3. Richtungsabhängigkeiten von physikalischen Grössen

EINFÜHRUNG

Auf Seite 6 im letzten Kapitel haben Sie schon gesehen, dass einige physikalische Grössen – wie z.B. die Kraft – eine **Richtungsabhängigkeit** haben. Solche Grössen nennt man **vektorielle Grössen**. Andere Grössen – wie z.B. die Dichte – zeigen *keine* Richtungsabhängigkeit. Diese Grössen nennt man **skalare Grössen**.

Zur Repetition sind hier alle physikalischen Grössen angegeben, die Sie bis jetzt kennen gelernt haben:

vektorielle Grössen: - Strecken und Geschwindigkeiten
- Kräfte (auch das Gewicht)
- Ortsfaktoren

skalare Grössen: - Zeit, Masse, Volumen und Dichte
- Arbeit, Energie und Leistung

Es ist ganz einfach, skalare Grössen („Zahlen“) zueinander zu addieren. Etwas umständlicher ist es, Vektoren algebraisch zu addieren. Wie das geht, soll hier in Anlehnung an den Mathematikunterricht noch einmal gezeigt werden.

3.1 Zusammenwirken von Kräften II (DB 63, 82 – 89)

Kräfte sind vektorielle Grössen. Also kann man beim Zusammenwirken zweier Kräfte (siehe auch Kap. 2.4, S. 9) nicht einfach die Beträge der Kräfte (in [N]) zusammenzählen, sondern man muss die Richtungsabhängigkeit mit berücksichtigen. In einem ersten Schritt wollen wir das graphisch tun (ohne Algebra) und in einem zweiten Schritt auch noch rechnerisch.

→ DB 63, „6. Kräfte sind Vektorgrössen“ → Merksatz und f.

Die Wirkung einer Kraft hängt ab

-
-
-

Kräfte stellen wir in physikalischen und technischen Zeichnungen symbolisch als **Pfeile** dar.

- **Angriffspunkt**: Den Pfeil heften wir an den Punkt des Körpers, an dem die Kraft angreift.
- **Richtung**: Die Spitze des Pfeils weist in die Kraftrichtung.
- **Betrag**: Den Betrag der Kraft kennzeichnen wir durch die Länge des Pfeils. Für die erste Kraft können wir einen Massstab frei wählen (z.B. 1 cm ≡ 30 N oder 1 cm ≡ 1 kN etc.), die weiteren Kräfte müssen daran angepasst werden.

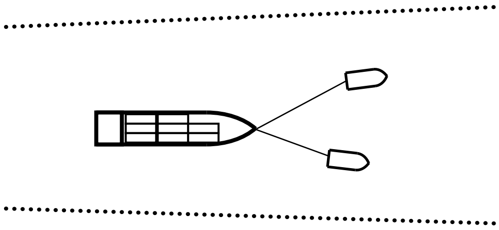
Wenn man alle **an einem Körper** angreifenden Kräfte zueinander addiert (vektoriell natürlich!), so erhält man die Gesamtkraft, welche an diesem Körper angreift. Diese Gesamtkraft hat dieselbe Wirkung wie alle Kräfte zusammen[1] und könnte diese vielen Kräfte deswegen „ersetzen“. Man nennt diese Gesamtkraft deshalb auch **Ersatzkraft**.

Definition: **Ersatzkraft** = **resultierende Kraft F_{res}** = Summe aller an <u>einem Körper</u> angreifenden Kräfte.

[1] Dies gilt zumindest in Bezug auf die Bewegungsveränderung des Schwerpunktes. Körper können aber auch noch gedreht oder verformt werden.

A) Graphische Addition von Kräften

Beispiel 1: Ein Containerschiff wird von zwei Schleppschiffen in einen Hafen gezogen. Wir zeichnen alle Kräfte auf das Containerschiff ein:



Definition: Addieren sich alle Kräfte, die an einem Körper angreifen zu Null → $F_{res} = 0$, d.h. ist das Kräftevieleck für einen Körper geschlossen, dann spricht man vom **Kräftegleichgewicht**, kurz **KGG**.

