

Vorlesung 1

Karim Kouz

WS 2016/2017: Grundlagen der medizinischen Biophysik

(I) Physikalische Größen und Einheiten

Karim Kouz

WS 2016/2017: Grundlagen der medizinischen Biophysik

Physikalische GröÙe

- Sie wird durch ihre Messvorschrift definiert und oft mit einem bestimmten (jedoch nicht immer gleichen) Formelzeichen abgekürzt, z.B.:

Physikalische GröÙe	Formelzeichen	MaÙeinheit
Länge	l, L, h, \dots	m, cm, km, ...

- Physikalische GröÙe = Zahlenwert · MaÙeinheit*
- Beispiel: $l = 100 \cdot \text{m} = 100 \text{ m}$

Das Multiplikationszeichen zwischen Zahlenwert und Einheit kann, muss aber nicht mit aufgeschrieben werden.

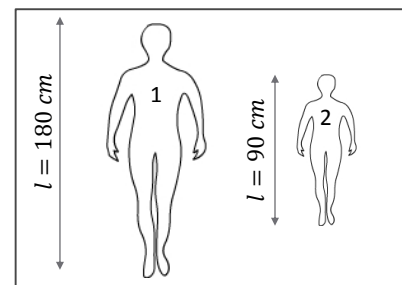
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

3

Physikalische Einheit (MaÙeinheit)

- Sie ist eine festgelegte GröÙe, die als VergleichsmaÙ zwischen physikalischen GröÙen gleicher Art dient
- Die MaÙeinheiten werden oft mit bestimmten Formelzeichen abgekürzt
- Damit zwei physikalische GröÙen vom Betrag her miteinander verglichen werden können, müssen sie die gleiche MaÙeinheit besitzen

Im Gegensatz zu physikalischen GröÙen haben physikalische Einheiten streng geregelte Bezeichnungen. Der Meter darf z.B. nur mit „m“ abgekürzt werden.



Person 1 ist doppelt so groß wie Person 2

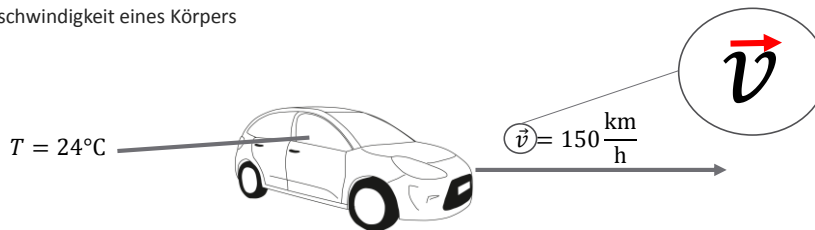
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

4

Quelle: verändert nach <http://bilder.fba.at/inspiration/figuren/>

Skalar vs. Vektor

- Skalar (nicht gerichtete Größe) vs. Vektor (gerichtete Größe)
- Skalar:
 - Die physikalische Größe ist nur durch ihren **Betrag** bestimmt
 - Beispiel: Temperatur eines Körpers
- Vektor:
 - Die physikalische Größe ist durch ihren **Betrag** und ihre **Richtung** bestimmt, sodass neben dem Betrag auch immer ihre Richtung angegeben werden muss
 - Beispiel: Geschwindigkeit eines Körpers



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Verändert nach <http://www.vde.com/de/Ausschuesse/Bilitzschutz/vorblattenschuetzen/Seiten/ImStrassenverkehr.aspx>

5

Basisgrößen und Basiseinheiten

- Basisgrößen: Rein willkürlich ausgewählte Größen, mit denen man alle anderen Größen ausdrücken kann
- Basiseinheiten: Die Maßeinheiten der Basisgrößen
- Die Basisgrößen mit ihren Basiseinheiten sind durch das „Internationale Einheitensystem“ (SI) festgelegt

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

6

Internationales Einheitensystem

Name der Basisgröße	Häufig verwendetes Zeichen	Name der Basiseinheit	Obligatorisches Zeichen der Basiseinheit
Länge	l	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	I	Ampere	A
Thermodynamische Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I	Candela	cd

Bereits hier ist zu sehen, dass sich die häufig verwendeten Zeichen für eine Basisgröße überlappen (Elektrische Stromstärke und Lichtstärke). Daher ist es unerlässlich, immer eine Maßeinheit mit anzugeben, um klar zu sehen, um was für eine physikalische Größe es sich handelt.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

7

Abgeleitete Größen und Einheiten

- Ausgehend von den Basisgrößen und deren Basiseinheiten kann man alle anderen physikalischen Größen ausdrücken
- Beispiel: Die Geschwindigkeit v eines Körpers lässt sich durch die beiden Basisgrößen Länge (zurückgelegte Strecke) und Zeit (benötigte Zeit für die zurückgelegte Strecke) ausdrücken:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Tab. 4.2. Nervenfaserklassifikation

Fasertyp	Funktion	Durchmesser	Leitungsgeschwindigkeit (m s ⁻¹)
Erlanger/Gasser			
Aα	Primäre Muskelspindelafferenzen, motorisch zu Skelettmuskeln	15 µm	100 (70–120)
Aβ	Hautafferenzen Berührung/Druck	8 µm	50 (30–70)
Aγ	Motorisch zu Muskelspindeln	5 µm	20 (15–30)
Aδ	Hautafferenzen Temperatur/Schmerz	< 3 µm	15 (12–30)
B	Sympathisch präganglionär	3 µm	7 (5–15)
C	Sympathisch postganglionär	1 µm	1 (0,5–2)
Lloyd/Hunt			
I	Primäre Muskelspindelafferenzen, Golgi-Sehnenorganafferenzen	13 µm	75 (70–120)
II	Mechanorezeptoren der Haut	9 µm	55 (25–70)
III	Tiefe Drucksensibilität des Muskels	3 µm	11 (10–25)
IV	Marklose nozizeptive Fasern	< 1 µm	1

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: verändert nach Schmidt, Lang: Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie. Springer-Verlag

8

Andere Maßeinheiten

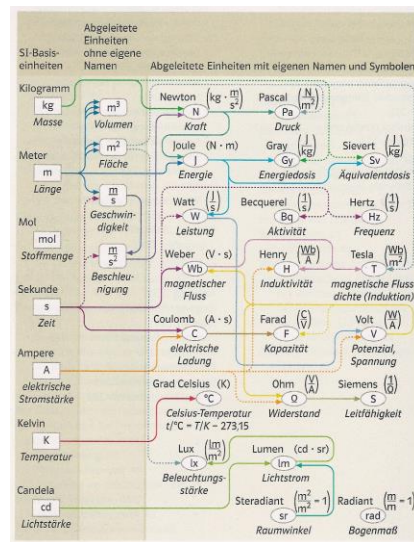
- Viele Maßeinheiten von physikalischen Größen fasst man zur besseren Übersicht zu einer neuen Maßeinheit zusammen
- Beispiele:

Maßeinheit	Herleitung aus Basiseinheit
Newton (N)	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$
Joule (J)	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Watt (W)	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$
Pascal (Pa)	$\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$
Ohm (Ω)	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^3}$

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

9

Weitere Maßeinheiten



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Impulse Physik 11/12 Niederstien Gb. W. Bredt, K. G. Bunt, Ernst Klett Verlag, 1. Auflage

10

Änderung einer Größe

- Größenänderungen werden in der Regel mit dem griechischen Formelzeichen „ Δ “ (Delta) abgekürzt
- Dabei wird die Änderung immer so gebildet, dass von dem späteren Wert der frühere Wert abgezogen wird
- Bei Größenzunahme ist die Änderung positiv, bei Größenabnahme ist die Änderung negativ



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Pappe, Klinker, Silbermann: Physiologie, Georg Thieme Verlag

11

Vorsätze

- Dezimale Vielfache oder Teile, die in Verbindung mit Maßeinheiten dazu dienen, sehr große bzw. sehr kleine Werte in einer übersichtlicheren Schreibweise darzustellen
- Beispiel: 0,000000000001 m = 1 pm

Einige Vorsatzzeichen werden klein geschrieben, andere jedoch groß.

