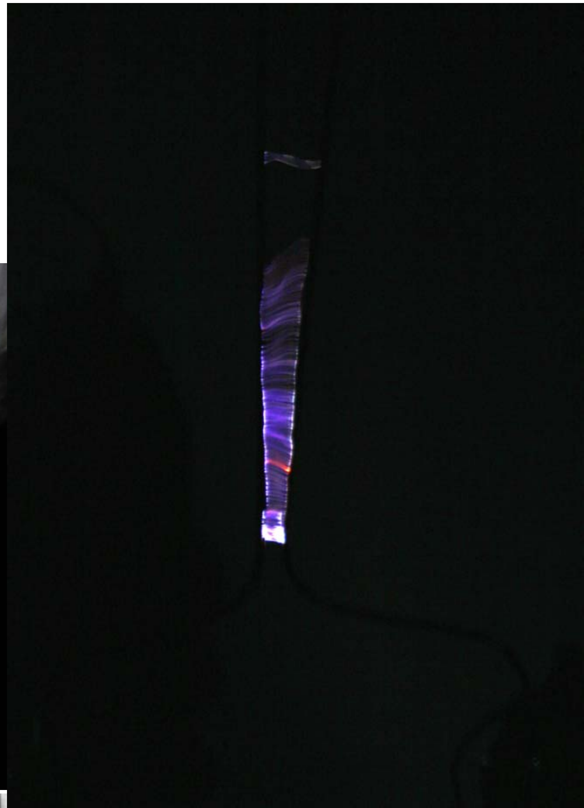
Grundlagenvorlesung Physik

Stephan Scheidegger

Ruedi Füchslin

2015

Physik ist ...

