

Leistungsverhalten von Peltier-Elementen

www.quick-cool-bibliothek.de





Leistungsverhalten

Die genaue **Kenntnis des Leistungsverhaltens** von Peltier-Elementen und deren gezielte Ausnutzung ist für grenzwertige Kühlaufgaben von **erfolgsentscheidender** Bedeutung.

Als grenzwertig sind Kühlaufgaben dann zu bezeichnen, wenn **restriktive Bedingungen** bei der zwingend erforderlichen **Wärmeabfuhr** bestehen. Dies ist z. B. bei **mangelndem Platz für** entsprechend große Kühlkörper oder **ungünstigen Temperaturverhältnissen** gegeben. Auch **wenig Strom** zur Versorgung der Peltierelemente macht die Aufgabe schwierig. Hierbei kann es erforderlich sein, die benötigte Kühlleistung mit **minimalem Stromeinsatz** aufzubringen.

Das gleich gilt, wenn mit mehreren Stufen große Temperaturunterschiede überbrückt werden müssen.

Der folgende Beitrag geht darauf ein, wie dieses zu erreichen ist. Hierzu werden die Hintergründe geschildert und praktische Schlußfolgerungen gezogen ein.



PELTIER-Elemente

• Kälte aus Strom

Leistungsverhalten

Die Fähigkeit von Peltier-Elementen, Wärme zu transportieren, hängt von folgenden Parametern ab:

Moduleigenschaften

- Thermokraft **Se** (auch Seebeckkoeffizient genannt) in Volt/Kelvin
- Elektrischer Widerstand **R** in Ohm
- Wärmeleitwert **K** in Watt/Kelvin

Prozesseigenschaften

- Temperatur **T** in Kelvin (**T**: die Temperatur im Peltierelement)
- Temperaturdifferenz **dT** in Kelvin (**dT**: die Temperaturdifferenz zwischen warmer und kalter Seite des Peltierelementes)
- Stromstärke **I** in Ampere (Stromstärke, mit der das Peltierelement betrieben wird)

Mit diesen Größen läßt sich das Leistungsverhalten der Peltier-Elemente nach folgender Formel beschreiben:

$$Q_k = (S_e * I * T) - (R * I^2) / 2 - (K * dT)$$

wobei Q_k die transportierte Wärmeleistung in Watt bedeutet (cooling capacity)

PELTIER-Elemente

- Kälte aus Strom
- Strom aus Wärme

Leistungsverhalten

Q_k = transportierte Wärmeleistung
(Kälteleistung des Peltierelementes)



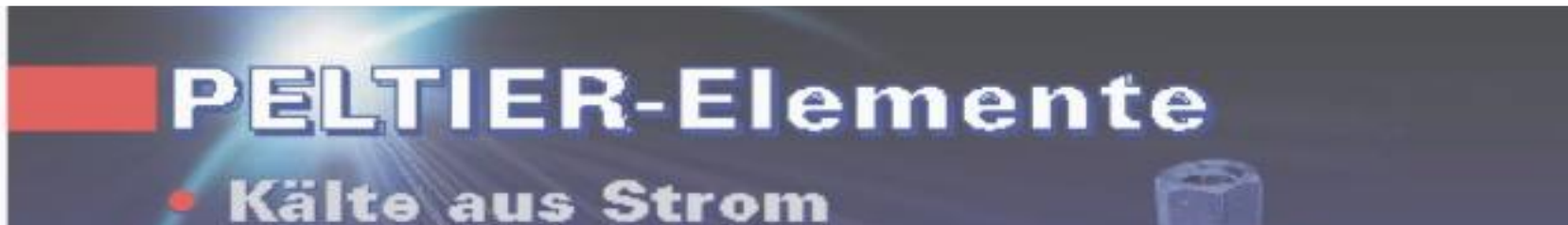
Peltier-Element

Q_{ab} = abzuführende Wärmeleistung



P_{el} = el. Leistung ($U \cdot I$)
(Gleichstrom)