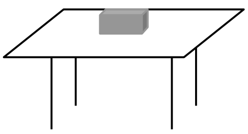
Ein Körper im KGG behält seine Momentanbewegung bei (konstante Geschwindigkeit gerade aus)! Man spricht in diesem Zusammenhang auch von **Trägheit**: Jeder Körper möchte seine Momentanbewegung beibehalten; um die Bewegung zu verändern, muss man eine Kraft aufwenden (→ Kap. 2.1 Kräfte und ihre Wirkungen und → DB 82/83).

Beispiel 2: Eine Person zieht einen Schlitten mit einem Kind hinter sich her. Wir zeichnen alle Kräfte ein, die auf den Schlitten wirken:

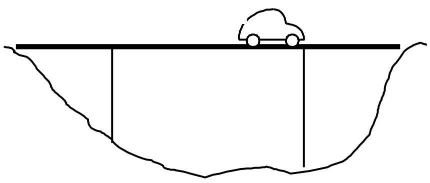
Aufgaben zur graphischen Addition von Kräften

1. Zeichnen Sie in den folgenden Beispielen alle Kräfte auf den unterstrichenen Körper ein, so dass diese im KGG sind:

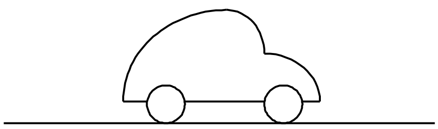
Klotz auf Tisch



Brückenplatte

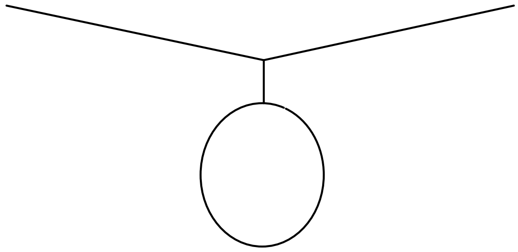


fahrendes Auto

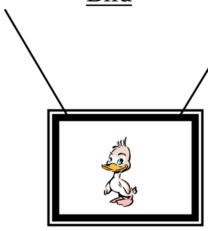


fliegendes Flugzeug

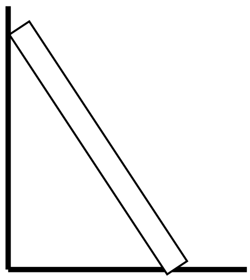
Seilbahn



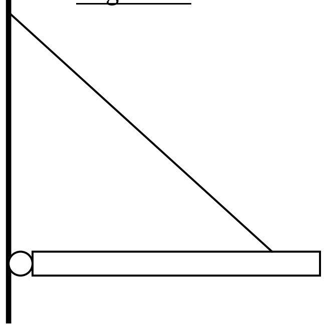
Bild



Brett an Wand gelehnt



Zugbrücke



2. Was versteht man unter dem Trägheitsprinzip?

B) Zerlegung und algebraische Addition von Kräften

In sehr vielen Fällen kennt man von einer Kraft

- den **Betrag**, d.h. die Stärke in [N], die mit Hilfe eines Newtonmeters gemessen werden kann, und

- die **Richtung** in ° (Grad), die man von einer Photographie mit dem Transporteur herauslesen kann.

Damit kennt man die so genannten *Polarkoordinaten* der Kraftvektoren. Um zwei Kraftvektoren aber addieren zu können, muss man diese Angaben in *kartesische Koordinaten* umwandeln. Diese Umwandlung nennt man **Zerlegung einer Kraft**.[2]

[2] Hinweis: Ich zeige hier eine „vereinfachte Variante“ der Kräftezerlegung, weil die Winkelfunktionen „sinus“, „cosinus“ und „tangens“ erfahrungsgemäss vor allem im rechtwinkligen Dreieck bekannt sind und ihre Verwendung am Einheitskreis mehr Mühe bereitet.

Beispiel 1: Gegeben sind $\vec{F}_1$ und $\vec{F}_2$; Gesucht ist $\vec{F}_{res}$

1. F_1 und F_2 zerlegen (Überführung in kartesische Koordinaten)

2. Kräfte vektoriell addieren

3. Betrag und Winkel berechnen

Beispiel 2: Gegeben sind zwei Kräfte; Gesucht ist eine dritte Kraft (Betrag, Winkel), sodass KGG herrscht!

1. F_1 und F_G zerlegen

2. Gleichung aufstellen und lösen

3. Betrag und Winkel (Richtung) ausrechnen

Beispiel 3: Gegeben sind eine Kraft und die Richtung zweier weiterer Kräfte; Gesucht sind die Beträge der beiden Kräfte.

1. Kräfte soweit möglich zerlegen

2. Gleichungssystem aufstellen und auflösen

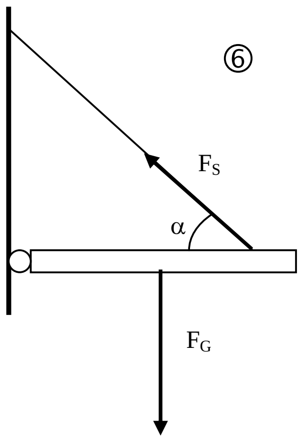
AUFGABEN ZUR ALGEBRAISCHEN ADDITION VON KRÄFTEN

3. Gegeben sind die zwei Kräfte F_1 und F_2. Welchen Betrag hat die resultierende Kraft F_{res} und welchen Winkel schliesst sie mit der x-Achse ein (Richtung angeben: z.B. „nach links oben“)?
   a) F_1: 30 N unter einem Winkel von 60° zur x-Achse nach links oben.
      F_2: 15 N unter einem Winkel von 36,87° zur x-Achse nach rechts unten.
   b) F_1: 200 N in Richtung Südwest
      F_2: 400 N in Richtung Ostsüdost (Winkelhalbierende zwischen Ost und Südost)

4. Welche dritte Kraft müsste wirken, wenn dadurch die zwei angegebenen Kräfte aus 3a) resp. 3b) aufgehoben werden sollen? – Geben Sie die Kraft i. als Vektor an, ii. ihren Betrag, iii. den Winkel, den sie mit der x-Achse einschliesst und iv. die Richtung (z.B. „nach links oben“ oder ungefähre Himmelsrichtung) an!

5. Eine Gondel (m = 500 kg) ist symmetrisch aufgehängt: die tragenden Seilabschnitte bilden mit der Horizontalen je einen Winkel von a) 10°, b) 5° und c) 2°. Mit welcher Kraft werden die beiden Seilabschnitte gespannt? – Um welchen Faktor übertreffen sie damit die Gewichtskraft der Gondel? (Hinweis: machen Sie eine Skizze)

6. Bei der Zugbrücke in Skizze 6 sind zwei Kräfte bekannt: F_G = 560 N, F_S = 750 N, sowie der Winkel α = 36,87°. Die ganze Anordnung ist im KGG
   a) Wo wirkt die dritte Kraft?
   b) Wie gross ist sie (Betrag, Richtung)?

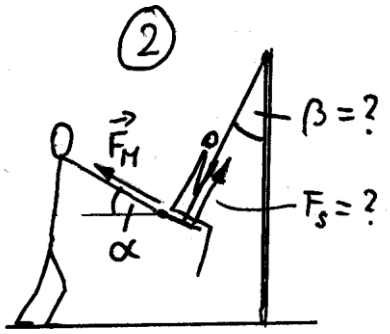


7. Auf einem Foto aus der Vogelperspektive sieht man, wie drei Knaben an Seilen ziehen, die aneinander geknotet sind. Ein Knabe zieht mit 300 N nach rechts. Ein zweiter Knabe zieht unter einem Winkel von 20° zur **y**-Richtung nach links oben, der dritte unter einem Winkel von 30° zur **y**-Richtung nach links unten. Mit welchen Kräften ziehen diese beiden Knaben? (Machen Sie eine Skizze!)

2 Aufgaben aus einer früheren Prüfung

8. Skizze 2: Eine Mutter zieht ihr Kind (m = 15,6 kg) auf einer Schaukel mit F_M = 75 N, α = 16,26° nach hinten. Wie gross sind die Seilkraft der Schaukel F_S und der Winkel β?

9. Skizze 3: Ein Kind (m = 19 kg) sitzt auf einem Seil. Die Winkel zur Horizontalen betragen α = 28,07° und β = 46,40°. Wie gross sind die Seilkräfte F_1 und F_2?



