
Projekt „Rund um das Peltier-Element“

Inhaltsverzeichnis

Was misst eigentlich ein Peltier-Element?	1
Daten und Bezugsquelle	1
Entropie- oder Energiestrom-Messgerät?	1
Arbeitsauftrag	2
Lösungsansätze	3
Recherchen in Datenblättern	3
Kritische Frage	3
Kennlinien	4
Datentabelle	4
Fazit beim Peltier-Element PKE 128 A 0020	5
Experiment	6
Experiment	7
Versuchsaufbau	7
Beschreibung	7
Auswertung	7
Anhang	9
Datenblatt – Conrad-Electronic	9
Datenblatt – Opitec-Element PKE 128 A 0020	9
Kennlinie PKE 128 A 0020	10
Datenblatt Thermokraft - Wärmeleitwert	11
Entropiestromstärke pro Volt	12

Was misst eigentlich ein Peltier-Element?

Daten und Bezugsquelle

Ein recht preiswertes Peltier-Element in der Abmessung von 4 cm x 4 cm kann man bei Firma Opitec¹ sehr preiswert erwerben. Andere Typen bekommt man bei Conrad-Electronic oder anderen Versand-Firmen

Entropie- oder Energiestrom-Messgerät?

Es steht die Frage im Raum, handelt es sich bei einem Peltier-Element um ein „Entropie-“, um ein „thermisches Energiestrom-Messgerät“ oder nur um ein schlichtes Temperatur-Messgerät?

Die Vorstellung der „**Energie-Strom-Vertreter**“ könnte man in folgende Form kleiden:

- ❑ Auf Grund der Temperaturdifferenz zwischen der z.B. heißeren Ober- und kälteren Unterseite des Peltier-Elements fließt ein thermischer Energiestrom durch das Peltier-Element und erzeugt eine Thermospannung (oder Peltier-Spannung) zwischen den elektrischen Anschlüssen des Elements.
- ❑ Die Peltier-Spannung ist eine Funktion dieser thermischen Energiestromstärke P und es gilt der Zusammenhang $P = c_E \cdot U$... bei dem obigen Peltierelement Typ PKE 128 A 0020 kann man für c_E einen Wert um 6 W/V finden.

¹ Opitec Handel GmbH | Sulzdorf | Hohlweg 1 | D-97232 Giebelstadt

Die Vorstellung der „**Entropie-Strom-Vertreter**“ könnte man dagegen folgendermaßen formulieren:

- ❑ Auf Grund der Temperaturdifferenz zwischen der z.B. heißeren Ober- und kälteren Unterseite des Peltier-Elements fließt ein Entropie-Strom durch das Peltier-Element und erzeugt eine Thermospannung (oder Peltier-Spannung) zwischen den elektrischen Anschlüssen des Elements. Die Temperaturdifferenz ΔT wirkt hierbei als Antrieb für diesen Entropiestrom I_S – in völliger Analogie z.B. zur Strömungslehre (ein Druckdifferenz Δp ist der Antrieb für einen Flüssigkeits- oder Gasstrom $I_{F/G}$) ... z.B. zur E-Lehre (eine Potenzialdifferenz $\Delta \phi$ ist der Antrieb für einen elektrischen Strom I_E).
- ❑ Die Peltier-Spannung ist eine Funktion dieses Entropiestromes I_E und es gilt der Zusammenhang $I_E = c_S \cdot U$... bei dem obigen Peltierelement Typ PKE 128 A 0020 kann man für c_S einen Wert um $0,02 \text{ W/K/V} = 0,02 \text{ Ct/V}^2$ finden.

Die Vorstellung der „**Temperatur-Messgerät-Vertreter**“ sieht in etwa folgendermaßen aus:

- ❑ Auf Grund der Temperaturdifferenz zwischen der heißeren Ober- und kälteren Unterseite des Peltier-Elements stellt sich zwischen den elektrischen Anschlüssen des Peltier-Elements ein Thermospannung ein.
- ❑ So z.B. steht im Datenblatt, das bei Opittec zum Peltierelement (PKE 128 A 0020) mitgeliefert wird: „Seebeckelement bzw. Thermoelement: Eine Keramikplatte wird erwärmt, die andere gekühlt. Das Bauteil wirkt dann als Stromgenerator. 49 Millivolt pro Grad Temperaturunterschied an den Keramikplatten d.h. bei 100°C Temperaturunterschied 4,9 Volt Leerlaufspannung. Bei Anschluss eines Verbrauchers, z.B. eines Motors, sinkt die Spannung. Die maximale Leistung liegt bei 0,3 Watt.
- ❑ Diese Aussage bedeutet, dass der Quotient $U/\Delta T$ unabhängig von der Betriebstemperatur T konstant 49mV/K beträgt.

Arbeitsauftrag

Für dieses Projekt steht Ihnen

- ❑ das **Messfassungssystem Xplorer-GLX** mit zwei Temperatursensoren und einem Spannungssensor in der Grundausstattung
- ❑ und das Peltier-Element des Typs **PKE 128 A 0020** zur Verfügung ...

In diesem **Projekt** wollen wir die oben formulierten Aussagen und Hinweise diskutieren, Daten recherchieren³ und eine kreative Lösung für folgende Aufträge finden:

- (a) Wie kann man das Peltier-Element als Temperaturmessgerät einsetzen?
- (b) Wie kann man das Peltier-Element als thermisches Energiemessgerät umfunktionieren?
- (c) Wie kann man das Peltier-Element als Entropiestromstärke-Messgerät verwenden?

Im Sinne der „Galileischen Methode“ sollen in einem **Experiment** Vorhersagen aus den recherchierten Datenblättern überprüft werden!

² Aus didaktischen Gründen empfiehlt es sich, für die Entropie S die didaktische Einheit $1\text{Ct} = 1 \text{ W/K}$ zu verwenden.

³ Falls die Recherchen fehl laufen, findet man an ein passendes Datenblatt in dieser Datei → siehe

Lösungsansätze

Recherchen in Datenblättern ...

1. Es fällt auf, dass alle Peltier-Elemente, die aus 127 n/p-Paaren bestehen, jeweils beim Betrieb als Wärmepumpe eine Betriebsspannung von 15V benötigt.
2. Bezüglich der Wärmeleitung eines Peltier-Elements findet man in der Literatur:
 - ❑ „Bei Peltier-Elementen als „Thermoelemente“ gibt es einen eindeutigen funktionalen Zusammenhang zwischen der Temperaturdifferenz zwischen der Ober- und Unterseite des Peltierelement und dem thermischen Energiestrom durch das Peltier-Element hindurch.
 - ❑ Das gilt nicht nur bei Thermoelementen, sondern auch bei anderen „Wänden“ ... die zugehörige Größe nennt man Wärmeleitkoeffizient bzw. spezifischer Wärmeleitkoeffizient. Letzterer gibt an, welche thermische Energie pro m², pro Kelvin und pro Sekunde durch diese Wand geht.
 - ❑ Der Wärmeleitwert wird im Datenblatt für das „Opittec-Peltier-Element (PKE 128 A 0020) mit **250mW/K** angegeben. Bei einer Fläche von 16cm² des Peltier-Elements kann man einen spezifischen Wärmeleitwert von 156W/K/m²
3. Beim Opittec-Element (PKE 128 A 0020) bietet sich nun folgende Rechnung an:
 - (a) zwischen der Spannung ΔU und der Temperaturdifferenz ΔT gilt nach dem Datenblatt der Herstellerfirma: $\Delta U = 49 \text{ mV} / \text{K} \cdot \Delta T$
 - (b) zwischen der thermischen Energiestromstärke ($P=$) I_E und der Temperaturdifferenz ΔT gilt nach dem Datenblatt der Herstellerfirma: $P = 250 \text{ mW} / \text{K} \cdot \Delta T$
 - (c) Lösen wir die Gleichung aus (a) nach ΔT auf und setzen das Ergebnis in (b) ein, ergibt sich: $P = 250 \text{ mW} / \text{K} \cdot \Delta U / (49 \text{ mV} / \text{K})$ oder $P = \mathbf{5,1 \text{ W/V}}$

Kritische Frage

Muss man aus diesen Daten der Hersteller oder Lieferanten nicht den eindeutigen Schluss ziehen, dass das Peltier-Element ein ideales thermisches Energiestrom-Messgerät ist. Die obige Überlegung führt doch zu dem Schluss, dass man die thermische Energiestromstärke P in Watt bekommt, wenn man den Zahlwert der Ausgangsspannung in Volt gemessen mit der Zahl 5,1 multipliziert.

Dieses Ergebnis sieht allzu einfach aus ... unser „**Physikgefühl**“ müsste hier Alarm schlagen.

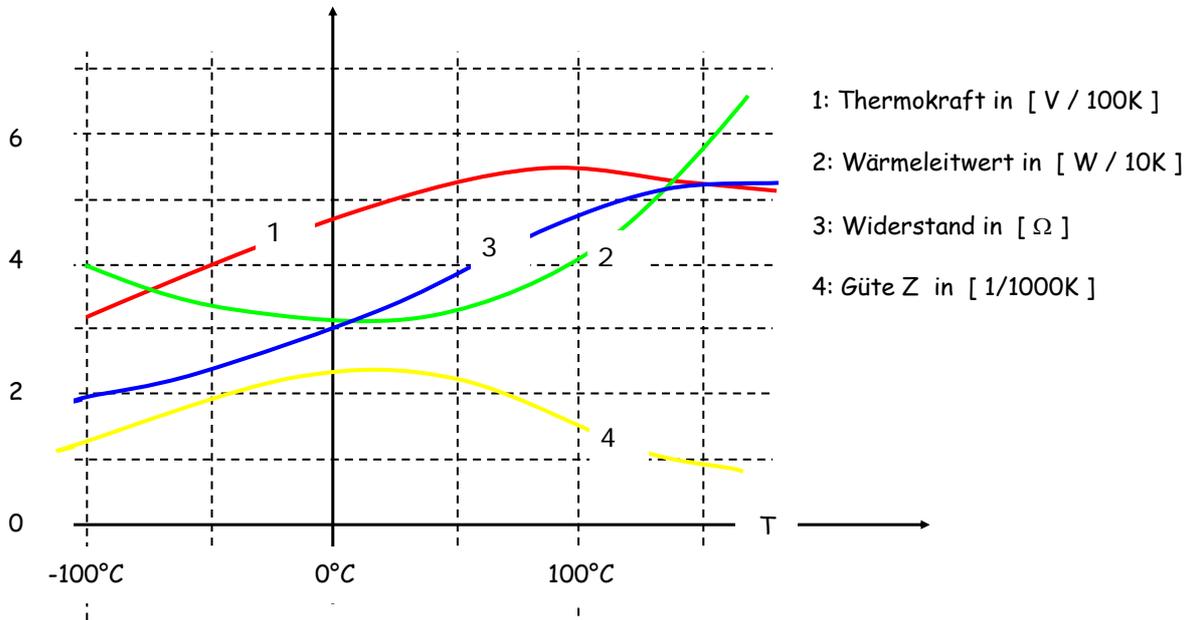
Welchen Aufwand muss man in der E-Lehre – zumal in der Halbleitertechnik treiben, damit man „lineare Zusammenhänge“ bekommt. In der E-Lehre wissen wir, dass „elektrische Bauteile“ von wenigen Ausnahmen abgesehen durch Kennlinien beschrieben werden.

Also sollten wir vielleicht „tiefer graben“ ...

Kennlinien

Auf eine freundliche Anfrage schickt der Geschäftsführer der Firma ⁴ Peltron GmbH Peltier-Technik die Daten des Peltier-Elements Typs „PKE 128 A 0020“.

Die oben formulierte Erwartung wird vollständig bestätigt ... das Peltier-Element wird durch Kennlinien beschrieben!



Thermoelektrische Daten von PKE 128 A 0020

Datentabelle

Überträgt man diese Daten in eine Tabelle, bekommt man folgende Übersicht:

Thermoelektrische Daten von PKE 128 A 0020

T in °C	T in K	TK in V/100K	WL W/K	P/U in W/V	I _s /U in Ct/K
-100°C	173K	3,1	4	12,90	0,0746
-50°C	223K	4,0	3,4	8,50	0,0381
0°C	273K	4,7	3,1	6,60	0,0242
50°C	323K	5,3	3,3	6,23	0,0193
100°C	373K	5,5	4,0	7,27	0,0195
150°C	423K	5,3	5,75	10,85	0,0256

T = Temperatur in °C oder in Kelvin

U = Potentialdifferenz an den elektrischen Anschlüssen des Peltier-Elements als elektrische Energie-Quelle – also im Betrieb als Thermoelement.

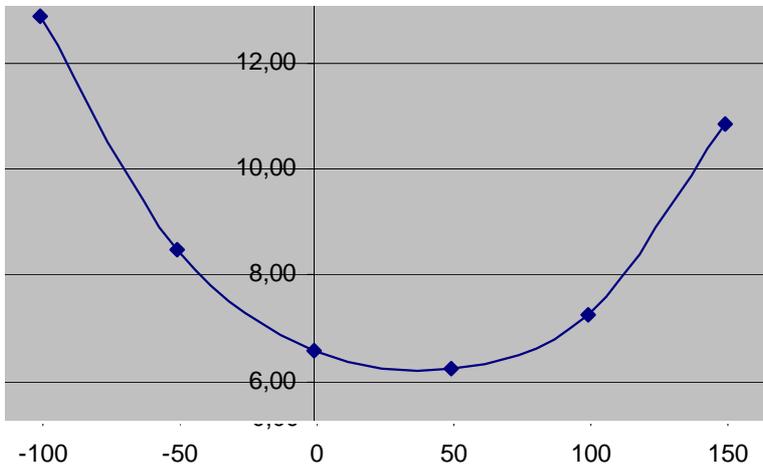
⁴ Reinhard Bollert (Geschäftsführer) | Peltron GmbH Peltier-Technik (Name der Gesellschaft) | Flurstr. 74 | D-90765 Fürth | Tel: 0911 790 57-09 | Fax: -21, | Handelsreg. Fürth HRB 5373

TK = Thermokraft gemessen in V pro Kelvin $\rightarrow U/\Delta T$

WL = Wärmeleitwert gemessen in W/K ... $\rightarrow P/\Delta T$

P/U = thermische Energiestromstärke pro Volt Ausgangsspannung gemessen in W/V
berechnet als Quotient aus der Thermokraft TK und dem Wärmeleitwert WL

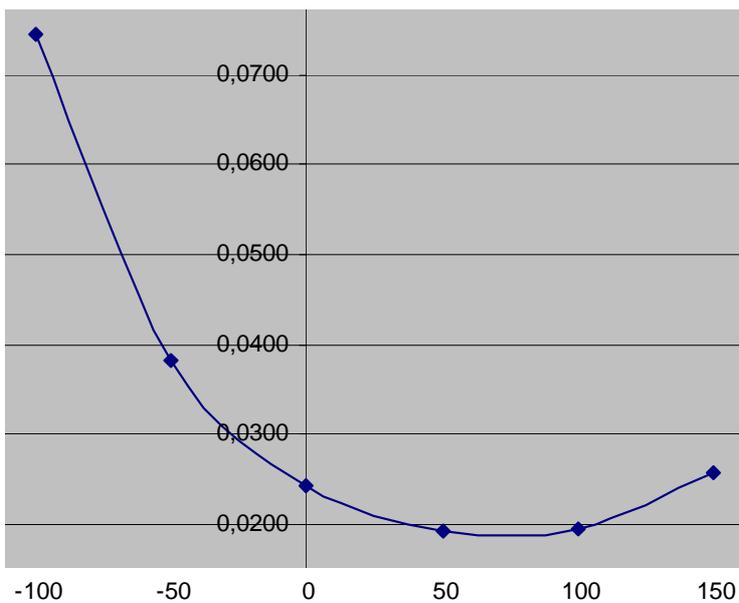
I_S/U = Entropiestromstärke pro Volt Ausgangsspannung ... gemessen in W/K/V oder Ct/V



P/U-T-Diagramm

Trägt man die den Quotient P/U über dem Temperaturverlauf von -100°C bis 150°C auf, ergibt sich die linke Kennlinie. D.h. man kann nicht davon ausgehen, dass das Peltierelement ein Energiestrommessgerät ist, bei dem die Peltier-Spannung U direkt proportional zur Energiestromstärke P ist.

Beschränkt man sich aber auf den Temperaturbereich, der in den Schulexperimenten vorkommt, ergibt sich ein akzeptabler P-Messwert, wenn man davon ausgeht, dass der Quotient P/U in etwa 6,5 W/V ist.



I_S/U -T-Diagramm

Trägt man den Quotient I_S/U (also P/U/T) über dem Temperaturverlauf von -100°C bis 150°C auf, ergibt sich die linke Kennlinie. Dass diese Kennlinie keine direkt Proportionalität zwischen der Entropiestromstärke I_E und der Peltier-Spannung U zeigt, ist sicher nicht verwunderlich.

Erstaunlich ist allerdings, dass die Variation des Quotienten I_E/U im Temperaturbereich, der in Schulexperimenten interessant ist, im Bereich um 0,02 W/V/K oder 0,02 Ct/V beträgt.

Fazit beim Peltier-Element PKE 128 A 0020

Das Peltier-Element ist weder ein „Energiestrommessgerät“ – noch ein „Entropie-Strommessgerät“. Wenn wir die Daten richtig interpretieren, dann gilt:

1. Das Peltier-Element liefert eine **Thermospannung** U, die eine Funktion der Temperaturdifferenz ΔT zwischen der Ober- und Unterseite des Peltier-Elements ist.
Der Quotient $U/\Delta T$ (Thermospannung dividiert durch die zugehörige Temperaturdifferenz) – in der Literatur auch „**Thermokraft**“ genannt - ist allerdings bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen keine Konstante! Trägt man diese „Thermokraft“ $U/\Delta T$ über der Betriebstemperatur T auf, bekommt man eine nicht lineare Kennlinie.
2. Liegt an einem Peltier-Element eine Temperaturdifferenz zwischen der Ober- und Unterseite, dann wirkt diese Temperaturdifferenz als Antrieb für einen thermischen Energiestrom durch das Peltier-Element hindurch. Die Größe dieses thermischen Energiestromes wird über den so genannten

Wärmeleitwert des Peltier-Elements beschrieben. Dieser Wärmeleitwert beschreibt die Energiestromstärke in W pro Kelvin, die durch das Peltier-Element fließt. Will man den spezifischen Wärmeleitwert des Peltier-Elements ermitteln, müsste man den Wärmeleitwert des Peltier-Elements durch die Fläche des Peltier-Elements dividieren.

Dieser Wärmeleitwert ist aber leider eine Funktion der Betriebstemperatur. Trägt man den Wärmeleitwert über der Betriebstemperatur auf, bekommt man eine nicht lineare Kennlinie.

3. Dividiert man nun den Wärmeleitwert des Peltierelements durch die Thermokraft, erhält man bei kleinen Temperaturdifferenzen den Quotienten P/U. Dieser Quotient beschreibt die **thermische Energiestromstärke pro Volt** – die man zwischen den Anschlüssen des Peltier-Elements messen kann. Diese thermische Energiestromstärke pro Volt ist – keiner wird überrascht sein – ebenfalls eine Funktion der Betriebstemperatur!
4. Liegt an einem Peltier-Element eine Temperaturdifferenz zwischen der Ober- und Unterseite, dann wirkt diese Temperaturdifferenz als Antrieb für einen Entropiestrom durch das Peltier-Element hindurch.
 Kennt man den thermischen Energiestrom P und die Betriebstemperatur T, kann man den Entropiestrom über folgende Gleichung abschätzen: $I_E = P/T$... oder wir erhalten eine Entropiestromstärke pro Volt nach folgender Gleichung: $I_E / U = P/U/T$
 Auch diese Entropiestromstärke pro Volt ist – auch hier darf man nicht überrascht sein – ebenfalls eine Funktion der Betriebstemperatur des Peltier-Elements.
5. Das Peltier-Element ist also **weder** ein thermisches Energiestrommessgerät ... **noch** ist es ein Entropiestrommessgerät.
6. Will man ein **Peltierelement als Energiestrommessgerät** einsetzen, dann benötigt man (a) die Betriebstemperatur des Peltier-Elements T, (b) die Thermospannung, die das Peltier-Element liefert und (c) die Daten der P/U-T-Kennlinie (z.B. als Tabelle im Speicher des Messgeräts abgelegt). Aus (a), (b) und (c) kann man dann die thermische Energiestromstärke bestimmen, die durch das Peltier-Element fließt. Erfasst man mit einem Xplorer-GLX die Thermospannung über den U-Sensor und die Betriebstemperatur über einen T-Sensor und gibt die Kennlinien-Daten in einer Tabelle ein, kann man die thermische Energiestromstärke direkt als „berechnete Größe“ in der DataStudio-Software ausgeben.
7. Innerhalb des Temperaturbereiches, der in Schulexperimenten vorkommt (0°C – 100°C) liegt diese thermische Energiestromstärke pro Volt im Bereich um **6,5W/V**. Für Abschätzungen genügt also die Gleichung [A]

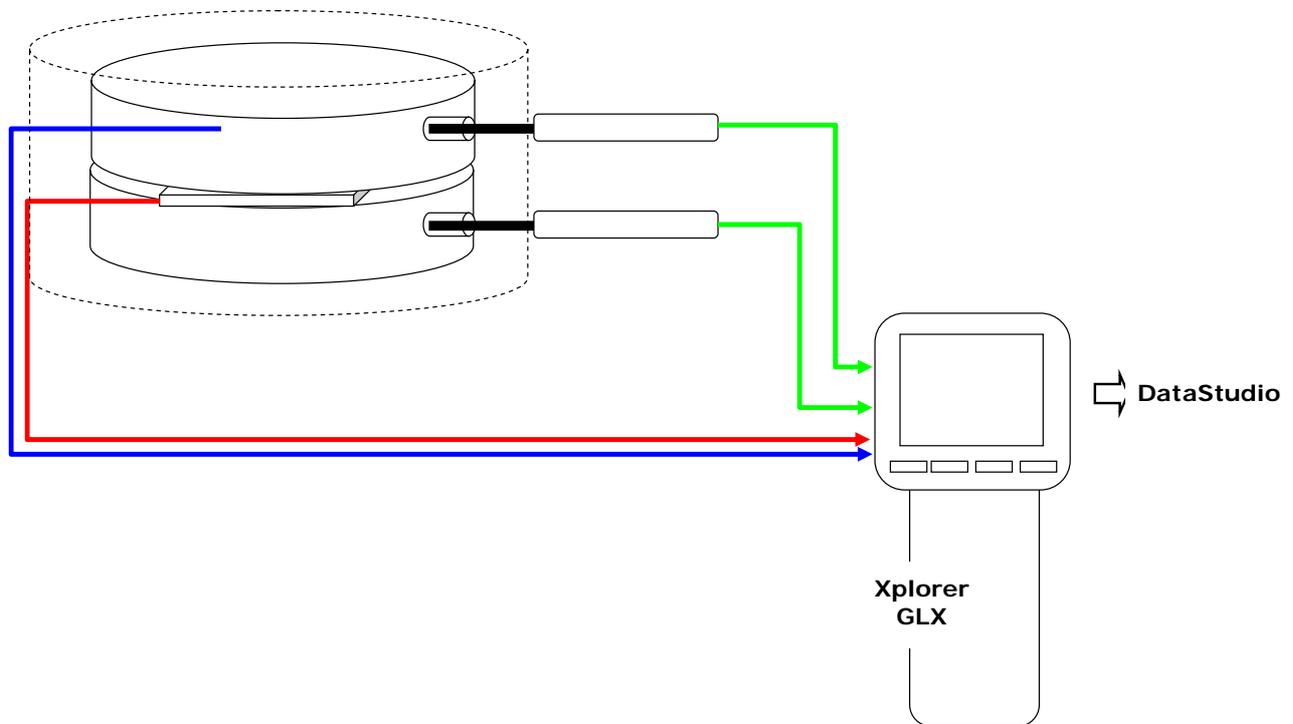
$$P = 6,5 \frac{W}{V} \cdot U \quad [A]$$

8. Will man ein **Peltierelement als Entropiestrommessgerät** einsetzen, dann benötigt man (a) die Betriebstemperatur des Peltier-Elements T, (b) die Thermospannung, die das Peltier-Element liefert und (c) die Daten der I_E/U -T-Kennlinie (z.B. als Tabelle im Speicher des Messgeräts abgelegt). Aus (a), (b) und (c) kann man dann die Entropiestromstärke bestimmen, die durch das Peltier-Element fließt. Erfasst man mit einem Xplorer-GLX die Thermospannung über den U-Sensor und die Betriebstemperatur über einen T-Sensor und gibt die Kennlinien-Daten in einer Tabelle ein, kann man die Entropiestromstärke direkt als „berechneten Größe“ in der DataStudio-Software ausgeben.
9. Innerhalb des Temperaturbereiches, der in Schulexperimenten vorkommt (0°C - 100°C), können wir davon ausgehen, dass diese Entropiestromstärke pro Volt im Bereich um 0,02 W/V/K oder **0,02 Ct/V** liegt. Für Abschätzungen genügt aber wohl die Gleichung [B]

$$I_s = 0,02 \frac{Ct}{V} \cdot U \quad [B]$$

Experiment

Versuchsaufbau



Ein Aluklotz A (Durchmesser 5cm | Masse 103g) ist unten und an den Seiten in Styropor verpackt. Auf der Oberseite liegt das Peltier-Element (d) Abmessung 4cm/4cm. Oben auf dem Peltierelement liegt ein Aluklotz B (Durchmesser 5cm | Masse 110g), der in kochendem Wasser aufgeheizt wird.

In beiden Aluklotzen steckt in einer Bohrung jeweils ein Thermometer, das über einen Xplorer-GLX die Daten an die DataStudio-Software liefert. Messwerte siehe

→ [..\ds-Dateien\Peltierelement-zw Aluklotzen.ds](#)

Nach dem Aufheizen des oberen Aluklotzes, wird er auf das Peltier-Element aufgelegt und das Thermometer in die Bohrung gesteckt.

Beschreibung

Die beiden Thermometer zeigen zunächst die gleiche Temperatur. In dem Moment, da man den heißen Aluklotz auflegt und das Thermometer in diesen Klotz einführt, „springen“ die Temperaturwerte dieses T-Sensors schnell auf die Temperatur des heißen Aluklotzes. Nun kann man am Absinken der „oberen Temperatur“ und am ansteigen der „unteren Temperatur“ sehr schön sehen, dass Entropie (selbstverständlich zusammen mit thermischer Energie) von dem „heißen Aluklotz“ in den „kalten Aluklotz“ fließt. Dieser Entropie- und Energieaustausch führt zu einem Angleichen der beiden Temperaturen. Nach etwas mehr als 1000 Sekunden ab Start des Experiments hat sich in etwa ein thermisches Gleichgewicht eingestellt. Dass die Anordnung nicht perfekt „entropieisoliert“ gegenüber der Umgebung ist, kann man am „gemeinsamen Absinken“ der beiden Temperaturkurven ab ca 1000 Sekunden sehr schön sehen.

Gleichzeitig kann man sehr schön beobachten, dass die Thermospannung eine Funktion der Temperaturdifferenz ist – je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen dem oberen und unteren Aluklotz (Ober- und Unterseite des Peltier-Elements) wird, desto kleiner ist die Thermospannung, die das Peltier-Element liefert.

Auswertung

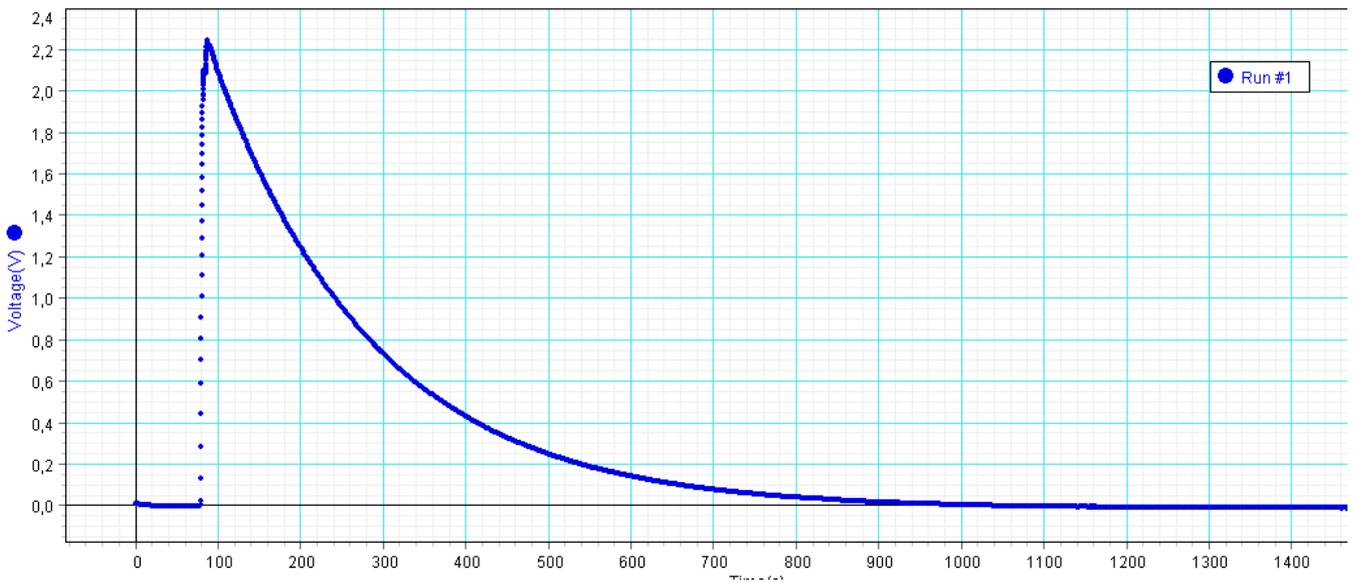
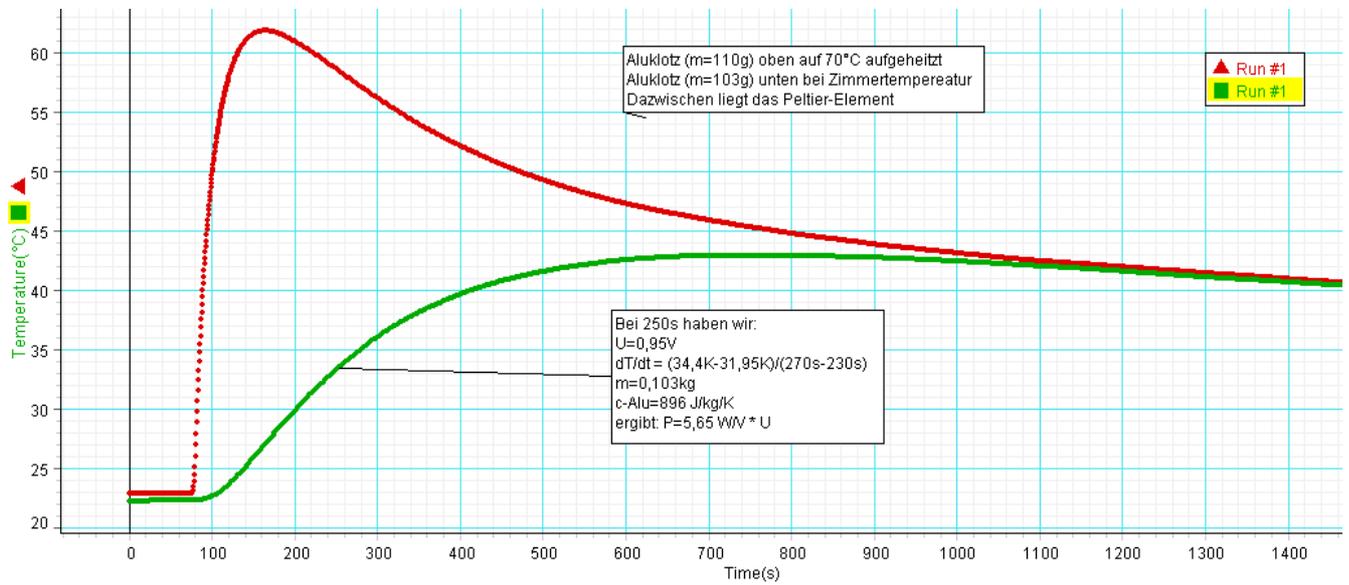
Die spezifische Wärme von Aluminium beträgt 896 J/kg/K. Zum Mess-Zeitpunkt $t = 250\text{s}$ liegt eine Peltier-Spannung von 0,95V an. Die Temperatur-Änderung pro Sekunde beträgt in der „Umgebung“ diesem Messzeitpunkts $\Delta T/\Delta t = (34,4^\circ\text{C} - 31,95^\circ\text{C})/(270 - 230)$.

Damit bekommen wir folgende Gleichung $P/U = c \cdot m \cdot (\Delta T/\Delta t) / U \dots \rightarrow 5,65 \text{ W/V}$

Wenn man bedenkt,

- dass die Anordnung mit Sicherheit thermische Verluste in die Umgebung hat
- dass das Peltier-Element und der Aluklotz nicht deckungsgleich sind
- dass der Aluklotz und das Thermometer keinen optimalen Wärmeschluss haben

... ist die Übereinstimmung mit den Daten der Herstellerfirma erfreulich gut.



Anhang

Datenblatt - Conrad-Electronic

Von der Firma Conrad-Electronic werden verschiedene Peltier-Elemente mit unterschiedlichen Daten geliefert:

	Kühl- Leistung	ΔT max	U max	I max	Widerst	Thermokr	Leitw.	Abm. in mm	Gew.
(a) TEC1-12714 N= 127 n/p-Paare	123,5W	?	15,4V	14A	?	?	?	50x50x3,9	42g
(b) RO8.0-72 N= 127 n/p-Paare	72W	68K	15,4V	8,0A	?	?	?	50x50x5,1	
(c) RO3.9-33.4 N= 127 n/p-Paare	33,4W	70K	15,4V	3.9A	?	?	?	40x40x4,7	

Leider sind die Datenangaben nicht vollständig.

Datenblatt - Opitec-Element PKE 128 A 0020

Datenblatt aus dem Internet: http://www.peltier.de/peltierelemente_standard.htm

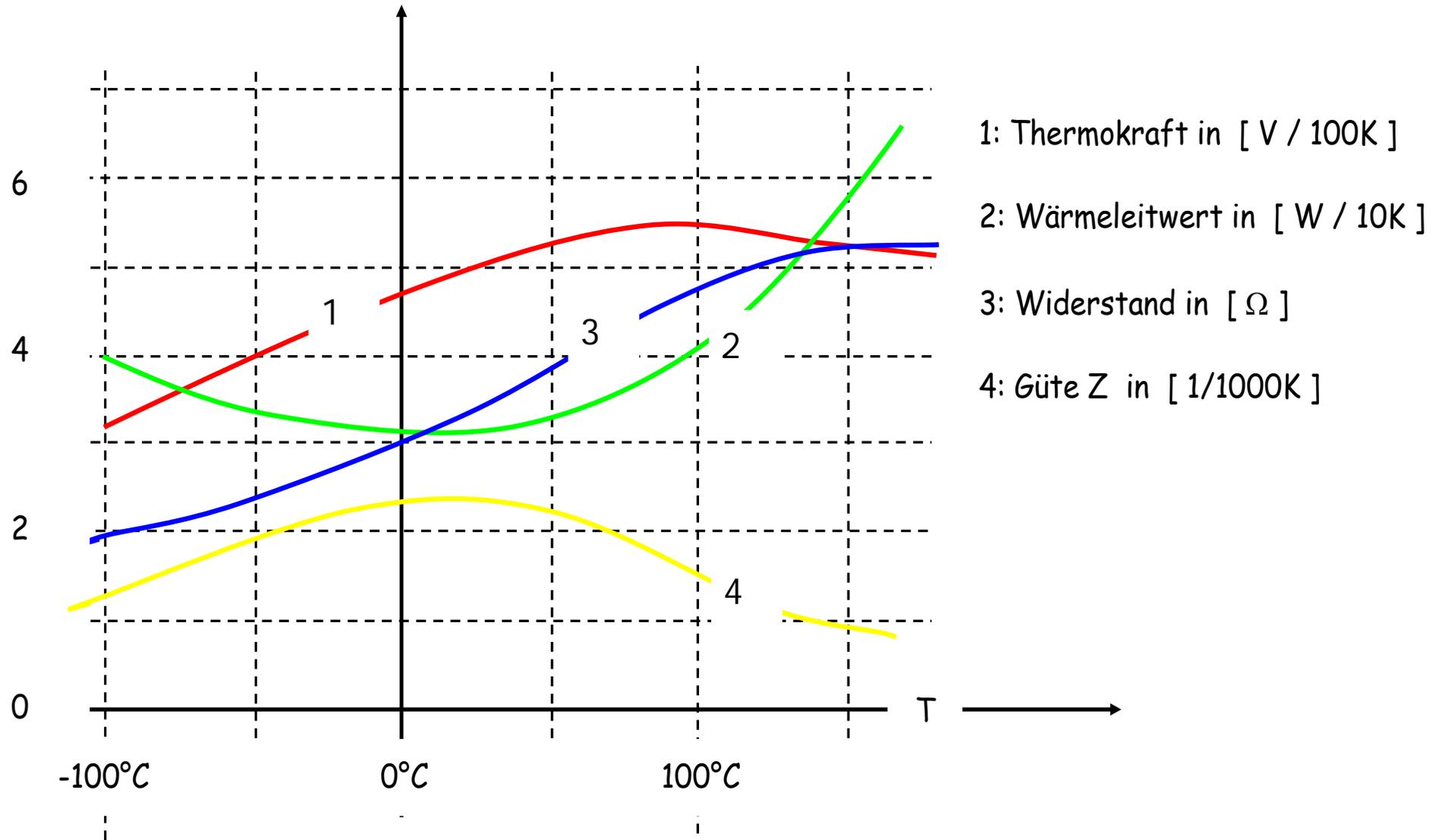
N= 127 n/p-Paare | Betriebstemperatur bis 70°C

	Kühl- Leistung	ΔT max	U max	I max	Widerst	TKr	WL	Abm. in mm	Gew.
(d) PKE 128 A 0020	31W	67K	15V	3,5A	3,5 Ω	49 mV/K	250 mW/K	40x40x4,7	25g

TK = Thermokraft

WL = Wärmeleitwert

Kennlinie PKE 128 A 0020



Thermoelektrische Daten von **PKE 128 A 0020**

Datenblatt Thermokraft - Wärmeleitwert

Besteht zwischen den beiden Flächen des Peltier-Elements eine Temperaturdifferenz ΔT , wirkt das Peltier-Element als elektrische Energiequelle und liefert zwischen seinen elektrischen Anschlüssen eine Potenzialdifferenz $\Delta\phi$ ($=U$).

Unter der so genannten **Thermokraft TK** versteht man die Potenzialdifferenz pro Temperatureinheit – also $T_K = \Delta\phi / \Delta T$.

Aus dem Alltag wissen wir, dass z.B. im Winter die Temperaturdifferenz zwischen dem warmen Innenbereich eines Hauses und der kalten Umgebung als Antrieb für einen Entropiestrom aus dem Inneren des Hauses in die Umgebung wirkt. Gleichzeitig fließt zusammen mit dem Entropiestrom auch ein thermischer Energiestrom in die Umgebung. Unter dem spezifischen **Wärmeleitwert W** der Hauswand versteht man die Energie, die pro Zeiteinheit, pro Temperatureinheit und Flächeneinheit durch diese Hauswand geht.

Völlig analog wirkt die Temperaturdifferenz ΔT zwischen der wärmeren und kälteren Seite des Peltier-Elements als Antrieb für einen thermischen Energiestrom durch das Peltier-Element hindurch.

Unter dem Wärmeleitwert des Peltier-Elements versteht man die thermische Energie, die pro Zeiteinheit und pro Temperatureinheit durch das Peltierelement hindurchfließt. Der spezifische Wärmeleitwert des Peltier-Elements ergibt sich als Produkt aus der Fläche und dem Wärmeleitwert des Peltier-Elements.

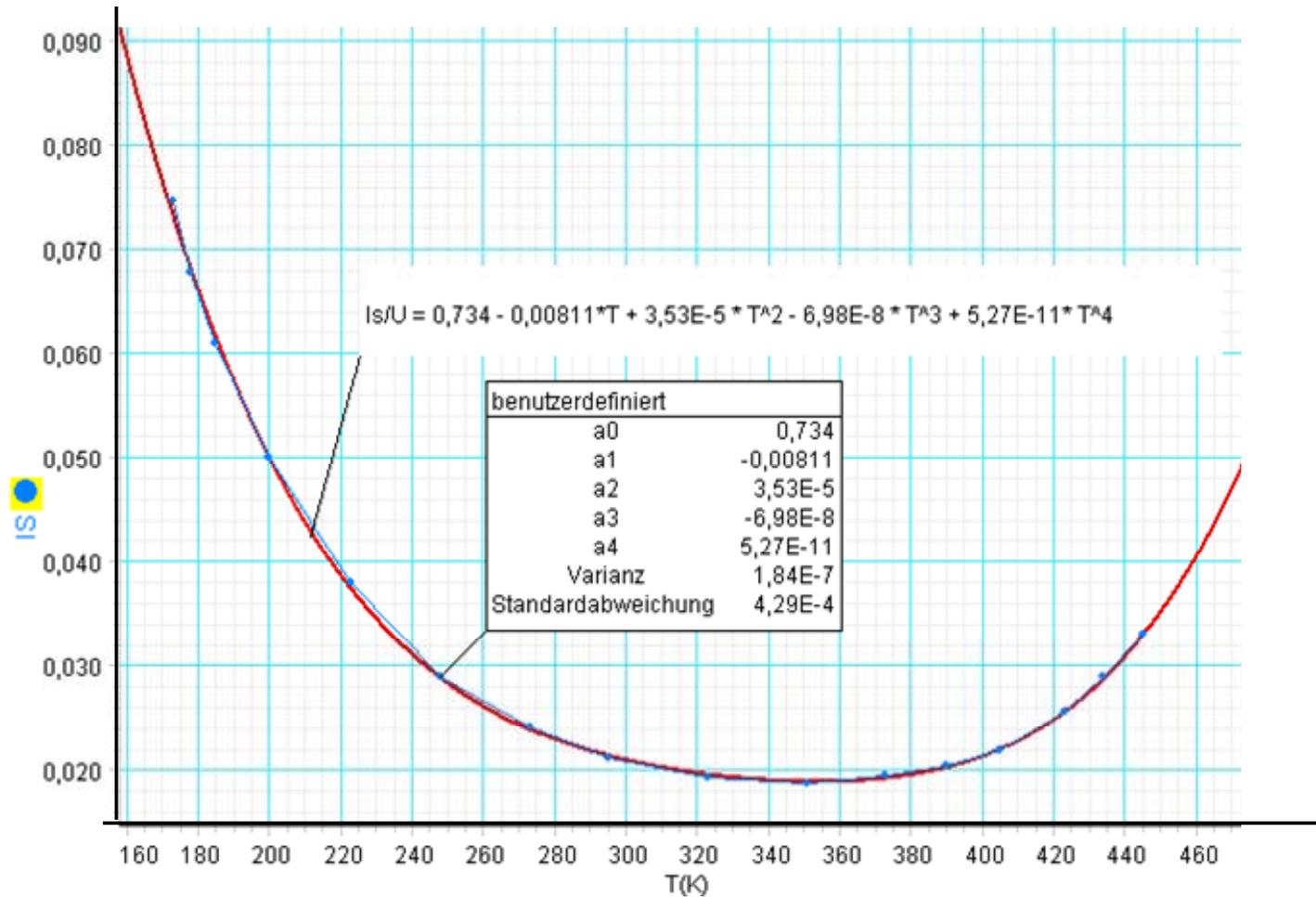
Sowohl die Thermokraft als auch der Wärmeleitwert des Peltier-Elements ist eine Funktion der Betriebstemperatur des Elements – wie man an der folgenden Tabelle sieht.

T	T	TK	WL
-107 °C	166 K	0,029 V/K	0,40 W/K
-95 °C	178 K	0,032 V/K	0,39 W/K
-88 °C	185 K	0,034 V/K	0,38 W/K
-73 °C	200 K	0,036 V/K	0,36 W/K
-56 °C	217 K	0,04 V/K	0,34 W/K
-25 °C	248 K	0,044 V/K	0,31 W/K
0 °C	273 K	0,047 V/K	0,31 W/K
22 °C	295 K	0,05 V/K	0,31 W/K
50 °C	323 K	0,053 V/K	0,33 W/K
78 °C	351 K	0,055 V/K	0,36 W/K
100 °C	373 K	0,055 V/K	0,40 W/K
117 °C	390 K	0,055 V/K	0,44 W/K
132 °C	405 K	0,054 V/K	0,48 W/K
150 °C	423 K	0,053 V/K	0,58 W/K
161 °C	434 K	0,051 V/K	0,64 W/K
172 °C	445 K	0,046 V/K	0,68 W/K

Entropiestromstärke pro Volt



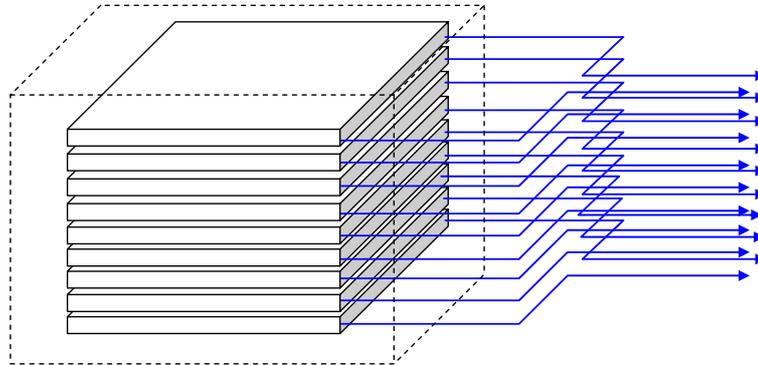
I_s / U in Ct/s/V



$$\frac{I_s}{U} = 0,734 - 0,00811T + 3,53 \cdot 10^{-5} T^2 - 6,98 \cdot 10^{-8} T^3 + 5,27 \cdot 10^{-11} T^4$$

Serienschaltung von Peltier-Elementen

Eine interessante Versuchsidee wäre die Hintereinanderschaltung von mehreren Peltier-Elementen. Nachdem der Preis für Peltier-Elemente unter 10€ gesunken ist, könnte man diese Schaltung eventuell realisieren.



Mit folgenden Fragen – bzw. Vorhersagen:

- Kann man diese Anordnung hinreichend gut gegenüber der Außenwelt thermisch isolieren? Wie kann man das nachprüfen
- Wird sich in dieser Anordnung eine „konstante Energiestromstärke“ längs der Serienschaltung der Peltier-Elemente einstellen? Müsste man dann nicht an jedem Peltier-Element die gleiche Temperaturdifferenz feststellen können? Müsste man dann nicht an jedem Peltier-Element die gleiche Peltier-Spannung messen.
- Unter der Voraussetzung, dass sich eine „konstante Energiestromstärke“ längs der Serienschaltung einstellt (Voraussetzung ist eine ideale thermische Isolierung ... z.B. vernachlässigbar kleine Verluste über die seitlichen Peltier-Fläche ... z.B. vernachlässigbare thermische Verluste über die Anschlusskabel ...), müsste man bei sinkender Betriebstemperatur längs der Peltier-Säule eine Zunahme der Entropiestromstärke längs der Peltier-Säule erwarten. Wie kann man diese Zunahme erklären?