# Newton'sche Mechanik

## Eindimensionale Bewegungen

M. Jakob

Gymnasium Pegnitz

25. September 2016

# Inhaltsverzeichnis

Arten der Bewegung
- Wiederholung Kraftbegriff
- Bewegungsarten
- Bewegungen mit veränderlicher Beschleunigung
- Schwingungen

Energie- und Impulserhaltung
- Energie–Grundlagen
- Energieumwandlungen
- Der Impuls als Erhaltungsgröße

Zweidimensionale Bewegungen
- Waagrechter Wurf
- Kreisbewegungen
- Gravitation

# In diesem Abschnitt


Arten der Bewegung
- Wiederholung Kraftbegriff
- Bewegungsarten
- Bewegungen mit veränderlicher Beschleunigung
- Schwingungen

Energie- und Impulserhaltung
- Energie–Grundlagen
- Energieumwandlungen
- Der Impuls als Erhaltungsgröße

Zweidimensionale Bewegungen
- Waagrechter Wurf
- Kreisbewegungen
- Gravitation




# Begriffsbestimmung

- Freihandversuche

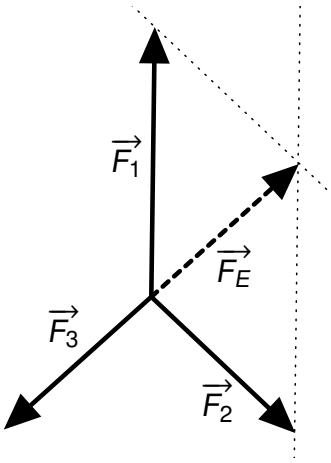
## Begriffsbestimmung

Ein physikalische Kraft ist eine vektorielle Größe. D.h. sie hat einen Betrag, (Stärke), eine Richtung und einen Angriffspunkt. In Zeichnungen wird sie durch einen Kraftpfeil dargestellt. Seine Länge gibt die Stärke der Kraft an.
Eine Kraft wirkt, wenn die Form oder der Bewegungszustand des Körpers (beschleunigen oder aus der geradlinigen Richtung ablegen) verändert wird.

# Kräftegleichgewicht

- LV, drei Kraftmesser, Magnettafel, Schiefe Ebene

$\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$ und $\vec{F_3}$ sind im Gleichgewicht, weil $\vec{F_E}$ sowohl die Ersatzkraft von $\vec{F_1}$ und $\vec{F_2}$ als auch die Gegenkraft von $\vec{F_3}$ ist.








# Newton'sche Grundgesetze

- 2 Skateboards, Luftkissenfahrbahn, Umlenkrolle

## Newton'sche Grundgesetze

Trägheitsgesetz: Ein Körper bleibt in Ruhe oder in gleichförmiger geradlinigen Bewegung, solange alle auf ihn wirkenden Kräfte im Gleichgewicht sind.

Wechselwirkungsgesetz: Wirken zwei Körper aufeinander ein, so wirkt auf jeden der Körper eine Kraft. Die beiden Kräfte sind gleich groß aber entgegengesetzt gerichtete.

$\boldsymbol{F = m \cdot a}$: Kraft ist gleich Masse $\times$ Beschleunigung. Einheit der Kraft: $1\,\mathrm{N} = 1\,\mathrm{kg\,m/s^2}$.

# In diesem Abschnitt


Arten der Bewegung
- Wiederholung Kraftbegriff
- Bewegungsarten
- Bewegungen mit veränderlicher Beschleunigung
- Schwingungen

Energie- und Impulserhaltung
- Energie–Grundlagen
- Energieumwandlungen
- Der Impuls als Erhaltungsgröße

Zweidimensionale Bewegungen
- Waagrechter Wurf
- Kreisbewegungen
- Gravitation




# Übersicht und Wiederholung

Wir unterscheiden drei Arten von geradlinigen Bewegungen

| gleichförmig | gleichmäßig beschleunigt | ungleichmäßgig beschleunigt |
|---|---|---|
| Seilbahnfahrt | freier Fall | Fall mit Reibung<br>Fall aus großer Höhe<br>Federschwingung |
| $a = 0$<br>$v =$ konst.<br>$s = v \cdot t$ | $a =$ konst.<br>$v = a \cdot t$<br>$s = \frac{1}{2}at^2$ | Keine Formel sondern<br>Prinzip der kleinen Schritte |

Diagramme ...

