

Aufgaben 3

Mechanik Energie, Kinetische Energie, Potentielle Energie, Energiebilanz

Lernziele

- den Impuls als Energieträger verstehen.
- den Zusammenhang zwischen dem Impulsstrom und dem Energiestrom bei der Analyse und beim Lösen von konkreten Problemstellungen anwenden können.
- den mathematischen Ausdruck für die in einem Körper mit dem Impuls gespeicherte kinetische Energie anwenden können.
- den mathematischen Ausdruck für die in einem Körper gespeicherte potentielle Energie kennen, verstehen und anwenden können.
- die Impuls- und Energiebilanz in konkreten Problemstellungen anwenden können.
- mit der Modellierungssoftware Berkeley Madonna ein einfaches systemdynamisches Modell erstellen und damit einfache Simulationen und Parameterstudien ausführen können.
- Aussagen und Beziehungen zwischen Grössen mit Hilfe physikalischer Grundgesetze als Gleichungen formulieren können.
- die Vollständigkeit eines Gleichungssystems beurteilen können.
- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse erarbeiten können.
- einen neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.

Aufgaben

3.1 Vorgängiges Selbststudium

- a) Studieren Sie im Lehrbuch KPK 4 die folgenden Abschnitte:
- 5.1 Was ist Energie? (Seite 52)
 - 5.2 Der Impuls als Energieträger (Seite 53)

Hinweise:

- Im Lehrbuch KPK 4 wird für die **Energie** das Formelzeichen E verwendet. In der Physik wird die Energie jedoch häufig auch mit W bezeichnet, um Verwechslungen mit anderen Grössen zu vermeiden. Wir werden im Unterricht deshalb die Energie mit W bezeichnen.
 - Im Lehrbuch KPK 4 wird für die **Energiestromstärke** das Formelzeichen P verwendet. Dies hat den Nachteil, dass man so eine Energiestromstärke nicht von einer Leistung unterscheiden kann, für welche auch das Formelzeichen P verwendet wird. Wir werden im Unterricht deshalb die Energiestromstärke mit I_w bezeichnen.
 - Im Lehrbuch KPK 4 wird für die **Impulsstromstärke** das Formelzeichen F verwendet, also das gleiche Formelzeichen wie für die Kraft. Das kann so begründet werden, dass eine Kraft eine Impulsstromstärke bezüglich eines Körpers ist. Andererseits wird so nicht klar zwischen einer Impulsstromstärke und einer Kraft unterschieden. Wir werden im Unterricht deshalb die Impulsstromstärke mit I_p bezeichnen.
- b) Führen Sie in Moodle den [Test 3.1](#) durch.

3.2 Beschreiben Sie, was mit der Energie in den unten geschilderten Vorgängen passiert.

- Wo ist Energie gespeichert?
 - Wo fliesst Energie?
 - Wo wird Energie dissipiert?
 - Welche Energieträger sind beteiligt?
- a) Ein Gleiter bewegt sich reibungsfrei auf einer Luftkissenbahn.
- b) Eine Münze gleitet über eine Tischplatte.
- c) Ein Auto mit Vorderradantrieb setzt sich auf einer Strasse in Bewegung.
- d) Ein Bus bremst bei einer Haltestelle bis zum Stillstand ab.
- e) (siehe nächste Seite)

