

3D-Kinematik

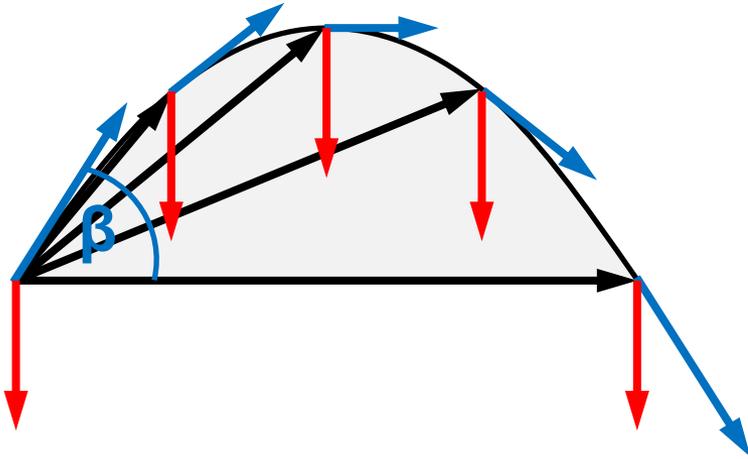
$$\vec{a}(t) = \dot{\vec{v}}(t) = \ddot{\vec{r}}(t)$$

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{v}_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix}$$

$$\vec{v} = v \vec{e}_{\text{tan}}$$

$$\vec{a} = \vec{a}_{\text{tan}} + \vec{a}_{\text{norm}} = \dot{v} \vec{e}_{\text{tan}} + \frac{v^2}{R} \vec{e}_{\text{norm}}$$

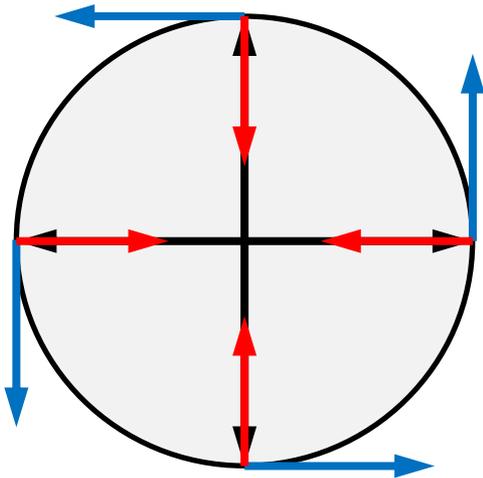
Schräger Wurf vs. gleichförmige Kreisbewegung



$$\vec{r}(t) = v_0 \begin{pmatrix} \cos \beta \\ \sin \beta \end{pmatrix} t + \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix} t^2$$

$$\vec{v}(t) = v_0 \begin{pmatrix} \cos \beta \\ \sin \beta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix} t$$

$$\vec{a}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix} = \text{konst.}$$

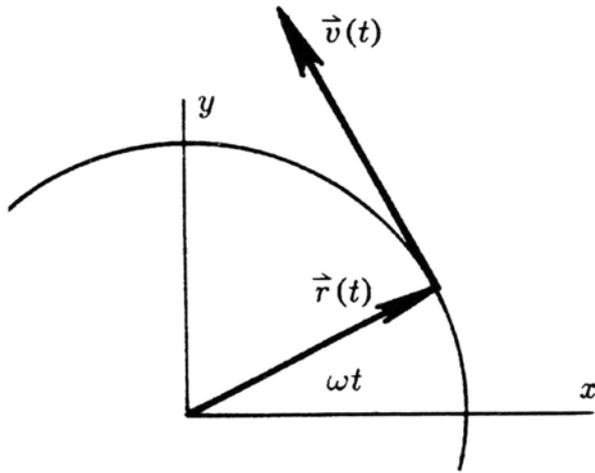


$$\vec{r}(t) = R \begin{pmatrix} \cos \omega t \\ \sin \omega t \end{pmatrix}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\vec{v}(t) = \omega R \begin{pmatrix} -\sin \omega t \\ \cos \omega t \end{pmatrix}, \quad v = \omega R$$

$$\vec{a}(t) = \omega^2 R \begin{pmatrix} -\cos \omega t \\ -\sin \omega t \end{pmatrix}, \quad a = \omega^2 R = \frac{v^2}{R}$$

Gleichförmige Kreisbewegung



$$\vec{r}(t) = R \begin{pmatrix} \cos \omega t \\ \sin \omega t \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{v}{R}$$

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

H. Schulz: *Physik mit Bleistift*

$$\vec{a}(t) = \dot{\vec{v}}(t) = \ddot{\vec{r}}(t) = R\omega^2 \begin{pmatrix} -\cos \omega t \\ -\sin \omega t \\ 0 \end{pmatrix} = -\omega^2 \vec{r}(t), \quad \vec{a}(t) \parallel (-\vec{r}(t)), \quad a = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}$$

$$\vec{\omega} = \omega \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \vec{v}(t) = \vec{\omega} \times \vec{r}(t), \quad \vec{a}(t) = \vec{\omega} \times \vec{v}(t)$$

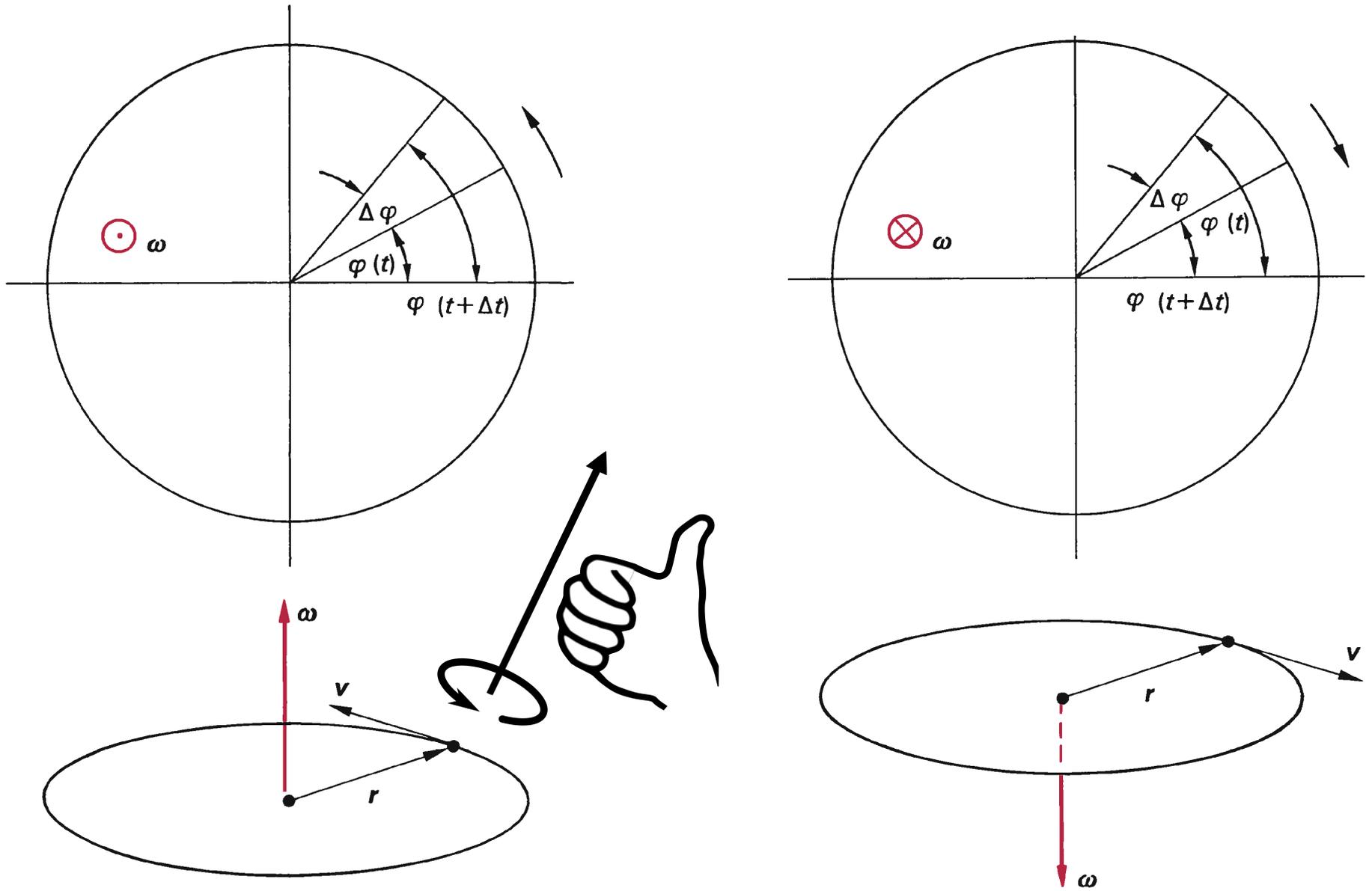
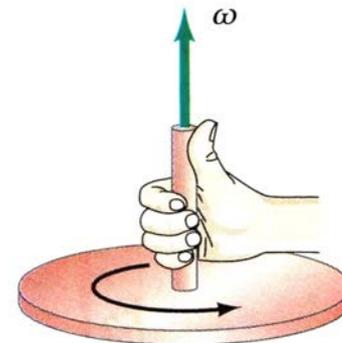
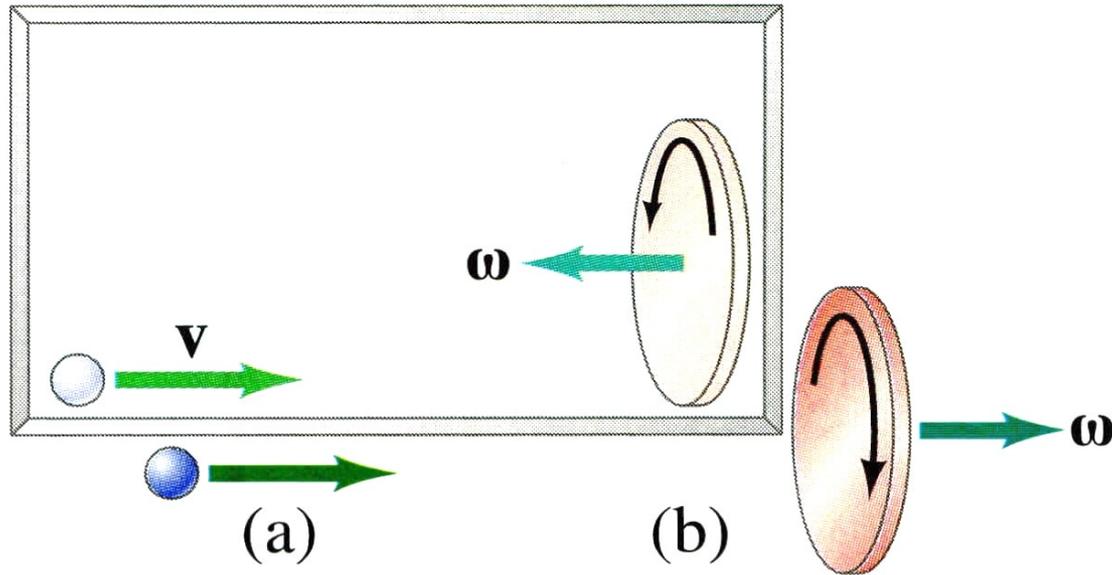