# Übungen

- Ü 1.1: Leifi
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/lineare-bewegung-gleichungen/aufgaben`

(a) Zeit-Orts-Diagramm (V,E)
(b) Stockcar-Rennen (E)
(c) Interpretation von Diagrammen (V)





# Übungen

- Ü 1.2: Leifi
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/freier-fall-senkrechter-wurf/aufgaben`

(a) Freier Fall (V, E)
(b) Stroboskopische g-Bestimmung (V)
(c) g-Bestimmung mittels Pendel (V)
(d) Tiefe eines Brunnens (V,E)
(e) Beschleunigung im Zenit (E)
(f) t-v-Diagramm (E)

- Ü 1.3: S. 52/6,7,10,12

# In diesem Abschnitt


Arten der Bewegung
- Wiederholung Kraftbegriff
- Bewegungsarten
- Bewegungen mit veränderlicher Beschleunigung
- Schwingungen

Energie- und Impulserhaltung
- Energie–Grundlagen
- Energieumwandlungen
- Der Impuls als Erhaltungsgröße

Zweidimensionale Bewegungen
- Waagrechter Wurf
- Kreisbewegungen
- Gravitation




# Prinzip der kleinen Schritte — Einstieg

## Einführungsbeispiel

Bei einer Autofahrt von Pegnitz nach München wird alle 10 Minuten die Geschwindigkeit gemessen. Ziel ist es, die gefahrene Strecke in Abhängigkeit von der Zeit näherungsweise zu bestimmen.

- Rechenblatt
`run:Arbeitsblaetter/EinfKleineSchritte.ods`

| Messung $n$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_n/\,\mathrm{min}$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| $v_n/\,\mathrm{km\,h^{-1}}$ | 50 | 80 | 120 | 130 | 140 | 120 | 100 | 120 | 140 | 160 | 160 | 60 | 50 |
| $s_n/\,\mathrm{km}$ | 0 | 8 | 22 | 42 | 63 | 87 | 107 | 123 | 143 | 167 | 193 | 220 | 230 |

$$s_{n+1} = s_n + v_n \cdot \Delta t \quad (\Delta t = t_{n+1} - t_n)$$

# Prinzip der kleinen Schritte — Einstieg

$$s_{n+1} = s_n + v_n \cdot \Delta t$$

Von der vereinfachten Annahme, dass $v$ zwischen zwei Messungen konstant bleibt und sich dann schlagartig auf den neuen Wert einstellt, erhalten wir iterativ die Werte $s_n$.

- Prinzip der kleinen Schritte bei Leifi
`http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/grundwissen/04kleine_schritte/prinzip/prinzip.htm`





# Prinzip der kleinen Schritte — Definition

## Definition (Prinzip der kleinen Schritte)

Das Prinzip der kleinen Schritte ist ein Näherungsverfahren für Bewegungen mit nicht konstanter Kraft.
Ausgehend vom Kraftgesetz wird für kleine Zeitabschnitte $\Delta t$ die Kraft jeweils als konstant angenommen und damit die $v$ und $s$ berechnet.

$$\begin{aligned} v_{\text{neu}} &= v_{\text{alt}} + a_{\text{neu}} \Delta t \\ s_{\text{neu}} &= s_{\text{alt}} + v_{\text{neu}} \Delta t \end{aligned}$$

- Beispiel: Freier Fall
`run:Arbeitsblaetter/KleineSchritte.ods`

# Übungen

- Ü4: Kleine Schritte mit Tabellenkalkulation
`run:Arbeitsblaetter/KleineSchritteAlgemein.ods`
- Ü5: NTG: Regentropfen



# In diesem Abschnitt

Arten der Bewegung
- Wiederholung Kraftbegriff
- Bewegungsarten
- Bewegungen mit veränderlicher Beschleunigung
- Schwingungen

Energie- und Impulserhaltung
- Energie–Grundlagen
- Energieumwandlungen
- Der Impuls als Erhaltungsgröße

Zweidimensionale Bewegungen
- Waagrechter Wurf
- Kreisbewegungen
- Gravitation

# Schwingungen — Einführung

- V: Blattfeder, Schraubenfeder, Stimmgabel, Fadenpendel

- Beispiele für Schwingungen bei Leifi
`http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/grundwissen/04schwingung/einfuehrung.htm`

## Definition (mechanische Schwingung)

Eine mechanische Schwingung ist eine zeitlich periodische Bewegung eines Körpers um eine Gleichgewichtslage. Die Zeitspanne für eine Vollschwingung heißt Periodendauer $T$ die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde Frequenz $f$. Es gilt

$T = \frac{1}{f}$ bzw. $f = \frac{1}{T}$ $\qquad$ $[f]$: $\frac{1}{s} = 1\,Hz$ (Hertz)

- Heinrich Rudolf Hertz
`http://de.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Rudolf_Hertz`

- Ü 1.6: S. 81/9





# Frequenzen in Natur und Technik

| Vorgang | $f$ | $T$ |
|---|---|---|
| 1 m langes Fadenpendel | 0,5 Hz | 2 s |
| Herzschlag d. Menschen | 1,3 Hz | 0,77 s |
| tiefster hörbarer Ton | 16 Hz | 0,0625 s |
| Flügelschlag einer Hummel | 200 Hz | 5 ms |
| Sprechfrequenz | 100 . . . 1 000 Hz | 1 . . . 10 ms |
| maximal hörbare Frequenz | 20 000 Hz | 50 $\mu$s |

# Die Amplitude einer Schwingung

## Definition (Amplitude)

Die Amplitude einer Schwingung ist der maximale Abstand der schwingenden Körpers von der Ruhelage.

