

# 5. Erster Hauptsatz der Wärmelehre

## 5.1 Arbeit, Wärme, Änderung der inneren Energie

Innere Energie ???

Temperatur ???

Wärme ???

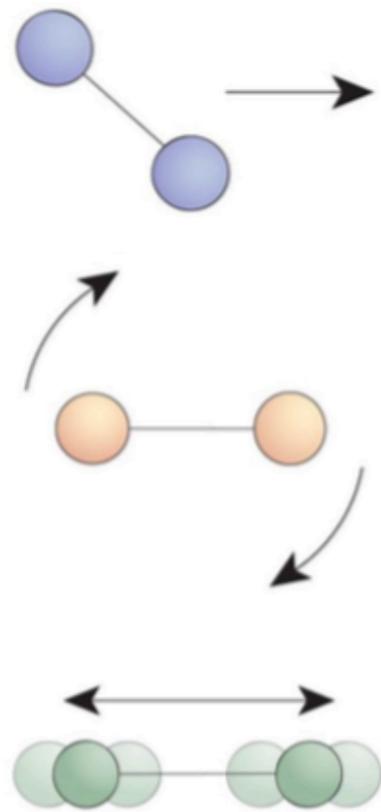
# 5. Erster Hauptsatz der Wärmelehre

## 5.1 Arbeit, Wärme, Änderung der inneren Energie

- **Temperatur:** Ein Mass für die durchschnittliche kinetische Energie pro Molekül in einem Körper.
- **Innere Energie:** Die Summe aller Energieformen in einem Körper.
- **Wärme:** Die Energie, die von einem Körper mit hoher Temperatur zu einem Körper mit niedriger Temperatur übertragen wird.

# 5. Erster Hauptsatz der Wärmelehre

## 5.1 Arbeit, Wärme, Änderung der inneren Energie



a) Kinetische Energie (Translation)

b) Rotationsenergie

c) Vibrationsenergie

d) Potenzielle Energie

Welche Möglichkeiten gibt es, die Innere Energie eines Körpers zu erhöhen?

# 5. Erster Hauptsatz der Wärmelehre

## 5.1 Arbeit, Wärme, Änderung der inneren Energie

Welche Möglichkeiten gibt es, die Innere Energie eines Körpers zu erhöhen?

- Zufuhr von mechanische Energie => Verrichten von Arbeit  $W$
- Zufuhr von thermische Energie => Zufuhr der Wärme  $Q$

# 5. Erster Hauptsatz der Wärmelehre

## 5.1 Arbeit, Wärme, Änderung der inneren Energie

Welche Möglichkeiten gibt es, die Innere Energie eines Körpers zu erhöhen?

- Zufuhr von mechanische Energie => Verrichten von Arbeit  $W$
- Zufuhr von thermische Energie => Zufuhr der Wärme  $Q$

### Erster Hauptsatz der Wärmelehre:

Die innere Energie  $U$  eines Systems kann durch Zufuhr oder durch Entzug von mechanische Arbeit  $W$  und/oder einer Wärmemenge  $Q$  erhöht oder verringert werden. Für die Änderung  $\Delta U$  der inneren Energie gilt dabei:

$$\Delta U = W + Q$$

Bemerkung: Oft wird der erste Hauptsatz der Wärmelehre auch so geschrieben:

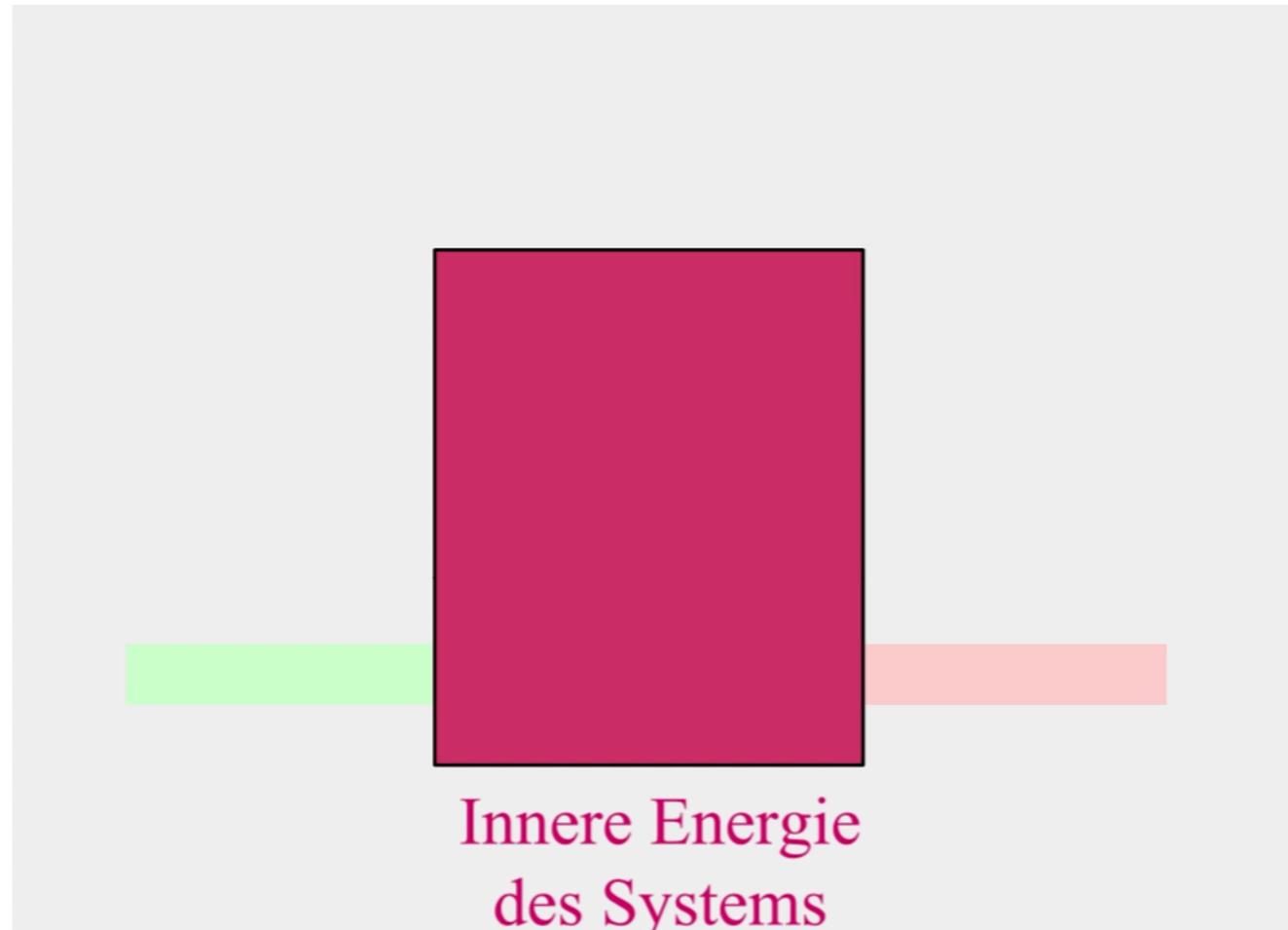
$$\Delta U = \Delta W + \Delta Q$$

# 5. Erster Hauptsatz der Wärmelehre

## 5.2 Festlegung der Vorzeichen

# 5. Erster Hauptsatz der Wärmelehre

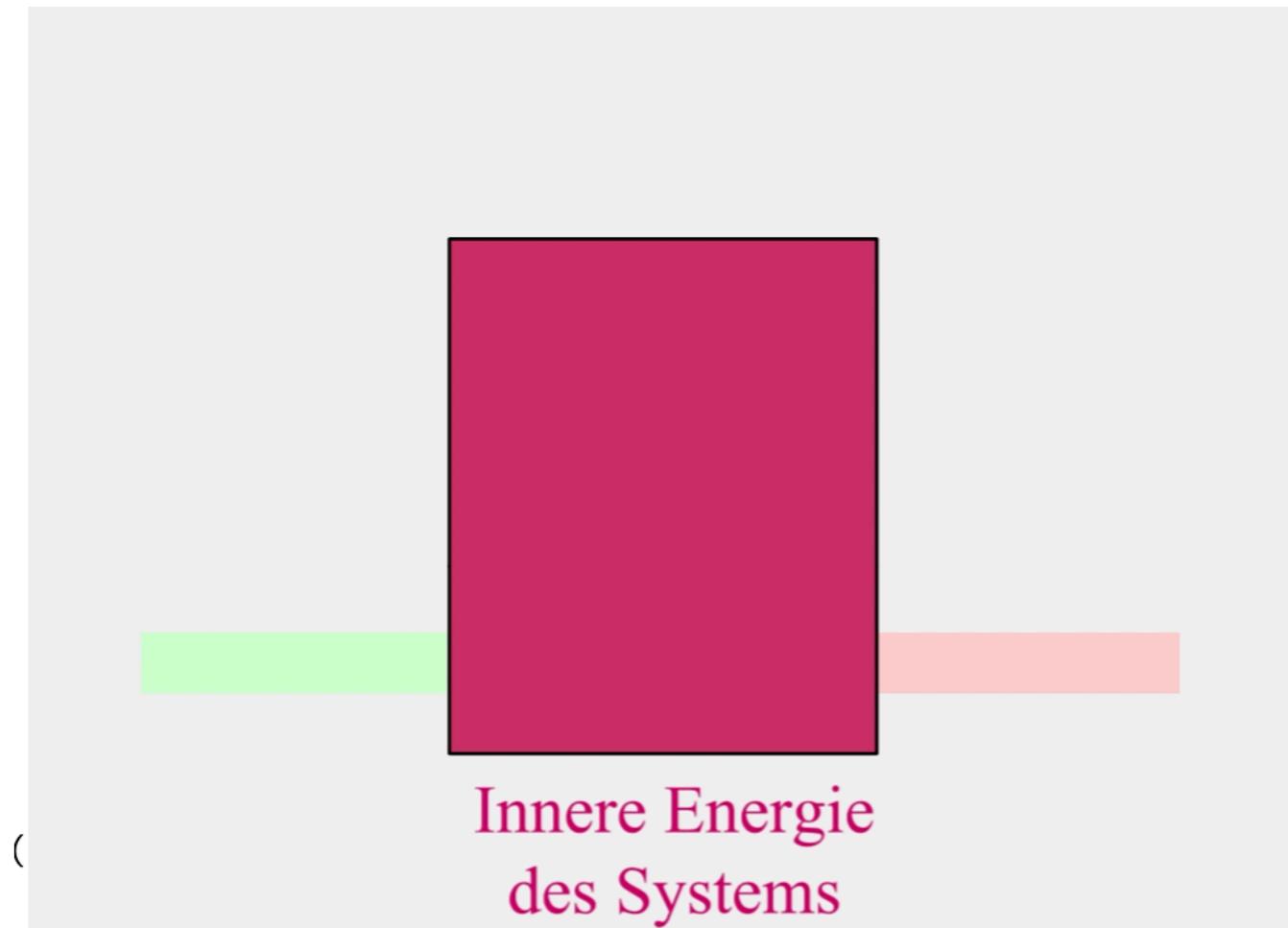
## 5.2 Festlegung der Vorzeichen



Zufuhr von Wärme und  
Arbeit

# 5. Erster Hauptsatz der Wärmelehre

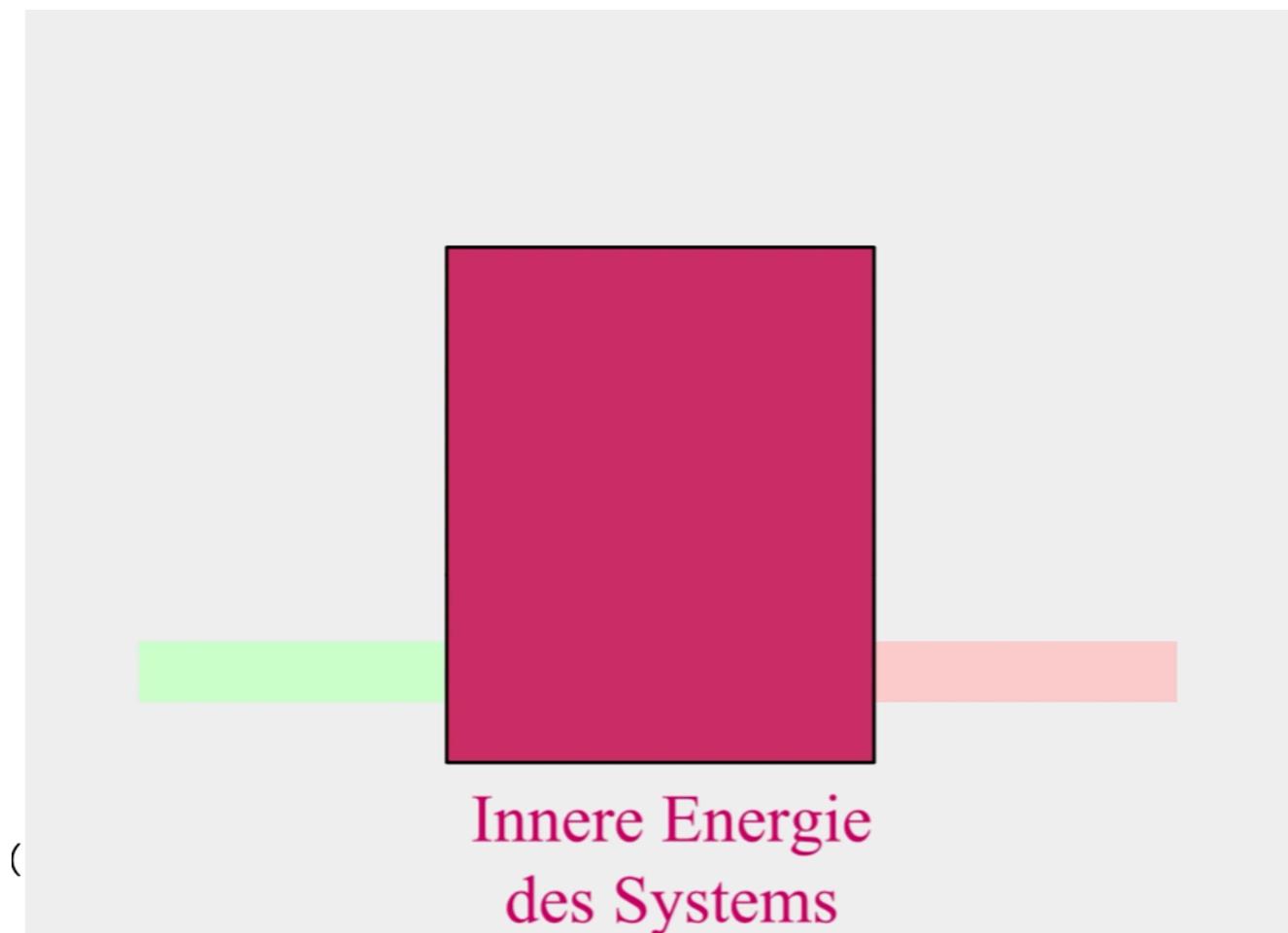
## 5.2 Festlegung der Vorzeichen



Entzug von Wärme und Arbeit

# 5. Erster Hauptsatz der Wärmelehre

## 5.2 Festlegung der Vorzeichen



Zufuhr von Wärme und  
Entzug von Arbeit

