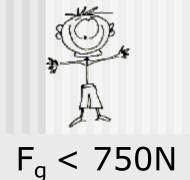
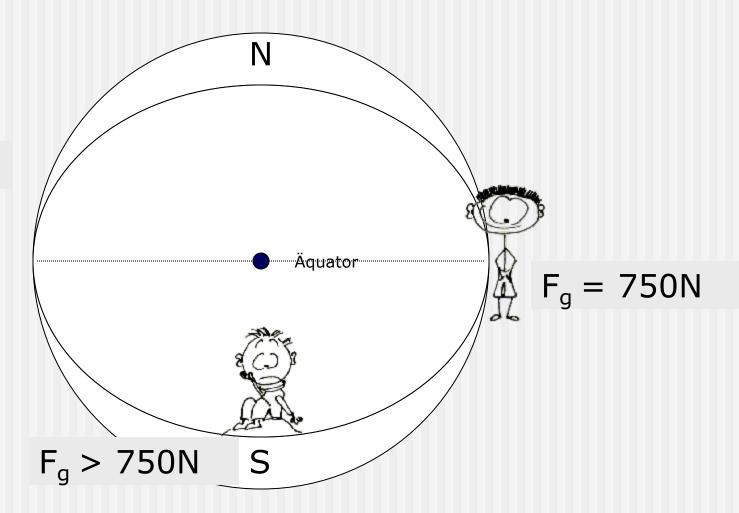
Prinzipien der Biomechanik

2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften

Alle haben die gleiche Masse m=75kg...





... aber alle haben ein unterschiedliches Gewicht!!!!

2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften

2.6.1 Von Masse und Gewicht

Masse

Def.: - skalare Größe, die Stoff- oder Substanzmenge eines Körpers beschreibt

Formelzeichen: **m** Einheit: Kilogramm **kg**

 zwei gleichgroße Kugeln können unterschiedliche Massen besitzen, da Masse von Dichte abhängig

Dichte
$$[\rho] = \frac{\text{Masse } [m]}{\text{Volumen } [V]} = \frac{m}{V} \frac{\text{kg}}{m^3}$$

!Merke! - Masse ist ortsunabhängig; hat überall den selben Wert (egal ob im Weltraum oder auf der Erde)

2.6.1 Von Masse und Gewicht

Gewicht

Def.: Gewicht oder besser Gewichtskraft (als vektorielle Größe) ist diejenige Kraft, mit welcher der Gegenstand infolge der Erdanziehungskraft auf die Oberfläche drückt oder an seinem Aufhängepunkt zieht.

Gewichtskraft [$\mathbf{F_G}$]= Masse [\mathbf{m}] x Erdbeschleunigung [\mathbf{g}] $\mathbf{F_G} = \mathbf{m} \times \mathbf{g} \qquad \qquad \mathbf{1kg} \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}^2} = \mathbf{1N}$

Beispiel

geg.: Körper mit 1 kg Masse; $g = 9.81 \text{m/s}^2$ ges.: Gewichtskraft

$$F_G = m \times g = 1 kg \times 9.81 m/s^2 = 9.81 N \approx 10 N$$

- !Merke! Gewichtskraft ist ortsabhängig da [g] an den Polen größer als am Äquator
 - "Gewicht" oft an Stelle von "Masse" verwendet
- 2. Angewandte Physik/2.6. Dynamik die Lehre von den wirkenden Kräften

2.6.1 Von Masse und Gewicht

Bezug zur Praxis:

- "Gewichtsverlust" im Bewegungsbad führt zur Verringerung der Belastung des Bewegungsapparates
- aber Achtung vor Übungen mit schnellkräftigen Bewegungen
- durch größeren Wasserwiderstand können diese zu Schädigungen führen

Allgemeines: - Dynamik auch Lehre von den Ursachen der Bewegungen

- Bewegungen werden durch Kräfte hervorgerufen
- !aber! Kräfte kann man nicht sehen nur deren Wirkung

Die Wirkung von Kräften erkennt man an:

- Bewegungsänderungen (dynamische Wirkung)
- Deformationen (statische Wirkung)
- statische Zustände (Gleichgewicht; z.B. Tauziehen, wenn gleicher Kraft von A und B)

Das Trägheitsgesetz (1. Newton'sches Gesetz auch 1. Newton Axiom)

Axiom = Satz der nicht noch einmal bewiesen werden muß; Gesetzmäßigkeiten, die Naturgesetzen folgen

Ein Objekt bleibt in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung, solange es nicht durch eine **Kraft** gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.

Die Eigenschaft eines Objektes, seinen Bewegungszustand beizubehalten, bezeichnet man als **Trägheit**.

Aufgabe: Überlegen Sie, welche Auswirkungen ein Auffahrunfall auf den menschlichen Körper hat! Begründen Sie Ihre Aussage mit dem 1. Newton'schen Grundgesetz!

Lösung:

Die Auswirkung der Trägheit macht sich bei Auffahrunfällen durch Beschleunigungsverletzungen bemerkbar.

Da die Bremswirkung nicht direkt auf den menschl. Körper, sondern auf das Fahrzeug einwirkt, ist der Körper des Insassen weiterhin bestrebt, seine gleichförmige Bewegung beizubehalten (1. Newton'sches GG).

Durch das abrupte Abbremsen wird der nicht abgestützte Kopf ruckartig in beide extreme Endstellungen (Flexion und Extension) geschleudert was zu einem dorsalen Stoßtrauma der Zervikalstrukturen führen kann.

Bezug zur Praxis:

- horizontale Beinpresse: Patient liegt in Rückenlage und muss den Schlitten auf dem er liegt mit einer Beinkraft vorwärts und rückwärts bewegen
- Wahrnehmung des Trägheitsgesetzes beim bewussten oder unbewussten abrupten Anhalten bzw. Abschalten des Laufbandes

Man kann unterschiedliche Kräfte benennen:

- Reibungskräfte (z.B. Rollgleitreibung in Gelenken; Haftreibung von Reifen)
- Widerstände (z.B. Luftwiderstand)
- Gewichtskraft
- Trägheitskräfte
- Muskelkraft

Kräfte werden immer in Newton angegeben!

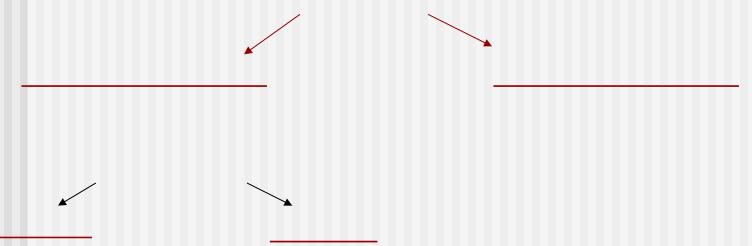
Unterscheidung von Kräften in

Anziehungskräfte

Kontaktkräfte

- einzig bedeutendste für menschl. Bewegung→ Gravitation durch physikalischen
 Kontakt zwischen verschiedenen
 Objekten hervorgerufen

weitere Unterteilung in Abhängigkeit vom Bezugssystem



Beispiel:	
Das Aufstützen der Handflächen auf eine Unterlage verursacht	in Hand-,
Ellenbogen- und Schultergelenken.	-
in diesen Gelenken treten auf, wenn man sich mit den Hä	anden an eine
Stange hängt.	
im Gewebe entstehen bei Manipulationstechniken von Gelenkp	oartnern zueinander.

weitere Unterteilung in Abhängigkeit vom Bezugssystem

innere Kräfte

- wirken zwischen Teilkomponenten des Körpers

Passiv

- -Reibungskräfte
- -Trägheitskrafte
- -Elastizitätseigen schaften der Muskulatur und des Bindegewebes

Aktiv

- Muskelkräfte

äußere Kräfte

- bis auf Anziehungskraft sind alle externen Kräfte Kontaktkräfte
- wirken als Druck-, Zug oder Scherkräfte
- Druckkräfte (z. B. atmosphärischer D.) greifen immer senkrecht zur Oberfläche an; Scherkräfte immer parallel (z. B. Wind)

Beispiele:

Das Aufstützen der Handflächen auf eine Unterlage verursacht **Druckkräfte** in Hand-, Ellenbogen- und Schultergelenken.

Zugkräfte in diesen Gelenken treten auf, wenn man sich mit den Händen an eine Stange hängt.

Scherkräfte im Gewebe entstehen bei Manipulationstechniken von Gelenkpartnern zueinander.

Reibungskraft

- entstehen an Berührungsflächen zweier fester Gegenstände
- bei jedem Versuch Objekte zu bewegen, wirkt eine Kraft, welche die Bewegung verhindert oder erschwert
- diese Kraft ist die Reibung (auch Friktion) und ist von der Oberflächenbeschaffenheit der beiden Gegenstände abhängig

Reibungskraft

nach Art der Bewegung der Gegenstände aufeinander unterscheidet man:

- Haftreibung entsteht, wenn zwei Objekte aneinander haften; dadurch verzahnen sich Unebenheiten stärker als beim Gleiten.
 >> Klettverschluss oder Bindegewebs- oder Trockenmassage
- Gleitreibung entsteht, wenn Objekt auf Kontaktfläche gleitet.
 >> Massieren mit Öl oder Filzmatten beim Klapp'schen Kriechen
- Rollreibung entsteht, wenn reibende Flächen aufeinander abgewälzt werden
 - >> Bereifung an Behandlungsliegen oder Krankenfahrstühlen

Reibungskraft

Die Beträge der Reibungskräfte stehen in folgendem Zusammenhang



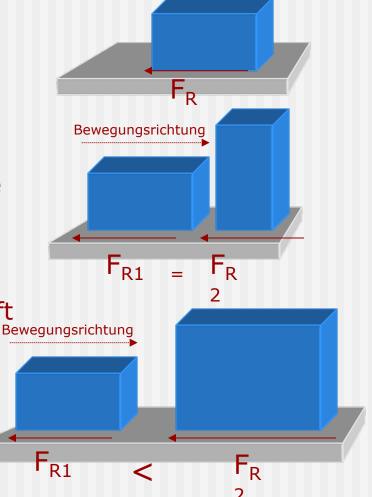
Reibungskraft F_R

Merke:

 F_R wirkt parallel zur Berührungsfläche und **entgegen** der Bewegungsrichtung

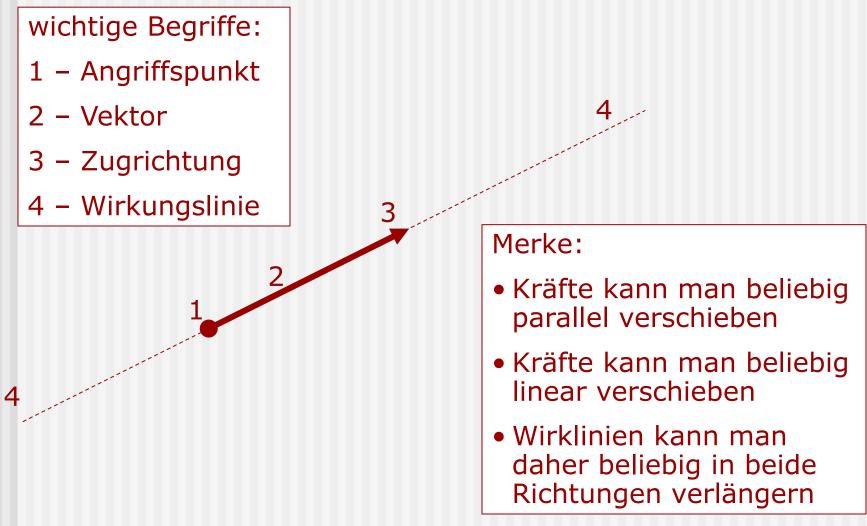
 F_R ist von der Größe der Berührungsfläche unabhängig

 aber: die Größe von F_R ist der Gewichtkraft des Köpers proportional



Bewegungsrichtung

<u>Grafische Darstellung von Kräften - das Kräfteparallelogramm</u>



Grafische Darstellung von Kräften - das Kräfteparallelogramm

Die Addition von Kraftvektoren

• parallel verlaufende Kräfte darf man arithmetisch addieren

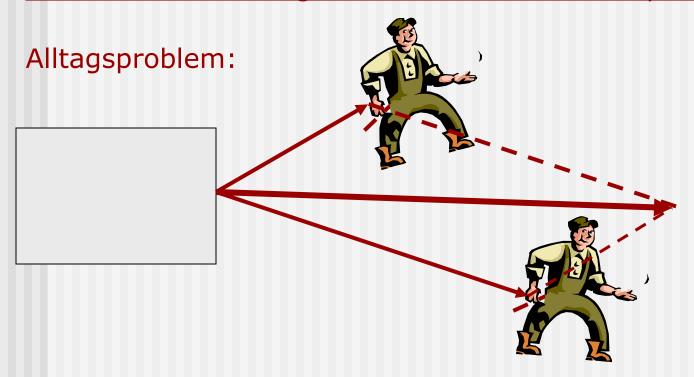


- dabei nennt man den Summenvektor resultierende Kraft
- gleiches gilt für entgegengesetzt wirkende Kräfte



 ergibt die Summe aller Kräfte gleich Null, so spricht man vom Gleichgewicht der Kräfte.

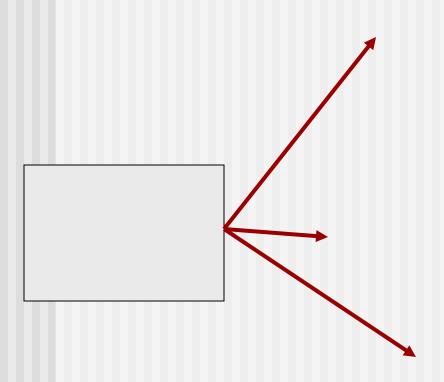
Grafische Darstellung von Kräften - das Kräfteparallelogramm



 ziehen Kräfte vom gleichen Angriffspunkt in unterschiedliche Richtungen, erhält man nach Parallelverschiebung der Kräfte ein Kräfteparallelogramm, aus dessen Diagonale sich die resultierende Kraft ergibt.

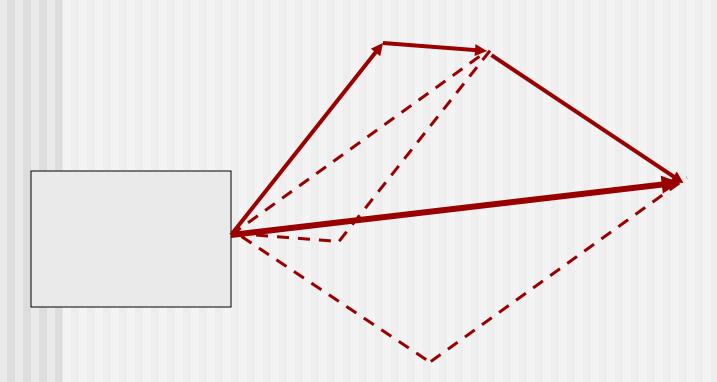
Grafische Darstellung von Kräften - das Kräfteparallelogramm

Aufgabe: Ermitteln Sie selbstständig im Heft geometrisch die resultierende Kraft!



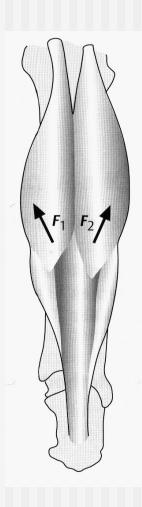
Grafische Darstellung von Kräften - das Kräfteparallelogramm

Lösung:



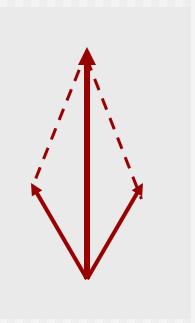
- Eine resultierende Kraft lässt sich aus beliebig vielen Kräften ermitteln!
- 2. Angewandte Physik/2.6. Dynamik die Lehre von den wirkenden Kräften

Resultierende Kraft am Beispiel des M. triceps surae

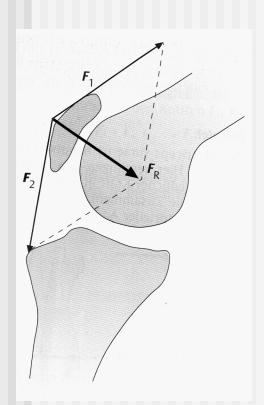


Funktion:

- M. triceps surae ist hauptsächlich für Plantarflexion (Senken der Zehen) verantwortlich
- hier vereinigen sich mehrere Muskeln verschiedenen Ursprungs und unterschiedlicher Kraft in einer Ansatzsehne zu einer gemeinsamer Funktionseinheit
- alle Kräfte zusammen ergeben nach vektorieller Addition eine resultierende Kraft



Grafische und algebraische Ermittlung einer resultierenden Kraft (Retropatellarkraft) am Beispiel des M. quadriceps femoris

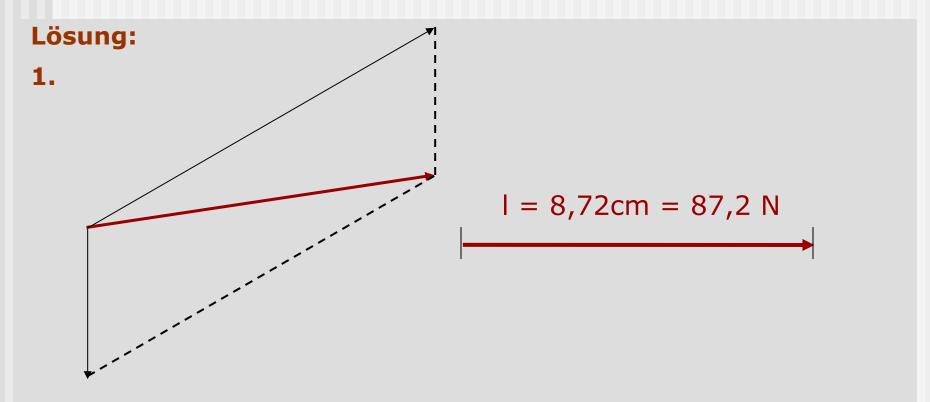


Über den M. quadriceps femoris wirken Kräfte $F_1 = 100 \text{ N}$ und $F_2 = 40 \text{ N}$ auf die Patella. Der Winkel zwischen den Wirkungslinien der Kräfte beträgt $\alpha = 120^{\circ}$.

Aufgabe:

- Ermitteln Sie mit grafischen Mitteln die Kompressionskraft, die auf die Kontaktfläche der Kniescheibe wirkt. (10 N = 1cm)
- 2. Ermitteln Sie die gleiche Kraft auf algebraischem Wege!
 Nutzen Sie dazu das Tafelwerk!
 (Lösungshinweis: Winkelverhältnisse im Parallelogramm sowie Kosinussatz im Dreieck)
- 3. Interpretieren Sie die Ergebnisse!

Grafische und algebraische Ermittlung einer resultierenden Kraft (Retropatellarkraft) am Beispiel des *M. quadriceps femoris*



Nach der Parallelverschiebung und Einzeichnung der resultierenden Kraft wurde eine Länge von 87,5 cm gemessen, was einer resultierenden Kraft von 87,25 N entspricht.

Grafische und algebraische Ermittlung einer resultierenden Kraft (Retropatellarkraft) am Beispiel des M. quadriceps femoris

Lösung:

2. im Parallelogramm gilt:

$$a = \gamma ; \delta = \beta$$

 $a + \delta = 180^{\circ}$

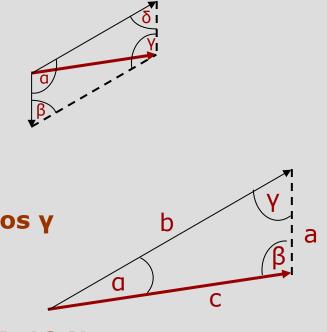
$$\Rightarrow \delta = 180^{\circ} - 120^{\circ} = 60^{\circ}$$

im Dreieck gilt:

Kosinussatz:
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \times cos \gamma$$

$$\rightarrow$$
c = F_R ; a = F_2 ; b = F_1

$$\Rightarrow$$
F_R \Rightarrow $\sqrt{F_2^2 + F_1^2 - 2 F_2 F_1 \times \cos(60^\circ)} = 87, 18 N$



Mit Hilfe des Kosinussatzes wurde eine F_R von 87,18 N errechnet. Obwohl das algebraisch ermittelte Ergebnis genauer ist, reicht die geometrische Ermittlung von resultierenden Kräften in der Praxis aus.

Zerlegung von Kraftvektoren

Zu einer vorgegebenen Kraft **F** sind beliebig viele Zerlegungen in zwei Komponenten möglich.

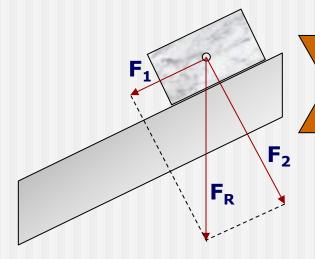


Sinnvoll sind Komponentenzerlegungen nur dann:

- → wenn die Richtungen der beiden Komponenten vorgegeben sind
- → oder Richtung und Betrag einer Komponente bekannt sind
- → oder von einer Komponente die Richtung und von der anderen der Betrag bekannt ist

Zerlegung von Kraftvektoren

Beispiel: Kiste auf schiefer Ebene



Problem: je schiefer die Ebene,

die Ebene, desto ...?

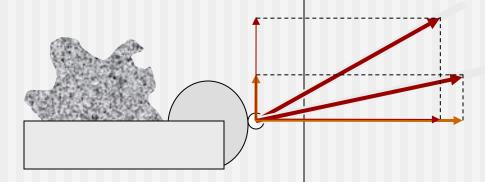
Zerlegung in folgende Kräfte:

- \rightarrow F_R = Gewichtskraft der Kiste
- \rightarrow F₁ = Hangabtriebskraft
- → F₂ = Normalkraft (Druck auf die Unterlage, siehe auch Reibungskraft); wirkt immer senkrecht zur Unterlage

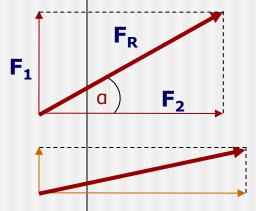
Je schiefer die Ebene, desto größer wird F1 und umso kleiner wird F2. FR bleibt gleich!

Zerlegung von Kraftvektoren

Problem: Ziehen eines schweren Schlittens



Lösung mittels Kräftezerlegung in ihre rechtwinkligen Komponenten:



 $F_1 = Normalkraft$

F_P = resultierende Kraft - Kraft mit der gezogen wird

- bleibt immer gleich groß

F2 = Zwangskraft

- effektive Kraft

größer die effektive Kraft.

→ Je kleiner der Winkel a, desto

- → Es ist also sinnvoller, den Schlitten mit einer langen Schnur zu ziehen, da man somit den Winkel verringern und gleichzeitig die effektive Kraft vergrößern kann!
- 2. Angewandte Physik/2.6. Dynamik die Lehre von den wirkenden Kräften

Der Körperschwerpunkt

- Mathematisch idealer Punkt des Körpers
- Auf den Körper wirkt eine von der Erde ausgeübte
 Anziehungskraft. Diese sind alle zum Erdmittelpunkt gerichtet.
 Die Summe aller Teilgewichtskräfte greift im KSP an.
- Er kann auch außerhalb des Körpers liegen.
- Beim Menschen (wenn dieser mit herunterhängenden Armen steht) liegt der KSP etwa 4 cm über dem Bauchnabel.
- An diesem Punkt kann man den Körper ausbalancieren.
- Der KSP verändert sich, sobald eine Verlagerung einzelner Teilmassen stattfindet.

Körperschwerpunktbestimmung

Zwei Prämissen als Grundlage und Voraussetzung für die Bestimmung des Körperschwerpunktes:

1. Beim normal gebauten, erwachsenen Körper stehen die Gewichte der einzelnen Körperteile in einem bestimmten Verhältnis zum Gesamtgewicht.

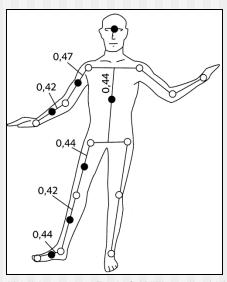
Körperteil	Relatives Gewicht R _i (in %)	Schwerpunktradius Ohrgang	
Kopf	7 (8,1)		
Rumpf	43 (49,7)	0,44 (66,0)	
Oberarm	3 (2,8)	0,47 (43,6)	
Unterarm	2 (1,6)	0,42 (43,0)	
Hand	1 (0,6)	Mitte (50,6)	
Oberschenkel	12 (9,9)	0,44 (43,3)	
Unterschenkel	5 (4,0)	0,42 (43,4)	
Fuß	2 (1,4)	0,44 (50,0)	

Tabelle aus: Roth & Willimczik, 1999; Relative Gewichte und Schwerpunktradien nach FISCHER und (in Klammern) nach DEMPSTER.

Körperschwerpunktbestimmung

Zwei Prämissen als Grundlage und Voraussetzung für die Bestimmung des Körperschwerpunktes:

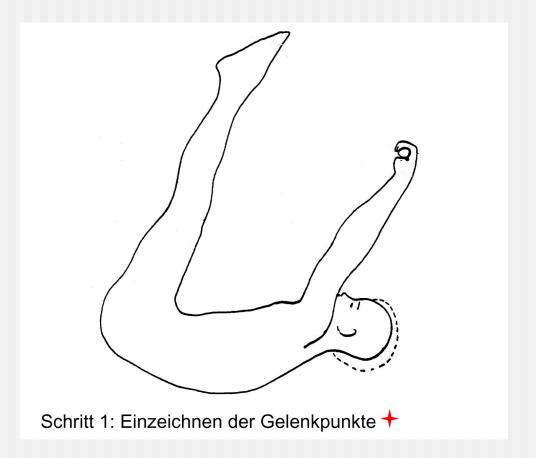
2. Die Schwerpunkte der Extremitäten liegen fast genau auf ihren Längsachsen und in interindividuell gleicher Entfernung von den beteiligten Gelenkpunkten.



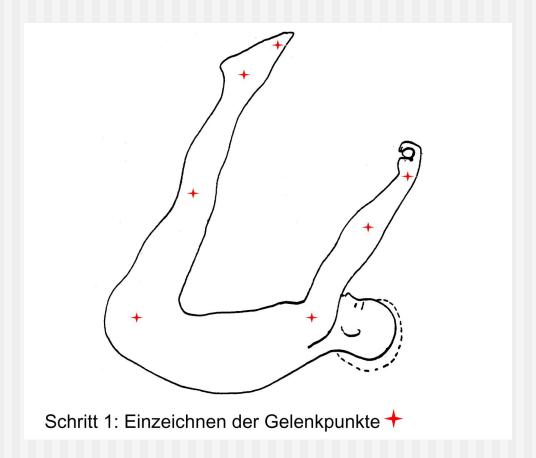
Gelenkpunkte (O) und Teilschwerpunkte (●) des menschlichen Körpers

Abbildung aus: Roth & Willimczik, 1999

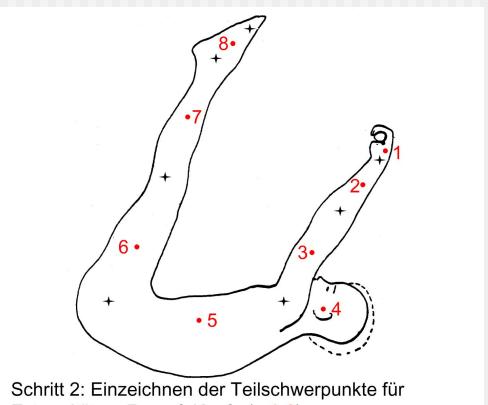
Grafische Bestimmung des Körperschwerpunktes



Grafische Bestimmung des Körperschwerpunktes

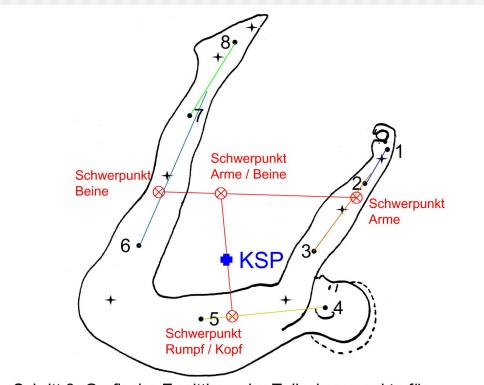


Grafische Bestimmung des Körperschwerpunktes



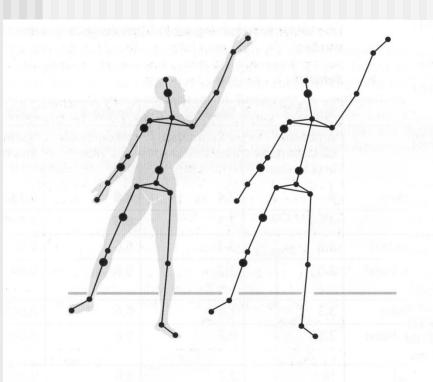
Extremitäten, Rumpf, Kopf (• 1-8)

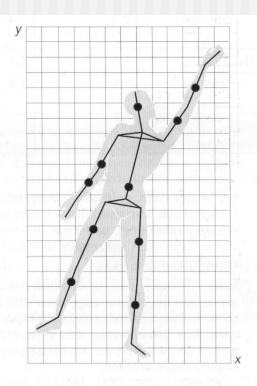
Grafische Bestimmung des Körperschwerpunktes



Schritt 3: Grafische Ermittlung der Teilschwerpunkte für jeweils zwei Körperteile bzw. zwei Gruppen von Körperteilen

Grafische Bestimmung des Körperschwerpunktes 2. Variante





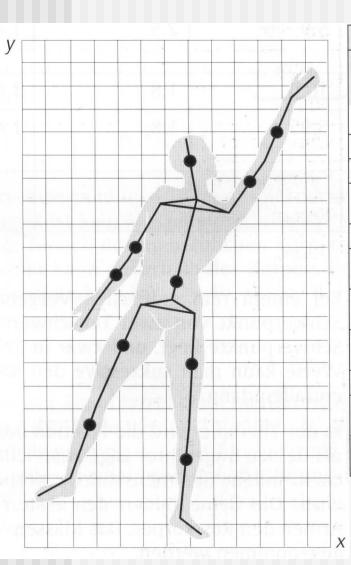
Verbindung der Extremitätenschwerpunkte durch gerade Linien (

Ermittlung der Koordinaten (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_{10}, y_{10}) der Teilkörperschwerpunkte anhand der Zeichnung.

Multiplikation der *x*- und *y*-Teilkörperschwerpunktkoordinaten mit dem Anteil des Teilkörpergewichts am Gesamtkörpergewicht (Tab. 2.2).

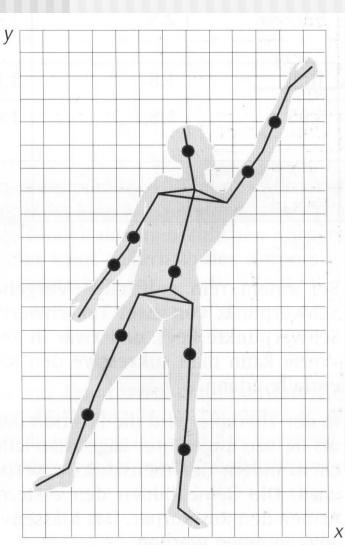
Die Summe der so berechneten Produkte liefert die *x*- und *y*-Koordinaten des KSP.

Grafische Bestimmung des Körperschwerpunktes 2. Variante



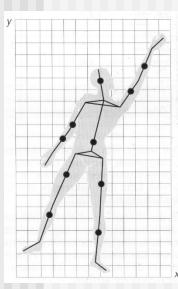
Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6
Körperteil	Anteil an Gesamtmasse in %	x-Koordinate des TKSP	y-Koordinate des TKSP	Spalte 2× Spalte 3	Spalte 2 × Spalte 4
Kopf u. Nacken	8	risi ligisi	Les City	The small file	Ches IIII Je
Rumpf	47.4	E BUNGEL	u aud i	r grache.	a und
Oberarm (rechts)	3.3	i umaleiro	e att worl		ą.
Unterarm u. Hand (rechts)	2.55	des Leillonder	ier Atmarkte Cwadergaserer	vi Jab. 52 Vvie ersichtlic	r unterible
Oberarm (links)	3.3	per reju	The state of the s	Ex-SarC)	219
Unterarm u. Hand (links)	2.55		Describeral V		1 2010
Oberschenkel (rechts)	10.5	rarenachwerpel	ung det Edden	30 3. Verbund	3 %
Unterschenkel u. Fuß (rechts)	5.9			43	
Oberschenkel (links)	10.5		1	Lo	
Unterschenkel u. u. Fuß (links)	5.95			41	la .
KSP			VV - 774	x-Koordinate	y-Koordinat

Grafische Bestimmung des Körperschwerpunktes 2. Variante



Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6
Körperteil	Anteil an Gesamtmasse in %	x-Koordinate des TKSP	y-Koordinate des TKSP	Spalte 2× Spalte 3	Spalte 2× Spalte 4
Kopf u. Nacken	8	2.4	8.8	0.192	0.704
Rumpf	47.4	2.3	6.6	1.090	3.128
Oberarm (rechts)	3.3	3.3	6.6	0.108	0.217
Unterarm u. Hand (rechts)	2.55	3.7	5.0	0.943	0.127
Oberarm (links)	3.3	1.4	6.6	0.0462	0.2178
Unterarm u. Hand (links)	2.55	0.8	5.0	0.0204	0.127
Oberschenkel (rechts)	10.5	2.7	3.6	0.283	0.378
Unterschenkel u. Fuß (rechts)	5.9	2.5	1.4	0.147	0.082
Oberschenkel (links)	10.5	1.8	3.6	0.189	0.378
Unterschenkel u. u. Fuß (links)	5.95	1.8	1.4	0.107	0.0833
KSP		The state of the s	V - 274	x-Koordinate 3.084	y-Koordinat 5.442

