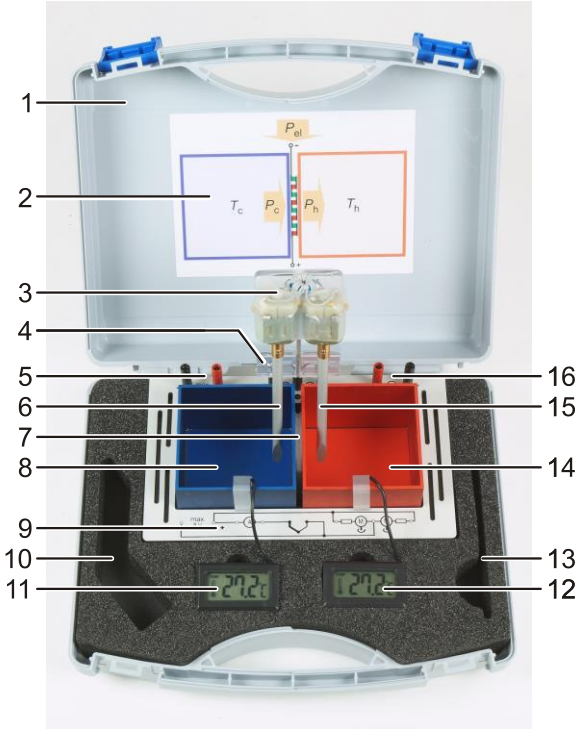
3B SCIENTIFIC® PHYSICS

Peltier-Wärmepumpe 1020769

Bedienungsanleitung

05/17 TL/JS



1 Transportkoffer
2 Schematische Darstellung
3 Rühreinheit
4 Anschluss für Rühreinheit
5 Anschluss für Spannungsversorgung
6 Rührstab „kalte Seite“
7 Peltier-Element
8 Reservoir „kalte Seite“
9 Anschlussskizze
10 Aussparung für Rühreinheit
11 Digitalthermometer „kalte Seite“
12 Digitalthermometer „warme Seite“
13 Aussparung für Rührstäbe
14 Reservoir „warme Seite“
15 Rührstab „warme Seite“
16 Anschluss zur Strommessung
(Betriebsstrom durch das Peltier Element)

1. Sicherheitshinweise

Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ist der sichere Betrieb der Peltier-Wärmepumpe gewährleistet. Die Sicherheit ist jedoch nicht garantiert, wenn das Gerät unsachgemäß bedient oder unachtsam behandelt wird.

- Wärmepumpe nur mit Gleichspannung zwischen 5 und 8 V betreiben.
- Wärmepumpe nicht trocken oder mit zu geringem Füllstand betreiben.
- Wärmepumpe nach Gebrauch trocknen lassen.

2. Beschreibung

Die Peltier-Wärmepumpe ist ein Funktionsmodell mit zwei Wasserbehältern aus Aluminium, die thermisch an die Flächen eines Peltier-Elements angekoppelt sind. Fließt ein elektrischer Strom durch das Peltier-Element erfolgt ein Wärmetransport zwischen den Behältern, der zur Abkühlung der einen und zur Erwärmung der anderen Seite führt. In beiden Wasserbehältern sorgt ein elektrisch betriebener Rührer für eine jeweils gleichmäßige Temperaturverteilung. Zwei Digitalthermometer zeigen die beiden Wassertemperaturen an. Da die Wärmekapazität des Systems bekannt ist, können Kälteleistung und Wärmeleistung bestimmt und mit der zugeführten elektrischen Leistung verglichen werden.

