

# Klassische Physik 1

WS 2014/15

**Johannes Bümer** Benutzer: student

PW: neutrinos fliegen überall durch VO4 30. Oktober

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



# **Vorleistungen für die Zulassung zur Klausur**

- **Teilnahme an der Übung ist verpflichtend:  
Maximal zweimal unentschuldigte Abwesenheit**
- **60% der Punkte auf den Blättern**
- **3 mal Vorrechnen in den Übungsgruppe**

## 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

# Zusammenfassung 3

- Die Begriffe Fehler und Unsicherheit werden häufig synonym verwendet.
- Systematische Fehler sind Verzerrungen des Messergebnisses, die von nicht ausreichend berücksichtigten störenden Einflüssen verursacht werden.
- Statistische Fehler sind zufälliger Natur. Sie können durch Wiederholung der Messung unter konstanten Bedingungen (meistens) erfasst werden.

# Zusammenfassung 3

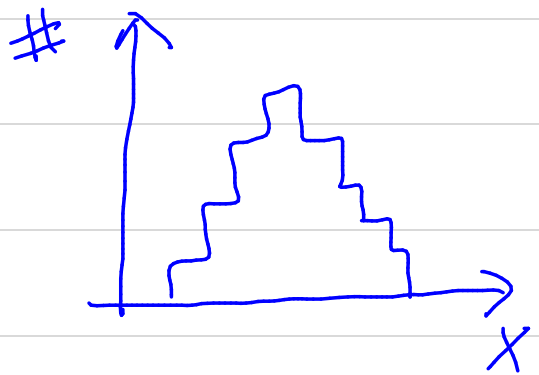
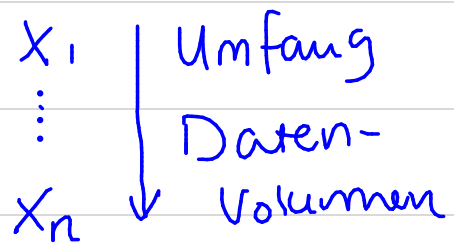
- Mittelwert, Varianz einer Verteilung:  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ,  $\text{var} = \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$
- “RMS”-Breite:  $\sigma = \sqrt{\text{var}}$   
Root Mean Square
- Fehler des Mittelwerts:  $\sigma(\bar{x}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  sinkt mit  $\frac{1}{\sqrt{n}}$
- Zentraler Grenzwertsatz: die Verteilung der Summe von Zufallszahlen strebt einer Gausskurve zu  $P(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
- Fehlerfortpflanzung: Addition der Fehlerquadrate, gewichtet mit den partiellen Ableitungen  
 $y = y(x_1, \dots, x_n)$   
mit individuelle Fehlern  $\sigma_{x_i}$
- + −: absolute Fehler quadratisch addieren  
× / : relative Fehler quadratisch addieren  
$$\sigma(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial y}{\partial x_j} \cdot \sigma_{x_j} \right)^2}$$
- Rechengenauigkeit: keine unsinnigen Dezimalstellen angeben

# 1.3 Messungen

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

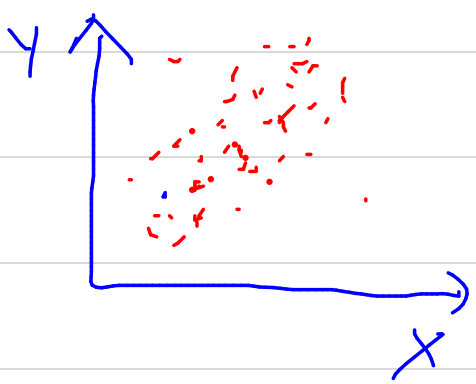
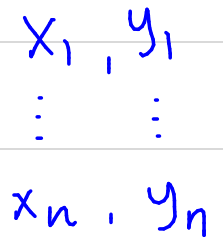
# Datenauswertung