Leistungsverhalten

$$Q_k = (S_e \cdot I \cdot T) - (R \cdot I^2) / 2 - (K \cdot dT)$$

Aus der Betrachtung der Formel lassen sich folgende Sätze formulieren:

1. Der erste Klammerausdruck der Formel liefert einen positiven Beitrag, der zweite und der dritte jeweils einen negativen Beitrag zur transportierten Wärme.
2. Der negative Beitrag des zweiten Klammerausdrucks ist proportional zum Quadrat der Stromstärke. Es handelt sich hierbei um die Ohm'schen Verluste im Peltierelement
3. Der negative Beitrag des dritten Klammerausdrucks ist proportional zur Temperaturdifferenz, die sich am Peltierelement einstellt und entfällt bei $dT = 0$. Es handelt sich um die Wärme, die aufgrund der Temperaturdifferenz im Peltierelement von der warmen zur kalten Seite zurückfließt.

Die mathematische Beschreibung ist aber nur für den Sonderfall $dT = 0$ in Form der angegebenen Gleichung zu beschreiben. Andernfalls muß die Temperaturabhängigkeit von Thermokraft, elektrischem Widerstand und Wärmeleitwert des Peltier-Elementes berücksichtigt werden. (siehe Bild 1)



Leistungsverhalten

Materialwerte als Funktion der Temperatur
Peltier-Element aus Wismut/Tellur

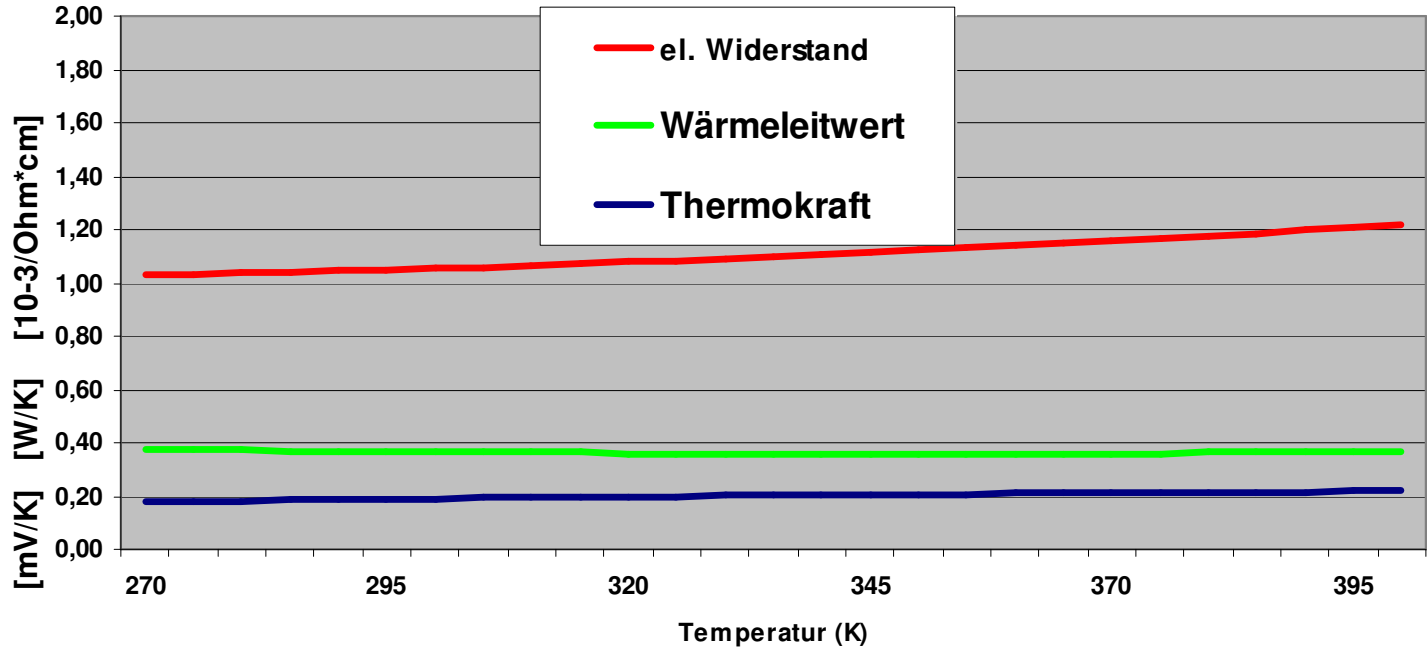


Bild 1: Temperaturabhängigkeit der Materialparameter



Leistungsverhalten

Mathematische Beschreibung bei $dT \neq 0$:

Die Temperaturabhängigkeit der Materialparameter kann mit einem Polynom 4 Grades hinreichend genau beschrieben werden. Dieser hat für alle drei Fälle die Form:

$$P = a \cdot T + b \cdot T^2/2 + c \cdot T^3/3 + d \cdot T^4/4$$

Dadurch wird S_e in $S_m(T)$, R in $R_m(T)$ und K in $K_m(T)$ umgeformt

In der Literatur sind die Koeffizienten für einzelne Peltier-Elemente beschrieben. Für diese Elemente läßt sich unter Nutzung der beschriebenen Ausdrücke ein Kennfeld für dieses betreffende Element ermitteln und grafisch darstellen. (siehe Bild 2)





Leistungsverhalten

Die Formeln zur Berechnung der einzelnen Parameter am Beispiel eines Peltier-Elementes mit 71 Thermopaaren und einer maximalen Stromaufnahme von 6 Ampere lauten wie folgt:

Thermokraft : $S_m(T)=(S_w+S_k)/dT$

$$S_w=1,33450 \cdot 10^{-2} \cdot T_w - 5,37574 \cdot 10^{-5} \cdot T_w^2/2 + 7,42731 \cdot 10^{-7} \cdot T_w^3/3 - 1,27141 \cdot 10^{-9} \cdot T_w^4/4$$

$$S_k=1,33450 \cdot 10^{-2} \cdot T_k - 5,37574 \cdot 10^{-5} \cdot T_k^2/2 + 7,42731 \cdot 10^{-7} \cdot T_k^3/3 - 1,27141 \cdot 10^{-9} \cdot T_k^4/4$$

Elektrische Leitfähigkeit: $R_m(T)=(R_w-R_k)/dT$

$$R_w=2,08317 \cdot T_w - 1,98763 \cdot 10^{-2} \cdot T_w^2/2 + 8,53832 \cdot 10^{-5} \cdot T_w^3/3 + 9,03143 \cdot 10^{-8} \cdot T_w^4/4$$

$$R_k=2,08317 \cdot T_k - 1,98763 \cdot 10^{-2} \cdot T_k^2/2 + 8,53832 \cdot 10^{-5} \cdot T_k^3/3 + 9,03143 \cdot 10^{-8} \cdot T_k^4/4$$

Wärmeleitfähigkeit: $K_m(T)=(K_w-K_k)/dT$

$$K_w=0,476218 \cdot T_w - 3,89821 \cdot 10^{-6} \cdot T_w^2/2 - 8,64864 \cdot 10^{-6} \cdot T_w^3/3 + 2,20869 \cdot 10^{-8} \cdot T_w^4/4$$

$$K_k=0,476218 \cdot T_k - 3,89821 \cdot 10^{-6} \cdot T_k^2/2 - 8,64864 \cdot 10^{-6} \cdot T_k^3/3 + 2,20869 \cdot 10^{-8} \cdot T_k^4/4$$



PELTIER-Elemente

• Kälte aus Strom

Grundlegende Formeln zur Berechnung der Leistungsparameter :

Kühlleistung $Q_{k \text{ in Watt}}$: $Q_k = (S_e * I * T_k) - (R_i * I^2) / 2 - (K * dT)$

Eingangsspannung $U_{i \text{ in Volt}}$: $U_i = (S_e * dT) + (R_i * I)$

Elektrische Leistung $Q_{el \text{ in Watt}}$: $Q_{el} = U_i * I$

Wärmeleistung $Q_w \text{ in Watt}$: $Q_w = Q_k + Q_{el}$

Kühlleistungszahl E_k oder COP (coefficient of performance) : $E_k = Q_k / Q_{el}$

Wärmeleistungszahl E_w : $E_w = Q_w / Q_{el}$

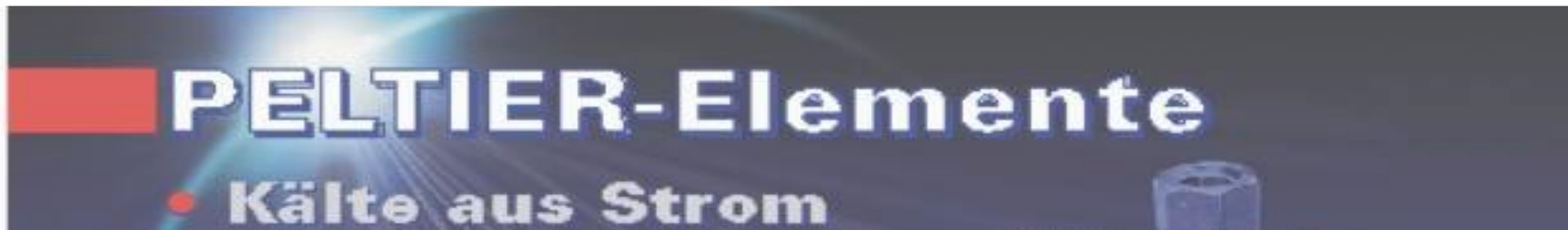
maximale Kühlleistung $Q_{kmax \text{ in Watt}}$: $Q_{kmax} = (S * T_k)^2 / 2R_i$

Strom bei maximaler Kühlleistung I_o : $I_o = S * T_k / R_i$

Strom bei maximaler Kühlleistungszahl I_{opt} : $I_{opt} = S * dT / R_i(Z_f - 1)$

Güteziffer Z : $Z = S^2 * (R_i * K)$

maximale Kühlleistungszahl E_{kmax} : $E_{kmax} = T_k / dT * (Z_f - T_w / T_k) / (Z_f + 1)$



Leistungsverhalten

Die Bedeutung des Kennlinienfeldes für die Auslegung von **grenzwertigen** Kühlaufgaben wird aus der Interpretation der Grafik deutlich.

In diesen Fällen ist es das Ziel, ein maximal günstiges Verhältnis von transportierter Wärmemenge zu aufgewendeter Elektroenergie zu erreichen. Dieses wird durch das Kürzel COP (coefficient of performance) beschrieben. Aus Bild 2 wird deutlich, daß der COP-Wert bei kleinen Stromstärken und geringen Temperaturdifferenzen besonders günstig (hoch) wird.

Dieser Aspekt ist um so wichtiger, als die Wärmeabfuhr des Peltier-Elementes in den beschriebenen Fällen häufig nicht nur die Temperatur auf der kalten Seite, sondern auch auf der warmen Seite beeinflusst.

Peltier-Elemente beeinflussen die Umgebungstemperaturen und werden von ihnen beeinflusst. Sie agieren und reagieren gleichzeitig.



PELTIER-Elemente

• Kälte aus Strom

Leistungsverhalten

COP von PE71 couples; 6 Ampere
Tkalt = 300 K

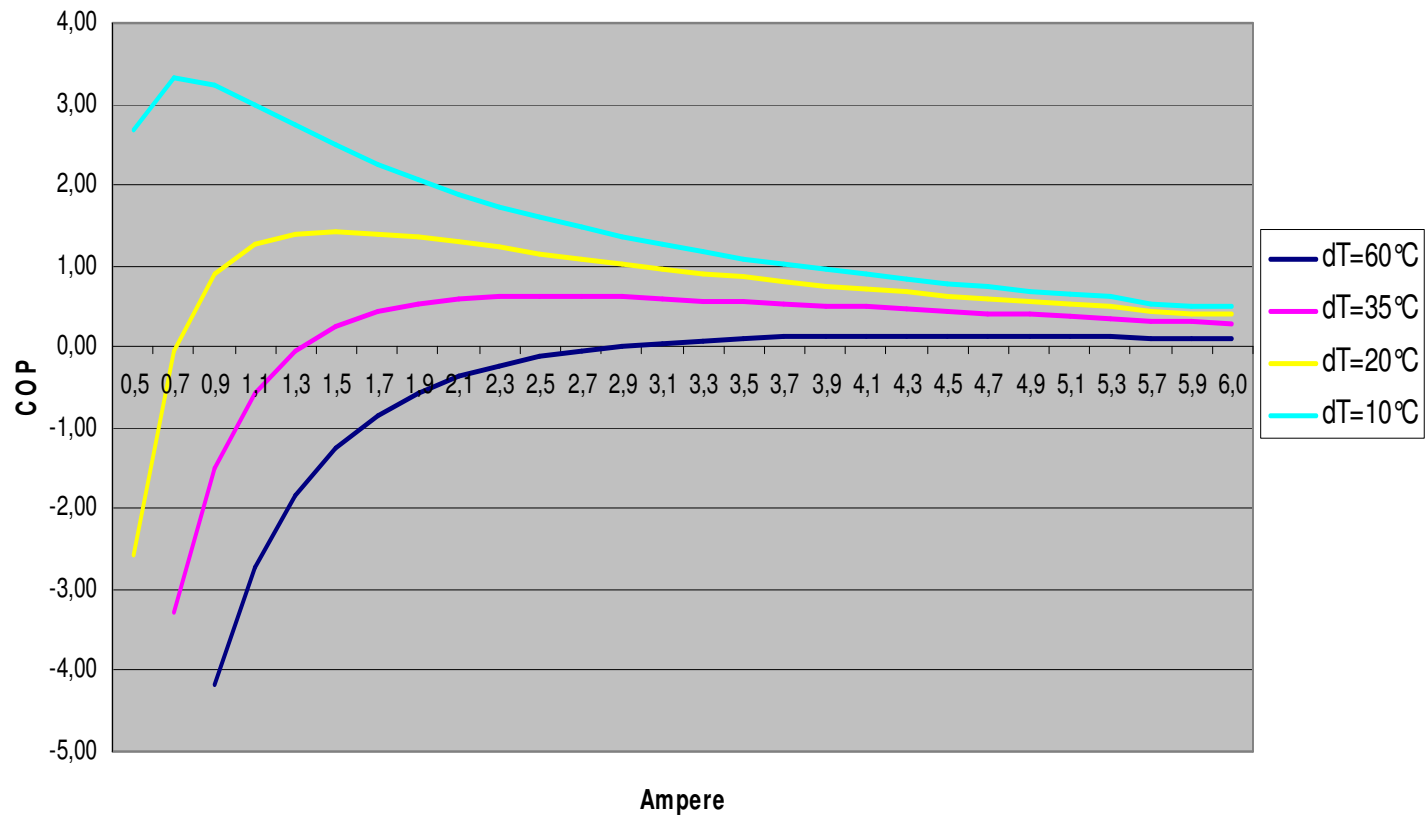


Bild 2: COP (coefficient of performance) in Abhängigkeit der Stromstärke; $COP = Q_c / U \cdot I$



Leistungsverhalten

Bei geringen Stromstärken verringert sich die transportierbare Wärmemenge entsprechend der Grafik in Bild 3. Das Fazit läßt sich in den beschriebenen kritischen Fällen in folgende Leitsätze kleiden:

Bei kleinen Temperaturdifferenzen (unter 20 °C):

Die mit Peltier-Elementen zu installierende Kühlleistung ist mit dem Faktortor 5 – 6 zu überdimensionieren, um diese mit ca. 10 – 20 % der maximalen Stromstärke zu betreiben.

Bei großen Temperaturdifferenzen (über 45 °C):

Die mit Peltier-Elementen zu installierende Kühlleistung ist maximal mit dem Faktor 1,2 – 1,5 zu überdimensionieren, um diese mit ca. 65 – 80 % der maximalen Stromstärke zu betreiben.

Sinnvoll ist die gezielte Regelung in den optimalen Bereich, um ein Abkippen des gesamten Systems zu verhindern.

Eine regelungstechnisch gut beherrschbare Betriebsweise ist links vom Punkt des optimalen COP (weniger Stromstärke als $I_{opt}(T)$).



PELTIER-Elemente

• Kälte aus Strom

Leistungsverhalten

Leistung von PE71 couples; 6 Ampere
 $T_{\text{kalt}} = 300 \text{ K}$

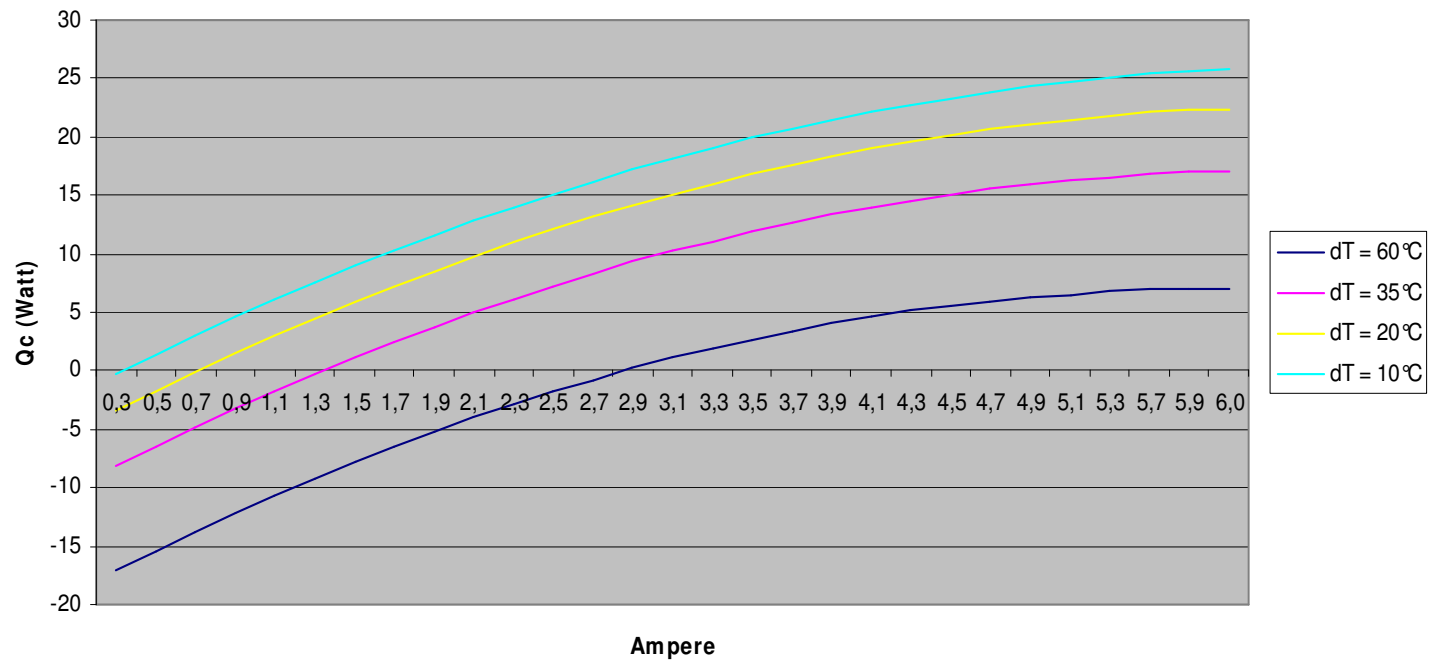


Bild 3: Leistung eines Peltier-Elementes in Abhängigkeit von Stromstärke und Temperaturdifferenz