5. Von einfachen Maschinen und physikalischer Arbeit - Energieformen der Mechanik

79 Im vorangegangenen Kapitel wurden Sie mit dem Energiesatz bekannt gemacht und Sie haben die Begriffe kennen gelernt, die Sie benötigen, um sich in diesen Zusammenhängen verständlich und differenziert ausdrücken zu können. Das kann nur der Anfang gewesen sein, denn der Energieerhaltungssatz macht eine Aussage über Energieformen als quantifizierbare Grössen. Wir müssen uns nun also der Berechnung der verschiedenen **Energieformen** zuwenden. Den Zugang dazu finden wir über die **einfachen Maschinen**.

Ziele dieses Kapitels

1. Sie können physikalische Arbeiten und mechanische Energieformen berechnen.
2. Sie wissen, wie die Berechnungsformeln für die Energieformen entwickelt werden.
3. Sie können mit Hilfe des Energiesatzes Probleme lösen und dabei das typische Lösungsschema anwenden.

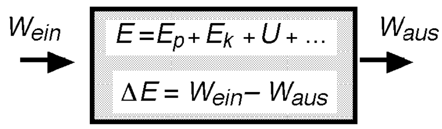
Arbeit verrichten

80 Unter einfachen Maschinen verstehen wir Vorrichtungen zur Kraftübersetzung: Hebelarme, Kurbeln, Flaschenzüge, Zahnradgetriebe, hydraulische Pressen.

Wir können derartige Vorrichtungen als **nicht–abgeschlossene Systeme** betrachten: An einer Stelle wird Energie zugeführt (z.B. durch Drehung an einer Kurbel) und an einer anderen Stelle wird Energie abgegeben (z.B. indem eine Last an einem Seil hochgezogen wird). Bei den genannten einfachen Maschinen können wir davon ausgehen, dass nahezu gleichviel Energie wieder abgegeben wie zugefügt wird, d.h. nur ein **vernachlässigbar** kleiner Anteil der zugeführten Energie wird durch **Reibung** in innere Energie umgewandelt.

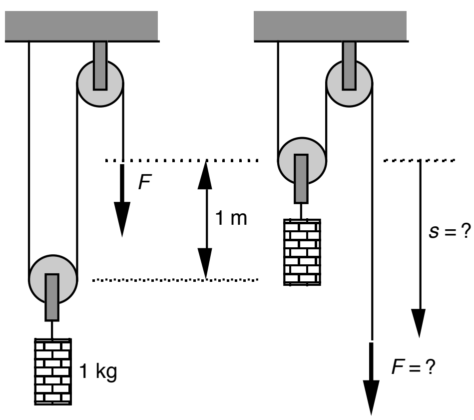
Eine weitere Eigenschaft dieser Systeme ist, dass sowohl Energiezufuhr als auch Energieabgabe ausschliesslich durch Kraftanwendung entlang eines Weges, also durch **Verrichtung von Arbeit** geschieht.

Die **Energiebilanz** (siehe auch letztes Kapitel) einer einfachen Maschine können wir folgendermassen darstellen: Am System wird die Arbeit W_{ein} verrichtet und das System gibt die Arbeit W_{aus} wieder ab. Ist das System näherungsweise reibungsfrei, nimmt dessen innere Energie also nur um vernachlässigbare Beträge zu, so ist $\Delta E = W_{aus} - W_{ein} \approx 0$, d.h. es ist $W_{aus} \approx W_{ein}$.



81 Wir übertragen dieses Schema nun konkret auf den **Flaschenzug**:

Das System bestehe aus zwei Rollen und der Schnur. Es wird die Arbeit W_{ein} verrichtet, indem am rechten Ende der Schnur gezogen wird. Das Rollensystem wiederum gibt die Arbeit W_{aus} an die Last ab: die Last wird angehoben. Wie die Zeichnung zeigt, soll eine Last von 1 kg Masse um 1 m angehoben werden, indem an einer Schnur gezogen wird, welche über zwei Rollen gelegt worden ist.



