

Theoretische Physik I (Lehramt, Geowiss.)

- Mechanik
- Spezielle Relativitätstheorie
- Elektrodynamik

Mechanik:

- 1) Newtonsche Mechanik der Massenpunkte:
Kinematik, Axiome, Dynamik, Erhaltungssätze
- 2) Keplersche Gesetze: Newtonsche Gravitation,
Zweikörperproblem
- 3) Hamiltonsche Prinzip der extremalen
Wirkung, Lagrange-Gleichungen,
Bewegung unter Zwangsbedingungen
- 4) Hamiltonsche Mechanik, Symmetrien
und Erhaltungsgrößen

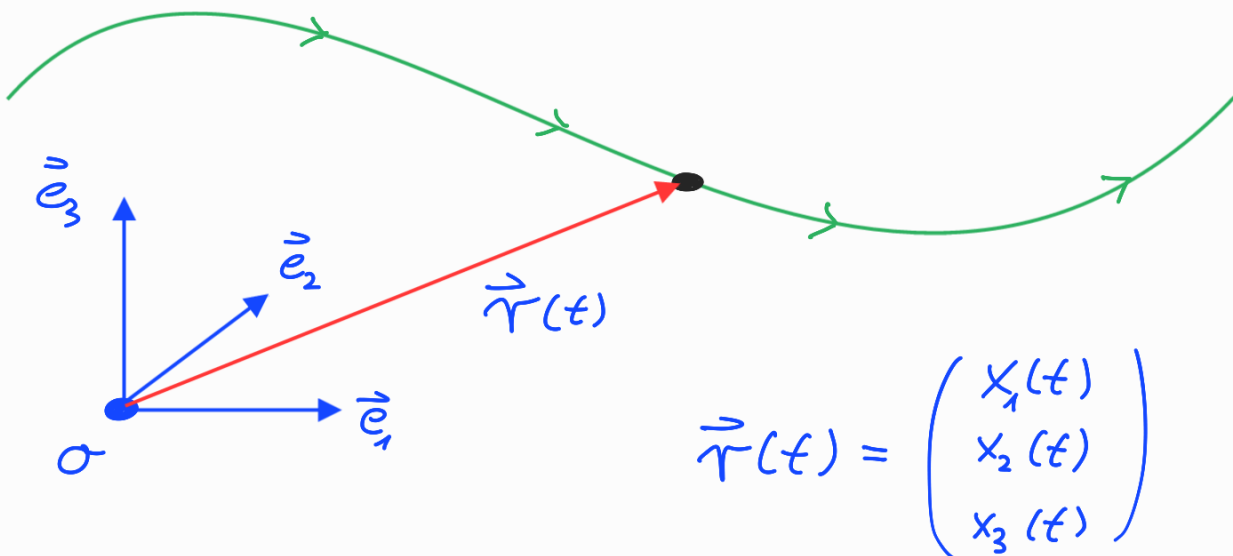
Newton'sche Mechanik

Mechanik = Beschreibung der Bewegung
makroskopischer Körper^(*) } Kinematik
aufgrund wirkender Kräfte } Dynamik

(*) z.B. Munition, Bälle, Planeten, Sterne, Galaxien ...)

Kinematik des Massenpunkts

↗ = beliebiger Körper, betrachtet aus
hinreichend großer Entfernung !



→ Bahn des Massepunkts = Abbildung

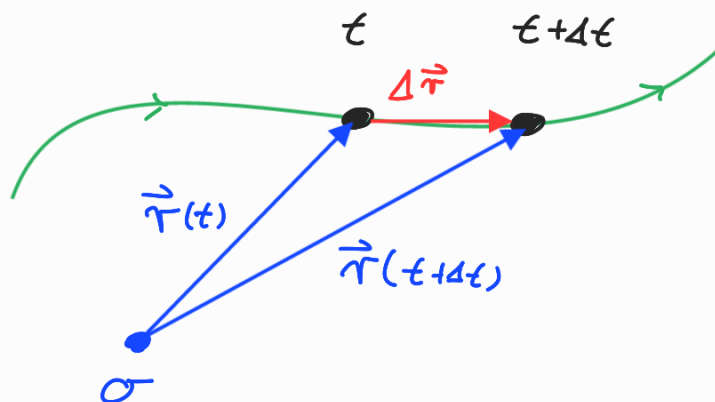
$$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^3$$

$$t \mapsto \underline{\vec{r}(t)}$$

(kurz: "Bahn $\vec{r}(t)$ ")

momentane Geschwindigkeit

$$\vec{v}(t) = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \text{"Ortsänderung / Zeit"}$$



$$\Delta \vec{r} \stackrel{!}{=} \vec{v}(t) \Delta t$$

d. h. $\vec{r}(t + \Delta t) = \vec{r}(t) + \vec{v}(t) \cdot \Delta t$

→

$$\vec{v}(t) = \frac{d}{dt} \vec{r}(t) \equiv \dot{\vec{r}}(t)$$

momentane Beschleunigung

$$\vec{a}(t) = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \text{"Geschwindigkeitsänderung / Zeit"}$$