Formelbuchstabe: $A$
Einheit: 1 m Meter

- V: Stimmgabel, Feder kleine Amplitude-große Amplitude

- Simulation harmomische Schwingung bei colorado.edu
`http://phet.colorado.edu/sims/mass-spring-lab/mass-spring-lab_en.html`

- Ü 1.7: SV: Federpendel
`run:Schueleruebungen/Fadenpendel/Fadenpendel.pdf`





# Schwingungsdauer $T$ von Feder- und Fadenpendel

- V: Federpendel,Fadenpendel

## Federpendel

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}}$$

$m$ Pendelmasse
$D$ Federkonstante

## Fadenpendel

Voraussetzung: $\varphi_{\text{max}} \approx 20°$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$l$ Pendellänge
$g$ Ortsfaktor

- Ü 1.8: Federhärte mit Federpendel bestimmen

- Ü 1.9: SV Versuchsprotokoll: Ortsfaktor mit Federpendel bestimmen.

# Harmonische Schwingungen beim Federpendel

## Definition (Harmonische Schwingung)

Eine Schwingung, bei der die rücktreibende Kraft $F$ direkt proportional zur Auslenkung $y$ ist, nennt man harmonische Schwingung.
Federpendel vollführen aufgrund des Hooke'schen Gesetzes harmonische Schwingungen. Denn es gilt dann

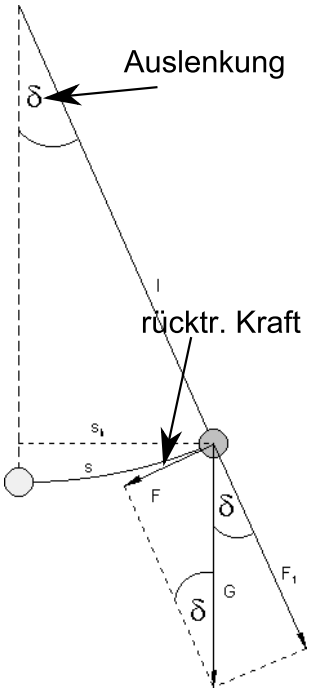
$$D = \frac{F}{y} = \text{konstant. Also } F \sim y$$

- Lineares Kraftgesetz am Federpendel bei Leifi
`http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/simulationen/04schwingung/kraftgesetz/kraftgesetz.htm`





# Harmonische Schwingungen beim Fadenpendel




Es ist $\frac{F}{G} = \sin\delta$
also ist $F = G\sin\delta$
und damit $\frac{F}{\sin\delta} = G = konst \quad (*)$

aber nicht $\frac{F}{\delta} = konst$

## Keine harmonische Schwingung!!

Für kleine Winkel gilt jedoch im Bogenmaß $\sin\delta \approx \delta$

- Begründung
`run:sinxapx.ggb`

und damit gilt wegen $(*)$ $F \sim \delta$

## Ergebnis

Ein Fadenpendel schwingt für kleine Auslenkungen ($\delta \leq 20°$) nahezu harmonisch

# Beschreibung mechanischer Schwingungen

- V: Stimmgabel auf Rußplatte

- Sandpendel
`http://www.youtube.com/watch?v=OO_NCgj2-4A`

- Beispiel: Harmonische Schwingungen (Methode der kleinen Schritte)
`run:Arbeitsblaetter/FederpendelMethodeDerKleinenSchritte.ods`

- Harmonische Schwingung | Federpendel bei Geogebra
`http://www.geogebra.org/de/upload/files/dynamische_arbeitsblaetter/lwolf/harmonischeschwingung/federpendel1.html`





# Vergleich lineare- und Kreisbewegungen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $s$ | Drehwinkel | $\varphi$ | |
| v = konst: | $v = \frac{s}{t}$ | Winkelgeschw. | $\omega = \frac{\varphi}{t}$ | $\omega =$ konstant |
| a = konst: | $a = \frac{v}{t}$ | Winkelbeschl. | $\alpha = \frac{\omega}{t}$ | $\alpha =$ konstant |

# Beschreibung harmonischer Schwingungen

- Beispiel: Harmonische Schwingungen (Methode der kleinen Schritte)
`run:Federpendel_MethodeDerKleinenSchritte.ods`

- Harmonische Schwingung | Federpendel bei Geogebra
`http://www.geogebra.org/de/upload/files/dynamische_arbeitsblaetter/lwolf/harmonischeschwingung/federpendel1.html`

- Harmonische Schwingung und Kreisbewegung
`http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/versuche/13schwing/projektion.htm`

- Harmonische Schwingung und Kreisbewegung Bewegungsgleichung
`http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/grundwissen/13harmon_schwing/bewegungsgleich/bewegungsgl.htm`

## Funktionsgleichung der harmonischen Schwingung

Die Funktionsgleichung einer harmonischen Schwingung lautet

$$y(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $A$ | Amplitude | $t$ | Zeit |
| $T$ | Schwingungsdauer | $\omega = \frac{2\pi}{T}$ | Kreisfrequenz |



# In diesem Abschnitt

Arten der Bewegung
- Wiederholung Kraftbegriff
- Bewegungsarten
- Bewegungen mit veränderlicher Beschleunigung
- Schwingungen

Energie- und Impulserhaltung
- Energie–Grundlagen
- Energieumwandlungen
- Der Impuls als Erhaltungsgröße

Zweidimensionale Bewegungen
- Waagrechter Wurf
- Kreisbewegungen
- Gravitation

# Mechanische Energieformen

| **Höhenenergie** | **Kinetische Energie** | **Spannenergie** |
|---|---|---|
| $E_h = mgh$ | $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ | $E_{Sp} = \frac{1}{2}Ds^2$ |

## Energieerhaltungssatz

In einem abgeschlossenen mechanischen System ist in Abwesenheit von Reibung die Summe aller mechanischen Energien konstant.