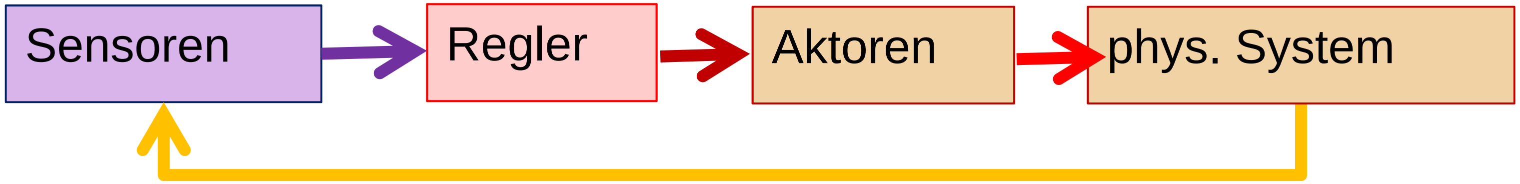


Technisches System

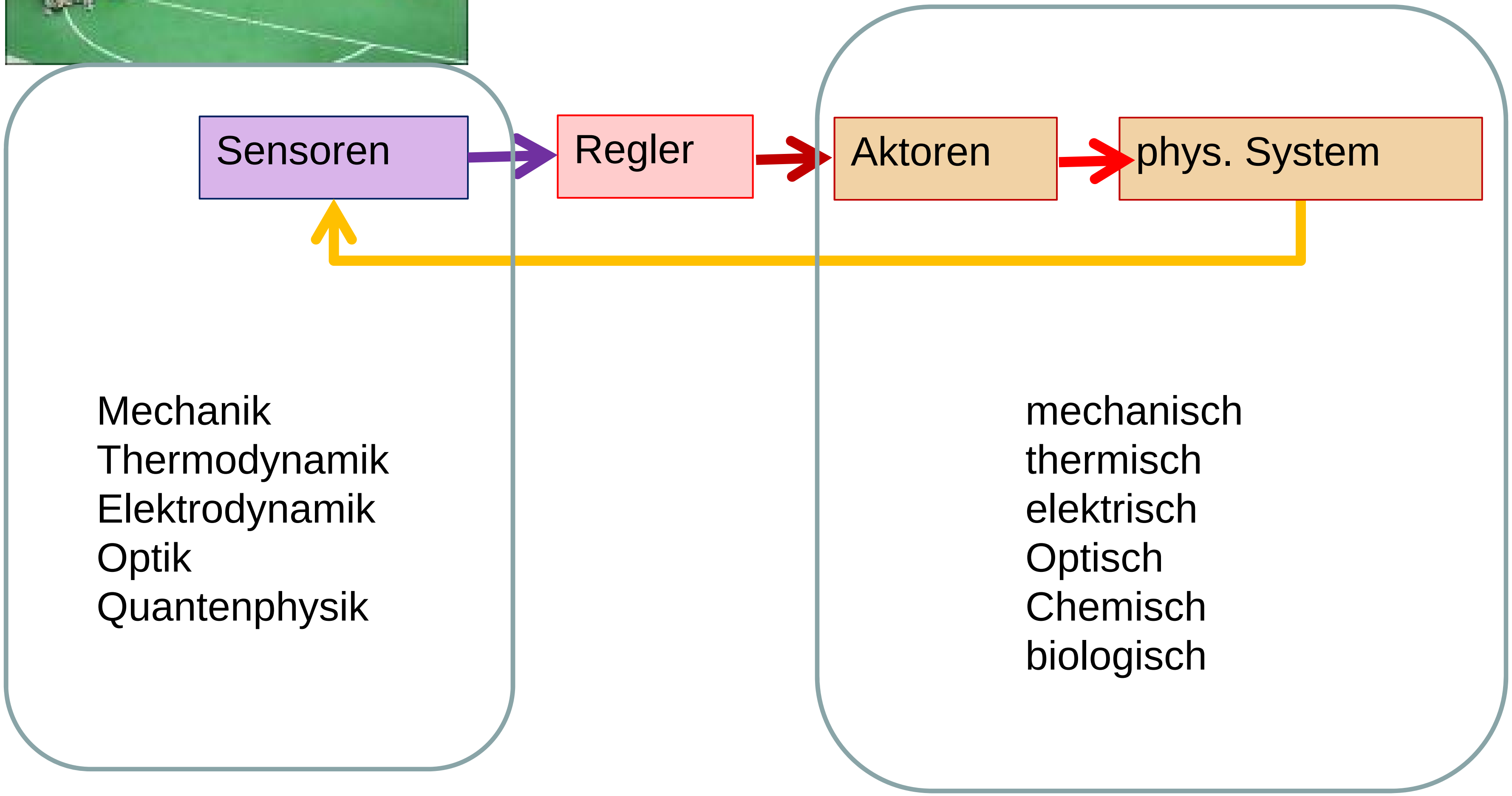
Technisches System

Sensoren → Regler → Aktoren →

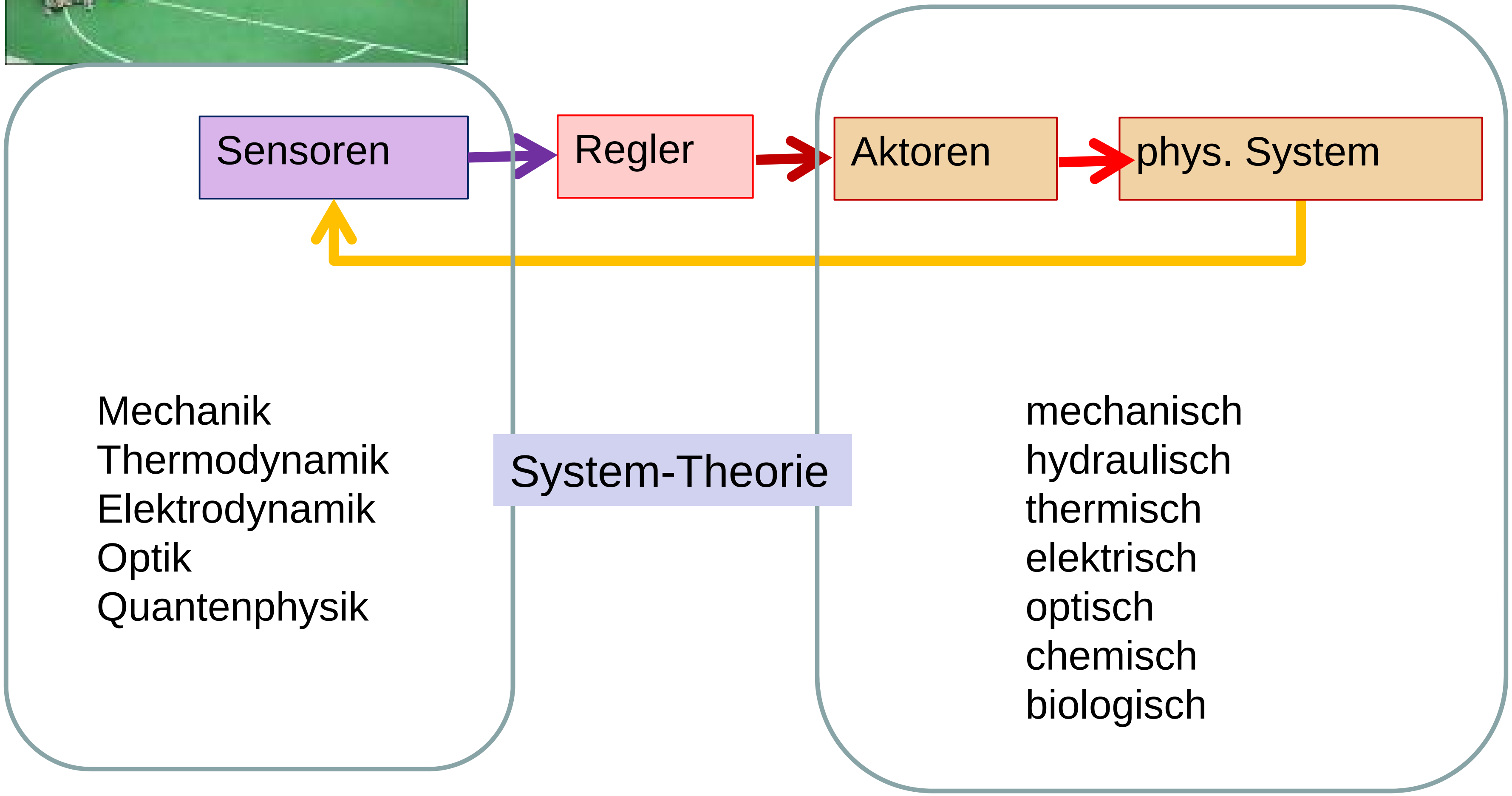
Technisches System



Technisches System



Technisches System



Strukturierung der Physik

quantitativ ⟷ qualitativ

Theorie

Modelle

Konzepte, Bilder:
Felder
Potentiale
Flüsse und Speicher
Teilchen

Bild

Daten

Handrechnung
Abschätzung

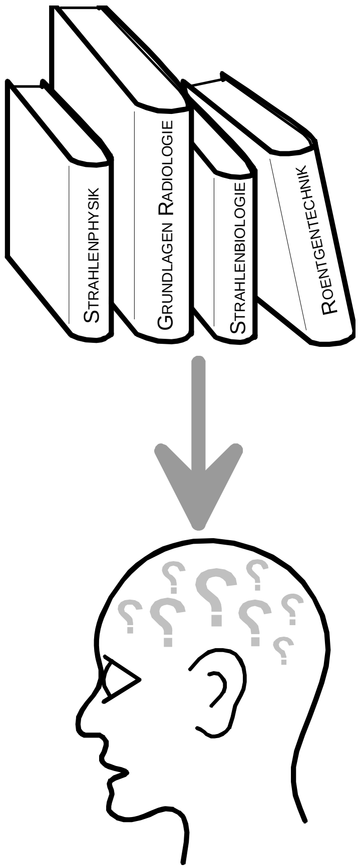
Computer-
simulationen,
Experimente
in silico

