



BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL

Fachbereich C / Experimentalphysik

# Einführungsveranstaltung zum Physikalischen Grundpraktikum für Lebensmittelchemiker

Dirk Lützenkirchen-Hecht

22.4.2025



## Fakultät 4 / Experimentalphysik

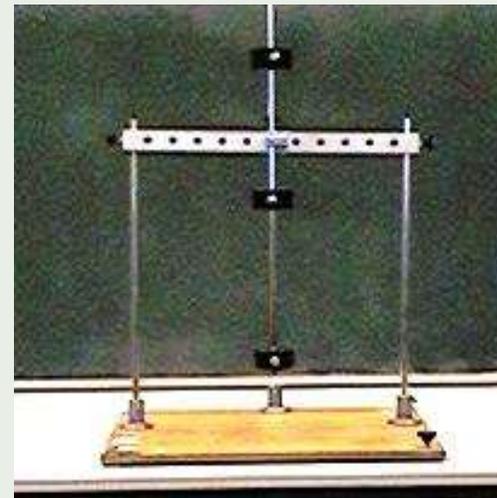
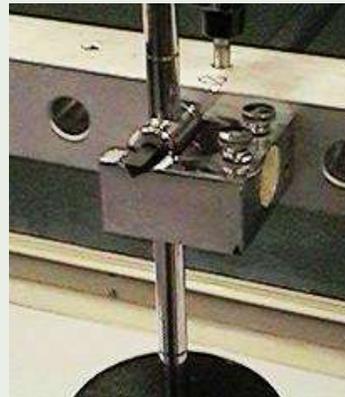
- Organisatorische Aspekte
- Grundlagen des Experimentierens
- Fehlerrechnung!
- Sicherheitsaspekte



## Versuche im Lebensmittelchemiker-Praktikum

### Mechanik:

M1: Physikalisches Pendel

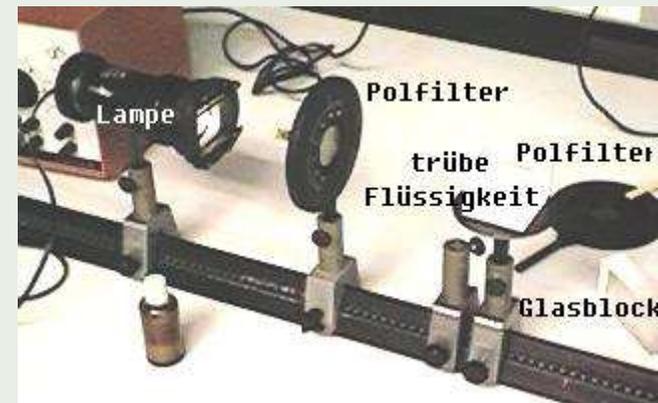


### Optik:

GO5: Abbildung durch Linsen & Linsenfehler

GO2: Optische Instrumente

WO7: Beugung und Interferenz von Laserlicht

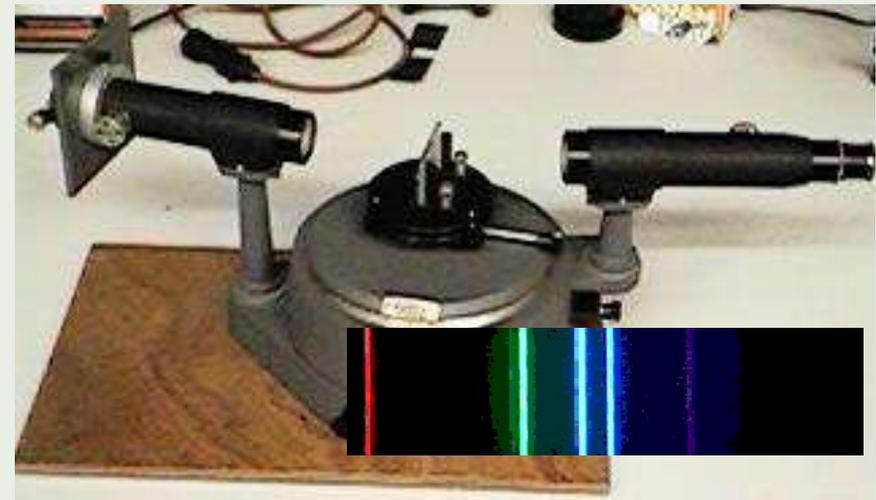
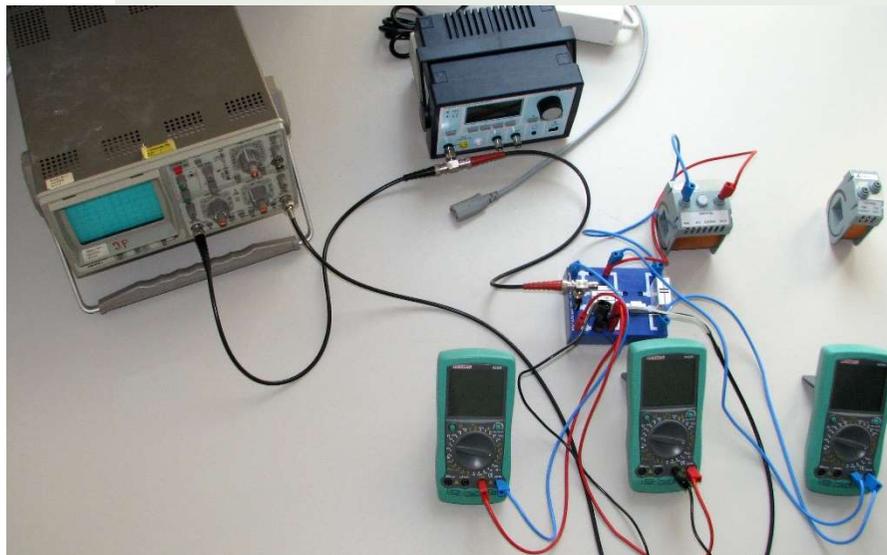