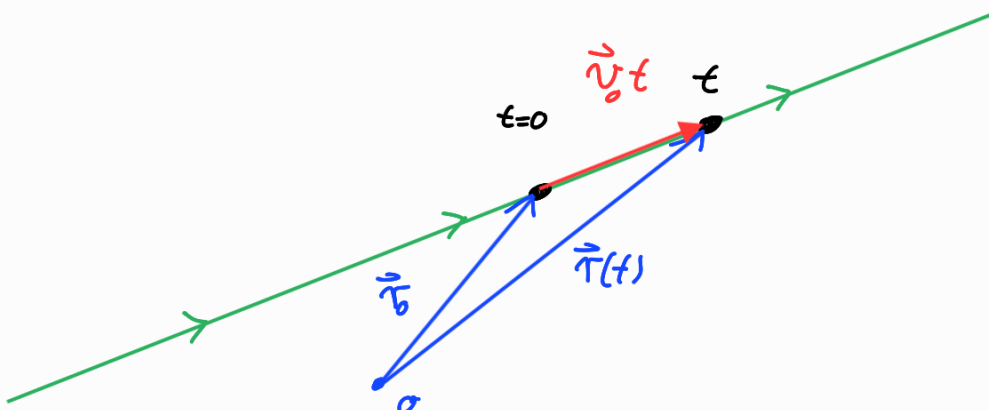
d.h.

$$\begin{aligned} \vec{a}(t) &= \frac{d}{dt} \vec{v}(t) = \dot{\vec{v}}(t) \\ &= \frac{d^2}{dt^2} \vec{r}(t) = \ddot{\vec{r}}(t) \end{aligned}$$

Beispiele:

1) geradlinig gleichförmige Bewegung:

$$\begin{aligned} \vec{r}(t) &= \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t & \rightarrow & \vec{v}(t) = \vec{v}_0 \\ & & & \vec{a}(t) = \vec{0} \end{aligned}$$

