

1 Zustand des thermischen Gleichgewichtes

In diesem Kapitel möchte ich zunächst auf den Begriff des thermischen Gleichgewichts eingehen.

Definition 1: Ein System ist dann im thermischen Gleichgewicht, wenn das System von sich selber oder von außen auf eine konstante Temperatur geregelt wird und daher die Temperaturänderung im zeitlichen Mittel praktisch Null ist.

Was ist damit gemeint? Stellen Sie sich hierzu am Besten als Beispiel unsere Erde vor. Da die Erde am Tag von der Sonne bestrahlt wird wärmt sie sich auf. Diese Wärme wird also in Form von Energie (Schwingungen der Atome an der Erdoberfläche)¹ an die Erde weitergegeben.

In folge dessen muss die Erde diese Energie irgendwie wieder loswerden. Stellen Sie sich nur vor die Erde wird 24 Stunden lang von der Sonne angestrahlt und schluckt alles Energie in sich auf. Das würde im schlimmstenfall zur katastrophalen Explosion führen, denn wo soll die Energie hin? Nein.

Die Erde hat einen Regelkreis welcher bei zunehmender Temperatur diese dazu bewegt vermehrt Strahlung in die Atmosphäre zurückzustrahlen. Je stärker also die Strahlung der Sonne ist, desto mehr sendet die Erde an Strahlung aus.

Die Erde erwärmt sich also nur auf eine bestimmte Temperatur, bis sie sich wieder abkühlt. Sie stellt sich im zeitlichen Mittel auf eine konstante Temperatur ein. Auch hier ist die Rede vom *thermischen Gleichgewicht*.

Jetzt betrachten Sie einen Körper den man auf konstante Temperatur halten will. Wie könnte man dies bewerkstelligen? Na beispielsweise mit dementsprechenden Sensoren. Man baut hierbei einen elektronischen Regelkreis (meist Computergesteuert) und legt den Körper beispielsweise auf eine Herdplatte. Dann dreht man die Herdplatte auf die Temperatur die der Körper haben soll und hält sie beispielsweise mit einer Zweipunktregelung² konstant.

Auch hier spricht man vom *thermischen Gleichgewicht*.

Im nächsten Kapitel werden wir einen **schwarzen Körper** auf eine Konstante Temperatur regeln und dann die Strahlung dieses Körpers messen.

¹Diese Schwingungen können theoretisch bis hinunter in den Erdkern reichen

²Hier wird der Herd eingeschaltet wenn eine bestimmte Temperatur unterschritten wird und wieder ausgeschaltet wenn die obere Grenze überschritten wird. Dieses Ein und Ausschalten passiert andauernd und im zeitlichen Mittel hat man die gewünschte Temperatur erreicht. Natürlich muss die Temperatur andauernd gemessen werden um zu wissen wie groß die momentane Temperatur ist

2 Schwarzer Körper

Definition 2: Ein schwarzer Körper ist ein Körper, der völlig schwarz ist. Seine Besonderheit ist, dass er elektromagnetische Strahlung vollständig absorbiert. Er reflektiert bzw. bricht die hineinfallende Strahlung³ nicht.

Was dies für Auswirkungen hat, darauf möchte ich im folgenden näher eingehen. Betrachten Sie zunächst den Körper in Abb.1.

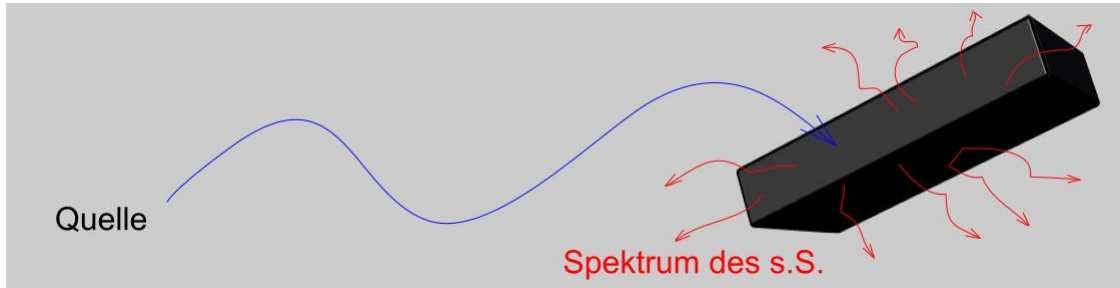


Abbildung 1: Schwarzer Körper (auch schwarzer Strahler)

Trifft blaues Licht mit der Wellenlänge $\lambda \approx 450\text{nm}$ auf diesen Körper, so wird die Strahlung dieser Frequenz vollständig absorbiert. Der schwarze Körper sendet jedoch dauernd -abhängig seiner Temperatur- die konstante elektromagnetische Strahlung mit allen möglichen Wellenlängen und den dazugehörigen Intensitäten $u(\lambda)$ aus. Es ist auch klar, dass sehr große Wellenlängen nur mehr verschwindend kleine Intensitäten mit sich tragen⁴. In Abbildung 2 sehen Sie die Spektralverteilung des schwarzen Körpers in einem Diagramm.