## Versuche im Chemiker-Praktikum

### Elektrizitätslehre:

- E1: Drehspulinstrument
- E3: Elektronen in el.-mag. Feldern
- E4: Elektrische Schwingungen:  
RCL-Kreise



### Atome und Quanten:

- AP5: Gitterspektrometer
- AP7: Planck'sches  
Wirkungsquantum



- Die Praktika finden **ab dem 29.4.2025** nur Dienstags *vormittags* von **10:15 Uhr bis 14:15 Uhr** statt
- **Aufteilung in Gruppen zu je 2 Studierenden**
- Idealerweise: Gemeinsame **Vorbereitung des Versuchs** in der Gruppe
- Die **Auswertung** und das **Protokoll** werden in der Gruppe **gemeinsam** angefertigt, d.h. es wird ein gemeinsames Protokoll abgegeben

**Weitere Informationen, Skripte, Versuchsanleitungen, Bilder, ...**

<http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/APPRAK.HTML>



Gruppe	22.4.	6.5.	13.5.	20.5.	27.5.	3.6.	24.6.	1.7.	8.7.
1 (10:15-14:15)	M1	GO5	GO2	E1	E3	E4	WO7	AP5	AP7

**Frei: Pfingsten: 10.6.205**

Vormittags 10:15 – 14:15
1 – xxx1341
2 – xxx4729
3 – xxx4175 (N?)
4 – xxx1302
5- xxx2604
6 – xxx5009
7 – xxx
8 – xxx
9 – xxx
10 – xxx
11 – xxx
12 – xxx



**17. Juni 2025**



- **Abgabe der Protokolle:**  
Anstreben bis zum Ende der Woche (... der nächste Versuch kommt!) **Spätestens** bis zum *Beginn des nächsten Versuchs!*
- Abschlussveranstaltung: **Vortrag/Präsentation über ausgewähltes Thema oder Experiment** (ca. 25-30 min) – Vorträge ab der letzten Semesterwoche (ca. 15.7.2025)  
*(oder in der vorlesungsfreien Zeit ... nach Absprache!)*
- Ansprechpartner für **Organisation/Technik:**  
**Peter Kind**  
Raum D.08.06, Tel.: -3514, kind@uni-wuppertal.de  
**Dirk Lützenkirchen-Hecht**  
Raum D.09.23, Tel.: -3103/-3102, dirklh@uni-wuppertal.de  
**+ Praktikumsassistenten (P. Schwoche)**



- Vorbereitung: ... am Anfang steht das Literaturstudium
- **Vor** der Durchführung eines Experiments
  - Grundlagen, Theorie: Um was geht es in dem Experiment überhaupt?
  - Welche Größen sind entscheidend für das Experiment?
  - Welche Physikalischen Gesetzmäßigkeiten?
  - Voraussetzungen, Annahmen für diese Gesetzmäßigkeiten
  - ...

... dazu sind Skripte zu den einzelnen Versuchen vorbereitet

(siehe: [www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/APPRAK.HTML](http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/APPRAK.HTML))



## Beispiel für Versuchsskript

- **Rechtzeitig vor Versuch** herunterladen & **durcharbeiten!**
- Erforderliche Vorkenntnisse sind spezifiziert!
- Literaturquellen sind angegeben!
- **Empfehlung:**  
Mit Hilfe dieser Anleitung gemeinsam  
- **Praktikumsprotokoll** vorbereiten,  
z.B. **Theorieteil** (kurz & knapp),  
- **Tabellen für Auswertung**  
**vorbereiten**  
- Ggf. **Graphiken** entwerfen, ...

### Versuch E1

### Das Drehspulinstrument

3.06

#### I. Zielsetzung des Versuchs

Ein einfaches Drehspulinstrument soll durch Wahl geeigneter Vor- und Parallelwiderstände zur Messung von Strömen und Spannungen verwendet werden.

Elektromotorische Kraft (EMK) und Innenwiderstand sind wichtige Kenngrößen einer Spannungsquelle. Im Rahmen dieses Versuchs sollen diese beiden Größen einer Batterie ausgemessen werden.

Nichtlineare Widerstandselemente spielen eine wichtige Rolle auf dem Gebiet der Elektronik. Ausgemessen werden soll die Strom-Spannungs-Charakteristik einer Glühlampe und einer Halbleiterdiode.