Abb. 2.14 Zur Definition der vektoriellen Winkelgeschwindigkeit ω bei verschiedenen Drehrichtungen

Echter Vektor vs. Pseudovektor



Beispiel: Booster

“55 m
100 km/h
4 g”

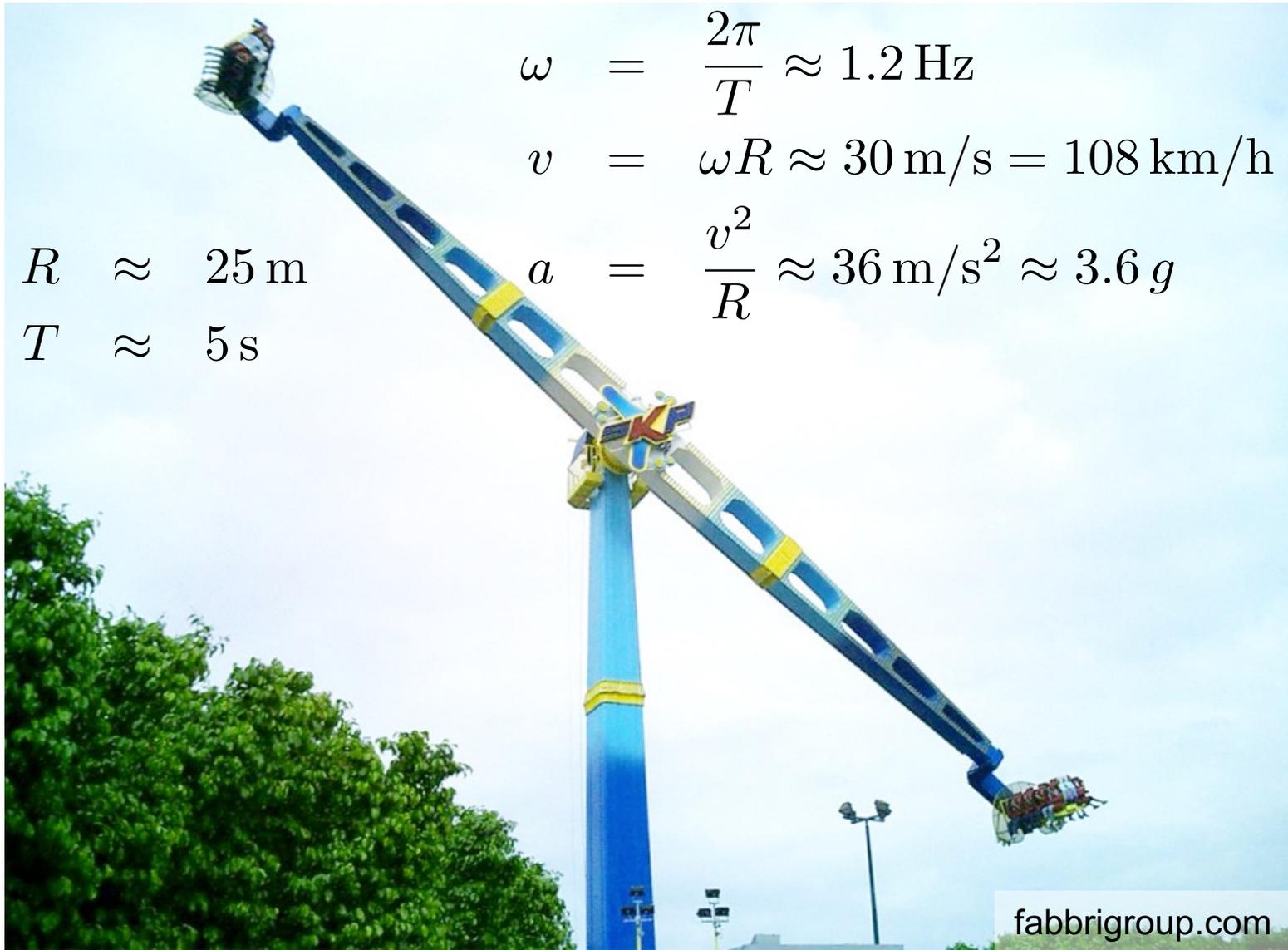
$$R \approx 25 \text{ m}$$

$$T \approx 5 \text{ s}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \approx 1.2 \text{ Hz}$$

$$v = \omega R \approx 30 \text{ m/s} = 108 \text{ km/h}$$

$$a = \frac{v^2}{R} \approx 36 \text{ m/s}^2 \approx 3.6 g$$



Quizfrage 1

Bei einer Kreisbewegung nimmt der Betrag der Geschwindigkeit ab. Welchen Winkel schließen Geschwindigkeit und Beschleunigung ein?