- Ü1: S.84/22,24
- Ü2: GW. S 15





# Nicht-Mechanische Energieformen

- Wärmeenergie
- Schmelzenergie
- Verdampfungsenergie
- Atomenergie
- elektrische Energie
- Strahlungsenergie

## Energieerhaltungssatz

In einem abgeschlossenen System ist Die Summe aller Energien konstant, d.h. $E = E_1 + E_2 + \ldots + E_n =$ konstant.

- Energie kann nicht erzeugt oder vernichtet werden.
- Energie kann nur umgewandelt und damit nutzbar gemacht oder entwertet werden.

## Was ist eigentlich ein abgeschlossenes System?

| Art des Systems | durchlässig für | Beispiele |
|---|---|---|
| offen | Energie und Stoff | PKW-Motor, Mensch |
| geschlossen | Energie | Kühlschrank, Sonnenkollektor |
| abgeschlossen | nichts | perfekte Thermoskanne, Universum |



## In diesem Abschnitt

Arten der Bewegung
- Wiederholung Kraftbegriff
- Bewegungsarten
- Bewegungen mit veränderlicher Beschleunigung
- Schwingungen

Energie- und Impulserhaltung
- Energie–Grundlagen
- Energieumwandlungen
- Der Impuls als Erhaltungsgröße

Zweidimensionale Bewegungen
- Waagrechter Wurf
- Kreisbewegungen
- Gravitation

# Energieumwandlungen

- Energieumwandlung allgemein
`http://www.brinkmann-du.de/physik/sek1/ph07_27.htm`
- (YT) Energieumwandlung allgemein
`http://www.youtube.com/watch?v=GzhRbtShBck`
- Ü3: Fadenpendel
`http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/pendel1.html`
- Ü4: Simulation harmomische Schwingung bei colorado.edu
`http://phet.colorado.edu/sims/mass-spring-lab/mass-spring-lab_en.html`
- Ü5: E-Umwandlung bei Schwingungen
`run:Arbeitsblaetter/Phy_Me2_22.pdf`

## Energieumwandlung bei Federschwingungen

Bei Vernachlässigung der Reibung werden bei Federschwingungen ständig die Lage-, Spann- und die kinetische Energie des Pendelkörpers ineinander umgewandelt. Dabei gilt

$$E_h + E_k + E_{Sp} = \text{konstant.}$$

- Ü6: S. 84/25,26,27,28,29





# Energieumwandlungen beim Pendel II

| | unterer Umkehrpunkt | Gleichgewichts-lage | oberer Umkehrpunkt |
|---|---|---|---|
| $E_{Sp}$ | $\frac{1}{2}D(2A)^2$ | $\frac{1}{2}D(A)^2$ | 0 |
| $E_k$ | 0 | $\frac{1}{2}m(v_{\text{max}})^2$ | 0 |
| $E_h$ | 0 | $m \cdot g \cdot A$ | $m \cdot g \cdot (2A)$ |

# In diesem Abschnitt


Arten der Bewegung
- Wiederholung Kraftbegriff
- Bewegungsarten
- Bewegungen mit veränderlicher Beschleunigung
- Schwingungen

Energie- und Impulserhaltung
- Energie–Grundlagen
- Energieumwandlungen
- Der Impuls als Erhaltungsgröße

Zweidimensionale Bewegungen
- Waagrechter Wurf
- Kreisbewegungen
- Gravitation




# Das Wechselwirkungsgesetz

Die Wirkung einer Kraft ist abhängig von
- Betrag, Richtung, Angriffspunkt und
- von der Einwirkungszeit $\Delta t$

## Definition (Wechselwirkungsgesetz)

Wirken zwei Körper $K_1$ und $K_2$ aufeinander ein, so wirkt auf jeden der Körper eine Kraft. Diese Kräfte sind gleich groß und entgegengesetzt gerichtet:

$$F_{12} = -F_{21}$$

bzw.