Name des Vorsatzes	Zeichen des Vorsatzes	Faktor
Exa	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	k	10^3
Hekto	h	10^2
Deka	da	10
Dezi	d	10^{-1}
Zenti	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Mikro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Piko	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

12

Einheiten umrechnen – Lösungsstrategien

- Einheiten lassen sich sehr leicht durch eine Kette von Faktoren ineinander umrechnen, indem Umrechnungsfaktoren verwendet werden
- Ein Umrechnungsfaktor ist ein Quotient – bestehend aus Maßeinheiten – der gleich 1 ist, wie:

$$\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 1, \text{ da } 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

13

Einheiten umrechnen – Lösungsstrategien

- Beispiel: 5 Minuten in Sekunden umrechnen

$$5 \text{ min} = (5 \cancel{\text{ min}}) \cdot \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \cancel{\text{ min}}} \right) = 300 \text{ s}$$

Der Umrechnungsfaktor ist so zu wählen, dass die Einheit, die man am Ende erhalten möchte, im Zähler steht.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

14

Einheiten umrechnen – Lösungsstrategien

- Beispiel: 12 Stunden in Millisekunden

$$12 \text{ h} = (12 \text{ h}) \cdot \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) \cdot \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) \cdot \left(\frac{1000 \text{ ms}}{1 \text{ s}} \right) = 43200000 \text{ ms}$$

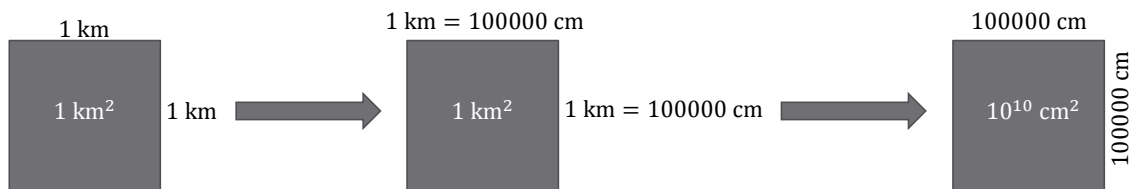
Auch Zwischenrechen Schritte können in Form von Umrechnungsfaktoren geschrieben werden.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

15

Flächen- und Volumeneinheiten

- Mit Hilfe eines einfachen Tricks lassen sich Flächen- und Volumeneinheiten leicht umrechnen
- Beispiel: $1 \text{ km}^2 = ? \text{ cm}^2$



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

16

(II) Mechanik 1: Kinematik

17

Kinematik

- Beschäftigt sich mit der Beschreibung von Bewegungen
- Bewegungen sind immer relativ, d.h., ob ein Körper steht oder nicht, hängt von der Betrachtungsweise bzw. dem gewählten Bezugssystem ab
- Daher ist es immer wichtig, bei der Betrachtung von kinematischen Prozessen vorher das Bezugssystem festzulegen
- Bezugssystem: Gesamtheit von willkürlich ausgewählten Körpern
 - die sich im Vergleich zueinander nicht bewegen
 - zu denen die Bewegung des untersuchten Körpers beschrieben wird

18

Bezugssystem

- Beispiel:
 - Ob sich ein Auto auf einen am Straßenrand stehenden Menschen nähert oder nicht, hängt vom Bezugssystem ab
 - Wird der Mensch als Bezugssystem betrachtet, so bewegt sich das Auto relativ auf diesen zu
 - Wird das Auto mit dem Fahrer als Bezugssystem betrachtet, so bewegt sich der am Straßenrand stehende Mensch relativ auf Auto und Fahrer zu



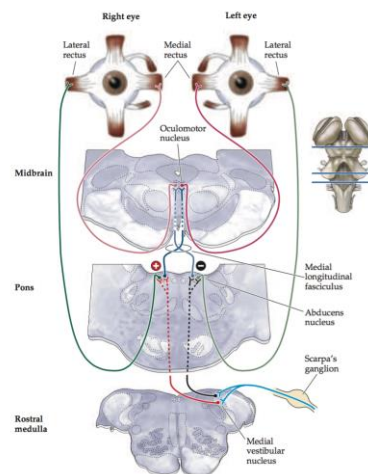
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: <http://www.fotocommunity.de/pc/jc/j6/wlavy2749116>

19

Bezugssysteme in der Physiologie

- Bezugssysteme spielen auch in der Physiologie eine Rolle
- Der vestibulookuläre Reflex (VOR) dient der Blickstabilisierung bei Bewegungen des Kopfes und wird nur ausgelöst, wenn sich der Kopf und somit die im Ohr lokalisierten Gleichgewichtsorgane bewegen
- Bewegt sich dahingegen das beobachtete Objekt und der Beobachter ruht, wird der VOR nicht ausgelöst



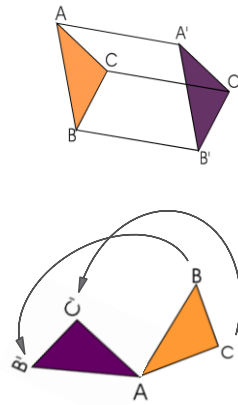
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Bear, Neurosciences, Third Edition

20

Translation und Rotation

- Jede beliebige Bewegung eines Körpers (idealisierter, nicht verformbarer Körper) kann mit Hilfe von Translations- und Rotationsbewegungen beschrieben werden
- Translationsbewegung:
 - Entspricht einer Verschiebung
 - Alle Punkte des bewegten Körpers liegen auf zueinander parallelen Geraden
- Rotationsbewegung:
 - Entspricht einer Drehbewegung
 - Alle Punkte des bewegten Körpers liegen auf konzentrischen Kreisen um eine feststehende Achse oder einen feststehenden Punkt



Quelle: Verändert nach: <http://d3.nat.uni-bayreuth.de/studium/kemina/physikmed1/Anleitung/Abb.htm>

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

21

Gleichförmig geradlinige Bewegung

- Eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit
- Die Geschwindigkeit (v) des sich bewegenden Körpers lässt sich als Quotient der zurückgelegten Wegstrecke (Δs) und der dafür benötigten Zeit (Δt) ausdrücken:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Die Geschwindigkeit ist eigentlich eine vektorielle Größe. Im Weiteren wird sie aber der Einfachheit halber als Skalar behandelt.

- Die Weg-Zeit-Funktion lautet: $s(t) = v \cdot t$
- Kennzeichen der gleichförmig geradlinigen Bewegung:
 - In gleichen Zeitabständen werden gleiche Wegstrecken in gleicher Richtung zurückgelegt (die zurückgelegte Wegstrecke wächst linear mit der Zeit)

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

22

Bewegungen mit unterschiedlicher Richtung

- Bei Bewegungen spielt auch die Richtung der Bewegung eine Rolle (Geschwindigkeit als vektorielle Größe)
- Bei Bewegung in positiver Richtung ist die Geschwindigkeit positiv
- Bei Bewegung in umgekehrter Richtung ist die Geschwindigkeit negativ
- Das allgemeine Weg-Zeit-Gesetz einer gleichförmig geradlinigen Bewegung lautet:

$$s(t) = s_0 + v \cdot t$$



$$\left. \begin{array}{l} \bullet \Delta s = s_2 - s_1 \longrightarrow \Delta s > 0 \\ \bullet t_2 > t_1 \longrightarrow \Delta t > 0 \end{array} \right\} v > 0$$



$$\left. \begin{array}{l} \bullet \Delta s = s_1 - s_2 \longrightarrow \Delta s < 0 \\ \bullet t_2 > t_1 \longrightarrow \Delta t > 0 \end{array} \right\} v < 0$$

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

23

Beschleunigung

- Die Beschleunigung a ist der Quotient aus Geschwindigkeitsänderung und der zugehörigen Zeitspanne:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

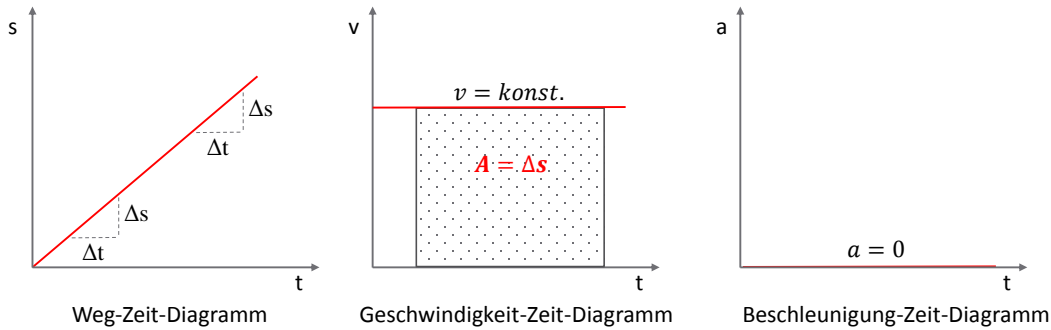
Die Beschleunigung ist eine vektorielle Größe.