A. $< \pi/2$

B. $\pi/2$

C. $> \pi/2$

Quizfrage 2

Liegen die Bahnkurven beim schrägen Wurf und der Kreisbewegung immer in einer Ebene?

A. Ja

B. Nein

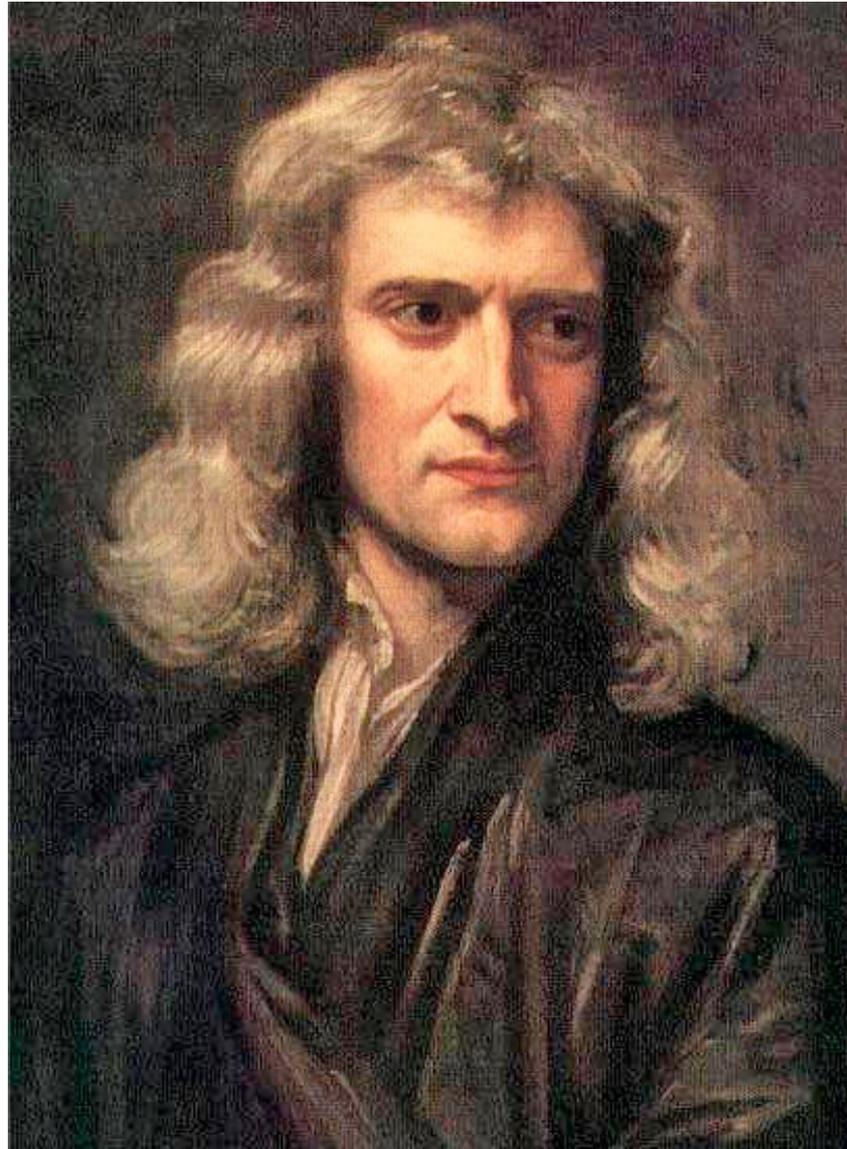
Quizfrage 3

Wird ein Massenpunkt, der sich entlang einer gekrümmten Bahn bewegt, beschleunigt?

A. Ja

B. Nein

1687 Newtons *Principia*



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J. S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Mathematicos
Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,

Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud
plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