#### II. Vorkenntnisse

##### 1) allgemeine Vorkenntnisse

- Ohmsches Gesetz, Kirchhoffsche Regeln, Induktionsgesetz, Definition von Strom und Spannung  
Literatur: Jedes Lehrbuch der Physik, Elektrizität

##### 2) spezielle Vorkenntnisse

- Funktionsweise von Drehspulgalvanometern  
Literatur: GERTHSEN KNESER VOGEL, Kapitel 7.5.1  
W. WALCHER, Praktikum der Physik, Kap. 5.0.3.2
- Schwingungsgleichung des Drehspulgalvanometers  
Literatur: WESTPHAL, Physikalisches Praktikum, Anhang II, A
- Meßbereichserweiterung  
Literatur: W. WALCHER, Praktikum der Physik, Kap. 5.0.3.2
- Galvanische Elemente  
Literatur: GERTHSEN KNESER VOGEL, Kapitel 6.5.1, 6.5.2



Eine Messung ist *nie* beliebig genau

- es hat nichts mit einer falschen Messung zu tun, wenn die Messung vom „wahren Wert“ abweicht, ... das sollte sogar so sein!

- Besser: Statt *Fehler*  $\Rightarrow$  *Messunsicherheiten/Abweichungen*

- *Fehler:*

Zum Beispiel falsches Ablesen des Messgeräts, Zahlenverdrehen etc. Diese sollte man vermeiden!



**Jedes** Experiment (und damit auch seine Ergebnisse) ...  
... hängt mehr oder weniger stark von äußeren Einflüssen ab!

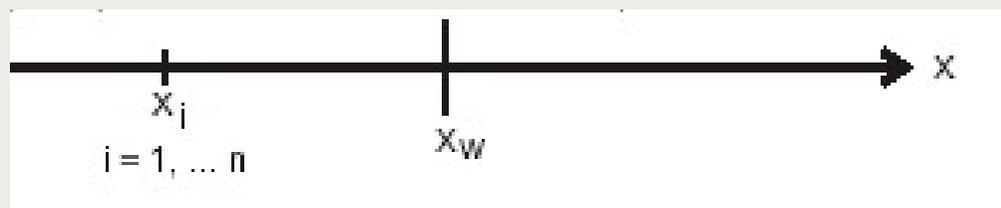
## Systematische Störungen des Experiments:

**Beispiel:** Untersuchung von Molekülen in Lösung

Auch bei geringer Konzentration immer Wechselwirkung

→ Systematische Beeinflussung des Experiments bei Variation der Konz.

→ Extrapolation auf unendliche Verdünnung



Systematischer Fehler  
(Verfälschung der Messgröße in eine Richtung)

**Extrapolation nicht immer (eindeutig) möglich!**



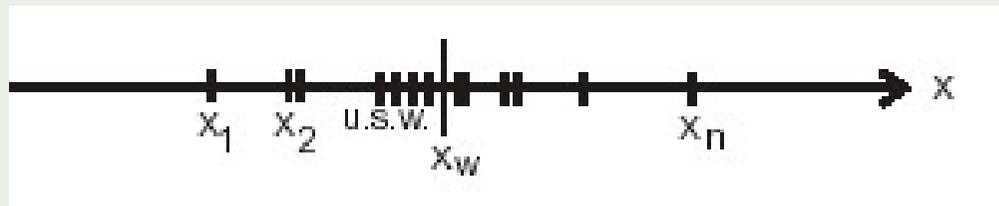
**Jedes** Experiment (und damit auch seine Ergebnisse) ...  
... hängt mehr oder weniger stark von äußeren Einflüssen ab!

## Unsystematische/zufällige Störungen:

Wiederholung einer Messung, immer geringfügige Variationen

→ **Zufallsfehler!**

**Ursachen:** Unsystematische Schwankungen der Versuchsbedingungen,  
Reibung in mechanisch bewegten Messinstrumenten (Zeigerinstrumente),  
Justier- & Ablesefehler, ...

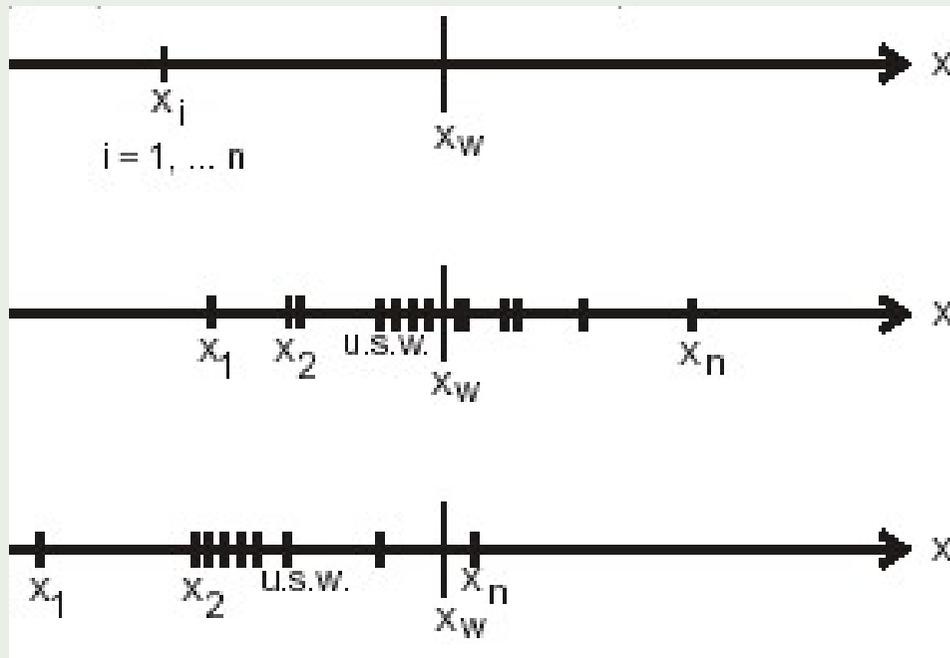


Zufälliger Fehler (Gleiche  
WK für Messung  
größerer/kleineren Wert)