3. Technische Daten

Peltier-Element:

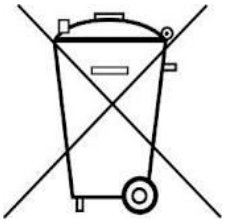
Anschlussspannung:	5 … 8 V
Stromaufnahme bei 8 V:	2,5 … 3,5 A
Fläche:	40 x 40 mm²
Dicke:	3,7 mm
Seebeck-Koeffizient *S*:	ca. 0,04 V/K
Ohm'scher Widerstand *R*:	ca. 2,4 Ω
Wärmeleitkoeffizient κ:	ca. 0,2 W/K

Wasserreservoire:

Masse eines ungefüllten Reservoirs:	105 g
Wärmekapazität eines ungefüllten Reservoirs:	0,094 J/K
Wasserfüllung:	200 ml
Wärmekapazität der Wasserfüllung:	0,836 J/K
Wärmekapazität eines gefüllten Reservoirs:	0,930 J/K
Wärmeübergangs-koeffizient α:	0,7 … 0,8 W/K
Gesamte Abmessungen:	244 x 160 x 70 mm³
Gesamte Masse:	920 g

4. Aufbewahrung, Reinigung, Entsorgung

- Gerät an einem sauberen, trockenen und staubfreien Platz aufbewahren.
- Vor der Reinigung Gerät von der Stromversorgung trennen.
- Zur Reinigung keine aggressiven Reiniger oder Lösungsmittel verwenden.
- Zum Reinigen ein weiches, feuchtes Tuch benutzen.
- Die Verpackung ist bei den örtlichen Recyclingstellen zu entsorgen.
- Sofern das Gerät selbst verschrottet werden soll, so gehört dieses nicht in den normalen Hausmüll. Bei Nutzung in Privathaushalten kann es bei den örtlichen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern entsorgt werden.



- Geltende Vorschriften zur Entsorgung von Elektroschrott einhalten.

5. Inbetriebnahme

Zusätzlich erforderlich:

1 DC-Netzgerät 20 V, 5 A @230V	1003312
oder	
1 DC-Netzgerät 20 V, 5 A @115V	1003311
1 Digitalmultimeter	1018832
2 Paar Sicherheitsexperimentierkabel	1017718

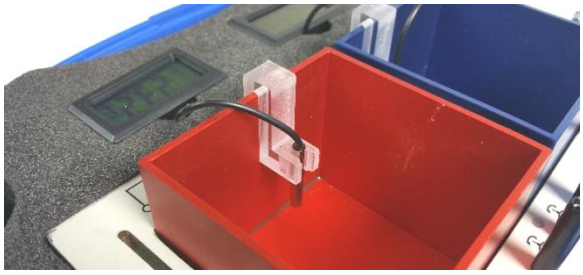


Fig.1 Ausrichtung der Temperaturfühler

- Ggf. zur Inbetriebnahme der Digitalthermometer Batterien einlegen.
- In beiden Reservoiren die Temperaturfühler gemäß Fig. 1 ausrichten.

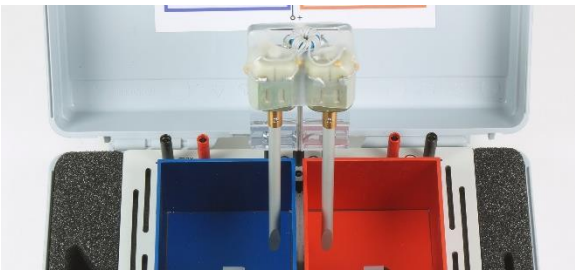


Fig. 2 Angeschlossene Rühreinheit mit aufgesteckten Rührstäben

- Rührstäbe und Rühreinheit aus den Taschen des Transportkoffers entnehmen.
- Rührstäbe mit Kupplung auf die Motorwellen aufstecken.
- Rühreinheit am mittleren Buchsentriplett anschließen.

Hinweis: Die Rühreinheit arbeitet, sobald Versorgungsspannung an das linke Buchsenpaar angelegt wird. Das Peltier-Element dagegen wird erst durch Überbrückung des rechten Buchsenpaars oder durch den Anschluss eines Amperemeters aktiviert.

- Je 200 ml Wasser einfüllen.
- Spannungsversorgung anschließen, um die Rührer zu betreiben und für eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu sorgen.

