ des Meßgerätes: Vergleich des Meßobjektes mit verschiedenen Teile des Maßstabes.

Eichämter: Österreich: ON <http://www.on-norm.at/>; Deutschland: PTB

http://www.ptb.de/de/fachabteilungen/_dkd.html; USA: NIST <http://ts.nist.gov/ts/htdocs/230/233/calibrations/>

2. ungeeignete Meßverfahren, z. B.

- Messung des Durchmessers eines Gummischlauches mit einer Schiebelehre

3. Nichtberücksichtigung von Nebenumständen, z. B.

- Widerstandsmessung: Nichtberücksichtigung einer eventuellen Widerstandszunahme durch Temperaturerhöhung des Widerstandes selbst aufgrund des Meßvorganges.

Meßergebnis meist einseitig verfälscht.



Physikalische Grundlagen der Meßtechnik

Auswertung von Messungen, systematische Abweichungen

Beurteilung systematischer Abweichungen:

Kritische Analyse aller relevanter Umstände:

1. Unvollkommenheit des Meßobjektes
2. Unvollkommenheit der Meßgeräte
3. Unvollkommenheit der Maßverkörperung
4. Unvollkommenheit des Meß- und Auswerteverfahrens
5. Umwelteinflüsse ☀️ 💧 ❄️
6. Persönliche Unzulänglichkeiten des Beobachters 😊 😐 😞

Aufgabe des Experimentators:

Systematische Abweichungen zu erkennen, möglichst klein zu halten, Auswirkungen auf das Meßergebnis abzuschätzen, eventuell am Meßergebnis entsprechende Korrekturen anzubringen.

Systematische Abweichungen werden häufig nachträglich erkannt!