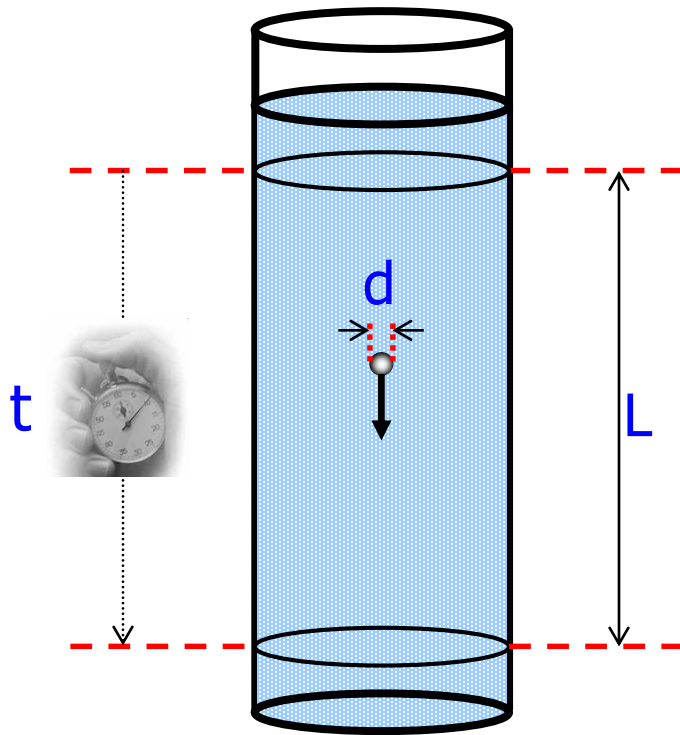


Überblick

- **Beispielexperiment: Kugelfall**
- **Messwerte und Messfehler**
- **Auswertung physikalischer Größen**
- **Darstellung von Ergebnissen**

- **Sicheres Arbeiten im Labor**

Beispielexperiment : Kugelfall



Experiment:

Aus der stationären Fallgeschwindigkeit einer Stahlkugel in einer zähen Flüssigkeit wird die Viskosität der Flüssigkeit bestimmt

$$\frac{L}{t} = \frac{(\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot g \cdot d^2}{18\eta}$$

- L : betrachtete Fallstrecke
- t : Fallzeit
- ρ_K : Dichte der Kugel
- ρ_{Fl} : Dichte der Flüssigkeit
- g : Ortsfaktor (Erdbeschleunigung)
- d : Durchmesser der Kugel
- η : Viskosität der Flüssigkeit

Darstellung von Messwerten (Messprotokoll)

Physikalische Größe = Maßzahl x Einheit

Fallzeit

$t = 23 \text{ s}$

Kugeldurchmesser

$d = 3 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (3\text{e-}3 \text{ m})$

Wiederholte Messungen, Zusammenhänge → Tabelle

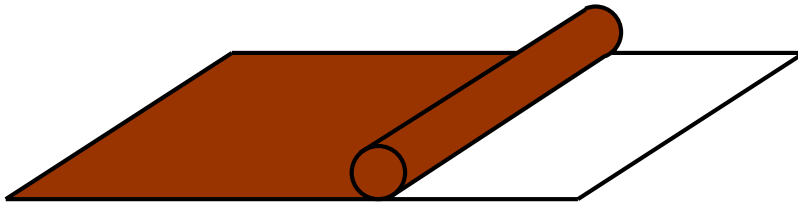
#	t / s	$t (\text{s})$
1	9.6	9.6
2	9.7	9.7
3	9.5	9.5
4	9.6	9.6
5	9.4	9.4

$U (\text{V})$	$I (\text{mA})$
1	15
2	31
3	47
4	65
5	84

Messabweichungen – „Messfehler“

Präzision hängt ab vom **Messverfahren**

Beispiel : Abmessungen eines Zimmers



GPS ? ($\approx \text{m}$)