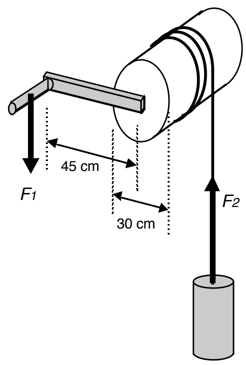
a) Um **welche Strecke** muss das rechte Ende der Schnur nach unten gezogen werden?

b) Mit einem Kraftmesser bestimmen wir die **Kraft** F, mit welcher gezogen werden muss, um die Last anzuheben.

c) Die zugeführte Arbeit (durch das Ziehen am Seil) muss gleich der abgegebenen Arbeit (beim Anheben der Last) sein. Erkennen Sie aus diesem Beispiel, wie die Arbeit **berechnet** werden muss?

Die Arbeit W

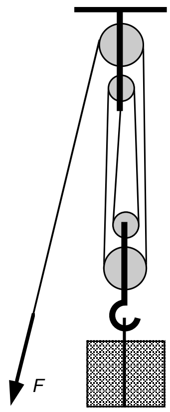
82 ? Um mit der abgebildeten **Seilwinde** eine Last anzuheben, wird deren **Kurbel** im Gegenuhrzeigersinn gedreht. Wie Sie jetzt wissen, ist die bei der Kurbel zugeführte Arbeit gleich gross, wie die an die Last abgegebene.



a) Bestimmen Sie die bei der Last (m = 65 kg) während einer Umdrehung **abgegebene Arbeit**.

b) Berechnen Sie die zum Drehen der Kurbel erforderliche **Kraft** F_1.

83 R **Flaschenzug**



a) Wie viel Arbeit muss verrichtet werden, um eine 200 kg schwere Kiste um 2 m anzuheben (siehe Skizze)?

b) Dieser Flaschenzug bewirkt, dass die Last im Prinzip an vier Seilen hängt. **Wie viel** (welche Länge) **Seil** muss deshalb beim Anheben der Last um 2 m in Richtung von F gezogen werden? (Anders gefragt: Entlang welchen Weges wirkt die Zugkraft F?)

c) Wie gross ist die **Arbeit**, die am freien Seilende verrichtet werden muss und wie stark muss die **Kraft** F sein?

d) Wie lautet beim Flaschenzug das **Prinzip**, welches die Berechnung des Über- , resp. Untersetzungsverhältnisses ermöglicht?

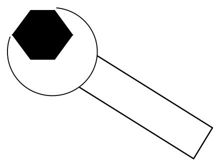
84 R **Schiefe Rampe**: Um ein 80 kg schweres Fass auf die 1.5 m hohe Ladefläche eines Lastwagens aufzuladen gibt es verschiedene Möglichkeiten:

a) Man zieht das Fass **vertikal** hoch und schiebt es auf die Fläche. Dabei muss das Fass mit einer Kraft hochgezogen werden, die so gross ist wie die Gewichtskraft des Fasses. Wie gross ist die aufzuwendende Arbeit?

b) Wie gross ist die aufzuwendende Arbeit, wenn das Fass über eine 5 m lange **Rampe** auf die Ladefläche gerollt wird?

c) Warum fällt es nach der Methode b) leichter, das Fass mit eigener Muskelkraft aufzuladen? Mit welcher **Kraft** muss das Fass hoch gerollt werden?

85 R **Flaschenöffner** oder **Schraubenschlüssel** können als einfache Maschine betrachtet werden. Erläutern Sie!



86 R Ein Klotz von 2 kg Masse rutscht mit konstanter Geschwindigkeit eine 3 m lange schiefe Ebene hinunter, die eine Neigung von 20° aufweist. **Reibungsarbeit**?

Energieformen der Mechanik

87 *i* Mit Hilfe der Arbeit können wir Berechnungsformeln für die verschiedenen Energieformen herleiten.

Zur Berechnung der verschiedenen Energieformen kann jeweils nach dem gleichen Muster vorgegangen werden: Man geht davon aus, dass in einem System die zu berechnende Energieform anfänglich nicht vorkommt. Danach wird dem System unter kontrollierten Bedingungen **Arbeit zugeführt**, und zwar so, dass die zugeführte Arbeit nur den Anteil der zu bestimmenden **Energieform vermehrt**. Ist nun also die zugeführte Arbeit bekannt, so kennt man auch den Betrag der gesuchten Energieform.