Grafische Bestimmung des Körperschwerpunktes 2. Variante

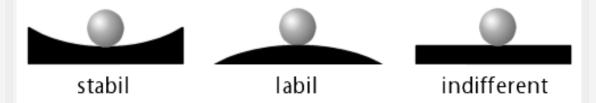


Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6
Körperteil	Anteil an der Gesamtmasse	X-Koord. des TSKP	Y-Koord. des TSKP	Spalte 2x Spalte3	Spalte 2x Spalte4
Kopf u. Nacken	8,00%	6,0	13,0	0,48	1,04
Rumpf	47,40%	7,0	9,0	3,318	4,266
Oberarm (r.)	3,30%	4,0	11,5	0,132	0,3795
Unterarm/Hand (r.)	2,55%	3,0	11,5	0,0765	0,29325
Oberarm (I.)	3,30%	9,0	12,0	0,297	0,396
Unterarm/Hand (I.)	2,55%	10,0	13,0	0,255	0,3315
Oberschenkel (r.)	10,50%	8,0	6,0	0,84	0,63
Untersch./Fuß (r.)	5,90%	9,0	3,0	0,531	0,177
Oberschenkel (I.)	0,11%	10,5	7,0	0,011025	0,00735
Untersch./Fuß (I.)	5,95%	12,5	5,0	0,74375	0,2975
KSP				6,7	7,8

Gleichgewicht und Unterstützung von Gleichgewichtszuständen

GW = Zustand eines Körpers oder eines gekoppelten Systems von Körpern, in dem sich alle angreifenden, aus Bewegung, Trägheit, Reibung und externen Einflüssen resultierenden <u>Kräfte</u> beziehungsweise <u>Drehmomente</u> gegenseitig aufheben

Gleichgewichtsarten



Stabiles Gleichgewicht: Bei einer kleinen Auslenkung kehrt der Körper wieder in die

vorige Lage zurück. Das Potential besitzt ein Minimum.

Labiles Gleichgewicht: Der Körper befindet sich momentan im Gleichgewicht, wird bei

einer kleinen Auslenkung aber weiter von dieser Lage

wegstreben. Das Potential besitzt ein Maximum.

Indifferentes Gleichgewicht: Der Körper nimmt nach einer kleinen Auslenkung eine neue

Gleichgewichtslage ein. Das Potential ändert sich nicht.

2. Angewandte Physik/2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften

Gleichgewicht und Unterstützung von Gleichgewichtszuständen

Die *Unterstützungsfläche* (Standfläche) ist die von den Auflagepunkten eingerahmte Fläche – nicht nur die jeweilige Auflagefläche und auch nicht die Summe der Berührungsflächen.



2. Angewandte Physik/2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften

Gleichgewicht und Unterstützung von Gleichgewichtszuständen

Die Wirkungslinie der resultierenden Kraft des KSP's wird **Schwerelinie** genannt.

= gedachte Verbindungslinie vom Schwerpunkt des Körpers zum Erdmittelpunkt (Verbindung der Massenmittelpunkte)

Solange die Schwerelinie durch die Unterstützungsfläche des Körpers geht, wird von *Standfestigkeit* gesprochen.

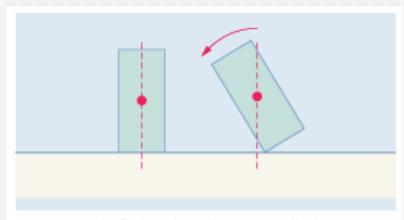


Abb. 1.74 Verläuft die Schwerelinie außerhalb der Unterstützungslinie, kippt der Körper.

Gleichgewicht und Unterstützung von Gleichgewichtszuständen

- Die Standfestigkeit kann verbessert werden durch:
 - Vergrößerung der Unterstützungsfläche: Veränderung der Beinstellung (breitspuriges Stehen oder Gehen, verschiedene Ausgangsstellungen, Einsatz von Gehhilfen Stock, Rollator).
 - Tieferlegen des Schwerpunktes: (Seitenlage, Bauch- oder Rückenlage, Automobiltechnik, "Stehaufmännchen"-Tassen).
 - Erhöhung des Gewichtes ("Beschweren").

Gleichgewicht und Unterstützung von Gleichgewichtszuständen

- Schulung der Standfestigkeit (des GW-Sinns) durch:
 - gezielte Verringerung der Unterstützungsfläche mit Hilfe von Einbeinstand, Zehenstand, Kreisel oder Pezziball
 - Beispiele
 - Beidbeiniges Stehen (breit, schmal)
 - Einbeinstand (alleine oder gegen Wand gelehnt)
 - EBS mit Hilfe des Therapeuten…

2.6.3. Das Zweite Newton'sche Gesetz oder das Newton'sche Gesetz der Beschleunigung

Die Beschleunigung **a**, die ein Objekt erhält, wenn eine Kraft **F**darauf einwirkt, ist direkt proportional zur
Masse **m** des Objekts und erfolgt in Richtung der einwirkenden
Kraft:

Kraft = Masse x Beschleunigung

 $F = m \times a$

Damit ist dieses Gesetz letztlich die Quantifizierung des 1. NG's.

- Die Kraft ist diejenige **Wirkung** auf einen Körper (eine Masse), die zur Änderung des Bewegungszustandes (= zur Beschleunigung) des Körpers führt.
- Die Kraft (F), die einen Körper beschleunigt, ist definiert nach Betrag und Richtung durch die Masse (m) und die Beschleunigung (a) des Körpers.
- Kraft ist ein **nicht näher definierter Einfluss** auf den Bewegungszustand oder die Form eines Körpers. Sie ist eine vektorielle Größe.

Aufgabe: Wie groß ist die Kraft, um einen Körper mit einer Masse von 1kg auf 1m/s² zu beschleunigen?

Lösung: $F = 1kg \times 1m/s^2 = 1N$

2.6.3. Das Zweite Newton'sche Gesetz oder das Newton'sche Gesetz der Beschleunigung

Bezug zur Praxis:

- In der Schwungphase des Gehens wird zu Beginn dieses Bewegungsabschnittes der Oberschenkel des Schwungbeines hauptsächlich durch die Krafteinwirkung des Hüftbeugers (musculus iliopsoas) nach vorne beschleunigt und dann vor dem Aufsetzten der Ferse auf den Boden durch die von Hüftstreckern entwickelte Kraft wieder abgebremst.
- Das Rollen eines Balles wird zum Erlernen von kinematischen Bewegungsabläufen eingesetzt. Ein Gymnastikball von 0,5kg soll auf 4m/s² beschleunigt werden. Nach dem 2.NG ist folgende Kraft erforderlich:

 $F = m \times a = 0.5 kg \times 4m/s^2 = 2N.$

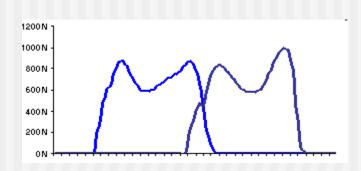
- In Rückenschulen wird das ergonomische Heben von Gegenständen geübt.
 Ein gefüllter Wäschekorb von 15kg
- ... hat das Gewicht von : $F = 15kg \times 9,81m/s^2 = 147,15N$.
- 2. Angewandte Physik/2.6. Dynamik die Lehre von den wirkenden Kräften/ 2. Newton'sches Gesetz

2.6.3. Das Zweite Newton'sche Gesetz oder das Newton'sche Gesetz der Beschleunigung

Muskelkraft

- Im Gegensatz zu Gewichtskräften lassen sich Muskelkräfte nicht mit dem 2. NG über Masse x Beschleunigung ermitteln
- Zur Kraftbestimmung von Muskelgruppen werden im einfachsten Fall Gewichte oder Federkraftmesser benötigt.
- Moderner über elektromech. Wandler wie Dehnungsmessstreifen oder Piezokristalle in Kraftmessplatten







Angewandte Physik/2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften/
 Newton´sches Gesetz

Größe der Muskelkraft abhängig von:

- Arbeitsbedingungen/Kontraktionsart (isometrisch, konzentrisch, exzentrisch)
- Kontraktionsgeschwindigkeit
- Kontraktionsdauer
- Muskelquerschnitt und –länge
- Innervationsstärke

(nach A. Hüter-Becker/M. Dölken, 2005)

2.6.4. Der Impuls und Impulserhaltung

Impuls

Die physikalische Größe, die im Deutschen traditionell mit Impuls bezeichnet wird (in anderen Sprachen mit *Bewegungsmenge* oder *Momentum*), beschreibt die Bewegung der Masse, die ein Körper enthält.

(Quelle:http://de.wikipedia.org/wiki/Impuls)

Formel

 $p = m \cdot v$

 $p = F \cdot t$

(auch Kraftstoß)

Einheit

N·s

kg·m·s⁻¹

- Der Impuls ist das Resultat von Masse und Geschwindigkeit.
- Deutlich wird dies bei einem Aufschlag im Tennis.
- Ist die Masse (Gewicht des Schlägers) hoch, muss die Zuschlaggeschwindigkeit nicht so hoch sein wie bei einem leichten Schläger, um die Gleiche Wirkung zu erzielen.

2. Angewandte Physik/2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften (>> Drehimpuls)

2.6.4. Der Impuls und Impulserhaltung

Impulserhaltung

Der Impulserhaltungssatz ist einer der wichtigsten Erhaltungssätze der Physik und besagt, dass der Gesamtimpuls in einem abgeschlossenen System konstant ist.

"Abgeschlossenes System" bedeutet, dass das System keine Wechselwirkungen mit seiner Umgebung hat.

(Quelle:http://de.wikipedia.org/wiki/Impulserhaltungssatz)



2. Angewandte Physik/2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften

2.6.5. Trägheitsmoment

Hauptträgheitsmomente einfacher geometrischer Körper [Bearbeiten | Quelltext bearbeiten]

Wenn nicht ausdrücklich anders angegeben, liegt der Schwerpunkt der geometrischen Körper auf der Drehachse, auf die sich das Trägheitsmoment bezieht. m ist die Masse des rotierenden Körpers. Das Trägheitsmoment für Drehungen um andere Achsen kann man dann mit Hilfe des Satzes von Steiner berechnen.

Abbildung	Beschreibung	Trägheitsmoment
a) rm	Eine Punktmasse im Abstand $m{r}$ um eine Drehachse.	$J=m\cdot r^2$
b)	Ein Zylindermantel, der um seine Symmetrieachse rotiert, für eine Wandstärke $d \! \ll \! r$.	$Jpprox m\cdot r^2$ [3]
c)	Ein Vollzylinder, der um seine Symmetrieachse rotiert.	$J=rac{1}{2}m\cdot r^2$ [3]
d)	Ein Hohlzylinder, der um seine Symmetrieachse rotiert. Schließt die vorgenannten Grenzfälle Zylindermantel und Vollzylinder mit ein.	$J=mrac{r_1^2+r_2^2}{2}$ [4]
	Ein Vollzylinder, der um eine Querachse (zweizählige Symmetrieachse) rotiert.	$J=rac{1}{4}m\cdot r^2+rac{1}{12}m\cdot l^2$
	Ein Zylindermantel, der um eine Querachse (zweizählige Symmetrieachse) rotiert.	$J=rac{1}{2}m\cdot r^2+rac{1}{12}m\cdot l^2$

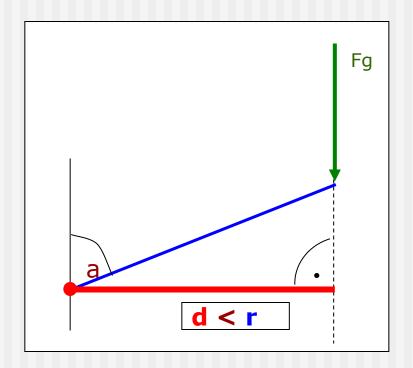
Drehmoment: wirkt eine Kraft F auf einen drehbaren Körper, dann kann sie ein Drehmoment M erzeugen.

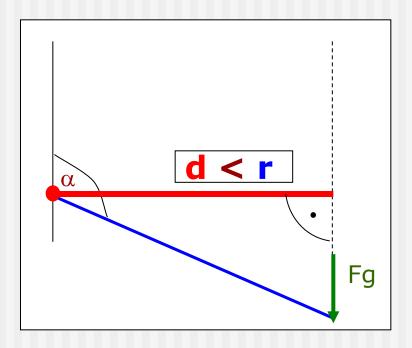
Das Drehmoment ist das Produkt aus der Kraft F und dem senkrechten Abstand ihrer Wirkungslinie vom Drehpunkt (d = Hebelarm).

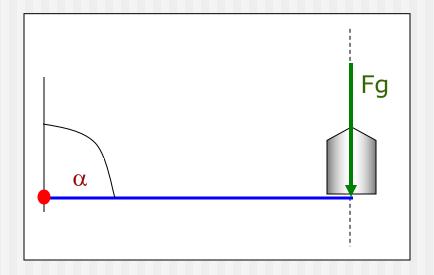
Den Hebelarm erhält man, indem man vom Drehpunkt das Lot auf die Wirkungsrichtung der Kraft fällt.

Die Einheit ist Newton*Meter = Nm (1 Newton = 0,102 kp oder 1 kp = 9,81 N).

Angewandte Physik/2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften/
 Newton'sches Gesetz

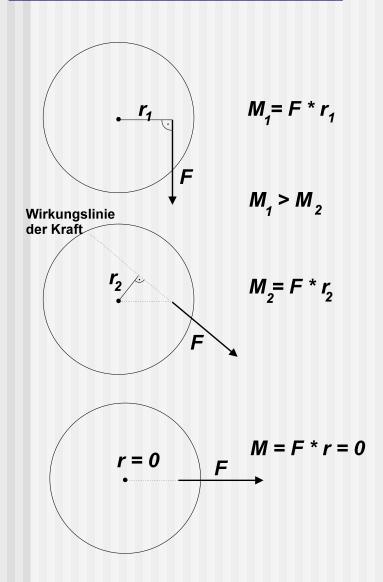




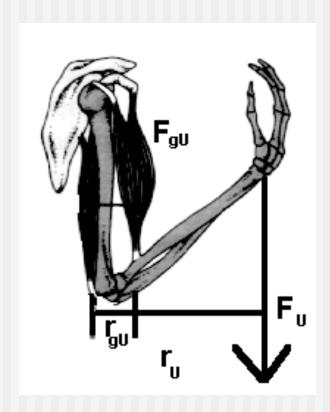


Achtung Sonderfall (da Winkel $\alpha = 90^{\circ}$)

Hebelarm **d** = Radius des drehbaren Körpers **r**



Muskelkräfte am Arm bewirken Drehmomente



- Drehmoment wichtig für alle Drehbewegungen, insbes. für das Verständnis der Anordnung und und Wirkung der Muskeln am Bewegungsapparat.
- Ein Skelettmuskel bewirkt Drehmoment im Gelenk, weil Wirkungslinie seiner resultierenden Zugkraft nicht durch Gelenkmitte, sondern in einem Abstand zum Drehpunkt verläuft.
- Dieser Abstand = Hebelarm des Muskels.
- Drehmoment der Muskelkraft ist um so höher, je größer der Hebelarm des Muskels ist.
- Drehmomente lassen sich addieren.

Ein ganz einfaches Beispiel für die Anwendung von Physik auf eine Körperbewegung ist die Bedeutung des Beugers im Oberarm beim Heben einer Masse, vgl. Abb. 4. Der Drehpunkt, um den die Bewegung erfolgt, ist das Ellenbogengelenk. Das eine Drehmoment wird durch die Gewichtskraft der in der Hand gehaltenen Masse bewirkt, der Hebelarm ist in diesem Fall der Unterarm (genauer vom Ellenbogengelenk bis zur Mitte des Handtellers).² Dieses Drehmoment muss zum Halten der Masse von einem gleich großen aber entgegen gesetzt gerichteten Drehmoment kompensiert werden. Dazu wird der Oberarmbeuger eingesetzt. Dieser übt eine Kraft auf den Unterarm aus, der Hebelarm ist sein Ansatzpunkt am Unterarm. Aus dem Diagramm ist sofort offensichtlich, dass aufgrund des kurzen Hebelarms des Muskels im Vergleich zu dem um ein Vielfaches längeren Hebelarm der externen Kraft eine sehr viel höhere Kraft des Muskels erforderlich ist als die Gewichtskraft der Masse:

Die Natur hätte es dem Oberarmbeuger einfacher machen können, wenn sie ihm einen weiter in Richtung Handgelenk verschobenen Muskelansatz spendiert hätte – dann wäre der Hebelarm größer und damit auch das Drehmoment, so dass gleiche Lasten mit ge-

Kraft Last Kraftorm Lastarm

Abbildung 4: Drehmomente beim Anwinkeln des Unterarms [2]

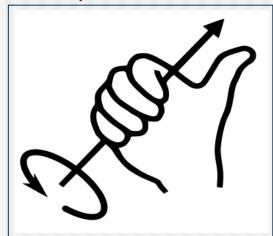
ringerer Kraft bzw. größere Lasten mit gleicher Kraft gehoben werden könnten. Die Variante würde bei angewinkeltem Unterarm jedoch einen relativ großen Abstand des Muskels vom Oberarmknochen und damit eine erhöhte Verletzungsgefahr bedeuten. Außerdem würde die dadurch bedingte Vergrößerung des Drehmoments den Antagonisten überfordern, so dass eine saubere Dosierung von Kraft und Drehmoment nicht mehr möglich wären. Alle anderen Gelenke gehorchen den gleichen physikalischen Gesetzen.

<u>Drehimpuls</u>

 Drehimpuls L = genauere Bestimmung des Bewegungszustands Rotation

(<u>Vgl. Impuls</u> = genauere Bestimmung des Bewegungszustands *Translation*)

Drehimpuls ist ein Vektor also \hat{L}



Mit der **Rechte-Hand-Regel** kann die Richtung des Drehimpulsvektors durch die Daumenrichtung bestimmt werden.

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



<u>Drehimpuls</u>

- Der Bewegungszustand Rotation ist am besten charakterisiert, wenn bekannt ist, welche Drehmasse (Trägheitsmoment J) eine bestimmte Winkelgeschwindigkeit hat.
- Dementsprechend gilt:

$$\mathbf{L} = \mathbf{J} \cdot \boldsymbol{\omega} \quad (\text{vgl. Impuls p} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{v})$$

 Während das Drehmoment der Ausdruck eines momentanen Ereignisses ist, beschreibt der Drehimpuls den Zeitverlauf eines wirkenden Drehmoments auf einen Körper.

$$\mathbf{L} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{t}$$
 (vgl. Impuls $p = F \cdot t$)



Drehimpulserhaltung

- Drehmomente im Körpersystem treten immer paarweise als
 Drehmoment-Reaktion auf.
- Im Bsp. links gilt, dass das
 Drehmoment M der Beine und das
 Drehmoment -M des Oberkörpers
 absolut gleichzeitig auftreten.

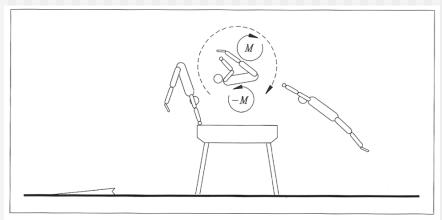


Abbildung 5.13: Zur Drehmoment–Reaktion: Gebückter Überschlag mit Vorderstütz auf dem Pferd

Über jeden Zeitabschnitt werden also immer zwei gleich große, entgegengesetzt gerichtete Drehimpulse L = M · t und
 -L = -M · t erzeugt, die sich aufheben und den Drehimpuls des gesamten Systems damit nicht verändern!

Es gilt der sogenannte **Drehimpulserhaltungssatz:**

Der Gesamtimpuls der Drehung bleibt in einem abgeschlossenen Körpersystem (d. h. ohne äußere Drehmomente) nach Richtung und Größe konstant:

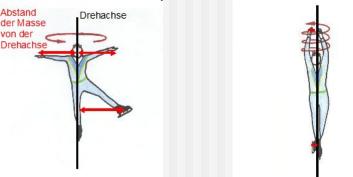
 $L = J \cdot \omega = const.$

Anwendung der Drehimpulserhaltungssatzes beim Pirouetteneffekt

- $\mathbf{L} = \mathbf{J} \cdot \boldsymbol{\omega} = \mathbf{const.}$ bedeutet nun nicht, dass die Rotation, also die Winkelgeschwindigkeit $\boldsymbol{\omega}$ konstant bleibt.
- Ändert man das Masseträgheitsmoment J, dann muss sich zwangsläufig die Winkelgeschwindigkeit also die Drehgeschwindigkeit ändern.
- Bsp.: Für Drehung einer Punktmasse gilt:

$$L = J \cdot \omega = m \cdot r^2 \cdot \omega$$

Verkleinert man den Radius der sich drehenden Masse, erhöht sich die Winkelgeschwindigkeit des Körpers.



Der Pirouetteneffekt tritt immer dann auf, wenn Sportler sich um ihre eigene Achse drehen, also bei Saltos oder Schrauben.

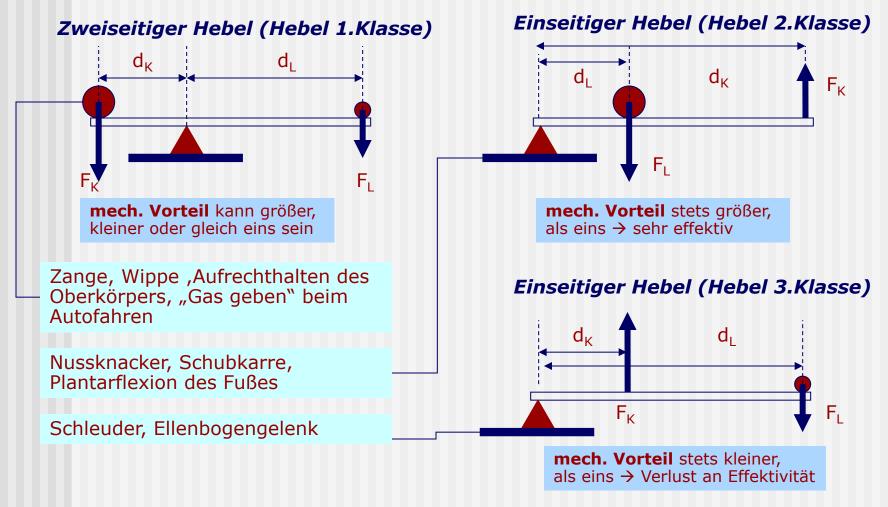


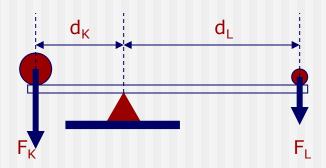
Klassifikation von Hebeln

Einleitung

- Ein Hebel oder ein Hebelsystem ist in der Mechanik ein starres Objekt, das an einer Stelle auf einer ortsfesten Achse drehbar gelagert ist.
- In einem Hebel gibt es immer mindestens zwei Drehmomente und mindestens zwei Hebelarme.
- Der **Kraftarm** (d_K) und der **Lastarm** (d_L) sind die senkrechten Abstände zum Drehpunkt.
- Der Quotient aus Kraftarm und Lastarm bezeichnet man als mech.
 Vorteil.

