

## Aufgaben 5      **Schwingungen** **Gedämpfte Schwingung**

### Lernziele

- die Analogie zwischen einer Drehschwingung und einer linearen Schwingung kennen.
- verstehen, wie eine Schwingung gedämpft werden kann.
- verstehen, wie ein mechanischer Dämpfer funktioniert.
- verstehen, dass alle natürlich ablaufenden Schwingungen gedämpft sind.
- wissen, wie die Stärke der Dämpfung die Bewegung eines Schwingers beeinflusst.
- die bei einer mechanischen, gedämpften Schwingung auftretenden Impuls- und Energieflüsse verstehen.
- 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.
- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse und Fähigkeiten erarbeiten können.
- einen neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.

### Aufgaben

#### 5.1 Vorgängiges Selbststudium

- a) Studieren Sie im Lehrbuch KPK 3 die folgenden Abschnitte:
- 1.7 Drehschwingungen: Hin- und herfließender Drehimpuls (Seite 10, ohne Aufgaben)
  - 1.9 Die Dämpfung von Schwingungen (Seite 12)

Hinweis zum Abschnitt 1.7:

- Es geht hier nur darum, das Drehpendel als Experimentiergerät zur Untersuchung von gedämpften Schwingungen kennenzulernen. Drehbewegungen und physikalische Grössen zu deren Beschreibung (Drehimpuls, Drehmoment, Trägheitsmoment) werden wir später im Kurs diskutieren.

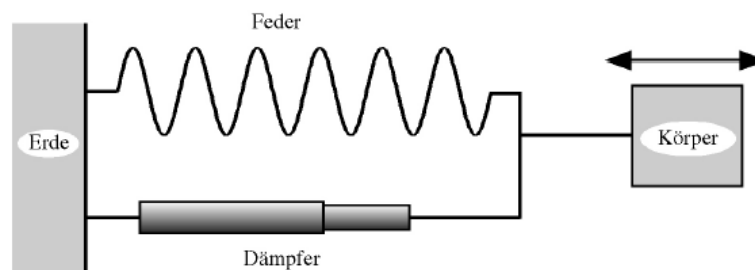
- b) Führen Sie in Moodle den [Test 5.1](#) durch.

#### 5.2 Studieren Sie das folgende **YouTube-Video**:

- [Gedämpfte Schwingung - Drehpendel](#) (1:29)

#### 5.3 In dieser Aufgabe sollen Sie die Dynamik des gedämpften Federschwingers untersuchen.

Betrachten Sie also den folgenden gedämpften Federschwinger (Lehrbuch KPK 3, Abb. 1.29, Seite 12):



Das Koordinatensystem soll wie folgt festgelegt werden:

- Die Schwingung soll in  $x$ -Richtung erfolgen.
- Die positive  $x$ -Richtung soll nach rechts zeigen.
- Die Ruhelage soll bei  $x = 0$  liegen.

Am Schwingkörper greifen zwei Kräfte an, die Federkraft  $F_F$  (Kraft, die die Feder ausübt) und die Dämpfungskraft  $F_D$  (Kraft, die der Dämpfer ausübt).

(Fortsetzung siehe nächste Seite)

- a) Skizzieren Sie den Federschwinger, und zeichnen Sie die beiden Kräfte  $F_F$  und  $F_D$  ein. Berücksichtigen Sie dabei alle möglichen Fälle für die Richtungen der beiden Kräfte.
- b) Formulieren Sie für den Schwingkörper das (aus der Mechanik bekannte) Aktionsprinzip.

Die drei Größen in der in b) formulierten Gleichung hängen vom Ort  $x$ , der Geschwindigkeit  $v$  und der Beschleunigung  $a$  des Schwingkörpers ab.

- c) Geben Sie an, wie die drei Größen von  $x$ ,  $v$  und  $a$  abhängen, und setzen Sie die Ausdrücke in das Ergebnis von b) ein.

Der zeitliche Verlauf der Auslenkung  $x$  lautet bei schwacher und geschwindigkeitsproportionaler Dämpfung wie folgt (siehe Unterricht):

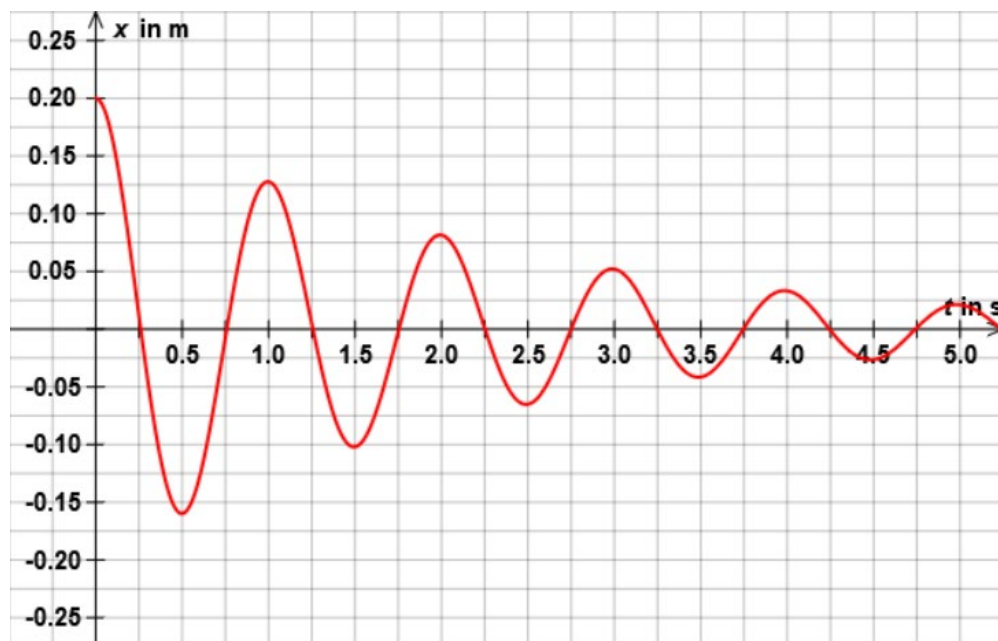
$$x = x(t) = \hat{x} e^{-\delta t} \sin(\omega_d t + \varphi)$$

wobei:  $\delta := \frac{k}{2m}$

$$\omega_0 := \sqrt{\frac{D}{m}}$$

$$\omega_d := \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \quad (\delta < \omega_0, \text{ schwache Dämpfung})$$

Für bestimmte Zahlenwerte der Größen  $m$ ,  $D$ ,  $k$ ,  $\hat{x}$  und  $\varphi$  sieht der Graf von  $x = x(t)$  für  $t \geq 0$  s wie folgt aus:



- d) Bestimmen Sie aus dem Grafen die konkreten Zahlenwerte für die Periode  $T_d$  und die Kreisfrequenz  $\omega_d$ .
- e) Bestimmen Sie aus dem Grafen die Zeitpunkte/Zeitintervalle, zu/in welchen ...
- ... in der Feder keine Energie gespeichert ist.
  - ... im Dämpfer keine Energie dissipiert wird.
  - ... im Schwingkörper kein Impuls gespeichert ist.
  - ... Impuls von der Feder in den Schwingkörper fließt.
  - ... Impuls vom Schwingkörper in den Dämpfer fließt.
  - ... Impuls von der Feder in die Erde fließt.
  - ... Energie von der Feder in die Erde fließt.
  - ... Energie in den Dämpfer fließt.

- 5.4 Bearbeiten Sie die Aufgabe 5.3 a) bis c) für den Fall ohne Dämpfung ( $k = 0 \text{ Ns/m}$ ).
- 5.5 Die Schwingung des gedämpften Federschwingers in der Aufgabe 5.3 soll systemdynamisch modelliert und simuliert werden.
- a) Erstellen Sie mit Berkeley Madonna ein systemdynamisches Modell. Dabei sollen die folgenden Grössen durch je einen Behälter modelliert werden:
- Impuls  $p$  des Schwingkörpers
  - Ort  $x$  des Schwingkörpers
  - Kinetische Energie  $W_{\text{kin}}$  des Schwingkörpers
  - Federenergie  $W_{\text{F}}$
  - im Dämpfer dissipierte Energie  $W_{\text{diss}}$
- Die Dämpfungskraft  $F_{\text{D}}$  soll proportional zur Geschwindigkeit  $v$  des Schwingkörpers sein, d.h.  $F_{\text{D}} \sim v$  bzw.  $F_{\text{D}} = -k \cdot v$  ( $k = \text{Dämpfungskonstante}$ )
- Hinweise:
- Achten Sie auf das richtige Vorzeichen der Impulsstromstärken.
  - Das Vorzeichen einer Impulsstromstärke hängt davon ab, ob die Impulsstromstärke als Zufluss oder als Abfluss modelliert wird.
- b) Simulieren Sie die gedämpfte Schwingung für verschiedene Werte der Dämpfungskonstanten  $k$ . Betrachten Sie dabei alle Fälle für die Stärke der Dämpfung (Lehrbuch KPK 3, Abb. 1.32, Seite 12). Stellen Sie jeweils die folgenden Grössen je in einem gemeinsamen Diagramm dar:
- Ort  $x$
  - Kinetische Energie  $W_{\text{kin}}$ , im Dämpfer dissipierte Energie  $W_{\text{diss}}$