Experiment,
Messung

Beobachtung

Objekt

Grundlagenvorlesung Physik

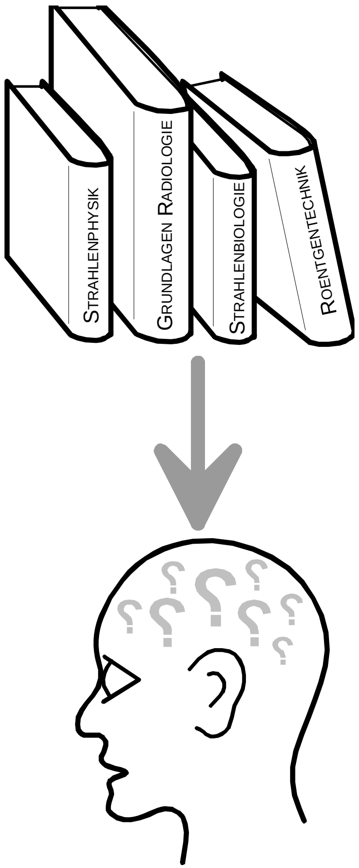


Skript zur Veranstaltung

Theorie, Modelle und Experimente zur Physik

www.zhaw.ch/~scst

Grundlagenvorlesung Physik



100 Kinematik

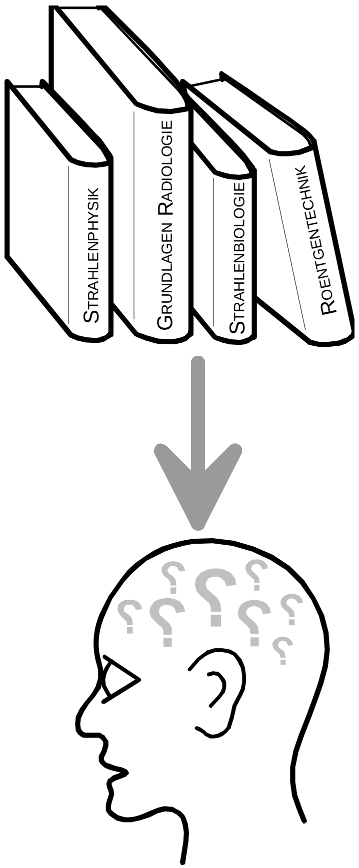
200 Dynamik: Kräfte und Impuls

300 Arbeit, Energie und Potential

400 Schwingungen

500 Rotation des starren Körpers

Grundlagenvorlesung Physik



600 Mechanik der Kontinua

700 Thermodynamik

800 Elektrodynamik

900 Wellen, Strahlen und Teilchen

000 Anhänge

ein paar Tipps

- Lösen Sie die Aufgaben begleitend zum Unterricht – wer seine Hausaufgaben regelmässig macht, erspart sich lange Abende vor der Prüfung!
- Führen Sie ein Theorieheft (gebunden), wo Sie nicht nur Theorie und Aufgaben hineinschreiben, sondern auch Fragen schriftlich festhalten.
- Lösen Sie vor der Prüfung eigene Aufgaben. Ändern Sie z.B. in den vorliegenden Aufgabe die Zahlen oder versuchen Sie, die Aufgabenstellung umzukehren.
- Orientieren Sie sich an Fragen: Was bedeutet eine bestimmte physikalische Grösse? Warum wird eine bestimmte Formel verwendet? Gilt etwas allgemein oder ist es nur für eine spezielle Situation gültig? Wie ist ein Problem strukturiert?

100 Kinematik: Wurfbewegungen

110 *Raum und Zeit*
120 *Berechnung von Bahnkurven*

um was geht es?

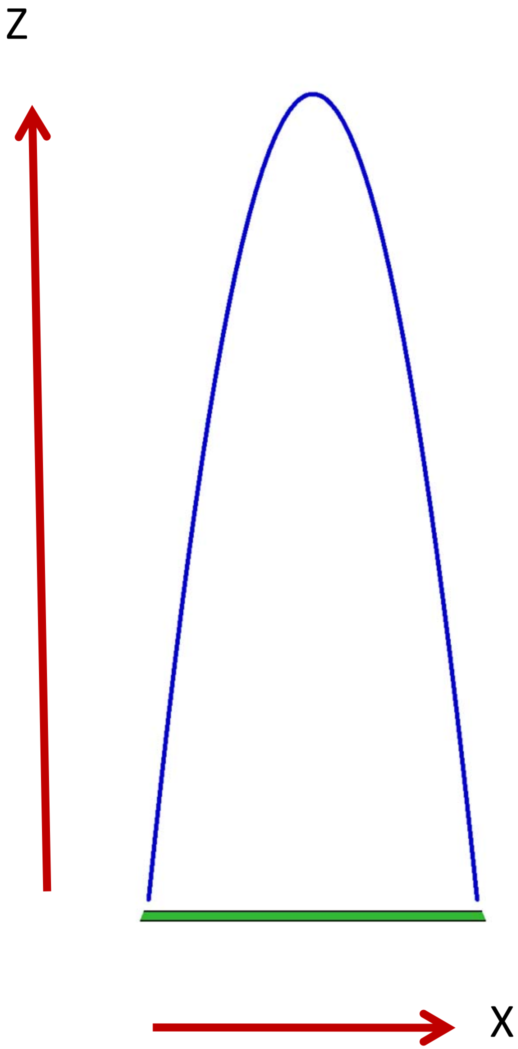
- mathematische Beschreibung von Raum und Zeit
- mathematische Beschreibung von Bewegungen im Raum → Bahnkurven
- Geschwindigkeit und Beschleunigung als Änderungsraten

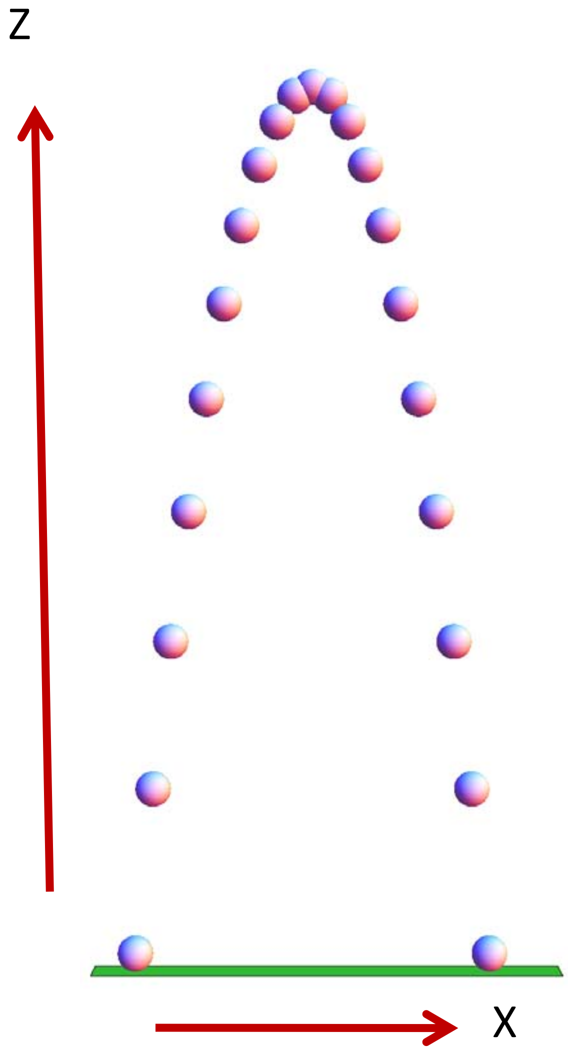
111 Ortsvektoren

111 Ziele

- Vektoren zur Beschreibung des Ortes anwenden können
- Ortsvektoren als Funktion der Zeit zur Beschreibung von einfachen Bahnen benützen können