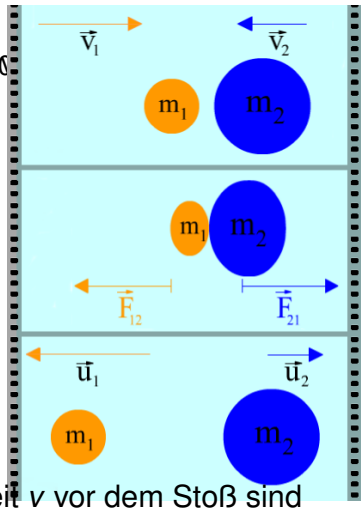
$$F_{12}\Delta t = -F_{21}\Delta t$$

• Veranschaulichung
`http://www.leifiphysik.de/web_ph07_g8/grundwissen/08newton3/wechselwirkung.htm`

• Beispiele
`http://www.leifiphysik.de/web_ph07_g8/musteraufgaben/08kraft_beschl/beispiele_ww/beispiele_ww.htm`

# Elastischer Stoß zweier Körper

- Einführungsbeispiel
  http://www.uni-heidelberg.de/media/physik/stoesse_lan.asx
- Energieerhaltung ist nicht alles
  http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/grundwissen/0




$$
\begin{aligned}
F_{12} \cdot \Delta t &= -F_{21} \cdot \Delta t \\
m_1 a_1 \cdot \Delta t &= -m_2 \cdot a_2 \cdot \Delta t \\
m_1 \cdot \Delta v_1 &= -m_2 \cdot \Delta v_2 \\
m_1 \cdot (v_1 - u_1) &= -m_2 \cdot (v_2 - u_2) \\
m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 &= m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2
\end{aligned}
$$

## Ergebnis

Die Summe der Produkte aus Masse $m$ und Geschwindigkeit $v$ vor dem Stoß sind gleich der Summe der Produkte aus Masse $m$ und Geschwindigkeit $u$ nach dem Stoß.





# Impulserhaltungssatz

## Definition (Impuls)

Das Produkt aus Masse $m$ und Geschwindigkeit $v$ eines Körpers heißt Impuls $p$:

$$p = m \cdot v; \text{ Einheit: } 1\,\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 1\,\text{Ns}$$

## Impulserhaltungssatz

In einem abgeschlossenen System bleibt der Gesamtimpuls erhalten.

$$P = p_1 + p_2 + \ldots + p_n = \text{ konstant.}$$

# Impulserhaltungssatz

- Demonstrationsversuch: Ballturm
- Ü 2.7: S.85f/33, 35, 38, 39
- Simulation: Ballistisches Pendel
  `http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/erhaltungssatze-und-stosze/ballistisches-pendel-simulation`
- div Leifi-Aufgaben
  `http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/erhaltungssaetze-und-stoesse/aufgaben`
- Raketen-Prinzip
  `http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/erhaltungssaetze-und-stoesse/ausblick#lightbox=/themenbereiche/erhaltungssaetze-und-stoesse/lb/raketenphysik-raketenantrieb-prinzip`
- Ionenantrieb
  `https://de.wikipedia.org/wiki/Ionenantrieb`
- Ausblick: Drehimpuls



# In diesem Abschnitt

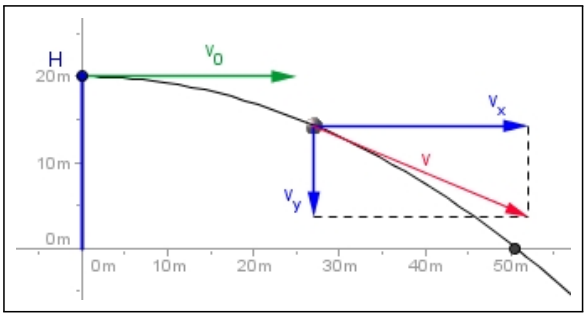
Arten der Bewegung
- Wiederholung Kraftbegriff
- Bewegungsarten
- Bewegungen mit veränderlicher Beschleunigung
- Schwingungen

Energie- und Impulserhaltung
- Energie–Grundlagen
- Energieumwandlungen
- Der Impuls als Erhaltungsgröße

Zweidimensionale Bewegungen
- Waagrechter Wurf
- Kreisbewegungen
- Gravitation

# Definition

- youtube — Shot the Monkey
  `https://www.youtube.com/watch?v=0jGZnMf3rPo`
- LV — Unabhängigkeitsprinzip
  `http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/waagerechter-und-schrager-wurf`



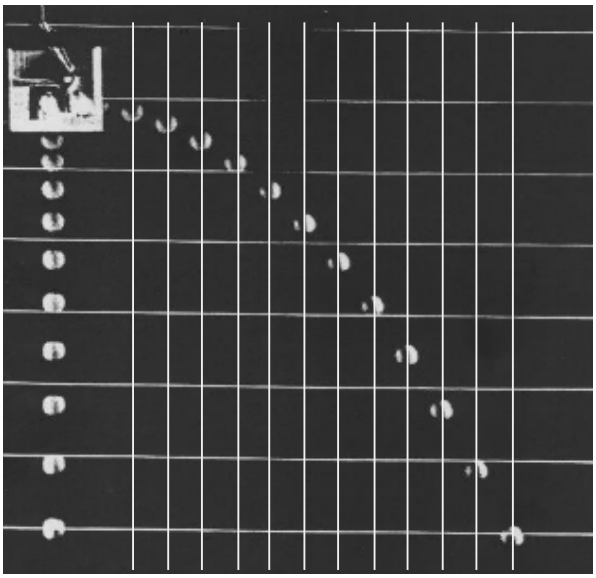

## Waagrechter Wurf ohne Reibung

Der waagrechte Wurf setzt sich aus einer waagrechten x- und einer senkrechten y-Komponente zusammen. Die beiden Bewegungen beeinflussen einander nicht.