- e) Ein Stein fällt von einer Brücke.
- f) Ein Stein bewegt sich senkrecht nach oben, nachdem er von einer Person senkrecht nach oben abgeworfen wurde.
- 3.3 In der Aufgabe 2.3 d) haben Sie mit Berkeley Madonna ein systemdynamisches Modell für die Fallbewegung eines Steines erstellt. Das Modell soll nun mit Energiegrößen erweitert werden.
- Bei der Fallbewegung nimmt die potentielle Energie W_G des Steines ab, die kinetische Energie W_{kin} zu, und ein Teil der kinetischen Energie wird wegen des Luftwiderstandes dissipiert.
- a) Erweitern Sie das Modell mit drei Behältern, welche die potentielle, kinetische und dissipierte Energie modellieren.
- Verbinden Sie die Behälter mit Flüssen, welche die Energieströme zwischen den Behältern modellieren.
- Überlegen Sie sich, wie die entsprechenden Energiestromstärken von anderen im Modell enthaltenen Größen abhängen.
- b) Simulieren Sie die Fallbewegung des Steins, und stellen Sie den zeitlichen Verlauf der potentiellen, kinetischen und dissipierten Energie in einem einzigen Diagramm dar.
- 3.4 Ein Eisenbahnzug der Masse 400 t wird in 60 s von 40 m/s auf 50 m/s beschleunigt.
- Bestimmen Sie, um wieviel die im Zug gespeicherte kinetische Energie dabei zunimmt.
- 3.5 Ein Schlitten der Masse $m = 60$ kg startet aus der Ruhe von einem Hügel der Höhe $h = 20$ m und erreicht den Fuss des Hügels mit einer Geschwindigkeit von $v = 10$ m/s.
- Beim Heruntergleiten verliert der Schlitten potentielle Energie.
- Bestimmen Sie den prozentualen Anteil dieser potentiellen Energie, welche wegen Reibung dissipiert, d.h. zur Erzeugung von Wärme umgesetzt wird.
- Hinweise:
- Lösen Sie die Aufgabe zunächst allgemein algebraisch, d.h. ohne Verwendung von konkreten Zahlenwerten.
 - Setzen Sie erst im algebraischen Schlussresultat die Zahlenwerte ein.
- 3.6 Auf einer ebenen horizontalen Strecke läuft ein Güterwagen ($m_1 = 6.0 \cdot 10^4$ kg, $v_1 = 2.8$ m/s) auf einen stehenden Güterwagen ($m_2 = 8.0 \cdot 10^4$ kg, $v_2 = 0$ m/s) auf. Die Kupplungsvorrichtung hängt ein, so dass die beiden Güterwagen nach dem Aufprall zwingend mit der gemeinsamen Geschwindigkeit v' weiterrollen.
- a) Bestimmen Sie die Geschwindigkeit v' .
- Beim Aufprall wird in den Puffern und in der Kupplungsvorrichtung Energie dissipiert.
- b) Bestimmen Sie den Anteil der anfänglichen kinetischen Energie des ersten Wagens, welche beim Aufprall dissipiert wird.
- Hinweise:
- Die Summe der in den beiden Wagen gespeicherten Impulse bleibt beim Aufprall konstant.
 - Vernachlässigen Sie jegliche Reibung (Rollreibung, Luftwiderstand).
 - Lösen Sie die Aufgabe zunächst allgemein algebraisch, d.h. ohne Verwendung von konkreten Zahlenwerten.
 - Setzen Sie erst im algebraischen Schlussresultat die Zahlenwerte ein.