# 5. Erster Hauptsatz der Wärmelehre

## 5.5 Aufgaben

Lösen Sie die Aufgaben 32 - 34 im Skript auf Seite 28/29.



# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

## 6.1 Längenausdehnung



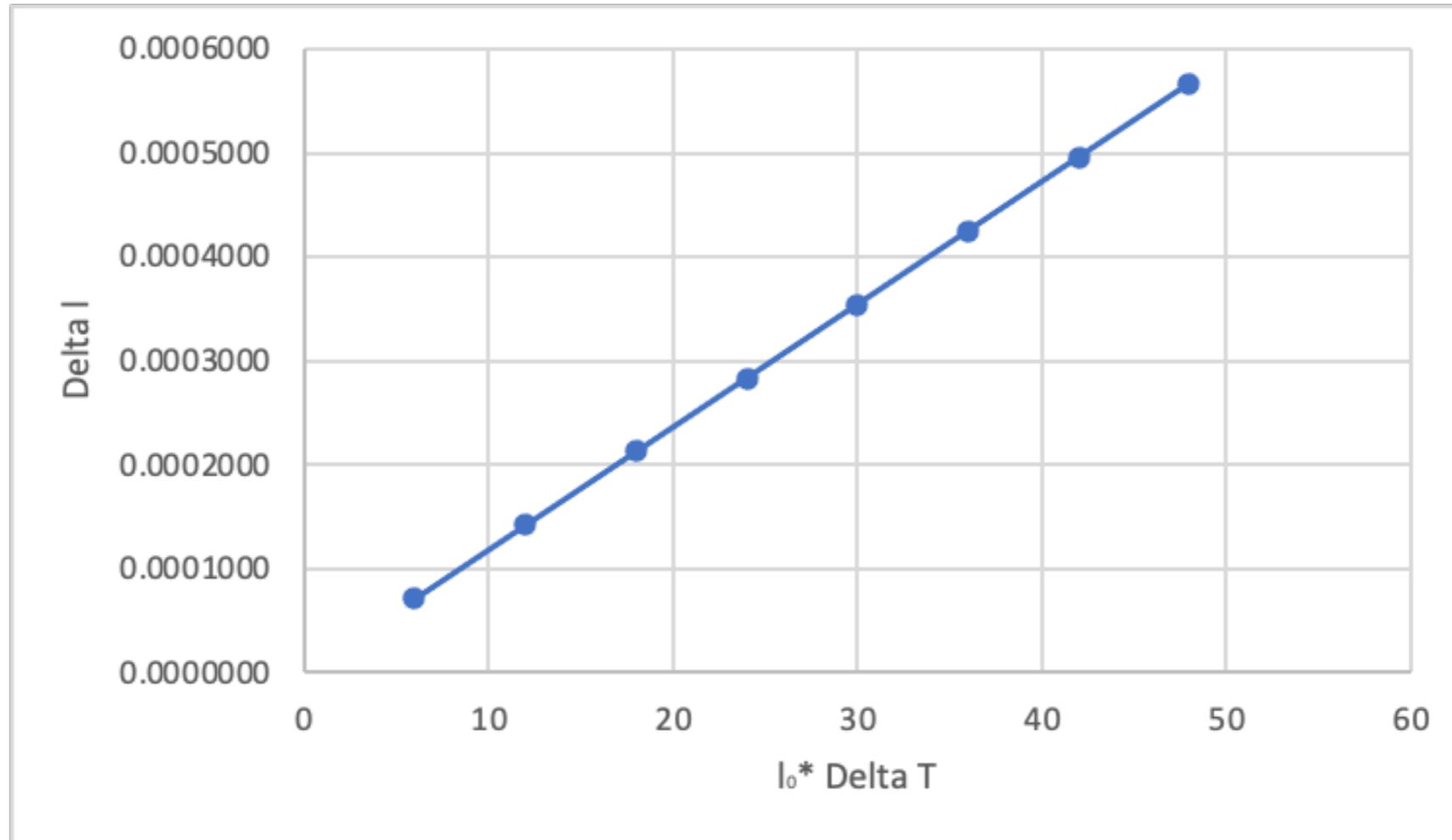
- $l_0 = 1.20\text{m}$ , Anfangstemperatur  $T_0 = 20^\circ\text{C}$

Temperatur T	Längenänderung	$\Delta T$	$l_0 \cdot \Delta T$
25°C	0.0000708 m		
30°C	0.0001416 m		
35°C	0.0002124 m		
40°C	0.0002832 m		
45°C	0.0003540 m		
50°C	0.0004248 m		
55°C	0.0004956 m		
60°C	0.0005664 m		

- Tragen Sie die erhaltenen Werte in einem  $\Delta l - l_0 \cdot \Delta T$  Diagramm ein. Formulieren Sie die Gesetzmässigkeit!