Quizfrage 4

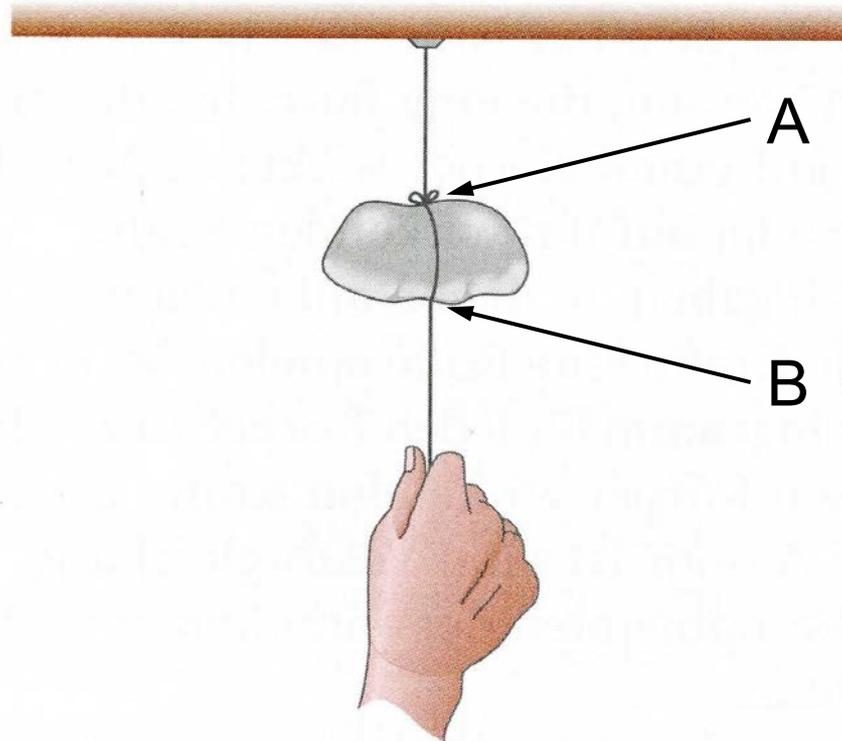


Abbildung 4.30 Frage 10.

Giancoli: *Physik*

Sie ziehen schnell und kräftig.
Wo reißt der Faden?

Quizfrage 5



Kann der Antrieb funktionieren?
Ja oder Nein?

Träge Masse = schwere Masse

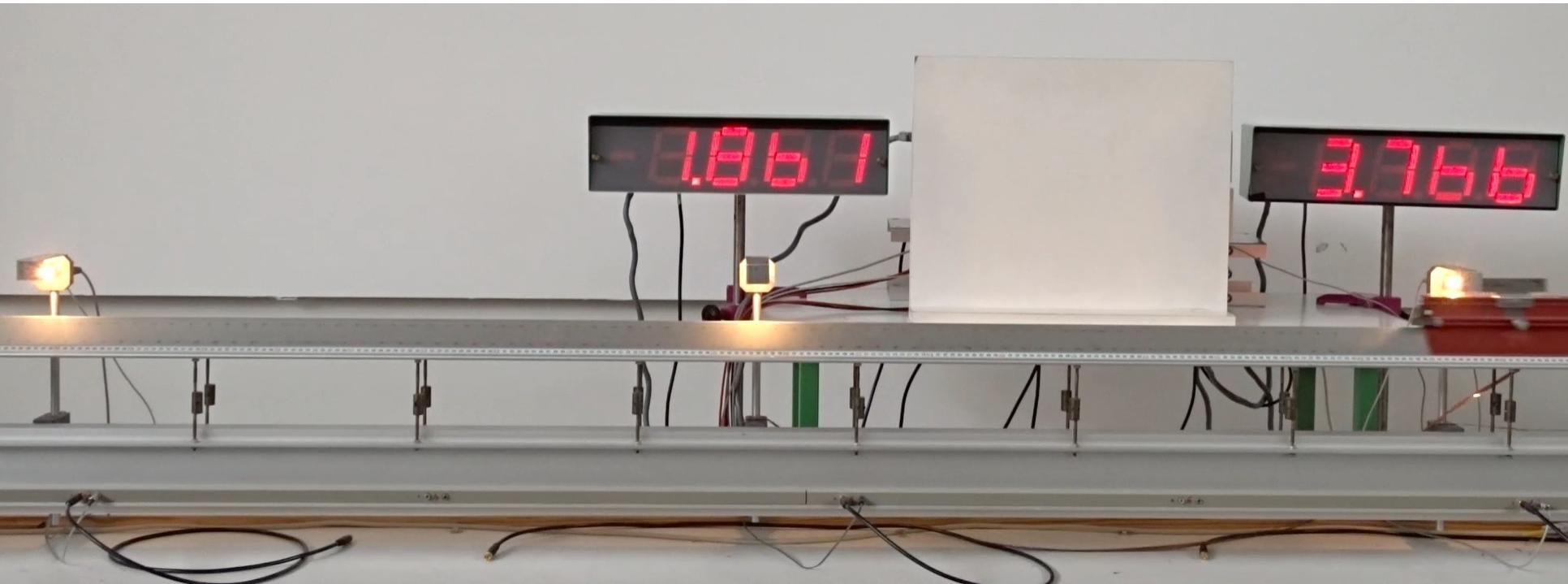
[youtube.com/watch?v=KDp1tiUsZw8](https://www.youtube.com/watch?v=KDp1tiUsZw8)



