

V04 25.10.2012

Klassische Physik 1

WS 2012/13

Johannes Blümer

Blümer
PW

student
neutrinos fliegen überall durch

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



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

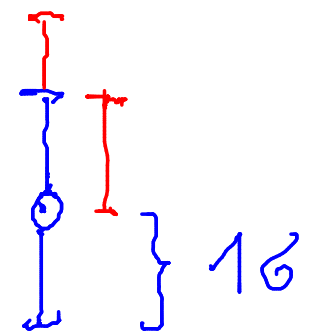
6. Schwingungen und Wellen

6.1. Schwingungen

6.2. Wellen

I.3 Messungen

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



Resultat:

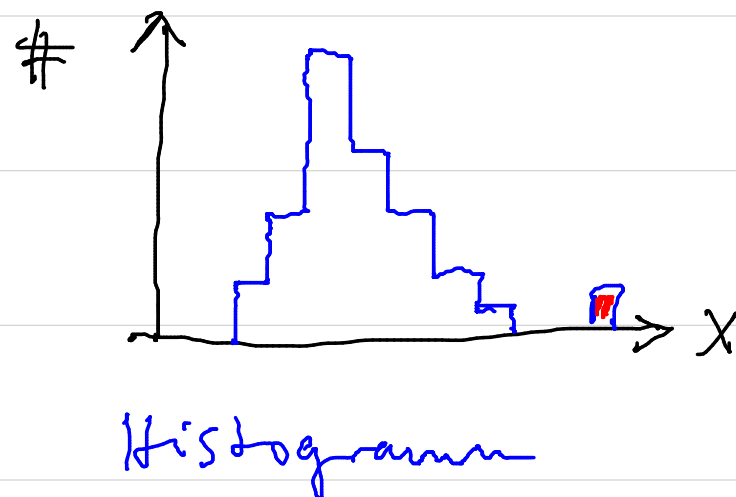
$$y = A \pm \text{stat. F} \pm \text{syst. F}$$

Datenauswertung

1-dim Messwerte

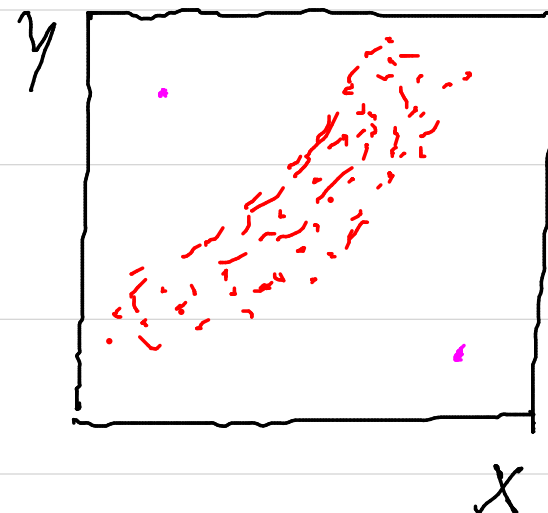
X_1
 $\vdots$
 X_m

↑ Umfang,
Daten-
volumen



2-dim Messwerte

X_1, y_1
 $\vdots$
 X_m, y_m



n-dim: "nTupel", "Ereigniss", ...

$X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}$
 $\vdots$
 $X_{m1}, X_{m2}, \dots, X_{mn}$

$\rightarrow$ n Werte pro Datensatz
 $\downarrow$ m Datensätze
 n, m fixe Dimension

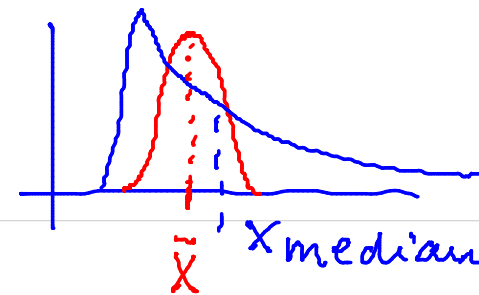
header, $E_1, x_1, y_1, z_1, \dots, \theta_1$
 $\vdots$
 header, $E_m, x_m, y_m, z_m, \dots, \theta_m$