# Unabhängigkeit der Richtungen

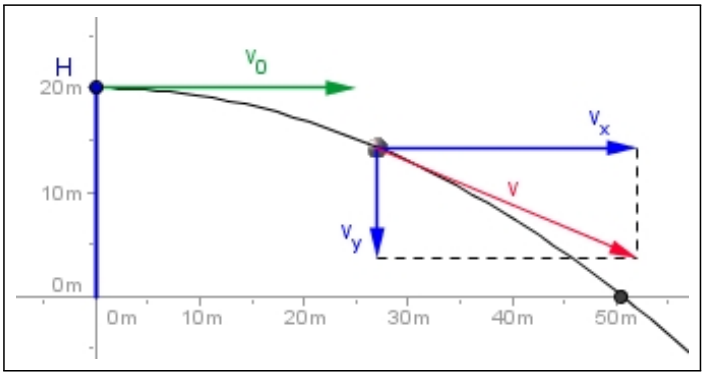


Horizontal: gleichförmige Bewegung

Vertikal: freier Fall

- Video: Richtungsunabhängigkeit
  `http://www.youtube.com/watch?v=fSypju4x8uk`

# Bewegungsgleichungen




## Bewegungsgleichungen

$$x = v_0 \cdot t$$

$$y = H - \frac{1}{2}gt^2$$

$$v_x = v_0$$

$$v_y = -gt$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$





# Übungen

- Lehrer-Versuch: Rasierklingenversuch
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/waagerechter-und-schrager-wurf/rasierklingenversuch`

- Ü 3.1: (!)Leifi-Aufgaben
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/waagerechter-und-schraeger-wurf/aufgaben`

(1) Baderutsche
(2) Gärtnerprobleme
(3) AEGIS-Experiment zur Antimaterie
(4) Tennisaufschlag
(5) 10 Fragen zum Waagerechten Wurf

- Ü 3.2: paetec 110 / 2–6

- Ü 3.3: Aufgabenblatt: Waagrechter Wurf
`Arbeitsblaetter/AufgabenWaagrechterWurf.html`

- PhET — Projektilbewegung
`https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/projectile-motion`

# In diesem Abschnitt


Arten der Bewegung
- Wiederholung Kraftbegriff
- Bewegungsarten
- Bewegungen mit veränderlicher Beschleunigung
- Schwingungen

Energie- und Impulserhaltung
- Energie–Grundlagen
- Energieumwandlungen
- Der Impuls als Erhaltungsgröße

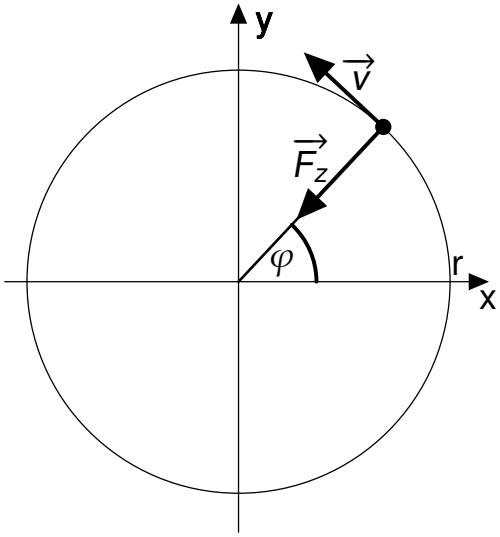
Zweidimensionale Bewegungen
- Waagrechter Wurf
- Kreisbewegungen
- Gravitation




# Einführung

- Karusellapp
  http://www.walter-fendt.de/ph14d/karussell.htm
- Lehrer-Versuch: Freihandversuch zur Zentralkraft
  http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/versuche/06schnurkugel/kugel_schnur.htm
- Lehrer-Versuch: Modell Erdabflachung
  http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/versuche/06abflachung/erdabflachung.htm
- Lehrer-Versuch: Fliehkraftregler
- Lehrer-Versuch: rotierende Wassersäule
  http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/versuche/06wassergefaess/paraboloid.htm

# Vergleich lineare- und Kreisbewegungen



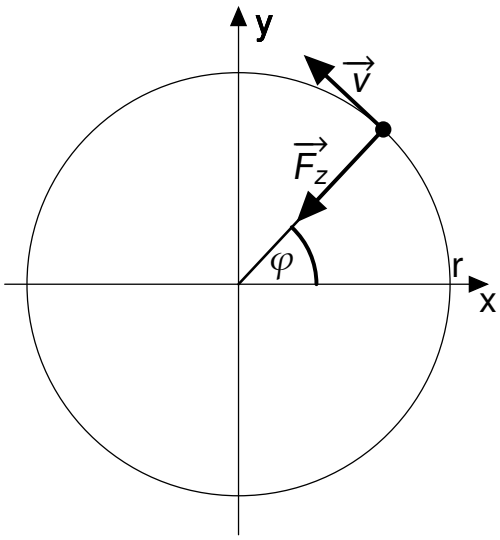

| lineare Bewegung | | |
|---|---|---|
| Strecke | $s$ | m |
| Geschw. | $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ | m/s |
| Beschl. | $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ | m/s$^2$ |

| Kreisbewegung | | |
|---|---|---|
| Drehwinkel | $\varphi$ | 1 |
| Winkelgeschw. | $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ | 1/s |
| Winkelbeschl. | $\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ | 1/s$^2$ |