111 Theorie





Bahnen,
Bahnkurven:

$(x(t),z(t))$

111 Theorie

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

Begriffe:

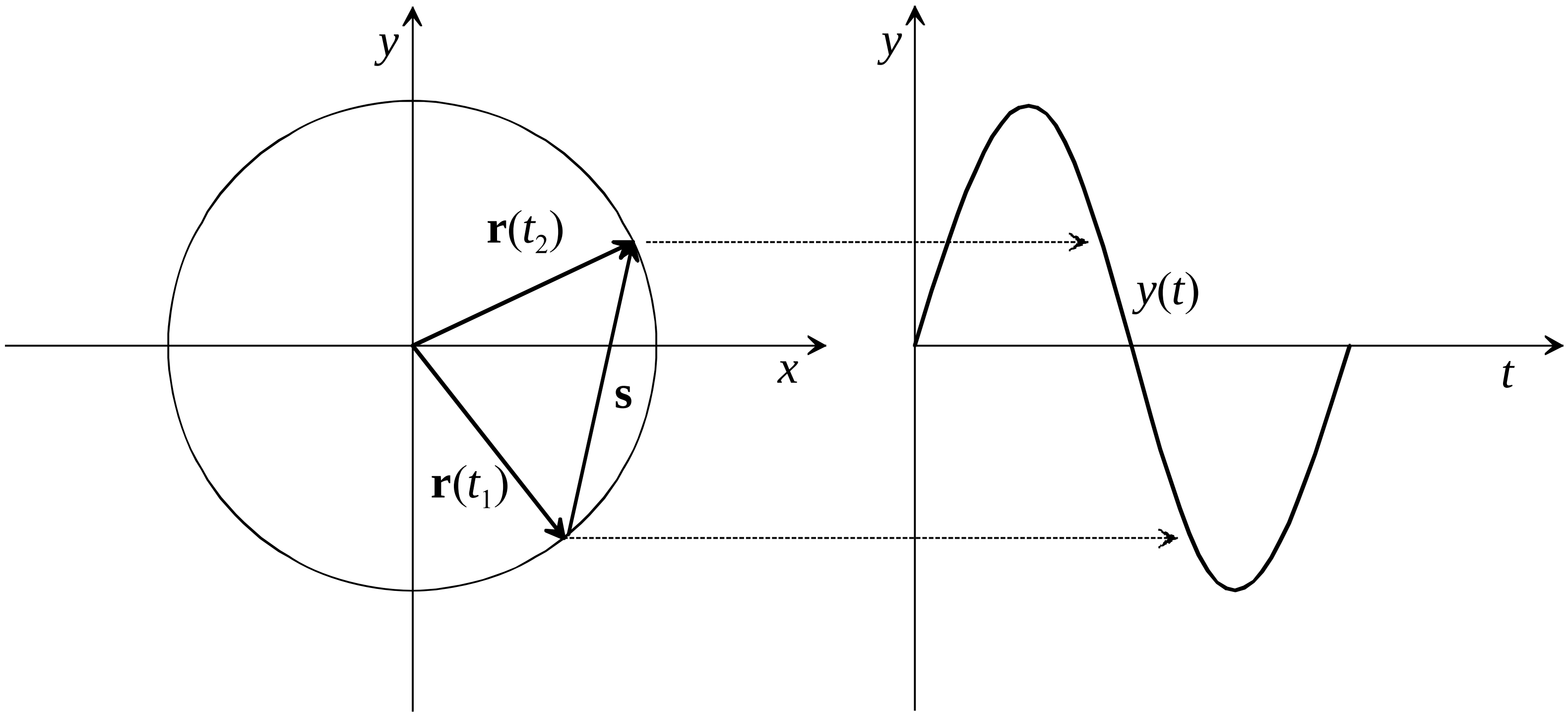
- Ortsvektor **r**
- Strecke (Streckenvektor) **s**

$$\vec{s} = \Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

111 Beispiel

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} \lambda \cos(\omega t) \\ \lambda \sin(\omega t) \end{pmatrix}$$

Kreisbahn, Kreisbewegung



111 Beispiel

Kreisbahn, Kreisbewegung

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} \lambda \cos(\omega t) \\ \lambda \sin(\omega t) \end{pmatrix}$$

$$s = \Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} =$$

$$= \sqrt{\lambda^2 \left(\cos(\omega \cdot t_2) - \cos(\omega \cdot t_1)\right)^2 + \lambda^2 \left(\sin(\omega \cdot t_2) - \sin(\omega \cdot t_1)\right)^2}$$

$$= \lambda \sqrt{\left(\cos(\omega \cdot t_2) - \cos(\omega \cdot t_1)\right)^2 + \left(\sin(\omega \cdot t_2) - \sin(\omega \cdot t_1)\right)^2}$$

111 Beispiel

Kreisbahn, Kreisbewegung

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} \lambda \cos(\omega t) \\ \lambda \sin(\omega t) \end{pmatrix}$$

$$\cos(\omega t_2) - \cos(\omega t_1) = 1 - (-1) = 2$$

$$\sin(\omega t_2) - \sin(\omega t_1) = 0 - 0 = 0$$

→ Kreisbahndurchmesser = $\lambda\sqrt{2^2} = 2\lambda$

111 Beispiel

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} \lambda\cos(\omega t) \\ \lambda\sin(\omega t) \end{pmatrix}$$

Kreisbahn, Kreisbewegung

$$\cos(\omega t_2) - \cos(\omega t_1) = 1 - (-1) = 2$$

$$\sin(\omega t_2) - \sin(\omega t_1) = 0 - 0 = 0$$

→ Kreisbahndurchmesser = $\lambda\sqrt{2^2} = 2\lambda$

$$\cos(\omega t_2) = 1 \longrightarrow \omega t_2 = n \cdot 2\pi \longrightarrow t_2 = n \cdot 2\pi / \omega$$

111 Beispiel

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} \lambda \cos(\omega t) \\ \lambda \sin(\omega t) \end{pmatrix}$$