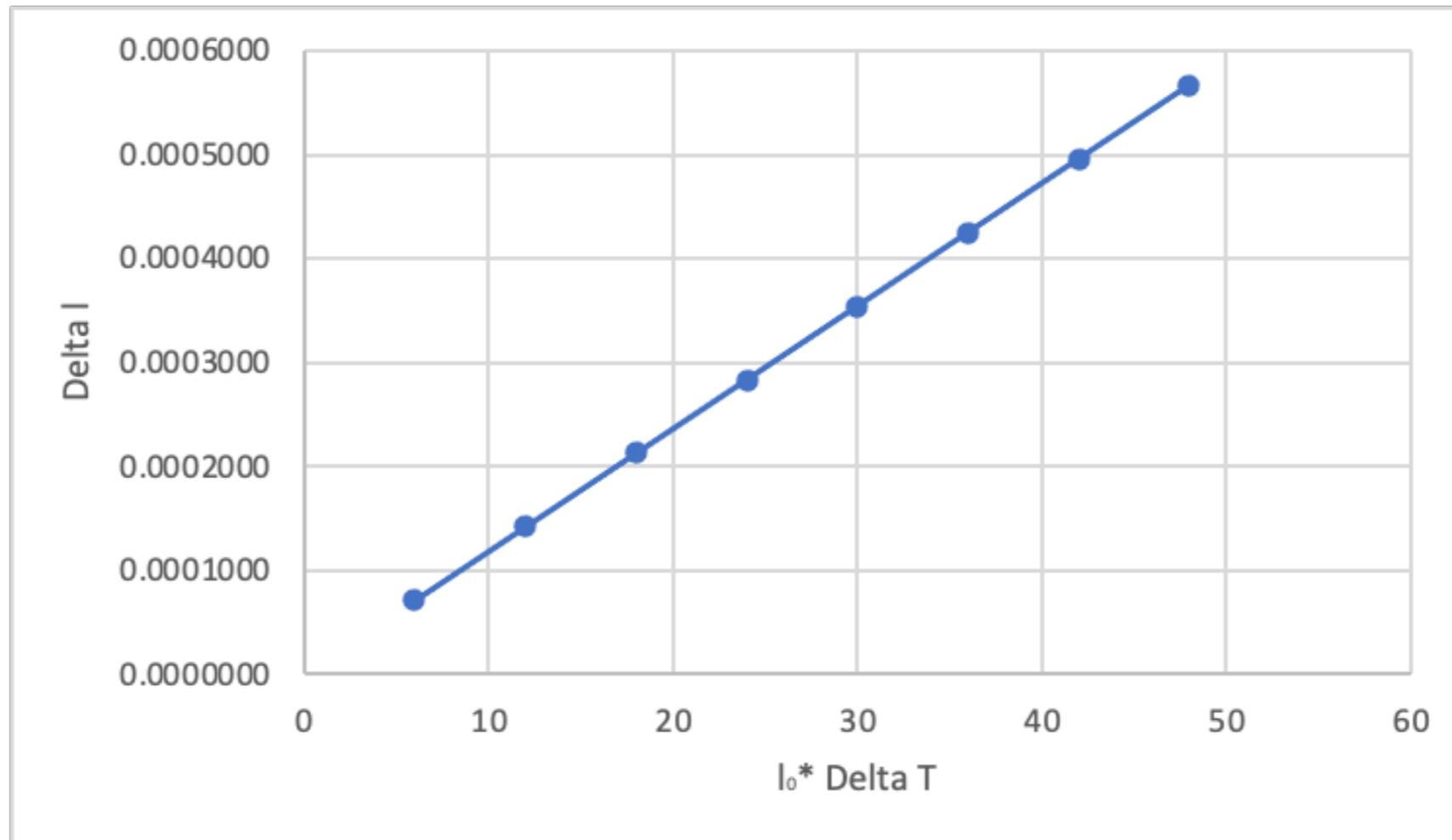
# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

