Inhalt der Vorlesung A1

1. Einführung

Methode der Physik

Physikalische Größen

Übersicht über die vorgesehenen Themenbereiche

2. Teilchen

A. Einzelne Teilchen

Beschreibung von Teilchenbewegung

Kinematik: Quantitative Erfassung

Dynamik: Ursachen der Bewegung

Energie, Arbeit + Leistung

Erhaltungssätze: Impuls+Energieerhaltung

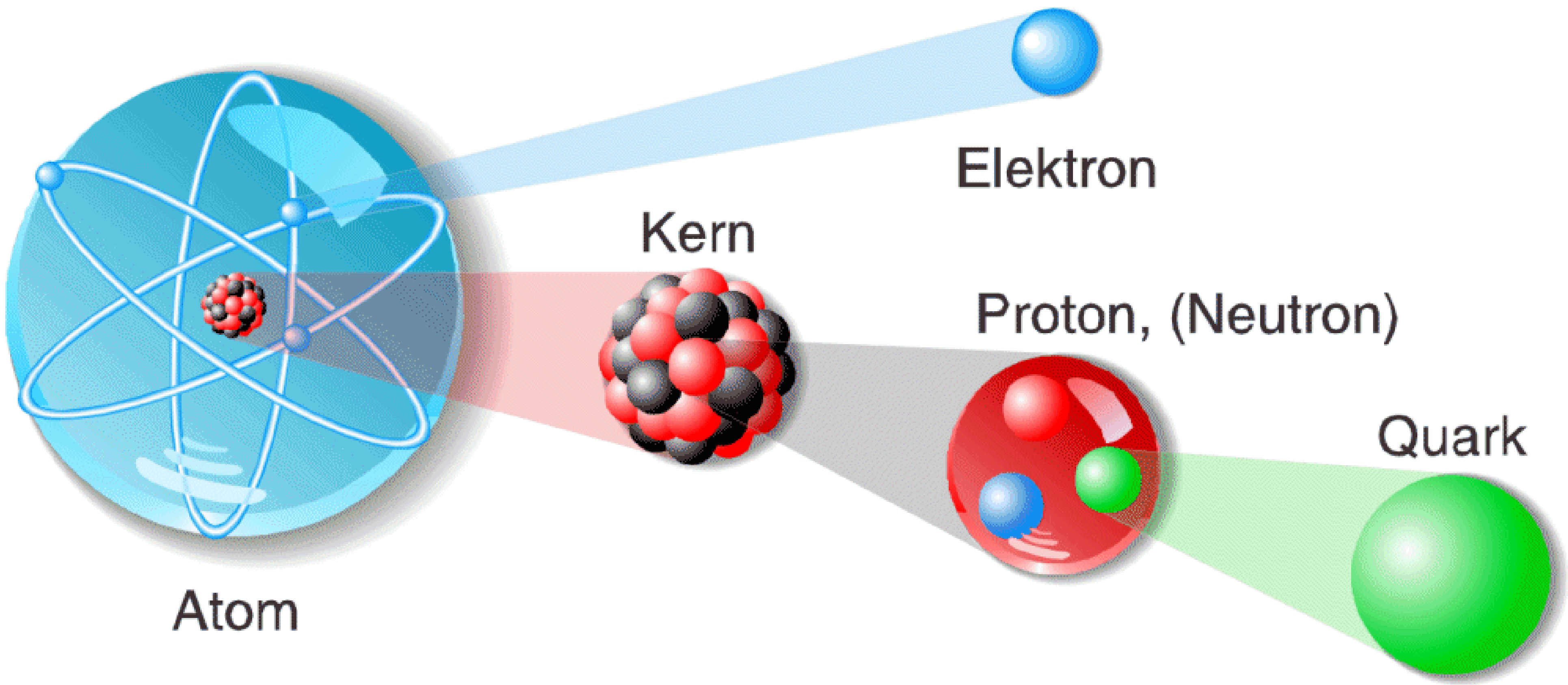
Drehbewegung

Schwingungen, harmonischer Oszillator

B. Teilchensysteme

Aufbau der Materie

Der Aufbau eines Atoms



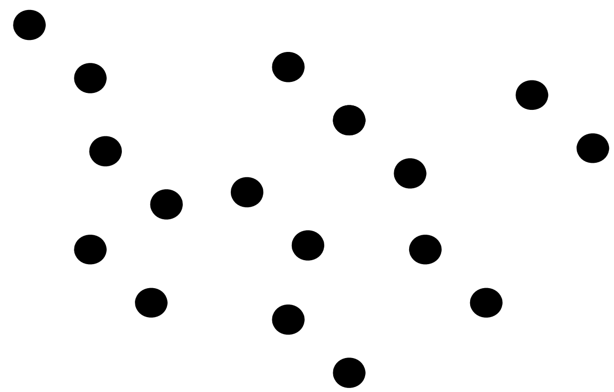
Elementarteilchen, z.B. Elektron: besitzt Masse m
besitzt keine Ausdehnung

1.2 Beschreibung von Bewegung

Konzept des Massenpunkts:

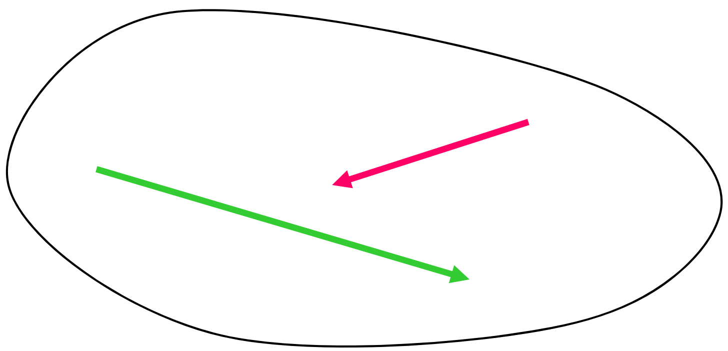
Die Bewegung eines ausgedehnten, makroskopischen Körpers der Masse m im Raum kann so beschrieben werden, dass seine Masse als in einem Punkt (später: Schwerpunkt) konzentriert gedacht wird.

Unser Raum und seine Struktur
3-dimensionaler Raum



Punktraum

Vektorraum



Beziehung zwischen Punkten im Raum wird durch Vektor eindeutig festgelegt!

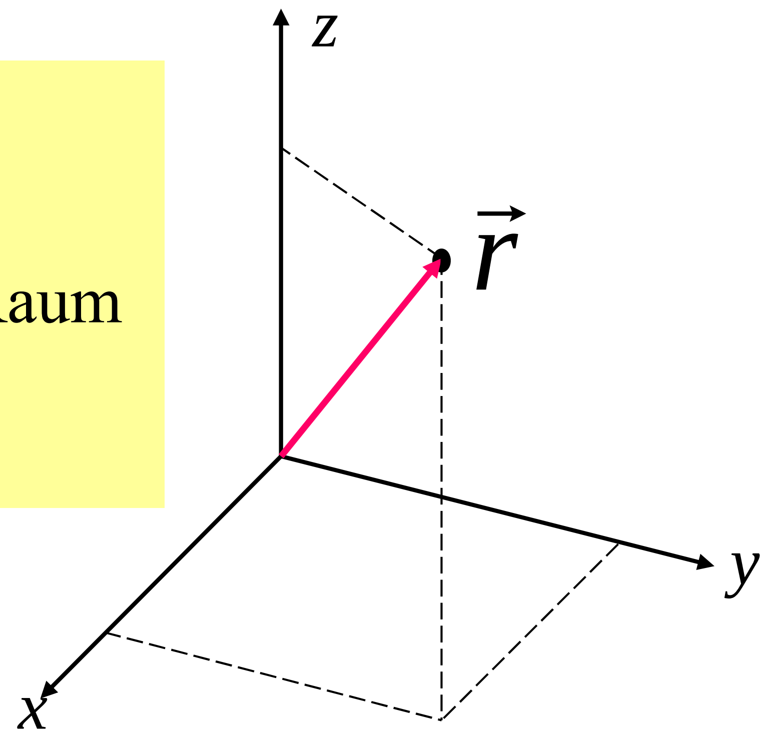
Physikalische Größen, die durch „Stärke“ und Richtung beschrieben werden, nennt man Vektoren.

Wahl eines Koordinatensystems

kartesische Koordinaten

eindeutige Festlegung eines Bezugssystems:

- Wahl eines Bezugspunkts O
- Wahl von gerichteten Orientierungslinien im Raum
- Position:
  Vektor von A=0 zu B= Massenpunkt



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

Der Vektor wird durch Angabe der Koordinaten *x*, *y*, *z* quantitativ bestimmt.

2.2 Kinematik

In der Kinematik wird versucht, einen Bewegungsvorgang quantitativ zu erfassen. Dabei wird nicht nach den Ursachen der Bewegung gefragt.

zunächst: Beschränkung auf eindimensionale Bewegungen
in der Praxis erreichbar durch geeignete Einschränkungen im Bewegungsablauf des Körpers.

Beobachtung: Bahnkurve x(t)
Abhängigkeit des Ortes des Massenpunkts von der Zeit

Charakteristische Größe: Geschwindigkeit

Annahme: gleichförmige Bewegung

Hat ein Körper eine konstante Geschwindigkeit, dann wird ihr Wert durch den Quotienten

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$$

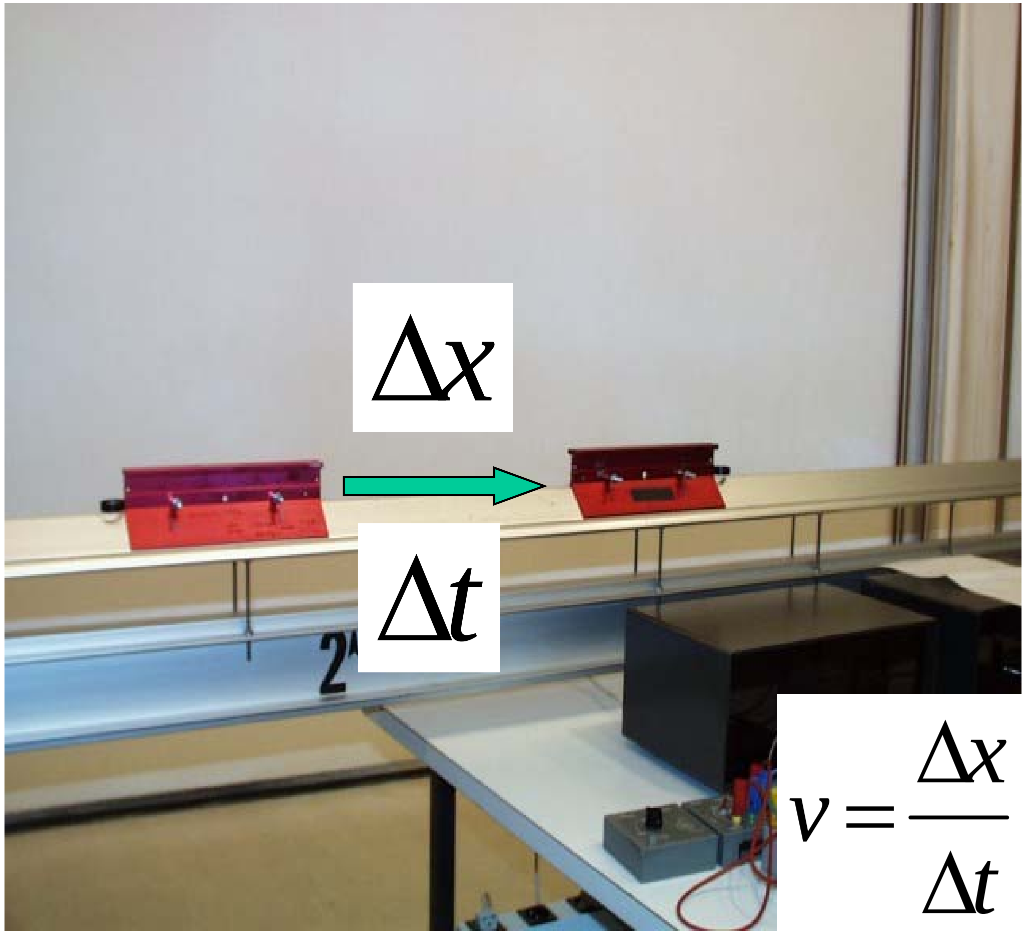
angegeben, oder symbolisch

$$v = \frac{s}{t}$$

2.2 Kinematik

Da neben dem Betrag auch die Richtung wichtig ist, ist die Geschwindigkeit ein Vektor:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$$

