

Klassische Physik 1

WS 2012/13

Johannes Blümer

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



Student
neutrinos fliegen ueberall durch

1. Einführung

- 1.1. Was ist Physik?
- 1.2. Physikalische Größen und Einheiten
- 1.3. Messungen, Datenauswertung, Fehler

2. Klassische Mechanik

- 2.1. Kinematik der Massenpunkte
- 2.2. Dynamik der Massenpunkte
- 2.3. Systeme von Massenpunkten
- 2.4. Rotation

3. Gravitation

- 3.1. Gravitationsgesetz
- 3.2. Feld und Potential

3.3. Planetenbahnen: Kepler

3.4. Massenverteilungen

3.5. Dunkle Materie

4. Relativistische Mechanik

4.1. Bezugssysteme und Transformationen

4.2. Spezielle Relativitätstheorie

4.3. Relativistische Kinematik

5. Feste Körper und Flüssigkeiten

5.1. Feste Körper

5.2. Hydrostatik und Hydrodynamik

6. Schwingungen und Wellen

6.1. Schwingungen

6.2. Wellen

I.3 Messungen

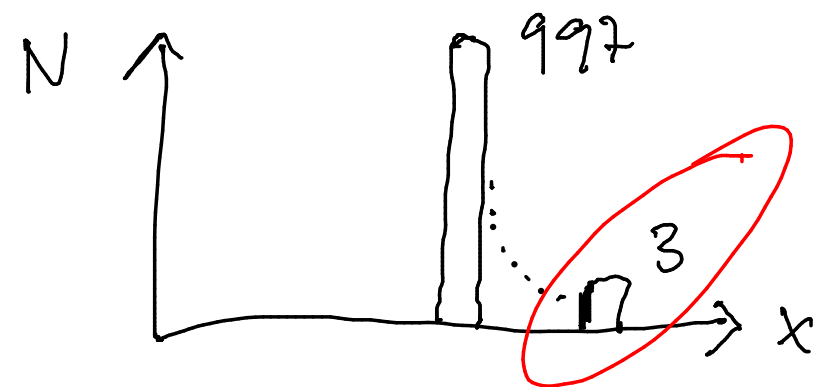
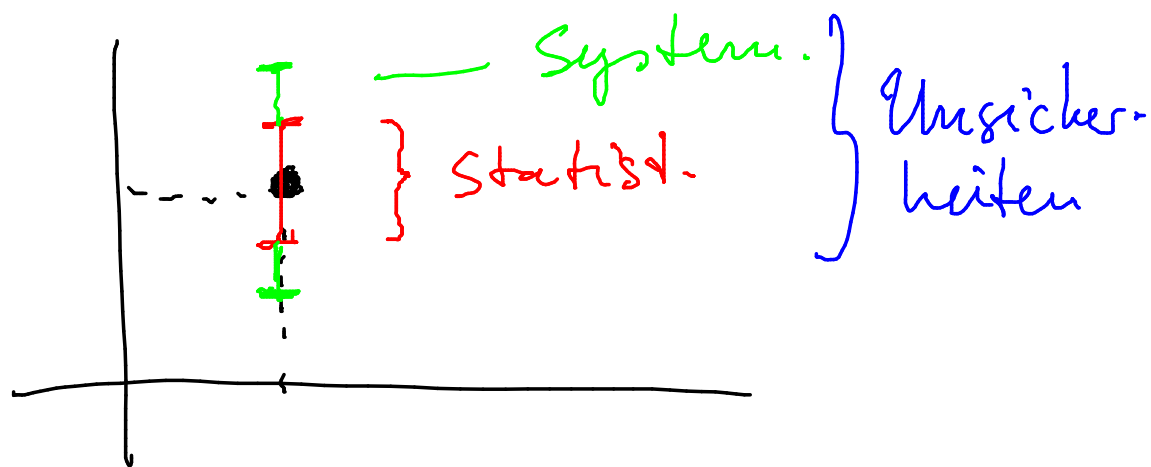
- Fehler ./. Unsicherheiten
- Systematische Fehler
- Zufällige/statistische Fehler
- Zentraler Grenzwertsatz
- Fehlerfortpflanzung
- Rechengenauigkeit
- Datenauswertung (Anriss)

(partiell) aufheben

Zufällige Fehler / Unsicherheiten

→ Situation "Messung" unter identischen Bedingungen wiederholen!

