

624b ... in Ergänzung zu 624 Peltier-Element

In meinen Klassen habe ich immer wieder „hochbegabte Hochleister“. Wenn ich der Klasse die Teamarbeit Nr. 624 gebe – dann könnte man diese „hH“ durch die folgende Teamarbeit herausfordern. Das erhöhte Anspruchsniveau besteht darin, dass sie nun sowohl auf der E-Lehre-Seite als auch auf der Wärmelehreseite das „gleiche Element“ – also das Peltier-Element – haben. Einmal als „elektrische Energiesenke“ – im anderen Fall als „thermische Energiesenke“ ... das ist schon eine Herausforderung.

Zudem gehe ich davon aus, dass ich bei dieser Teamarbeit das Peltier-Element als Experiment zur Verfügung stelle und diese Teams diese „Doppelfunktion“ vor allem direkt im Experiment selbst erleben.

Arbeitsauftrag

Betrachten Sie folgende zwei analoge Fälle ... und formulieren Sie diese Analogie aus:

	Elektrizitäts-Lehre	Wärme-Lehre
[01]	Wir verwenden im Experiment eine elektrische Energiequelle (Batterie; Gleichspannung) und eine elektrische Energiesenke (Peltier-Element).	Wir befinden uns Weltraum. Die vorhandene thermische Energiequelle ist das Innere des Raumschiffes – das sich auf Zimmertemperatur befindet. Genauer betrachten wir ein Peltier-Element, das mit der Innenseite im Inneren des Raumschiffes auf Zimmertemperatur liegt und mit Außenseite im Weltall sitzt. Wir vernachlässigen die Hintergrundstrahlung und jede andere Strahlung und gehen davon aus, dass die Raumschiffaußenseite auf dem absoluten Nullpunkt liegt.
[02]	Die elektrische Energiequelle liefert eine Potentialdifferenz (Gleichspannung) von $\Delta\varphi$.	
[03]	Im E-Stromkreis fließt dann in der Zeit t die elektrische Ladung Q durch den das Peltiere-Element. ⁽¹⁾ ... natürlich kann man hier auch ΔQ sagen ...	
[04]	Die elektrische Stromstärke beträgt dann $I_E = \frac{Q}{t}$	
[05]	Das elektrische Potenzial φ ist die „intensive Größe“ in der E-Lehre ... das elektrische Potenzial φ - genauer die Potentialdifferenz - liefert unter Umständen den Antrieb für einen elektrischen Strom I_E	
[06]	Wir müssen aber beachten, dass Potenzialangaben φ nur sinnvoll sind, wenn man vorher den Potentialnullpunkt φ_0 festlegt.	... wie steht es bei der Temperatur?
[07]	Der Antrieb für diesen elektrischen Strom I_E ist die Potentialdifferenz $\Delta\varphi$ zwischen den beiden Enden der elektrischen Energiequelle. Das Δ bedeutet hierbei $\Delta\varphi = \varphi_{\text{Pluspol}} - \varphi_{\text{Minuspol}}$; diese Potentialdifferenz in diesem Sinne wird auch „elektrische Spannung“ U bezeichnet.	

¹ An einigen Stellen wird hier absichtlich auf das Δ verzichtet ... denn dieses Zeichen kann an verschiedenen Stellen von den Autoren unterschiedlich gedeutet werden ... so z.B. als Differenz zwischen zwei Größen ... oder im Sinne einer „Portion“ ... oder im Sinne einer „kleinen Menge“ ... oder als didaktische Reduktion des „Differenzialzeichens“ d ... Damit hier keine „Verwirrung“ auftritt, wird auf das Δ verzichtet und die notwendige Information „verbal“ ausgeschrieben. WENN das Δ verwendet wird, dann soll es explizit vorher erklärt – bzw. definiert – werden ...