$\leftarrow$ fixer Format
 $\leftarrow$ variabel
 variabel

ascii
 xml

Datenvolumen - Kompression - Informationsverlust

Datenauswertung



Deskriptive Statistik: Mittelwert Breite Asymmetrie, ... (Momente)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum (\bar{x} - x_i)^2$$

RMS S.u.

$$\sigma(\bar{x}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Median: teilt Datensatz
in 2 Hälften

[= $\bar{x}$ bei symmetr. Vert.]

Sind die "Schätzer" robust?

Mittelwert: ~ robust; σ empfindlich auf "Ausreißer"
Median: sehr ~ " - $\hookrightarrow$ fälsch. Anpassungen $\rightarrow \sigma$ ✓

Vergleiche...

Daten ./. Daten
Daten ./. Modelle
Modelle ./. Modelle

"sinnvolle"
Fragen stellen.

die mit Methoden der Statistik beantwortet
w. k.



Annahme [konvergent?]

Daten und Modelle, Parameteranpassung

Beisp. Länge eines
Stabes (L) als
Funktion der Temp. T

$$\alpha = \frac{\Delta L}{\Delta T}$$

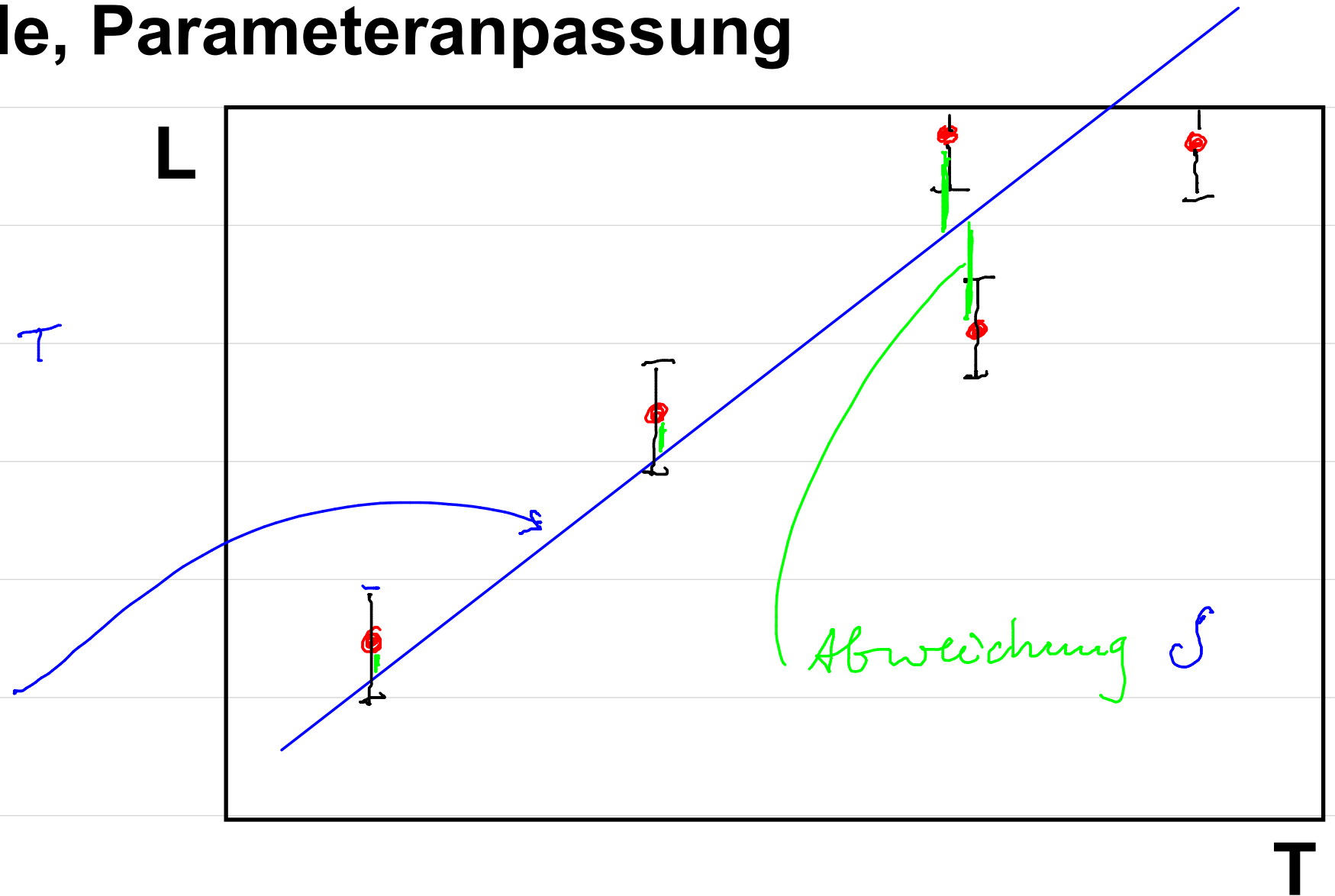
→ Ausgleichsgerade
wie bestimmt man

$$L = L_0 + \alpha T$$

$$\text{Ann. } G_T \approx 0$$

→ $\sum$ der quadratischen Abweichungen minimieren!