Kreisbahn, Kreisbewegung

$$\cos(\omega t_2) - \cos(\omega t_1) = 1 - (-1) = 2$$

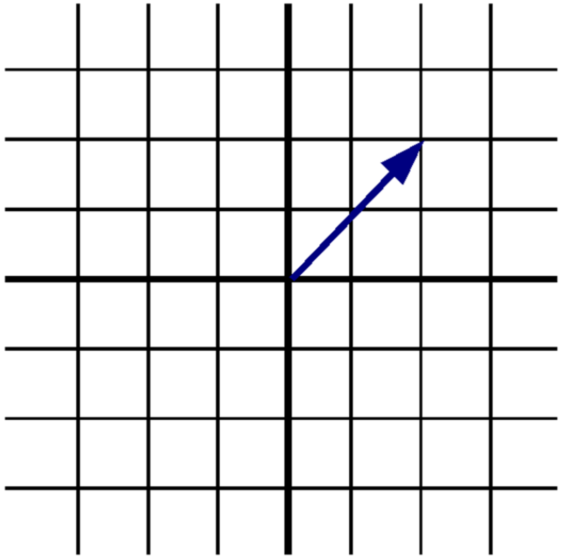
$$\sin(\omega t_2) - \sin(\omega t_1) = 0 - 0 = 0$$

$$\cos(\omega t_2) = 1 \longrightarrow \omega t_2 = n \cdot 2\pi \longrightarrow t_2 = n \cdot 2\pi / \omega$$

$$\downarrow$$

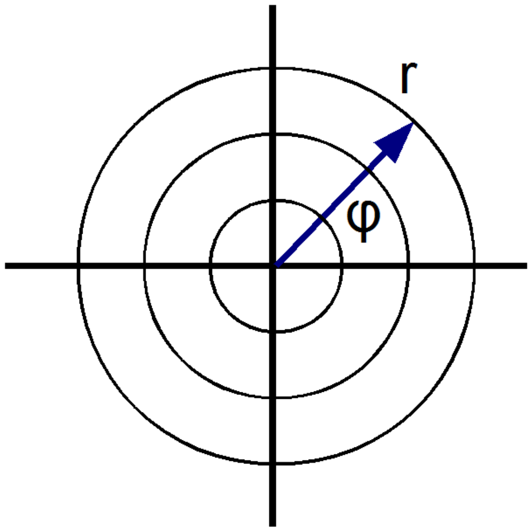
$$t_1 = (2n+1) \cdot \pi / \omega \longrightarrow \Delta t = -\pi / \omega$$

111 Beispiel 2



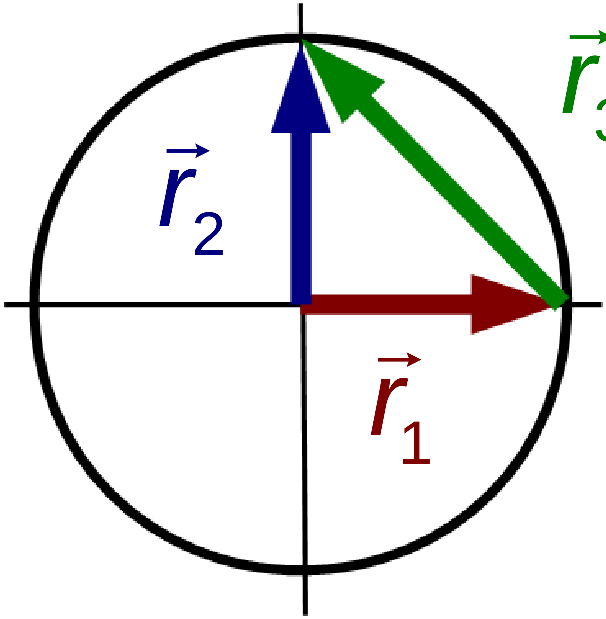
Polarkoordinaten

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$



$$\vec{r} = \begin{pmatrix} r \\ \varphi \end{pmatrix}$$

Problem



$$\vec{r}_3 = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

Kartesisch:

$$\vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Polar:

$$\vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{\pi}{2} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{2} \\ \frac{3\pi}{2} \end{pmatrix}$$

Polar:

$$\vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{\pi}{2} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \neq \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{\pi}{2} \end{pmatrix}$$

112 Geschwindigkeit und Beschleunigung

112 Ziele

- Geschwindigkeit und Beschleunigung als zeitliche Änderungsraten verstehen
- Begriff der Ableitung qualitativ in eigenen Worten beschreiben können

112 Theorie

Begriffe:

- Geschwindigkeitsvektor **v**
- Ist die Geschwindigkeit die Strecke pro Zeit?
- → NEIN! …

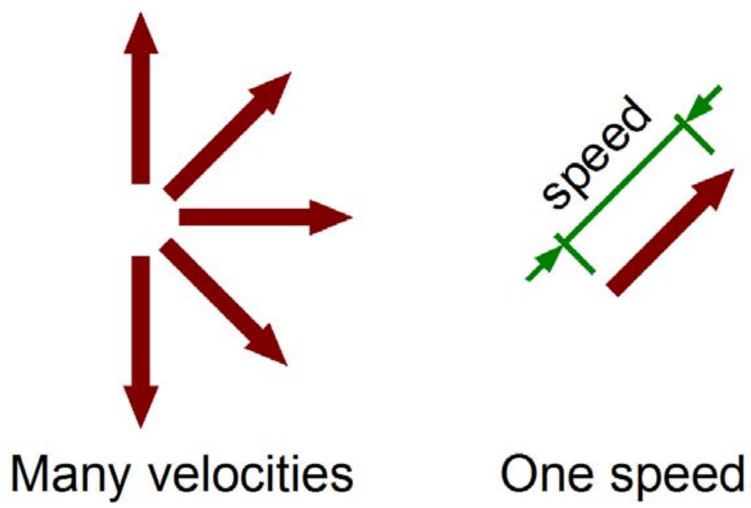
$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \begin{pmatrix} \Delta x / \Delta t \\ \Delta y / \Delta t \\ \Delta z / \Delta t \end{pmatrix}$$

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} \dfrac{\Delta x}{\Delta t} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

112 Theorie

Begriffe:

- Geschwindigkeitsvektor **v**
- Geschwindigkeit: Kann als vektorielle Grösse oder skalare Grösse (Betrag) gemeint sein
- Schnelligkeit