1-dim.  
Messwerte



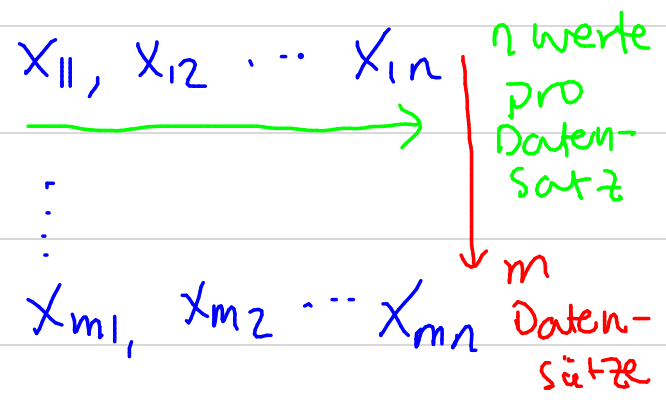
Histogramm

2-dim.  
Messwerte



Streudiagramm  
"Scatter Plot"

n-dim. : "nTupel"  
"Ereignisse"



n, m fixe Dimension  
↓  
Variabel

header,  $E_1, x, y, z \dots \theta$

⋮ fixes format

header,  $E_m, x_m, y_m, z_m \dots \theta_m$

Variabel in jedem Datensatz

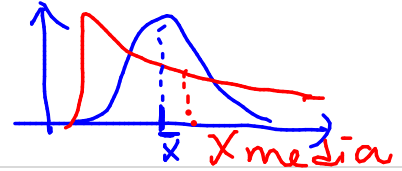
[ ascii, xml, ... ]

Daten volumen

Kompression

↳ Informationsverlust!

# Datenauswertung



Descriptive Statistik: Mittelwert, Breite, Asymmetrie ...

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{1}{n} \sum x_i & \sigma^2 &= \frac{1}{n-1} \sum (\bar{X} - x_i)^2 \\ \sigma(\bar{X}) &= \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \end{aligned}$$

Median = teilt Datensatz  
in 2 Hälften

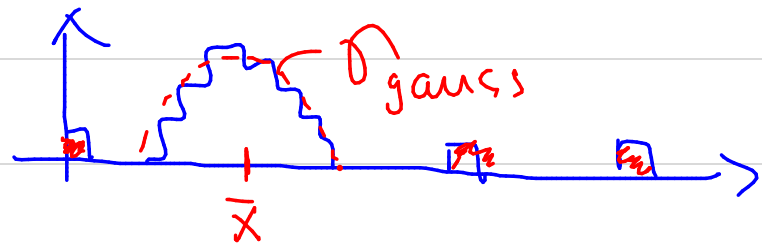
Sind die "Schätzer" robust?

[ =  $\bar{X}$  bei symmetrie vert.]

Mittelwert: ~ robust ;  $\sigma$  empfindlich auf "Ausreißer"

Median = sehr robust

↳ Gauss-Anfassung →  $\sigma$  RMS



Vergleiche ...