88 ? Ein Körper mit der Masse $m = 2$ kg soll um $h = 3$ m **angehoben** werden.

a) Wie viel Arbeit muss dem Körper zum Anheben zugeführt werden? Wir nennen die Arbeit, welche ein Anheben bewirkt, **Hubarbeit**.

b) **Welche Energieform** wird bei diesem Vorgang vergrössert?

89 ? Ein Wagen von 1000 kg Masse soll aus dem Stillstand entlang eines Weges von 100 m mit 2 m/s^2 **beschleunigt** werden.

a) Bestimmen Sie die zur Beschleunigung erforderliche **resultierende Kraft**.

b) Wie viel **Beschleunigungsarbeit** wird durch die resultierende Kraft entlang des Beschleunigungsweges verrichtet?

c) Welche **Geschwindigkeit** hat der Wagen am Ende der Beschleunigungsstrecke?

d) Bestimmen Sie nun die Formel zur Berechnung der **Beschleunigungsarbeit**, die erforderlich ist, um eine beliebige vorgegebene Geschwindigkeit *v* zu erreichen (bei bekannter Masse).

e) **Welche Energieform** nimmt während der Beschleunigung zu?

90 ? Weiterführung der vorherigen Aufgabe: Die **Motorkraft** des Wagens muss grösser sein, als die **resultierende Kraft**, da ihr ja eine gewisse **Reibungskraft** entgegenwirkt.

a) Wie gross ist die **Rollreibungskraft**, wenn der Wagen auf trockener Asphaltstrasse fährt?

b) Wie viel **Reibungsarbeit** wird durch die Rollreibungskraft entlang des Beschleunigungsweges (100 m) verrichtet?

c) **Welche Energieform** wird dabei vergrössert?

91 Erläutern Sie die Aussage

Energie ist gespeicherte Arbeit

anhand der vorhin gelösten Aufgaben. Ergänzen Sie dazu den Kasten rechts. Falls Sie zu gewisser Kritik an obiger Definition veranlasst werden, so mag das gute Gründe haben?

Energie ist gespeicherte Arbeit

Hubarbeit →

Beschleunigungsarbeit →

Reibungsarbeit →

Einheit der Energie = Einheit der Arbeit

$$[W] = [E] = \mathrm{N} \cdot \mathrm{m} = \frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} = \mathrm{J} = \text{Joule}$$

Der Energiesatz hilft Probleme lösen

92 Bei den folgenden Übungen, die Ihnen zeigen sollen, wie der Energiesatz zur **Lösung konkreter Probleme** verwendet wird, kann für die Fallbeschleunigung der genäherte Wert $g \approx$ **10 m/s²** verwendet werden.

Wir berechnen die Geschwindigkeit, mit welcher ein Körper auf dem Boden aufschlägt, der aus 10 m Höhe fallen gelassen wird, mit dem **Energiesatz**. Wir knüpfen zu diesem Zweck an die Aufgabe **73** an. Protokollieren Sie die Ausführungen.

Das eben gelöste Problem haben Sie auch schon mit den Mitteln der Kinematik lösen können.

93 Nochmals die gleiche Ausgangslage: Berechnen Sie mit dem Energiesatz die Geschwindigkeit des Körpers **auf 5 Metern Höhe** über dem Boden.

Die Aufgabe und die Diskussion der Lösungswege zeigt, dass zur potentiellen Energie eine Bemerkung zu machen ist (Kasten):

Die potentielle Energie ...

94 Ein **Ball** wird vertikal 5 m hoch geworfen (von der Hand aus gemessen). Mit welcher Geschwindigkeit verlässt der Ball die Wurfhand?

Man löse diese Aufgabe, indem man das bei **116** vorgeführte Lösungsschema noch einmal konsequent anwendet.

Probleme lösen mit dem Energiesatz

1. Skizze des Vorganges
2. die zu vergleichende Situationen markieren
3. Nullniveau geeignet festlegen
4. für die markierten Situationen die Energie bestimmen
5. Energien für die verschiedenen Situationen einander gleichstellen (Energiesatz)
6. diese Energiegleichung benützen für die weitere Lösung des Problems

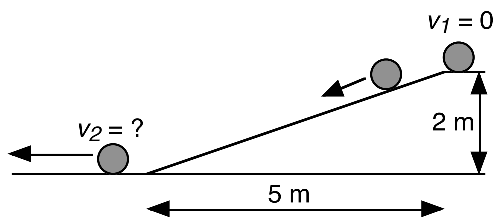
95 Es sei ein reibungsfreies **Fadenpendel** gegeben, dessen Länge 2 m und dessen Masse 2 kg beträgt. Dieses Pendel wird einmal bei einer Auslenkung um 35° losgelassen.