Lösungen

3. a) $\vec{F}_{res} = \begin{pmatrix} -3 \\ 16.98 \end{pmatrix} N$ → *F_{res}= 17,24 N, α = 80° nach links oben*

   b) $\vec{F}_{res} = \begin{pmatrix} 228 \\ -294 \end{pmatrix} N$ → *F_{res} = 372 N, α = 52,2° etwa nach Südost*

4. a) $\vec{F}_{res} = \begin{pmatrix} 3 \\ -16.98 \end{pmatrix} N$ → *F_{res}= 17,24 N, α = 80° nach rechts unten*

   b) $\vec{F}_{res} = \begin{pmatrix} -228 \\ 294 \end{pmatrix} N$ → *F_{res} = 372 N, α = 52,2° etwa nach Nordwest*

5. a) 14,4 kN (Faktor 5,75) b) 28,7 kN (Faktor 11,5) c) 176 kN (Faktor 28,7)

6. a) siehe Kapitel 3.1, Aufgabe 1

   b) $\vec{F}_{res} = \begin{pmatrix} 600 \\ 110 \end{pmatrix} N$ → *F_{res}= 610 N, α = 10,4° nach rechts oben*

7. F_2 = 339 N; F_3 = 368 N

8. 153 N; 28,07°

9. F_1 = 136 N; F_2 = 174 N

3.2 Die Reibungskraft (DB 110/111)

Repetition und Verallgemeinerung

Siehe Kapitel 2.5 (Seiten 7 – 8) des Skripts: $F_R = F_B \cdot f_{gl/h/r}$

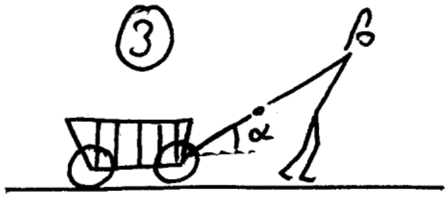
Hinweis: Bis anhin wirkten die Kräfte nur parallel oder senkrecht zur Reibungskraft. Dadurch konnten wir die Bodenkraft F_B einfach durch die Gewichtskraft F_G ersetzen. Sobald Kräfte aber schräg zur Unterlage wirken, müssen wir die Bodenkraft F_B geeignet anpassen (siehe Bsp. von der Person, die den Schlitten zieht, Skript S. 17).

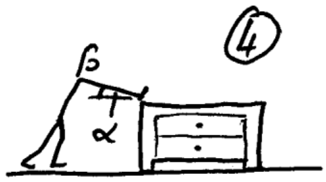
Aufgaben zum Kapitel 3.2

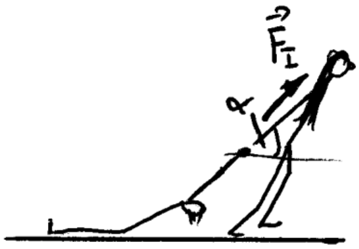
1. Eine Person zieht mit F_P = 80 N an einem Leiterwagen (m = 20 kg) unter einem Winkel α von a) 30° und b) 45° zur Horizontalen. Die Rollreibungszahl für den Wagen betrage 0,4. Welche resultierende Kraft entsteht dabei? (siehe Skizze 3) Was geschieht also mit dem Wagen? *(5,28 N / -0,804 N)*

2. **Alte Prüfungsaufgabe**
   a) Isolde schleift den toten Tristan (72 kg) mit einer Kraft F_I = 450 N hinter sich her (unterste Skizze, f_{gl} = 0,75 und α = 36,87°). Wie gross wird die resultierende Kraft? *(F_{res} = 22,5 N)*
   b) Was geschieht in diesem Augenblick mit Tristan? (Nein, er erwacht nicht zu neuem Leben, sie küsst ihn nicht etc. es geht hier um reine Physik)

3. Eine Person möchte eine Kommode (m = 15 kg) über einen Parkettboden schieben (f_h = 0,6). Sie drückt unter einem Winkel α von a) 20° und b) 40° zur Horizontalen von oben auf die Kommode. Welche Kraft muss die Person beim Anschieben mindestens aufwenden? (siehe Skizze 4) *(122,5 N / 237 N)*



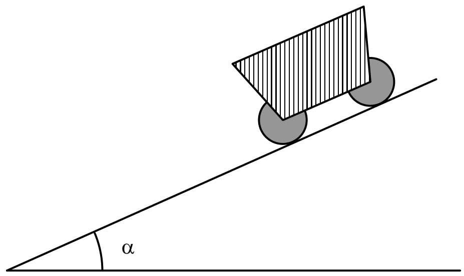




3.3 Die schiefe Ebene (S. 88/89)

Bisher sind wir bei unseren Betrachtungen stillschweigend davon ausgegangen, dass die Prozesse auf einer horizontalen Unterlage ablaufen. Das ist natürlich, wie Sie vom Velo- oder Autofahren wissen, nicht immer der Fall.

Definition: Wenn eine Unterlage geneigt ist, spricht man von einer **schiefen Ebene**. Solche Ebenen sind charakterisiert durch ihren **Neigungswinkel** α bezüglich der Horizontalen.



AUFGABEN

1. Wie gross sind die Hangabtriebskraft und die Normalkraft eines 20 kg schweren Wagens auf einer Rampe mit Neigung a) 30°, b) 45° und c) 60°? *F_N = 173 N / 141 N / 100 N*
   F_H = 100 N / 141 N / 173 N

2. Ein Auto (m = 1700 kg) fährt mit konstanter Geschwindigkeit eine um 8,8° ansteigende Strasse hinauf. Welche Kraft muss der Motor aufbringen, a) ohne Berücksichtigung der Reibung, b) mit Reibung (Rollreibungszahl f_r = 0,1)? *2600 N / 4280 N*

3. Lösen Sie 2b) nochmals unter der Annahme, dass das Auto die Strasse hinunter fährt. *-920 N → bremsen*

4. Welche Rollreibungszahl müsste vorhanden sein, damit ein Auto, welches auf einer Strasse mit Neigung 4,58° abwärts rollt, nicht schneller oder langsamer wird? *0,08*

5. Welche Geschwindigkeit erreicht eine Velofahrerin unter Berücksichtigung der Reibung *und des Luftwiderstandes* ohne zu trampeln auf einer Strasse mit 6° Neigung (ca. 10,5 Steigungs-%)?
   Angaben: $m_{Fahrerin+Velo}$ = 70 kg; c_W = 0,6; A = 0,5 m^2; f_r = 0,05 *(14,6 m/s ≈ 52,6 km/h)*

6. Auf der Strecke Chur – St. Moritz der RhB (z. T. Weltkulturerbe der UNESCO seit 2008) beträgt die maximale Steigung 35 ‰ → α = 2°. Es werden Zugkompositionen mit 15 Wagen à 22 Tonnen eingesetzt. Die Haftreibung der Stahlräder auf den Schienen beträgt f_h = 0,2, die Rollreibung f_r = 0,001. Wie schwer muss die Lokomotive, welche diese Zugskomposition ziehen kann, mindestens sein? (Angaben der RhB) *(72,2 t)*

Landwasserviadukt der RhB

3.4 Actio und Reactio – das Wechselwirkungsprinzip (DB 108/109)

In diesem Kapitel werden Sie lernen, dass Kräfte *immer* paarweise auftreten. Das ist, wie Sie sofort einsehen werden, absolut selbstverständlich. Allerdings birgt sich hier immer auch die Gefahr der Verwechslung mit dem KGG (Kräftegleichgewicht)!

Beispiel 1: Zwei Wägelchen sind durch eine gespannte Feder miteinander verbunden. (siehe Lektion)

→ DB 108, 1. Abschnitt und Merksatz

Beispiel 2: Eine Luftkissenbahn am Umkehrpunkt:

Beispiel 3: Ein Apfel an einem Ast

→ **Lesen**: DB 109, 3. Abschnitt: Bewegung wird erst durch die reactio möglich!

Aufgaben

1. Formulieren Sie für jede Kraft aus den Beispielen „Klotz auf Tisch“ und „fliegendes Flugzeug“ der Aufgabe 1 von Kapitel 3.1 je einen Satz. Geben Sie je die Gegenkraft dazu an!

2. „Schwebender Magnet“ (siehe Stunde): Tragen Sie in die linke Skizze alle auf den unteren Magneten (KGG) und in die rechte alle auf den oberen Magneten wirkenden Kräfte (KGG) ein.
   Formulieren Sie zu jeder dieser Kräfte die Gegenkraft (reactio). Ein solches Kräftepaar haben Sie schon gezeichnet.

3. In einem geschlossenen Lastwagen (mit Licht) sitzen viele Vögel auf Stängelchen. Durch einen Schreck fliegen alle auf und flattern wild durch den Camion. Wird der Lastwagen dadurch leichter oder schwerer?

3.5 Arbeit und Energie

Im Kapitel 2.7 (Seite 11) haben Sie die allgemeine Definition der Arbeit kennen gelernt und daraus die Formeln für die Hubarbeit (und die Beschleunigungsarbeit) abgeleitet.

In diesem Kapitel wird eine weitere wichtige Arbeitsform eingeführt: die **Reibungsarbeit**, welche meistens dazu führt, dass Wärme entsteht. Ausserdem werden wir die allgemeine Definition der Arbeit etwas präzisieren.

Bisherige Definition der allgemeinen Arbeit und der Reibungsarbeit

Erweiterte Definition der Arbeit

Bis anhin haben wir nicht berücksichtigt, dass eine Kraft auch schräg – statt parallel – zur Bewegungsrichtung wirken kann:

Sie sind sich (langsam) gewohnt, dass Kräfte, die schräg zum Untergrund wirken, **zerlegt** werden müssen. Wenn wir das tun, merken Sie sofort, dass mit dem **vertikalen Anteil** der Kraft **keine Arbeit** verrichtet werden kann, weil der Körper in diese Richtung ja gar nicht bewegt wird (solange $F_{vertikal} < F_G$, sonst Hubarbeit).

Erweiterte Definition der Arbeit:

Energieerhaltung und Wärme

Wo Reibungsarbeit verrichtet wird, entsteht **Wärme**. Wärme ist – wie Sie in Kapitel 2.7 (Seite 11) gesehen haben, eine **Energieform**. Für die Wärme verwenden wir das **Formelzeichen Q** (für „Quantität“).

James Joule (1818 – 1889) hat bei Untersuchungen im Jahre 1843 zeigen können, dass die Energieerhaltung auch gilt, wenn Reibung im Spiel ist. Allerdings diffundiert diese Energie relativ rasch aus dem System hinaus in die Umgebung, ist also für das System selber nicht mehr weiter nutzbar.

Wir können also die Energieerhaltungsformel aus Kapitel 2.9 erweitern zu:

Aufgaben zum Kapitel 3.5

1. Wird (physikalisch idealisierte) Arbeit verrichtet, wenn…
   a) ein Kran, eine Last fest hält?
   b) ein Kran sich dreht und dabei eine Last in konstanter Höhe fest hält?
   c) ein Mensch einen schweren Koffer haltend an einer Busstation wartet?
   d) Weshalb stimmt die Antwort bei 1c) nicht mit der Realität überein? Stichwort: „physiologische Arbeit“

2. Eine Person zieht einen Wagen (m = 19,6 kg) in horizontaler Richtung über ½ km mit konstanter Geschwindigkeit hinter sich her. Die Rollreibungszahl betrage 0,3. Welche Reibungsarbeit verrichtet die Person? *(29,4 kJ)*

3. Verändert sich die Reibungsarbeit, wenn
   a) die Geschwindigkeit grösser oder kleiner ist?
   b) die Masse des Wagens grösser oder kleiner ist?
   c) die Unterlage von Asphalt zu Kies wechselt?

4. Ein Arbeiter möchte ein Fass (50 kg) auf einen Lastwagen hieven (1,2 m). Spart er Arbeit, wenn er das Fass statt es direkt hochzuheben, eine Rampe mit Neigungswinkel α hochrollt…
   a) ohne Reibung?
   b) mit Reibung?

5. Wie weit schlittert ein Holzklotz mit Anfangsgeschwindigkeit 3,2 m/s auf einer Tischplatte (Reibungszahl f = 0,4)? *(1,28 m)*

6. Ein Skifahrer fährt einen Hang hinunter und lässt dann auf horizontaler Passage auslaufen. Am *unteren Ende* des Hanges hat er eine Geschwindigkeit von 54 km/h.
   a) Wie weit kommt er, wenn die Reibungszahl 0,15 beträgt? *(75 m)*
   b) Nach welcher Strecke ist seine Geschwindigkeit noch halb so gross? *(56,25 m)*

7. Ein SBB-Wagen rolle reibungsfrei einen Rangier-Hügel (h = 2 m) hinunter. Auf der horizontalen Auslaufstrecke rollt er noch 500 m weit.
   a) Wie gross ist die Reibungszahl auf der Auslaufstrecke? *(0,004)*
   b) Welche Geschwindigkeit hat er am unteren Ende des Rangier-Hügels? *(6,33 m/s)*

3.6 Wirkungsgrad und Leistung

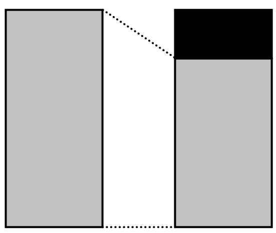
WIRKUNGSGRAD

Bei jeder Umwandlung von einer Energieform in eine andere entstehen (Energie-)Verluste – zumindest aus Sicht des jeweiligen Systems. Insbesondere gibt es bei jedem mechanischen Prozess Reibung, und dadurch entsteht Wärme, die nach kurzer Zeit vom System an die Umgebung abgegeben wird und sich in einem grösseren Raumbereich verteilt. Das „Einsammeln" dieser Wärmeenergie ist nicht mehr vollständig möglich (siehe „zweiter Hauptsatz der Wärmelehre" am Ende des nächsten Semesters)

Allgemein gilt natürlich: Ein Prozess ist umso effizienter (meist auch „besser"), wenn von der gespeicherten Energie möglichst viel in nutzbare Energie – z.B. Arbeit – umgewandelt werden kann. Deshalb definieren wir den Wirkungsgrad folgendermassen:

Definition des Wirkungsgrades:

Definition:



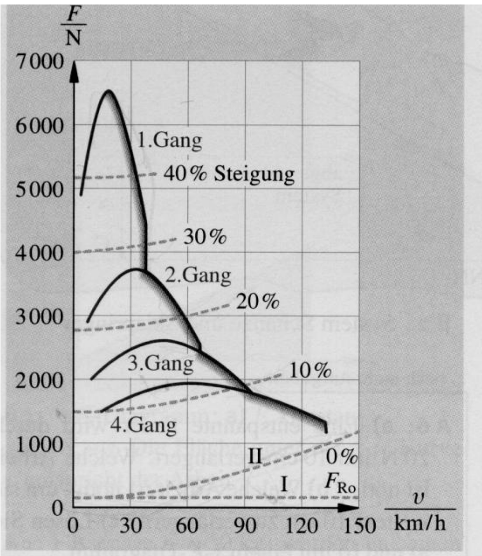
Trick: Bei Aufgaben zur Berechnung von Wirkungsgraden müssen Sie versuchen, sich den Vorgang in seinem zeitlichen Ablauf vorzustellen, denn: Solange Sie eine Energie nicht irgendwo gespeichert haben, solange können Sie sie auch nicht nutzen. Deshalb ist „E_{gesp}" immer *zeitlich **vor*** „E_{nutz}"!

MOMENTANE LEISTUNG

Wir gehen aus von der Definition der Leistung (siehe Kapitel 2.9, Seite 15) und formen diese etwas um:

Für Autos mit einer bestimmten Leistung, z.B. 100 PS ≈ 74 kW, folgt daraus, dass sie Ihre Leistung entweder

- als Geschwindigkeit oder
- als Kraft nützen können, aber nicht beides beliebig stark aufs Mal (→ siehe Bild auf der nächsten Seite)



B 1: Kraft-Geschwindigkeitsdiagramm für einen Pkw (53 kW). Rot: Kräfte, die das Auto höchstens aufbringen kann; Orange: Kräfte, die es beim Fahren braucht.

Die Kraft ändert sich beim Schalten

In ➠ *Bild 1* sind die Antriebskräfte F (rot) eines Pkw (m = 800 kg) im 1. bis 4. Gang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v aufgetragen (bei Vollgas). Jeder Gang zeigt ein für ihn ausgeprägtes Maximum. Anschließend sinkt die Kraft F schnell ab; bei diesem Pkw muss man deshalb bald in den nächsten Gang schalten. Orange sind die zur Fortbewegung nötigen Kräfte eingetragen.

Kurve I gibt den Rollwiderstand F_{Ro} (ca. 200 N) an. In Kurve II ist dazu die schnell mit der Geschwindigkeit v ansteigende Luftwiderstandskraft F_L addiert. Damit haben wir die Kraft, die auf waagerechter Straße ($\varphi = 0°$) zu überwinden ist. Unser Pkw bringt sie im 4. Gang bis 130 km/h noch auf. Schneller wäre er nur bei Rückenwind oder bergab.

In den Kurven darüber sind die Kräfte addiert, die bei Bergfahrten hinzutreten. Was unser Wagen darüber hinaus noch an Kraft aufbringt, kann er zum Beschleunigen verwenden. Im 3. Gang hat er z. B. bei 60 km/h am Hang mit 10% Steigung noch ca. 2600 N – 1800 N = 800 N übrig. Er kann dort mit $a = F/m = 1\ \text{m/s}^2$ beschleunigen.

AUFGABEN ZUM KAPITEL 3.6

1. Ein Elektromotor benötigt zum Emporheben einer Last von 20 kg um 8 Meter eine elektrische Energiemenge von 2000 J. Wie gross ist sein Wirkungsgrad? *(η = 80 %)*

2. Mit dem in einem Stausee gespeicherten Wasser (2000 m^3, 500 m über dem Turbinenhaus) kann eine elektrische Energie von 2500 kWh bereitgestellt werden. Wie gross ist der Wirkungsgrad des Generators? *(η = 90 %)*

3. a) Um ein Auto (m = 840 kg) von 0 auf 90 km/h zu beschleunigen benötigt der Motor 3 cl Benzin (ohne Luftwiderstand). Jeder cl Benzin enthält 340 kJ Energie. Wie gross ist der Wirkungsgrad des Motors? *(η = 25,7 %)*

   b) Wie viel Benzin wird mit bei diesem Wirkungsgrad benötigt, um von 36 auf 126 km/h zu beschleunigen (auch ohne Luftwiderstand)? *(5,41 cl)*

4. a) Der Motor eines Krans leistet 20 kW. Mit welcher Geschwindigkeit zieht er einen Stahlträger (m = 0,5 t) hoch? *(4 m/s)*
   b) Um wie viele Meter hebt der Kran den Eisenträger in 2 Sekunden, wenn der Wirkungsgrad des Motors 75 % beträgt? *(6 m)*

5. Welche max. Leistung hat ein Auto (m = 1,5 t; $c_W = 0{,}3$, $A = 2\ m^2$, $f_r = 0{,}04$), dessen Maximalgeschwindigkeit v = 270 km/h beträgt? *(197 kW)*

6. a) Ein Auto (m = 1,2 t) beschleunigt „in 8 Sekunden von 0 auf 100“. Welche Leistung hat es (theoretisch)? *(57,9 kW)*
   b) Der Wirkungsgrad kann auch über Leistungen definiert werden: $\eta = \frac{P_{nutz}}{P_{eingesetzt}}$. Die in Teilaufgabe a) berechnete Leistung ist „P_{nutz}“. Welche tatsächliche Leistung hat der Motor bei einem Wirkungsgrad von 30 %? *(193 kW)*

Beispiele von Wirkungsgraden

System: Umwandlung der Energieformen	η
• **Fadenpendel**: potenzielle → kinetische → potenzielle Energie	98 %
• **Wasserkraftwerk**: potenzielle (kinetische) → elektrische Energie	95 %
• **Wasserrad**: kinetische → mechanische Energie (kin. / pot.)	75 %
• **Elektromotor**: elektrische → kinetische Energie	70 – 90 %
• **Dieselmotor**: chemische Energie → Wärme → kinetische Energie	35 %
• **Kohlenkraftwerk**: chemische Energie → Wärme → elektrische Energie	35 %
• **Kernkraftwerk**: Kernenergie → Wärme → elektrische Energie	33 %
• **Viertaktmotor**: chemische Energie → Wärme → kinetische Energie	25 – 30 %
• **Solarzellen**: Sonnenenergie → elektrische Energie	15 – 20 %
• **Glühbirne**: elektrische Energie → Wärme → Licht (Strahlungsenergie)	10 %
• **Nahrung**: chemische Energie → chemische Energie / Wärme	10 %

Beispiele für Leistungen

Was	mittlere Leistung	
• Mensch, Glühbirne	60 – 100 W	10^2 W
• Pferd	bis 500 W	$5 \cdot 10^2$ W
• elektrischer Ofen, Staubsauger	1 kW	10^3 W
• Auto	100 kW	10^5 W
• Rheinschiff	1 MW	10^6 W
• Lokomotive	1,5 MW	$1{,}5 \cdot 10^6$ W
• Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	1GW	10^9 W
• Sonne	$4 \cdot 10^{23}$ W	$4 \cdot 10^{23}$ W