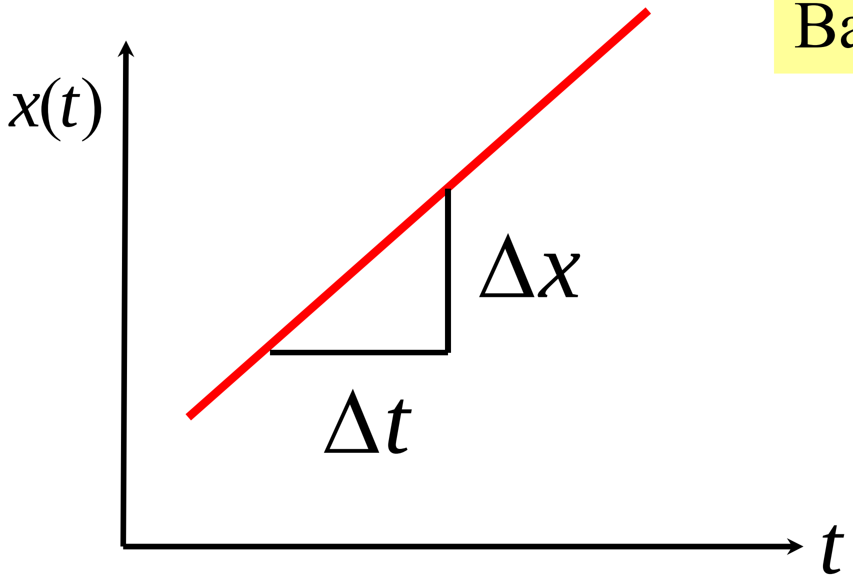


$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Jetzt wird allgemein der Fall einer beliebigen nicht-konstanten Geschwindigkeit behandelt:

Der Ort x verändert sich mit der Zeit t, x ist also eine Funktion der Zeit: $x(t)$

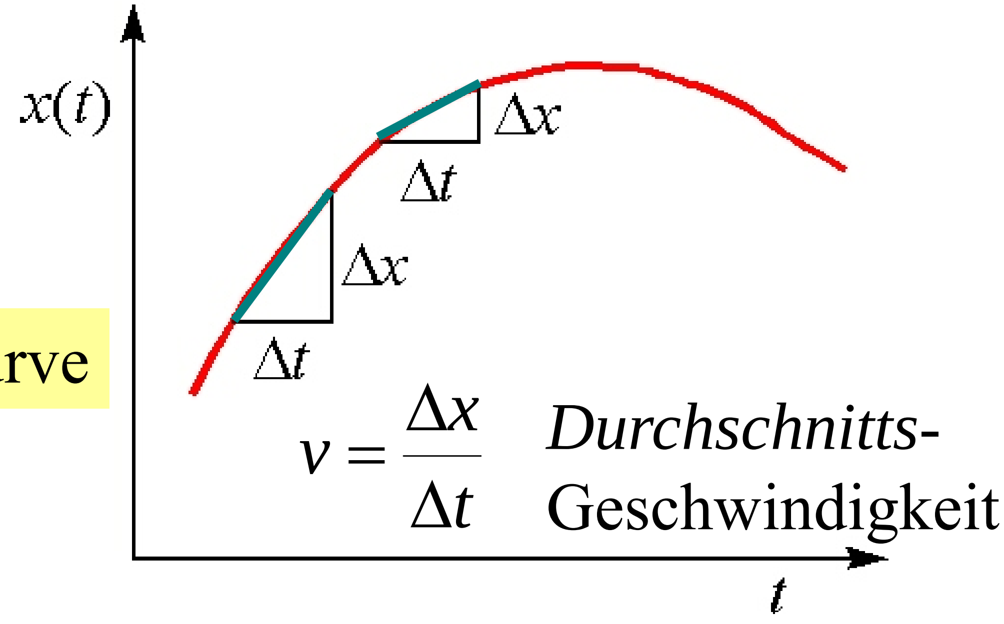
Bei konstanter Geschwindigkeit ergibt sich im Weg-Zeit-Diagramm eine Gerade:



Geschwindigkeit: $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

Bahnkurve

Bei nicht konstanter Geschwindigkeit ergibt sich im Weg-Zeit-Diagramm eine beliebige Funktion:



Definition der *momentanen* zur Zeit t vorhandenen Geschwindigkeit $v(t)$:

$$v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x(t)}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = \dot{x} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$$

Umgekehrt kann man aus dem Verlauf der Geschwindigkeit $v(t)$ auch die Bahn berechnen.

$$v(t) = \frac{dx}{dt} \quad \Rightarrow \quad dx = v(t)\,dt \qquad \Rightarrow \quad x(t) = \int_0^t dx = \int_0^t v(t)\,dt + C$$

Sei die Geschwindigkeit konstant, also $v(t) = v_0 = \text{const.}$, dann folgt

$$x(t) = \int_0^t v_0\,dt + C$$

$$= v_0 \int_0^t dt + C = v_0 t + C$$

Wenn der Körper zum Zeitpunkt $t = 0$ am Ort $x(0) = x_0$ war, dann folgt sofort $C = x_0$

$$\boxed{x(t) = v_0 t + x_0}$$

Ändert sich die Geschwindigkeit $v(t)$ mit der Zeit t, so bietet sich eine weitere Größe zur Charakterisierung der Bewegung an, die „Beschleunigung".

Definition der *momentanen* Beschleunigung in einer Dimension:

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} \quad \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$$

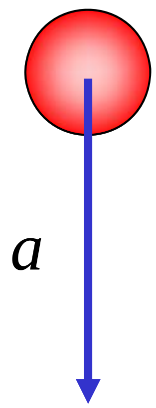
Aus der Beschleunigung können auch wieder rückwärts die Geschwindigkeit und der Ort berechnet werden:

$$v(t) = \int_0^t a(\tau)\,d\tau + v_0 \qquad x(t) = \int_0^t v(\tau)\,d\tau + x_0 = \int_0^t \left(\int_0^{\tau_1} a(\tau)\,d\tau\right) d\tau_1 + v_0 t + x_0$$

Die Anfangswerte zur Zeit $t = 0$ sind: x_0 und v_0

Durch Angabe der Beschleunigung und der beiden Anfangsbedingungen ist das Problem eindeutig festgelegt!

Beispiel: Der senkrechte Fall



Auf der Erdoberfläche wirkt die konstante Beschleunigung

$$a = g = 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

Nach t = 5s freier Fall ist die Geschwindigkeit (am Anfang ist: v_0 = 0 m/s):

$$v = \int_0^t a\,d\tau = a\int_0^t d\tau = g\,t = 49.5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

und der zurückgelegte Weg x :

$$x = \int_0^t \left(\int_0^{\tau_1} a\,d\tau \right) d\tau_1 = \int_0^t a\,\tau_1\,d\tau_1 = \frac{g}{2} t^2 = 122.6\,\mathrm{m}$$

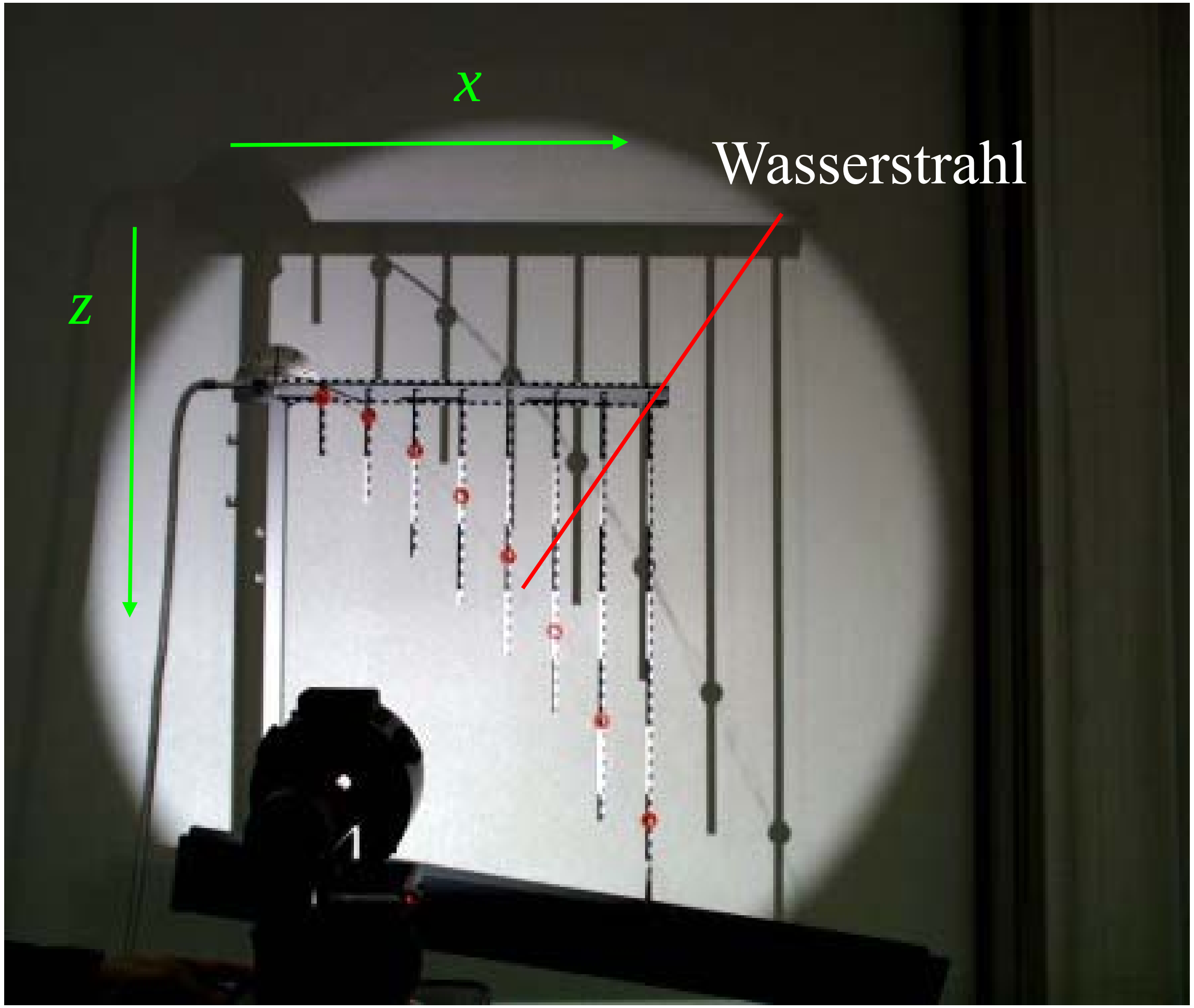
Versuch 1: Wurfparabel mit Wasserstrahl

Der Wasserstrahl tritt aus einer Düse horizontal mit einer Anfangsgeschwindigkeit v_0 aus, die konstant bleibt, so daß der Weg linear mit der Zeit zunimmt:

$$x = v_0 t$$

Vertikal wirkt die Gravitation, also ist der Weg proportional zur Zeit:

$$z = z_0 - \frac{1}{2} g\, t^2$$

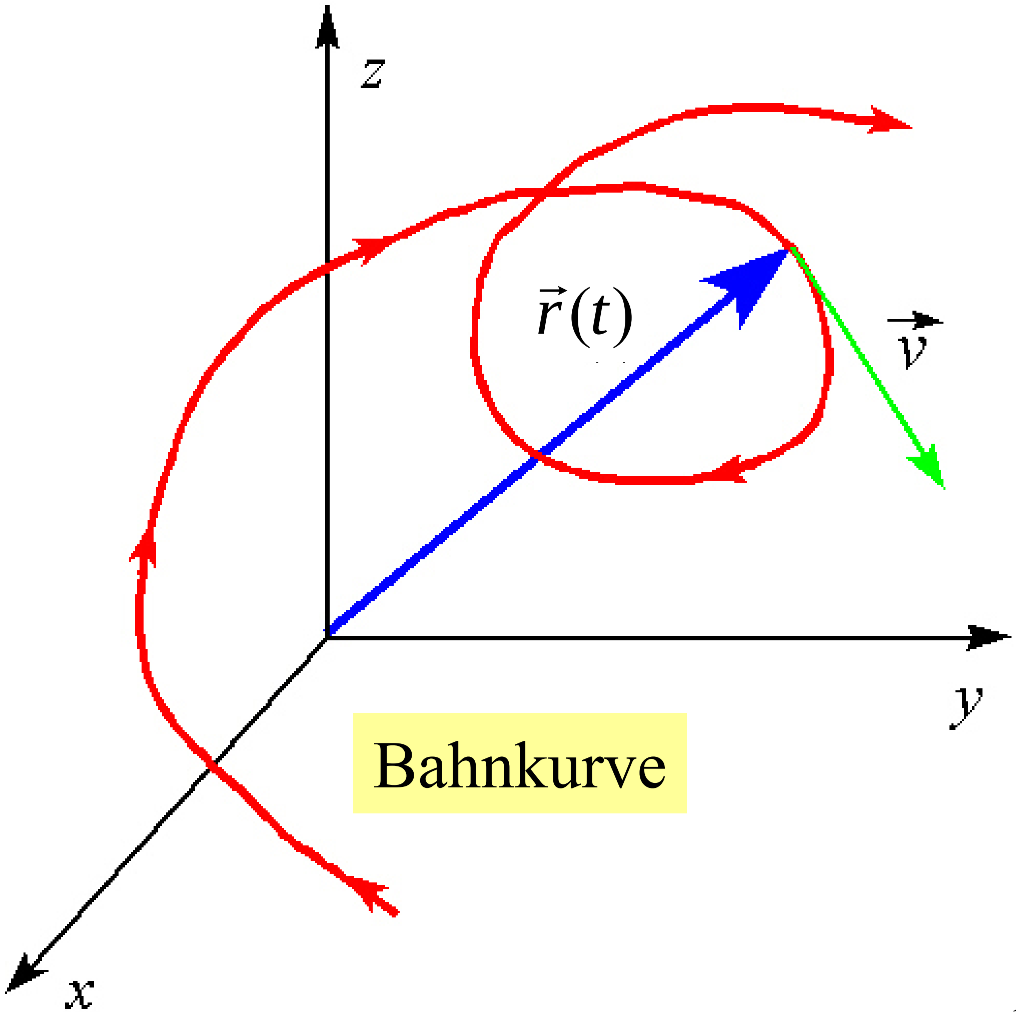


Beide <u>unabhängigen</u> Bewegungen zusammen ergeben die Wurfparabel.