Berechnen Sie je die **potentielle Energie im höchsten Punkt** und die **kinetische Energie im tiefsten Punkt**.

Neu! Unsere Kenntnisse zur Kinematik reichten nicht aus, um die **Geschwindigkeit im tiefsten Punkt** zu berechnen. Mit dem Energiesatz können wir es!

96 Eine Kugel rollt reibungsfrei eine **Rampe** hinunter (siehe Skizze).

Bestimmen Sie die Geschwindigkeit am unteren Ende der Rampe.



97 ? Ein Auto (m = 1000 kg) fährt zuerst mit 100 km/h und **bremst** dann bis zum Stillstand ab.

a) Berechnen Sie die Energiemenge, die durch die Abbremsung an die Umgebung abgegeben wird.

b) Berechnen Sie die Höhe, die das Auto erreichen kann, wenn es durch das Ausrollen entlang einer ansteigenden Rampe (reibungsfrei) zum Stillstand kommt.

98 ? Eine Feder mit der Federkonstanten D = 100 N/m soll um 20 cm gedehnt werden. Um eine Feder zu spannen, muss **Deformationsarbeit**, resp. **Spannungsarbeit** verrichtet werden. Die Energie der Feder wird beim Spannen um den Betrag der verrichteten Arbeit vergrössert.

a) Wie gross ist die Federkraft bei Beginn der Dehnung, wie gross ist sie, wenn die Feder um 20 cm gedehnt ist?

b) Bei der Berechnung der Deformationsarbeit ist man also mit dem Problem konfrontiert, dass sich die Federkraft entlang des Weges ändert. Erkennen Sie dennoch eine Möglichkeit zum Beweis der Formel für die **Deformationsenergie** einer Feder (Kasten).

Deformationsenergie einer Feder

$$E_F = \frac{1}{2} D \cdot s^2$$

99 R Um ein Metallkügelchen der Masse 10 g vertikal in die Höhe zu spicken, wird es auf eine gestauchte **Feder** gelegt. Das Kügelchen soll genau 3 m hoch fliegen. Wie stark muss die Feder, deren Federkonstante D =60 N/m beträgt, gestaucht sein? (Skizze nicht vergessen)

100 R Ein **Auto** von 1000 kg Masse, der auf horizontaler Strecke fährt, wird von 10 km/h auf 30 km/h beschleunigt. Wie viel Energie muss zugeführt werden?

101 R **Im Turnen**: Ein Schüler rennt mit der Geschwindigkeit 4 m/s gegen die in der Ruhelage hängenden Ringe, hält sich daran fest und schwingt sich hoch. Diskutieren Sie den Vorgang unter dem Aspekt des Energiesatzes.

102 R Der physikalische Begriff **Arbeit** unterscheidet sich vom umgangssprachlichen. Beschreiben Sie.

103 R Wenn Sie Sich von einem **Lift** ins dritte Obergeschoss transportieren lassen, so wird an Ihnen Hubarbeit verrichtet. Wie viel etwa?

104 R Auf einer Tafel Schokolade (Marke **Edelbitter**) steht: „100 g enthalten 2270 kJ“. Stellen Sie sich vor, Sie hätten die aussergewöhnliche Fähigkeit, die Energie der gegessenen Tafel Schokolade sofort in mechanische Energie umzuwandeln, indem Sie einen Körper von 100 kg Masse vertikal nach oben werfen. Welche Höhe würde dieser Körper erreichen?

105 ✍ Halten Sie unter dieser Nummer die **Ergänzungen** fest, die wir im Unterricht zu diesem Kapitel (vielleicht) gemacht haben.

❑ Wir haben keine Ergänzungen gemacht.
❑ Ja, wir haben Ergänzungen vorgenommen, nämlich: