

## Übung 2                      Translations-Mechanik Impuls, Kraft, Impulsbilanz, Modellierung mit VENSIM, Energie

### Lernziele

- den Zusammenhang zwischen Impuls, Masse und Geschwindigkeit eines Körpers anwenden können.
- das Impulsbilanzgesetz bzw. das Grundgesetz der Mechanik anwenden können.
- den mathematischen Ausdruck für die in einem Körper mit dem Impuls gespeicherte kinetische Energie anwenden können.
- die Impuls- und Energieerhaltung in konkreten Problemstellungen anwenden können.
- mit dem Computerprogramm VENSIM ein einfaches systemdynamisches Modell erstellen und abändern können.
- mit dem Computerprogramm VENSIM einfache Simulationen und Parameterstudien ausführen können.
- mit dem Computerprogramm VENSIM ein einfaches systemdynamisches Modell erstellen können, das ein experimentell bestimmtes Verhalten eines dynamischen Systems beschreibt.
- eine neue Problemstellung bearbeiten können.

### Aufgaben

#### *Impuls, Kraft, Impulsbilanz*

1. Ein Güterwagen der Masse 80 t prallt mit einer Geschwindigkeit von 9.0 km/h gegen einen Prellbock. Nach dem Aufprall fährt er mit 5.4 km/h zurück.
  - a) Skizzieren Sie den Güterwagen und den Prellbock während des Aufpralls. Zeichnen Sie den durch den Aufprall verursachten Impulsstrom zwischen dem Güterwagen und dem Prellbock ein. Zeichnen Sie zusätzlich die zum Impulsstrom gehörenden und auf den Güterwagen und den Prellbock wirkenden Kräfte ein.
  - b) Bestimmen Sie den im Güterwagen gespeicherten Impuls vor und nach dem Aufprall.
  - c) Bestimmen Sie, wieviel Impuls während des Aufpralls aus dem Güterwagen über den Prellbock abgeflossen ist.
  - d) Beurteilen Sie, von welchen Grössen die mittlere Stärke des Impulsstromes zwischen dem Güterwagen und dem Prellbock abhängt.
2. Ein Holzklotz rutscht mit geringer konstanter Geschwindigkeit eine schiefe Ebene hinunter.
  - a) Skizzieren Sie den Holzklotz und die schiefe Ebene. Zeichnen Sie alle am Holzklotz angreifenden Kräfte ein. Die Längen der Kraftpfeile müssen proportional zu den Beträgen der Kräfte sein.

Hinweis:  
Wegen der geringen Gleitgeschwindigkeit kann man den Luftwiderstand vernachlässigen.
  - b) Nun wird der Neigungswinkel der schiefen Ebene zur Horizontalen etwas vergrößert. Beurteilen Sie, ob und wie sich ...
    - i) ... die am Holzklotz angreifenden Kräfte verändern.
    - ii) ... die Bewegung des Holzklotzes verändert.

3. (Metzler: 45/3)

Von einem Rollwagen der Masse 20 kg, der sich mit der Geschwindigkeit 2.0 m/s bewegt, springt ein Junge der Masse 60 kg ab.

Beurteilen Sie, wie sich die Geschwindigkeit des Wagens verändert, falls sich der Junge beim Auftreffen auf den Boden ...

- a) ... mit der gleichen Geschwindigkeit bewegt, die der Wagen hat, bevor der Junge abspringt.
- b) ... gegenüber dem Boden in Ruhe befindet.
- c) ... mit der doppelten Anfangsgeschwindigkeit des Wagens bewegt.

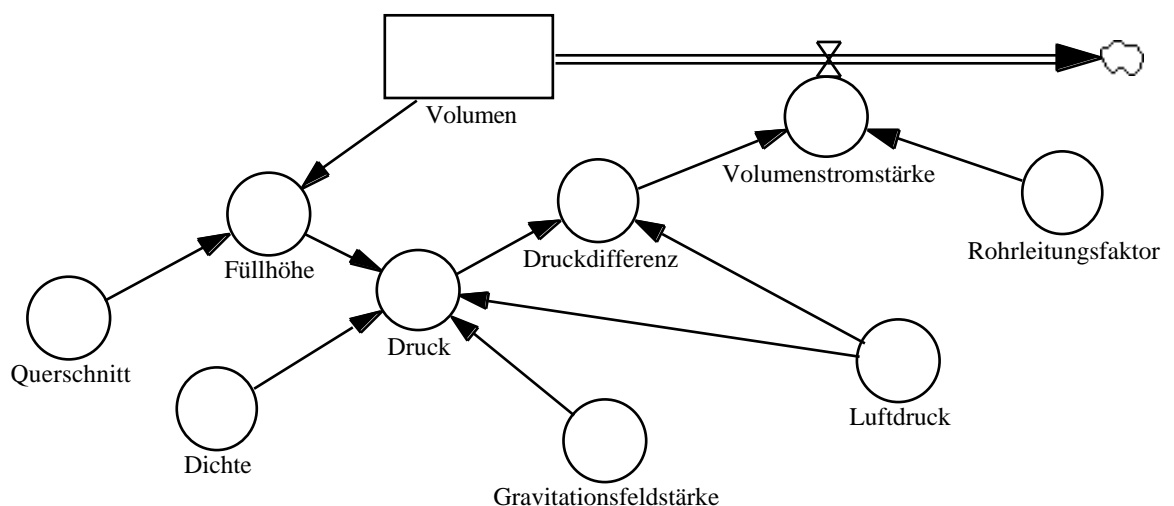
4. (Metzler: 45/6)

Eine Explosion zersprengt einen Stein in drei Teile. Zwei Stücke ( $m_1 = 1.0$  kg,  $m_2 = 2.0$  kg) fliegen rechtwinklig zueinander mit  $v_1 = 12$  m/s bzw.  $v_2 = 8.0$  m/s fort. Das dritte Stück fliegt mit  $v_3 = 40$  m/s weg.

Ermitteln Sie aus einem Diagramm die Richtung und die Masse des dritten Stückes.

### Modellierung mit VENSIM

5. Das Auslaufen von Wasser aus einem Gefäss kann mit einem systemdynamischen Modell beschrieben werden. Im Unterricht wurde gezeigt, dass das Modell mit VENSIM wie folgt aussehen kann:



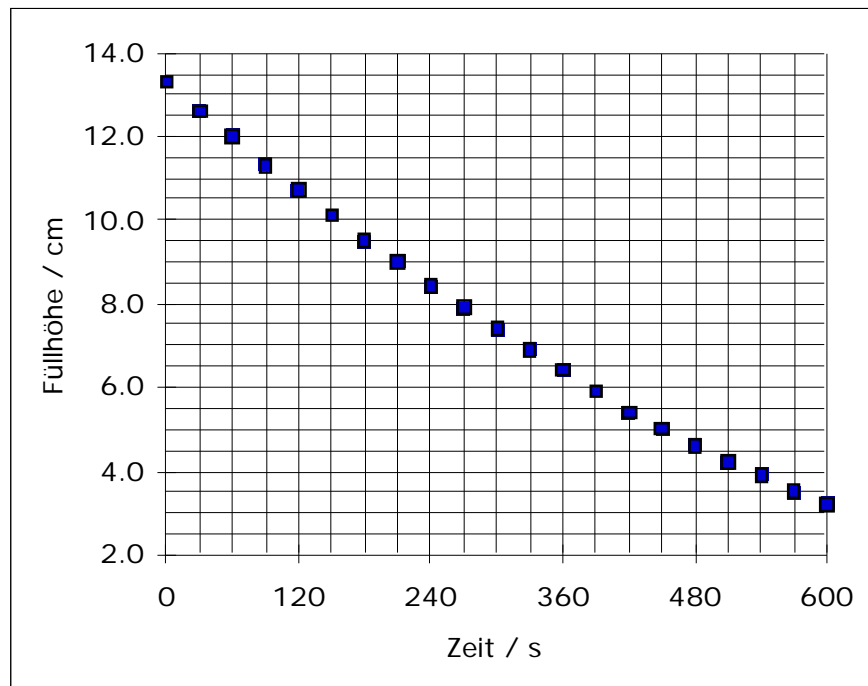
a) *Modellierung, Simulation, Parameterstudie*

Bauen Sie mit VENSIM das Modell nach (*Modellierung*), und bringen Sie das Modell zum Laufen (*Simulation*). Gehen Sie "Schritt für Schritt" vor:

- i) Modellieren Sie zunächst nur den Behälter, welcher das im Gefäss gespeicherte Volumen darstellt.  
Stellen Sie in einem Volumen-Zeit-Diagramm den zeitlichen Verlauf des Volumens für verschiedene Anfangsvolumina dar.
- ii) Ergänzen Sie das Modell mit dem Fluss, welcher den Volumenstrom aus dem Gefäss heraus darstellt.  
Stellen Sie in einem Volumen-Zeit-Diagramm den zeitlichen Verlauf des Volumens für verschiedene Anfangsvolumina und verschiedene Werte für die Volumenstromstärke dar.
- iii) Vervollständigen Sie das Modell mit den Zusatzgrößen (Druckdifferenz, etc.)  
Stellen Sie in einem Füllhöhe-Zeit-Diagramm den zeitlichen Verlauf der Füllhöhe für verschiedene Werte des Rohrleitungsfaktors dar (*Parameterstudie*).

b) *Parameterstudie: Vergleich Simulation-Experiment*

In einem Experiment wurde das Auslaufen aus einem zylindrischen Gefäss beobachtet. Das Gefäss hat einen Innendurchmesser von 18 cm. Die Füllhöhe wurde in Abhängigkeit der Zeit gemessen und grafisch dargestellt:



Vergleichen Sie nun das Füllhöhen-Zeit-Diagramm aus der Simulation (Aufgabe a) iii)) mit dem abgebildeten, experimentell ermittelten Füllhöhen-Zeit-Diagramm.

Stellen Sie den Rohrleitungsfaktor so ein, dass der simulierte zeitliche Verlauf der Füllhöhe möglichst ähnlich wird wie der experimentell ermittelte Verlauf.

6. Modellieren und simulieren Sie mit VENSIM den Sprung eines Fallschirmspringers für die erste Phase, in welcher der Fallschirm noch ungeöffnet bleibt.

Vorgaben:

- Der Luftwiderstand kann nicht vernachlässigt werden. Die Stärke des durch den Luftwiderstand abfließenden Impulsstromes  $I_{pL}$  ist proportional zur Geschwindigkeit  $v$  des Körpers:

$$I_{pL} \sim v^2 \text{ bzw. } I_{pL} = k \cdot v^2$$

- Stellen Sie bei der Simulation des Falles den Proportionalitätsfaktor  $k$  so ein, dass sich für den Grenzwert der Fallgeschwindigkeit 180 km/h ergibt.

*Energie*

7. (Metzler: 64/1)

Ein Auto der Masse 950 kg wird in 4.0 s von 50 km/h auf 90 km/h beschleunigt.

- Bestimmen Sie, um wieviel die im Auto gespeicherte kinetische Energie dabei zunimmt.
- Welche Geschwindigkeit hätte das Auto, wenn seine gesamte kinetische Energie gleich der in a) bestimmten Energiemenge wäre?

8. Eine Pistolenkugel der Masse 8.0 g bohrt sich mit 500 m/s in einen an einem 4.0 m langen Seil aufgehängten Sandsack der Masse 50 kg und bleibt stecken. Nach dem Einschlag pendelt der Sack am Seil hin und her.

- a) Skizzieren Sie die folgenden drei Situationen:
- i) Pistolenkugel und Sandsack kurz vor dem Aufprall
  - ii) Pistolenkugel und Sandsack kurz nach dem Aufprall
  - iii) Pistolenkugel und Sandsack am Umkehrpunkt der Pendelbewegung
- b) Bestimmen Sie die Geschwindigkeit des Sackes kurz nach dem Aufprall der Pistolenkugel.
- Hinweis:  
Die Summe des im Sack und in der Pistolenkugel gespeicherten Impulses ist kurz nach dem Aufprall gleich gross wie vor dem Aufprall.
- c) Vergleichen Sie die kinetische Energie der Pistolenkugel vor dem Aufprall mit der kinetischen Energie von Pistolenkugel und Sandsack zusammen kurz nach dem Aufprall.  
Wieviel Prozent der kinetischen Energie ist verloren gegangen?  
Wo steckt diese Energie nun?

Hinweis:  
Vernachlässigen Sie Reibungsverluste durch die Aufhängung des Sandsackes und den Luftwiderstand.

## Lösungen

1.
  - a) ...
  - b) vor dem Aufprall  $p = m \cdot v = 80 \text{ t} \cdot 9.0 \text{ km/h} = 80 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \frac{9.0}{3.6} \text{ m/s} = 2.0 \cdot 10^5 \text{ Hy}$   
nach dem Aufprall  $p' = m \cdot v' = 80 \text{ t} \cdot (-5.4 \text{ km/h}) = 80 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \frac{-5.4}{3.6} \text{ m/s} = -1.2 \cdot 10^5 \text{ Hy}$
  - c)  $p = p - p' = 3.2 \cdot 10^5 \text{ Hy}$
  - d) Impuls des Wagens, Härte der Pufferfedern (Wagen und Prellbock)
2.
  - a) Kräfte: Gewichtskraft, Normalkraft, Gleitreibungskraft
  - b)
    - i) Gewichtskraft: Richtung und Betrag bleiben unverändert  
Normalkraft: Richtung verändert sich, Betrag wird kleiner  
Gleitreibungskraft: Richtung verändert sich, Betrag wird kleiner
    - ii) Die Geschwindigkeit nimmt zu.
3. Die Summe des im Jungen und im Wagen gespeicherten Impulses bleibt konstant.  
Der Wagen fährt nach dem Absprung ...
  - a) ... mit unveränderter Geschwindigkeit.
  - b) ... mit der Geschwindigkeit 8.0 m/s.
  - c) ... rückwärts mit der Geschwindigkeit 4.0 m/s.
4. Die (vektorielle) Summe der Impulse der drei Stücke ist der Nullvektor.  
 $m_3 = 0.5 \text{ kg}$
5. Ein VENSIM-Muster-File "Auslauf aus einem Gefäss (auslauf.mdl)" finden Sie im Internet unter:  
<http://telecom.tlab.ch/~borer> Physik Unterlagen (...)
6. Ein VENSIM-Muster-File "Fall mit Luftwiderstand (fall.mdl)" finden Sie im Internet unter:  
<http://telecom.tlab.ch/~borer> Physik Unterlagen (...)
7.
  - a)  $W_{\text{kin}} = 2.1 \cdot 10^5 \text{ J}$
  - b)  $v = 75 \text{ km/h}$
8.
  - a) ...
  - b)  $v' = 0.080 \text{ m/s}$
  - c)  $\frac{W_{\text{kin}}}{W_{\text{kin}}} = 1 - \frac{m_K + m_S}{m_K} \frac{v'^2}{v_K^2} > 0.99 = 99\%$   
Über 99% der kinetischen Energie wird dissipiert, d.h. in die Produktion von Wärme investiert.