

Ein Heißwasserspeicher verfügt über 150 Liter Inhalt und hat eine Leistung von 2 kW.



- a) *Wie lange dauert die Aufheizung bei einer üblichen Temperaturdifferenz und einem normalen Wirkungsgrad?*
- b) *Welchen Widerstand muss der Heizkörper bei 230 V haben?*

Durch eine zusätzliche Heizspirale soll die Leistung auf 3 kW erhöht werden.

- c) *Wie muss diese Heizspirale geschaltet werden und wie groß muss ihr Widerstand sein?*
- d) *Wie ändern sich Leistung und Aufheizzeit, wenn die beiden Widerstände in Reihe geschaltet werden?*

Der Speicher ist über eine 12 m lange Leitung mit 1,5 mm² Cu angeschlossen.

- e) *Welcher Spannungsabfall tritt in der Leitung beim 3-kW-Betrieb auf?*
- f) *Was kostet der Betrieb im Monat, wenn der Heißwasserspeicher einmal täglich aufgeheizt und das ganze Wasser verbraucht wird? Besteht ein Unterschied zwischen der 2-kW- und der 3-kW-Aufheizung?*

Für die Lösung dieses Beispiels sind mehrere physikalische und elektrische Gesetzmäßigkeiten und damit mehrere Formeln nötig:

Wärmemenge: $Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$

Leistung: $P = Q / \eta \cdot t$

$$P = U^2 / R$$

$$P = I^2 \cdot R$$

Parallelschaltung von Widerständen: $R_p = (R_1 + R_2) / R_1 \cdot R_2$

Leitungswiderstand: $R_L = l \cdot \delta / A$

Angenommene Werte: Wirkungsgrad $\eta = 1$, Preis für 1kWh = 0,2€, $\Delta\vartheta$ (von 20°C auf 80°C) = 60°C

Konstanten: spezifische Wärmekapazität $c = 1,16 \text{ Wh/kg}$

Spezifischer Leitwert: $\rho = 0,0179 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

a) *Wie lange dauert die Aufheizung bei einer üblichen Temperaturdifferenz und einem normalen Wirkungsgrad?*

Zuerst Berechnung der erforderlichen Wärmemenge, danach die Aufheizzeit bei 2kW Leistung

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta = 150\text{kg} \cdot 1,16\text{Wh/kg} \cdot 60^\circ = 10440 \text{ Wh}$$

$$P = Q / \eta \cdot t \rightarrow t_{2\text{kW}} = Q / \eta \cdot P = 10440 \text{ Wh} / 1 \cdot 2000\text{W} = 5,22\text{h}$$

b) Welchen Widerstand muss der Heizkörper bei 230 V haben?



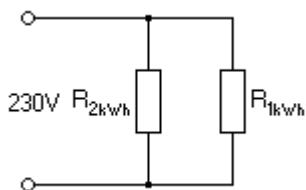
Die Leistungsformel $P = U^2 / R$ wird nach R aufgelöst

$$R_{2kW} = U^2 / P = 230V^2 / 2000W = 26,45\Omega$$

Durch eine zusätzliche Heizspirale soll die Leistung auf 3 kW erhöht werden.

c) Wie muss diese Heizspirale geschaltet werden und wie groß muss ihr Widerstand sein?

Um die Leistung auf 3kW zu erhöhen muss ein Widerstand, der 1kW in Wärme umsetzt, parallelgeschaltet werden.



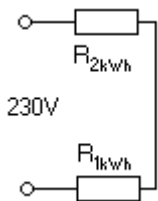
$$R_{1kW} = U^2 / P = 230V^2 / 1000W = 52,9\Omega$$

$$t_s = Q / \eta * P = 10440 \text{ Wh} / 1 * 3000W = 3,48h \dots \text{nicht gefragt}$$

$$\text{Kontrolle: } R_{3kW} = 230V^2 / 3000W = 17,63\Omega \dots \text{muss gleich sein} \dots$$

$$R_{3kW} = R_{2kW} // R_{1kW} = (R_{2kW} + R_{1kW}) / R_{2kW} * R_{1kW} = (26,45\Omega + 52,9\Omega) / 26,45\Omega * 52,9\Omega = 17,63\Omega$$

d) Wie ändern sich Leistung und Aufheizzeit, wenn die beiden Widerstände in Reihe geschaltet werden?



$$R_s = R_{2kW} + R_{1kW} = 26,45\Omega + 52,9\Omega = 79,35\Omega$$

$$P_s = U^2 / R_s = 230V^2 / 79,35\Omega = 666,7W$$

$$t_s = Q / \eta * P = 10440 \text{ Wh} / 1 * 666,7W = 15,6h$$

Der Speicher ist über eine 12 m lange Leitung mit 1,5 mm² Cu-Draht angeschlossen.

e) Welcher Spannungsabfall tritt in der Leitung beim 3-kW-Betrieb auf?

Eine 12m lange Leitung ergibt für Hin- und Rückleitung 24m Cu-Draht.

$$R_L = l * \delta / A = 24m * 0,0179 \Omega\text{mm}^2/\text{m} / 1,5\text{mm}^2 = 0,286\Omega$$

Im 3kW-Betrieb fließt ein Strom $I_{3kW} = \sqrt{P_{3kW}/R_{3kW}} = \sqrt{3000W/17,63\Omega} = 13A$, dieser Strom ergibt bei einem Leitungswiderstand von 0,286Ω einen Spannungsabfall von $U = I * R = 13A * 0,286\Omega = 3,73V$

f) Was kostet der Betrieb im Monat, wenn der Heißwasserspeicher einmal täglich aufgeheizt und das ganze Wasser verbraucht wird? Besteht ein Unterschied zwischen der 2-kW- und der 3-kW-Aufheizung?

Bei 2kW, täglich 5,22h Betrieb ergibt einen Energiebedarf von $W = P * t = 2kW * 5,22h = 10,44kWh$ / Tag. Bei durchschnittlich 30,5 Tage pro Monat ergibt dies einen Bedarf von 318,42 kWh und bei einem Preis von 0,2€/kWh entstehen Kosten von $318,42kWh * 0,2\text{€} = 63,7\text{€}/\text{Monat}$.

Bei 3kW ist die Aufheizzeit kürzer, daher sind Energiebedarf und Kosten wie bei der 2kW-Heizung.