[08]	<p>Wenn wir den Potenzialnullpunkt ($\varphi_0=0V$) in den Minuspol der elektrischen Energiequelle legen, dann gilt:</p> <p>$\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$ und damit $\Delta\varphi = \varphi$ und wir können – bei dieser φ_0-Definition das Δ-Symbol weglassen.</p>	
[09]	<p>Zusammen mit der elektrischen Ladung fließt elektrische Energie von der elektrischen Energiequelle (Batterie) zur elektrischen Energiesenke (Peltier-Element)</p> <p>Dieser E-Energiestrom hat keinen „Antrieb“ ... er fließt zusammen mit der elektrischen Ladung – ABER bitte beachten: Auf einem anderen Weg – und mit einer anderen Geschwindigkeit.</p>	
[10]	<p>Wenn in der Zeit t die Ladung Q durch das Peltier-Element fließt, dann fließt über das E-M-Feld von der Energiequelle zur Energiesenke die Energie:</p> <p>$E = \Delta\varphi \cdot Q$... oder mit φ_0-Def: $E = \varphi \cdot Q$</p> <p>... oder man schreibt für die Ladung, die in der Zeit Δt durch das Peltier-Element fließt ΔQ und für die Energie ΔE, dann gilt:</p> $\Delta E = \varphi \cdot \Delta Q$	
[11]	<p>Für die elektrische Energiestromstärke (elektrische Leistung) P gilt dann:</p> $P = \Delta\varphi \cdot \frac{Q}{t}$ <p>oder mit der obigen φ_0-Definition haben wir:</p> $P = \varphi \cdot I_E$	
[12]	<p>Die elektrische Ladung, die durch das Peltier-Element fließt, fließt am roten Kabel in das Peltier-Element hinein und kommt am blauen Kabel wieder aus dem Peltier-Element heraus. Es verbleibt keine elektrische Ladung im Kabel!</p>	
[13]	<p>Die elektrische Ladung fließt also vom Pluspol zurück zum Minuspol. Die elektrische Energie fließt auf einem ganz anderen Weg – mit einer anderen Geschwindigkeit – und verlässt den Stromkreis als thermische Energie in die Umgebung.</p>	
[14]	<p>Überlegung zur Grenzen der Analogie: Die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße ...</p>	... wie steht es bei der Entropie?
[15]	<p>Wenn man das Peltier-Element (linker Fall) als elektrische Energiesenke (und damit als thermische Energiequelle) nutzt, dann wird die elektrische Energie vollständig – zu 100% - in thermische Energie umgewandelt, die in die Umgebung fließt ...</p> <p>Dass man die elektrische Ladung nicht weglässt, steht in der Physik-Welt außer Frage ... es käme wahrscheinlich kein Mensch auf die Idee einen Bildungsplan zu schreiben, in dem die elektrische Ladung und der elektrische Strom keine Rolle spielt.</p> <p>Dass die elektrische Ladung und die elektrische Energie aber auf unterschiedlichem Wege von der elektrischen Energiequelle zur elektrischen Energiesenke kommt ... hat sich aber noch nicht überall herumgesprochen ☺</p>	

Lösungshinweis:

	Elektrizitäts-Lehre	Wärme-Lehre
[01]	Wir verwenden im Experiment eine elektrische Energiequelle (Batterie; Gleichspannung) und eine elektrische Energiesenke (Peltier-Element).	Wir befinden uns Weltraum. Die vorhandene thermische Energiequelle ist das Innere des Raumschiffes – das sich auf Zimmertemperatur befindet. Genauer betrachten wir ein Peltier-Element, das mit der Innenseite im Inneren des Raumschiffes auf Zimmertemperatur liegt und mit Außenseite im Weltall sitzt. Wir vernachlässigen die Hintergrundstrahlung und jede andere Strahlung und gehen davon aus, dass die Raumschiffaußenseite auf dem absoluten Nullpunkt liegt.
[02]	Die elektrische Energiequelle liefert eine Potentialdifferenz (Gleichspannung) von $\Delta\varphi$.	Die thermische Energiequelle liefert eine Temperaturdifferenz von ΔT – Zimmertemperatur im Inneren – absolute Temperatur im Weltall.
[03]	Im E-Stromkreis fließt dann in der Zeit t die elektrische Ladung Q durch den das Peltiere-Element. ⁽²⁾ ... natürlich kann man hier auch ΔQ sagen ...	Im W-Stromkreis fließt dann in der Zeit t die Entropie S durch das Peltiere-Element ... natürlich kann man hier auch ΔS sagen ...
[04]	Die elektrische Stromstärke beträgt dann $I_E = \frac{Q}{t}$	Die Entropie-Stromstärke beträgt dann $I_S = \frac{S}{t}$
[05]	Das elektrische Potenzial φ ist die „intensive Größe“ in der E-Lehre ... das elektrische Potenzial φ - genauer die Potentialdifferenz - liefert unter Umständen den Antrieb für einen elektrischen Strom I_E	Die Temperatur T ist die „intensive Größe“ in der W-Lehre ... die Temperatur – genauer Temperaturdifferenz liefert unter Umständen den Antrieb für einen Entropie-Strom I_S
[06]	Wir müssen aber beachten, dass Potenzialangaben φ nur sinnvoll sind, wenn man vorher den Potenzialnullpunkt φ_0 festlegt.	In der W-Lehre gibt es keinen willkürlichen Temperaturnullpunkt, den man beliebig wählen kann. Der Temperaturnullpunkt – die „Absolute Temperatur“ Null Kelvin ist von Natur aus festgelegt.
[07]	Der Antrieb für diesen elektrischen Strom I_E ist die Potentialdifferenz $\Delta\varphi$ zwischen den beiden Enden der elektrischen Energiequelle. Das Δ bedeutet hierbei $\Delta\varphi = \varphi_{\text{Pluspol}} - \varphi_{\text{Minuspol}}$; diese Potentialdifferenz in diesem Sinne wird auch „elektrische Spannung“ U bezeichnet.	Der Antrieb für diesen Entropie-Strom I_S ist die Temperaturdifferenz ΔT zwischen der Innen- und Außenseite des Peltier-Elements. Das Δ bedeutet hierbei $\Delta T = T_{\text{innen}} - T_{\text{außen}}$
[08]	Wenn wir den Potenzialnullpunkt ($\varphi_0=0V$) in den Minuspol der elektrischen Energiequelle legen, dann gilt: $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$ und damit $\Delta\varphi = \varphi$ und wir können – bei dieser φ_0 -Definition das Δ -Symbol weglassen.	In unserem Experiment liegt die Außenseite des Fensters auf dem absoluten Temperaturnullpunkt – deshalb gilt: $\Delta T = T$ und wir können auf das Δ -Symbol verzichten.
[09]	Zusammen mit der elektrischen Ladung fließt elektrische Energie von der elektrischen Energiequelle (Batterie) zur elektrischen Energiesenke (Peltier-Element) Dieser E-Energiestrom hat keinen „Antrieb“ ... er fließt zusammen mit der elektrischen Ladung – ABER bitte beachten: Auf einem anderen Weg – und mit einer anderen Geschwindigkeit.	Zusammen mit der Entropie fließt thermische Energie von der Innenseite des Peltier-Elements zur Außenseite zum Weltall. Dieser thermische Energiestrom hat keinen „Antrieb“ ... er fließt zusammen mit der Entropie.

² An einigen Stellen wird hier absichtlich auf das Δ verzichtet ... denn dieses Zeichen kann an verschiedenen Stellen von den Autoren unterschiedlich gedeutet werden ... so z.B. als Differenz zwischen zwei Größen ... oder im Sinne einer „Portion“ ... oder im Sinne einer „kleinen Menge“ ... oder als didaktische Reduktion des „Differenzialzeichens“ d ... Damit hier keine „Verwirrung“ auftritt, wird auf das Δ verzichtet und die notwendige Information „verbal“ ausgeschrieben. WENN das Δ verwendet wird, dann soll es explizit vorher erklärt – bzw. definiert – werden ...