5. Experimente

5.1 Symmetrischer Betrieb als Wärmepumpe

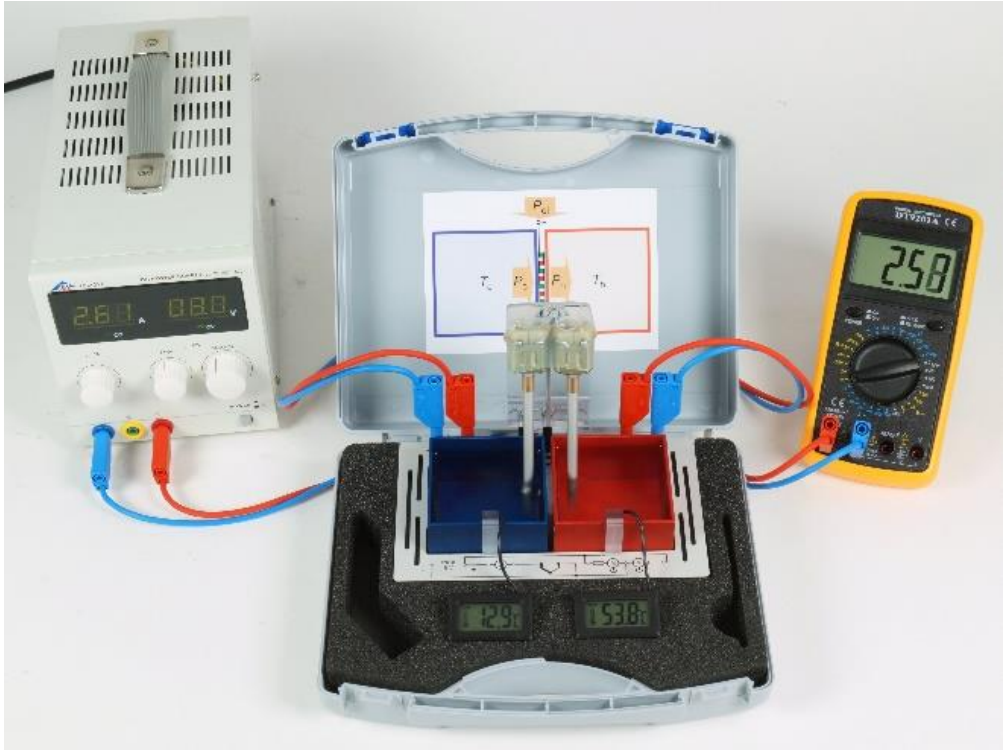


Fig. 3 Experimenteller Aufbau

- Anfangstemperatur in beiden Gefäßen notieren.
- Spannungsversorgung ausschalten und Digitalmultimeter als Amperemeter (Messbereich bis 10 A) anschließen.
- Spannungsversorgung einschalten und eine konstante Spannung zwischen 6 und 8 V einstellen.
- Stoppuhr starten.
- Alle 30 s die Temperaturen T_c und T_h in beiden Reservoiren, sowie die Stromstärke I notieren.

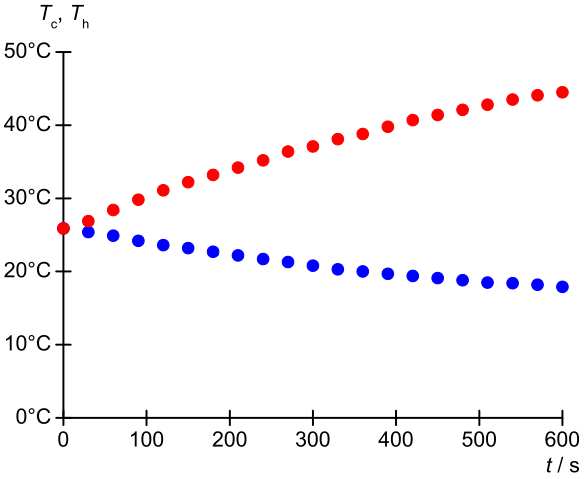


Fig. 4 Zeitlicher Verlauf der Temperaturen in beiden Reservoiren bei symmetrischem Betrieb

Mögliche Auswertungen:

Bestimmung der Wärmeleistung, der Kälteleistung und der elektrischen Leistung.

Bestimmung der Leistungszahlen (Coefficients of Performance)

Abhängigkeit des Stromes von der Temperaturdifferenz bei konstanter Versorgungsspannung.

Bestimmung des Ohm'schen Widerstandes und des Seebeck-Koeffizienten.

Auswertung des Temperaturverlaufs als Funktion der Zeit.

Berechnung der Anteile des Peltier-Effekt, der Joule'schen Verluste und des Wärmerückflusses an den Temperaturverläufen.

5.2 Messung des Temperaturverlaufs und der Thermospannung nach Ausschalten der Wärmepumpe

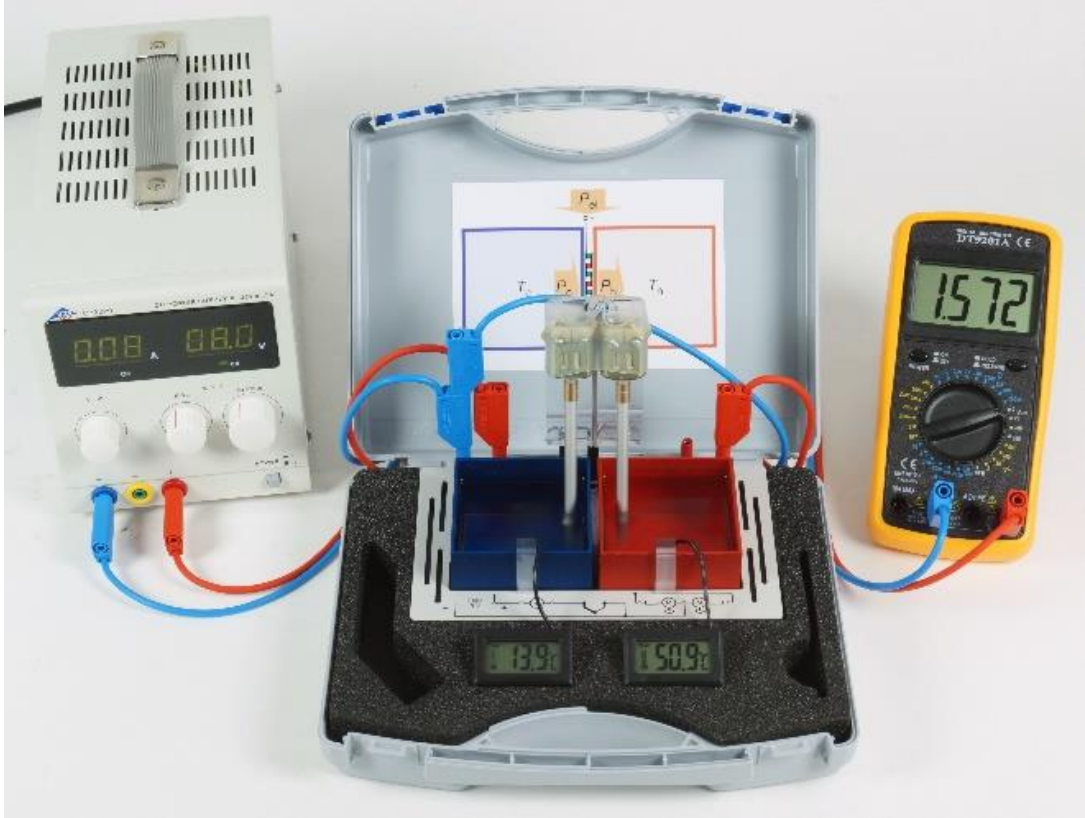


Fig. 5 Experimenteller Aufbau

- Multimeter als Amperemeter entfernen, so dass Stromfluss durch das Peltier-Element unterbrochen wird, und als Voltmeter zur Messung der Thermospannung einsetzen.
- Rührer weiter betreiben und dazu die Spannungsversorgung eingeschaltet lassen.
- Alle 30 s die Temperaturen T_c und T_h in beiden Reservoiren, sowie die Thermospannung U notieren.

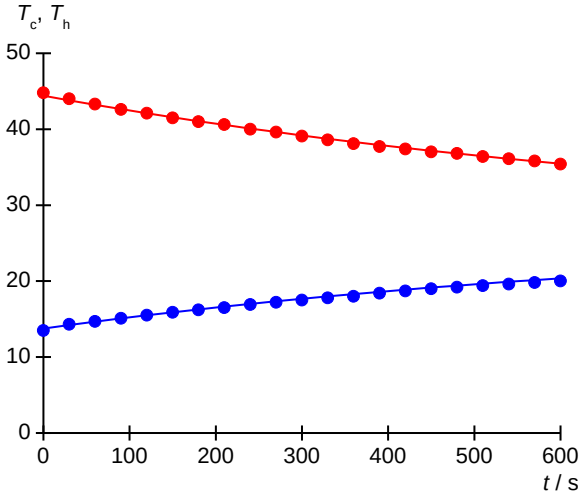


Fig. 6 Zeitlicher Verlauf der Temperaturen in beiden Reservoiren nach Ausschalten der Wärmepumpe

Mögliche Auswertungen:

Darstellung der Thermospannung als Funktion der Temperaturdifferenz.

Bestimmung des Seebeck-Koeffizienten.

Darstellung des Mittelwertes aus T_c und T_h als Funktion der Zeit und Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten α.

Darstellung der Temperaturdifferenz als Funktion der Zeit und Bestimmung des Wärmeleitungskoeffizienten κ.

Hinweis: Für die Bestimmung des Wärmeleitungskoeffizienten und des Wärmeübergangskoeffizienten ist unerlässlich, die Messungen möglichst solange durchzuführen, bis die Umgebungstemperatur nahezu erreicht ist.

5.3 Asymmetrischer Betrieb

Im asymmetrischen Betrieb wird das Reservoir auf der warmen Seite mit Eiswasser gefüllt, um dessen Temperatur konstant zu halten. Das Wasser im kalten Reservoir wird von einer Anfangstemperatur ausgehend abgekühlt.

6. Auswertung

6.1 Bestimmung von Heizleistung, Kälteleistung und elektrischer Energie

Tab. 1: Messbeispiel

t	T_c	T_h	I	U
0	25,6 °C	25,6 °C	3,2 A	7,62 V
120	23,0 °C	31,2°C	3,2 A	8,06 V

Heizleistung:

$$P_h = C \cdot \frac{dT_h}{dt} = 930\,\frac{J}{K} \cdot \frac{31{,}2 - 25{,}6}{120}\,\frac{K}{s} = 43{,}4\ W$$

Kälteleistung:

$$P_c = C \cdot \frac{dT_c}{dt} = 930\,\frac{J}{K} \cdot \frac{23{,}0 - 25{,}6}{120}\,\frac{K}{s} = -20{,}2\ W$$

Elektrische Leistung:

$$P_{el} = U \cdot I = 3{,}2\ A \cdot \frac{7{,}62 + 8{,}06}{2}\,V = 25{,}1\,W$$

Leistungszahlen:

$$COP_h = \frac{P_h}{P_{el}} = \cdot \frac{43{,}4}{25{,}2}\,\frac{W}{W} = 1{,}73$$

$$COP_c = \frac{P_c}{P_{el}} = \cdot \frac{-20{,}2}{25{,}2}\,\frac{W}{W} = -0{,}80$$

$$COP_h + COP_c = 0{,}93$$

Hinweis: Die Leistungszahlen hängen sowohl vom Strom I wie auch von der Temperaturdifferenz ΔT ab.

6.2 Thermospannung als Funktion der Temperaturdifferenz

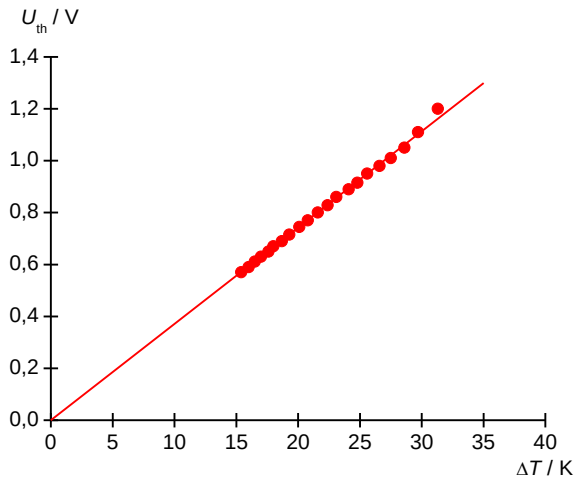


Fig. 7 In der Abklingphase gemessene Thermospannung als Funktion der Temperaturdifferenz

Die Thermospannung U_{th} zwischen den beiden Kontakten des Peltier-Elements hängt linear von der Temperaturdifferenz ab. Sie kann gemessen werden, wenn kein Strom I fließt:

$$U_{th} = S \cdot (T_h - T_c) = S \cdot \Delta T$$

S: Seebeck-Koeffizient des Peltier-Elements

6.3 Betriebsspannung als Funktion der Temperaturdifferenz

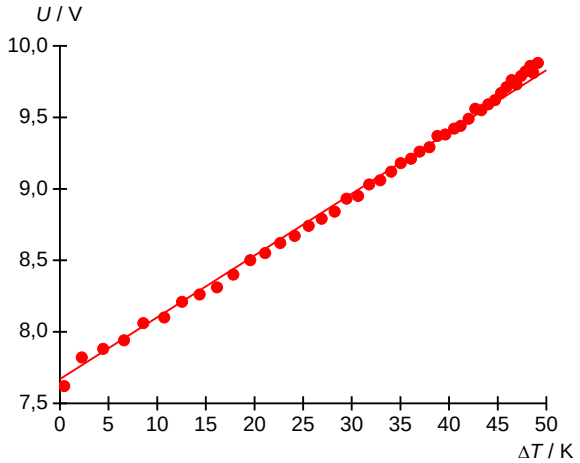


Fig. 8 In der Pumpphase bei konstanten Betriebsstrom gemessene Betriebsspannung als Funktion der Temperaturdifferenz

Zur Erzeugung des Stromes I muss am Peltier-Element eine Spannung

$$U_0 = R \cdot I + S \cdot \Delta T$$

R: Ohm'scher Widerstand des Peltier-Elements

anliegen bzw. die elektrische Leistung

$$P_{el} = U_0 \cdot I = R \cdot I^2 + S \cdot \Delta T \cdot I$$

aufgebracht werden. Es ist daher wesentlich, ob die Stromversorgung im „Konstanter-Strom-Betrieb" oder im „Konstante-Spannung-Betrieb" erfolgt.

6.4 Beschreibung der Temperaturverläufe während der Pump- und der Abklingphase

Fließt ein elektrischer Strom I durch das Peltier-Element, so nimmt dessen kalte Seite Wärme Q_c aus dem angekoppelten Reservoir auf und gibt dessen warme Seite Wärme Q_h an das angekoppelte Reservoir ab.

Für die zugehörigen Leistungen gilt

$$P_h = \frac{dQ_h}{dt} = S \cdot I \cdot T_h + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - \kappa \cdot (T_h - T_c)\,,$$

$$P_c = \frac{dQ_c}{dt} = -S \cdot I \cdot T_c + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 + \kappa \cdot (T_h - T_c)$$

S: Seebeck-Koeffizient,
R: Ohm'scher Widerstand,
κ: Wärmeleitkoeffizient

Dabei beschreibt der jeweils erste Term den Peltier-Effekt, der zweite Term die Ohm'schen Verluste, die als Joule'sche Wärme gleichmäßig an beide Reservoire abgegeben werden, und der dritte Term die Wärme"rück"leitung durch das Peltier-Element hindurch.

In der Praxis muss auch die Wärmeabgabe an die Umgebung bzw. die Wärmeaufnahme aus der Umgebung berücksichtigt werden. In guter Näherung gilt

$$P_{h\to 0} = \frac{dQ_{h\to 0}}{dt} = \alpha \cdot (T_h - T_0),$$

$$P_{c\to 0} = \frac{dQ_{c\to 0}}{dt} = \alpha \cdot (T_c - T_0)$$

T_0: Umgebungstemperatur,
α: Wärmeübergangszahl

Die Abgabe und Aufnahme von Wärme macht sich als Temperaturänderung in den angekoppelten Reservoiren bemerkbar. Insgesamt gelten die Differentialgleichungen

$$C \cdot \frac{dT_h}{dt} = S \cdot I \cdot T_h + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - \kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_h - T_0)$$

$$C \cdot \frac{dT_c}{dt} = -S \cdot I \cdot T_c + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 + \kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_c - T_0)$$

Anfangsphase:

Startet das System in beiden Reservoiren bei der Umgebungstemperatur, spielen Wärmeleitung und Wärmeübergang in der Anfangsphase noch keine Rolle. Daher gilt für die Anfangsphase

$$C \cdot \frac{dT_h}{dt} = S \cdot I \cdot T_h + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2$$

$$C \cdot \frac{dT_c}{dt} = -S \cdot I \cdot T_c + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2$$

Bei einer Umpolung des Stromes vertauschen sich die Rollen der Reservoire. Die Temperatur des rechten Reservoirs nimmt ab, die des linken Reservoirs nimmt zu.

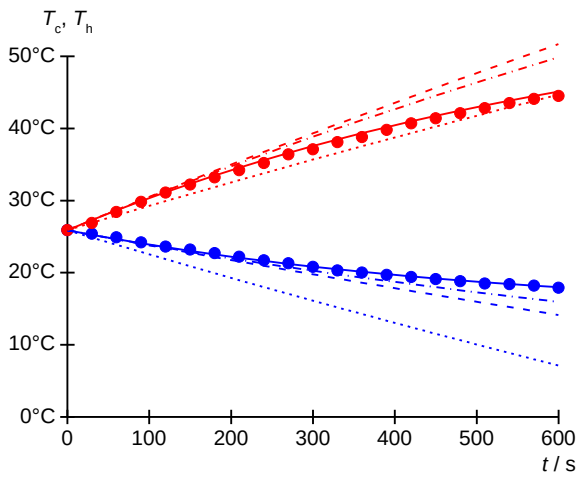


Fig. 9 Gemessener und berechneter Temperaturverlauf in der Pumpphase

- - - - -: Einfluss des Peltierefekts
– – – –: Einfluss von Peltier-Effekt & Joule'scher Wärme
– · – · –: Berücksichtigung der Wärmeleitung
————: Berücksichtigung der Wärmeleitung und des Wärmeübergangs an die Umgebung

Abklingphase:

Wird der Stromfluss unterbrochen und dadurch die Pumpleistung des Peltier-Elements abgeschaltet, relaxieren die Temperaturen in den beiden Reservoiren gegen die Umgebungstemperatur.

Mathematisch gilt

$$C \cdot \frac{dT_h}{dt} = -\kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_h - T_0)$$

$$C \cdot \frac{dT_c}{dt} = +\kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_c - T_0)$$

Oder umgeformt

$$C \cdot \frac{d\Delta T}{dt} = -(2 \cdot \kappa + \alpha) \cdot \Delta T \text{ mit } \Delta T = T_h - T_c$$

$$C \cdot \frac{dT_m}{dt} = -\alpha \cdot (T_m - T_0) \text{ mit } T_m = \frac{T_h + T_c}{2}$$

Zur Bestimmung der Koeffizienten κ und α ist daher sinnvoll, die Relaxation der Temperaturdifferenz ΔT und des Mittelwertes T_m zu betrachten.

© Copyright 2017 3B Scientific GmbH