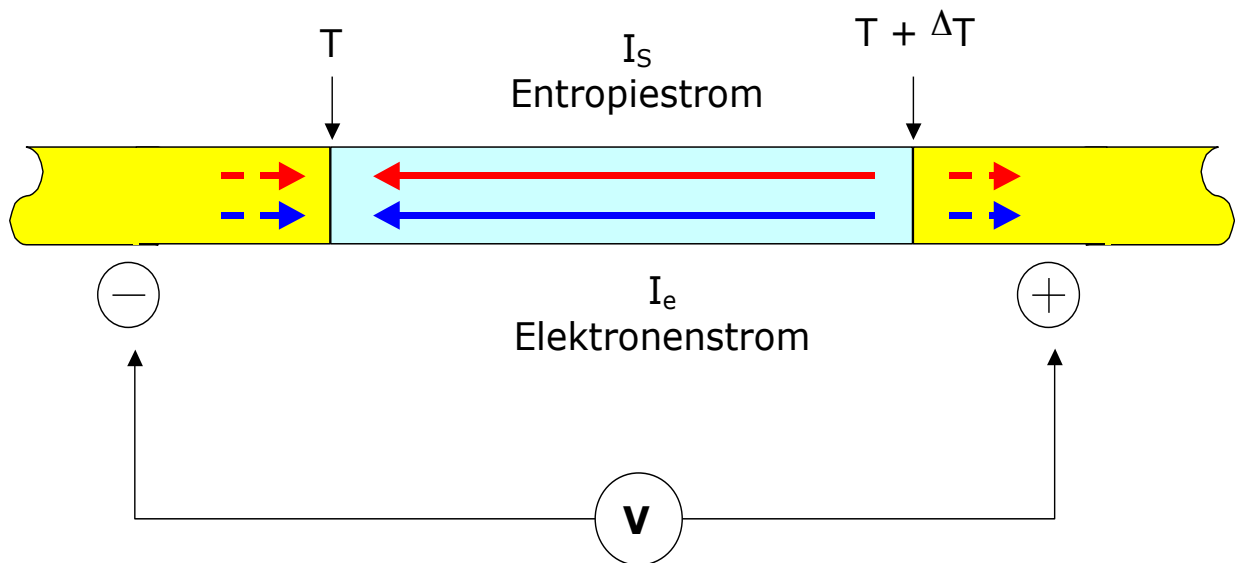


# Thermoeffekt in der Schule

## Entropie-Elektronen-Strom-Modell



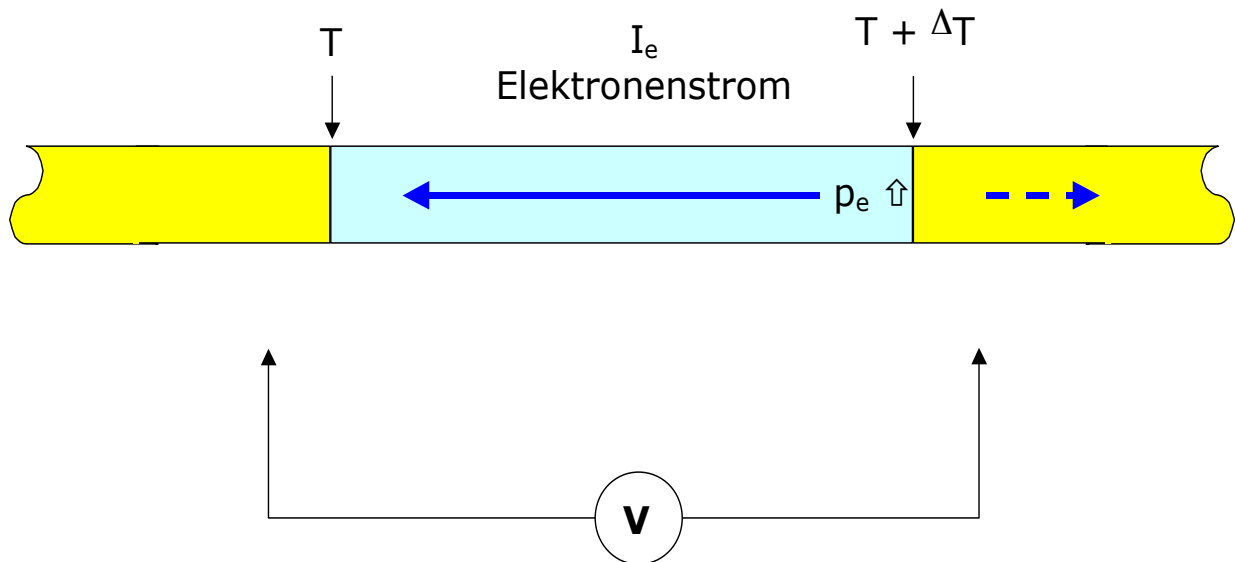
1. Durch eine thermische Energiequelle wird eine Temperaturdifferenz erzeugt – rechts  $T + \Delta T$ , links bleibt die Kontaktstelle auf der Temperatur  $T$ .
2. Diese Temperaturdifferenz dient als Antrieb für einen Entropiestrom von der Stelle höherer Temperatur) zur Stelle tieferer Temperatur.
3. Dieser Entropiestrom führt zu einem Elektronenstrom von der Stelle höherer Temperatur zur Stelle tieferer Temperatur.
4. Damit können wir von außen eine elektrische Potentialdifferenz  $\Delta\varphi$  (=Thermospannung) messen.<sup>1</sup>