Heben wir nun die Beschränkung auf eindimensionale Bewegungen auf!

Im dreidimensionalen Raum haben wir den Ortsvektor:

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



Die *Durchschnittsgeschwindigkeit* ist wieder $\vec{v} \approx \dfrac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}$

und die *momentane* Geschwindigkeit:

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

Die Ableitung eines Vektors erfolgt durch Ableitung seiner Komponenten.

Der Geschwindigkeitsvektor $\vec{v}(t)$ liegt tangential zur Bahnkurve $\vec{r}(t)$, also

$\vec{v} = |\vec{v}|\,\vec{e}_{\|}$ $\quad \vec{e}_{\|}$ = Einheitsvektor in Richtung der Tangente

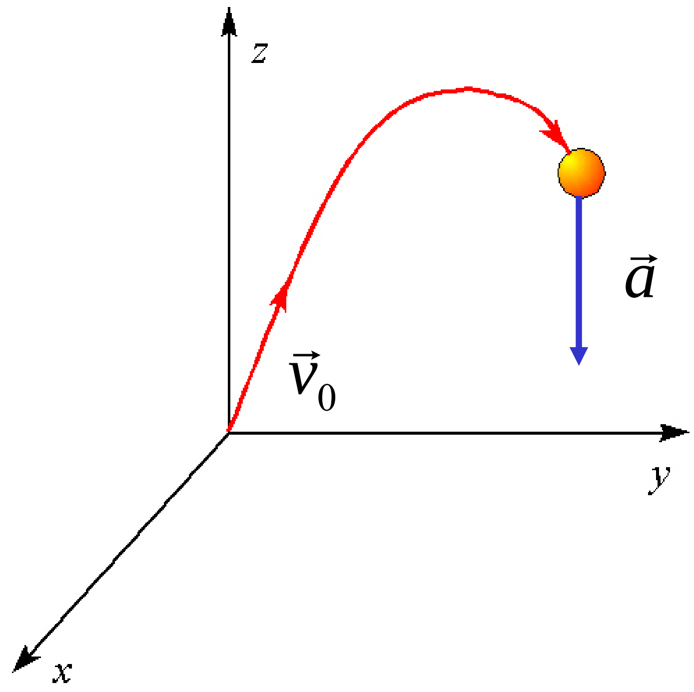
Der Betrag der Geschwindigkeit ist dann gegeben durch

$$|\vec{v}| = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} = \frac{ds}{dt}$$

Die Beschleunigung ist wieder die Änderung der Geschwindigkeit pro Zeit, jetzt aber als Vektor:

$$\boxed{\vec{a} = \dot{\vec{v}} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \begin{pmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{v}_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix}}$$

Beispiel: Der schiefe Wurf



$$\vec{a} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{pmatrix} \qquad g = 9.81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

Die Integration eines Vektors erfolgt durch Integration der Komponenten.

Die Geschwindigkeit ist dann

$$\vec{v} = \int_0^t \vec{a}\,d\tau + \vec{v}_0 = \vec{a}\,t + \vec{v}_0$$

In Komponenten ergibt sich daher:

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -gt \end{pmatrix} + \vec{v}_0 = \begin{pmatrix} v_{x,0} \\ v_{y,0} \\ -gt + v_{z,0} \end{pmatrix}$$

Nochmalige Integration liefert den zeitabhängigen Ortsvektor

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \int_0^t \vec{v}(\tau)\, d\tau$$

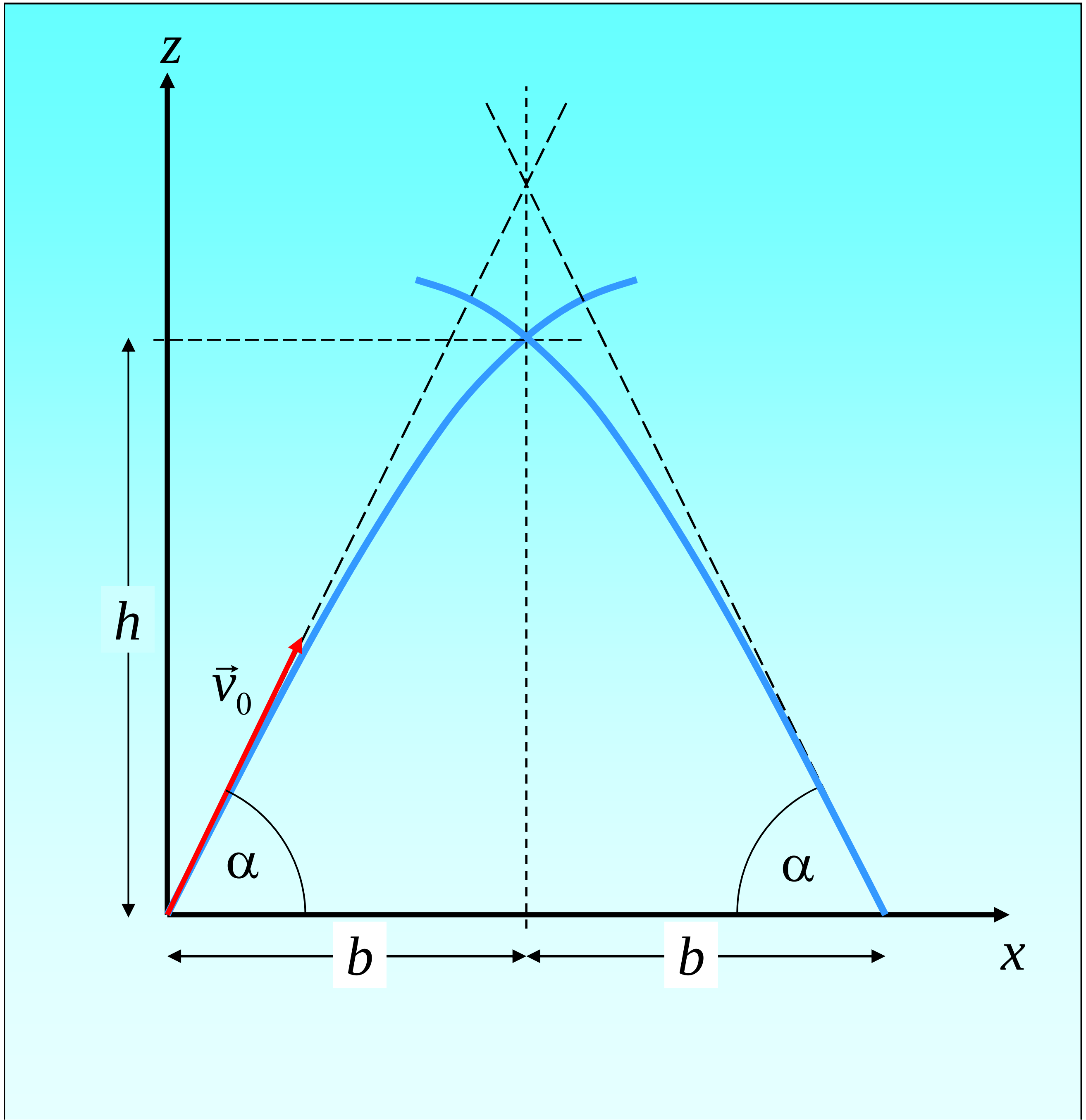
$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} + \int_0^t \begin{pmatrix} v_{x,0} \\ v_{y,0} \\ -g\,\tau + v_{z,0} \end{pmatrix} d\tau$$

In Komponentenschreibweise ergibt sich dann für den Ortsvektor

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{x,0}t + x_0 \\ v_{y,0}t + y_0 \\ -\frac{1}{2}g\,t^2 + v_{z,0}t + z_0 \end{pmatrix}$$

erneut: Die Bewegungen entlang unterschiedlicher Raunrichtungen laufen unabhängig voneinander ab!

Beispiel:



In einem Brunnen sind zwei Wasserdüsen im Abstand von $2b = 8.0$ m montiert und um jeweils den Winkel $\alpha = 70°$ geneigt. Aus den Düsen tritt das Wasser mit der Anfangsgeschwindigkeit von $v_0 = 10$ m/s.
In der Mitte kreuzen sich die Wasserstrahlen in einer Höhe h.

Wie groß ist diese Höhe h ?

Die Anfangsgeschwindigkeit ist in vektorieller Schreibweise

$$\vec{v}_0 = \begin{pmatrix} v_{x0} \\ v_{y0} \\ v_{z0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_0 \cos\alpha \\ 0 \\ v_0 \sin\alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.4202 \\ 0.0 \\ 9.3969 \end{pmatrix} \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Die Zeit, die das Wasser von der Düse bis zum Kreuzungspunkt braucht, ist

$$t = \frac{b}{v_{x,0}} = 1.1695 \text{ s}$$

Die Anfangskoordinaten des Wasserstrahls sind

$$\vec{r}_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

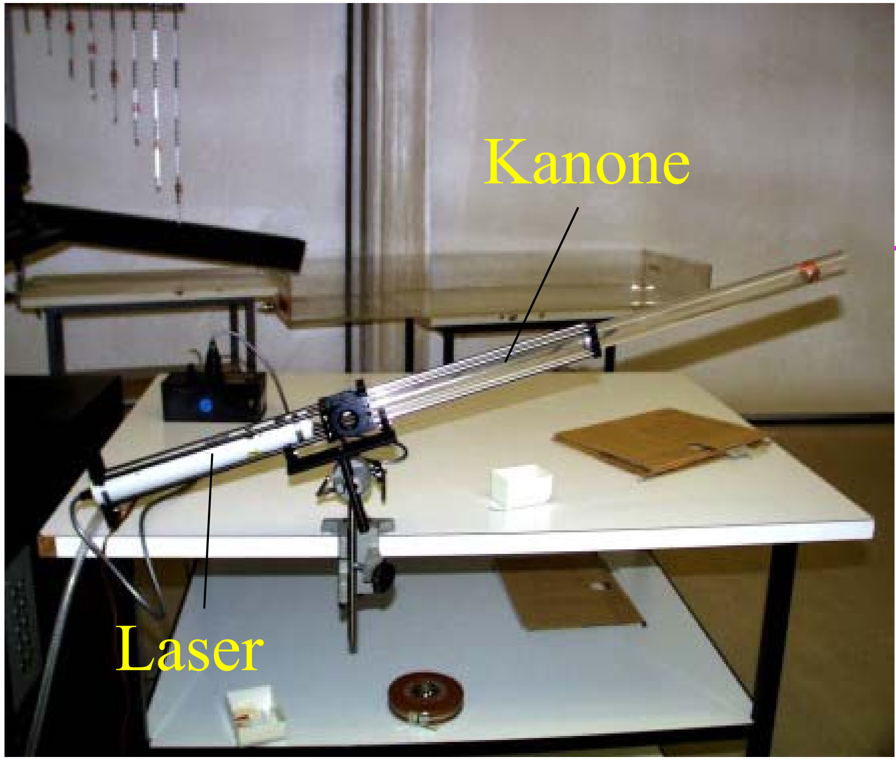
Dann ist der Bahnvektor im Kreuzungspunkt