# Bewegungsgleichungen für Kreisbewegungen mit konstanter Geschwindigkeit




## Bewegungsgleichungen

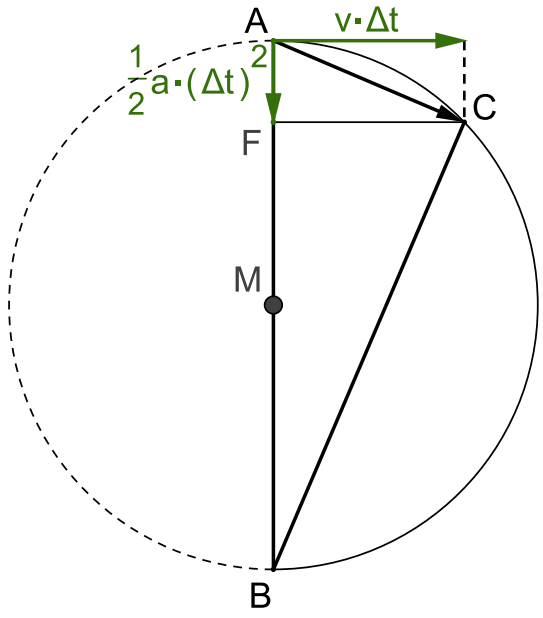
$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$$

$$v = \frac{2\pi \cdot r}{T} = \omega \cdot r$$

$$F_z = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

Die Zentripetalkraft $F_z$ ist Richtung Kreismittelpunkt gerichtet.

# Herleitung der Zentripetalkraft I




Dreieck ABC ist rechtwinklig.
Somit gilt nach dem Höhensatz

$$\overline{AF} \cdot \overline{FB} = \overline{FC}^2$$

und damit

$$\frac{1}{2}a(\Delta t)^2[2r - \frac{1}{2}a(\Delta t)^2] = (v \cdot \Delta t)^2$$

somit ergibt sich

$$r \cdot a(\Delta t)^2 - \frac{1}{4}a^2(\Delta t)^4 = (v \cdot \Delta t)^2$$





# Herleitung der Zentripetalkraft II

aus dieser letzten Gleichung $r \cdot a(\Delta t)^2 - \frac{1}{4}a^2(\Delta t)^4 = (v \cdot \Delta t)^2$

erhalten wir $r \cdot a - \frac{1}{4}a^2(\Delta t)^2 = v^2.$

Für $\Delta t \rightarrow 0$ kann $\frac{1}{4}a^2(\Delta t)^2$ vernachlässigt werden

und es gilt $r \cdot a = v^2$ oder $a = \frac{v^2}{r}$

und damit $F_z = m \cdot \frac{v^2}{r}$

# Links

- Lehrer-Versuch: Messung der Zentralkraft
http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/versuche/06zentripetalkraft/zentripetal.htm
- Technik: Fliehkraftregler
http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/umwelt_technik/06drehzahlreg/drehzahlreg.htm
- Technik: Bobbahn
http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/umwelt_technik/06bobbahn/bobindex.htm
- Technik: Zentrifugen
http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/umwelt_technik/06zentrifugen/zentrifugen.htm
- Technik: Kurvenfahrt beim Motorrad
http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/umwelt_technik/06motorrad/kurve_motorrad.htm





# Übungen

- Ü4: Aufgabe: künstliche Gravitation
http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/umwelt_technik/06kuenstl_grav/kuenstl_grav.htm
- Ü5: Musteraufgaben
http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/grundwissen/06kreisdynamik/kreisdyn.htm
- Ü6: Verständnisfragen
http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/tests/06kreisbewegung/kreisbewegung1/frameset.htm
- Ü7: Leifi-Test
http://www.leifiphysik.de/leifitest/quiz/sq11_07.htm
- Ü8: Aufgabe: Erddrehung
http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/musteraufgaben/06kreis_dyn/erdrehung/erdrehung.htm

# Übungen

- Ü9: Verständnisfrage: Bobfahrer
`http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/musteraufgaben/06kreis_dyn/bob/bob.htm`
- Ü10: Aufgabe: Oktoberfest-Rotor
`http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/musteraufgaben/06kreis_dyn/rotor/rotor.htm`
- Ü11: Aufgabe: Kettenkarusell
`http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/musteraufgaben/06kreis_dyn/kettenkarusell/kettenkarusell.htm`
- Ü12: Aufgabe: Neigetechnik
`http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/zusatzaufgaben/06kreisbewegung/pendolino/pendolino.htm`
- Ü13: Aufgabenblatt: Kreisbewegung
`Arbeitsblaetter/AufgabenKreisbewegung.html`