G_i alle gleich groß [oder 0] → alle Punkte gehen mit dem gleichen Gewicht ein



Chiquadrat-Methode

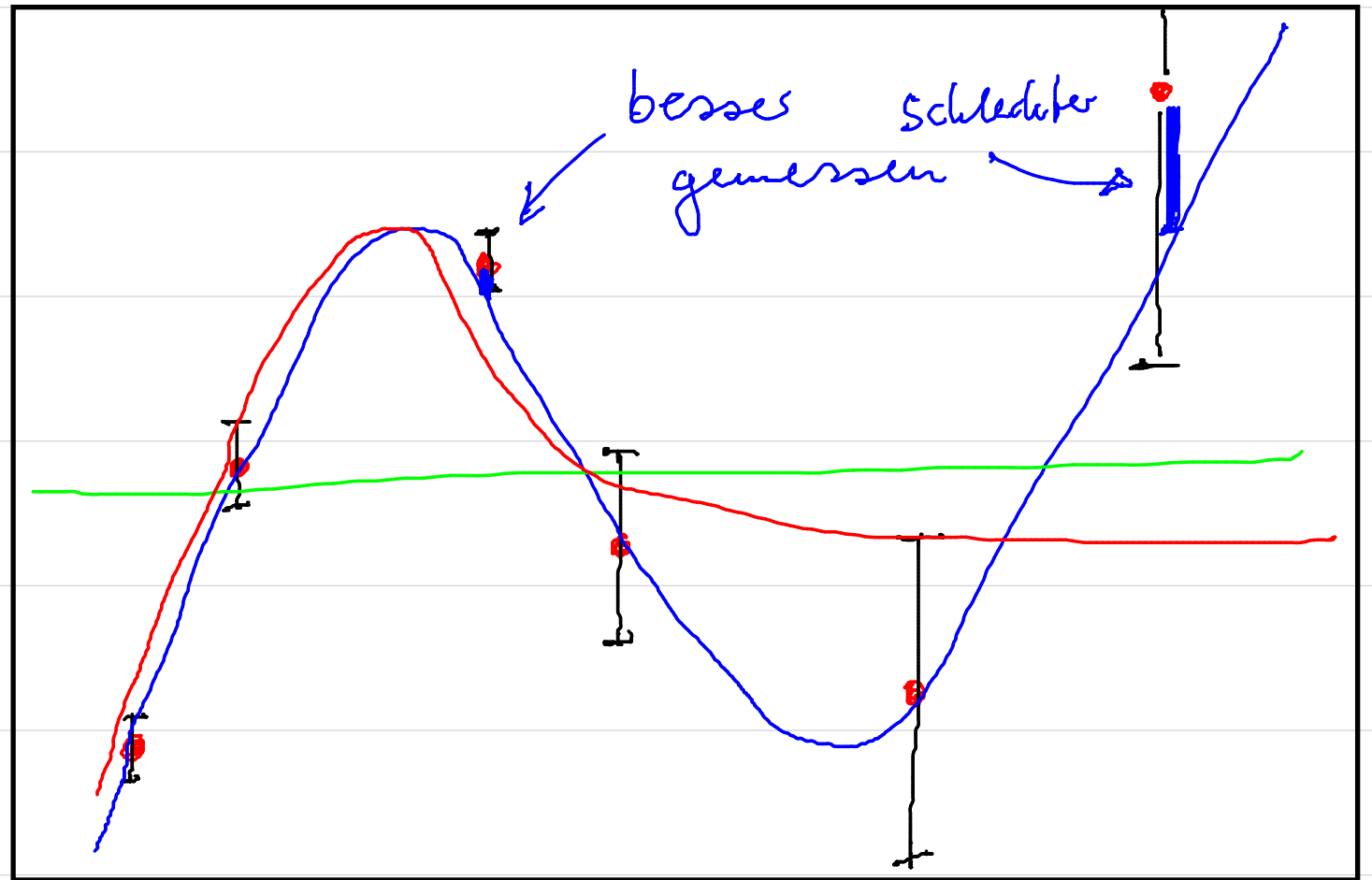
y hat bekannten oder
vermuteten Verlauf

$y(x)$

$\sigma_x \approx 0$; σ_y verschieden

Vgl. Daten x_i, y_i mit
Modell $f = y(x)$

Y



X

reichen meine Daten, um
das Modell zu bestimmen?

$$\chi^2 = \sum \frac{(y_i - f_i)^2}{\sigma_i^2}$$

← quadrat. Abw. Daten - Modell
← Wichtung der Datenpunkte

Erwarte für χ^2 :

$$\frac{\chi^2}{N_{DF}} \approx 1$$

einfache Fälle:
 $N_{DF} = n_{\text{Daten}} - n_{\text{Param.}}$

komplexe Situationen

χ^2 minimieren $\rightarrow$ beste Wahl der Parameter

Maximum-Likelihood

$\chi^2_{\text{blau}} < \chi^2_{\text{grün}} ? \rightarrow$ "blau besser als grün"

x Zufallszahl

$f(x; \vec{\theta}) dx$ Wahrscheinlichkeit, daß „ x “ zwischen x und $x+dx$ liegt

$\vec{\theta}$ Vektor von Parametern, die ein Modell ausmachen

ungebundene Daten:
 N

$$L(\vec{\theta}) = \prod_{i=1}^N f(x_i; \vec{\theta}) \rightarrow -\ln L$$

maxim. $\rightarrow$ min.

Monte Carlo-Simulation

Nachbildung einer komplexen Situation
durch (mehr oder weniger) mikroskopisches
Modell $\leftarrow \vec{\theta}$

Zufällige Ereignisse
werden durch

(Pseudo-) Zufalls-
zahlen behandelt

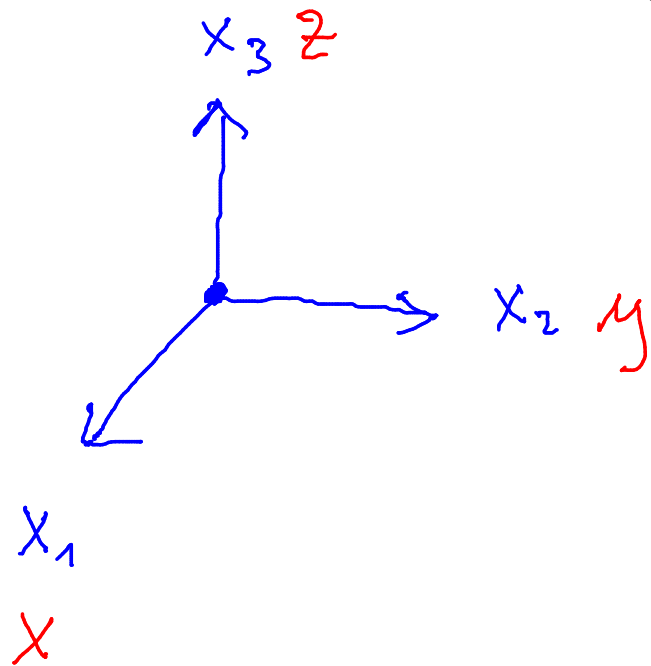
$\vec{\theta}$ variieren $\rightarrow$ "Daten und MC" vgl.

2. Klassische Mechanik

2.1 Kinematik der Massenpunkte

- Ortsvektoren
- Momentanwerte,
Ort-Geschwindigkeit-Beschleunigung
- Superpositionsprinzip
- Bewegungsgleichungen
- Drehbewegungen

Ortsvektoren



Kartesisches Koordinatensystem
(rechtsdrehend)

Punkt: $\vec{r}(t)$

↳ Zeit als Parameter

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix}$$

Operationen auf Vektoren $\rightarrow$ 'meistens' komponentenweise
mit
an
;
+ -
 $\left[\begin{array}{l} \text{Skalarprodukt} \\ \text{Vektorprodukt} \end{array} \right]$

Momentanwerte, Ort - Geschwindigkeit - Beschleunigung

Kinematik ignoriert die Ursachen von Bewegungen
gravitation... Kräfte

idealisiert Systeme : Punkte, Massenzentren,
Kugeln...

Alltag : Geschwindigkeit = Weg / Zeit

$$v = \frac{x(t_n) - x(t_0)}{t_n - t_0} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Wie groß sind die Intervalle?

$$v_D = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Durchschnittsgeschwindigkeit
im Zeitintervall Δt

$$\Leftrightarrow v_{\text{mom}} = \frac{dx}{dt}$$

Momentan-geschw.
 $\Delta t \rightarrow dt$

$$v_M = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = \underline{\dot{x}}$$

Beschleunigung = Geschwindigkeitsänderung pro Zeit

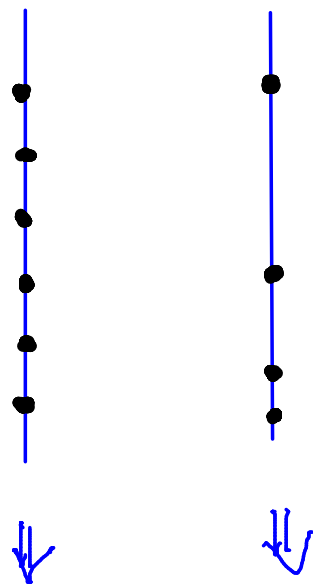
$$a_D = \frac{v(t_1) - v(t_0)}{t_1 - t_0} = \frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a_M = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2 x}{dt^2} = \underline{\underline{\ddot{x}}}$$

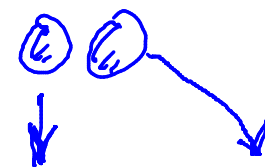
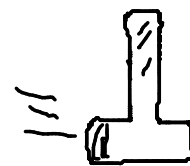
VERSUCHE

Gewichte an der
rechten Schnur
in quadratisch
wachsenden Abständen
treffen in gleichen
Zeitintervallen auf!
ohne ein Weg $\propto t^2$ -Gesetz

Fallschnüre



Fallmaschine I



senkrecht und schräg (?)
fallende Kugeln
treffen gleichzeitig
auf den Boden ...