## Ziel jeder Messung $x_i$ :

**Bestimme den wahren Wert  $x_w$  einer (physikalischen) Größe**



Systematischer Fehler  
(Verfälschung in eine  
Richtung)

Zufälliger Fehler (Gleiche  
WK für Messung  
größerer/kleineren Wert)

Kombination beider  
Fehlertypen

**Aufgabe der Fehlerrechnung: Bestimmung des besten Schätzwerts  $\underline{x}$  aus endlicher Menge Messwerte! Angabe der Unsicherheit  $\underline{x} \pm m$**



## In der Realität:

Nur endliche Stichprobe (Anzahl Messungen) im Exp. möglich!

## Berechnung von Näherungswerten:

Mittelwert  $\bar{x}$  und mittlerer Fehler  $m$  einer (endlichen) Stichprobe

Gaußsches Prinzip der kleinsten Fehlerquadrate!

Die beste Näherung an den wahren Wert ist für eine endliche Zahl von Messungen der Wert, bei dem die Summe der Fehlerquadrate minimiert wird!



Arithmetischer Mittelwert

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

Beste Näherung für die wahre Varianz ist  $m^2$ :

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

Varianz  $m^2$  entspricht

Summe der Fehlerquadrate / (Anzahl Kontrollmessungen – 1)

Unsicherheit des Mittelwertes in Bezug auf den wahren Wert:

Standardabweichung des Mittelwertes:

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



## Kleine Zusammenfassung:

- **Standardabweichung der Einzelmessung  $m$**  charakterisiert Abweichung der Einzelmessung vom Mittelwert!
- Einzelmessung liegt mit der Wahrscheinlichkeit von 68.3% im Intervall  $\bar{x} \pm m$  um den Mittelwert!
- Verteilung der Einzelmessungen unabhängig von Zahl der Mess.  
⇒ Bei hinreichend großer Zahl Messungen ist  $m$  konstant ( $m \approx \sigma$ )
- **Standardabweichung des Mittelwerts  $\bar{m}$**  charakterisiert Fehler des Mittelwerts!
- **Wahrer Wert** liegt mit **68.3% WK** im Intervall  $\bar{x} \pm \bar{m}$
- Auch bei großer Standardabweichung des Einzelwertes: Beliebige Genauigkeit des Mittelwerts erreichbar!!!  
$$\bar{m} = \frac{m}{\sqrt{n}}$$



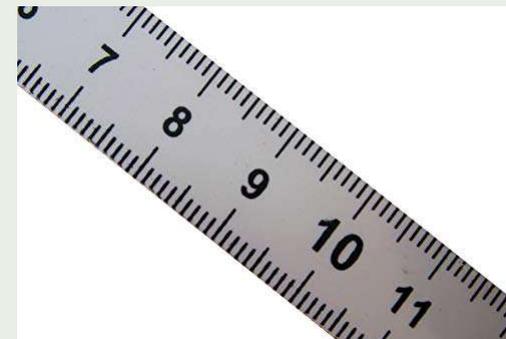
## Relative – absolute Fehler:

Bessere Vorstellung über die Genauigkeit des Mittelwerts:

Relativer Fehler: 
$$\overline{m}_{rel} = \frac{\overline{m}}{\overline{x}}$$

### Beispiel:

Absoluter Fehler einer Längenmessung  
sei  $\overline{m} = 1$  mm (z.B. Zollstock)



Messstrecke = 1000 mm, d.h. relativer Fehler =  $1/1000 = 0.1\%$



Messstrecke = 10 mm, d.h. relativer Fehler =  $1/10 = 10\%$





## Fehlerfortpflanzung / Größtfehlerabschätzung:

I.a.: Im Versuch zu ermittelnden Größen hängen von mehreren, unabhängig zu messenden Größen  $x$ ,  $y$ , ... ab!

Dazu existieren gewisse mathematische Beziehungen  $R = f(x, y, \dots)$

Jede Messgröße  $x$ ,  $y$ , ist mit eigenem Fehler behaftet!

### Exakte Fehlerfortpflanzung

- bestimmt Mittelwert & Standardabweichung
- berücksichtigt Häufigkeitsverteilungen aller Messgrößen und
- Wahrscheinlichkeit für gleichzeitiges Auftreten zufälliger Ereignisse!