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

} "Sinnvolle"  
Fragen stellen,  
die mit Methode der Statistik beantwortet

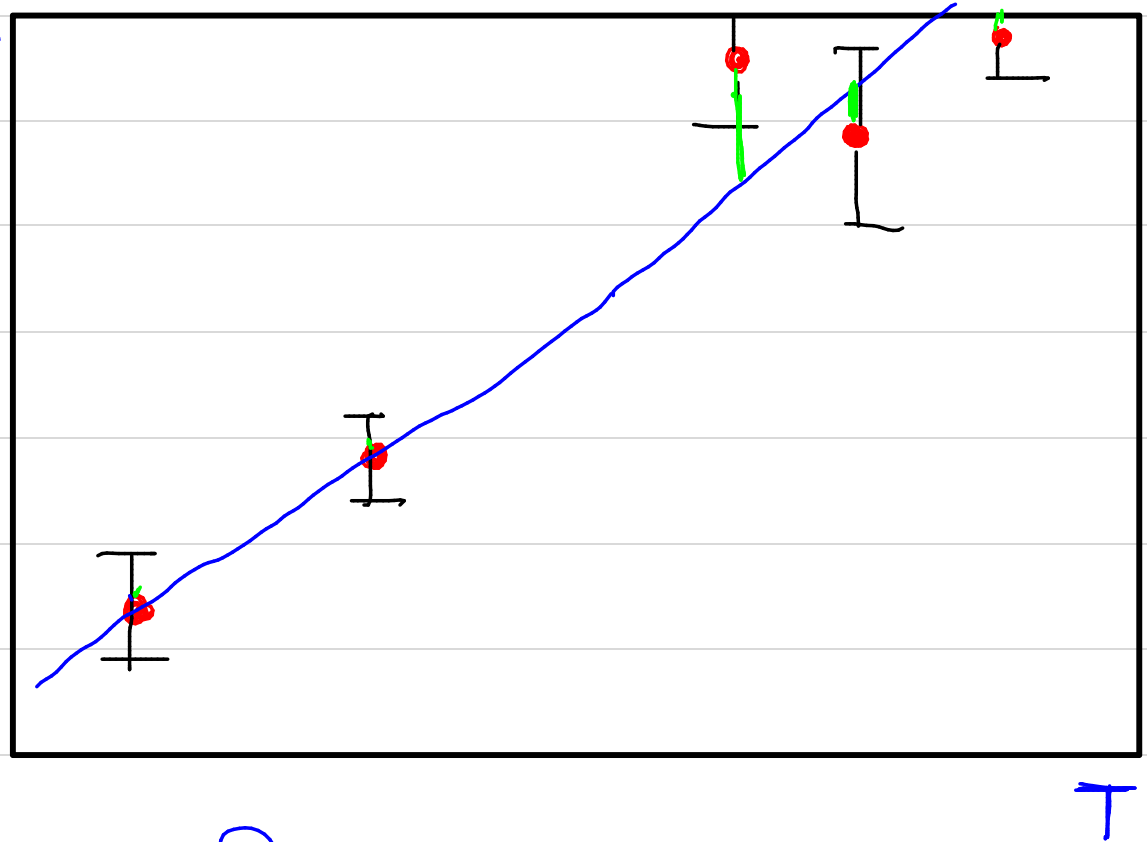


# Daten und Modelle, Parameteranpassung

Beisp.: Länge eines Stabes  $L$   
als Funktion von  
Temp.  $T$

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

↪ Ausgleichsgerade  
wie bestimmt man



$$L = L_0 + \alpha \cdot T$$

Anm.  $\sigma_T \approx 0$

↪  $\sum$  der quadratischen Abweichungen minimieren!