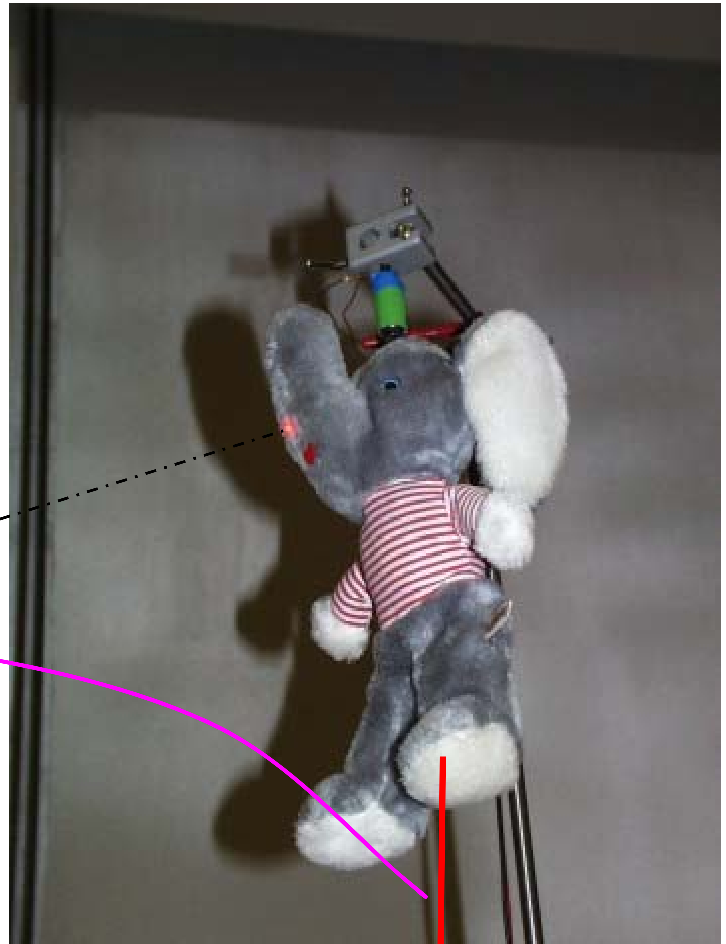
$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} v_{x,0}\, t \\ 0 \\ -\frac{1}{2} g t^2 + v_{z,0} t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4.00 \\ 0.0 \\ 4.281 \end{pmatrix} \mathrm{m}$$

Mit $t = 1.1695\mathrm{s}$ ergibt sich für den Kreuzungspunkt der Wasserstrahlen die Höhe $h = 4.281$ m.

Versuch 2: „Affenschuß“

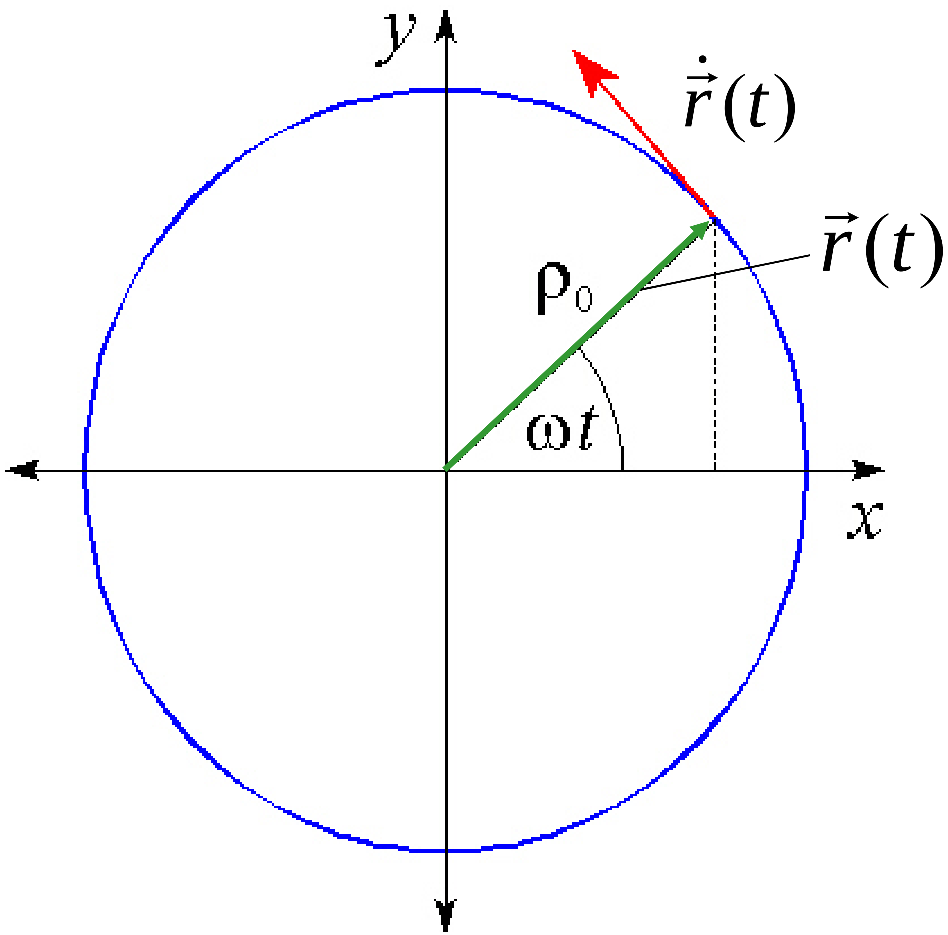
Die Kanone wird in gerader Linie mit einem Laserstrahl auf das Plüschtier ausgerichtet. Beim Schuß fällt das Tier aber auch die Gummikugel und zwar um dieselbe Strecke.





Ergebnis: Das Plüschtier wird getroffen!

Beispiel 2: Gleichförmige Kreisbewegung



Der zeitabhängige Ortsvektor ist dann

$$\vec{r}(t) = \rho_0 \begin{pmatrix} \cos(\omega t) \\ \sin(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Geschwindigkeit

$$\vec{v}(t) = \dot{\vec{r}}(t) = \rho_0\, \omega \begin{pmatrix} -\sin(\omega t) \\ \cos(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$v = \left|\vec{v}(t)\right| = \rho_0 \omega = \text{const.}$$

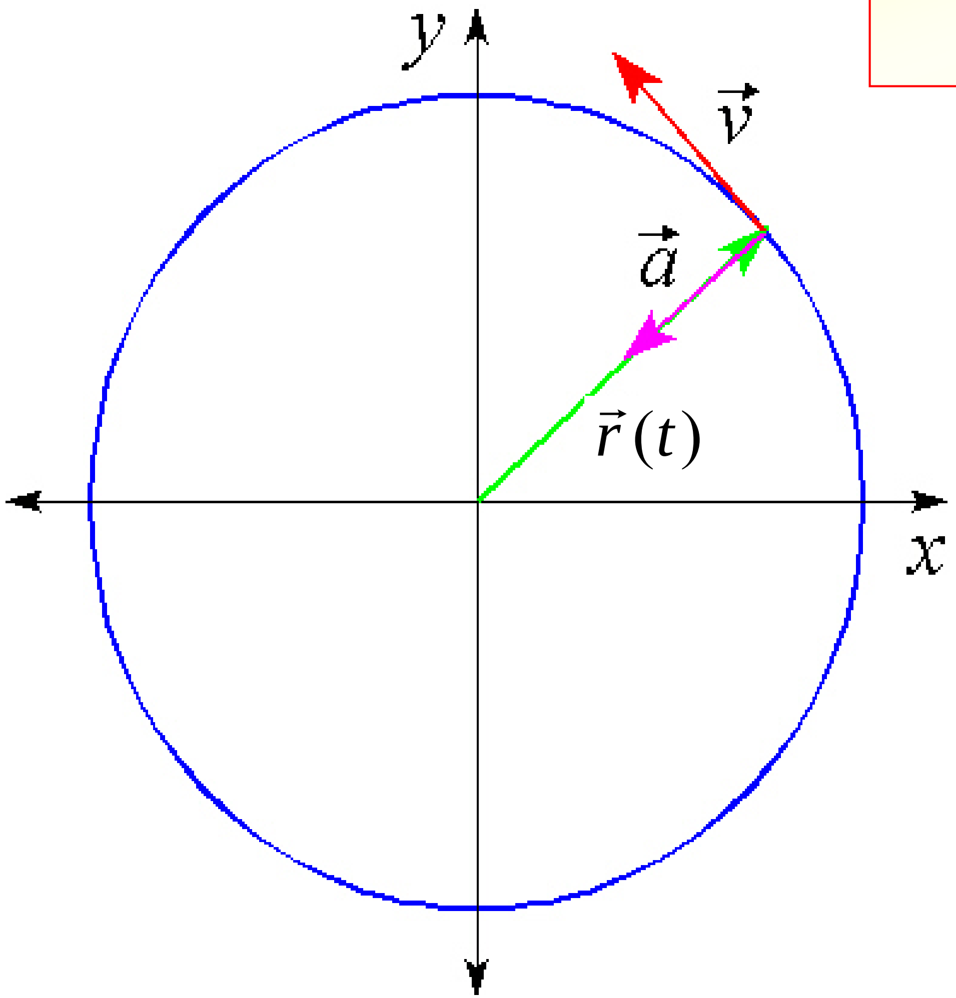
Winkelgeschwindigkeit : $\omega = 2\pi\, f$

Periode : $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{2\pi}{\omega}$

Die Frequenz f gibt die Anzahl der Umläufe pro Sekunde an.

Die Kreisbeschleunigung ist

$$\vec{a} = \ddot{\vec{r}}(t) = -\rho_0 \omega^2 \begin{pmatrix} \cos(\omega t) \\ \sin(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}$$



Die Kreisbeschleunigung steht senkrecht auf der Geschwindigkeit, sie weist immer zum Kreismittelpunkt (Zentripetalbeschleunigung).

Weiterhin folgt, daß die Kreisbeschleunigung proportional zum Quadrat der Winkelgeschwindigkeit ist:

$$\left|\vec{a}\right| = \rho_0 \omega^2 \propto \omega^2$$

Inhalt der Vorlesung A1

1. Einführung

Methode der Physik

Physikalische Größen

Übersicht über die vorgesehenen Themenbereiche

2. Teilchen

A. Einzelne Teilchen

Beschreibung von Teilchenbewegung

Kinematik: Quantitative Erfassung

Dynamik: Ursachen der Bewegung

Energie, Arbeit + Leistung

Erhaltungssätze: Impuls+Energieerhaltung

Drehbewegung

Schwingungen, harmonischer Oszillator

B. Teilchensysteme

2.3 Dynamik

In der Dynamik werden die Ursachen der Bewegung hinterfragt.

Vor allem bei der Behandlung von Stoßprozessen ist zur Charakterisierung des Einflusses eines Stoßpartners die Angabe von

- Masse und
- Geschwindigkeit

erforderlich

$\Rightarrow$ Kombination zu einer neuen Größe

Impuls

$$\vec{p}(t) = \begin{pmatrix} p_x(t) \\ p_y(t) \\ p_z(t) \end{pmatrix} = m\vec{v}(t) = m \begin{pmatrix} v_x(t) \\ v_y(t) \\ v_z(t) \end{pmatrix}$$

Dynamik wird ausgelöst durch Wirkung von Kräften.

Beispiel: Gewichtskraft

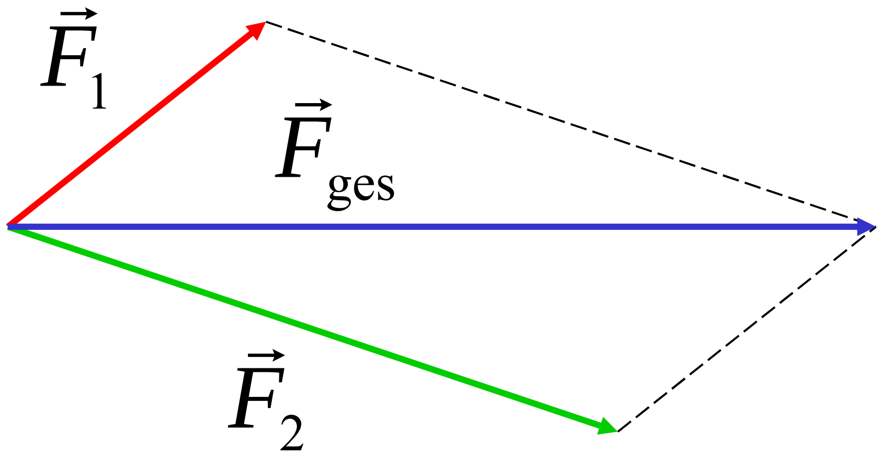
$$\vec{F} = m_S \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{pmatrix}$$

m_S schwere Masse

Ihre Einheit ist:

$1\ \mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-2}}$ = Newton = 1 N

Dimension: Masse • Länge / Zeit^2



$$\vec{F}_{ges} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

Kräfte sind Vektoren.