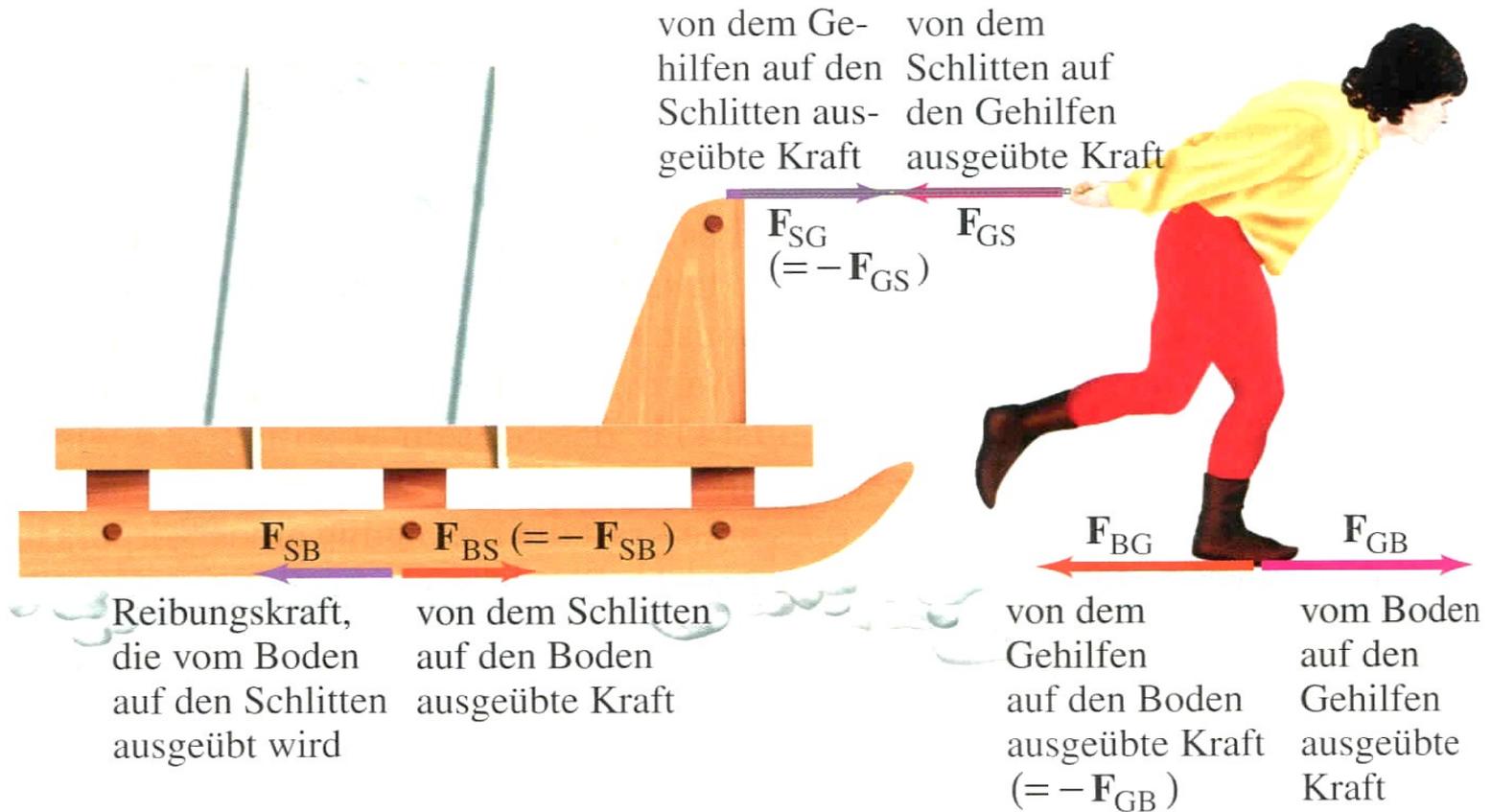
$$g_M \approx \frac{1}{6} g_E$$

$$\vec{a}_H = \vec{a}_F = \vec{a}, \quad m_t \vec{a} = m_s \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -g_M \end{pmatrix} \quad \curvearrowright \quad m_t = m_s$$

Gleichförmig-geradlinige Bewegung



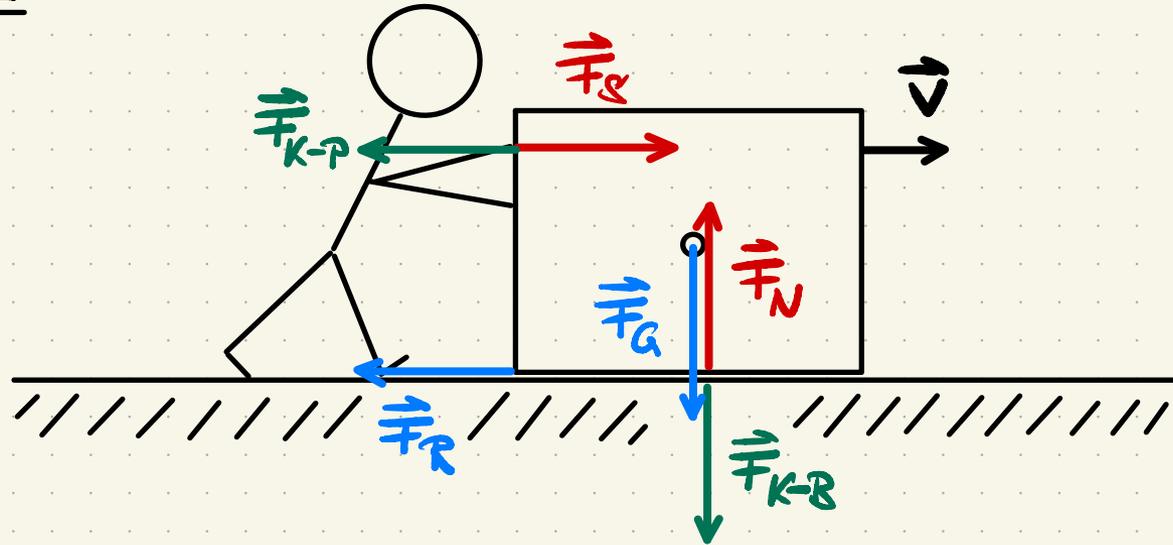
3× Newton #3



Tab. 2.2 Die Newton'schen Axiome

Newton'sche Axiome	Formulierung	Beziehung
1. Axiom Trägheitsgesetz	Jeder Körper behält seine Geschwindigkeit nach Betrag und Richtung so lange bei, wie er nicht durch äußere Kräfte gezwungen wird, seinen Bewegungszustand zu ändern.	
2. Axiom Aktionsgesetz Grundgesetz der Mechanik	Die zeitliche Änderung der Bewegungsgröße, des Impulses $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$, ist gleich der resultierenden Kraft \mathbf{F} . Um einen Körper konstanter Masse zu beschleunigen, ist eine Kraft \mathbf{F} erforderlich, die gleich dem Produkt aus Masse m und Beschleunigung \mathbf{a} ist.	allgemein: $\mathbf{F} = \frac{d}{dt}(m\mathbf{v})$ speziell: $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$
3. Axiom Wechselwirkungsgesetz actio = reactio	Wirkt ein Körper 1 auf einen Körper 2 mit der Kraft \mathbf{F}_{12} , so wirkt der Körper 2 auf den Körper 1 mit der Kraft \mathbf{F}_{21} ; beide Kräfte haben den gleichen Betrag, aber entgegengesetzte Richtungen.	$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$

BEISPIEL



N#2

$$m \vec{a} = \vec{F}_{\text{ges}} = \vec{F}_S + \vec{F}_R + \vec{F}_N + \vec{F}_G = \vec{F}_S + \vec{F}_R$$

N#1

$$\vec{F}_S = -\vec{F}_R \wedge \vec{F}_{\text{ges}} = 0 \wedge \vec{v} = \text{konst.}$$

N#3

$$\vec{F}_N \text{ (Boden auf Kiste)} = -\vec{F}_{K-B} \text{ (Kiste auf Boden)} = -\vec{F}_G$$
$$\vec{F}_S \text{ (Person auf Kiste)} = -\vec{F}_{K-P} \text{ (Kiste auf Person)}$$

Quizfrage 6

Eine Tüte Milch wiegt 1 kg. Ist das eine physikalisch korrekte Ausdruckweise?

A. Ja

B. Nein

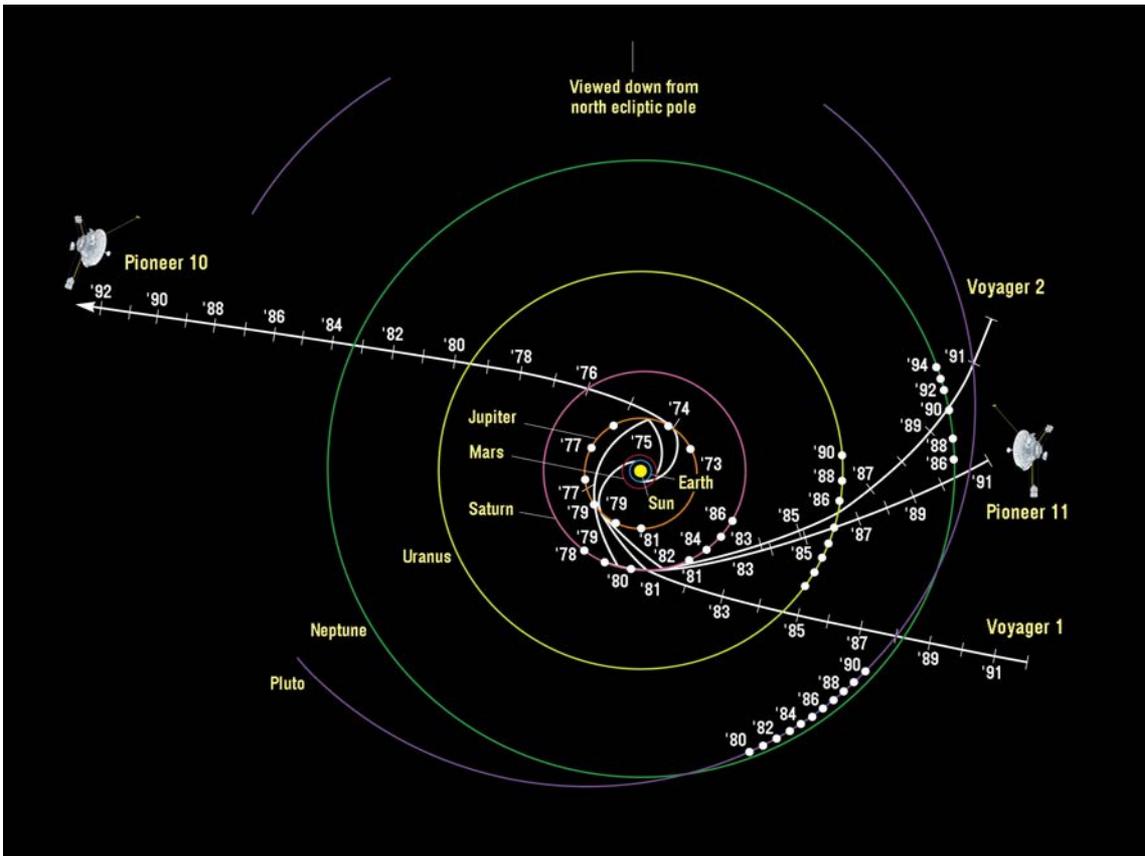
Quizfrage 7

Die Raumsonde Voyager I fliegt mit einer Geschwindigkeit von 17 km/s durch den Weltraum. Braucht sie dafür einen Antrieb?