Abschreiten ? ($\approx \text{dm}$)

Meterstab ? ($\approx \text{mm}$)

Messung hat Konsequenzen → **Entscheidungen**

Angabe des Messfehlers zu jeder Messgröße im Messprotokoll

z.B.
oder

Fallstrecke: $L = 1,032 \text{ m}$ $\Delta L = 2 \text{ mm}$

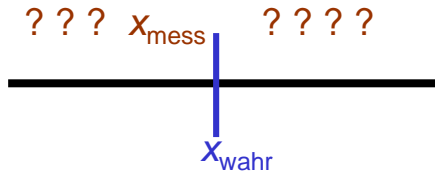
Fallstrecke: $L = (1,032 \pm 0,002) \text{ m}$

Ursachen für Messabweichungen

Messwert \neq wahrer Wert

Grobe Fehler

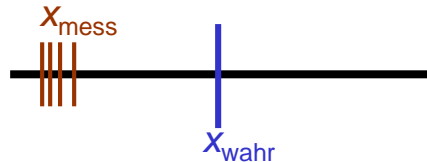
Ungeeignetes Verfahren
Falsches Ablesen
Bedienungsfehler



Vermeidbar

Systematische Fehler

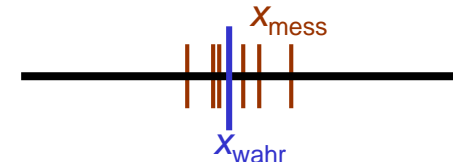
Falscher Nullpunkt
Falsche Kalibrierung
Schlechte Justierung



**Meist vermeidbar
(teils kalibrierbar)**

Zufällige Fehler

Endliche Auflösung
Rauschen der Messgröße
bzw. Apparatur



**Unvermeidbar
statistisch erfassbar**

Erfassung von zufälligen Fehlern

Statistische Schwankungen trotz (scheinbar) konstanter Bedingungen
→ **Wiederholte Durchführung der Messung**

→ Verteilung der Messwerte

Zusammenfassung in Klassen

(z.B. Fallzeiten 8-8.2s, 8.2-8.4s,...)

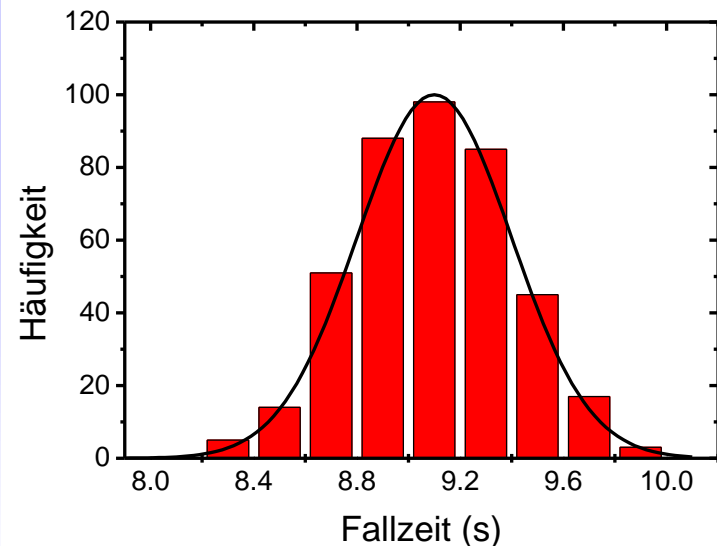
Histogramm (Häufigkeitsverteilung) →

extrem oft wiederholt, extrem schmale Klassen

→ **Gaußverteilung**

$$w(x)dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(x-x_w)^2}{2\sigma^2}} dx$$

Fallzeit-Histogramm:



Erfassung von zufälligen Fehlern

Statistische Schwankungen trotz (scheinbar) konstanter Bedingungen
→ Wiederholte Durchführung der Messung

→ Verteilung der Messwerte

Zusammenfassung in Klassen

(z.B. Fallzeiten 8-8.2s, 8.2-8.4s,...)

Histogramm (Häufigkeitsverteilung) →

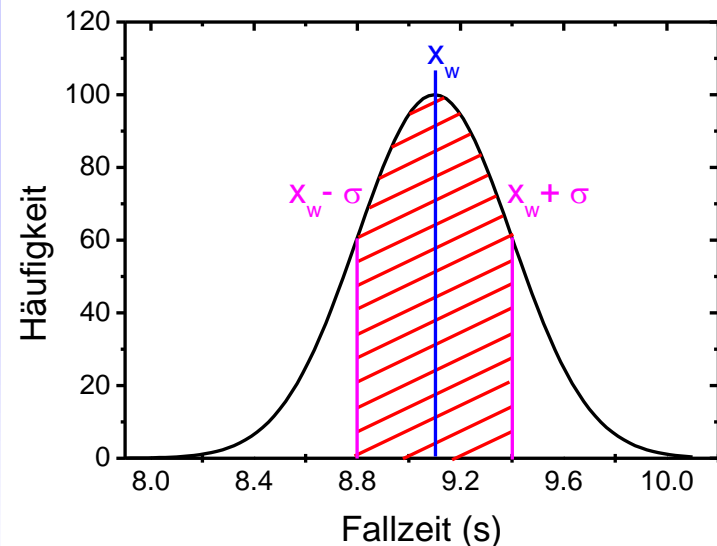
extrem oft wiederholt, extrem schmale Klassen

→ **Gaußverteilung**

$$w(x)dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(x-x_w)^2}{2\sigma^2}} dx$$

68% der Messwerte im Bereich $\pm\sigma$

Fallzeit-Histogramm:



Mittelwert und Standardabweichung

Charakterisierung der Messwerteverteilung aus einer Stichprobe

Mittelwert

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

Standardabweichung

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

(Eigenschaft des Messverfahrens)

Charakterisierung des zufälligen Fehlers einer Messreihe

Standardabweichung des Mittelwerts

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

(sinkt mit steigender Anzahl der Messwerte)

Angabe eines Messergebnisses

$$\text{Ergebnis} = \text{Messwert} \pm \text{Messunsicherheit}$$

Wiederholte Messungen:

Ergebnis = Mittelwert \pm Standardabweichung des Mittelwerts

$$\bar{x} \quad \pm \quad \sigma_{\bar{x}}$$

Einmalige Messungen:

Ergebnis = Messwert \pm Fehlerabschätzung

(z.B.: Ablesegenauigkeit, Reaktionszeit,
Genauigkeitsangaben auf Instrumenten)

Berechnung physikalischer Größen

z.B.: Berechnung der Viskosität aus den Messgrößen des Experiments

$$\eta = \frac{(\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot g \cdot d^2 \cdot t}{18 \cdot L}$$

Dichte der Kugel	$\rho_K = 7800 \text{ kg/m}^3$
Dichte der Flüssigkeit	$\rho_{Fl} = 1261 \text{ kg/m}^3$
Ortsfaktor	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
betrachtete Fallstrecke	$L = (0,503 \pm 0,002) \text{ m}$
Durchmesser der Kugel	$d = (3 \pm 0,01) \text{ mm}$
Fallzeit	$t = (19,7 \pm 0,3) \text{ s}$

Möglichst in SI-Basiseinheiten (kg, m, s) einsetzen!

hier: $d = 3 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

$$\eta = \frac{(7800 - 1261) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (3 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 \cdot 19,7 \text{ s}}{18 \cdot 0,503 \text{ m}}$$

Zahlenfaktoren und Einheiten jeweils zusammenfassen

$$\eta = \frac{6539 \cdot 9,81 \cdot 9 \cdot 10^{-9} \cdot 19,7}{18 \cdot 0,503} \frac{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}}{\text{m}} = 0,00126 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} = 0,00126 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Fehlerfortpflanzung, Größtfehlerabschätzung

Wie zuverlässig ist unsere berechnete physikalische Größe ?