$\sigma_L$  alle gleich groß [oder 0]  $\rightarrow$  alle Punkte  
gehen mit

$$w = \frac{1}{\sigma_L^2}$$

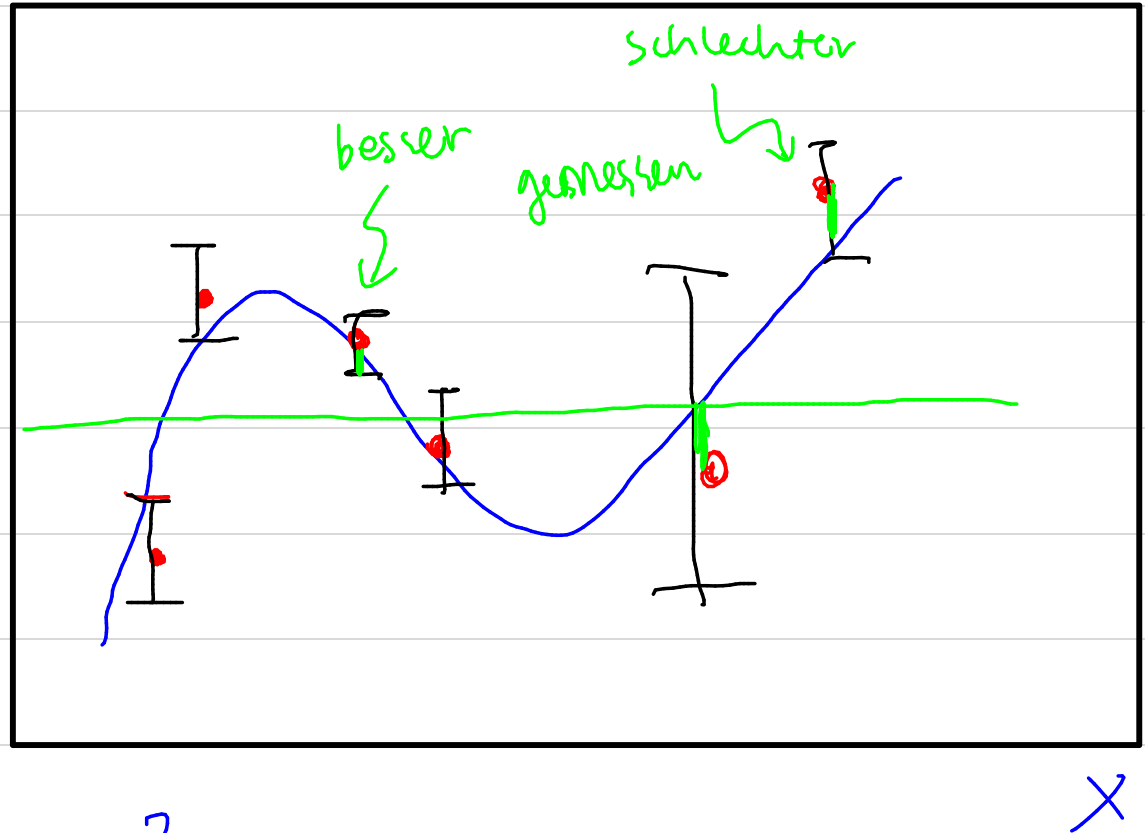
dem gleichen Gewicht ein

# Chiquadrat-Methode ( $\chi^2$ -Methode)

$y$  hat bekannten oder  $Y$   
vermuteten Verlauf  $y(x)$

$\sigma_x \approx 0$ ;  $\sigma_y$  verschiedene

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



Reichen meine Daten,  
um das Modell zu bestimmen?

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

← quadr. Abw. Daten-Modell

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

$\chi^2$  minimieren → beste Wahl der Parameters

$N_{DF}$  = Anzahl

einfachfälle:

← Wichtigkeit der Datenpunkte  
mit  $w_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$

Freiheitsgrad

$$N_{DF} = n_{\text{Daten}} - n_{\text{param.}}$$

# Komplexe Situationen

## Maximum-Likelihood

für ungebundene Daten:

$$L(\vec{\theta}) = \prod_{i=1}^N f(x_i; \vec{\theta}) \Rightarrow -\ln L \equiv \chi^2$$

wird maximal für "beste"  
Wahl von  $\vec{\theta}$   $\Rightarrow$  min.

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

$x$  Zufallszahl (Ergebnis einer Messung)

$f(x; \vec{\theta}) dx$ , Wahrscheinlichkeit, dass  
"x" zw.  $x$  und  $x+dx$  liegt,

Vektoren von Parametern,  
die ein Modell ausmachen

## Monte Carlo-Simulation

Nachbildung einer komplexen Situation  
durch ein (mehr oder wenig)  
mikroskopisches Modell.

zufällige Ereignisse  
werden durch  
(pseudo-) Zufallszahlen  
behandelt.

