

$$L = L_1 + L_2$$

$$\frac{dL}{dL_1} = 1 + 0 = 1$$

$$\frac{dL}{dL_2} = 0 + 1 = 1$$

$$\Delta L = \sqrt{(\Delta L_1)^2 + (\Delta L_2)^2}$$

z.B. $L_1 = 200 \pm 3 \text{ cm}$

$L_2 = 173 \pm 4 \text{ cm}$

$$L = 200 + 173 = 373 \text{ cm}$$

$$\Delta L = \sqrt{(3 \text{ cm})^2 + (4 \text{ cm})^2} = \sqrt{25 \text{ cm}^2} = 5 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow L = 373 \pm 5 \text{ cm}$$

↳ Bei der Addition / Subtraktion addieren sich die Fehler quadratisch

Beispiel 2: Strecke

$$x = v \cdot t$$

$v \pm \Delta v$
 $t \pm \Delta t$ } gemessen, was ist $x \pm \Delta x$?

$$\Delta f(v, t) = \Delta x = \sqrt{\left(\frac{dx}{dv}\right)^2 \cdot (\Delta v)^2 + \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \cdot (\Delta t)^2}$$

$\uparrow$ $\uparrow$
 v t

$$\Delta x = \sqrt{t^2 \cdot (\Delta v)^2 + v^2 \cdot (\Delta t)^2}$$

$\frac{t^2}{x^2} = \frac{1}{v^2}$

$$| \cdot \frac{1}{x}$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2}$$

↑
relativer Fehler

↳ Bei der Multiplikation / Division addieren sich die **relativen Fehler quadratisch**

z.B. $x = v \cdot t$

$$v = 50 \pm 5 \text{ km/h}$$

$$t = 6 \pm 3 \text{ min} = 0.1 \pm 0.05 \text{ h}$$

$$x = v \cdot t = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 0.1 \text{ h} = 5 \text{ km}$$

Δx ?

$$\begin{aligned} \frac{\Delta x}{x} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{5}{50}\right)^2 + \left(\frac{0.05}{0.1}\right)^2} \\ &= \sqrt{\underline{0.01} + \underline{0.25}} = \sqrt{0.26} \approx 0.51 \text{ ca.} \end{aligned}$$

relativer Fehler = 0.52

$$\Delta x = 0.52 \cdot x = 5 \text{ km} \cdot 0.51 \approx 2.54 \text{ km}$$

$$\rightarrow 5 \pm \underline{2.54 \text{ km}}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{5 \pm 2.54 \text{ km}}}$$