### Didaktische Bemerkung

In den folgenden Abschnitten finden Sie die aus Standard-Werken entnommenen Erklärungen für den Thermoeffekt. Im üblichen Physikunterricht der SI kann man aber wohl kaum mit dem Energie-Bändermodell, Fermi-Niveaus, Boltzmann- oder Fermi-Verteilung argumentieren. Aus dieser Sicht bietet sich die oben formulierte didaktische Reduktion an – UND sie trägt vor allem bis in die Hochschulphysik – wie man sich durch das Studium der nachfolgenden Fachliteratur selbst überzeugen kann.

<sup>1</sup> In diesem Fall fließt der Elektronenstrom vom höheren elektrischen Potential zum tieferen elektrischen Potential – weil er nicht durch diese Potentialdifferenz angetrieben wird, sondern durch den Entropiestrom. Die Verhältnisse liegen hier analog z.B. zum Inneren einer Batterie. In einer elektrischen Energiequelle fließen die Elektronen immer vom höheren elektrischen Potential zum tieferen ...

## Elektronen-Gas-Modell



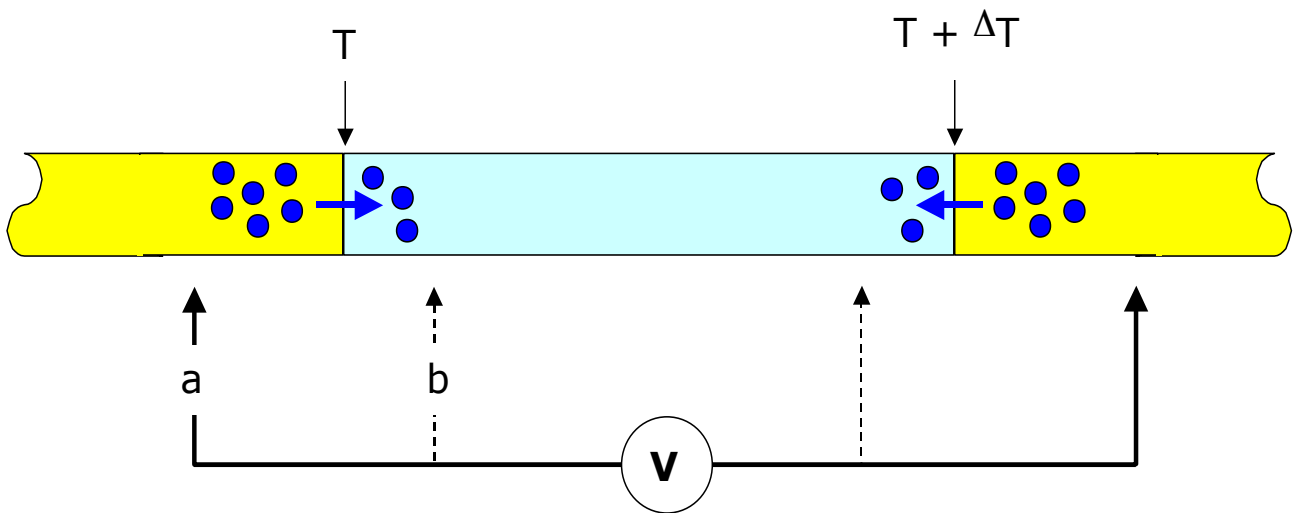
1. Durch eine thermische Energiequelle wird eine Temperaturdifferenz erzeugt – rechts  $T + \Delta T$ , links bleibt die Kontaktstelle auf der Temperatur  $T$
2. Diese Temperaturdifferenz erhöht – analog zu  $p \cdot V / T = \text{const}$  bei einem idealen Gas – den „Druck“ des Elektronengases an der Stelle, an der die Temperatur erhöht ist.
3. Der erhöhte Druck des Elektronengases ist der Antrieb für einen Elektronenstrom von der Stelle höherer Temperatur zur Stelle tieferer Temperatur.
4. Damit können wir von außen eine elektrische Potentialdifferenz  $\Delta\varphi$  (= Thermospannung) messen.<sup>2</sup>

