

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:**

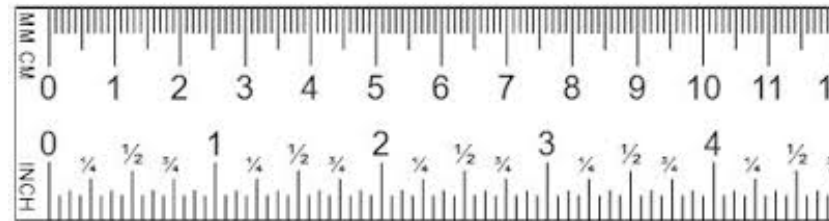
Sa, 24. Nov. 09:45 - 11:00

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

# Messungen und Auswertung

- alle physikalischen Beobachtungen und Experimente stehen unter der Fragestellung, welche Wechselwirkungen zwischen zwei oder mehreren physikalischen Grössen bestehen
- in einigen wenigen Fällen stehen physikalische Einheiten zur Verfügung, mit denen sich ein Untersuchungsobjekt direkt mit Hilfe unserer Sinne vergleichen lässt

Messtab

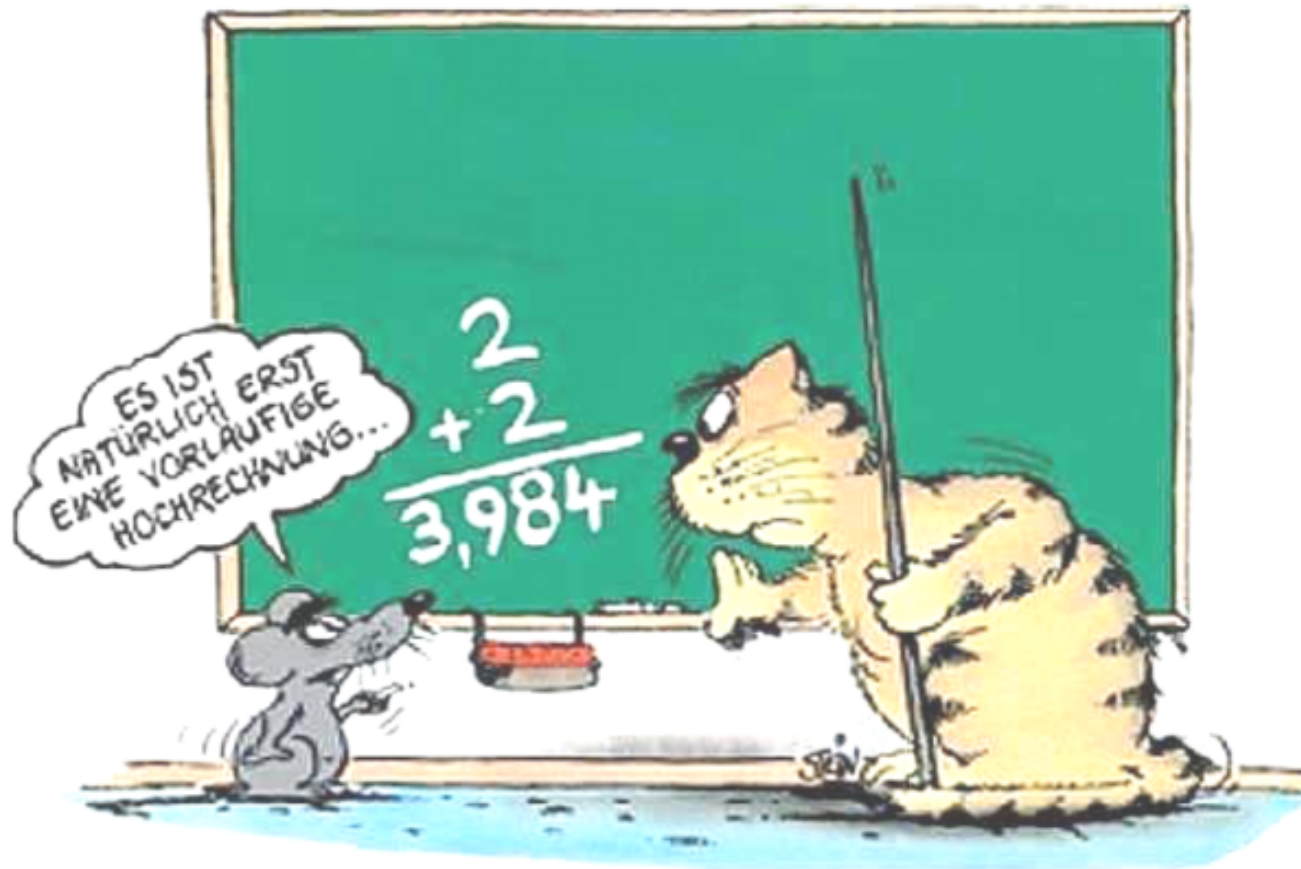


**aber:**

schon bei Längenmessungen ist ein unmittelbarer Vergleich nur möglich wenn,

- A) das Objekt nicht zu klein zum Sehen ist
- B) nicht zu gross zum Hantieren ist