# In diesem Abschnitt

Arten der Bewegung
- Wiederholung Kraftbegriff
- Bewegungsarten
- Bewegungen mit veränderlicher Beschleunigung
- Schwingungen

Energie- und Impulserhaltung
- Energie–Grundlagen
- Energieumwandlungen
- Der Impuls als Erhaltungsgröße

Zweidimensionale Bewegungen
- Waagrechter Wurf
- Kreisbewegungen
- Gravitation

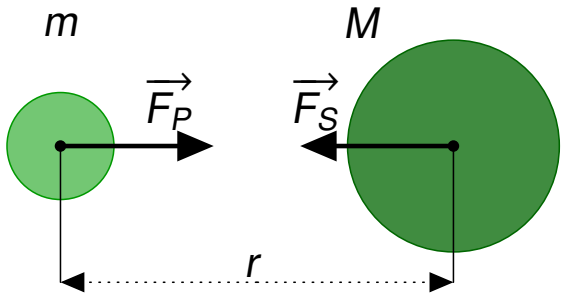
# Einführung

- Der Mond als geworfener Apfel
  http://www.brichzin.de/unterricht/mondapfl/simulation/simmondbahn.html
- Von G zu g
  http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/gravitationsgesetz-und-feld#Gravitationsfeld





# Gravitationsgesetz



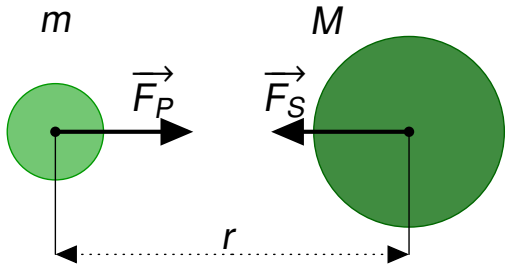

## Gravitationsgesetz

Für die Gravitationskraft $F$ zwischen zwei Körpern gilt:

$$F = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{m}^3/(\mathrm{kg\,s}^2)$ heißt Gravitationskonstante.

# Herleitung des Gravitationsgesetzes I




$$F_S = F_Z = m \cdot r \cdot \omega^2 =$$
$$= m \cdot r \cdot \frac{4\pi^2}{T^2}$$

weil $\frac{T^2}{r^3} = C_S \Rightarrow T^2 = C_S \cdot r^3$

folgt $F_S = m \cdot r \cdot \frac{4\pi^2}{C_S \cdot r^3}$

also $F_S = \frac{4\pi^2 \cdot m}{C_S \cdot r^2}$.

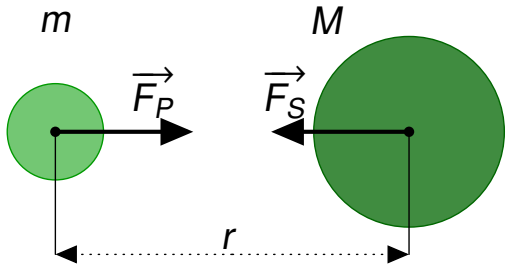
analog: $F_P = \frac{4\pi^2 \cdot M}{C_P \cdot r^2}$.

gleichsetzen ergibt





# Herleitung des Gravitationsgesetzes II




$$\frac{4\pi^2 \cdot m}{C_S \cdot r^2} = \frac{4\pi^2 \cdot M}{C_P \cdot r^2}$$

also $m \cdot C_P = M \cdot C_S = konst.$

Somit ergibt sich aus

$$F = \frac{4\pi^2 \cdot m}{C_S \cdot r^2} \text{letztendlich}$$

$$F = \underbrace{\frac{4\pi^2}{M \cdot C_S}}_{G} \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$

# Vertiefung

- Animationen bei Leifi
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/gravitationsgesetz-und-feld/versuche`
- Vertiefung: Arbeit im Kraftfeld
`http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/gravitationsgesetz-und-feld#Arbeit\im\Gravitationsfeld`





# Vertiefung

- Ü 3.14: Masse der Galaxis abschätzen
- Ü 3.15: AB Gravitation
- Ü 3.16: Leifi-Aufgaben
`www.leifiphysik.de/themenbereiche/gravitationsgesetz-und-feld/aufgaben`

(a) Erdmasse
(b) Sonnenmasse
(c) Kallisto
(d) Satellitenbahnen
(e) Geostationärer Wettersatellit
(f) Masse des Erdmondes
(g) Wiedereintritt
(h) Pulsar

# Hinweis auf dunkle Materie

- Rotation eines Karusells
  http://media.pearsoncmg.com/aw/aw_0media_astro/if/if.html?rotation_merry_go_round
- Rotation des Sonnensystems
  http://media.pearsoncmg.com/aw/aw_0media_astro/if/if.html?rotation_of_ss
- Rotation einer Spiralgalaxie
  http://media.pearsoncmg.com/aw/aw_0media_astro/if/if.html?rotation_of_spiral_galaxy