112 Theorie

$$x(t) = v_x t + x_0$$

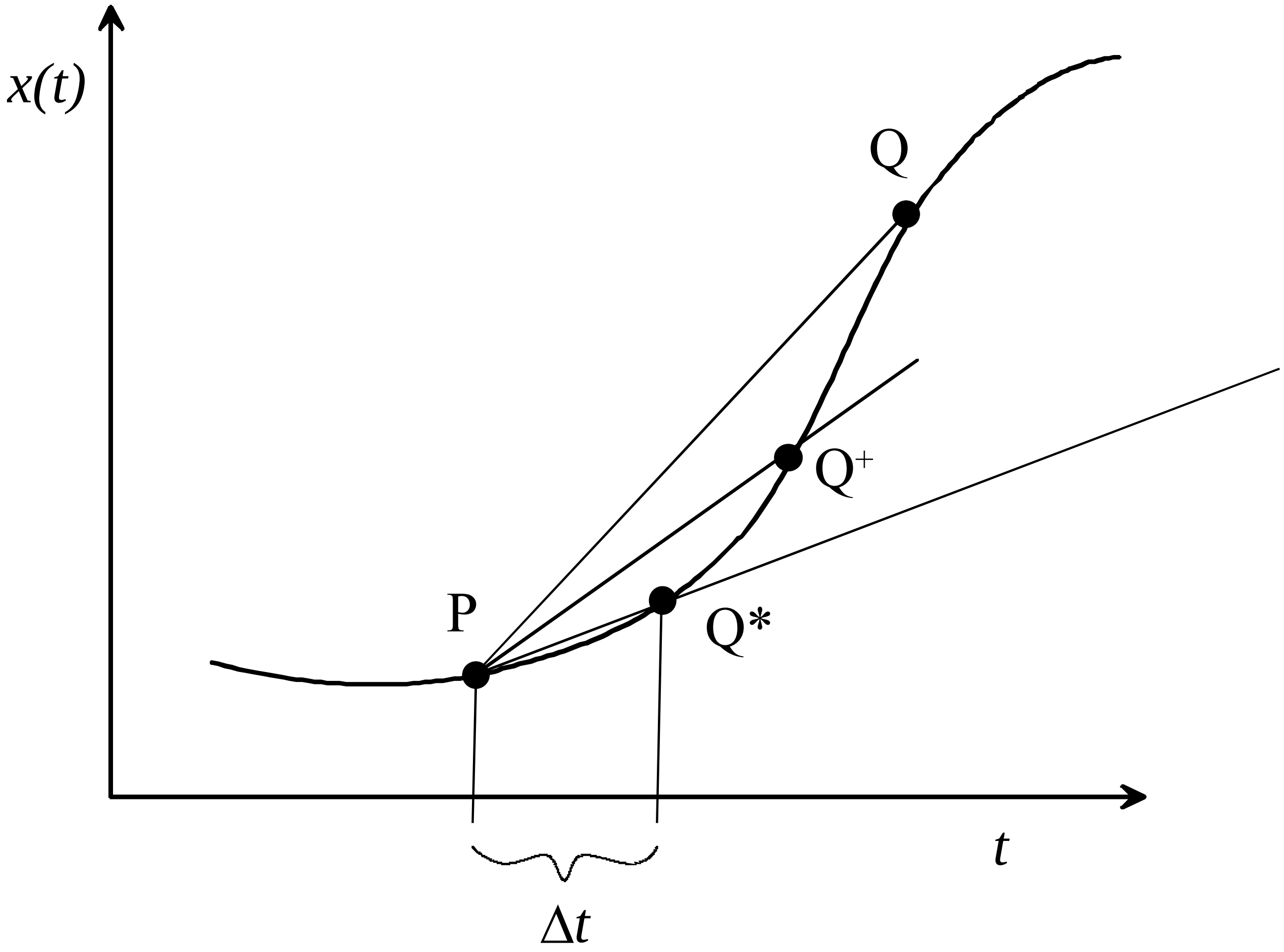
Spezialfall konstante Geschwindigkeit

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

- Geschwindigkeit kann als Steigung der Streckenfunktion *x*(*t*) aufgefasst werden
- *v*(*t*) für beliebige *x*(*t*)?

112 Theorie

Allg. Def. Geschwindigkeit



112 Theorie

Allg. Def. Geschwindigkeit

- Grenzwertbildung: lokale Steigung

$$v_x = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right) = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t}\right)$$

112 Theorie

Allg. Def. Geschwindigkeit

- Grenzwertbildung → Ableitung

$$v_x = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right) = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t}\right)$$

$$\lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right) = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$$

112 Theorie

Allg. Def. Geschwindigkeit

- Ableitungsoperation (Operator) lässt sich auch auf Vektoren anwenden

$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{z}(t) \end{pmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix}$$

112 Theorie

Allg. Def. Geschwindigkeit

- Ableitungsoperation kann als Operator geschrieben werden

$$\frac{d}{dt}\left[\ldots\right] = \lim_{\Delta t \to 0}\left[\frac{\Delta\left[\ldots\right]}{\Delta t}\right]$$

112 Theorie

Allg. Def. Beschleunigung

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

- Analog zur Geschwindigkeit (= zeitliche Ableitung der Steckenfunktion) ist die Beschleunigung die zeitliche Änderung der Geschwindigkeitsfunktion

$$\vec{a}(t) = \frac{d}{dt}\left[\frac{d\vec{r}}{dt}\right] = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

112 Theorie

Rate (Änderungsrate)

- Änderung pro Zeit, zeitliche Änderung: können allgemein als zeitliche Ableitungen geschrieben werden

$$\dot{f}(t) = \frac{df}{dt} = Rate$$

112 Beispiel

$$x(t) = \frac{a_x}{2} \cdot t^2$$

Gegeben: *x*(*t*) bei *t* = 2 s mit a = 1 m/s

112 Beispiel

$$x(t) = \frac{a_x}{2} \cdot t^2$$

Gegeben: *x*(*t*) mit a = 1 m/s

Gesucht: v(t) bei *t* = 2 s

$$v \approx \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t}$$

112 Beispiel

$$x(t) = \frac{a_x}{2} \cdot t^2$$

v(t) bei t = 2 s mit a = 1 m/s

$$v \approx \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t} = \frac{\frac{a_x}{2} \cdot (t + \Delta t)^2 - \frac{a_x}{2} \cdot t^2}{\Delta t}$$