# Fehler und Fehlerquellen



*F. Simmel*

- Es gibt verschiedene Arten von Fehler
- Systematische
- zufällige / statistische

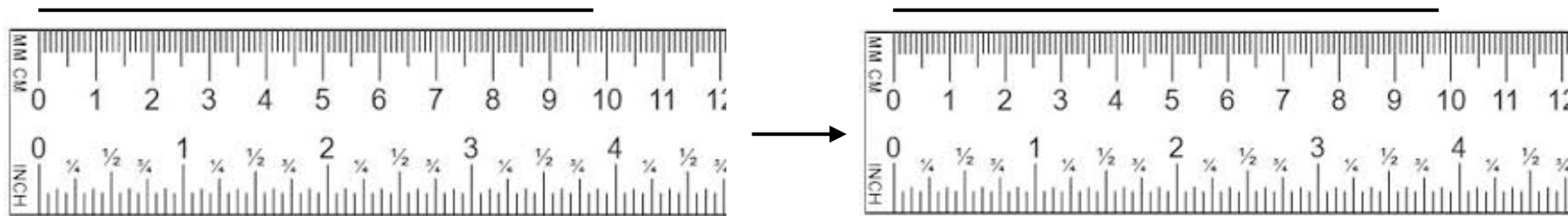
# Fehler und Fehlerquellen

- **Systematische Fehler**

- bei kritischer Betrachtung zeigt sich, dass es ganz genaue Messinstrumente nicht gibt
- Messgeräte lassen sich nur mehr oder minder gut eichen
- Messgeräte zeigen altersbedingte Veränderungen
- daraus folgen selbst für Messungen gleicher Weise zueinander abweichende Ergebnisse
- Mess-Resultate sind demnach alle mit einem systematischen Fehler behaftet der durch die Messapparatur bedingt ist und sich nicht mithilfe desselben Messgerätes feststellen lässt

# Fehler und Fehlerquellen

- **Systematische Fehler**
- Ein Kunststofflineal mit einer 20 cm langen Skala ist um 1,5 % geschrumpft
- Welchen **systematischen** Fehler enthält die Längenbestimmungen, die sie damit ausführen ?
- Wie lang ist der Gegenstand tatsächlich, für den Sie an diesem Lineal  $l = 9,75$  cm ablesen ?



## Antwort

Ablesung ist 1,5% zu gross

d.h. tatsächlicher Wert ist ca. 9,60 cm

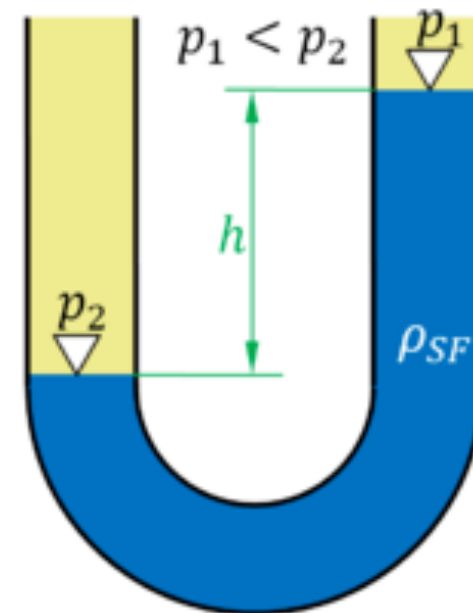
Rechenweg:  $9,75 \times 1,5 = 14,625/100 = 0,146$

gerundet :  $9,75 - 0,15 \gg \approx 9,60$  cm

# Fehler und Fehlerquellen

- **Zufällige / Statistische Fehler**
- solche Abweichungen entstehen sowohl in Messgeräten als auch durch ungenaue **Handhabung** und/oder **ungenauere Ablesung**
  - im Messgerät durch „Spiel“ bestimmter Komponenten, Zeigerinstrumente
  - im Praktikum durch unterschiedliche Ablesegenauigkeit der Studenten
  - d.h. selbst unter Wiederholbedingungen werden die Messwerte voneinander abweichen, man sagt auch sie streuen

| Messung | Länge $h$<br>(cm) |
|---------|-------------------|
| 1       | 12                |
| 2       | 8                 |
| 3       | 20                |
| 4       | 15                |
| 5       | 16                |



# Fehler und Fehlerquellen

- **Darstellung von Fehler / Unsicherheiten**

Beispiel:

Abmessung einer Mauer mit einem Zollstock,

d.h. Masstab mit grober Unterteilung, Mauer mit rauhem Abschluss

Ergebnis: 3,57 m, Ungenauigkeit 1 cm

**absoluter Fehler:**  $l = 3,57 \text{ m} \pm 1 \text{ cm} = (3,57 \pm 0,01) \text{ m}$

**relativer Fehler in % ?**

$: l = 3,57 \text{ m} \pm 0.3\% \quad \text{-----} \quad 0,01/3,57 \times 100 = 0,280$

**Darstellung:**  $3,57 \text{ m} = 35,7 \text{ dm} = 357 \text{ cm} \lll \text{ okay}$

**Falsch:**  $l = 3570 \text{ mm}$  (vermittelt nicht vorhandene Messgenauigkeit)

# Fehler und Fehlerquellen

- **Darstellung von Fehler / Unsicherheiten**

Ein Wiegeresultat ist  $m=0,600\text{ g}$ .

Die **relative** Unsicherheit bzw. Toleranz der Waage beträgt 0,15%.

Schreiben Sie das Ergebnis mit **absoluten** Unsicherheitsbereich



## Antwort

$$m = 0,600\text{ g} \pm 9\text{ mg}$$

$$m = 0,600\text{ g} \pm 0,0009\text{ g}$$

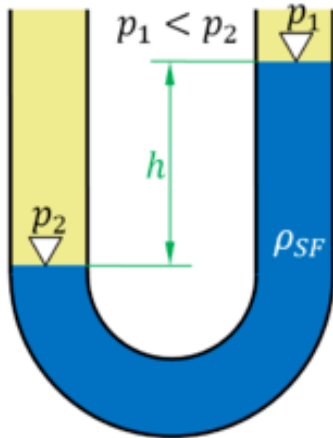
## Welche ist korrekt?

a)  $m = 0,60\text{ g} \pm 0,0009\text{ g}$

b)  $m = 0,600\text{ g} \pm 0,0009\text{ g}$

c)  $m = 0,6000\text{ g} \pm 0,0009\text{ g}$

# Fehler und Fehlerquellen



arithmetisches Mittel

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

mittleres  
Schwankungsquadrat  
der Einzelmessung  
Varianz

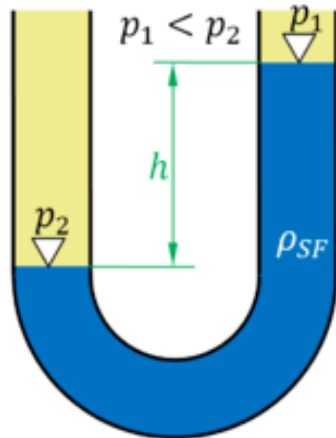
$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

| Messung | Länge $h$<br>(cm) |
|---------|-------------------|
| 1       | 12                |
| 2       | 8                 |
| 3       | 20                |
| 4       | 15                |
| 5       | 16                |

mittlere Fehler des  
arithmetischen Mittels

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

# Fehler und Fehlerquellen



arithmetischer  
Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{1}{5}(12 + 8 + 20 + 15 + 16) = 14,2$$

Standardabweichung der Einzelmessung

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{4} \{ (-2,2)^2 + (-4,2)^2 + (+5,8)^2 + (+0,8)^2 + (+1,8)^2 \}} = 3,87$$

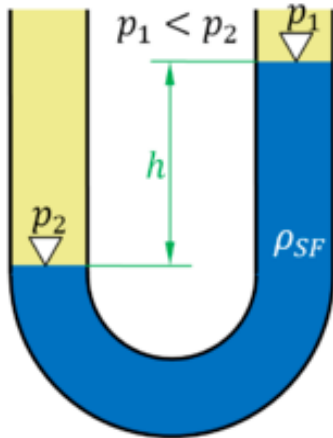
Standardabweichung (Fehler) des Mittelwerts

$$\sigma_M = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} = \frac{3,87}{\sqrt{5}} = 1,73$$