Klassifikation von Hebeln





Ein Hebel bzw. ein Hebelsystem befindet sich im Gleichgewicht, wenn die Summe aller Drehmomente gleich Null ist.

Dieses Gesetz ist unabhängig vom Hebeltyp und besagt:

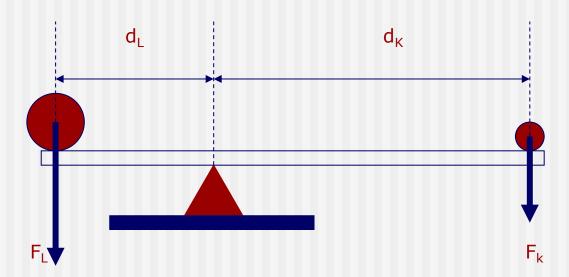
Last · Lastarm = Kraft · Kraftarm
$$\mathbf{L} \cdot \mathbf{d_L} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{d_K}$$

Merke: am kleinen Hebel große Kraft – am großen Hebel kleine Kraft kleiner Weg, große Kraft - großer Weg, kleine Kraft

Aufgabe 1:

Auf einer Wippe ruht eine Last von 1200kg. Diese befindet sich im Abstand von ½ Meter vom Drehpunkt. Das Gewicht der Peron auf der anderen Seite beträgt 60 kg.

- a) Zeichne zunächst das Hebelsystem und kennzeichne die Kräfte sowie Lastarm und Hebelarm!
- b) Berechne, in welchem Abstand die Person auf ihrer Seite sitzen muss, wenn die Wippe im Gleichgewicht gehalten werden soll.



Aufgabe 1:

Auf einer Wippe ruht eine Last von 1200kg. Diese befindet sich im Abstand von ½ Meter vom Drehpunkt. Das Gewicht der Peron auf der anderen Seite beträgt 60 kg.

- a) Zeichne zunächst das Hebelsystem und kennzeichne die Kräfte sowie Lastarm und Hebelarm!
- b) Berechne, in welchem Abstand die Person auf ihrer Seite sitzen muss, wenn die Wippe im Gleichgewicht gehalten werden soll.

Lösung:

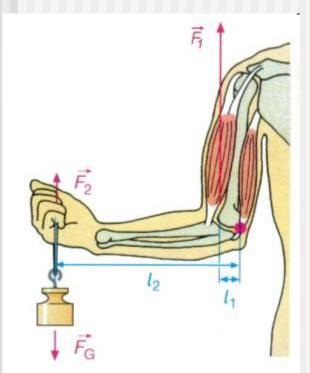
$$\begin{array}{lll} \text{geg:} & d_L = 0.5\text{m} & \text{ges:} \ d_K \, (\text{in m}) \\ & m_L = 1200\text{kg} \\ & m_P = 60\text{kg} \\ & \textbf{L} \cdot d_L = F_p \cdot d_K \\ & d_K = L \cdot \ d_L \, / \ F_p \\ & d_K = (10\text{m/s}^2 \cdot 1200\text{kg}) \cdot 0.5\text{m} \, / \, (10\text{m/s}^2 \cdot 60\text{kg}) \\ & d_k = 12 \ 000 \ \text{N} \cdot 0.5\text{m} \, / \, 600\text{N} = 6000\text{Nm} \, / \, 600\text{N} = \underline{10 \ \text{m}} \end{array}$$

Antwort: Um das GW zu halten, müsste die Person 10m vom Drehpunkt entfernt sitzen.

Aufgabe 2:

Eine Person hält eine 5kg schwere Hantel in der Hand. Der Beugewinkel des Unterarms soll 90° betragen. Der Ansatz des M. biceps am Unterarm ist ca. 5cm und die Hantel ca. 25cm vom Ellenbogengelenk entfernt.

- a) Skizziere das Hebelsystem und beschrifte.
- b) Klassifiziere das Hebelsystem.
- c) Ermittle die Kraft F_M, mit welcher der Muskel die Hantel im GW hält.



geg:
$$F_G = 50N$$
, $I_1 = 0.05m$, $I_2 = 0.25m$

ges: F_M

Lsg:

$$F_M * I_1 = F_G * I_2$$

 $F_M = F_G * I_2 / I_1 = 50N * 0.25m / 0.05m = 250N$

Der Muskel muss mit einer Kraft von 250N die Hantel im GW halten.

Aufgabe 3 – Belastung der Wirbelsäule:

Bei einer normalgewichtigen Person mögen die folgenden Daten gelten:

Gewichtskraft des Oberkörpers: Fp = 400 N,

Abstand der Rückenmuskeln von der

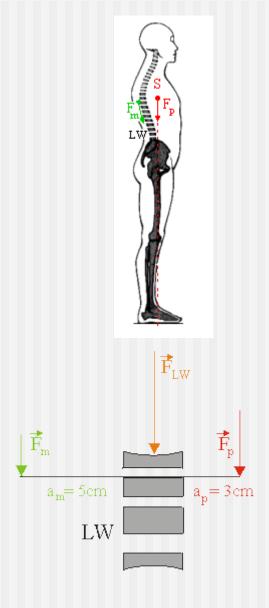
Wirbelsäule: 5 cm,

Abstand des Schwerpunktes von der

Wirbelsäule: 3 cm

- a. Berechnen sie die Kraft der Muskulatur, um den Körper im Gleichgewicht zu halten!
- b. Berechnen Sie die Belastung der Lendenwirbelsäule!

(Quelle: nach Giuseppe Colicchia, Andrea Künzl und Prof. Hartmut Wiesner, LMU München)



Aufgabe 3 LSG:

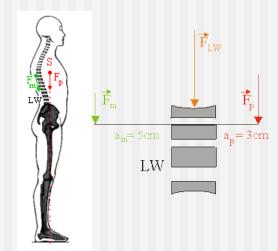
a)

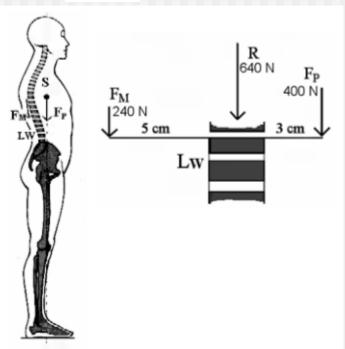
$$F_m \cdot a_m = F_p \cdot a_p \Rightarrow F_m = F_p \cdot \frac{a_p}{a_m} \Rightarrow F_m = 400 \cdot \frac{3}{5} N = 240N$$



$$F_{LW} = F_p + F_m \Rightarrow F_{LW} = 400N + 240N = 640N$$

(Quelle: nach Giuseppe Colicchia, Andrea Künzl und Prof. Hartmut Wiesner, LMU München)





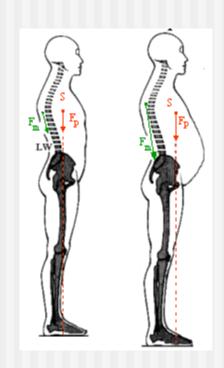
Aufgabe 4 – der dicke Herr Müller:

Seit Herr Müller keinen Sport mehr treibt und das gute Essen genießt hat er zugenommen. Die Gewichtskraft seines Oberkörpers beträgt nun 500 N. Mit dem wachsenden Bauch hat sich auch der Schwerpunkt seines Körpers verschoben. Dieser hat nun einen Abstand von 6 cm zur Wirbelsäule.

Die Rückenmuskeln greifen nach wie vor in einem Abstand von 5 cm von der Wirbelsäule an.

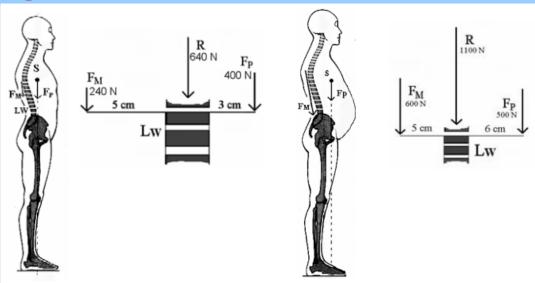
- a) Wie groß ist nun die Belastung der Wirbelsäule?
- b) Vergleiche dieses Ergebnis mit der Belastung des normalgewichtigen Herrn Müller. Überlege dir dazu um das Wievielfache die Gewichtskraft gewachsen ist und um das Wievielfache die Belastung der Wirbelsäule.

(Quelle: nach Giuseppe Colicchia, Andrea Künzl und Prof. Hartmut Wiesner, LMU München)



2.6.8. Das Hebelgesetz

Aufgabe 4 – der dicke Herr Müller - LSG:

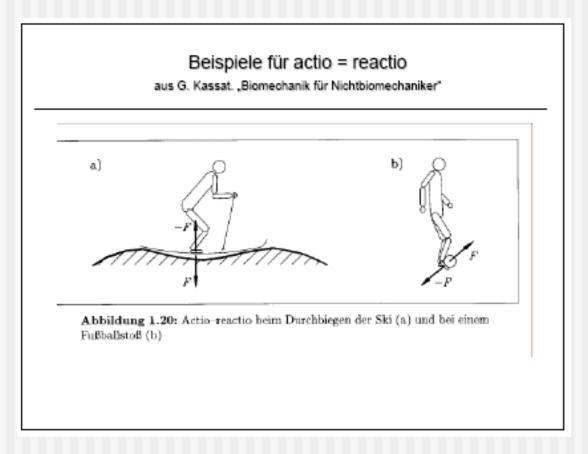


a) Berechnung der nun notwendigen Muskelkraft F_m':

$$F'_m \cdot a_m = F'_p \cdot a'_p \quad \Rightarrow \quad F'_m = F'_p \cdot \frac{a'_p}{a_m} \quad \Rightarrow \quad F'_m = 500 \cdot \frac{6}{5} \,\mathrm{N} = 600 \mathrm{N}$$

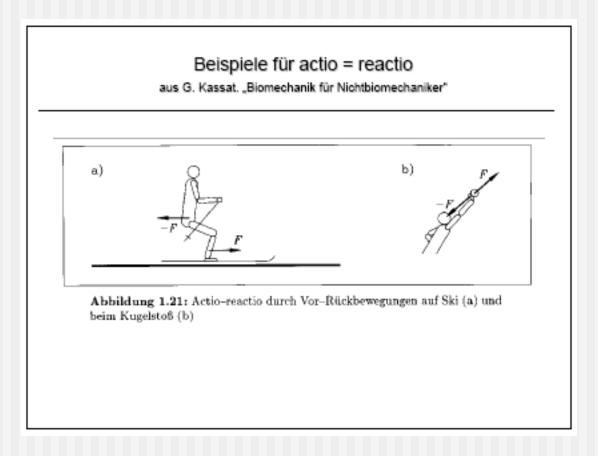
$$F_{LW} = F'_m + F'_p \quad \Rightarrow \quad F_{LW} = 600 \mathrm{N} + 500 \mathrm{N} = 1100 \mathrm{N}$$

Übt ein Objekt eine Kraft auf ein zweites Objekt aus, so existiert gleichzeitig eine gleichgroße, aber entgegengesetzte Kraft, welche welche umgekehrt das zweite Objekt auf das erste ausübt. Wir sprechen von einem Kräftepaar: Kraft und Gegenkraft (Reaktionskraft)



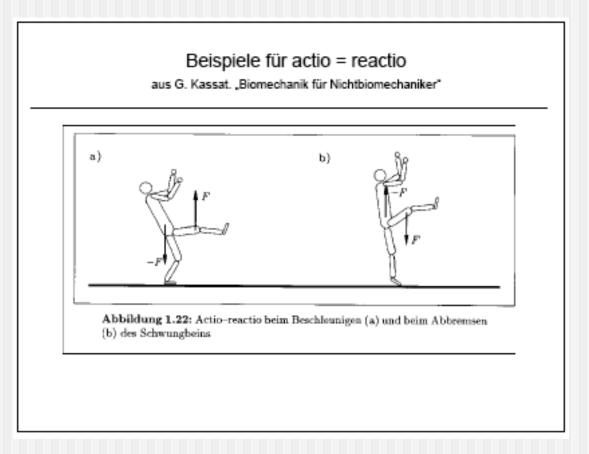
Angewandte Physik/2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften/
 Newton'sches Gesetz

Übt ein Objekt eine Kraft auf ein zweites Objekt aus, so existiert gleichzeitig eine gleichgroße, aber entgegengesetzte Kraft, welche welche umgekehrt das zweite Objekt auf das erste ausübt. Wir sprechen von einem Kräftepaar: Kraft und Gegenkraft (Reaktionskraft)



2. Angewandte Physik/2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften/3. Newton'sches Gesetz

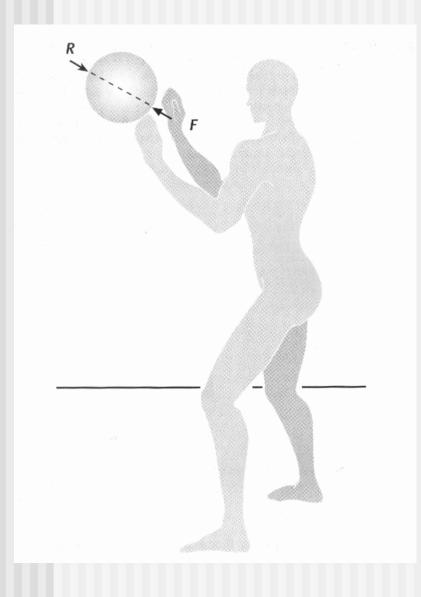
Übt ein Objekt eine Kraft auf ein zweites Objekt aus, so existiert gleichzeitig eine gleichgroße, aber entgegengesetzte Kraft, welche welche umgekehrt das zweite Objekt auf das erste ausübt. Wir sprechen von einem Kräftepaar: Kraft und Gegenkraft (Reaktionskraft)



Angewandte Physik/2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften/
 Newton'sches Gesetz

Beachte:

- keine Kraft ohne Gegenkraft (treten immer als Kraft-Gegenkraft-Paar auf).
- Kraft und Gegenkraft immer gleich groß und entgegengesetzt wirkend.
- Durch Einwirkung zweier Objekte aufeinander wirkt Kraft.
- Kraft gibt an, wie stark Objekte aufeinander wirken.
- Kraft und Gegenkraft können sich niemals aufheben, da sie auf verschiedene Objekte wirken.



Aufgabe:

Ermitteln Sie rechnerisch die durchschnittliche auf einen Ball wirkende Kraft beim Abprallen.

geg:

m = 0.5 kg

 $v_1 = 50 \text{ m/s}; \text{ nach } 0.05s$

 $v_2 = 20 \text{ m/S}$

2. Angewandte Physik/2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften/3. Newton'sches Gesetz

Lösung:



zu Folie 50 (Impuls)

Wir wenden das zweite Newton'schen Gesetz in der Impulsform an. Danach gilt für den Betrag F der auf die Hände einwirkenden Kraft F während des Abprallens:

$$F = \frac{m (v_1 - v_2)}{t} = \frac{0.5 (50 - 20)}{0.05} \left[kg \frac{m}{s} \frac{1}{s} \right] = 300 [N]$$

Nach dem dritten Newton'schen Gesetz wirkt auf den Ball die Reaktionskraft $\mathbf{R} = -\mathbf{F}$; diese wirkt in entgegengesetzter Richtung zu \mathbf{F} und hat ebenfalls den Betrag (Größe) 300 N.

2. Angewandte Physik/2.6. Dynamik – die Lehre von den wirkenden Kräften/3. Newton'sches Gesetz

Problemstellung:

Worin liegt der Unterschied, wenn eine Hausfrau oder ein Hausmann einen gefüllten Wäschekorb (Masse 10 kg)

- 5 Minuten unverändert in Hüfthöhe hält?
- vom Boden aufnimmt und in Hüfthöhe führt?
- \rightarrow In beiden Fällen beträgt die Gewichtskraft des Korbes $F_G = 100 \ N_c$
- \rightarrow Im ersten Fall wirkt F_G auf den Korb der sich in ca. 1m Höhe befindet
- → Im zweiten Fall wirkt F_G die gesamte Strecke vom Boden bis zur Hüfthöhe
- Nur im zweiten Fall sprechen wir von mechanischer Arbeit.
- Diese müssen wir deutlich von der physiologischen Muskelarbeit abgrenzen.
- Letztere ist stets mit dem Verbrauch von Sauerstoff und Ermüdung verbunden!
- 2. Angewandte Physik/2.7. Arbeit, Energie und Leistung

mechanische Arbeit

_wird verrichtet, wenn ein Objekt gegen eine Kraft verschoben wird.

_sind Kraft und Weg gleichgerichtet so gilt:

also
$$W = F \times S$$

mechanische Arbeit

Beachte:

- Benutzung dieser einfachen Formel nur dann, wenn F = konst. und Kraft in Richtung des Weges wirkt!
- Eine Kraft die nichts bewegt verrichtet keine Arbeit!
- Sowohl Arbeit als auch Drehmoment haben die gleiche Einheit (Nm), sind aber bzgl. der Entfernungsangabe streng voneinander zu trennen:

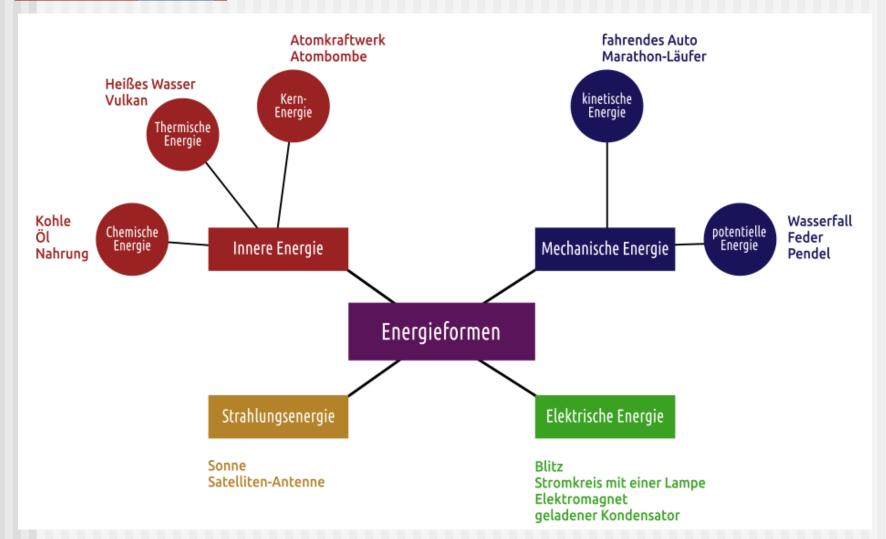
bei Arbeit ist Entfernung = lineare Verschiebung bei Drehmoment = Länge des Momentarms

- Arbeit ist zeitunabhängig (Pausen sind erlaubt; Ergebnis bleibt gleich)
- durch Arbeit ändert sich Lage und Zustand eines Objektes (z. B. Höhe, Beschleunigung oder Gestalt)
- Arbeit wird immer an einem Objekt verrichtet

spezielle Formen mechanischer Arbeit

- \rightarrow Wird ein Objekt durch die Gewichtskraft F_G um die Höhe h angehoben, so wird **Hubarbeit** verrichtet: $W_{Hub} = F_G \times h$
- → Wird ein Objekt verformt, z. B. eine Metallfeder gezogen, so wird **Verformungsarbeit** verrichtet: $W_{Verform} = \frac{1}{2} \times F_E \times s$
- \rightarrow Wird ein Objekt beschleunigt, so wird **Beschleunigungsarbeit** verrichtet: $W_B = F_G \times S$
- → Durch die Reibungskraft, welche Bewegungen eines Objektes hemmt wird **Reibungsarbeit** verrichtet: $W_R = F_R \times s$

Energie (Video)



Energie

- _Arbeit und Energie sind eng miteinander verwandt.
- _Man kann sagen, dass Energie ein Maß dafür ist, wieviel Arbeit einem Objekt zugeführt bzw. von ihm verrichtet wurde.

Definition:

Die (mech.) Energie ist die Fähigkeit eines Objektes, mech. Arbeit zu verrichten, Wärme abzugeben oder Licht auszustrahlen.

Formelzeichen: E Einheit: 1Nm = 1 J

Bei Nährwerten (Energie von Nahrungsmitteln) gilt:

1 cal = 4,1868 J 1 kcal = 4,1868 kJ

Energieformen

→ Lageenergie oder potentielle Energie

$$E_{pot} = m \times g \times h$$

→ Energie der Bewegung oder kinetische Energie

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

→ Außerdem gilt:

$$E_{pot} + E_{kin} = konst.$$

(Energieerhaltungssatz der Mechanik)

Leistung

Definition:

Die (mech.) Leistung gibt an, wieviel mech. Arbeit pro Zeiteinheit verrichtet wird oder vieviel Energie pro Zeiteinheit verbraucht wird.

Leistung [P] =
$$\frac{\text{Arbeit [W]}}{\text{Zeit [t]}}$$
 P= $\frac{\text{W}}{\text{t}}$

Einheit:
$$1 \text{ Watt} = 1 \text{J/s} = 1 \text{ Nm/s}$$

Leistung

Beachte:

- In der Therapie wird mech. Arbeit in der Regel nicht konstant verrichtet.
- Leistung unterliegt Schwankungen >> nur Angaben zur mittleren oder durchschnittlichen Leistung möglich

Bsp.: Ein gesunder Mensch kann längerfristig eine mittlere Leistung von ca. 100 W und eine kurzzeitige Höchstleistung bis zu 1 kW erbringen.

Rechenbeispiel:

Bewegt sich ein Gegenstand unter der einwirkenden Kraft \mathbf{F} mit der gleichförmigen Geschwindigkeit \mathbf{v} , so ist eine mech. Leistung gegeben durch $\mathbf{P} = \mathbf{F} \times \mathbf{v}$.

Wenden wir eine Kraft F = 100 N an, um einen Rollstuhl gleichförmig mit 2 m/s zu bewegen, so beträgt die Leistung 200 W.