[10]	<p>Wenn in der Zeit t die Ladung Q durch das Peltier-Element fließt, dann fließt über das E-M-Feld von der Energiequelle zur Energiesenke die Energie:</p> $E = \Delta\varphi \cdot Q \text{ ... oder mit } \varphi_0\text{-Def: } E = \varphi \cdot Q$ <p>... oder man schreibt für die Ladung, die in der Zeit Δt durch das Peltier-Element fließt ΔQ und für die Energie ΔE, dann gilt:</p> $\Delta E = \varphi \cdot \Delta Q$	<p>Wenn in der Zeit t die Entropie S durch das Peltier-Element fließt, dann fließt von Innen nach Außen zusammen mit der Entropie die Energie:</p> $E = T \cdot S$ <p>... oder man schreibt für die Entropie, die in der Zeit Δt durch das Peltier-Element fließt ΔS und für die Energie ΔE, dann gilt:</p> $\Delta E = T \cdot \Delta S$
[11]	<p>Für die elektrische Energiestromstärke (elektrische Leistung) P gilt dann:</p> $P = \Delta\varphi \cdot \frac{Q}{t} \text{ oder mit der obigen } \varphi_0\text{-Definition}$ <p>haben wir:</p> $P = \varphi \cdot I_E$	<p>Für die thermische Energiestromstärke (thermische Leistung) P gilt dann:</p> $P = T \cdot \frac{S}{t} \text{ oder}$ $P = T \cdot I_S$
[12]	<p>Die elektrische Ladung, die durch das Peltier-Element fließt, fließt am roten Kabel in das Peltier-Element hinein und kommt am blauen Kabel wieder aus dem Peltier-Element heraus. Es verbleibt keine elektrische Ladung im Kabel!</p>	<p>Die Entropie, die an der heißen Oberfläche in das Peltier-Element hineinfließt, fließt an der kalten Oberfläche in das Weltall ab. Es verbleibt keine Entropie im Peltier-Element.</p>
[13]	<p>Die elektrische Ladung fließt also vom Pluspol zurück zum Minuspol. Die elektrische Energie fließt auf einem ganz anderen Weg – mit einer anderen Geschwindigkeit – und verlässt den Stromkreis als thermische Energie in die Umgebung.</p>	<p>Die Entropie fließt also vom Innenraum durch das Peltier-Element in das Weltall. Die thermische Energie fließt aber – wenigstens zum Teil – auf einem ganz anderen Weg – sie wird in elektrische Energie umgewandelt und fließt vom Pluspol des Peltier-Elements, das hier als elektrische Energiequelle fungiert, zum Minuspol über einen z.B. angeschlossenen elektrischen Stromkreis.</p>
[14]	<p>Überlegung zur Grenzen der Analogie: Die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße ...</p>	<p>Die Entropie ist keine Erhaltungsgröße! Wenn man es genau betrachtet, entsteht während dem Entropiestrom durch das Peltier-Element „zusätzliche Entropie“ aus dem „Nichts“.</p>
[15]	<p>Wenn man das Peltier-Element (linker Fall) als elektrische Energiesenke (und damit als thermische Energiequelle) nutzt, dann wird die elektrische Energie vollständig – zu 100% - in thermische Energie umgewandelt, die in die Umgebung fließt ...</p> <p>Dass man die elektrische Ladung nicht weglässt, steht in der Physik-Welt außer Frage ... es käme wahrscheinlich kein Mensch auf die Idee einen Bildungsplan zu schreiben, in dem die elektrische Ladung und der elektrische Strom keine Rolle spielt.</p> <p>Dass die elektrische Ladung und die elektrische Energie aber auf unterschiedlichem Wege von der elektrischen Energiequelle zur elektrischen Energiesenke kommt ... hat sich aber noch nicht überall herumgesprochen ☺</p>	<p>Wenn man das Peltier-Element (rechter Fall) als thermische Energiesenke (und damit als elektrische Energiequelle) nutzt, dann wird die thermische Energie <u>nicht vollständig</u> in elektrische Energie umgewandelt! Leider nur ein Teil der thermischen Energie kann in elektrische Energie umgewandelt werden – ein anderer Teil fließt zusammen mit der Entropie vom Inneren des Raumschiffes zusammen mit der Entropie ins Weltall.</p> <p>Dieses Experiment zeigt aber deutlich den Unterschied zwischen der thermischen Energie und der Entropie ... sie gehen nämlich – wenn auch nur zum Teil – völlig verschiedene Wege!</p>