$$\boxed{\bar{x} = 14,2 \pm 1,7}$$

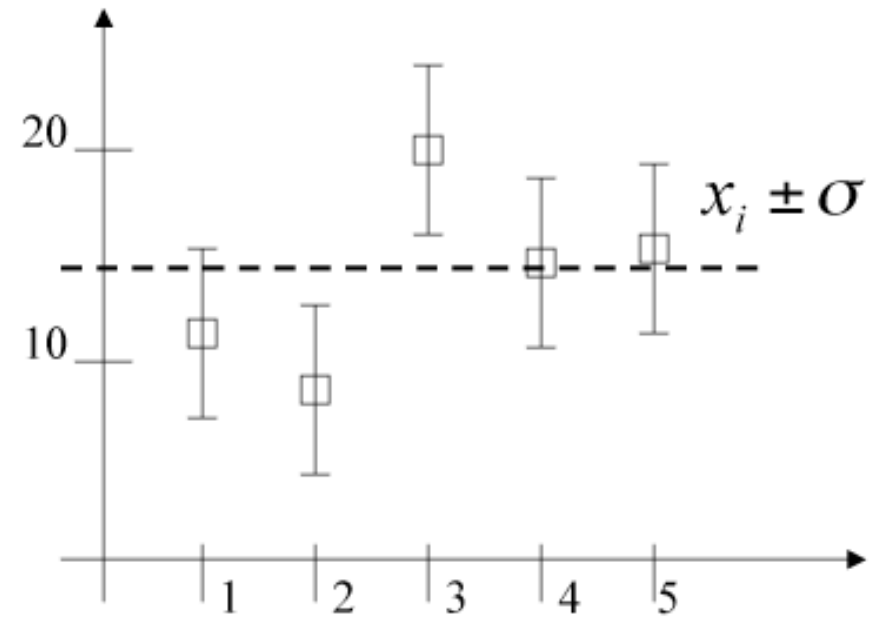
| Messung | Länge $h$<br>(cm) |
|---------|-------------------|
| 1       | 12                |
| 2       | 8                 |
| 3       | 20                |
| 4       | 15                |
| 5       | 16                |

# Fehler und Fehlerquellen



| Messung | Länge $h$<br>(cm) |
|---------|-------------------|
| 1       | 12                |
| 2       | 8                 |
| 3       | 20                |
| 4       | 15                |
| 5       | 16                |

$$\bar{x} \pm \sigma_M \quad \text{I}$$



# Messgeräte: Eichung und Kalibrierung

- **Eichung**

- ist die vom Gesetzgeber vorgeschriebene Prüfung eines Messgerätes auf Einhaltung der zugrunde liegenden eichrechtlichen Vorschriften, insbesondere der Eichfehlergrenzen
- mit einem Stempel wird die voraussichtliche Einhaltung für die Gültigkeitsdauer der Eichung bestätigt
- Eichungen werden in der Bundesrepublik Deutschland von den Landeseichämtern und staatlich anerkannten Prüfstellen unter fachlicher Aufsicht durch die Physikalisch - Technische Bundesanstalt (PTB) durchgeführt
- oder in anderen Worten: eine Eichung ist eine gesetzlich vorgeschriebene und auf nationale Standards rückführbare Kalibrierung
- oft wird der Begriff Eichung fälschlicherweise für Kalibrierung verwandt
- so hört man oft vom angeblichen Eichstrich an Schankgefäßen, obwohl Schankgefäße von der Eichpflicht ausgenommen sind; richtig wäre Füllstrich



# Messgeräte: Eichung und Kalibrierung

- **Kalibrierung**

- Die Überprüfung von Messgeräten, für die es keine gesetzlichen Vorgaben gibt, nennt man man Kalibrierung. Das Kalibrieren ist im Gegensatz zum Eichen also keine hoheitlich vorgeschriebene Aufgabe. Gründe für das Kalibrieren sind zum Beispiel die Qualitätssicherung
- eine interne Kalibrierung ist eine Kalibrierung, bei der alle Messgeräte auf einen firmeninternen oder organisationsinternen Standard genormt werden
- eine rückführbare Kalibrierung ist eine Kalibrierung, deren Referenz oder Normal ein nationaler Standard ist (zum Beispiel ein Messgerät/Messaufbau der PTB). Alle mit rückführbaren Messgeräten gewonnenen Messergebnisse sind einerseits auf diesen nationalen Standard rückführbar und andererseits folglich auch untereinander vergleichbar. *Rückführbar* kalibrierte Messgeräte werden oft auch als Referenz-Messgeräte bezeichnet. Der Vorteil der auf nationale Standards (und somit in der Regel auch auf internationale Standards) rückführbaren Messgeräte ist die weltweite Vergleichbarkeit der Messergebnisse