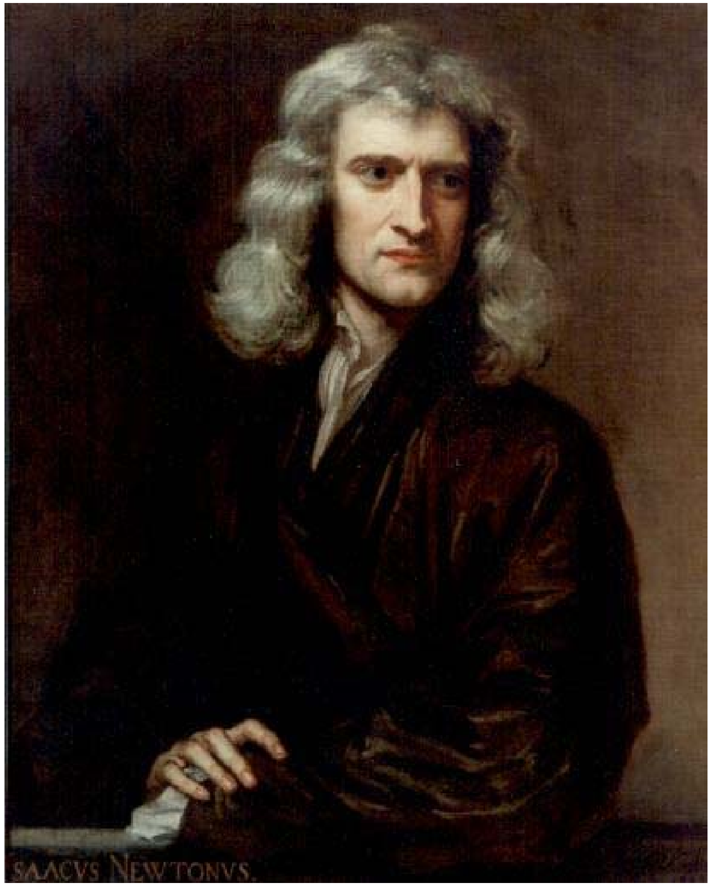
Es gilt das *Superpositionsprinzip*

Oder allgemein

$$\vec{F}_{ges} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_N = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_i$$

Newtonsche Axiome

Sir Isaac Newton



1689

Geboren: 25.12.1642 in Lincolnshire

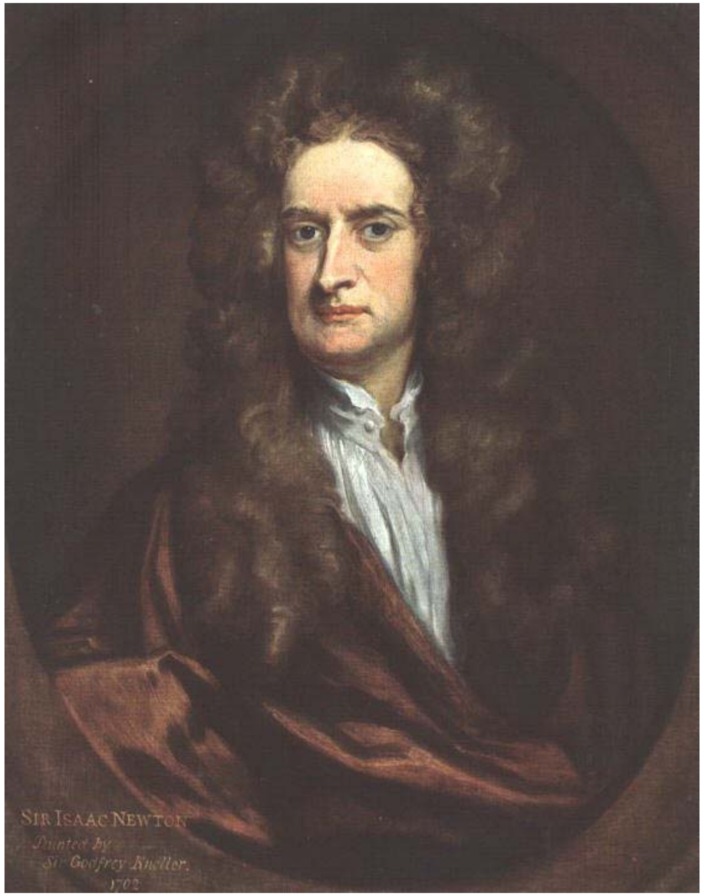
1661-1696: Trinity College, Cambridge

1669: Ernennung zum Professor in Cambridge

1699-1727: Direktor des staatlichen Münzamtes in London

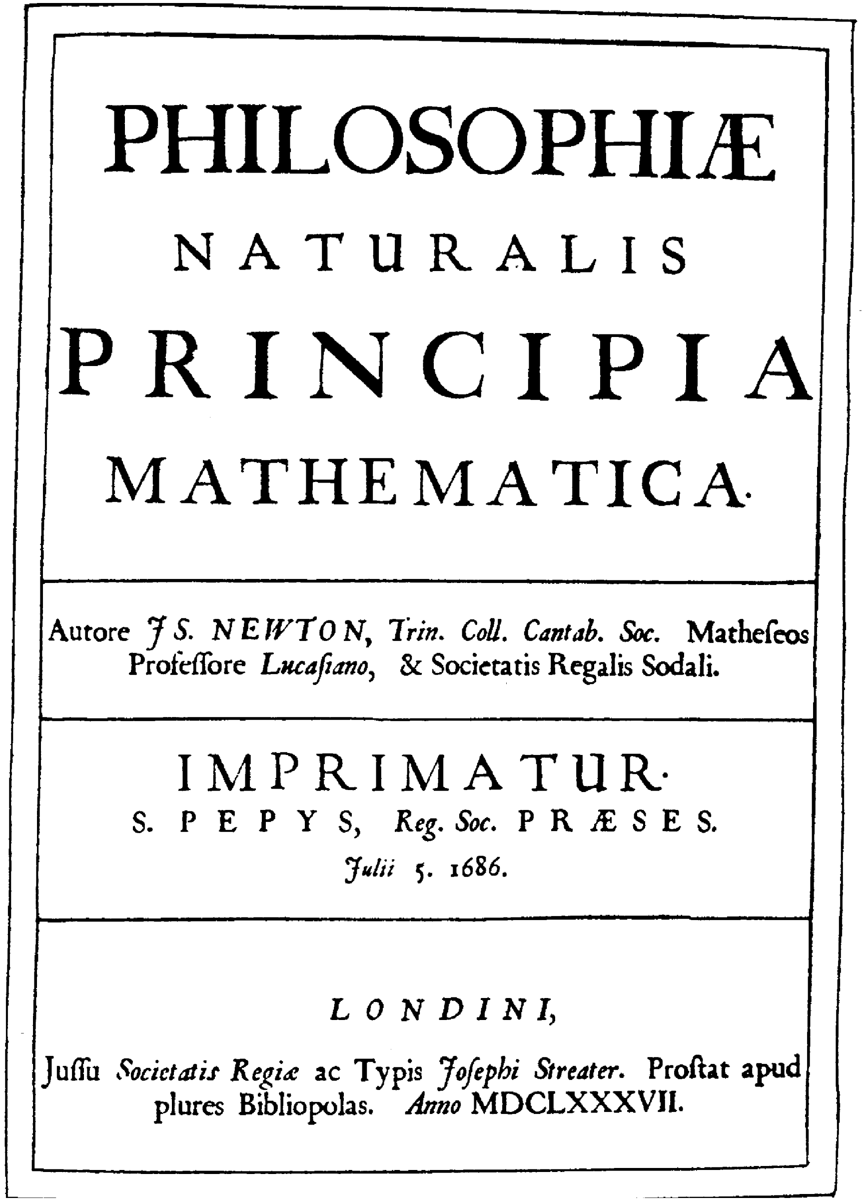
1703-1727: Vorsitz der Royal Society

Gestorben: 20.3.1727 in Kensington, London



1702

Principia: 1684 - 1687



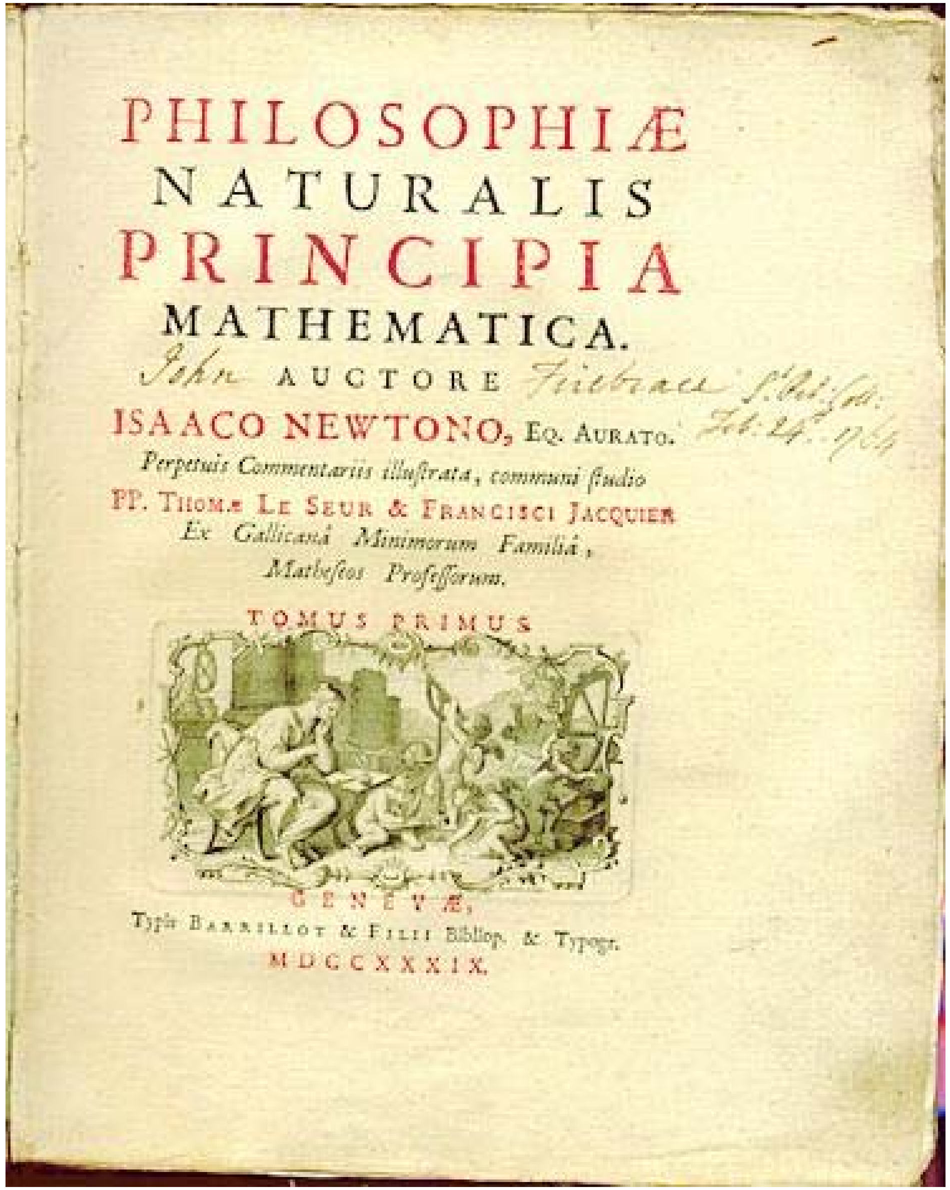
PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore *J S.* NEWTON, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheſeos 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.



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.
AUCTORE
ISAACO NEWTONO, EQ. AURATO.
Perpetuis Commentariis illuſtrata, communi ſtudio
PP. THOMÆ LE SEUR & FRANCISCI JACQUIER
Ex Gallicanâ Minimorum Familiâ,
Matheſeos Profeſſorum.
TOMUS PRIMUS.

GENEVÆ,
Typis BARRILLOT & FILII Bibliop. & Typogr.
MDCCXXXIX.

Die drei Newton'schen Axiome

AXIOMATA SIVE LEGES MOTUS

Lex. I.

Corpus omne perſeverare in ſtatu ſuo quieſcendi vel movendi uniformiter in directum, niſi quatenus a viribus impreſſis cogitur ſtatum illum mutare.

PRojectilia perſeverant in motibus ſuis niſi quatenus a reſiſtentia aeris retardantur & vi gravitatis impelluntur deorſum. Trochus, cujus partes cohærendo perpetuo retrahunt ſeſe a motibus rectilineis, non ceſſat rotari niſi quatenus ab aere retardatur. Majora autem Planetarum & Cometarum corpora motus ſuos & progreſſivos & circulares in ſpatiis minus reſiſtentibus factos conſervant diutius.

Lex. II.

Mutationem motus proportionalem eſſe vi motrici impreſſæ, & fieri ſecundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Si vis aliqua motum quemvis generet, dupla duplum, tripla triplum generabit, ſive ſimul & ſemel, ſive gradatim & ſucceſſive impreſſa fuerit. Et hic motus quoniam in eandem ſemper plagam cum vi generatrice determinatur, ſi corpus antea movebatur, motui ejus vel conſpiranti additur, vel contrario ſubducitur, vel oblique adjicitur, & cum eo ſecundum utriuſq; determinationem componitur.