## Exakte Fehlerfortpflanzung:

Dann gilt:

1. Beste Näherung für die interessierende Größe ergibt sich unter Verwendung der Mittelwerte in der Bestimmungsgleichung:

$$\bar{R} = f(\bar{x}, \bar{y}, \dots)$$

2. Standardabweichung des Resultats ist gleich der Wurzel aus der Quadratsumme der gewichteten Standardabweichungen der Messgrößen

$$\overline{m}_R = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \overline{m}_x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \overline{m}_y\right)^2 + \dots}$$

df/dx: Gewichtungsfaktor:

Partielle Ableitung der Bestimmungsgleichung nach Variable! (alle anderen Var. Konstant)



## Beispiel für exakte Fehlerfortpflanzung:

Volumen eines Zylinders soll bestimmt werden:  $V = \pi r^2 h$

Radius und Höhe gemessen zu  $r = \bar{r} \pm \overline{m}_r$  und  $h = \bar{h} \pm \overline{m}_h$

Mittelwert des Volumens ist:  $\bar{V} = \pi \bar{r}^2 \bar{h}$

Partielle Ableitungen:  $\frac{\partial V}{\partial r} = 2\pi r h$ ;  $\frac{\partial V}{\partial h} = \pi r^2$

Standardabweichung  
des Mittelwertes:  $\overline{m}_V = \sqrt{\left(2\pi \bar{r} \bar{h} \overline{m}_r\right)^2 + \left(\pi \bar{r}^2 \overline{m}_h\right)^2}$

**Zahlenwerte:**  $r = (25 \pm 2) \text{ mm}$ ,  $h = (75 \pm 3) \text{ mm}$

$V = \pi r^2 h = 147262 \text{ mm}^3$ ;

$\overline{m}_V = [(2\pi r h \cdot 2 \text{ mm})^2 + (\pi r^2 \cdot 3 \text{ mm})^2]^{1/2} = [(23562 \text{ mm}^3)^2 + (5890 \text{ mm}^3)^2]^{1/2}$   
 $= [555165248 \text{ mm}^6 + 34697828 \text{ mm}^6]^{1/2} = 24287 \text{ mm}^3$ ;  $\overline{m}_V/V = 16.49\%$



***Exakte Fehlerfortpflanzung oft extrem kompliziert!***  
***Auch für relativ einfache Situationen ...***

Daher: **Größtfehlerberechnung**

**Größtfehler** beschreibt die Abweichung des Resultats vom Bestwert bei **ungünstigster Kombination der Mittelwerte**  $\pm$  Fehler der Einzelgrößen!

$$a = \bar{a} \pm \Delta a \text{ und } b = \bar{b} \pm \Delta b$$

Betrachte

Abhängig von den jeweiligen Rechenoperationen muss / sollte Relativ- oder Absolutfehler ( $\Delta a/|a|$ ) betrachtet werden:



## Größtfehlerabschätzung

Rechenoperation	$\underline{c} = f(\underline{a}, \underline{b})$	Größtfehler $\Delta c$	Relativer Größtfehler $\Delta c/c$
Multiplikation mit konstantem Faktor	$\underline{c} = k * \underline{a}$	$k * \Delta a$	$\Delta a/ \underline{a} $
Addition	$\underline{c} = \underline{a} + \underline{b}$	$\Delta a + \Delta b$	$\frac{(\Delta a + \Delta b)}{ \underline{a} + \underline{b} }$
Subtraktion	$\underline{c} = \underline{a} - \underline{b}$	$\Delta a + \Delta b$	$\frac{(\Delta a + \Delta b)}{ \underline{a} - \underline{b} }$
Multiplikation	$\underline{c} = \underline{a} * \underline{b}$	$ \underline{a} *\Delta b +  \underline{b} *\Delta a$	$\Delta a/ \underline{a}  + \Delta b/ \underline{b} $
Division	$\underline{c} = \underline{a} / \underline{b}$	$( \underline{a} *\Delta b +  \underline{b} *\Delta a)/\underline{b}^2$	$\Delta a/ \underline{a}  + \Delta b/ \underline{b} $
Potenzieren	$\underline{c} = \underline{a}^n$	$\Delta a * n *  \underline{a} ^{(n-1)}$	$n * \Delta a/ \underline{a} $



## Vergleich: Beispiel von eben

Volumen des Zylinders:  $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$

Exakte Fehlerfortpflanzung:

$$\overline{m_V} = \sqrt{\left(2\pi r h m_r\right)^2 + \left(\pi r^2 m_h\right)^2}$$

Größtfehlerabschätzung:

$$\overline{m_V} = \pi r^2 m_h + 2\pi r h m_r$$

**Zahlenbeispiel:**

$$r = 25 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$$

$$h = 75 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$$

$$V = 147262 \text{ mm}^3$$

Exakte Fehlerfortpflanzung:

$$m_V = 24287 \text{ mm}^3 \text{ (ca. 16.5\%)}$$

Größtfehlerabschätzung:

$$m_V = 29452 \text{ mm}^3 \text{ (ca. 20.0\%)}$$

$$\Delta V/|V| = 2\Delta r/|r| + \Delta h/|h| = 2 \cdot 8\% + 4\% = 20\%$$



- **Theorie** soweit zum grundlegenden Verständnis notwendig (Man sollte auch in einem Jahr noch erkennen & verstehen können, was gemacht wurde) – *oder auch zur Zwischenprüfungsvorbereitung...*
- **Durchführung skizzieren**  
(Bilder helfen da manchmal sehr – Kamera, Handy etc ist gestattet bzw. sogar erwünscht!)
- **Versuchsgeräte beschreiben**  
(zum Beispiel Digitalmultimetertyp – 3, 4 Stellen, Genauigkeit, ...)
- **Messwerte sofort ins Protokoll aufnehmen!** (am besten Tabellen vorbereiten)  
**Physikalische Größe = (Maßzahl  $\pm$  Fehler) \* Maßeinheit**  
- Auch Werte von Konstanten, die für die Auswertung benutzt werden
- **Auswertung sollte sich hier direkt anschließen** – Graphen (**Beschriftung**), Tabellen (**keine unsinnigen Genauigkeiten**),
- Graphen sind auch hilfreich, um **syst. Messfehler** zu erkennen!
- **Auch ein Photo ist manchmal gut und hilfreich** (z.B. optische Versuche!)