Fehler der Einzelmessung $\longleftrightarrow$ Fehler auf Mittelwert
↓
"Statist. Unsicherheit"



[RPP = Review of Particle Properties]

"History plots" ►

Mittelwert und Standardabweichung

n -malige Wiederholung einer Messung mit den Messwerten $x_1, x_2, \dots, x_n$ Stichprobe vom Umfang n

$$\langle x \rangle = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

Mittelwert, arithm. Mittel der x_i

$\langle x \rangle$ ist für endliche n eine Schätzung für den Erwartungswert E_x der zugrunde liegenden Grundgesamtheit (aus der die Stichprobe entnommen wird).

x_i sind Zufallsgrößen, $\bar{x}$ ebenso

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

aus der Messung selber

$$[\sigma_x] = [x_i]$$

$$\sigma(\bar{x}) \quad \text{Std. abw. des Mittelwerts} = \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

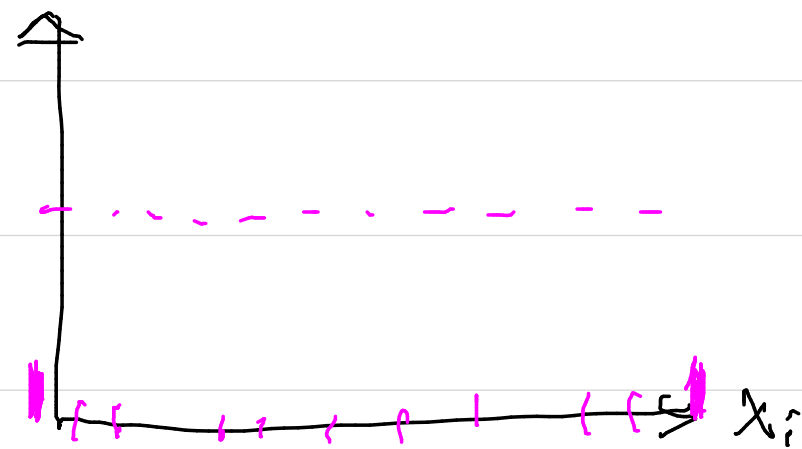
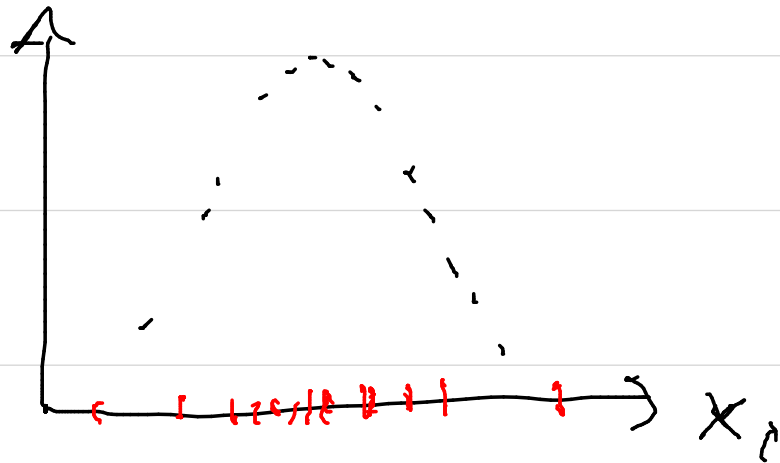
Fehler ~ n ~

Der Fehler des Mittelwerts
sinkt mit $\frac{1}{\sqrt{n}}$

n groß : „hohe Statistik“

$$= \sqrt{\frac{1}{\underbrace{n(n-1)}_{\text{auch } n}} \sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

Wie verteilen sich die x_i ?



Zentraler Grenzwertsatz

Versuch: Galton-Brett

„Die Verteilung der Summe einer großen Zahl von Zufallszahlen konvergiert fast immer gegen eine Normalverteilung“

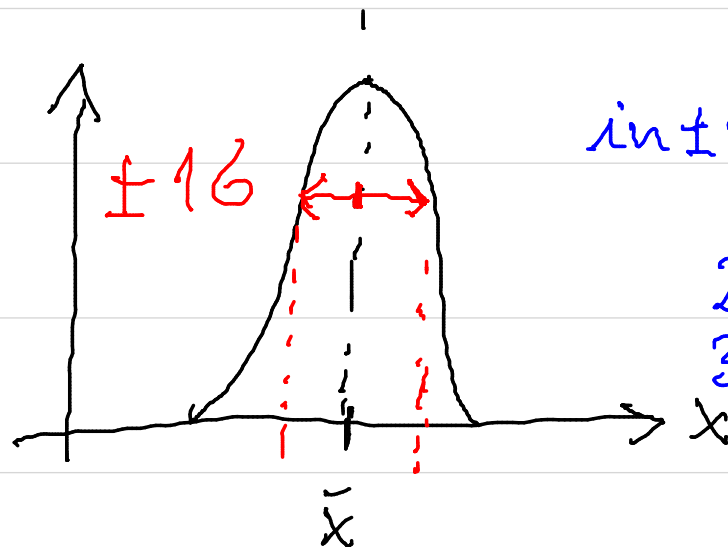
$$P(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Wahrscheinlichkeit
des Auftretens