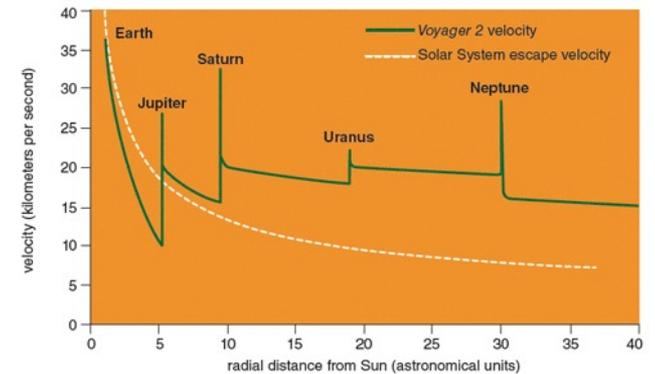
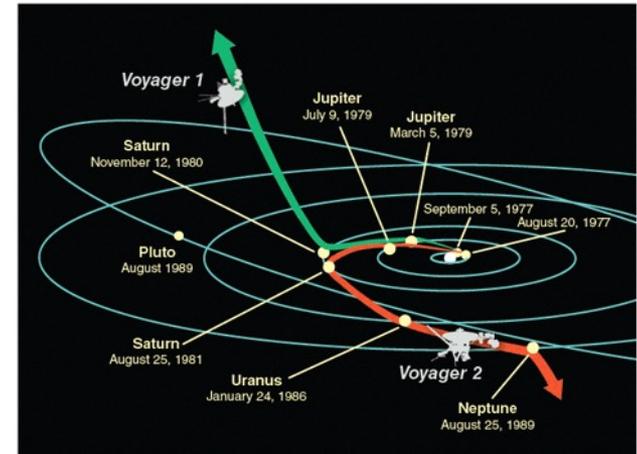
A. Ja

B. Nein

Am Ende „gleichförmig-geradlinig“



solarsystem.nasa.gov



americanscientist.org

Quizfrage 8

Eine Mücke klatscht auf eine Windschutzscheibe.
Welche Kraft hat den höheren Betrag?

- A. $F_{\text{Scheibe auf Mücke}}$
- B. $F_{\text{Mücke auf Scheibe}}$
- C. Keine von beiden

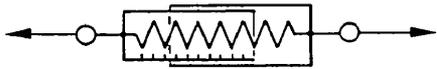
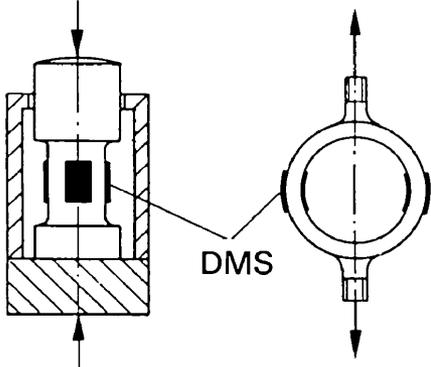
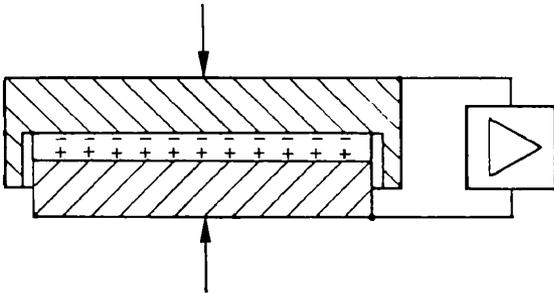
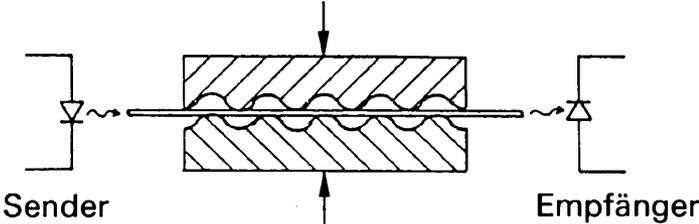
Sensorelement	Aufbau der Messapparatur	Messprinzip
Feder		<p>Verlängerung der Feder ist proportional zur Kraft (Hookesches Gesetz).</p>
Dehnungs- mess- streifen		<p>Deformationen des Verformungs-körpers werden auf die aufgeklebten Dehnungsmessstreifen (DMS) übertragen. Der elektrische Widerstand R der DMS ändert sich proportional zur Dehnung ϵ. Die Widerstandsänderung wird in einer Wheatstone'schen Brückenschaltung gemessen:</p> $\frac{\Delta R}{R} \sim \frac{\Delta l}{l} = \epsilon.$
piezoelek- trischer Kristall		<p>Kristalle ohne Symmetriezentrum (z. B. Quarz) zeigen den piezoelektrischen Effekt. Bei Belastung treten an den Kristalloberflächen elektrische Ladungen auf, die mit einem Ladungsverstärker nachgewiesen werden. Die Ladungsmenge ist proportional zur Kraft $\Delta Q \sim F$.</p>
Glasfaser		<p>Bei Belastung verbiegt sich die Glasfaser. Dadurch werden Lichtwellen vom Faserkern in den -mantel ausgekoppelt (Leckwellen), und das Empfängersignal geht zurück.</p>

Abb. 2.19 Methoden der Kraftmessung