Lex. III.

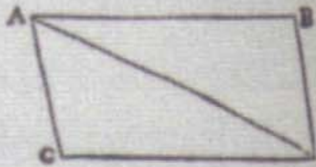
Lex. III.

Actioni contrariam ſemper & æqualem eſſe reactionem: ſive corporum duorum actiones in ſe mutuo ſemper eſſe æquales & in partes contrarias dirigi.

Quicquid premit vel trahit alterum, tantundem ab eo premitur vel trahitur. Siquis lapidem digito premit, premitur & hujus digitus a lapide. Si equus lapidem funi allegatum trahit, retrahetur etiam & equus æqualiter in lapidem: nam funis utrinq; diſtentus eodem relaxandi ſe conatu urgebit Equum verſus lapidem, ac lapidem verſus equum, tantumq; impediet progreſſum unius quantum promovet progreſſum alterius. Si corpus aliquod in corpus aliud impingens, motum ejus vi ſua quomodocunq; mutaverit, idem quoque viciſſim in motu proprio eandem mutationem in partem contrariam vi alterius (ob æqualitatem preſſionis mutuæ) ſubibit. His actionibus æquales fiunt mutationes non velocitatum ſed motuum, (ſcilicet in corporibus non aliunde impeditis:) Mutationes enim velocitatum, in contrarias itidem partes factæ, quia motus æqualiter mutantur, ſunt corporibus reciproce proportionales.

Corol. I.

Corpus viribus conjunctis diagonalem parallelogrammi eodem tempore deſcribere, quo latera ſeparatis.



Si corpus dato tempore, vi ſola *M*, ferretur ab *A* ad *B*, & vi ſola *N*, ab *A* ad *C*, compleatur parallelogrammum *ABDC*, & vi utraq; feretur id eodem tempore ab *A* ad *D*. Nam quoniam vis *N* agit ſecundum lineam *AC* ipſi *BD* parallelam, hæc vis nihil mutabit velocitatem accedendi ad lineam illam *BD* a vi altera genitam. Accedet igitur corpus eodem tempore ad lineam *BD* ſive vis *N* imprimatur, ſive non, atq; adeo in fine illius temporis reperietur alicubi in linea

illa

Westminster Abbey

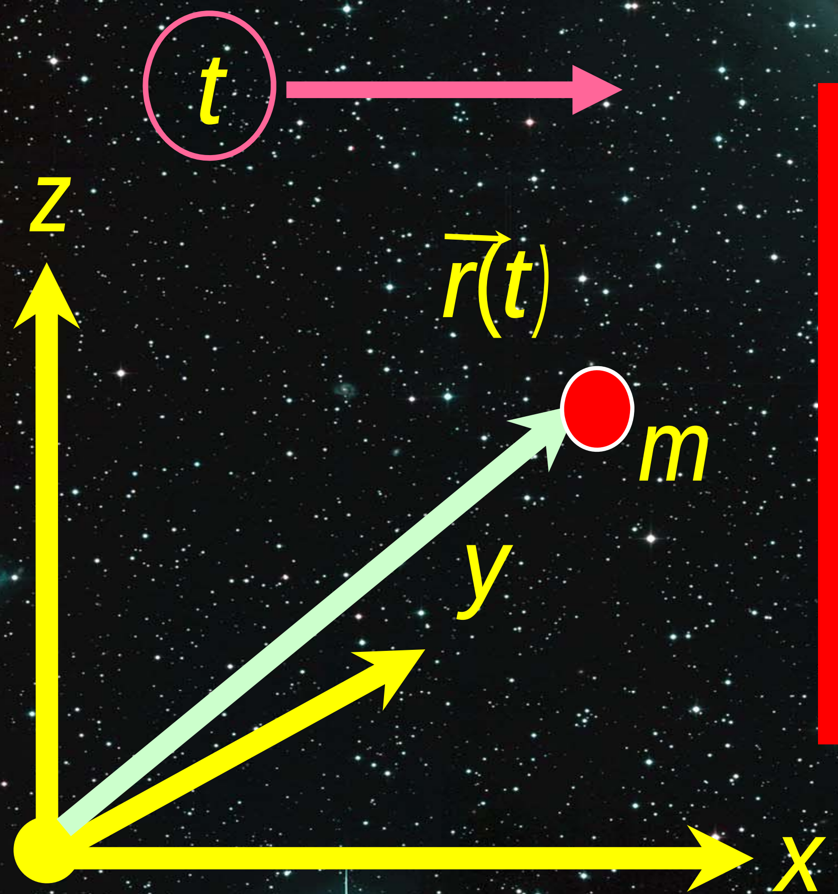
http://www.findagrave.com

Hier ruht
Sir Isaac Newton
Der mit fast göttlicher Geisteskraft
Der Planeten Bewegung und Gestalten,
Die Bahnen der Kometen und die Gezeiten des Ozeans
Mit Hilfe seiner mathematischen Methode
Zuerst erklärte.
Er ist es, der die Verschiedenheiten der Lichtstrahlen
Sowie die daraus entspringenden Eigentümlichkeiten der Farben,
Die niemand vorher auch nur vermutete, erforscht hat.
Als der Natur, der Altertümer und der Heiligen Schrift
Fleißiger, scharfsinniger und getreuer Deuter,
Verherrlichte er die Majestät des allmächtigen Schöpfers in seiner Philosophie.
Die vom Evangelium geforderte Einfalt bewies er durch seinen Wandel.
Mögen die Sterblichen sich freuen, daß unter ihnen wallte
Eine solche Zierde des Menschengeschlechts.

Newtons Grabinschrift in der Westminsterabtei *(Fr. Dannemann: Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung.* 1920–1923, Bd. II, S. 285; *W. Frost: Bacon und die Naturphilosophie.* 1927, S. 498)

2.3.5 Die Newton'schen Gesetze

Die Voraussetzungen für die Gültigkeit der Newton'schen Gesetze sind durch „Alltagserfahrungen" gegeben.



- Die Zeit ist absolut und unveränderlich und hängt nicht von der Bewegung und dem Ort ab.
- Es gibt einen sog. „absoluten Raum", d.h. ein absolut ruhendes System, in dem alle Bewegungsabläufe stattfinden.
- Die Eigenschaft „Masse" eines Körpers ist unabhängig vom Bewegungszustand.

Die Newton'schen Gesetze

1. Gesetz: Trägheitsprinzip

Ein Körper bleibt in einem Inertialsystem in geradlinig gleichförmiger Bewegung, wenn keine Kraft auf ihn wirkt.

$$\vec{F} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a} = \vec{0}$$

2. Gesetz: Aktionsprinzip

Die zeitliche Änderung des Impulses ist proportional zur äußeren Kraft, die auf den Körper wirkt.

$$\text{Impuls:} \quad \vec{p} = m\vec{v}$$

$$\text{Kraft:} \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$$

Falls die Masse m unabhängig von der Bewegung ist, dann gilt:

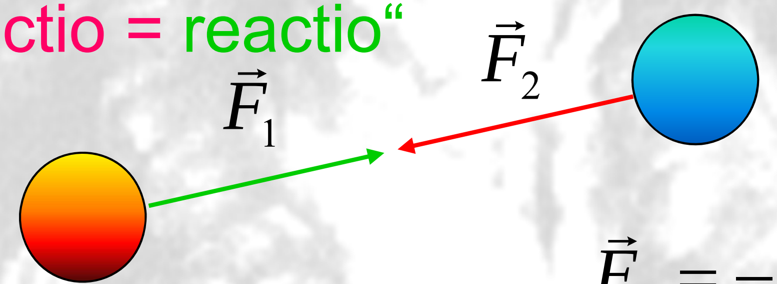
$$\vec{F} = m\vec{a} = m\dot{\vec{v}} = m\ddot{\vec{r}}$$

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \cdot \text{Beschleunigung}$$

3. Gesetz: Reaktionsprinzip

Bei Wechselwirkung zweier Körper ist die Kraft, die auf den ersten Körper wirkt, umgekehrt gleich der Kraft, die der zweite auf den ersten ausübt.

„actio = reactio"



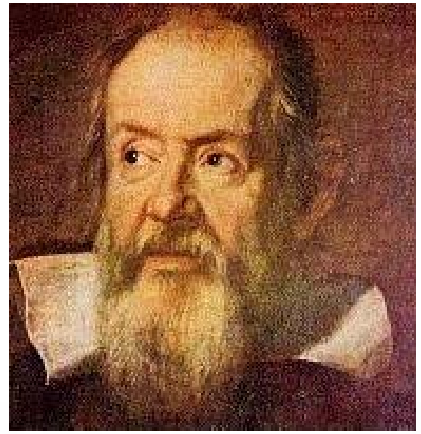
$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$$

Diskussion der Newtonschen Gesetze

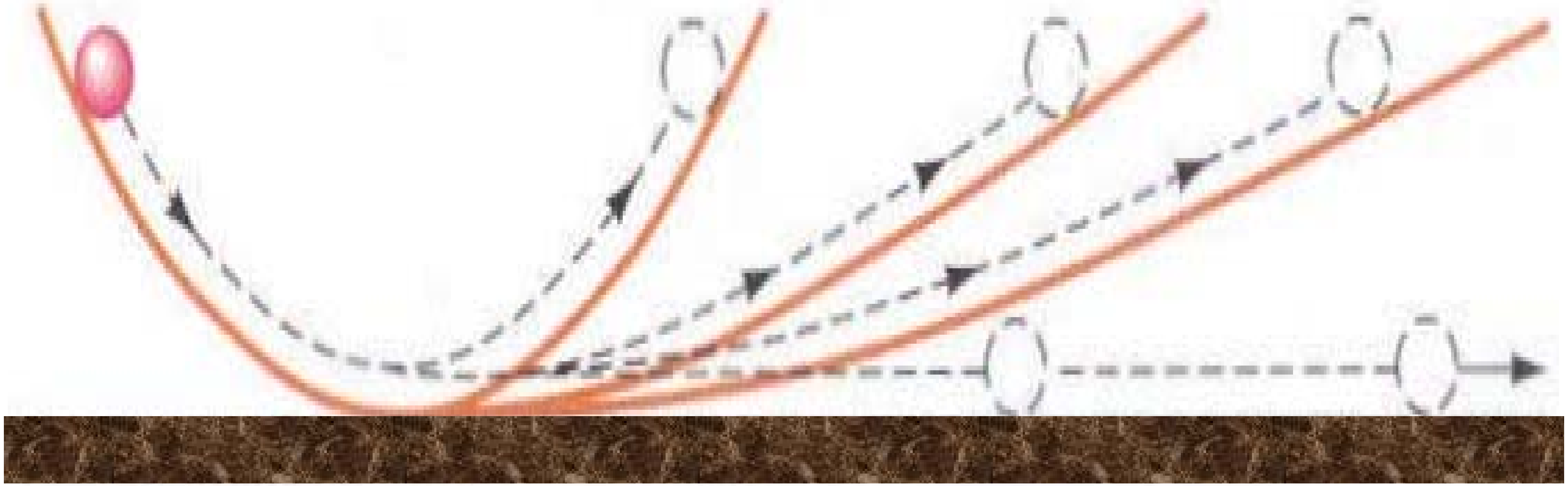
1. Newtonsches Axiom:

geradlinig
gleichförmig

$$\vec{v} = const.$$

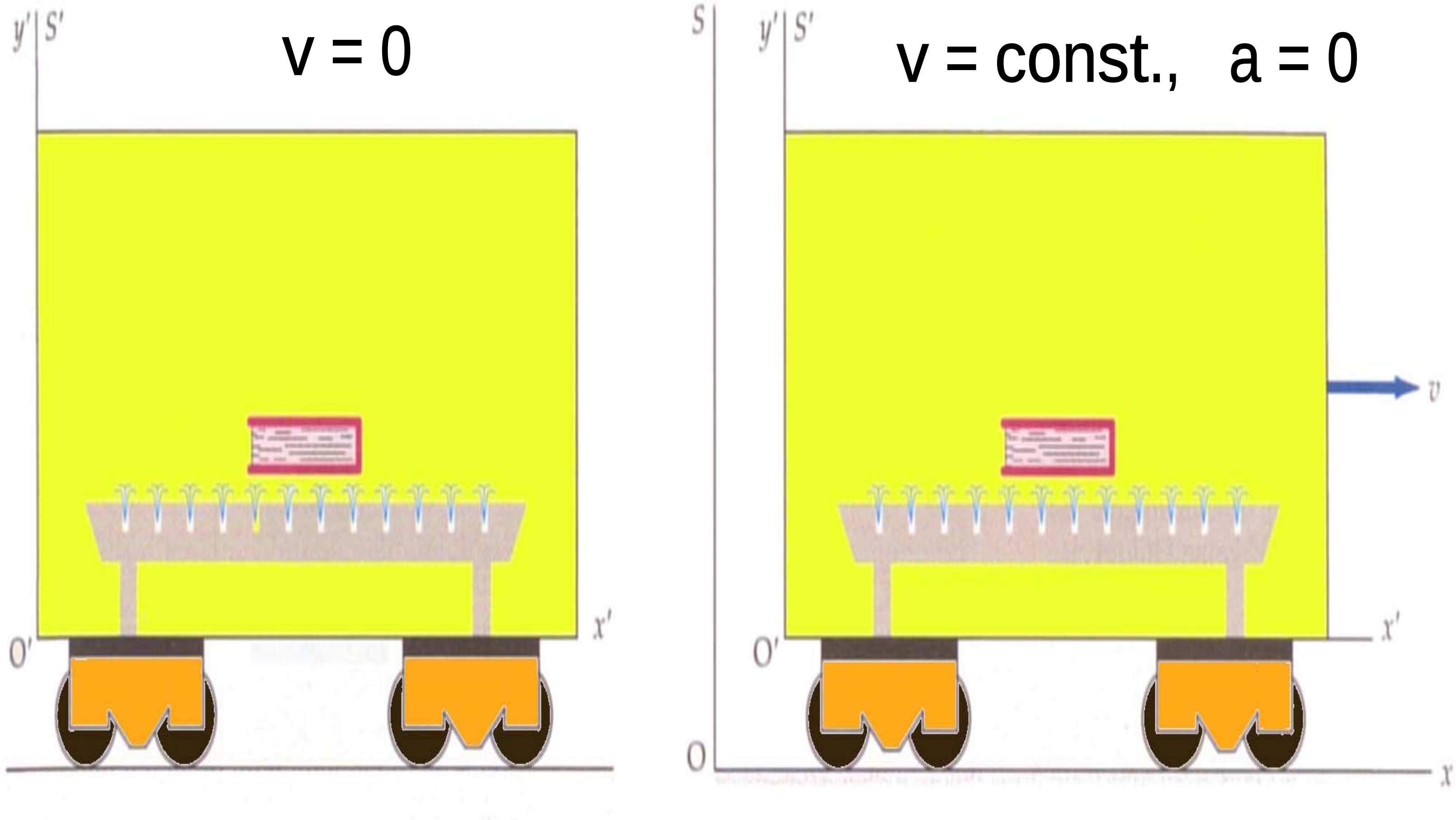


Galileo Galilei
1564-1642



Veranschaulichung, dass *v = const.* eine *kräftefreie* Bewegung bedeutet.

1. Newtonsches Axiom:

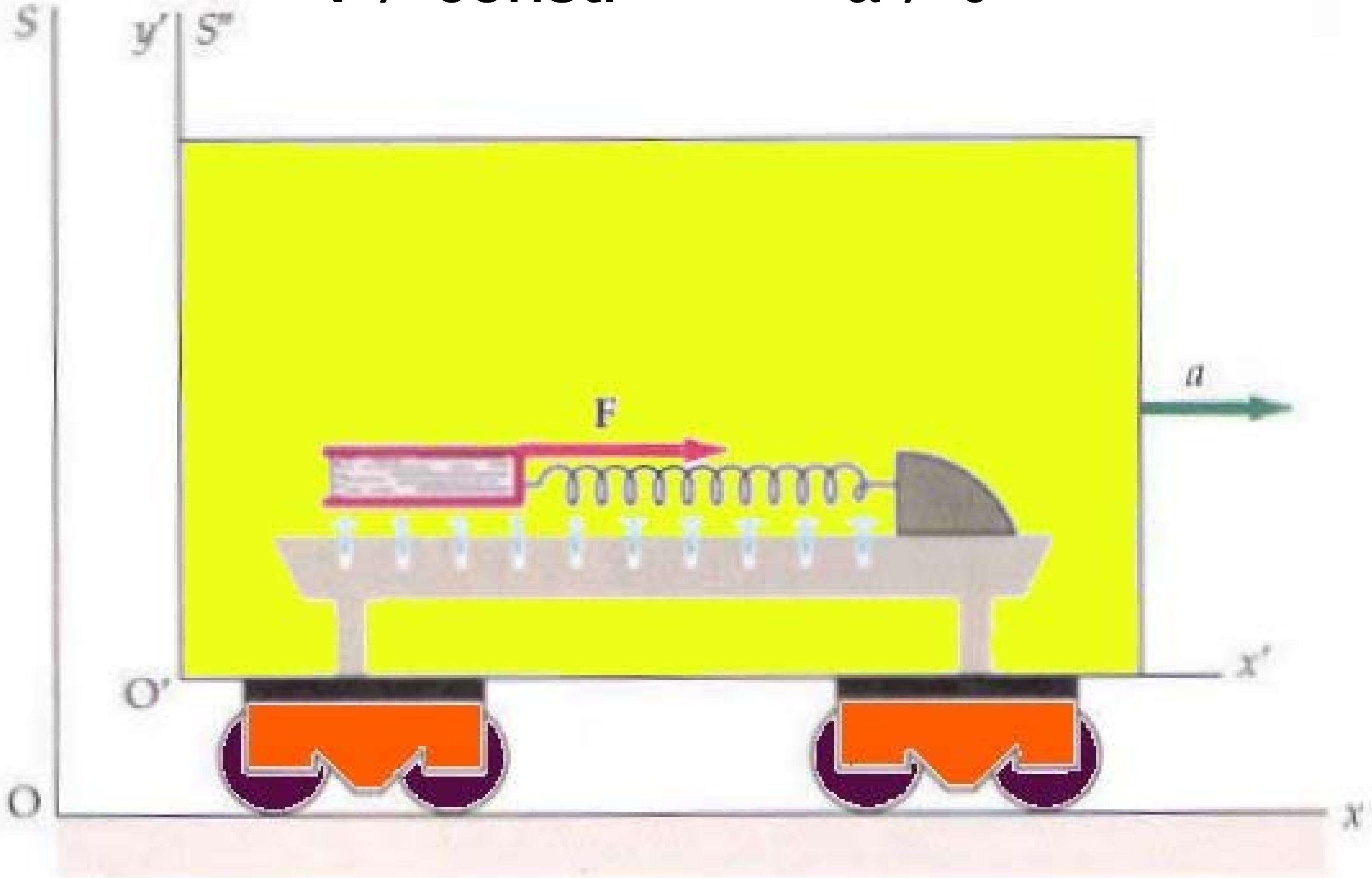


Ein System, in dem das 1. Newtonsche Axiom gilt, heißt *Inertialsystem.*

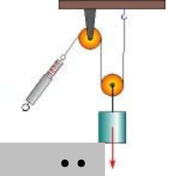
Dabei wird nicht zwischen Bezugssystemen mit $v = 0$ und $v = const.$ unterschieden.

1. Newtonsches Axiom:

$v \neq$ const. $\qquad a \neq 0$



m=const



2. Newtonsches Axiom

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$$

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\dot{\vec{v}} = m\ddot{\vec{r}}$$

Das 2. Newtonsche Axiom hat mehrere Bedeutungen. Es kann als Definition für die Kraft angesehen werden, so wie wir das hier getan haben.

Darüber hinaus kann es als Definition der (trägen) Masse dienen, falls *m=const*. Dann ist die Masse das Verhältnis aus der Kraft F und der durch sie verursachten Beschleunigung a, d.h. $m = F / a$.

Die Masse ist somit ein Maß für den „Widerstand", mit dem ein Körper der *Veränderung* seiner Geschwindigkeit entgegen-wirkt (Trägheit).

Bemerkungen:

1) 2. Newtonsches Axiom ist Bestimmungsgleichung für Bahnkurve.

$$\ddot{\vec{r}} = \vec{a} = \frac{\vec{F}(\vec{r},\dot{\vec{r}},t)}{m}$$ zweimalige Integration ergibt $\vec{r}(t)$

2) Das 2. Newtonsche Axiom beinhaltet 1. Axiom, da im Fall $v = const.$ (und $m=const.$) sofort $F = 0$ folgt.

Hinweis auf Erhaltungsgrößen:

Betrachtung des freien Teilchens

$$\vec{F} = 0 = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$$

1. Konsequenz:

$$m\vec{v} = const.$$

vektorielle Beziehung

Impulserhaltung

2. Konsequenz: Betrachtung in einer Dimension

$$m\ddot{x} = 0$$

Multiplikation mit Geschwindigkeit

$$m\dot{x}\ddot{x} = \frac{1}{2}m\frac{d}{dt}(\dot{x})^2 = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}m\dot{x}^2\right) = 0$$

$$\frac{1}{2}m\dot{x}^2 = const.$$

kinetische Energie

Energieerhaltung

2. Newtonsches Axiom

m=const.

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \boxed{= m\,\vec{a} = m\,\dot{\vec{v}} = m\,\ddot{\vec{r}}}$$

Definition der Masse: m = „Widerstand eines Körpers gegenüber einer Geschwindigkeits*änderung*“

$$F = m_1 a_1$$
$$F = m_2 a_2$$

$$\Rightarrow \quad \frac{m_2}{m_1} = \frac{a_1}{a_2}$$

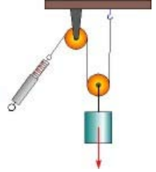
Relative Messung von Massen durch Vergleich der relativen Beschleunigungen.

Vorsicht: Masse ≠ Gewicht = Gewichtskraft!!

Masse ist eine skalare Größe,

Gewicht ist eine vektorielle Größe!

Die Masse ist unabhängig davon, wo sich ein Körper befindet, im Gegensatz zur Gewichtskraft.



2. Newtonsches Axiom

<u>Gewichtskraft:</u> Nahe der Erdoberfläche fallen alle Körper gleich schnell mit der Erdbeschleunigung g .
g hängt auf der Erde vom Ort ab, im Mittel ist $g = 9.81\mathrm{m/s}^2$.

Nur am *selben* Ort gilt daher: g=const.
Gewichtskraft $\propto$ (schwere) Masse $\Rightarrow$ Messung von Massen durch Gewichtskräfte!

äquivalente Verwendung der Begriffe!

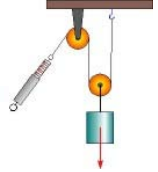
auf dem Mond gilt jedoch:

$$g_{\mathrm{Mond}} \approx \frac{1}{6} g_{\mathrm{Erde}}$$

m=const.

Die Ausrüstung des Astronauten ist leichter auf dem Mond.
ABER: Sie ist nicht leichter zu beschleunigen!

2. Newtonsches Axiom: Urkilogramm



Deutsches Normal:

Bei der PTB in Braunschweig

Masse: $m(Pt_{9.0}Ir_{1.0})$ = 1.00... kg

Höhe Zylinder: h = 39.0 mm

Durchmesser: d = 39.0 mm

Dichte: 21.5 g/cm^3

Wird alle 10 Jahre mit dem Pariser Urkilogramm verglichen !!!

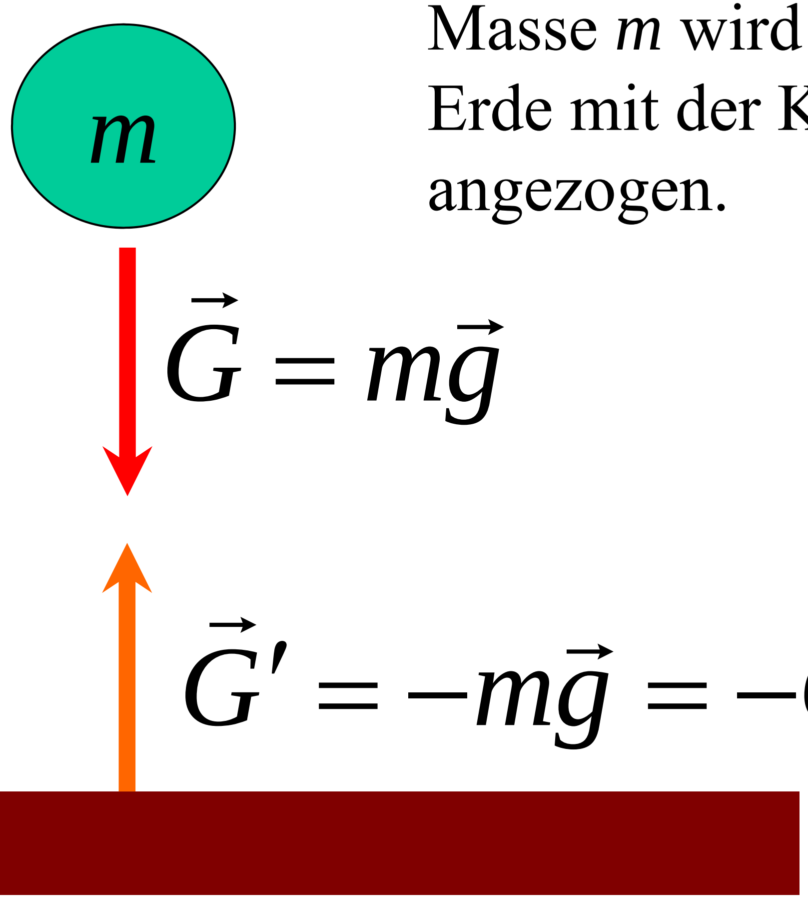
Ziel: Zurückführung auf „bessere" Größen.