### Didaktische Bemerkung

Die Argumentation über das allgemeine Gasgesetz bei einem idealen Gas ist aber erst möglich, wenn man die Grundzüge der kinetischen Gastheorie behandelt hat und wenn die Schülerinnen und Schüler den Begriff des „freien Elektronengases“ kennen. Vor der kinetischen Gastheorie könnte man sich höchstens mit einer qualitativen Überlegung helfen, die die Schülerinnen und Schüler aus dem Alltag kennen: Wenn man die Temperatur in einem Dampfkessel erhöht, dann steigt der Druck – deshalb wird bei diesen Einrichtungen ein Überdruckventil vorgesehen.

<sup>2</sup> In diesem Fall fließt der Elektronenstrom vom höheren elektrischen Potential zum tieferen elektrischen Potential – weil er nicht durch diese Potentialdifferenz angetrieben wird, sondern durch den Entropiestrom. Die Verhältnisse liegen hier analog z.B. zum Inneren einer Batterie. In einer elektrischen Energiequelle fließen die Elektronen immer vom höheren elektrischen Potential zum tieferen ...

## Elektronen-Dichte-Modell (ältere Schulbücher)



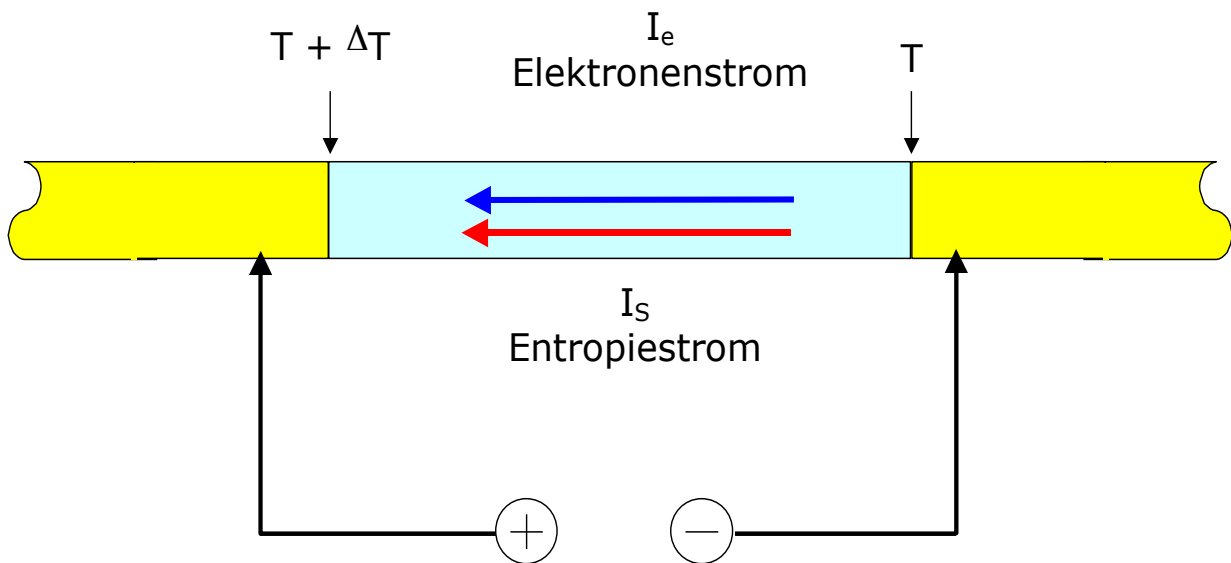
1. Es gibt Metalle – z.B. Kupfer, in dem die Elektronendichte größer ist als z.B. in Eisen.
2. Kontaktiert man Metalle mit unterschiedlicher Elektronendichte, dann setzt auf Grund des Konzentrationsgefälles ein Diffusionsstrom ein.
3. Dieser Diffusionsstrom führt zu einer Potentialdifferenz  $\Delta\varphi$  (= Kontaktspannung) an der Kontaktstelle der beiden unterschiedlichen Metalle, die den Diffusionsstrom hemmt. Im dynamischen Gleichgewicht pendelt sich eine konstante Kontaktspannung ein.
4. Diese Kontaktspannung ist aber von außen nicht messbar, wenn der ganze Stromkreis an jeder Stelle auf konstanter Temperatur gehalten wird. Man kann sich leicht überlegen, dass bei  $T = \text{konst.}$  die auftretenden Kontaktspannungen in einem geschlossenen Stromkreis sich gerade gegenseitig kompensieren.
4. Der Diffusionsstrom ist aber von der Temperatur abhängig  $\Rightarrow$  die Kontaktspannungen sind also temperaturabhängig. Erhöht man die Temperatur einer Kontaktstelle, dann kann man die nun vorhandene Differenz zwischen den Kontaktspannungen als Thermospannung von außen messen.

### Didaktische Bemerkung

Diese in verschiedenen Schulbüchern formulierte Modellvorstellung ist zu hinterfragen, denn hier wird suggeriert, dass die außen messbare Kontaktspannung an den Kontaktstellen selbst erzeugt wird. Dem widerspricht aber die Fachliteratur – siehe folgende Kapitel. Wenn man das obige Modell in der dargestellten Form konsequent weiterführt, müsste man annehmen, dass die Polung des Voltmeters in der Stellung (a) und (b) unterschiedlich ausfallen müsste.

# Peltier-Effekt in der Schule

## Elektronen- Entropie-Strom-Modell



1. Durch eine äußere elektrische Energiequelle angetrieben, fließt ein Elektronenstrom von rechts nach links.
2. Dieser Elektronenstrom ist mit einem Entropiestrom von rechts nach links verknüpft.
3. Dieser Entropiestrom führt zu einer Temperaturdifferenz – am linken Ende stellt sich  $T + \Delta T$  gegenüber dem rechten Ende ein.
4. Damit können wir eine Temperaturdifferenz  $\Delta T$  messen<sup>3</sup>
5. Besteht die Anordnung aus einem homogenen elektrischen Leiter, der an jeder Stelle die gleiche Temperatur hat, dann stellt sich zusammen mit dem Elektronenstrom ebenfalls ein Entropiestrom ein, der aber zu keiner Temperaturdifferenz führen kann, weil die Entropieströmung homogen längs des ganzen Leiters verteilt wäre.<sup>4</sup>

### Didaktische Bemerkung

In den folgenden Abschnitten finden Sie die aus Standard-Werken entnommenen Erklärungen für den Peltier-Effekt.

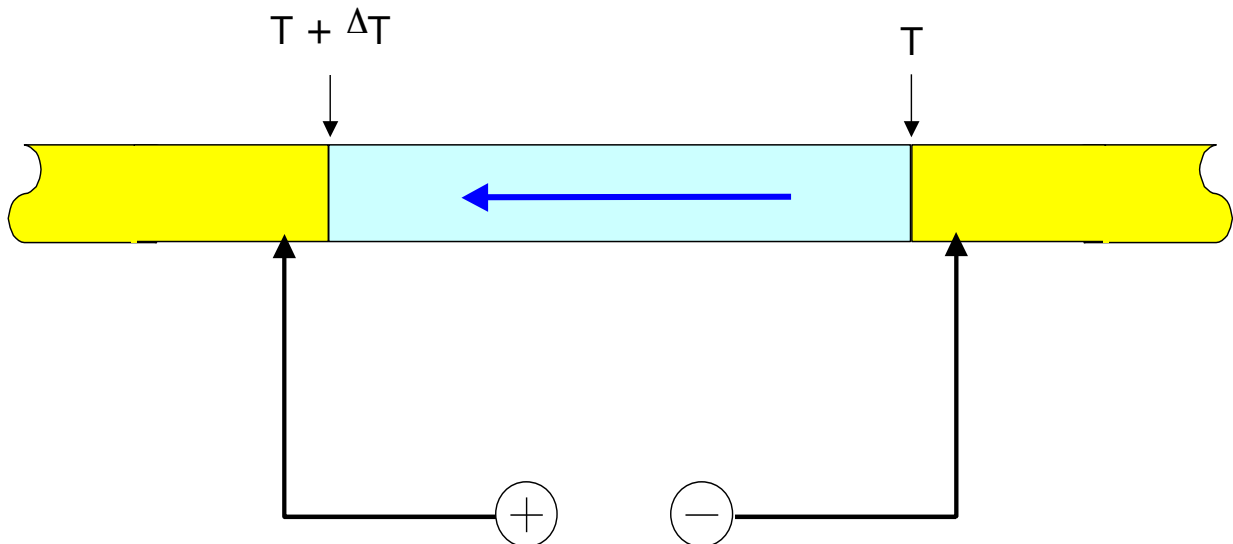
Wie schon beim Thermoeffekt ausgeführt, kann man im üblichen Physikunterricht der SI die aus der Fachliteratur bekannten Erklärungen kaum einsetzen.

Wie schon beim thermo-elektrischen Effekt bietet sich die oben formulierte didaktische Reduktion an – UND sie trägt vor allem bis in die Hochschulphysik – wie man sich durch das Studium der nachfolgenden Fachliteratur selbst überzeugen kann.

<sup>3</sup> In diesem Fall fließt der Entropiestrom von der tieferen Temperatur zur höheren Temperatur – das würde er nie alleine tun – das tut er nur, weil er nicht durch diese Temperatur-Differenz angetrieben wird, sondern durch den Elektronenstrom.

<sup>4</sup> Fachliteratur: Mit jedem Teilchenstrom ist ein Energietransport verbunden; und zwar ist die pro Teilchen im Mittel mitgeführte Energie abhängig von der Metallsorte und außerdem von der Temperatur. Ändert sich eine dieser Größen – an der Lötstelle oder im homogenen Metall bei einem endlichen Temperaturgefälle –, so muss sich auch die von Elektronen mitgeführte Energie ändern, was nur möglich ist durch Energie-Abgabe oder –Aufnahme in Form von Wärme (thermischer Energie).

## Elektronen-Abschöpf-Modell



1. Temperatur als makroskopische Größe wird im „Teilchenmodell“ als Bewegungsenergie der Teilchen interpretiert.
2. Die äußere elektrische Energiequelle vermag nur die energetisch angeregtesten Elektronen im elektrischen Leiter zu bewegen <sup>5</sup>.
3. Wenn man aber die „schnellsten Elektronen“ durch das von außen angelegte elektrische Feld von rechts nach links transportiert, dann bedeutet das, dass die Temperatur an der rechten Kontaktstelle sinken und an der linken Kontaktstelle steigen muss.
4. Hätte man keine unterschiedlichen metallischen Leiter (mit unterschiedlichen Energie-Anregungsstufen), dann würden längs des Leiters „gleich schnelle“ Elektronen bewegt – es würde keine Temperaturdifferenz messbar. <sup>6</sup>
5. Bei der Kontaktierung unterschiedlicher Metalle stellt sich eine Temperaturdifferenz  $\Delta T$  ein.

### Didaktische Bemerkung

Bei dieser Argumentation steht das Bänder-Modell, das Pauli-Prinzip für Spin-1/2 Teilchen, die Fermi-Grenze usw. im Hintergrund. Warum man nur die „energetisch höchsten“ Elektronen durch ein äußeres Feld anregen kann, kann man wohl nur mitteilen. Im Prinzip steckt hinter dieser Erklärung die Verknüpfung des Elektronenstromes mit dem Entropiestrom. Es stellt sich daher die Frage, warum man dann nicht gleich das im vorigen Kapitel beschriebene Elektronen-Entropie-Strom-Modell im Unterricht einsetzt. Hat man die Thermodynamik – wie vielfach empfohlen – mit der Entropie begonnen, steht dieser Vorstellung nichts im Wege.

<sup>5</sup> Bei der Temperatur  $T$  können nur die Elektronen mit der Energie  $k \cdot T$  um die Fermigrenze von einem äußeren Feld angeregt werden. Es gilt Größenordnungsmäßig die Abschätzung:  $e \cdot U = k \cdot T$  ...siehe Ausführungen in der Fachliteratur.

<sup>6</sup> Fachliteratur: Mit jedem Teilchenstrom ist ein Energietransport verbunden; und zwar ist die pro Teilchen im Mittel mitgeführte Energie abhängig von der Metallsorte und außerdem von der Temperatur. Ändert sich eine dieser Größen – an der Lötstelle oder im homogenen Metall bei einem endlichen Temperaturgefälle –, so muss sich auch die von Elektronen mitgeführte Energie ändern, was nur möglich ist durch Energie-Abgabe oder –Aufnahme in Form von Wärme (thermischer Energie).