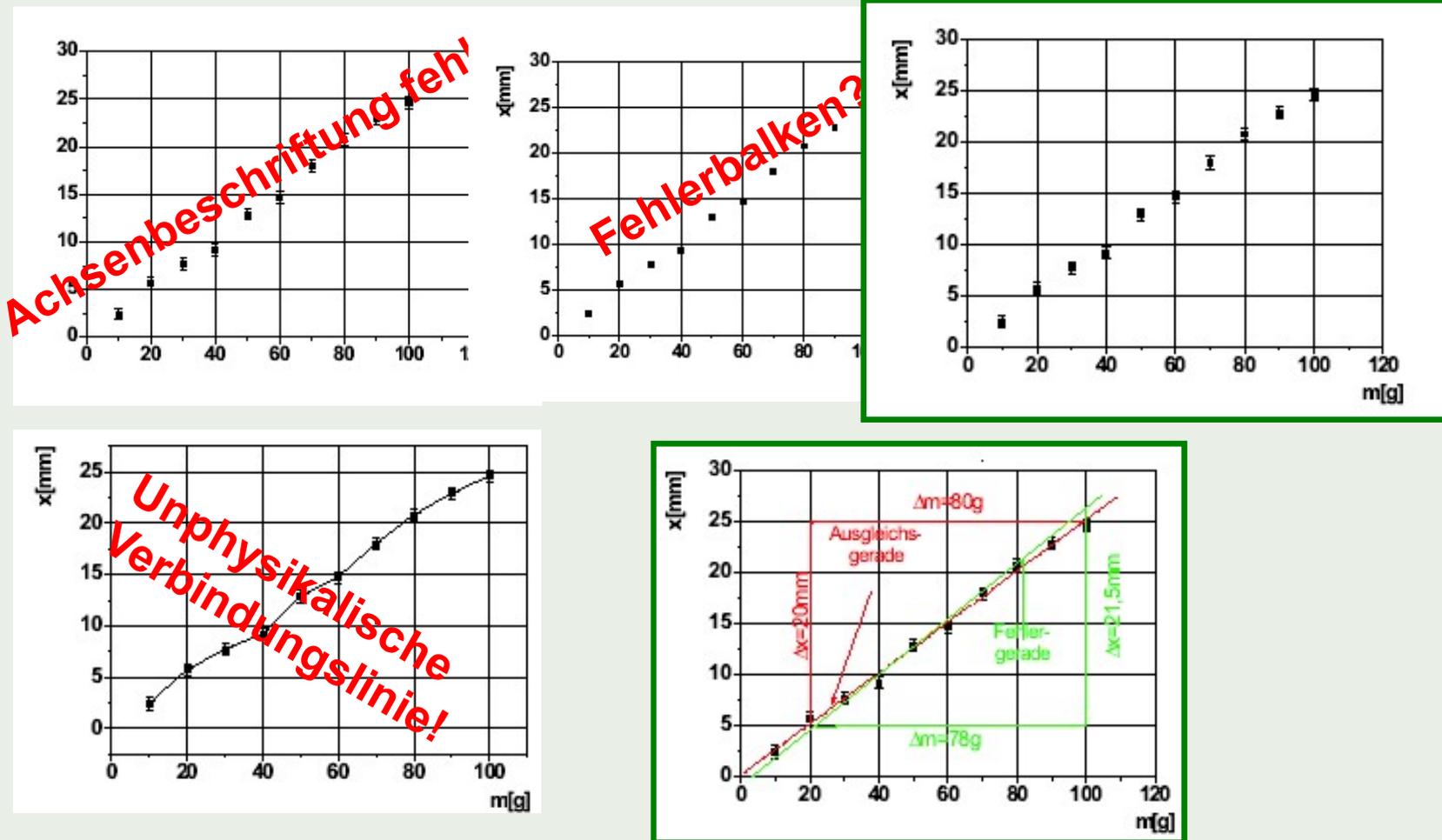
## Anfertigung des Protokolls:

Durch **alle Mitglieder** der jeweiligen Gruppen – hier ist gute Zusammenarbeit wichtig

Das Protokoll bitte per E-Mail an mich  
([dirklh@uni-wuppertal.de](mailto:dirklh@uni-wuppertal.de)) und den betreuenden  
Assistenten – E-Mail bekommt ihr jeweils!



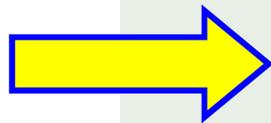
- Ein paar **falsche** und ein paar **gute** Darstellungen einer Messreihe





## Umgang mit teilweise gefährlicheren Gerätschaften

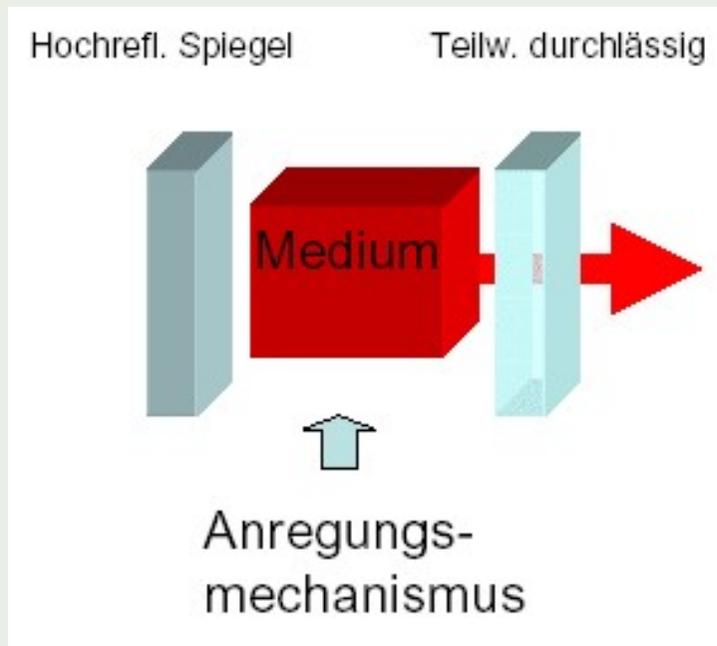
- Hochspannungsquellen
- LASER



Rechtlich zwingend: Sicherheits- und  
Laserstrahlenschutzbelehrung!

**Mit Unterschrift zu quittieren!**

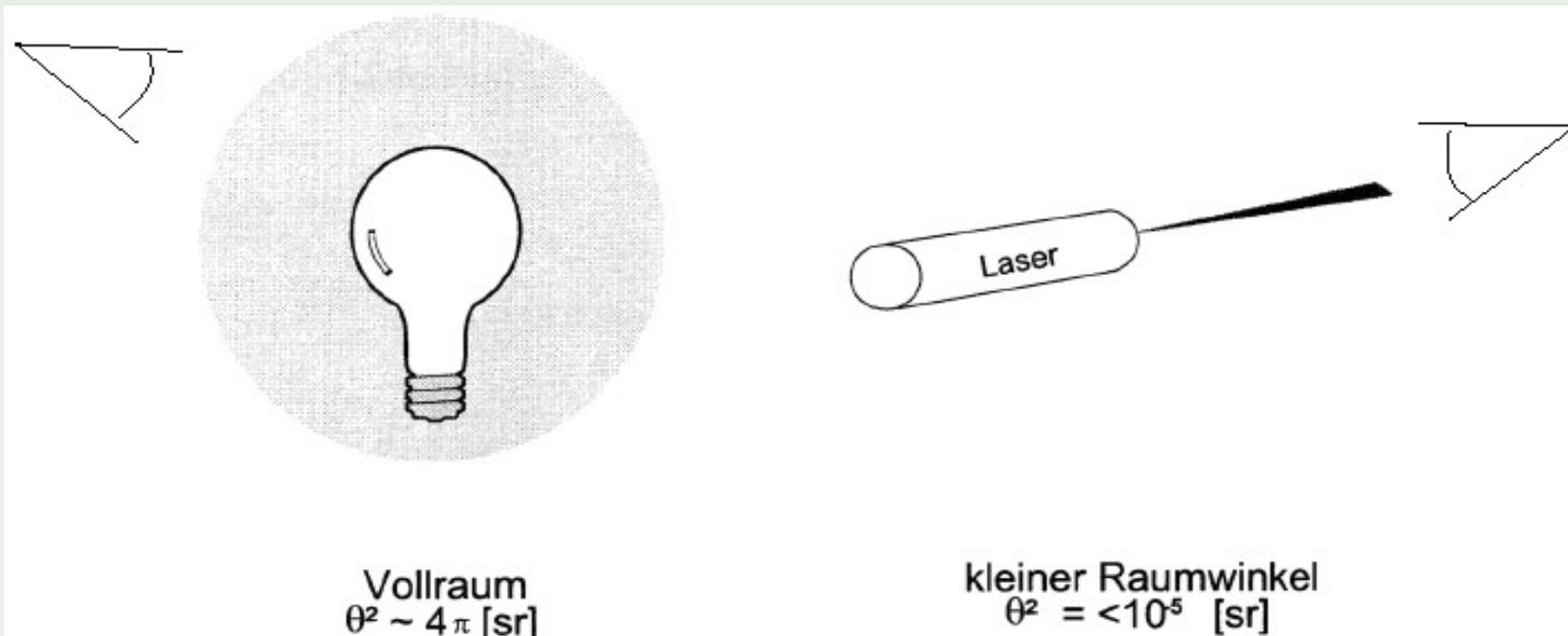
### LASER (Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation)



- Monochromatisch (teilweise mit mehreren Wellenlängen)
- Geringe Divergenz
- Kohärenz
- hohe Energiedichte
- Wellenlängen vom IR bis zu UV bzw. (soft) X-ray
- kontinuierlich oder gepulst ( $\mu\text{s}$ , ns, ps, fs)
- Leistungen von  $< \text{mW}$  bis  $> \text{kW}$