3. Newtonsches Axiom:

„Kräfte treten immer in Paaren auf.“

<u>Beispiel:</u> Freier Fall auf der Erdoberfläche

Masse *m* wird von der Erde mit der Kraft $\vec{G} = m\vec{g}$ angezogen.



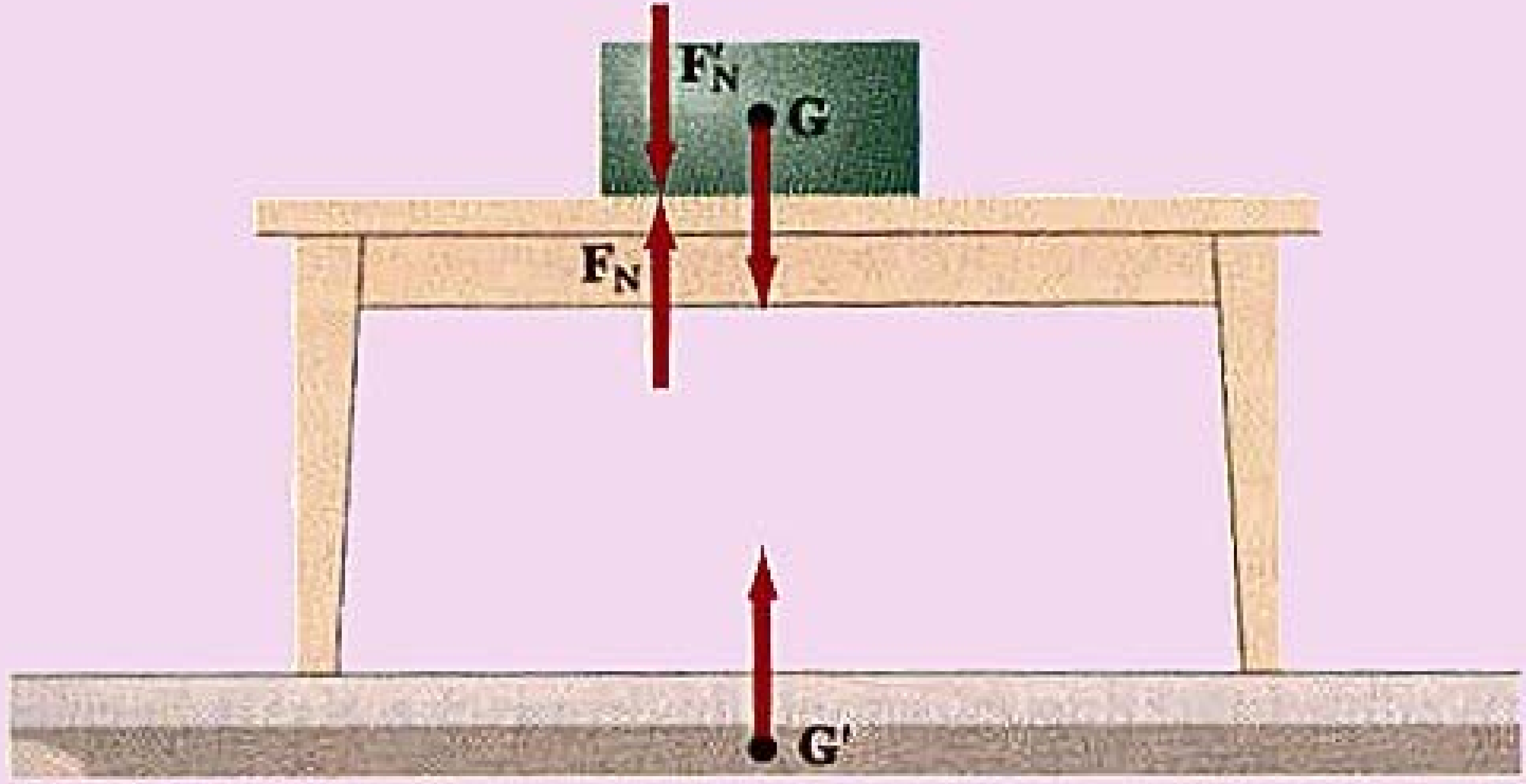
$$\vec{G} = m\vec{g}$$

Die Erde wird von der Masse *m* mit der Kraft $\vec{G}' = -m\vec{g}$ angezogen.

$$\vec{G}' = -m\vec{g} = -\vec{G}$$

3. Newtonsches Axiom:

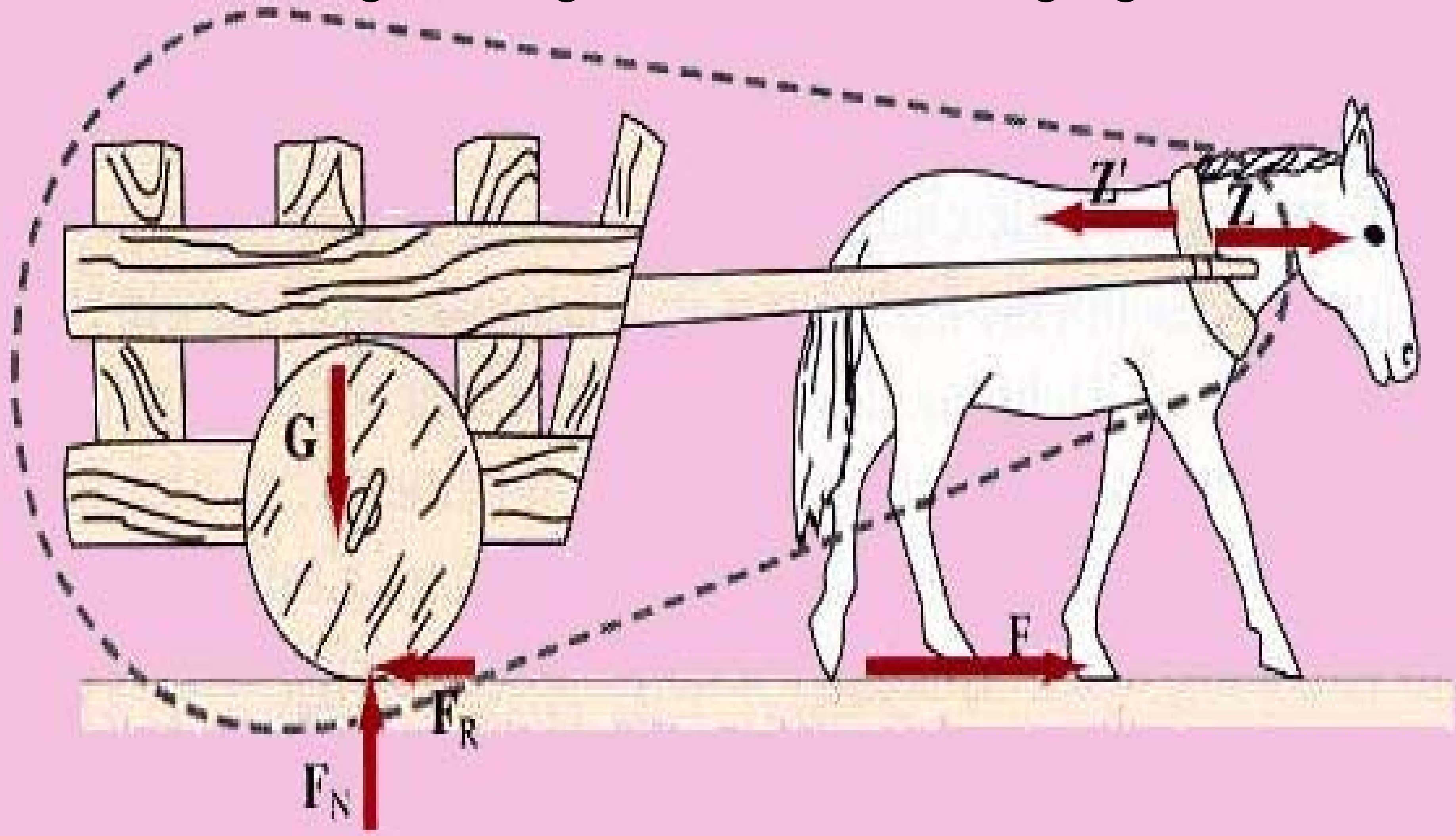
Kraft & „Gegenkraft“ greifen an *unterschiedlichen* Körpern an !!



3. Newtonsches Axiom:

Pferdelogik:

Das Pferd denkt: „Es gilt sowieso *actio=reactio*, d.h. wenn ich mich anfange zu bewegen, dann entsteht sofort eine gleich große Gegenkraft, die die Bewegung verhindert!“



Kräfte - Übersicht über die verschiedenen Arten von Kräften

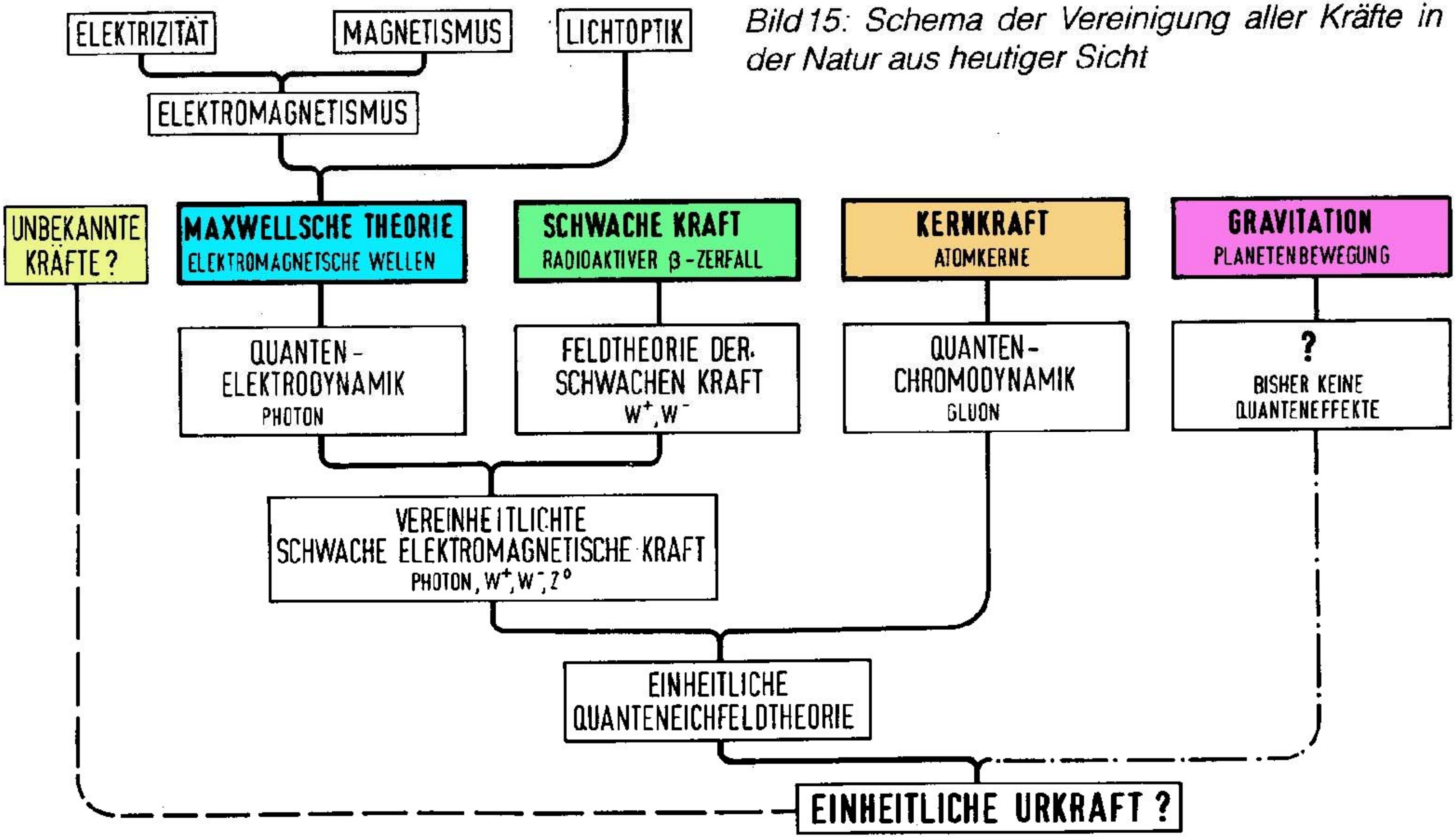


Bild 15: Schema der Vereinigung aller Kräfte in der Natur aus heutiger Sicht