

## Aufgaben 3                      Thermodynamik Entropieleitung, Wärmemotoren, Erwärmbarkeit

### Lernziele

- das Phänomen der Entropieleitung in einem Körper kennen.
- wissen und verstehen, wovon die Stärke eines Entropiestromes in einem Körper abhängt.
- die Grösse Entropieleitfähigkeit kennen und verstehen.
- die Entropiestromstärke bei einem Entropieleitungsvorgang bestimmen können.
- wissen und verstehen, was ein konvektiver Entropietransport ist.
- beurteilen können, ob es sich bei einem gegebenen Entropietransport um Entropieleitung oder um einen konvektiven Entropietransport handelt.
- wissen und verstehen, wie ein Wärmemotor grundsätzlich funktioniert.
- Beispiele von Wärmemotoren und deren Entropiequellen kennen.
- den Energieumladevorgang in einem Wärmemotor verstehen.
- wissen, von welchen Grössen die in einem Körper enthaltene Entropie abhängt.
- die Grösse Erwärmbarkeit kennen, verstehen und bestimmen können.
- den Zusammenhang zwischen einer Temperaturänderung eines Körpers und der dafür notwendigen Änderung der im Körper gespeicherten Entropie kennen, verstehen und anwenden können.
- den Zusammenhang zwischen einer Temperaturänderung eines Körpers und der dafür notwendigen Änderung der im Körper zusammen mit der Entropie gespeicherten Energie kennen, verstehen und anwenden können.
- die Grösse Spezifische Energiekapazität kennen und verstehen.

### Aufgaben

- 3.1      Bei der Wärmeleitung durch eine Wand wird in der Wand Entropie erzeugt (vgl. Unterricht).  
Drücken Sie die Rate  $\Pi_S$  der in der Wand erzeugten Entropie durch die Stromstärke  $I_W$  der durch die Wand fließenden Energie und die Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  ( $T_2 < T_1$ ) auf den Wandoberflächen aus.
- 3.2      Es wäre sinnvoller, die Grösse  $c$  nicht als „spezifische *Wärmekapazität*“ sondern als „spezifische *Energiekapazität*“ zu bezeichnen. Warum?
- 3.3      Ein Stoff habe im Temperaturbereich von  $0\text{ °C}$  bis  $150\text{ °C}$  eine konstante spezifische Energiekapazität  $c = 800\text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ .  
Ein Körper bestehe aus  $10\text{ kg}$  des genannten Stoffes und soll sich von  $27\text{ °C}$  auf  $127\text{ °C}$  erwärmen.  
Bestimmen Sie die dafür erforderliche ...
- a)      ... Änderung  $\Delta S$  der im Körper gespeicherten Entropie.  
b)      ... Änderung  $\Delta W$  der im Körper (zusammen mit der Entropie) gespeicherten Energie.
- Hinweis:  
- Berücksichtigen Sie, dass die Erwärmbarkeit  $\alpha$  des betrachteten Stoffes temperaturabhängig ist. Daher ist für die Berechnung der Entropieänderung  $\Delta S$  eine Integration über die Temperatur  $T$  erforderlich.
- 3.4      Führen Sie in Moodle den [Test 3.1](#) durch.

### Lehrbuch KPK 2 (Karlsruher Physikkurs, Band 2)

#### 1 Wärmelehre

- 1.7 Die Entropieleitfähigkeit (Seiten 13 bis 15)
- 1.8 Entropietransport durch Konvektion (Seiten 16 und 17)
- 1.11 Entropieerzeugung durch Entropiestrome (Seiten 20 und 21)

- 1.12 Wärmemotoren (Seiten 21 bis 23)
- 1.13 Entropiequellen für Wärmemotoren (Seiten 23 und 24)
- 1.16 Die Messung der Entropie (Seiten 27 bis 29)
- 1.17 Die Erwärmbarkeit (Seiten 29 bis 32)
- 1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung (Seiten 32 und 33)

Bemerkung zu 1.11:

- Im Lehrbuch KPK 2 wird für die **Entropieerzeugungsrate** das Formelzeichen  $I_{S,erzeugt}$  verwendet. Dies hat den Nachteil, dass man so eine Entropieerzeugungsrate nicht gut von einer Entropiestromstärke unterscheiden kann, für welche das Formelzeichen  $I_S$  verwendet wird. Wir werden im Unterricht deshalb die Entropieerzeugungsrate mit  $\Pi_S$  bezeichnen.

Bemerkung zu 1.12:

- In der Abbildung 1.36 ist der Begriff „Drehmoment“ falsch. Es sollte (wie in den Abbildungen 1.34 und 1.35) „Drehimpuls“ heissen.

Hinweise zu 1.17:

- Der Zusammenhang zwischen einer kleinen Temperaturänderung  $\Delta T$  eines Körpers und der dafür notwendigen Änderung  $\Delta S$  der im Körper gespeicherten Entropie kann wie folgt geschrieben werden (Formeln (1.23) und (1.24) nach  $\Delta S$  aufgelöst):

$$\Delta S = \frac{n}{\alpha} \Delta T \quad (\text{I})$$

- Beachten Sie, dass die Erwärmbarkeit  $\alpha$  im Allgemeinen von der Temperatur  $T$  abhängt. Die Formeln (1.23), (1.24) und (I) sind daher Näherungsformeln für eine **kleine** Temperaturänderung  $\Delta T$ . Nur für eine kleine Temperaturänderung  $\Delta T$  darf  $\alpha$  näherungsweise als Konstante betrachtet werden.
- Die exakte Version der Formel (I) für eine infinitesimal kleine Temperaturänderung  $dT$  lautet:

$$dS = \frac{n}{\alpha} dT \quad (\text{II})$$

Hinweise zu 1.18:

- 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.

- Auch die Formel (1.26) ist eine Näherungsformel für eine kleine Temperaturänderung  $\Delta T$ :

$$\Delta W = T \Delta S \quad (\text{III})$$

Die exakte Version für eine infinitesimal kleine Temperaturänderung  $dT$  lautet:

$$dW = T dS \quad (\text{IV})$$

- Der Zusammenhang zwischen einer kleinen Temperaturänderung  $\Delta T$  eines Körpers und der dafür notwendigen Änderung  $\Delta W$  der (zusammen mit der Entropie) gespeicherten Energie kann wie folgt geschrieben werden:

$$\Delta W = c m \Delta T \quad (\text{V})$$

- Beachten Sie, dass die Grösse  $c$  im Allgemeinen von der Temperatur  $T$  abhängt. Die Formel (V) ist daher eine Näherungsformel für eine **kleine** Temperaturänderung  $\Delta T$ . Nur für eine kleine Temperaturänderung  $\Delta T$  darf  $c$  näherungsweise als Konstante betrachtet werden.

- Die exakte Version der Formel (V) für eine infinitesimal kleine Temperaturänderung  $dT$  lautet:

$$dW = c m dT \quad (\text{VI})$$