Leistung

Bezug zur Praxis:

- Bei Übungen mit dem Stepper kann mehr Leistung durch höhere Trittfrequenz realisiert werden.
- Bei der horizontalen Beinpresse kann bei gleicher Last (15 kg) und gleichem Weg (0,6 m) durch die Anzahl der Repetitionen in gleicher Zeiteinheit die Leistung variiert werden:

 $150N \times 0.6m / 3s = 30W$ bei 20 Wiederholungen/min

 $150N \times 0.6m / 2s = 45W$ bei 30 Wiederholungen/min

Verrichtete Arbeit bei verschiedenen Tätigkeit	Arbeit
Heben eines Wäschekorbes von 10 kg um 1m	100 J
Treppe mit 100 Stufen hochsteigen (Person mit 75 kg)	15000 J
Schieben eines "30-kg-Einkaufswagens" über 200m	60k J

Tab 1: Verrichtete Arbeit bei verschiedenen Tätigkeiten

Übungsgerät	Parameter	Leistung
Fahrradergometer	9km/Std	20 W
	15km/Std	120 W
Laufband	5km/Std	60 W
	7km/Std	200 W
Stepper	300m/15min	234 W
		(Hubleistung)

Tab 2: Durchschnittsleistungen an verschiedenen Übungsgeräten

- Der Bewegungsapparat ist ein komplexes Organsystem des menschlichen Körpers, welches der Sicherung der Körpergestalt, der Körperhaltung und der Bewegung bzw. Fortbewegung (Mobilität) des Körpers dient.
- Der Bewegungsapparat bildet mit dem Stützapparat (= passiver Bewegungsapparat) eine funktionelle Einheit und wird deshalb häufig gemeinsam als Stütz- und Bewegungsapparat besprochen.

Aufbau

Der Bewegungsapparat setzt sich aus dem *aktiven* und dem *passiven* Bewegungsapparat zusammen. Die Einteilung ist nicht trennscharf, da streng genommen nur das Muskelgewebe beweglich (kontraktil) ist. Sie wird von verschiedenen Autoren unterschiedlich vorgenommen.

Aktiver Bewegungsapparat

dient in erster Linie der Bewegung und besteht aus der Skelettmuskulatur und ihren Anhangs- bzw. Hilfsorganen:

- Faszien
- Sehnen
- Sehnenscheiden
- Schleimbeutel

Passiver Bewegungsapparat

(auch Stützapparat) dient in erster Linie der Stützung bzw. Formgebung des Körpers und besteht aus dem Skelett mit seinen verschiedenen Anteilen:

- Knochen
- Knorpel
- Gelenke
- Bandscheiben
- Bänder
- 2. Angewandte Physik/2.8. Biomechanik des Bewegungsapparates

Kinematische Ketten

- Eine Kinematische Kette ist ein System aus starren Körpern, die durch Gelenke verbunden sind. Die Gelenke können dabei unterschiedliche Freiheitsgrade haben.
 - Passiver Bewegungsapparat (also Bänder, Knochen, Knorpel) bilden in anatomischer Verbindung sog. Kinematische Ketten
 - Erfüllen unter Wirkung der Muskeln statische Halte- und dynamische Bewegungsfunktionen
 - Durch innere und äußere Belastungen werden auf sie Beanspruchungen hervorgerufen
- 2. Angewandte Physik/2.8. Biomechanik des Bewegungsapparates

Kinematische Ketten

Man unterscheidet:

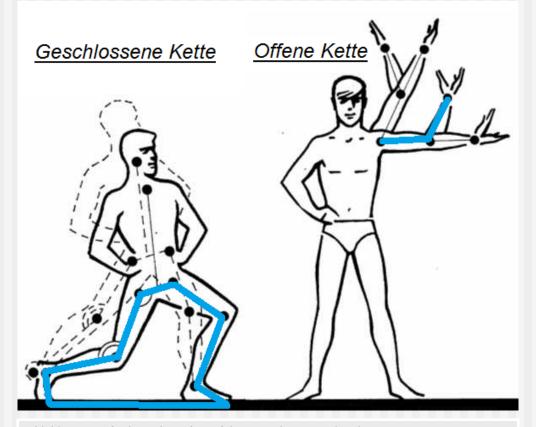
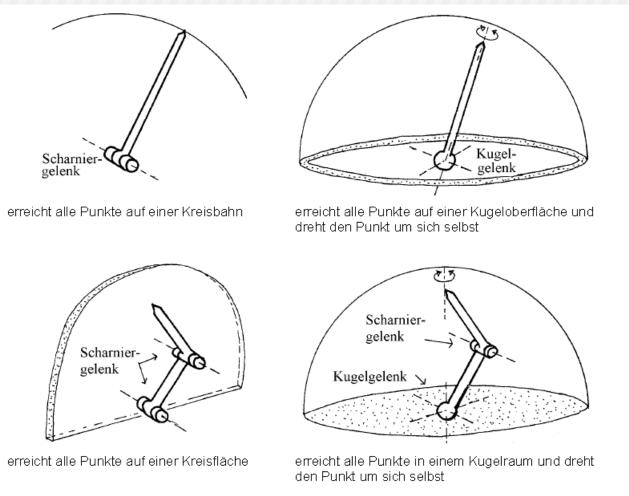


Abbildung: Seyfarth, A. (2005). Einführung n die Biomechanik. Teil C: Dynamik der Rotation.

Kinematische Ketten

- Extremitäten des Menschen stellen offene (an einem Ende freie) kinematische Ketten dar.
- je größer die Bewegungsfreiheit, desto geringer die Stabilität!
- Heißt: Bewegungsfreiheit nimmt mit Anzahl der Gelenke zu, doch je mehr Gelenke, desto instabiler die kinematische Kette
- Extremitäten des Menschen (→ zweigliedrig, proximal ein Kugelgelenk, distal ein Scharniergelenk) = Entwicklung einer kinematische Kette mit Minimum an Stabilitätsverlust ein Maximum an Bewegungsfreiheit

Kinematische Ketten



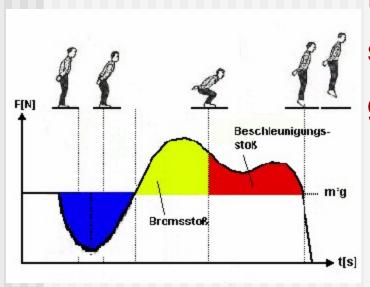
© WIEMANN, K. / JÖLLENBECK, T.: Arbeitsmaterial zur Vorlesung Grundlagen der Bewegungslehre und Biomechanik, Wuppertal, 6, 1999

2. Angewandte Physik/2.8. Biomechanik des Bewegungsapparates

Sie (die biomechanischen Prinzipien) enthalten "die allgemeinsten Erkenntnisse über das rationelle Ausnutzen der mechanischen Gesetze bei sportlichen Bewegungen."

(Hochmuth, 1967, 187; zit. nach Willimczik, 1999, 55)

Prinzip der maximalen Anfangskraft

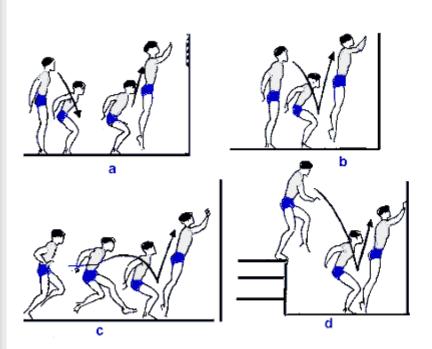


Bewegungen, bei denen eine hohe Endgeschwindigkeit erreicht werden soll, sind durch eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung einzuleiten.

Prinzip der maximalen Anfangskraft

Beim Jump-and-Reach-Test ▶ <u>Arbeitsblatt</u>haben wir das räumliche Ausmaß einer Ausholbewegung untersucht. Eine ebenso wichtige Frage ist die zeitliche und dynamische Abstimmung von Ausholbewegung und Beschleunigungsbewegung.

Auch zur Klärung dieses Zusammenhanges lässt sich ein Test durchführen, in dessen Verlauf die Leistung im Jump-and-reach-Test bei vier verschiedenen Sprungarten gemessen wird:



- a) Der Springer senkt aus dem Stand in die Ausholstellung, verharrt dort 3 Sekunden und springt dann - ohne nochmalige Ausholbewegung - nach oben ab
- b)
 Der Springer lässt die
 Ausholbewegung
 und den Sprung
 fließend ineinander übergehen
- c) Der Springer führt vor dem Hochsprung zwei bis drei einleitende Laufschritte aus und lässt sie fließend in den beidbeinigen Absprung übergehen
- d) Der Springer steht auf einem dreiteiligen Sprungkasten, springt von dort herunter und lässt den Niedersprung fließend in den Anschlagsprung übergehen

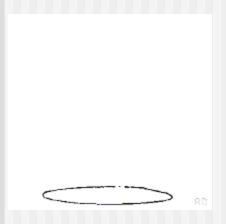
Aufgabe:

Stelle eine begründete Hypothese über mögliche unterschiedliche Sprungleistungen auf!

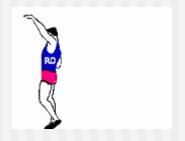
2. Angewandte Physik/2.8. Biomechanische Prinzipien

Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges





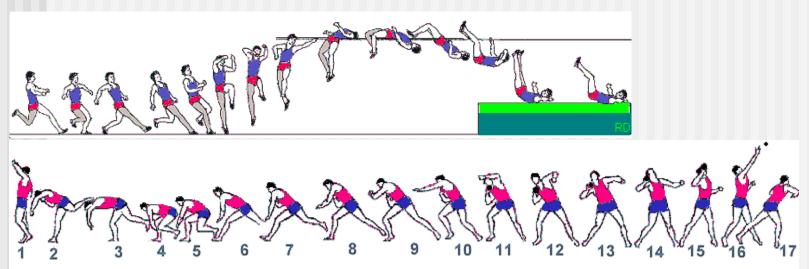
Der Beschleunigungsweg soll optimal (nicht maximal!) und geradlinig (z.B. Strecksprung) oder stetig gekrümmt (z.B. Tennisschlag) sein



Prinzip der Koordination von Teilimpulsen

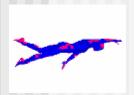


Für eine hohe Endgeschwindigkeit ist es günstig, wenn die Geschwindig-keitsmaxima der einzelnen Körpersegmente zeitlich nacheinander geschaltet sind.



2. Angewandte Physik/2.8. Biomechanische Prinzipien

Prinzip der Gegenwirkung



Jede auf einem festen Untergrund einwirkende Kraft zieht eine Reaktionskraft nach sich. Jede Drehbewegung eines Körperteiles bewirkt eine Drehbewegung eines anderen Körperteiles in die Gegenrichtung

RD

Beispiel Weitsprung:

Der Springer bringt während der Flugphase die Beine nach vorne. Nach dem Prinzip der Gegenwirkung wird automatisch der Oberkörper nach vorne gebeugt. (oder umgekehrt?)

2. Angewandte Physik/2.8. Biomechanische Prinzipien

Prinzip der Impulserhaltung



Das Prinzip der Impulserhaltung findet hauptsächlich Anwendung bei Drehbewegungen im Sport. Drehbewegungen können durch ein Öffnen oder Schließen in ihrer Geschwindigkeit beeinflusst werden. Ein Heranbringen von Körperteilen nahe der Drehachse führt zu einer Geschwindigkeitserhöhung, ein Abspreizen führt dagegen zu einer Verringerung der Geschwindigkeit der Drehbewegung.

2.10. Übungsaufgaben