## 6.1 Längenausdehnung



# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

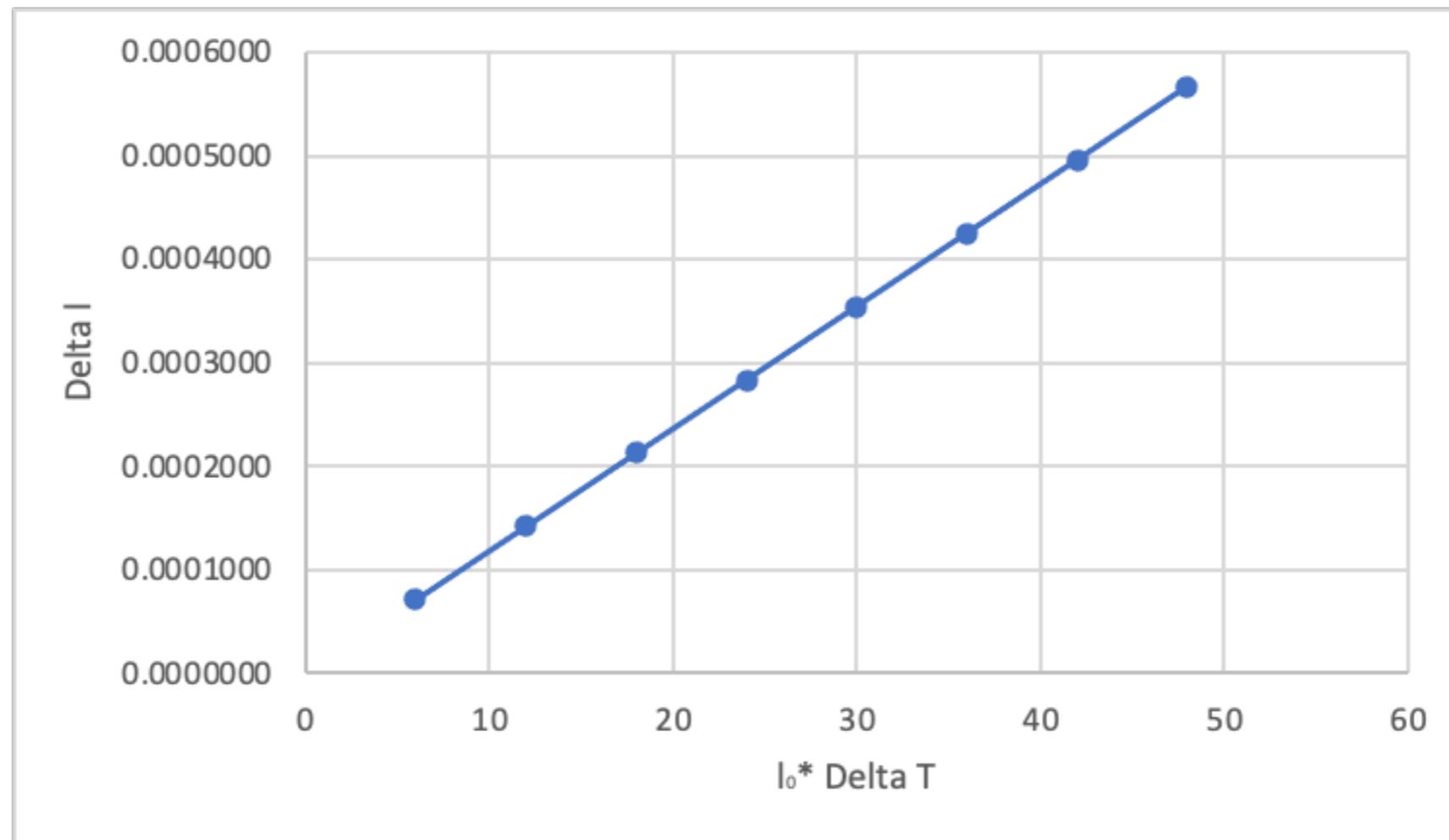
## 6.1 Längenausdehnung



$$\Delta l \propto l_0 \cdot \Delta T$$

# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

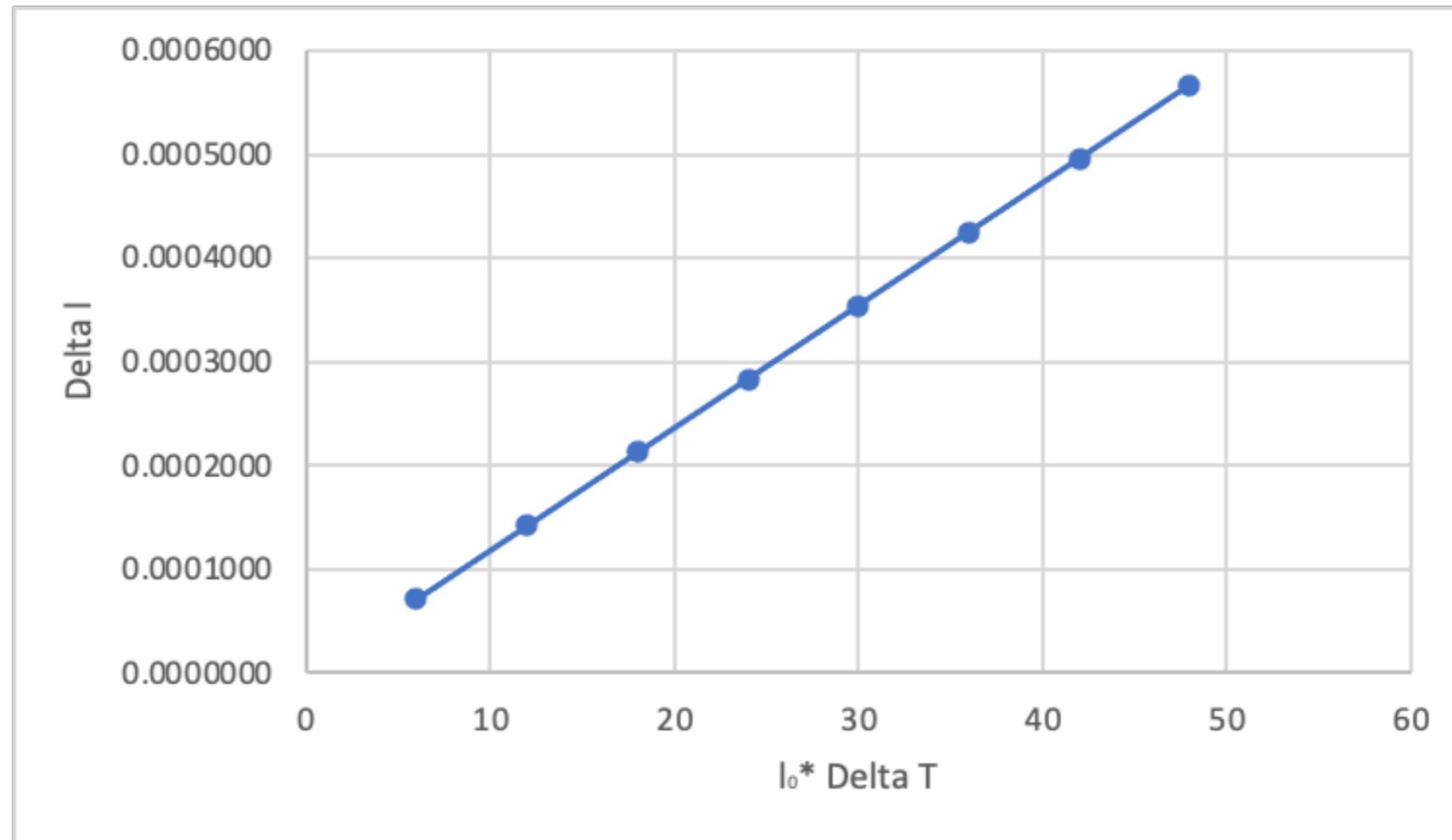
## 6.1 Längenausdehnung



$$\Delta l \propto l_0 \cdot \Delta T \quad \longrightarrow \quad \Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$$

# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

## 6.1 Längenausdehnung



$$\Delta l \propto l_0 \cdot \Delta T \quad \longrightarrow \quad \Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$$
$$\alpha = 11.8 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} = 11.8 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

## 6.1 Längenausdehnung

Formel Längenausdehnung:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$$

Längenausdehnung

Längenausdehnungskoeffizient  
(Materialeigenschaft)