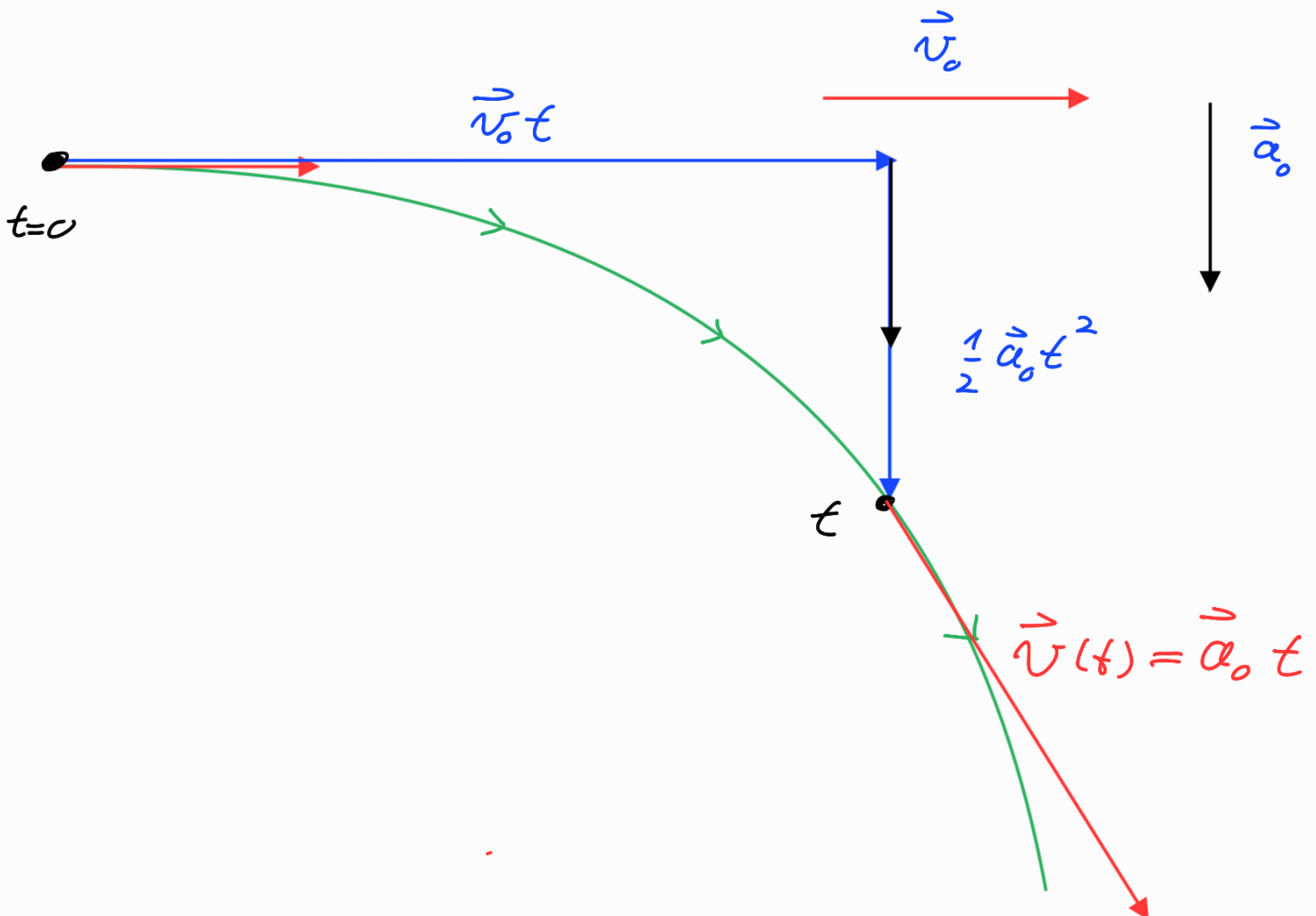


2) konstant beschleunigte Bewegung (z.B. Wurf):

$$\vec{r}(t) = \underbrace{\vec{r}_0}_{\substack{\uparrow \\ \text{Anfangs-} \\ \text{ort}}} + \underbrace{\vec{v}_0 t}_{\substack{\uparrow \\ \text{Anfangs-} \\ \text{geschwindigkeit} \\ \text{hier}}} + \underbrace{\frac{1}{2} \vec{a}_0 t^2}_{\substack{\uparrow \\ \text{konstante} \\ \text{Beschleunigung}}}$$

denn $\vec{v}(t) = \dot{\vec{r}}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a}_0 t$

$$\vec{a}(t) = \dot{\vec{v}}(t) = \vec{a}_0$$



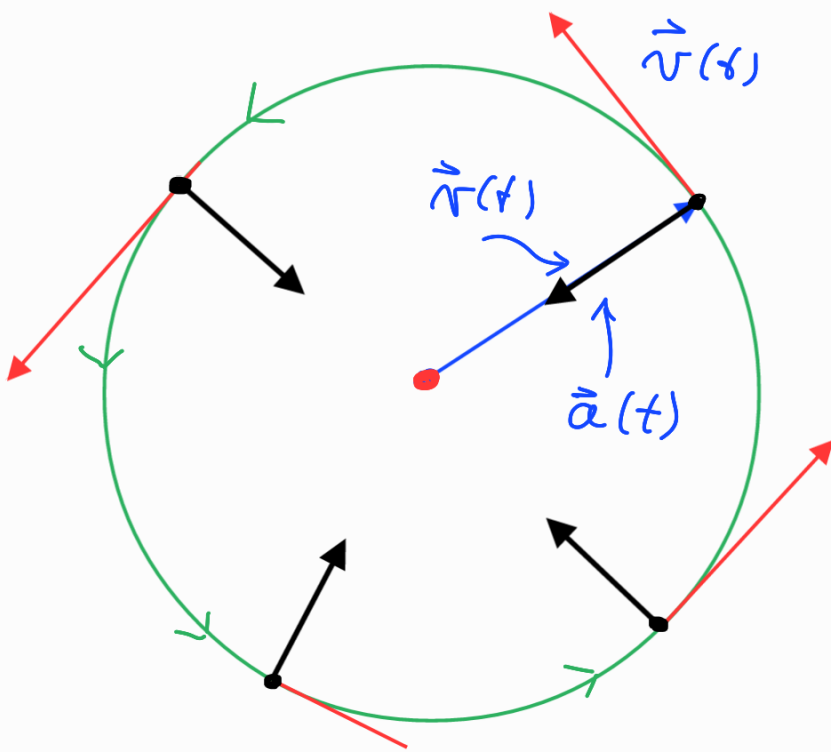
Geschw. u. Besch. in kartesischen Koordinaten:

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{pmatrix} \rightarrow \vec{v}(t) = \begin{pmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{pmatrix} \rightarrow \vec{a}(t) = \begin{pmatrix} \ddot{x}_1(t) \\ \ddot{x}_2(t) \\ \ddot{x}_3(t) \end{pmatrix}$$

Beispiel 3): Kreisbewegung mit Radius R
und konstanter Winkelgeschwindigkeit ω :

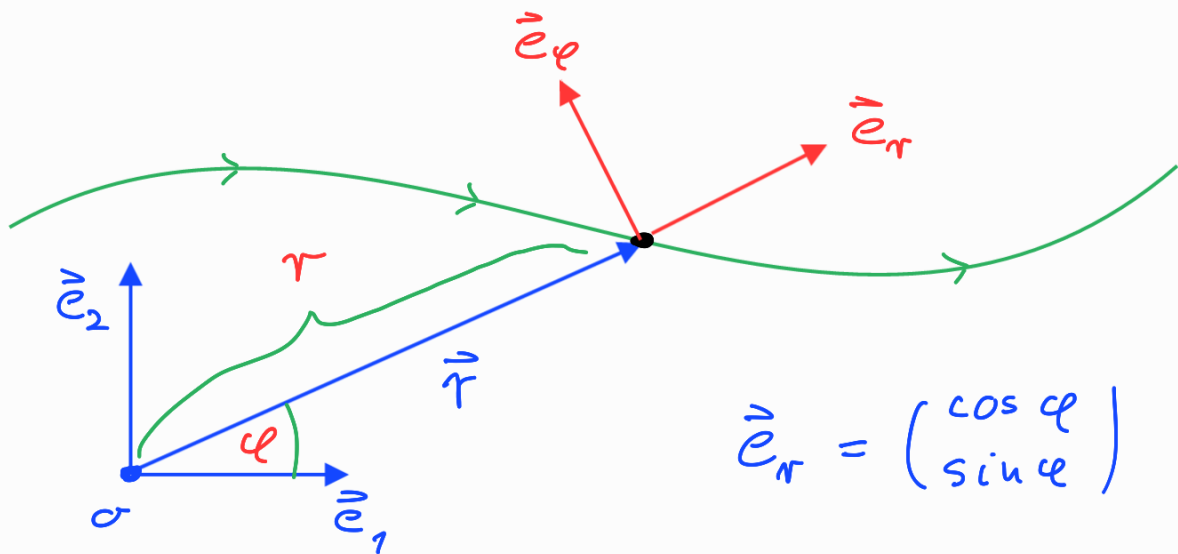
$$\vec{r}(t) = R \begin{pmatrix} \cos \omega t \\ \sin \omega t \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \vec{v}(t) = R \omega \begin{pmatrix} -\sin \omega t \\ \cos \omega t \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{\vec{a}(t) = R \omega^2 \begin{pmatrix} -\cos \omega t \\ -\sin \omega t \\ 0 \end{pmatrix} = -\omega^2 \vec{r}(t)}}$$



Zentripetal beschleunigung !

Geschw. u. Beschl. in Polarkoordinaten:



$$\vec{e}_r = \begin{pmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{pmatrix}$$

$$\vec{e}_\varphi = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \end{pmatrix}$$

$$\vec{r} = r \vec{e}_r$$

Bahn:

in Polarkoordinaten: $t \mapsto (r(t), \varphi(t))$

$$\rightarrow \vec{r}(t) = \underline{r(t)} \cdot \underline{\vec{e}_r(t)} = \underline{r(t)} \begin{pmatrix} \cos \varphi(t) \\ \sin \varphi(t) \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow \vec{v} = \dot{r} \vec{e}_r + r \dot{\varphi} \vec{e}_\varphi \quad (1)$$

$$\rightarrow \vec{a} = \underbrace{(\ddot{r} - r \dot{\varphi}^2)}_{\text{Radialbeschleunigung}} \vec{e}_r + \underbrace{(\tau \ddot{\varphi} + 2 \dot{r} \dot{\varphi})}_{\text{Azimutalbeschleunigung}} \vec{e}_\varphi \quad (2)$$

↑ siehe Math. Meth., Übungen

Beispiele:

4) Kreisbewegung wie in Bsp 3):

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

→ Polarkoordinaten $r(t) = R$, $\varphi(t) = \omega t$

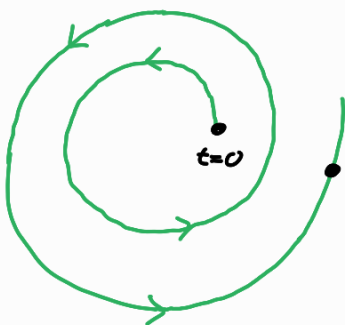
→ Geschw. mittels Gl. (1):

$$\vec{v}(t) = R \omega \underline{\underline{\vec{e}_\varphi(t)}}$$

→ Beschl. mittels Gl. (2):

$$\vec{a}(t) = -R \omega^2 \underline{\underline{\vec{e}_r(t)}}$$

5) Spiralbahn: $r(t) = R + ut$, $\varphi(t) = \omega t$
($t \geq 0$)



$$\vec{v} = u \vec{e}_r + (R + ut) \omega \vec{e}_\varphi$$

$$\vec{a} = -(R + ut) \omega^2 \vec{e}_r + \underline{\underline{2u\omega \vec{e}_\varphi}}$$

!