112 Beispiel

Bei Δt = 1s

$$v \approx \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t} = \frac{\frac{\frac{a_x}{2}\cdot(t+\Delta t)^2 - \frac{a_x}{2}\cdot t^2}{2}}{\Delta t}$$

$$v \approx \frac{\frac{1}{2} m/s^2 \cdot (2s+1s)^2 - \frac{1}{2} m/s^2 \cdot (2s)^2}{1s} = \quad 2.5 \text{ m/s}$$

112 Beispiel

Bei Δt = 0.1 s

$$v \approx \frac{\frac{1}{2} m/s^2 \cdot (2s + 1s)^2 - \frac{1}{2} m/s^2 \cdot (2s)^2}{1s} =$$ 2.5 m/s

$$\boxed{v \approx \frac{\frac{1}{2} m/s^2 \cdot (2s + 0.1s)^2 - \frac{1}{2} m/s^2 \cdot (2s)^2}{0.1s} = \text{2.05 m/s}}$$

112 Beispiel

Bei Δt = 0.01 s

$$v \approx \frac{\frac{1}{2} m/s^2 \cdot (2s + 0.1s)^2 - \frac{1}{2} m/s^2 \cdot (2s)^2}{0.1s} = 2.05 \text{ m/s}$$

$$\boxed{v \approx \frac{\frac{1}{2} m/s^2 \cdot (2s + 0.01s)^2 - \frac{1}{2} m/s^2 \cdot (2s)^2}{0.01s} = 2.005 \text{ m/s}}$$

112 Beispiel 2

$$v(t) = \frac{k}{t} + v_0$$

Gegeben: *v*(*t*) mit *k* = 2 m

Gesucht: *a*(*t*) bei *t* = 3 s

112 Beispiel 2

$$v(t) = \frac{k}{t} + v_0$$

Gegeben: *v*(*t*) mit *k* = 2 m

Gesucht: *a*(*t*) bei *t* = 3 s

$$a \approx \frac{\frac{k}{t+0.1s} + v_0 - \frac{k}{t} - v_0}{0.1s}$$

112 Beispiel 2

$$v(t) = \frac{k}{t} + v_0$$

Gegeben: *v*(*t*) mit *k* = 2 m

Gesucht: *a*(*t*) bei *t* = 3 s

$$a \approx \frac{\frac{k}{t+0.1s} + v_0 - \frac{k}{t} - v_0}{0.1s} = \frac{\frac{2m}{3.1s} - \frac{2m}{3s}}{0.1s} =$$

-0.215 m/s^2

112 Beispiel 2

$$v(t) = \frac{k}{t} + v_0$$

Gegeben: *v*(*t*) mit *k* = 2 m

Gesucht: *a*(*t*) bei *t* = 3 s

$$a \approx \frac{\frac{k}{t+0.1s} + v_0 - \frac{k}{t} - v_0}{0.1s} = \frac{\frac{2m}{3.1s} - \frac{2m}{3s}}{0.1s} =$$

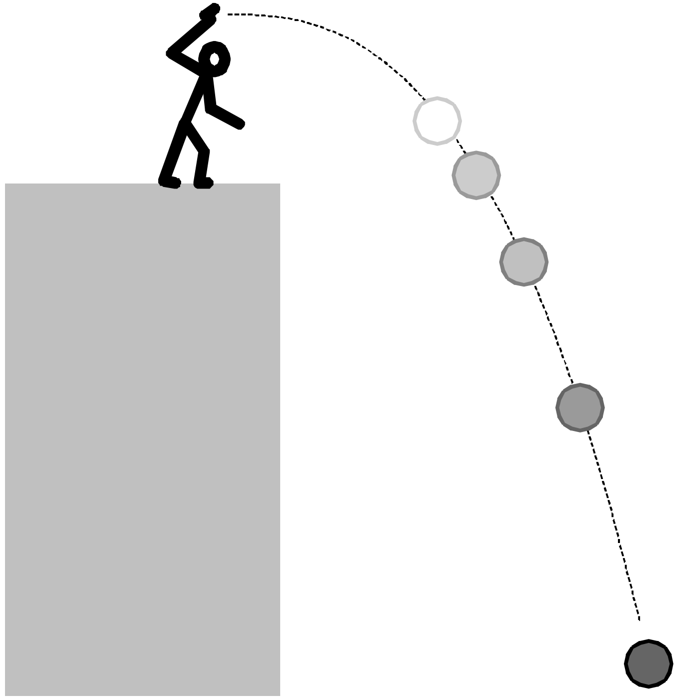
für $\Delta t \to 0$ strebt die berechnete Beschleunigung gegen einen Grenzwert (-0.22222 m/s^2)

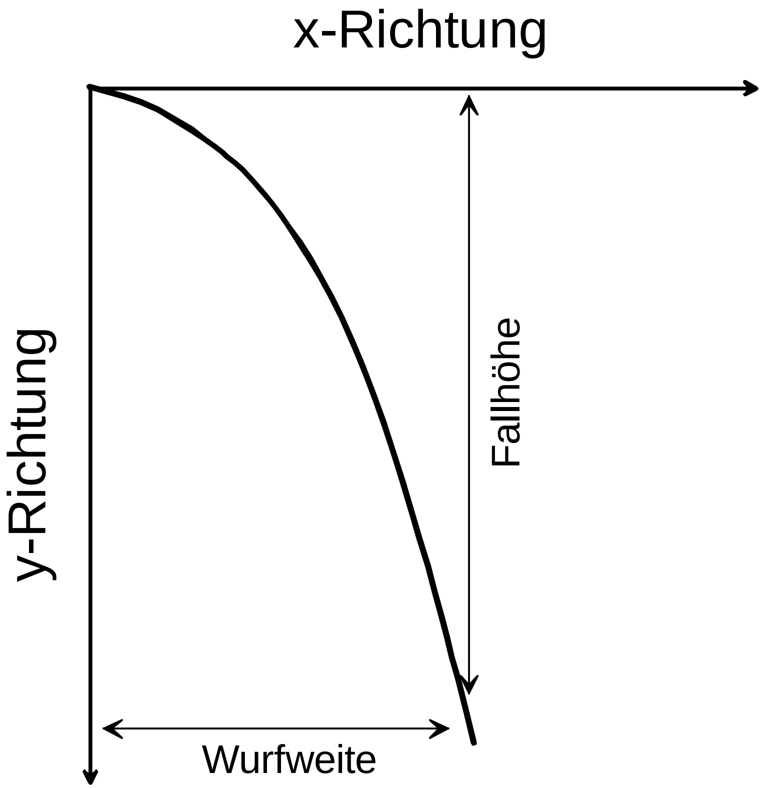
121 horizontaler Wurf

121 Ziele

- Prinzip der Überlagerung von Bewegungen anwenden können
- einfache Wurfbahnen berechnen können