Lösungen

3.1 -

- 3.2 a) Im Gleiter ist kinetische Energie auf dem Energieträger Impuls gespeichert. Weil keine Reibung vorhanden ist, fließt kein Impuls und damit auch keine Energie aus dem Gleiter hinaus.
- b) In der Münze ist zunächst kinetische Energie auf dem Energieträger Impuls gespeichert. Wegen der Reibung fließt der ganze Impuls und mit ihm die ganze Energie ab, bis die Münze still steht. Während der Impuls in den Boden abfließt, wird die mitgetragene Energie an der Kontaktfläche Münze-Boden vom Energieträger Impuls abgeladen und dissipiert. Die erzeugte Wärme (Entropie) verteilt sich im Bereich der Kontaktfläche und trägt die dissipierte Energie mit sich.
- c) Der Motor pumpt Impuls aus dem Boden in das Auto hinein. Dieser Impuls trägt keine Energie mit sich. Es gelangt also keine Energie aus dem Boden in das Auto hinein. Die für das Impuls-Pumpen benötigte Energie stammt vom Treibstoff. Diese Energie wird also von einem chemischen Energieträger auf den Energieträger Impuls umgeladen und wird dann als kinetische Energie zusammen mit dem Impuls im Auto gespeichert. Wegen der Luft- und Rollreibung fließt ein Teil des Impulses an die Luft und in den Boden ab. Die mitgetragene Energie wird jedoch dissipiert und befindet sich schlussendlich auf dem Energieträger Wärme (Entropie).
- d) Im Bus ist zunächst kinetische Energie auf dem Energieträger Impuls gespeichert. Wegen der Reibung in den Bremsen fließt der ganze Impuls und mit ihm die ganze Energie ab, bis der Bus still steht. Während der Impuls über die Bremsen und Räder in den Boden abfließt, wird die mitgetragene Energie an den Kontaktflächen Bremsklötze-Bremsscheiben vom Energieträger Impuls abgeladen und dissipiert.
- e) Aus dem Gravitationsfeld fließt dauernd Impuls und mit ihm Energie in den Stein. Diese Energie wird im Stein als kinetische Energie gespeichert.
- f) Annahme: positive Richtung nach **oben**
Während des Abwerfens des Steins fließt Impuls von der Hand der Person in den Stein hinein. Die dafür benötigte Energie stammt aus den Muskeln der Person. Diese Energie wird als kinetische Energie auf dem Energieträger Impuls im Stein gespeichert. Wegen der Gravitation fließt dann aber dauernd Impuls und mit ihm Energie aus dem Stein ins Gravitationsfeld ab, bis der Stein den höchsten Punkt erreicht hat. Zu diesem Zeitpunkt ist kein Impuls und keine kinetische Energie mehr im Stein gespeichert. Ab diesem Zeitpunkt fließt weiterhin Impuls ins Gravitationsfeld ab, und der Stein fällt. Wegen der negativen Geschwindigkeit des Steins fließt aber Energie aus dem Gravitationsfeld in den Stein hinein ($I_W = v \cdot I_P$ mit $v < 0$, $I_P < 0$ und folglich $I_W > 0$). Der im Stein gespeicherte Impuls wird immer negativer, während die mitgetragene «kinetische» Energie immer grösser wird.
- Annahme: positive Richtung nach **unten**
Während des Abwerfens des Steins fließt Impuls vom Stein in die Hand der Person ab. Die dafür benötigte Energie stammt aus den Muskeln der Person. Diese Energie wird als kinetische Energie auf dem Energieträger Impuls im Stein gespeichert. Der im Stein gespeicherte Impuls ist also nach dem Abwerfen negativ, während die mitgetragene kinetische Energie positiv ist. Wegen der Gravitation fließt dann aber dauernd Impuls aus dem Gravitationsfeld zu, während wegen der negativen Geschwindigkeit Energie abfließt ($I_W = v \cdot I_P$ mit $v < 0$, $I_P > 0$ und folglich $I_W < 0$), bis der Stein den höchsten Punkt erreicht hat. Zu diesem Zeitpunkt ist kein Impuls und keine «kinetische» Energie mehr im Stein gespeichert. Ab diesem Zeitpunkt fließt weiterhin Impuls aus dem Gravitationsfeld zu, und der Stein fällt. Wegen der nun positiven Geschwindigkeit des Steins fließt Energie aus dem Gravitationsfeld in den Stein hinein ($I_W = v \cdot I_P$ mit $v > 0$, $I_P > 0$ und folglich $I_W > 0$). Der im Stein gespeicherte Impuls wird immer positiver, und die mitgetragene kinetische Energie wird immer grösser.

3.3 Berkeley-Madonna-Modell [Fallender Stein \(mit Energie\)](#)

3.4 (siehe nächste Seite)

3.4 $\Delta W_{\text{kin}} = W_{\text{kin2}} - W_{\text{kin1}}$
 $W_{\text{kin1}} = \frac{1}{2} m v_1^2$
 $W_{\text{kin2}} = \frac{1}{2} m v_2^2$

 $\Rightarrow \Delta W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot ((50 \text{ m/s})^2 - (40 \text{ m/s})^2) = 1.8 \cdot 10^8 \text{ J}$

3.5 Im folgenden Gleichungssystem bezieht sich der Index 1 auf den obersten Punkt des Hügels und der Index 2 auf den Fuss des Hügels:

Energieerhaltung

$$W_{G1} + W_{\text{kin1}} = W_{G2} + W_{\text{kin2}} + W_{\text{diss}}$$

$$W_{G1} = mgh$$

$$W_{\text{kin2}} = \frac{1}{2} m v^2$$

$$x = \frac{W_{\text{diss}}}{W_{G1}}$$

Unbekannte:

Bekannte:

$$W_{G1}$$

$$W_{\text{kin1}} = 0 \text{ J}$$

$$W_{\text{kin2}}$$

$$W_{G2} = 0 \text{ J}$$

$$W_{\text{diss}}$$

$$m = 60 \text{ kg}$$

$$x$$

$$g = 9.81 \text{ N/kg}$$

$$h = 20 \text{ m}$$

$$v = 10 \text{ m/s}$$

 $\Rightarrow x = 1 - \frac{v^2}{2gh} = 0.75 = 75 \%$

3.6 57 %