- Die Beschleunigung beschreibt also, wie schnell sich die Geschwindigkeit ändert
- Eine Bewegung, bei der die Beschleunigung konstant ist, heißt gleichförmig beschleunigte geradlinige Bewegung
- Die Beschleunigung hat ein Vorzeichen:
 - $a > 0$: Die Geschwindigkeit wächst
 - $a < 0$: Die Geschwindigkeit nimmt ab

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

24

Gleichförmig geradlinige Bewegung



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Karim Kouz (August 2014)

25

Gleichförmig beschleunigte geradlinige Bewegung

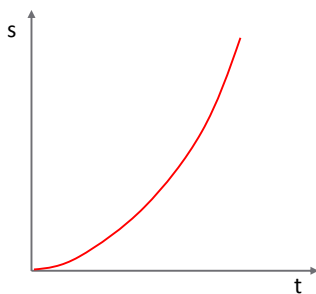
- Eine Bewegung, bei der die Beschleunigung konstant ist
- Die allgemeinen Bewegungsgesetze dieses Bewegungstyps lauten:
 - Weg-Zeit-Gesetz: $s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t$
 - Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz: $v(t) = a \cdot t + v_0$
- Kennzeichen der gleichförmig beschleunigten geradlinigen Bewegung:
 - Der Weg s ist proportional zum Quadrat der Zeit (t^2) und die Geschwindigkeit v ist proportional zur Zeit (t)

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

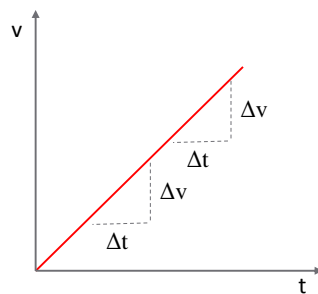
26

Gleichförmig beschleunigte geradlinige Bewegung

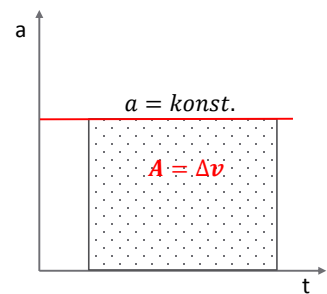
- Unterschied zur gleichförmig geradlinigen Bewegung: Die Geschwindigkeit ist nicht konstant, sondern ändert sich mit der Zeit linear
- Beispiel: Autofahrer, der aus dem Stand losfährt und dabei so Gas gibt, dass die Geschwindigkeit linear zunimmt



Weg-Zeit-Diagramm



Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm



Beschleunigung-Zeit-Diagramm

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Karim Kouz (August 2014)

27

Gleichförmig beschleunigte geradlinige Bewegung

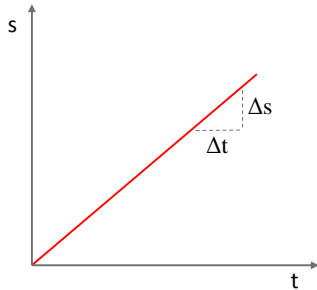
- Sowohl der zurückgelegte Weg als auch die Geschwindigkeit sind Funktionen des Parameters t (Zeit)
- Die Geschwindigkeit v , die ein Körper erreicht, wenn er den Weg s mit konstanter Beschleunigung a durchläuft, berechnet sich wie folgt:

$$\left. \begin{aligned} v &= a \cdot t \\ s &= \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \end{aligned} \right\} v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$$

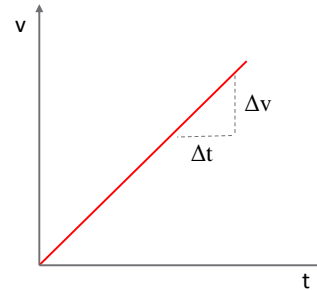
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

28

Geschwindigkeit und Beschleunigung



Die Geschwindigkeit ist die erste Ableitung der Weg-Zeit-Funktion $s(t)$.



Die Beschleunigung ist die erste Ableitung der Geschwindigkeit-Zeit-Funktion $v(t)$.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Karim Kouz (September 2013)

29

Übung

- Ein Schlitten hat vom Start an die gleichbleibende Beschleunigung von $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Berechnen Sie:
 - Seine Geschwindigkeit 5 Sekunden nach dem Start
 - Den bis zu diesem Zeitpunkt zurückgelegten Weg
 - Den zurückgelegten Weg, wenn seine Geschwindigkeit auf 20 m/s angewachsen ist

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

30

Übung

- Ein Schlitten hat vom Start an die gleichbleibende Beschleunigung von $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Berechnen Sie:
 - Seine Geschwindigkeit 5 Sekunden nach dem Start
 - Den bis zu diesem Zeitpunkt zurückgelegten Weg
 - Den zurückgelegten Weg, wenn seine Geschwindigkeit auf 20 m/s angewachsen ist
- Lösung:
 - Gegeben sind folgende Werte: $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $t = 5 \text{ s}$, $v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 - Gesucht sind folgende Werte: v , s_5 , s_{20}
 - Lösungsformel: $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$, $v = a \cdot t$, $v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$
 - Umstellen nach der gesuchten Größe und einsetzen der Werte mit den richtigen Einheiten:
 - $v = a \cdot t = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5 \text{ s} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 - $s_5 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5 \text{ s})^2 = 25 \text{ m}$
 - $s_{20} = \frac{v^2}{2 \cdot a} = \frac{\left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 100 \text{ m}$

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

31

Der freie Fall

- Die Fallbewegung eines Körpers im **luftleeren Raum** (kein Luftwiderstand) wird **freier Fall** genannt
- Dabei gilt:
 - Die Fallbewegung findet unter dem ausschließlichen Einfluss der Schwerkraft statt
 - Alle Körper fallen im luftleeren Raum gleich schnell, unabhängig von ihrer Form, Dichte oder Masse
 - Die Bewegung ist eine gleichförmig beschleunigte Bewegung
 - Für alle Körper am gleichen Ort ist die Beschleunigung gleich groß und wird auch Fall- oder Erdbeschleunigung g genannt, wobei im Mittel $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ist

$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ bedeutet, dass im freien Fall die Geschwindigkeit jede Sekunde um $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ zunimmt.



20.1 Fallröhre: Im Schwere- oder Gravitationsfeld der Erde fallen alle Körper „gleich schnell“.

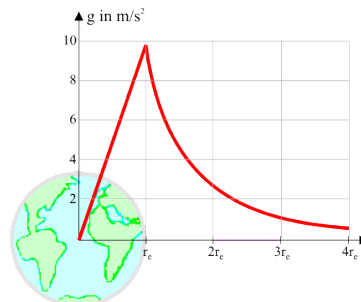
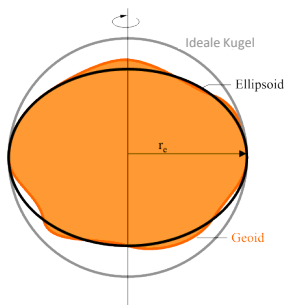
Quelle: Metzler Physik, J. Gern, J. Krause, Schroedel-Verlag, 4. Auflage

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

32

Die Erdbeschleunigung

- Der Betrag der Erdbeschleunigung ist ortsabhängig
- Die Ortsabhängigkeit beruht u.a. auf:
 - Dem Abstand zum Erdmittelpunkt
 - Der Drehung der Erde um die eigene Achse
 - Der inhomogenen Massenverteilung



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Verändert nach <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/gravitationsgesetz-und-feld/erdbeschleunigung>

33

Bewegungsgesetze beim freien Fall

- Für den freien Fall gelten folgende Bewegungsgesetze:

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

$$v = g \cdot t$$

$$a = g$$

- Der Zusammenhang zwischen Endgeschwindigkeit v und Fallweg s lässt sich wie folgt beschreiben:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot s}$$

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

34

Übung

- Ein Körper fällt aus einer Höhe von 130 m frei (ohne Luftwiderstand) herab. Berechnen Sie die Fallstrecke nach 2 bzw. 4 Sekunden. Bestimmen Sie, nach welcher Zeit und mit welcher Geschwindigkeit er auf den Boden trifft.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

35

Übung

- Ein Körper fällt aus einer Höhe von 130 m frei (ohne Luftwiderstand) herab. Berechnen Sie die Fallstrecke nach 2 bzw. 4 Sekunden. Bestimmen Sie, nach welcher Zeit und mit welcher Geschwindigkeit er auf den Boden trifft.
- Lösung:
 - Gegeben sind folgende Werte: $h = 130 \text{ m}$, $t_1 = 2 \text{ s}$, $t_2 = 4 \text{ s}$
 - Gesucht sind folgende Werte: s_1, s_2, t, v
 - Lösungsformel: $s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$, $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot s}$, $v = g \cdot t$
 - Umstellen nach der gesuchten Größe und einsetzen der Werte mit den richtigen Einheiten:
 - $s_1 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (2 \text{ s})^2 = 19,62 \text{ m}$ $s_2 = 78,48 \text{ m}$
 - $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot s} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 130 \text{ m}} = 50,50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 - $t = \frac{v}{g} = \frac{50,50 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5,15 \text{ s}$

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

36

Kreisbewegung

- Ein Teilchen, das sich auf einem Kreis oder einem Kreisbogen bewegt, führt eine Kreisbewegung aus
- Die Bewegung ist eine Translationsbewegung und keine Drehung



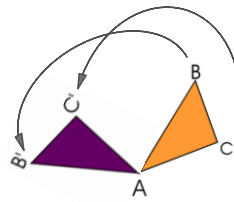
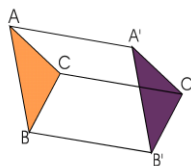
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: <http://www.mz-web.de/sport/hammerwurf-en-hedder-reith-selbstbewusst-ins-finale-ein-20641306,21281080.html>

37

Rotation vs. Kreisbewegung

- Eine Kreisbewegung ist eine Translationsbewegung
- Rotationsbewegung = Drehbewegung:
 - Punkte führen Kreisbewegung auf konzentrischen Kreisen/Kugeln durch
 - Alle Größen der Kreisbewegung können auch für die Rotationsbewegung genutzt werden, werden jedoch zum Teil anders bezeichnet (z.B. Frequenz = Drehfrequenz/Drehzahl)



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: verändert nach: <http://de.m.wikipedia.org/wiki/Kreisbewegung#/media:Kreisbewegung.jpg>

38

Exkurs: Bogenmaß

- Bogenmaß: Quotient aus dem Kreisbogen Δs , der zum Winkel $\Delta\varphi$ gehört und dem Radius r

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{r}$$

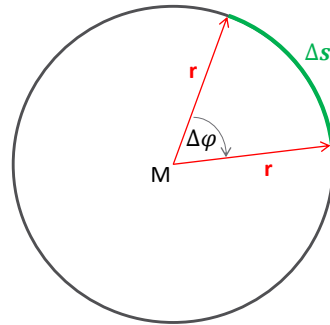
- Beispiel: Für 90° ist der Winkel in Bogenmaß

$$\Delta\varphi = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{4 \cdot r} = \frac{1}{2} \cdot \pi$$

Erklärung zur Rechnung:

$2 \cdot \pi \cdot r$: Umfang des Kreises

4: Es wird durch 4 geteilt, da 90° genau $\frac{1}{4}$ Kreis ist



Quelle: Karim Kouz (August 2014)

39

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Periodenzeit und Frequenz

- Periodenzeit = Umlaufzeit:
 - Die Zeit, die ein Massepunkt bei einer gleichförmigen Kreisbewegung benötigt, einen vollen Umlauf auf der Kreisbahn zurückzulegen
 - Quotient aus der Zeit t von n Umläufen und der Anzahl der Umläufe n :

$$T = \frac{t}{n} \text{ [s]}$$

- Frequenz: Anzahl der Umläufe pro Zeiteinheit:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{n}{t} \left[\frac{1}{s} = \text{Hz} \right]$$

Beispiel: Eine Periodenzeit von 5 s bedeutet, dass ein Teilchen 5 s benötigt, die beschriebene Kreisbahn einmal komplett zu umlaufen. Eine Frequenz von 5 Hz bedeutet, dass das Teilchen die Kreisbahn 5 mal pro Sekunde komplett umläuft.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

40

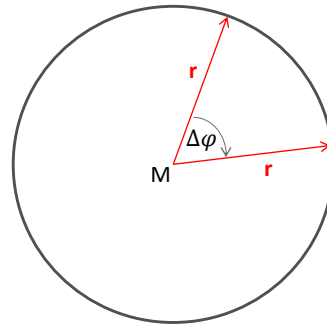
Winkelgeschwindigkeit (Kreisfrequenz)

- Quotient aus dem vom Radiusvektor r überstrichenen Winkel $\Delta\varphi$ und der dafür benötigten Zeit Δt :

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f \left[\frac{1}{s} \right]$$

- Beachte: Der Winkel $\Delta\varphi$ wird nicht in Grad, sondern in Bogenmaß gemessen

Die Einheit der Winkelgeschwindigkeit ist $\frac{1}{s}$ und nicht $\frac{m}{s}$.



Quelle: Karim Kouz (August 2014)

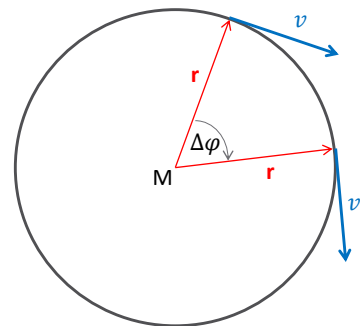
41

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Gleichförmige Kreisbewegung

- Kreisbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit (Umlaufzeit, Frequenz)
- Beachte:
 - Die Richtung der Geschwindigkeit ändert sich ständig
 - Der Betrag der Geschwindigkeit ist konstant
 - Der Geschwindigkeitsvektor ist durch eine Tangente, ausgehend von dem Massenpunkt an die Kreisbahn, darstellbar
- Der zurückgelegte Winkel lässt sich wie folgt berechnen und wächst mit der Zeit linear:

$$\varphi = \omega \cdot t$$



Quelle: Karim Kouz (August 2015)

42

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Bahngeschwindigkeit

- Die Bahngeschwindigkeit beschreibt, wie schnell sich das Teilchen auf der Kreisbahn bewegt:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{r \cdot \Delta \varphi}{\Delta t} = \omega \cdot r \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Zur Erinnerung: $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$



Die Bahngeschwindigkeit hängt sowohl von dem Radius als auch von der Winkelgeschwindigkeit ab.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

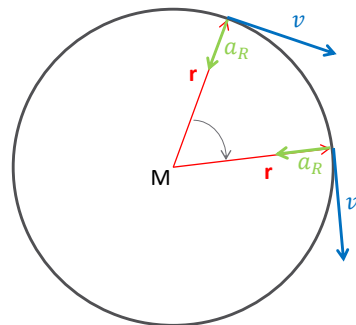
Quelle: <http://www.jhmweirtech.de/2008/08/17/jahrgang-17/>

43

Zentripetalbeschleunigung

- Zentripetalbeschleunigung = Radialbeschleunigung
- Die Beschleunigung, die sich bei einer gleichförmigen Kreisbewegung aus der Richtungsänderung des Geschwindigkeitsvektors ergibt
- Sie ist stets zum Kreismittelpunkt gerichtet und konstant:

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



Quelle: Karim Kouz (August 2014)

44

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Übung

- Berechnen Sie die Winkelgeschwindigkeit und die Zentripetalbeschleunigung eines Punktes auf dem Radkranz ($d = 875 \text{ mm}$) eines ICE, der mit 330 km/h fährt.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

45

Übung

- Berechnen Sie die Winkelgeschwindigkeit und die Zentripetalbeschleunigung eines Punktes auf dem Radkranz ($d = 875 \text{ mm}$) eines ICE, der mit 330 km/h fährt.

- Lösung:

- Gegeben sind folgende Werte: $d = 875 \text{ mm}$, $v = 330 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- Gesucht sind folgende Werte: ω, a_r
- Lösungsformel: $v = \omega \cdot r$, $a_R = \frac{v^2}{r}$,
- Umstellen nach der gesuchten Größe und einsetzen der Werte mit den richtigen Einheiten:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{330 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{\frac{875 \text{ mm}}{2} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}} = 209,52 \frac{1}{\text{s}}$$

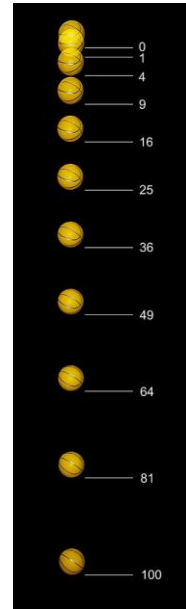
$$a_R = \frac{v^2}{r} = \frac{\left(91,67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0,4375 \text{ m}} = 1,921 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

46

Zusammenfassung Formeln I

- Geschwindigkeit: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
- Beschleunigung: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
- Gleichförmig beschleunigte geradlinige Bewegung:
 - Weg-Zeit-Gesetz: $s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t$
 - Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz: $v(t) = a \cdot t + v_0$
 - Geschwindigkeit: $v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$
- Bewegungsgesetze beim freien Fall:
 - $s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
 - $v = g \cdot t$
 - $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot s}$



Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Freier_Fall

47

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Zusammenfassung Formeln II

- Winkelgeschwindigkeit: $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f$
- Bogenmaß: $\Delta \varphi = \frac{\Delta s}{r}$
- Bahngeschwindigkeit: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{r \cdot \Delta \varphi}{\Delta t} = \omega \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot f$
- Periodenzeit: $T = \frac{t}{n}$
- Frequenz: $f = \frac{1}{T} = \frac{n}{t}$
- Zentripetalbeschleunigung: $a_R = \frac{v^2}{r} = r \cdot \omega^2$

48

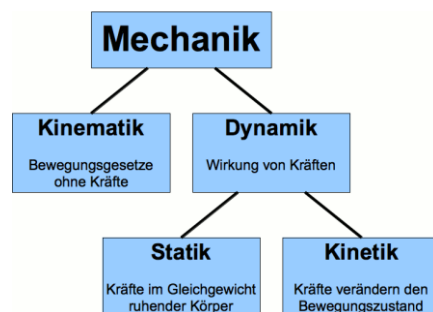
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

(III) Mechanik 2: Dynamik

49

Kinematik vs. Dynamik

- Kinematik: Beschäftigt sich mit Bewegungen von Körpern, ohne die Ursache der Bewegung zu untersuchen
- Dynamik: Beschäftigt sich mit den Ursachen für die unterschiedlichen Bewegungsformen



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kinematik>

50

Beschleunigung und Dynamik

- Ein sich bewegendes Körper kann den Betrag und/oder die Richtung seiner Geschwindigkeit ändern, indem er beschleunigt wird
- Die Beschleunigung wird durch eine Wechselwirkung des Körpers mit seiner Umgebung hervorgerufen (z.B. Anstoßen eines Pucks mit einem Eishockeyschläger)
- Eine Wechselwirkung, die eine Beschleunigung eines Körpers hervorrufen kann, wird Kraft F genannt
- Beschreibung mit Hilfe der Newtonschen Gesetze

Die Newtonsche Mechanik gilt nicht in jeder beliebigen Situation:

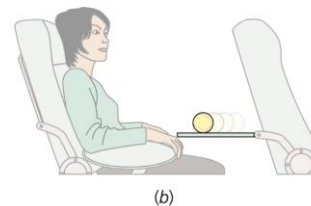
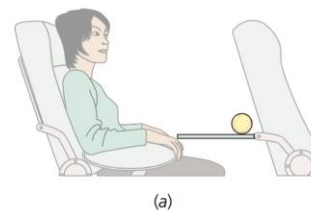
- 1.) Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit – Spezielle Relativitätstheorie
- 2.) Körper in der Größenordnung atomarer Strukturen – Quantenmechanik

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

51

Inertialsystem

- Bezugssysteme, in denen die Newtonschen Axiome Gültigkeit haben
- Beispiel:
 - In einem geradeaus fliegendem Flugzeug wird ein Tennisball auf den Klapptisch gelegt (a), der relativ zum Flugzeug in Ruhe bleibt
 - Beschleunigt der Pilot das Flugzeug relativ zum Boden, rollt der Ball plötzlich in Richtung sitzender Person (b), obwohl keine horizontale Kraft wirkt/zu beobachten ist
- In diesem beschleunigten Bezugssystem hat das 1. Newton'sche Axiom keine Gültigkeit = Nichtinertialsystem
- Ein mit konstanter Geschwindigkeit fliegendes Flugzeug als auch der Erdboden sind in guter Näherung Inertialsysteme



Quelle: Tipler, Paul A., Mosca, Gene, Kommer, Christoph (2013) Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, 7. Aufl., Hg. v. Jerry Walker, Springer Spektrum

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

52

Masse

- Die Masse ist eine Eigenschaft eines Körpers, die durch die Existenz des Körpers automatisch bedingt ist
- Skalare Größe mit der SI-Basiseinheit „kg“
- Masse \neq Dichte \neq **Gewicht**
- Erst physisch spürbar, wenn man probiert, einen Körper zu beschleunigen
- Beispiel:
 - Beim Werfen von Bowlingkugeln unterschiedlicher Masse fällt auf, dass, wenn der Wurf immer gleich stark ausgeführt wird, leichte Kugeln stärker beschleunigt werden als schwere Kugeln
 - Diese Beobachtung ist auf die unterschiedliche Masse der Kugeln zurückzuführen



Quelle: http://www.superbowl.de/bowling_ausstattung.html

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

55

2. Newton'sches Axiom/Dynamisches Grundgesetz

- Die Beschleunigung eines Körpers ist direkt proportional zu der auf ihn wirkenden Gesamtkraft F :

$$F = m \cdot a$$

- Wirken mehrere Kräfte auf einen Körper, so ergibt sich die Gesamtkraft durch vektorielle Addition der Einzelkräfte:

$$F = \sum F_i$$

- Eine Kraft kann eine Beschleunigung (oder eine Verformung) eines Körpers verursachen

Ist die Summe der Einzelkräfte „0“, heißt dies keinesfalls, dass keine Kräfte mehr existieren – der Begriff des Aufhebens der Kräfte ist daher nicht zu gebrauchen.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

56

Kraft (F)

- Die Kraft F entspricht dem Produkt aus der Masse m eines Körpers und seiner unter der Krafteinwirkung eintretenden Beschleunigung a :

$$F = m \cdot a \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = \text{N} \right]$$

Die Kraft ist eine gerichtete Größe und somit ein Vektor.

- Beispiel:
 - Ein Hockeypuck mit der Masse $m = 1 \text{ kg}$ wird auf einer horizontalen reibungsfreien Eisfläche in eine Richtung gezogen mit einer Beschleunigung von $a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 - In diesem Augenblick wird auf den Puck eine Kraft von $F = 1 \text{ N}$ ausgeübt

Gleichgewicht

- Vom Gleichgewicht, in Zusammenhang mit Kraftgesetzen, wird dann gesprochen, wenn gilt:

$$F_{ges} = \sum F = 0$$

- Wenn die Gesamtkraft auf einen Körper „0“ ist, dann ist demzufolge auch seine Beschleunigung „0“ – der Körper befindet sich also in Ruhe oder führt eine gleichförmige Bewegung durch

Übung

- Der unten abgebildete Gegenstand befindet sich auf einem reibungsfreien Untergrund. Auf ihn wirken zwei horizontale Kräfte, wie in der Abbildung angegeben. Wie lauten Betrag und Richtung einer dritten Kraft, für den Fall, dass sich der Block:
 - in Ruhe befindet?
 - mit einer konstanten Geschwindigkeit von $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nach links bewegt?



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Karim Kouz (August 2014)

59

Übung

- Der unten abgebildete Gegenstand befindet sich auf einem reibungsfreien Untergrund. Auf ihn wirken zwei horizontale Kräfte, wie in der Abbildung angegeben. Wie lauten Betrag und Richtung einer dritten Kraft, für den Fall, dass sich der Block:
 - in Ruhe befindet?
 - mit einer konstanten Geschwindigkeit von $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nach links bewegt?



- Lösung:**
 - Damit der Körper sich weiterhin in Ruhe befindet, muss die dritte Kraft horizontal nach links orientiert und 2 N groß sein. Auch im Teil (b) muss die Kraft nach links orientiert und 2 N groß sein, denn nur dann ist die Gesamtkraft „0“ und der Körper bewegt sich mit einer konstanten Geschwindigkeit und in die gleiche Richtung weiter.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

60

Besondere Kräfte und ihre Kraftgesetze

- Kraftgesetz: Mathematischer Zusammenhang, der die zwischen zwei Körpern wirkende Kraft in Abhängigkeit von den Eigenschaften der zwei Körper (z.B. Abstand, relative Geschwindigkeit,...) angibt
- Beispiele besonderer Kräfte:
 - Gravitationskraft
 - Schwerkraft
 - Gewichtskraft
 - Gleitreibungskraft
 - Rückstellkraft
 - Radialkraft

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

61

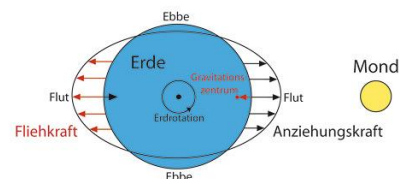
Gravitationskraft

- Das newtonsche Gravitationsgesetz besagt, dass jeder Massepunkt auf jeden anderen Massepunkt mit einer anziehenden Gravitationskraft einwirkt
- Das Gravitationsgesetz gibt die Kraft an, die zwischen zwei Körpern wirkt:

$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

m_1 : Masse von Körper 1
 m_2 : Masse von Körper 2
 r : Abstand der beiden Körper
 γ : Gravitationskonstante

- Die Kraft nimmt also mit wachsendem Abstand quadratisch ab



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: <http://www.apfitt-in-progress.de/we-funktioniert-266.de.html>

62

Schwerkraft (F_S)

- Die Gravitationskraft, die die Erde auf einen Körper mit der Masse m ausübt, wird als Schwerkraft bezeichnet
- Sie ist also ein Sonderfall der Gravitationskraft, da einer der beiden Körper immer die Erde ist:

$$F = \gamma \cdot \frac{m_{\text{Erde}} \cdot m_2}{r^2}$$

- Da die Erdmasse und der Abstand zwischen Körper und Erdmittelpunkt theoretisch konstant sind, kann man die drei Variablen (m_{Erde} , r und γ) zur Erdbeschleunigung g zusammenfassen:

$$F_S = m \cdot g$$

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

63

Gewicht/Gewichtskraft (G)

- Die Kraft, die aufgewendet werden muss, um einen Körper auf der Erde am freien Fall zu hindern (= die Kraft, mit der ein Körper aufgrund der Erdanziehung seine Unterlage/Aufhängung belastet)
- Beispiel:
 - Um einen Ball am freien Fall zu hindern, muss eine vom Betrag gleich große Kraft aufgewendet werden, wie die auf den Ball wirkende Schwerkraft, jedoch in umgekehrter Richtung
 - Wirkt auf den Ball eine Schwerkraft von 3 N, muss eine entgegengesetzte Kraft von 3 N aufgewendet werden, um den Ball am freien Fall zu hindern – das Gewicht G des Balls ist somit 3 N
- Das Gewicht G eines Körpers ist gleich dem Betrag der Schwerkraft, die auf diesen Körper wirkt – für die Beträge gilt im Gleichgewicht:

$$G = F_S = m \cdot g$$

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

64

Gewicht

- Das Gewicht eines Körpers (gemessen in N) entspricht nicht der Masse des Körpers (gemessen in kg)
- Es ist durch den Betrag einer Kraft gegeben und mit der Masse über folgende Gleichung verknüpft:

$$G = m \cdot g \text{ [N]}$$

- Da g nicht an allen Orten gleich groß ist, wird für einen Körper an verschiedenen Orten ein anderes Gewicht gemessen – die Masse als intrinsische Größe des Körpers ändert sich nicht

- Beispiel:

- Ein Mensch mit einer Masse von 70 kg hat auf der Erde ein Gewicht von $G_{\text{Erde}} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 70 \text{ kg} = 686,7 \text{ N}$, auf dem Mond ist das Gewicht jedoch $G_{\text{Mond}} = 1,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 70 \text{ kg} = 119 \text{ N}$ – seine Masse ist auf der Erde und dem Mond $m = 70 \text{ kg}$.

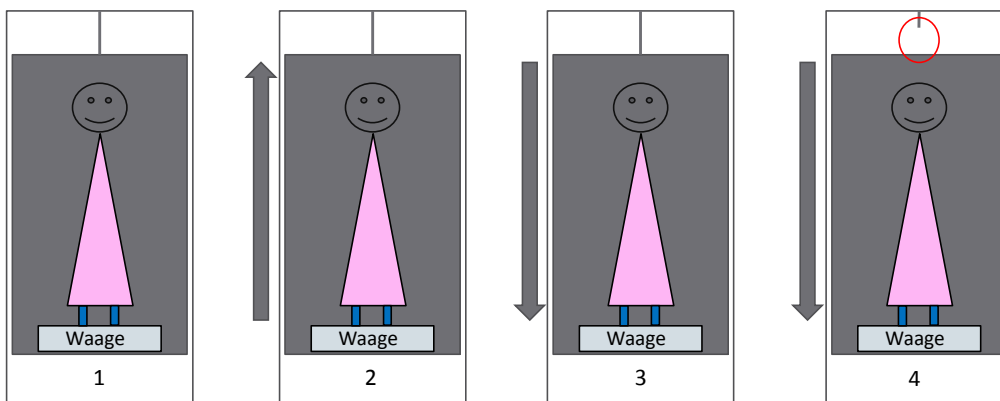
Das Gewicht ist keine innere Eigenschaft eines Körpers.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

65

Gewicht

- Das Gewicht eines Körpers darf nur dann gemessen werden, wenn der Körper nicht senkrecht zum Erdboden beschleunigt wird

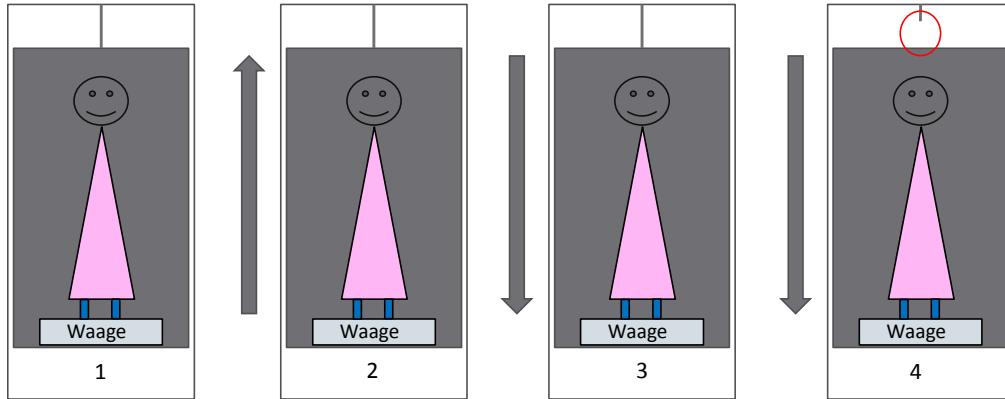


Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Karim Kouz (August 2014)

66

Übung



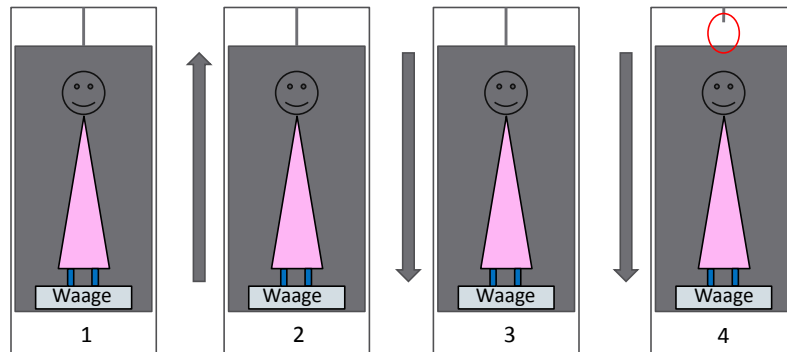
- Die Person auf Waage 1 hat ein Gewicht von 800 N. Was zeigen die Waagen 2-4 für ein Gewicht und was für eine Masse an?
- Wie sind ggf. vorhandene Unterschiede in Masse und Gewicht zu erklären?

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Karim Kouz (August 2014)

67

Übung



- Die Person auf Waage 1 hat ein Gewicht von 800 N. Was zeigen die Waagen 2-4 für ein Gewicht und was für eine Masse an?
- Wie sind ggf. vorhandene Unterschiede in Masse und Gewicht zu erklären?
- Lösung: Nichtinertialsystem!
 - 1) 800 N bzw. 80 kg; 2) größeres Gewicht/Masse; 3) kleineres Gewicht/Masse; 4) 0 N, 0 kg
 - Die Waage zeigt die Masse aufgrund des gemessenen Gewichts an, das durch die Masse und die Beschleunigung gegeben ist. Die Waage ist auf Erdbeschleunigung „geeicht“ = das scheinbare Gewicht wird also von der Waage gemessen

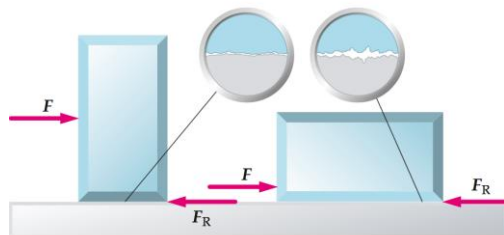
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Karim Kouz (August 2014)

68

Reibung

- Reibung beruht auf der Tatsache, dass Moleküle einer Oberfläche die Oberfläche einer nahe gelegenen weiteren Oberfläche anziehen
- Bei Abständen, die größer als wenige Atomdurchmesser sind, wird diese Anziehungskraft vernachlässigbar
- Die Reibungskraft ist proportional zur mikroskopischen Kontaktfläche



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

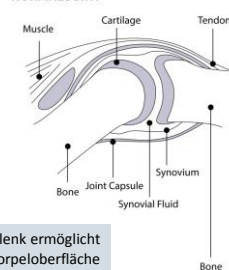
Quelle: Tipler, Paul A., Mosca, Gene: Kommer, Christoph (2013): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, 7. Aufl., Hg. v. Jenny Wagner, Springer Spektrum

69

Reibung in der Medizin

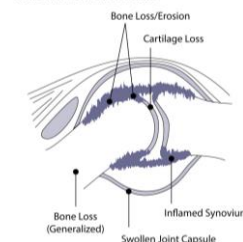
- Haftreibung ist die Kraft, die das Gleiten sich berührender Körper verhindert
- Gleitreibung tritt an den Kontaktflächen zwischen Körpern auf, die sich relativ zueinander bewegen
- Es gilt: Haftreibung > Gleitreibung

NORMAL JOINT



In einem gesunden Gelenk ermöglicht u.a. eine intakte Knorpeloberfläche die nahezu reibungsfreie Bewegung.

JOINT AFFECTED BY RHEUMATOID ARTHRITIS



Die Zerstörung des Gelenkknorpels z.B. im Rahmen der rheumatoiden Arthritis erhöht die Reibung im Gelenk.

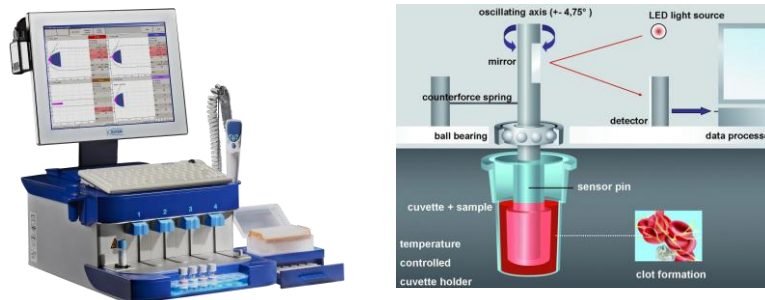
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Interdiscip Toxicol. Sep 2013; 6(3): 111-125. Hyaluronan and synovial joint: function, distribution and healing. Turner Mahmoud Turner

70

Reibung in der Diagnostik

- Die Rotationsthembelastometrie (ROTEM®) ist ein Verfahren, mit dem Gerinnungseigenschaften von Blut innerhalb kurzer Zeit untersucht werden können



Die Blutprobe wird in eine Kuvette gefüllt und ein zylindrischer Stempel wird eingetaucht. Zwischen Stempel und Kuvette bleibt ein 1 mm breiter, mit Blut gefüllter Spalt. Der Stempel wird durch eine elastische Feder nach rechts und links gedreht. Solange keine Gerinnung eintritt, ist die Bewegung des Pins unbeeinflusst. Sobald sich ein Gerinnsel bildet, wird die rotierende Bewegung des Stempels durch das Gerinnsel zunehmend eingeschränkt (Reibung). Die kinetischen Änderungen werden erfasst und lassen Rückschlüsse auf die Blutgerinnung des Patienten zu.

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: www.rotetm.de

71

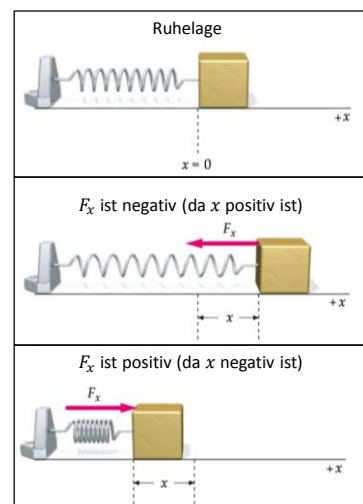
Hookesches Gesetz

- Wird eine Schraubenfeder (oder ein anderer elastischer Körper) gedehnt, so wirkt der Verlängerung eine Kraft entgegen, die Rückstellkraft
- Das Hookesche Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen Rückstellkraft und der Verlängerung der Feder (des Körpers):

$$F = -D \cdot x$$

D: Konstante (Federkonstante) mit der Einheit $\left[\frac{\text{N}}{\text{m}}\right]$
x: Verlängerung

- Das negative Vorzeichen bedeutet, dass die Richtung der Kraft und die Verlängerungsrichtung entgegengesetzt sind



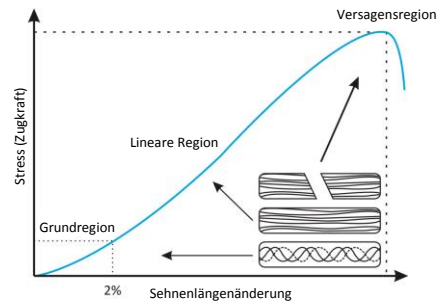
Quelle: verändert nach Tipler, Paul A. Mosca, Gene, Sommer, Christian (2015) Physik, für Wissenschaftler und Ingenieure, 7. Aufl. Hg. v. Anna Wagner, Springer Spektrum

72

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Biomechanik von Sehnen und Bändern

- Das Hookesche Gesetz gilt in bestimmten Bereichen auch für Sehnen und Bänder im menschlichen Körper, sofern diese nicht zu stark belastet werden



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Birch et al. Tendon matrix composition and turnover in relation to functional requirements. http://www.physio-pedia.com/Tendon_Biomechanikdate_jorte_R09_2013-1

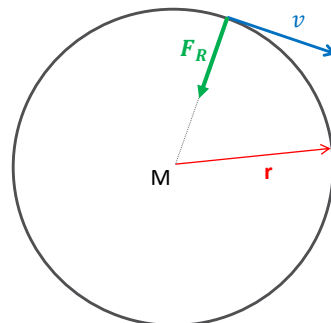
73

Radialkraft/Zentripetalkraft (F_R)

- Die Kraft, die bei einer gleichförmigen Kreisbewegung auf den sich bewegenden Körper wirkt, wird Radialkraft genannt:

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

- Die Radialkraft hält den sich drehenden Körper auf seiner Bahn, indem sie ständig die Richtung seiner Geschwindigkeit, nicht aber den Betrag, verändert
- Sie ist stets zum Kreismittelpunkt und nicht zum Zentrum der Drehung gerichtet



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Karim Kouz (August 2014)

74

Radialkraft/Zentripetalkraft (F_R)

- Radialkraft = Zentripetalkraft
- Die Kraft ändert ständig die Beschleunigung und damit die Richtung und nicht den Betrag der Bahngeschwindigkeit
- Die Zentripetalkraft ist keine neue Kraftart – der Name der Kraft gibt lediglich die Richtung dieser an
- Bei der Kraft kann es sich z.B. um eine:
 - Reibungskraft
 - Gravitationskraft
 - Kraft durch eine Wand oder Schnur handeln

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Verändert nach http://www.focus.de/focus/News/Nett-porsche-cayman-lanza-mit-der-kurve_aid_107810.html

75

Übung – Radialkraft im „Alltag“

- Um was für eine Kraft handelt es sich bei der Zentripetalkraft, die auf (a) das Auto und (b) auf die Insassen wirkt?
- In welche Richtung bewegen sich die Insassen (a), wenn sie angeschnallt sind und (b), wenn sie nicht angeschnallt auf dem Sitz sitzen?
- Wie ist die Bewegungsrichtung der Insassen zu erklären?
- Warum kann gerade bei nasser/vereister Straße ein Auto aus der Kurve geschleudert werden?



Quelle: http://www.t-online.de/auto/technik/id_4685058/autotechnik-so-bekommen-autos-jede-kurve.html

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

76

Übung – Radialkraft im „Alltag“

- Kurve mit einem Auto fahren (plötzliches Abbiegen nach links):
 - Die Insassen im Auto rutschen dabei auf ihrem Sitz nach rechts
 - Die Zentripetalkraft, die das Auto auf der Linkskurve hält, ist eine von der Straße auf die Reifen ausgeübte Reibungskraft
 - Auch auf die Insassen wirkt eine Zentripetalkraft – die Reibungskraft zwischen Sitz und Insassen war jedoch nicht groß genug, sodass der Sitz unter uns wegrutscht und wir nach rechts rutschen
 - Nun sorgt der Druck der Autokarosserie für die notwendige Zentripetalkraft, die uns auf der Kreisbahn hält
 - Der Sicherheitsgurt sorgt dafür, dass wir, trotz unzureichender Reibungskraft, mehr oder weniger an Ort und Stelle gehalten werden
 - Bei nasser/vereister Straße kann das Auto aus der Kurve fliegen, weil die Reibungskraft zwischen Reifen und Straße nicht mehr ausreicht, dieses auf der Bahn zu halten

Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

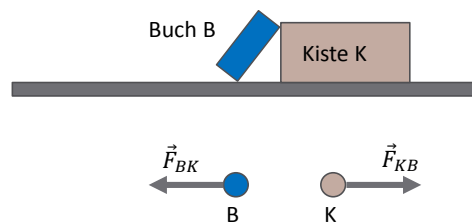
77

3. Newton'sches Axiom/Wechselwirkungsgesetz

- Wenn zwei Körper miteinander wechselwirken, dann besitzen die Kräfte, die die Körper aufeinander ausüben, denselben Betrag, aber die entgegengesetzte Richtung
- Die Kräfte treten immer paarweise auf und werden als Kraft-Gegenkraft-Paar (Aktions-Reaktions-Paar) bezeichnet
- Es gilt daher:

$$\vec{F}_{BK} = -\vec{F}_{KB}$$

Kraft-Gegenkraft-Paare sind immer betragsmäßig gleich und entgegengesetzt gerichtet!



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

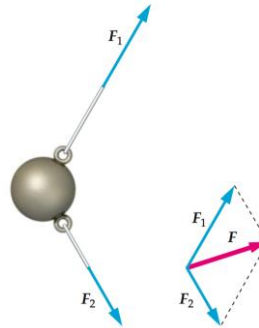
Quelle: in Anlehnung an Physik: Halliday, Resnick, Walker: WILEY-VCH

78

4. Newton'sches Axiom

- Wirken mehrere Kräfte auf einen Körper, so erhält man durch vektorielle Addition die Gesamtkraft/resultierende Kraft
- Bei zwei wirkenden Kräften kann dies vereinfacht mit Hilfe eines Kräfteparallelogramms erfolgen

An der Kugel ziehen zwei Kräfte F_1 und F_2 . Die Wirkung der beiden Kräfte ist dieselbe, wie wenn auf die Kugel anstelle der beiden Kräfte nur eine Kraft F wirken würden.



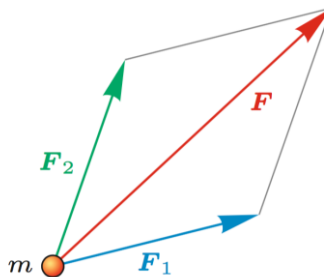
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Verändert nach Tipler, Paul A., Mosca, Gene, Kommer, Christoph (2015): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 7. Aufl. Hg. v. Jimmy Wagner. Springer Spektrum

79

4. Newton'sches Axiom

- Die Richtung einer auf einen Körper wirkenden Kraft stimmt mit der Richtung der Beschleunigung, aber nicht zwingend mit der Bewegungsrichtung des Körpers überein
- Eine einzelne Kraft, die den Betrag und die Richtung der Gesamtkraft besitzt, hat die gleichen Auswirkungen auf den Körper wie alle einzelnen Kräfte zusammen (Superpositionsprinzip)



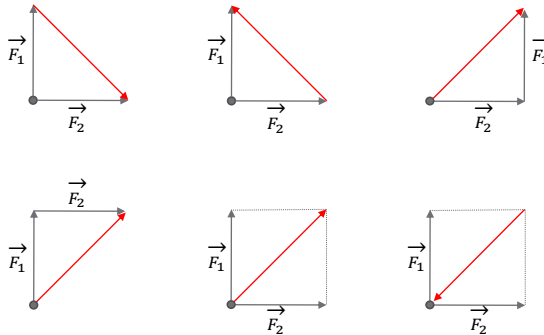
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Bartram, Feuerbacher: Theoretische Physik. Springer Spektrum Verlag

80

Gesamtkraft – Übung

- Welche der folgenden sechs Anordnungen zeigen die korrekte Vektoraddition der Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 zu dem dritten Vektor, der die daraus resultierende Gesamtkraft \vec{F}_{ges} darstellen soll?



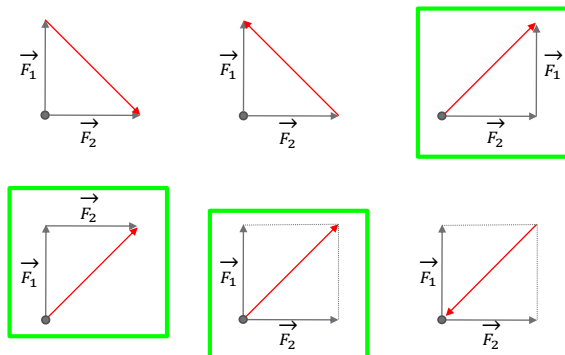
Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Angewandte Physik, Halliday, Resnick, Walker, Wiley-VCH

81

Gesamtkraft – Übung

- Welche der folgenden sechs Anordnungen zeigen die korrekte Vektoraddition der Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 zu dem dritten Vektor, der die daraus resultierende Gesamtkraft \vec{F}_{ges} darstellen soll?



Karim Kouz, Biophysik WS2016/2017

Quelle: Angewandte Physik, Halliday, Resnick, Walker, Wiley-VCH

82