Es spielt überhaupt keine Rolle welche Strahlung auf den schwarzen Körper auftrifft. Im vorigen Beispiel war es blaues Licht, es kann aber genau so gut auch rotes Licht sein.

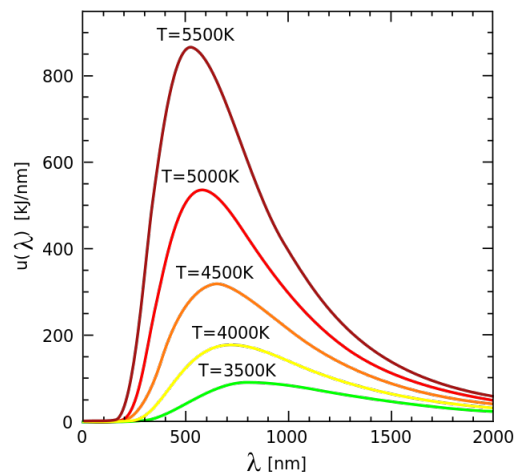


Abbildung 2: Spektrum des schwarzen Strahlers

³Mit Strahlung ist hier das elektromagnetische Spektrum gemeint. Stellen Sie sich dazu beispielsweise einfalles rotes, grünes oder auch blaues Licht sowie jede andere Art von elektromagnetischer Welle vor.

⁴Wieso eigentlich? Nun, im Bild können wir deutlich erkennen, dass je weiter man sich auf der Lambda-Achse nach rechts bewegt, desto kleiner werden die Intensitäten. Diese aus Messungen resultierenden Tatsachen faszinierten Max Planck damals sehr. Er versuchte nämlich diese Kurve allein mittels der klassischen Physik zu erklären, was ihm deswegen nicht gelang, weil man damals den Welle-Teilchen Dualismus nicht so richtig verstand. Dazu aber später mehr.

Der schwarze Körper sendet immer unabhängig von der einfallenden Strahlung sein Spektrum in die Umgebung. Diese hängt wie Sie gesehen haben allein von der Temperatur ab.

Das Diagramm in Abbildung zwei wird durch 2 Gesetze beschrieben. Das erste ist das **Stefan-Boltzmann-Gesetz**. Dieses beschreibt die Zunahme der Strahlungsintensitäten jeder einzelnen Wellenlänge bei steigender Temperatur. Dies ist auch im Diagramm klar ersichtlich. Betrachten Sie einfach zuerst die grüne Kurve ($T = 3500\text{K}$). Bei der gelben ($T = 4000\text{K}$) liegen alle Intensitätswerte⁵ deutlich über die der grünen Kurve. Dabei gilt folgende Gesetzmäßigkeit:

$$I_{ges} = \sigma T^4 A \quad (1)$$

σ bezeichnet die Stefan Boltzman Konstante, T die Temperatur und A die gesamte Oberfläche des schwarzen Strahlers von dem Strahlung emittiert wird.

Das zweite Gesetz sagt den Zusammenhang zwischen Wellenlänge, bei der die Intensität ein Maximum aufweist (Im Diagramm sind das die hohen Bergspitzen) voraus:

$$\lambda_{max} = \frac{2900 \mu m K}{T} \quad (2)$$

Wir können also bei gegebener Temperatur des schwarzen Körpers die Wellenlänge berechnen, dessen Welle die maximale Amplitude aussendet. Natürlich ist das nur eine einzige Welle von vielen anderen wie Sie leicht im Diagramm erkennen können. Dieses Gesetz heißt

Wiensches Verschiebungsgesetz.

In den letzten Experimenten sind wir davon ausgegangen, dass sich das System im thermischen Gleichgewicht befindet, was soviel bedeutet, dass die Temperatur auf einen konstanten Wert vom System selber oder auch von außen gehalten wird.

Gedankengang: Nun, wie Sie vielleicht schon vermutet haben, hat einfallendes Licht bzw. Strahlung eine verherrende Wirkung auf irgendeinen Körper.

Laut Einstein besteht Licht aus sogenannten **Photonen**. Photonen sind Lichtpartikel oder auch Lichtteilchen. Da Licht nicht nur als elektromagnetische Welle aufgefasst werden kann, macht uns hier das Teilchenbild folgendes klar:

Schlussfolgerung 1: Einfallendes Licht auf einen Gegenstand bewirkt Kollisionen von Photonen mit den im Atom des Gegenstandes vorhandenen Elektronen. Diese stoßen also an andere Atome bzw. andere Elektronen, welche dadurch wiederum beschleunigt werden. Daher entstehen Gitterschwingungen in allen Richtungen. Und Schwingungen machen den Gegenstand dadurch wärmer. Wärmer für den schwarzen Strahler bedeutet aber, dass er sein ausgesandtes Spektrum ändert nach dem Diagramm in Abbildung 2.

⁵Auch Strahlungsleistung genannt