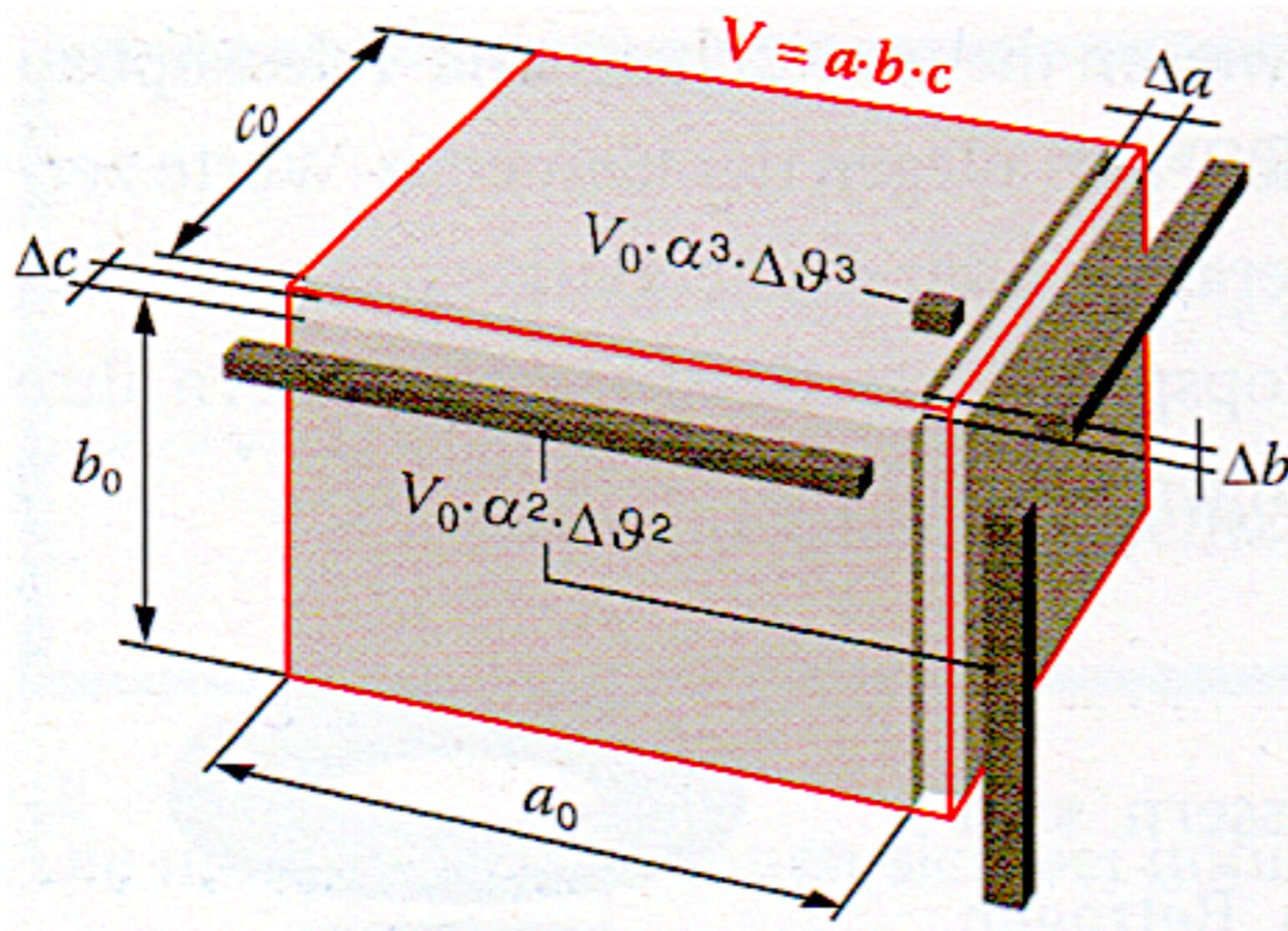
Anfangslänge bei der Temperatur  $T_0$

Temperaturunterschied



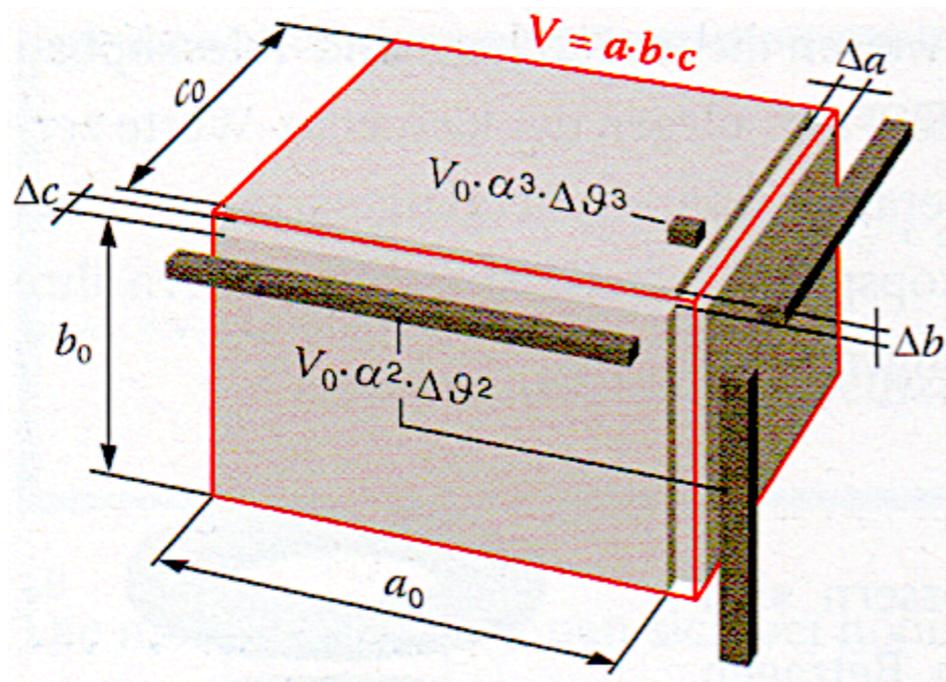
# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