Größtfehlerabschätzung: im ungünstigsten Fall addieren sich in G alle durch die Messgrößen x, y, z eingebrachten Fehler betragsmäßig auf !

Größtfehler in G :

$$\Delta G = \left| \frac{\partial G}{\partial x} \right| \cdot \Delta x + \left| \frac{\partial G}{\partial y} \right| \cdot \Delta y + \left| \frac{\partial G}{\partial z} \right| \cdot \Delta z$$

Beispiel Kugelfall:

$$\eta = \frac{(\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot g \cdot d^2 \cdot t}{18 \cdot L}$$

ρ_K, ρ_{Fl}, g : Literaturwerte, nur Fehler in den Messgrößen L, d, t werden betrachtet

Größtfehler in η :

$$\Delta \eta = \left| \frac{\partial \eta}{\partial L} \right| \cdot \Delta L + \left| \frac{\partial \eta}{\partial d} \right| \cdot \Delta d + \left| \frac{\partial \eta}{\partial t} \right| \cdot \Delta t$$

$$\Delta \eta = \left| \frac{(\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot g \cdot d^2 \cdot t}{-18L^2} \right| \cdot \Delta L + \left| \frac{(\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot g \cdot 2d \cdot t}{18L} \right| \cdot \Delta d + \left| \frac{(\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot g \cdot d^2}{18L} \right| \cdot \Delta t$$

Relativer Fehler

Wenn die berechnete Größe ein Produkt aus den Messgrößen ist, ist es wesentlich einfacher den **relativen Fehler** zu betrachten:

Hier:
$$\Delta\eta = \left| \frac{\eta}{-L} \right| \cdot \Delta L + \left| \frac{2\eta}{d} \right| \cdot \Delta d + \left| \frac{\eta}{t} \right| \cdot \Delta t \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{2\Delta d}{d} + \frac{\Delta t}{t}$$

- Bilden die Messgrößen ein Produkt, so addieren sich die relativen Einzelfehler zum relativen Größtfehler
- Potenzen der Messgrößen führen zur Multiplikation des relativen Einzelfehlers mit dem Exponenten

$$G(x, y, z) = x \cdot y^n \cdot z \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta G}{|G|} = \frac{\Delta x}{|x|} + |n| \frac{\Delta y}{|y|} + \frac{\Delta z}{|z|}$$

Die Summanden müssen einzeln berechnet und angegeben werden, um festzustellen, welche Messgröße die Messunsicherheit maßgeblich bestimmt

Angabe eines Ergebnisses

Angabe von Ergebnis und Fehler mit signifikanten Ziffern

Signifikante Ziffern:

alle Ziffern außer führender Nullen

z.B.: **15,3** : 3 signifikante Ziffern

0,035 = 3,5 · 10⁻² : 2 signifikante Ziffern

Fehlerangabe:

typisch **eine signifikante Stelle** (falls Wert =1 oder =2 → 2 Stellen)

Bei Fehlerangaben wird immer **aufgerundet!** (hier: $\Delta\eta = 0,0327 \rightarrow \Delta\eta = 0,04$)

Ergebnisangabe:

letzte Stelle identisch mit letzter Fehlerstelle

Beispiel Fallrohr:

$$\eta = 0,00126 \text{ Pa}\cdot\text{s}, \quad \Delta\eta = 0,00004 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\eta = (0,00126 \pm 0,00004) \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

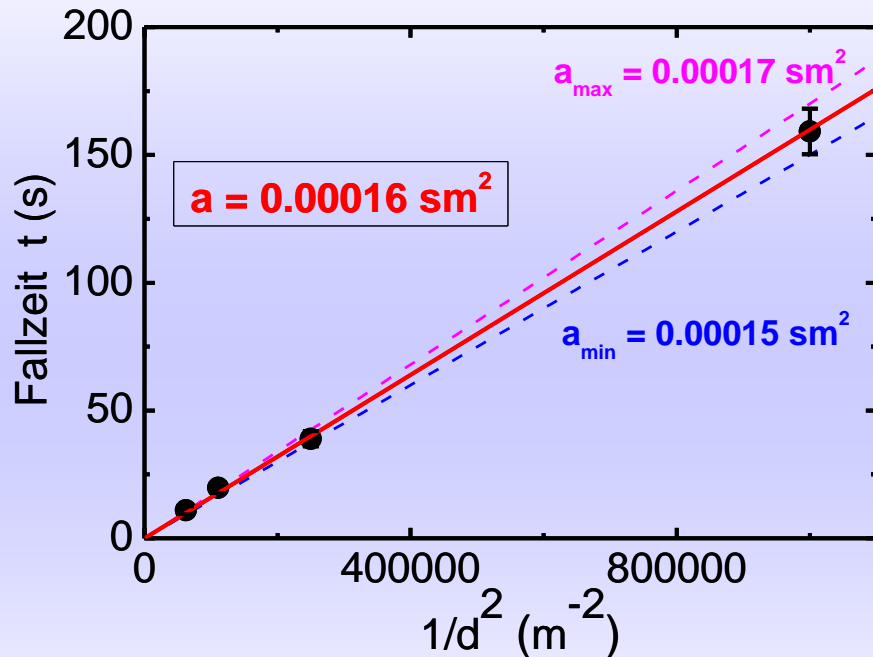
$$\eta = (1,26 \pm 0,04) \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\eta = (1,26 \pm 0,04) \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

Results & Discussion : Ergebnis einordnen !

Diagramme, lineare Regression

Auftragung in einem Diagramm



Hier: linearer Zusammenhang durch geeignete Auftragung:

$$t = \frac{18 \cdot L \cdot \eta}{(\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot g} \cdot \frac{1}{d^2} \quad (y = a \cdot x)$$

→ **Lineare Regression** mit Ursprungsgerade

→ Steigung ergibt Viskosität

(Die **Steigung hat eine Einheit**, hier : $\text{s} \cdot \text{m}^2$!)

Lineare Regression: Fehlerabschätzung durch „Grenz-Geraden“

Hinweise zum Versuchsbericht

- ***Analog zum Musterbericht***
- ***Einheitliche Nomenklatur im Bericht***
- ***Tabellenüberschriften, Bildunterschriften
Numerierung und Verweis im Text***
- ***Adäquate Diagramme (Schriftgröße, Skalierung, Einheiten)***
- ***Ergebnisdiskussion***
- ***Anhang: Messprotokoll (Notebook oder Scan aus Laborbuch)***

Sicheres Arbeiten im Labor (I)

Allgemeine Sicherheitsrichtlinien

- Machen Sie sich mit den **Fluchtwegen** aus dem Labor vertraut! Fluchtwege sind außer den Eingangstüren auch die markierten Fenster. Halten Sie deshalb die Ablagen vor diesen Fenstern frei → **Meeting Point**
- Informieren Sie sich wo sich **Feuerlöscher** und **Erste-Hilfe-Kästen (Dokumentation!)** befinden.
- Handeln Sie im Gefahrenfall entsprechend dem **Alarmplan**, der sich in jedem Labor am Eingang neben dem Telefon befindet.

Allgemeine Laborrichtlinien

- **Essen und Trinken** sind in den Laborräumen nicht gestattet.
- Verlassen Sie Ihren Arbeitsplatz in ordentlichem Zustand, so wie Sie ihn vorgefunden haben.
- Sollte ein Gerät defekt sein (insbes. Glasbruch) informieren Sie umgehend Ihren Versuchsbetreuer.
- Tragen Sie zu Ihrer eigenen Sicherheit nur feste, trittsichere Schuhe.

Sicheres Arbeiten im Labor (II)

Laserstrahlenschutz

Laserlicht kann schwere Verletzungen auf der Netzhaut Ihres Auges verursachen. Bei Arbeiten mit Lasern oberhalb der Schutzklasse 2 müssen Sie grundsätzlich Laserschutzbrillen tragen.

Bei Laserklasse 2 reicht der Lidschlussreflex (~ 0.25 s) aus um das Auge zu schützen, eine längere Bestrahlungsdauer muss aber vermieden werden!

- Schauen Sie nie direkt in den Laserstrahl*
- Vermeiden Sie ungewollte Reflexionen des Laserstrahls durch spiegelnde Flächen. (Armbanduhren, Schmuck, Ringe, ...)*

Elektrische Spannungen

- Elektrische Schaltungen müssen immer vom Versuchsbetreuer abgenommen werden, bevor die Spannung eingeschaltet wird.*

Umgang mit Gefahrstoffen

- Gefahrstoffe werden im Gefahrstoffschränk im Raum N25/233 aufbewahrt. Nur die für den Versuch benötigte Menge wird vom Betreuer an den Versuchsplatz gebracht.*

Sicheres Arbeiten im Labor (III)

Alarmplan für das Verhalten bei Unfällen, Bränden, sonstigen Gefahrensituationen und technischen Störungen			
Personenschaden Rettungsdienst: 112	<ul style="list-style-type: none">• Personen aus Gefahrenzone bringen.• Bei jedem Personenschaden sofort den Rettungsdienst anrufen. Dieser entscheidet, ob ein Notarzt oder die Notfallhilfegruppe der Universität alarmiert wird.• Ersthelfer rufen oder selbst Erste Hilfe leisten		
Brandfall Feuerwehr: 112	<ul style="list-style-type: none">• Bei Feuer oder Brandgeruch sofort Brandmelder einschlagen oder die Feuerwehr telefonisch rufen.• Mitarbeiter warnen.• Bei Entören des Brandalarms Gebäude sofort verlassen.• Löscheversuch mit Handfeuerlöscher, falls ohne Gefährdung möglich		
Gefahrstoffe Leitwarte: 22222	<ul style="list-style-type: none">• Hierunter fallen u. a.:• ausgeatmete Chemikalien, Gas- oder Chemikaliengeruch, Entsorgung• Gefährdeten Bereich sperren• Gefährdung beseitigen• Falls erforderlich, Hilfe über die Leitwarte anfordern		
Radioaktive Stoffe Leitwarte: 22222	<ul style="list-style-type: none">• Gefährdeten Bereich sperren• Gefährdung beseitigen• Falls erforderlich, den Strahlenschutzbeauftragten über die Leitwarte anfordern		
Infektiöse Stoffe Leitwarte: 22222	<ul style="list-style-type: none">• Gefährdeten Bereich sperren• Gefährdung beseitigen• Falls erforderlich, beauftragen für biologische Sicherheit oder Facharzt über die Leitwarte anfordern		
Gewalttäter Polizei-Notruf: 110	<ul style="list-style-type: none">• Einschließen, verbarrikadieren!• Polizei-Notruf: 110• Hände weg von Waffen!• Flucht nur, wenn gefahrlos möglich!• Nach Flucht bei Rettungskräften melden!		
Technische Defekte Leitwarte: 22225	<ul style="list-style-type: none">• Hierunter fallen u. a.:• Lüftungsstörung, Aufzugsdefekt, Rohrbruch, Stromausfall• Hausmeister oder Leitwarte verständigen		
Sonstige Störungen im Betriebsablauf Leitwarte: 22225	<ul style="list-style-type: none">• Hierunter fallen u. a.:• Schadhafte Verkehrswege, Eizapfen über Verkehrswegen• Einbruchversuch, Vandalismus• Hausmeister oder Leitwarte verständigen		
Eigener Standort (Gebäude/Raum)	Ersthelfer/Brand-schutzhelfer	Ansprechpartner bei Störfällen	Zuständiger Hausmeister
	Dr. M. Bolotnikov Tel.: 23132	Dr. M. Bolotnikov Tel.: 23132	Tel.: 22080