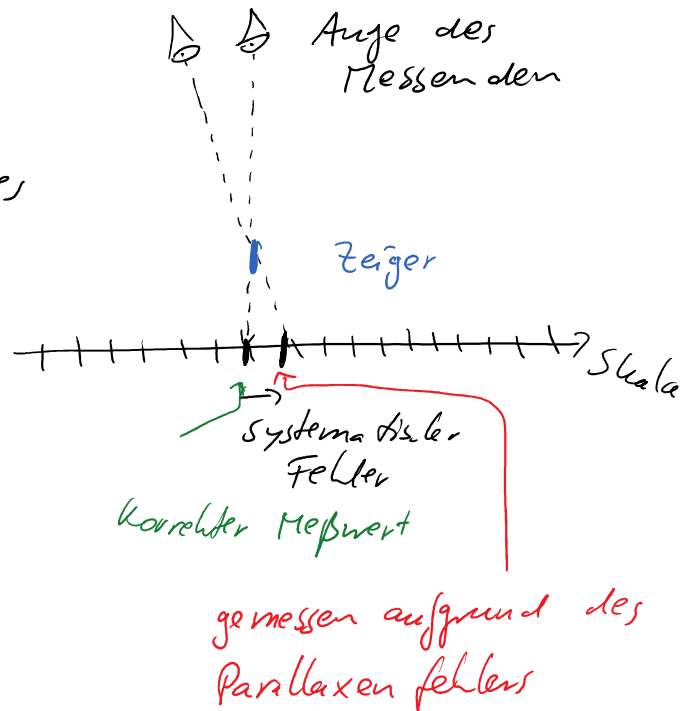
c) Systematischer Fehler

z.B. Ablesen eines
Zeiger Instruments

äußere Faktoren können
eine Messung beeinflussen

↳ äußere Einflüsse minimieren

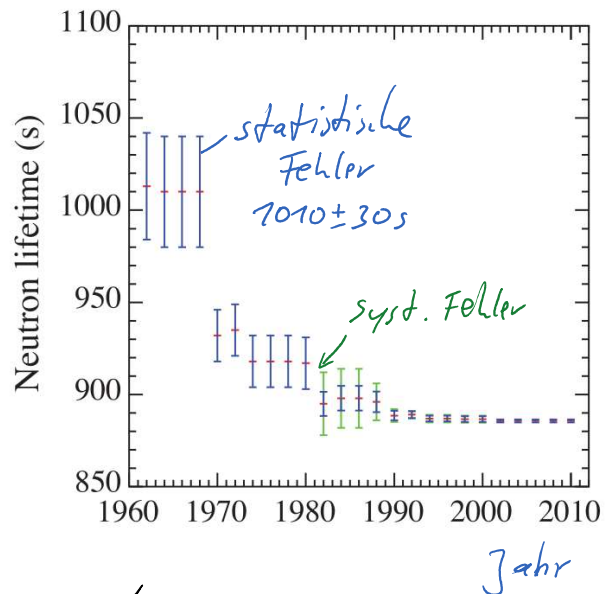
vergleichbare Verhältnisse
schaffen



Ursachen für systematische Fehler

- Meßapparatur fehlerhaft
- Auflösung schlecht
- ungenauer Ablesen
- äußere Störeinflüsse
- Erwartungen an das Ergebnis
- unbekannte Fehler

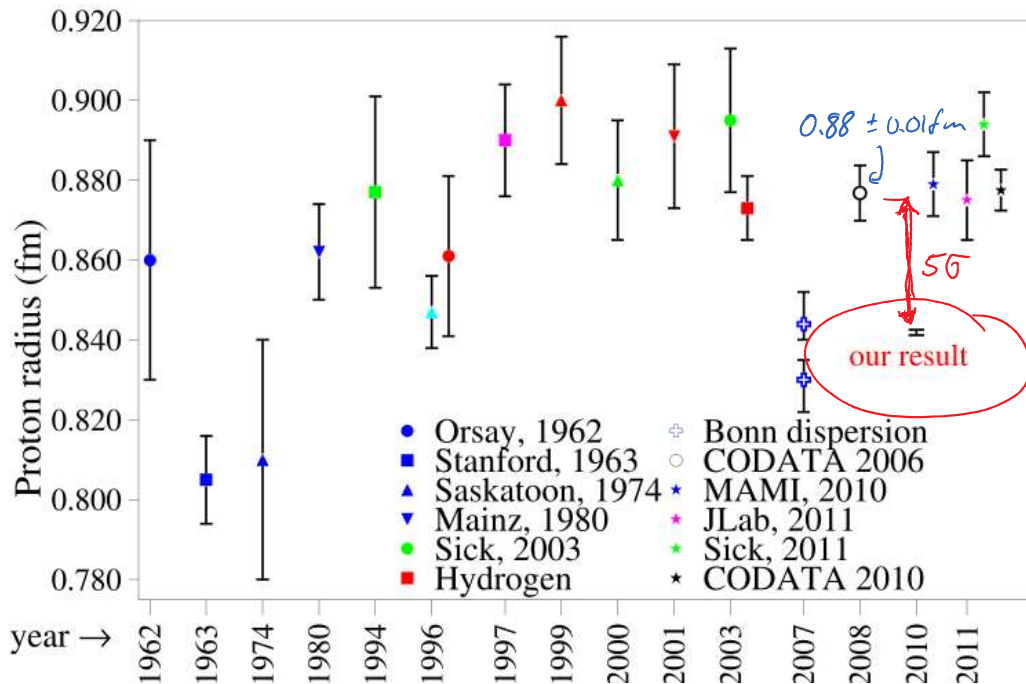
Lebensdauer des Neutrons



Systematische Fehler lassen sich durch
Wiederholte Messung im gleichen Aufbau
nicht reduzieren.

↳ Unterschiedliche Meßmethoden können helfen

• oft muß der systematische Fehler *abgeschätzt* werden.



d) Ergebnis

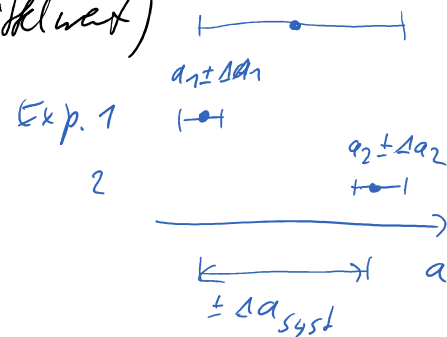
wird folgendermaßen angegeben

$$X = \left(\underbrace{\langle X \rangle}_{\text{Mittelwert}} \pm \underbrace{\Delta X_{(stat)}}_{\text{(stat.) Fehler auf den Mittelwert}} \pm \underbrace{\Delta X_{(syst.)}}_{\text{(evtl. syst. Fehler auf Mittelwert)}} \right) \underbrace{u}_{\text{Einheit}}$$

Variable

z.B.: Protonenradius

$$r_p = (0.8409 \pm 0.0004) \text{ fm}$$



$$\text{Kugelbahn } t = (1.34 \pm 0.01_{\text{stat}} \pm 0.1_{\text{syst.}}) \text{ s}$$

ACHTUNG

- Jeder Messwert hat eine Einheit.
- Jeder Messwert hat einen Fehler.
- Fehler werden auf 1 gültige Stelle angegeben.
- Mittelwert werden bis zur Genauigkeit des Fehlers angegeben.

falsch: $1.3457894 \pm 0.078735 \text{ s}$

richtig: $(1.35 \pm 0.08) \text{ s}$



Oh noooo!!!