## 6.2 Volumenausdehnung



# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

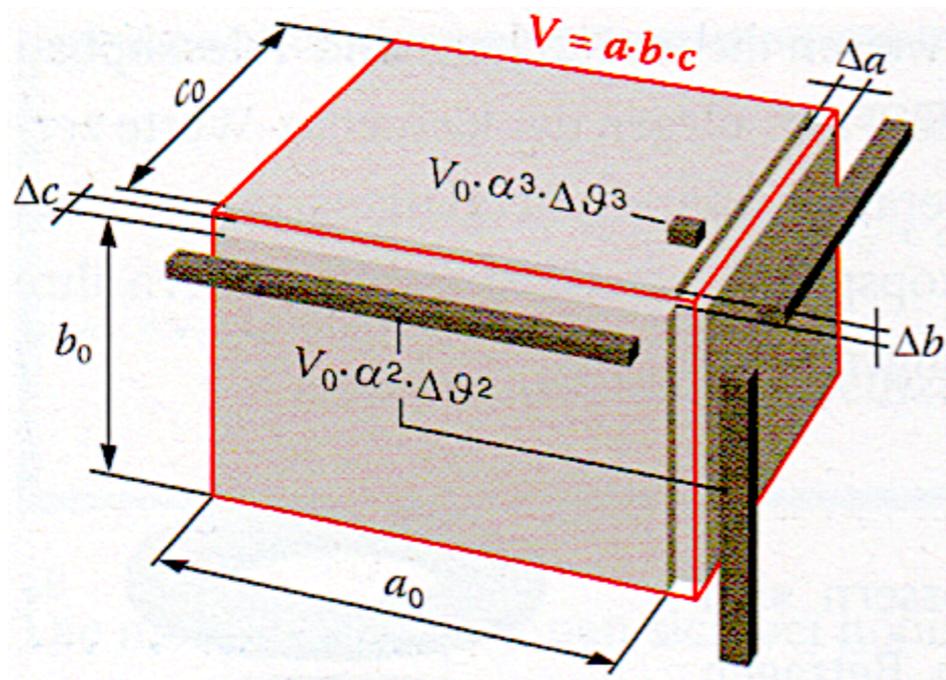
## 6.2 Volumenausdehnung



$$V = a \cdot b \cdot c$$

# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

## 6.2 Volumenausdehnung

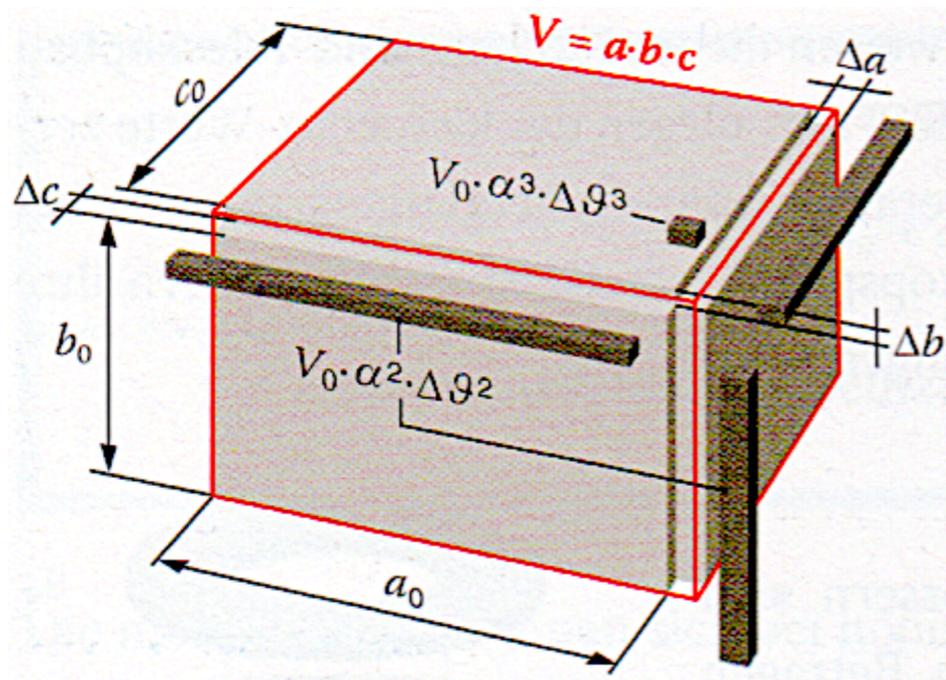


$$V = a \cdot b \cdot c$$

$$= (a_0 + \Delta a) \cdot (b_0 + \Delta b) \cdot (c_0 + \Delta c)$$

# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

## 6.2 Volumenausdehnung



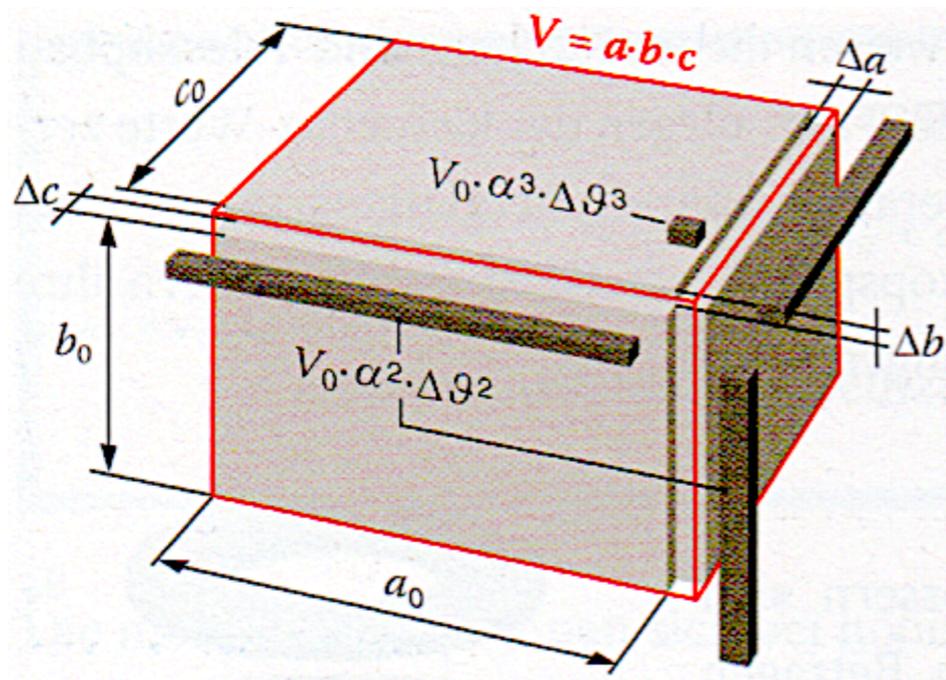
$$V = a \cdot b \cdot c$$

$$= (a_0 + \Delta a) \cdot (b_0 + \Delta b) \cdot (c_0 + \Delta c)$$

$$= a_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot b_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot c_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

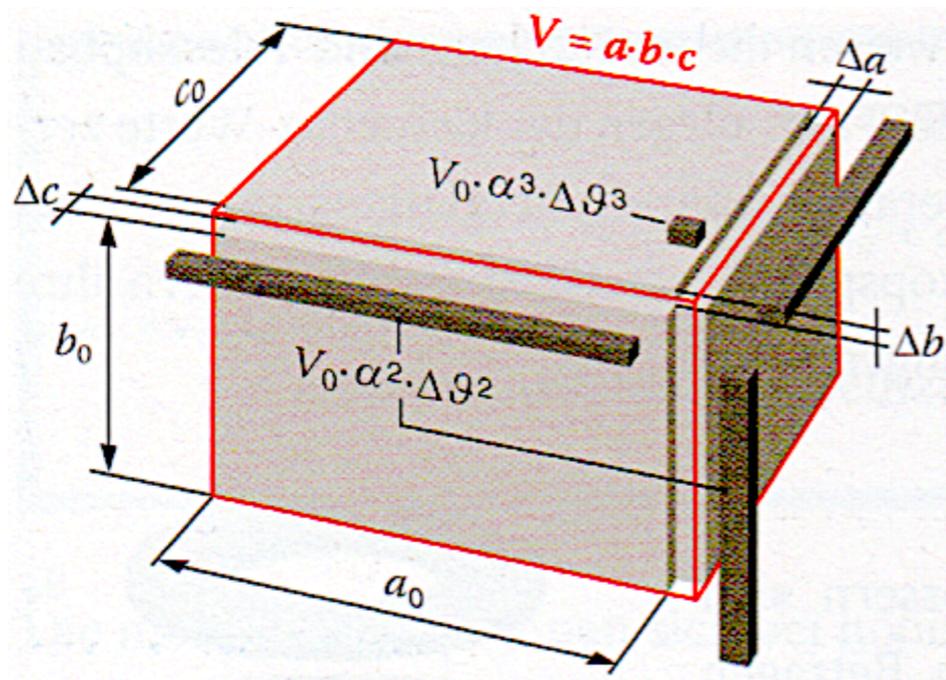
## 6.2 Volumenausdehnung



$$\begin{aligned} V &= a \cdot b \cdot c \\ &= (a_0 + \Delta a) \cdot (b_0 + \Delta b) \cdot (c_0 + \Delta c) \\ &= a_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot b_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot c_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \\ &= \underbrace{a_0 \cdot b_0 \cdot c_0}_{V_0} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)^3 \end{aligned}$$

# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

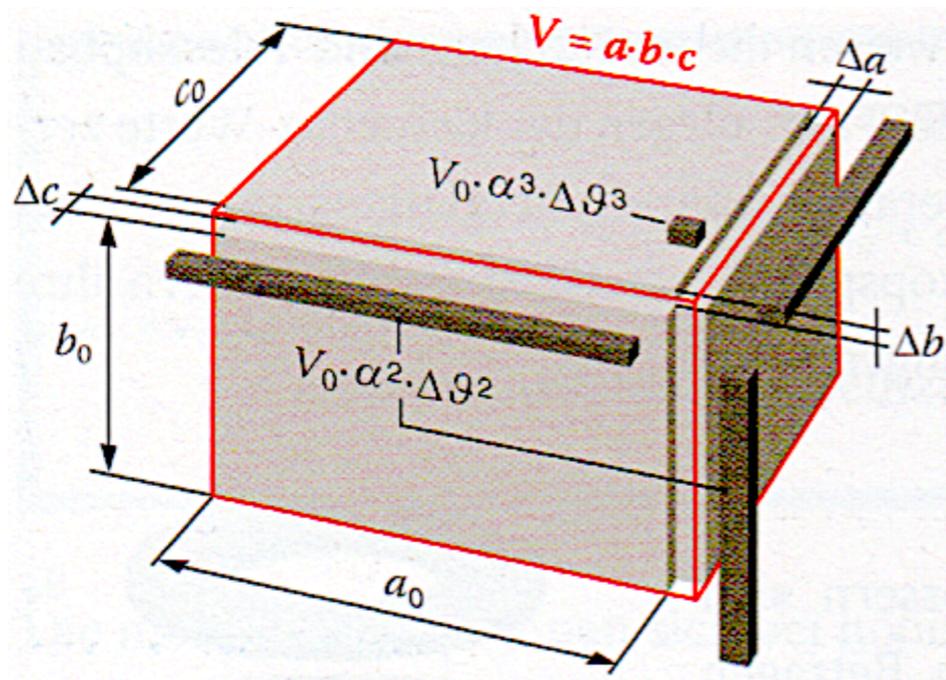
## 6.2 Volumenausdehnung



$$\begin{aligned}
 V &= a \cdot b \cdot c \\
 &= (a_0 + \Delta a) \cdot (b_0 + \Delta b) \cdot (c_0 + \Delta c) \\
 &= a_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot b_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot c_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \\
 &= \underbrace{a_0 \cdot b_0 \cdot c_0}_{V_0} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)^3 \\
 &= V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta T + \underbrace{3 \cdot \alpha^2 \cdot \Delta T^2}_{\rightarrow 0} + \underbrace{\alpha^3 \cdot \Delta T^3}_{\rightarrow 0})
 \end{aligned}$$

# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

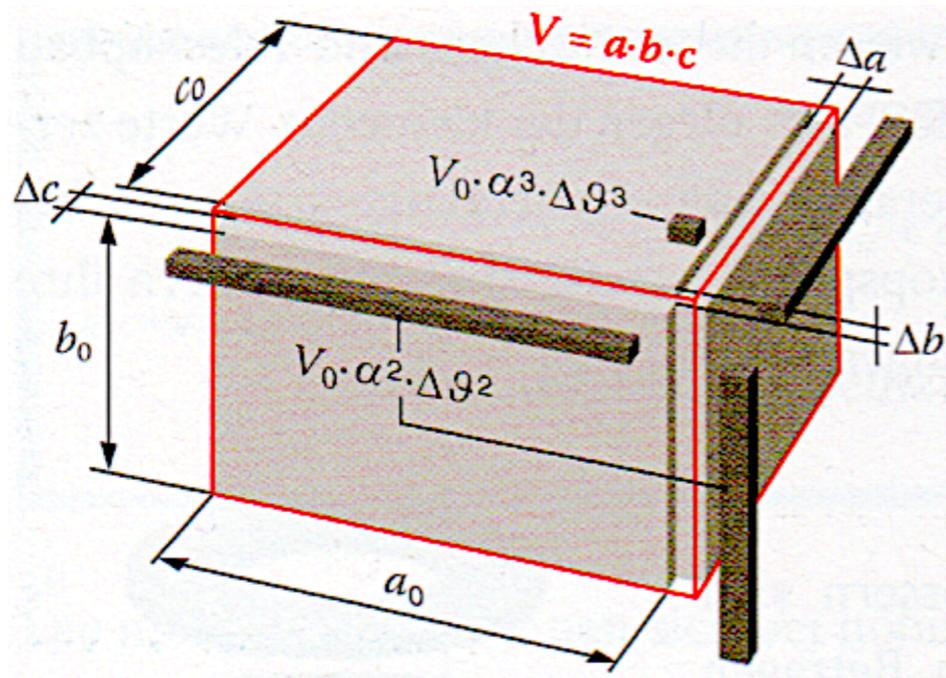
## 6.2 Volumenausdehnung



$$\begin{aligned}
 V &= a \cdot b \cdot c \\
 &= (a_0 + \Delta a) \cdot (b_0 + \Delta b) \cdot (c_0 + \Delta c) \\
 &= a_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot b_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot c_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \\
 &= \underbrace{a_0 \cdot b_0 \cdot c_0}_{V_0} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)^3 \\
 &= V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta T + \underbrace{3 \cdot \alpha^2 \cdot \Delta T^2}_{\rightarrow 0} + \underbrace{\alpha^3 \cdot \Delta T^3}_{\rightarrow 0}) \\
 &= V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta T)
 \end{aligned}$$

# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

## 6.2 Volumenausdehnung



$$\begin{aligned}
 V &= a \cdot b \cdot c \\
 &= (a_0 + \Delta a) \cdot (b_0 + \Delta b) \cdot (c_0 + \Delta c) \\
 &= a_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot b_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot c_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \\
 &= \underbrace{a_0 \cdot b_0 \cdot c_0}_{V_0} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)^3 \\
 &= V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta T + \underbrace{3 \cdot \alpha^2 \cdot \Delta T^2}_{\rightarrow 0} + \underbrace{\alpha^3 \cdot \Delta T^3}_{\rightarrow 0}) \\
 &= V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta T) \\
 &= V_0 + \underbrace{V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta T}_{\Delta V}
 \end{aligned}$$

# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

## 6.2 Volumenausdehnung

$$\begin{aligned}
 V &= a \cdot b \cdot c \\
 &= (a_0 + \Delta a) \cdot (b_0 + \Delta b) \cdot (c_0 + \Delta c) \\
 &= a_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot b_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot c_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \\
 &= \underbrace{a_0 \cdot b_0 \cdot c_0}_{V_0} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)^3 \\
 &= V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta T + \underbrace{3 \cdot \alpha^2 \cdot \Delta T^2}_{\rightarrow 0} + \underbrace{\alpha^3 \cdot \Delta T^3}_{\rightarrow 0}) \\
 &= V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta T) \\
 &= V_0 + \underbrace{V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta T}_{\Delta V}
 \end{aligned}$$

**Formel Volumenausdehnung:**

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

$$\gamma = 3\alpha$$

$\Delta V$  = Volumenausdehnung

$\gamma$  = Volumenausdehnungskoeffizient

$V_0$  = Anfangsvolumen bei der Temperatur  $T_0$

$\Delta T$  = Temperaturunterschied

# 6. Thermische Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten

## 6.2 Volumenausdehnung

**Beispiel 26:** Ein Öltank aus Stahlblech mit einem Fassungsvermögen von  $V_0 = 5000$  Liter wird bei  $20^\circ\text{C}$  unvorsichtigerweise vollständig mit Heizöl gefüllt. Was geschieht, wenn die Temperatur auf  $35^\circ\text{C}$  ansteigt? ( $\gamma_{\text{Heizöl}} = 8.9 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ).