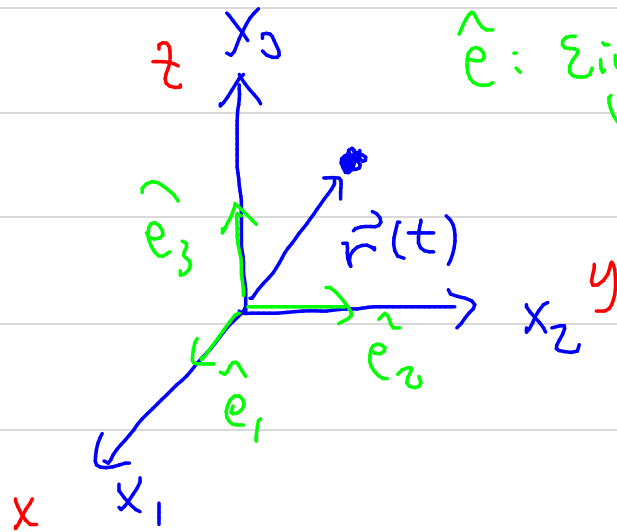
$\vec{\theta}$  variieren  $\rightarrow$  "Daten und MC" vgl.

# **2. Klassische Mechanik**

## **2.1 Kinematik der Massenpunkte**

- Ortsvektoren
- Geschwindigkeit
- Beschleunigung
- Superpositionsprinzip
- Bewegungsgleichungen
- Drehbewegungen