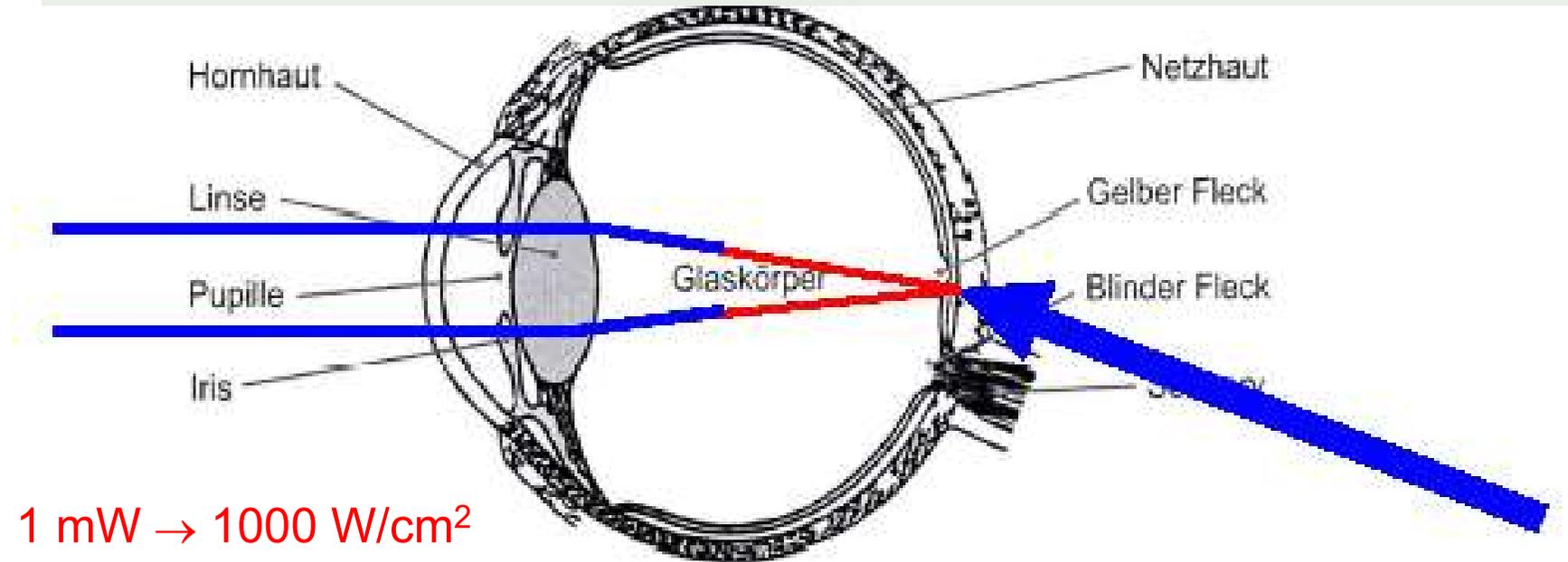
Laser-Leistung ist auf kleinen Raumwinkel konzentriert!



Extrem hohe Intensitäten, **Gefahr für Haut und Augen!**  
(speziell für unsichtbare Laserstrahlung im IR- oder UV-Bereich)



Laser-Leistung wird im Auge weiter fokussiert!



$1 \text{ mW} \rightarrow 1000 \text{ W/cm}^2$

Zum Vergleich: Herdplatte,

$1 \text{ kW}, 20 \text{ cm Durchmesser} \rightarrow 3 \text{ W/cm}^2$   **$10 \mu\text{m!}$**

**Schädigungen abhängig von**

- Wellenlänge, Leistung, (Einwirk-) Zeit
- Linsentrübungen, Netzhautkoagulation, Hornhautschädigung, ...



**Hochspannung!**

Teilweise auf Klinkenkabel!

Schaltungen ggf. von

Betreuer prüfen lassen!





- **Sorgfältiges Arbeiten,**  
nicht nur beim Umgang mit Lasern, Hochspannungsgeräten, ...
- **Unklare Situation (Gerät riecht komisch, ...):**  
**Assistent/Praktikumsleitung**
- **Sein Sie sich möglicher Gefahren bewusst.**
- **Halten Sie Abstand zu den anderen Personen im Labor!**
- **Niemals im Labor essen oder trinken!**



... ich einen Versuch versäumt habe?

**Ein Versuch:** Ärztliches Attest – fertig!

**Zwei und mehr Versuche:** Nachholtermin(e)

... wenn ich unvorbereitet zu den Praktika erscheine?

**Beim ersten Mal:** Ermahnung, Versuch darf durchgeführt werden.

**Beim zweiten Mal:** Keine Teilnahme am Praktikum, Zuteilung eines Ersatztermins beim Leiter des Praktikums.

**Beim dritten Mal:** Möglicher Ausschluss des Praktikanten von der Veranstaltung: Nach §14 der PO KEINE ausreichende Leistung

... bei Täuschungsversuchen (Erfinden/abschreiben von Messwerten)

Nach §8 der PO ggf. Ausschluss vom Praktikum.



Danke für Ihre Aufmerksamkeit und Ihre Mithilfe!

- Bei Fragen:

Peter Kind (- 3514) Raum D.08.06 (kind@physik.uni-wuppertal.de)

DLH (-3103 oder -3102) Raum D.09.23 (dirklh@uni-wuppertal.de)

Trotz allem:

**Viel Spaß & Erfolg beim Praktikum!**