121 Theorie





121 Theorie

Vektorschreibweise

- Komponenten enthalten die Bewegungen (Streckenfunktionen) für jede Richtung

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_x \cdot t \\ \frac{1}{2} g t^2 \end{pmatrix}$$

121 Theorie

$$x = v_x \cdot t$$

$$y = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

Vektorschreibweise

- Komponenten enthalten die Bewegungen (Streckenfunktionen) für jede Richtung

121 Theorie

$$\boxed{x = v_x \cdot t}$$

Vektorschreibweise

- Komponenten enthalten die Bewegungen (Streckenfunktionen) für jede Richtung

$$y = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$y = \frac{1}{2} g \cdot t^2 = \frac{1}{2} g \cdot \left(\frac{x}{v_x} \right)^2 = \frac{g}{2(v_x)^2} \cdot x^2$$

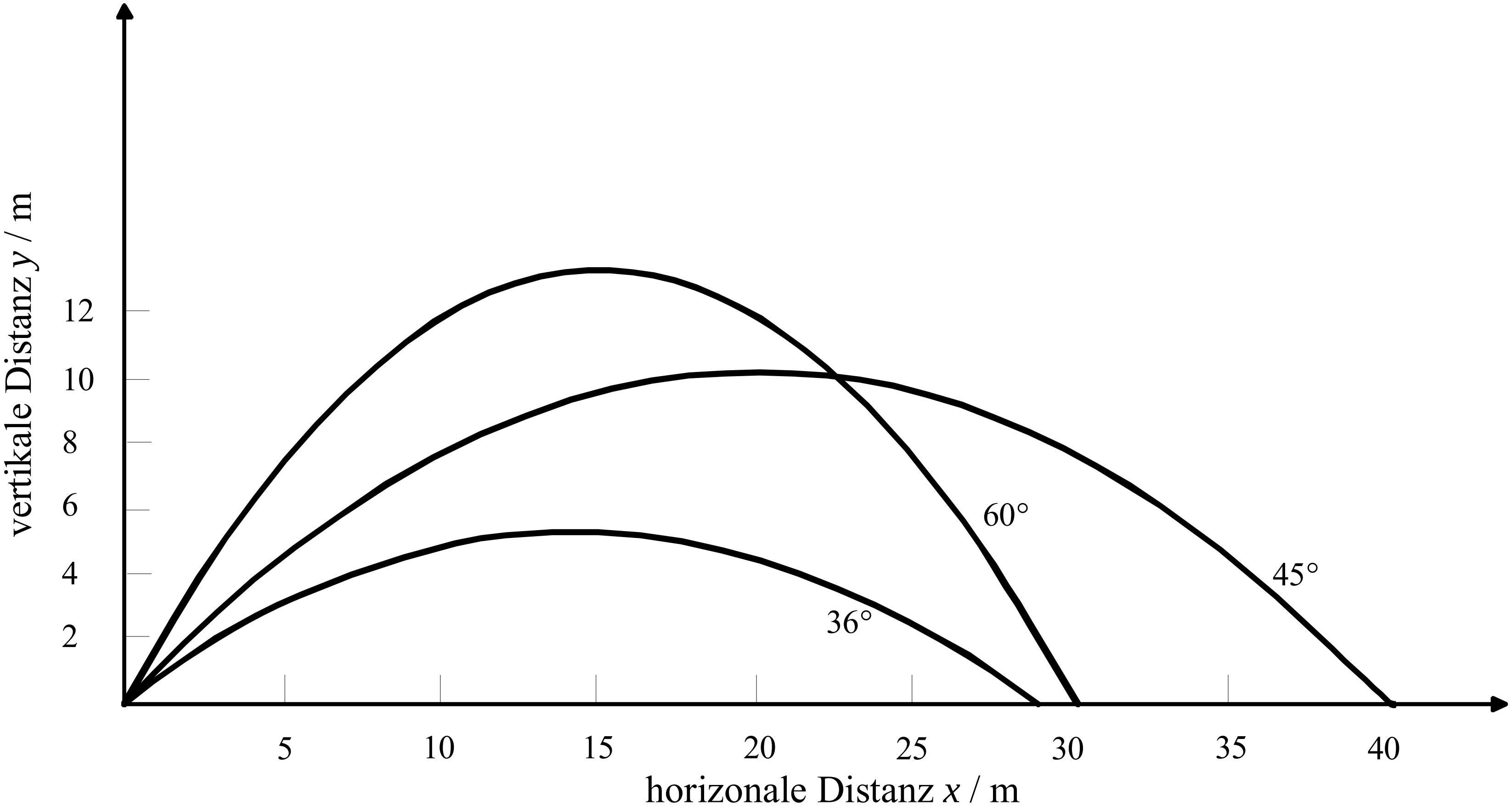
122 schiefer Wurf

122 Ziele

- Bewegungen als schrittweise berechenbare Probleme verstehen
- Den Computer (Tabellenkalkulation) zur Berechnung von Wurfbewegungen einsetzen können

122 Theorie

Wurfparabeln?



122 Theorie

Schrittweise Berechnung

- In *x*-Richtung

$$\Delta x_n = v_x \cdot \Delta t$$

122 Theorie

Schrittweise Berechnung

- In *x*-Richtung

$$\Delta x_n = v_x \cdot \Delta t$$

$$x(t = n \cdot \Delta t) = \sum_n \Delta x_n$$

122 Theorie

Schrittweise Berechnung

- In *y*-Richtung

$$\Delta v_n = -g \cdot \Delta t$$

122 Theorie

Schrittweise Berechnung

- In *y*-Richtung

$$\Delta v_n = -g \cdot \Delta t$$

$$v_y(n \cdot \Delta t) = v_y(0) + \sum_n \Delta v_n$$

122 Theorie

Schrittweise Berechnung

- In *y*-Richtung

$$\Delta v_n = -g \cdot \Delta t$$

$$v_y(n \cdot \Delta t) = v_y(0) + \sum_n \Delta v_n$$

$$y(t = n \cdot \Delta t) = \sum_n \Delta y_n = \sum_n v_y(n \cdot \Delta t) \cdot \Delta t$$