# Ortsvektoren



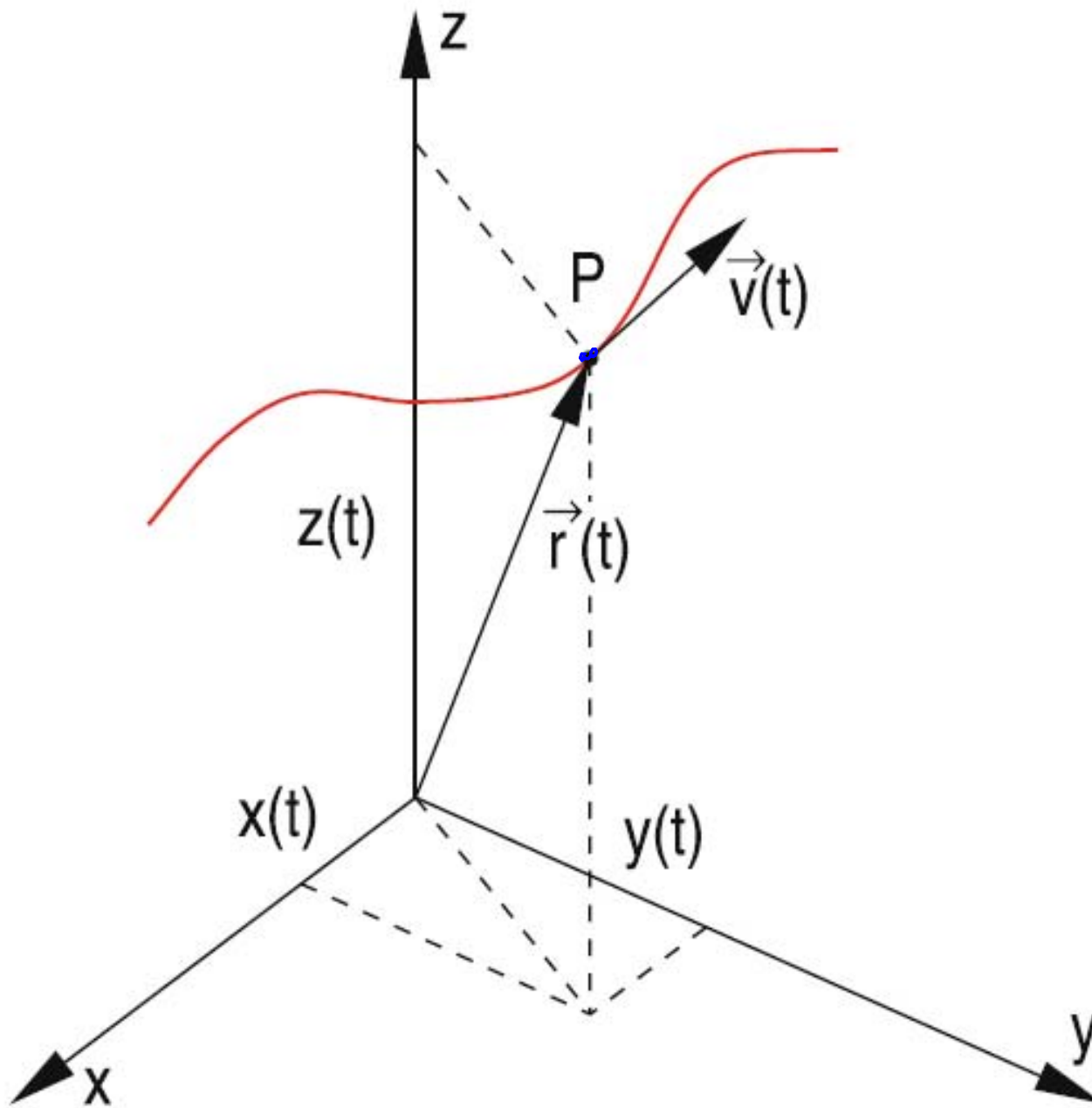
$\hat{e}$ : Einheits-  
vektoren

Kartesisches Koordinatensystem  
(rechtshändig)

Punkt:  $\vec{r}(t)$   
 $\downarrow$   
 Zeit als Parameter

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

Operationen auf Vektoren  $\rightarrow$  "meistens" Komponenteweise  
 $+$   $-$   
 mit  
 an  
 $\vdots$   
 [ Skalarprodukt  
 Vektorprodukt ]



# Momentanwerte, Ort – Geschwindigkeit – Beschleunigung

Kinematik : – ignoriert die Ursachen von Bewegungen  
Gravitation ... Kräfte

– untersucht idealisierte Systeme: Punkte,  
Massen-  
punkte,  
Kurven  
:

Alltag : Geschwindigkeit = Weg / Zeit  
Beschleunigung = Geschw. Änderung / Zeit

Präzisierung erforderlich : Welche Zeit?

Geschw. : 
$$v = \frac{x(t_1) - x(t_0)}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

mit  $t_1, t_0$  : Zeitpunkte, die ein  
Zeitintervall definieren  
 $\Delta t = t_1 - t_0$

Wie groß sind die Zeitintervalle?

$$\hookrightarrow v_D = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \text{"Durchschnittsgeschw."} \quad \longleftrightarrow \quad v_M = \frac{dx}{dt}$$

im betr. Zeitintervall  $\Delta t$

"Momentan  
geschw."  
 $\Delta t \rightarrow t$

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

zeitl. Ableit.  
einer Größe

Beschleunigung ebenso:

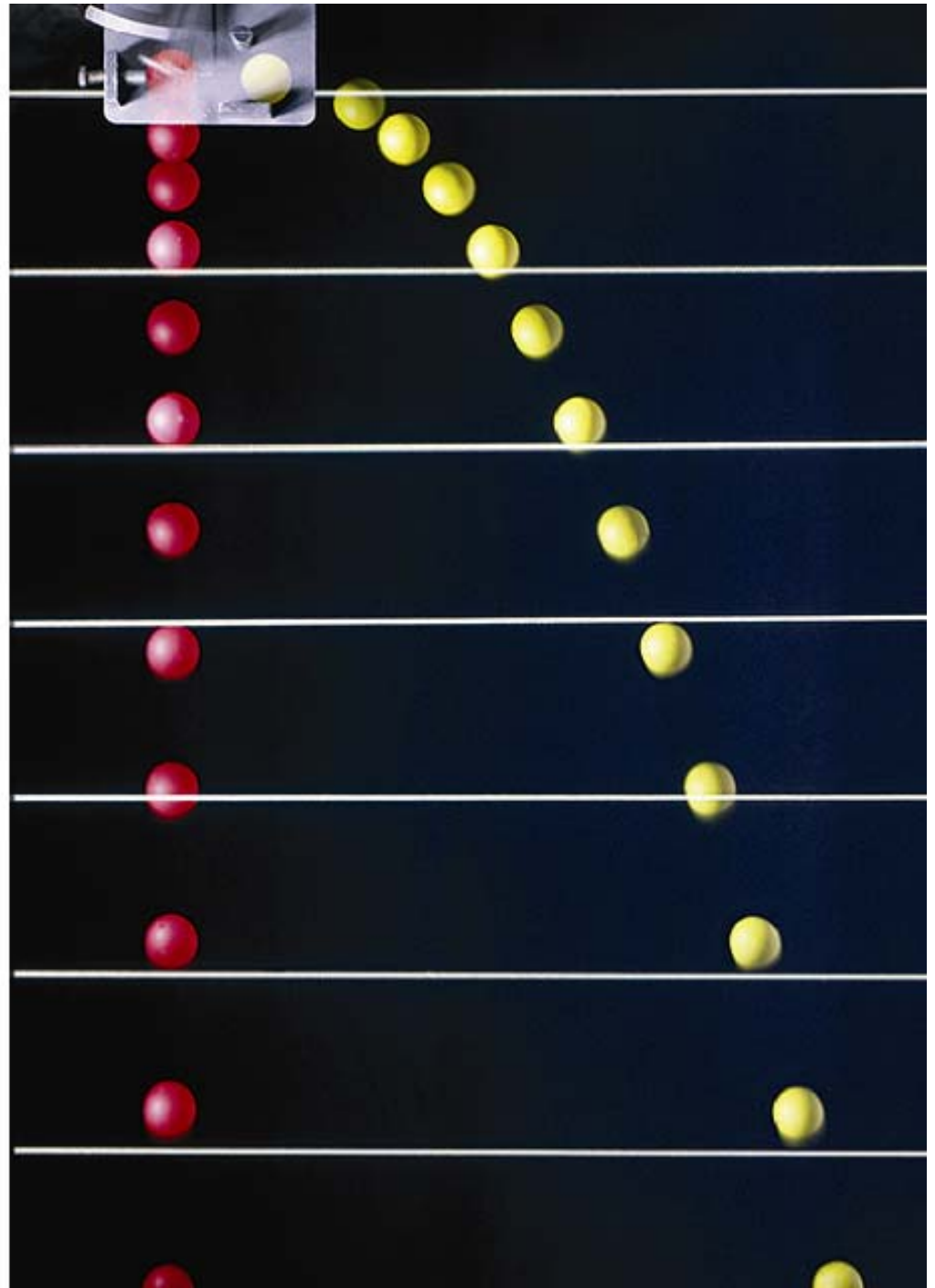
$$a_D = \frac{v(t_1) - v(t_0)}{t_1 - t_0} = \frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a_M = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \ddot{x}$$

2. Ableitung  
nach der  
Zeit!

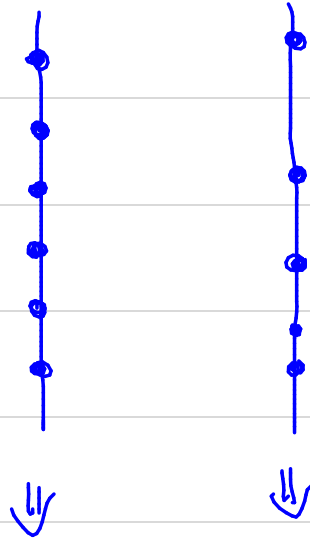


## Fallmaschine I



## VERSUCH : Fall Schnüre

Gewichte an der  
rechten Schnur  
in quadratischen  
wachsenden  
Abständen  
treffen in gleichen  
Zeitintervall auf!



Weg  $\propto t^2$  - Gesetz