eines ZF

, wenn der Erwartungswert μ
ist und die Std.abw. = σ

„Gausskurve“



in $\pm 1\sigma$: 68% aller
Werte

2σ 95%
 3σ 99.7%

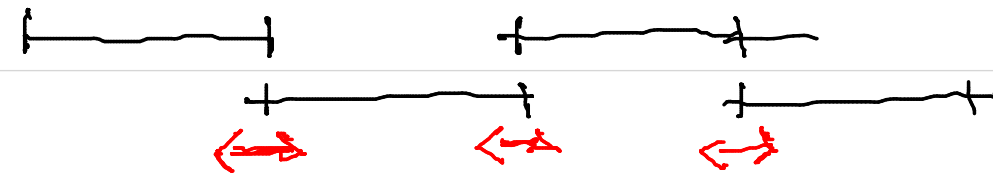
Breite
Lage

$$\hookrightarrow \bar{x} = 3.14 \pm 0.02$$

Fehlerfortpflanzung

gesuchte Größe hängt von mehreren anderen Größen ab, die fehlerbehaftet sind ... gesamtfehler?

Beisp. Längenmessung



"Anlagefehler" (zufällig?)

$$L = 4 \cdot l$$

$$L \pm \Delta L$$

$\Delta L = 4 \cdot \Delta l$ "Systemfehler": lin. Add.

Allg. Fehleraddition:

$$a \pm \sigma_a$$

$$b \pm \sigma_b$$

von zufälligen

Fehlern:

$$c = \underline{a+b}; \quad \underline{\sigma_c^2 = \sigma_a^2 + \sigma_b^2}$$

die absoluten Fehler addieren sich quadratisch

⚡ Differenzen von ~ gleich großen Zahlen können große rel.-Fehler haben ...

$$a = 100 \pm 1, \quad b = 99 \pm 1, \quad c = a - b = 1 \pm 1.4$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{1\% \text{-Messung}} \qquad \qquad \qquad \underbrace{\hspace{10em}}_{140\% \text{ rel. Fehler}}$

• [rein statistisch] liegen 68% der Werte von c im Band - 0.4 ... 2.4"

$$\text{var}(x) = \sigma_x^2 \quad \text{Varianz}$$

Kombiniere unabhängige Größen x_i zu Resultat y

$$y = \gamma(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

$$\underbrace{\hspace{10em}}_{x_N \pm \sigma_{x_N}}$$

alle mit Unsicherheiten behaftet

$$\sigma_y = \sigma(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial y}{\partial x_j} \sigma_{x_j} \right)^2}$$

faussische Fehler-
fortpflanzung

Beisp. Flächenmessung $A = x \cdot y$ $x \pm \sigma_x$ $y \pm \sigma_y$ $\rightarrow \sigma_A = ?$

$$y \rightarrow A(x, y) = x \cdot y \quad \frac{\partial A}{\partial x} = y \quad \frac{\partial A}{\partial y} = x$$

$$\text{fauers} \rightarrow \sigma_A = \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial y} \sigma_y\right)^2} = \sqrt{y^2 \sigma_x^2 + x^2 \sigma_y^2}$$

$$\sigma_A^2 = y^2 \sigma_x^2 + x^2 \sigma_y^2 \quad | : x^2 y^2 (= A^2)$$

$$\frac{\sigma_A^2}{x^2 y^2} = \underbrace{\frac{\sigma_x^2}{x^2}} + \underbrace{\frac{\sigma_y^2}{y^2}} = \underbrace{\frac{\sigma_A^2}{A^2}} \quad (\text{rel. Fehler v } A)^2$$

$$\left(\frac{\sigma_A}{A}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{y}\right)^2 \quad \text{die relativen Fehler addieren sich quadratisch!}$$

Beisp. zurückgelegte Strecke bei gleichm. Beschleunigung...: s " a

$$s = \frac{1}{2} a t^2$$

Weg - Zeit - Gesetz

⋮

$$\left(\frac{\sigma_s}{s}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + 4 \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2$$

"t geht quadratisch ein"

Bem. keine unsinnigen Dezimalstellen angeben!

$$x = 2.54321 \pm 0.1$$

$$\Rightarrow 2.54 \pm 0.1$$



noch mitnimmt

alle Angaben sind

(statistisch wohlbegründet) Schätzungen

n angeben

$n \rightarrow \infty$

Kontrollmessungen

Korrelation nicht
mit Ursache
verwechseln

Datenauswertung

1-dim Fall: messe x , Zufallsgröße...

↳ Histogramm, $\bar{x}$, s , $s(\bar{x})$, N



Informationsverlust -/- Datenvolumen

Vgl. von Verteilungen

