

# Ausarbeitung zum Vortrag “Energie im Haushalt”

zum Modul:  
Demonstrationspraktikum 1

bei  
Dr. Jürgen Kirstein  
Dr. Dirk Schwarzhans  
Luzy Krüger M.Sc.

am  
Fachbereich Physik  
**Freien Universität Berlin**



Ludwig Schuster und Florian Conrad (Gruppe 1)  
13. Januar 2015 

# Inhaltsverzeichnis

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>I</b>   | <b>Einleitung</b>   | <b>4</b>  |
| <b>II</b>  | <b>Energie</b>  | <b>6</b>  |
| 0.1        | Energieumwandlung . . . . .   | 7         |
| <b>1</b>   | <b>Wärme</b>  | <b>8</b>  |
| 1.1        | Heizung und Konvektion . . . . .                                    | 8         |
| 1.2        | Experiment zum Thema Konvektion . . . . .                           | 8         |
| 1.2.1      | Durchführung . . . . .  | 9         |
| 1.2.2      | Auswertung . . . . .  | 9         |
| <b>2</b>   | <b>Strom</b>  | <b>12</b> |
| 2.1        | Energieeffizienz unterschiedlicher Lichtquellen . . . . .           | 12        |
| 2.1.1      | Funktionsweise von LED- und Glühlampe . . . . .                     | 12        |
| 2.1.2      | Lichtgrößen . . . . .   | 14        |
| 2.1.3      | Energieeffizienz . . . . .  | 16        |
| 2.2        | Experiment zur Energieeffizienz . . . . .                           | 17        |
| 2.2.1      | Durchführung . . . . .  | 17        |
| 2.2.2      | Auswertung . . . . .  | 17        |
| <b>3</b>   | <b>Nahrungsmittelzubereitung</b>                                    | <b>19</b> |
| 3.1        | Wirkungsgrad unterschiedlicher Kochplatten . . . . .                | 19        |
| 3.1.1      | Funktionsweise unterschiedlicher Kochplatten . . . . .              | 20        |
| 3.2        | Experiment zum Wirkungsgrad unterschiedlicher Kochplatten . . . . . | 21        |
| 3.2.1      | Durchführung . . . . .  | 22        |
| 3.2.2      | Auswertung . . . . .  | 22        |
| <b>4</b>   | <b>Fazit</b>  | <b>24</b> |
| <b>III</b> | <b>Anhang</b>   | <b>25</b> |
| <b>5</b>   | <b>Details zu den Experimenten</b>                                  | <b>26</b> |
| 5.1        | Kochen . . . . .  | 26        |
| 5.1.1      | Material . . . . .  | 26        |
| 5.1.2      | Aufbau . . . . .  | 26        |
| 5.2        | Lampe . . . . .   | 28        |
| 5.2.1      | Material . . . . .  | 28        |
| 5.2.2      | Aufbau . . . . .  | 28        |

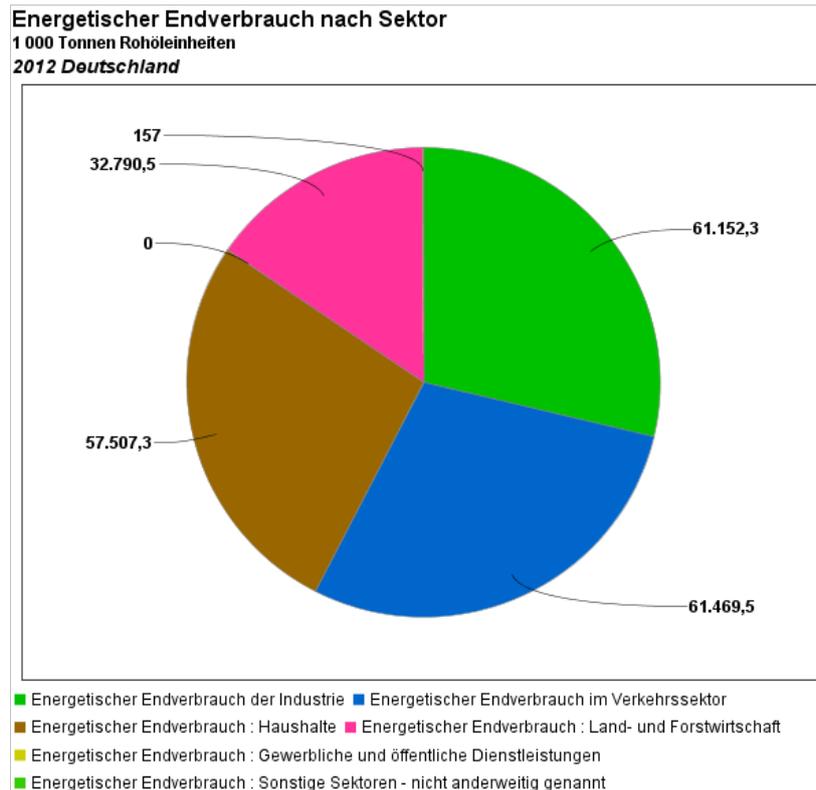
|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 5.3 Konvektion . . . . .        | 30 |
| 5.3.1 Material . . . . .        | 30 |
| 5.3.2 Aufbau . . . . .          | 30 |
| Tabellenverzeichnis . . . . .   | 30 |
| Abbildungsverzeichnis . . . . . | 32 |
| Literaturverzeichnis . . . . .  | 33 |

# Teil I

## Einleitung

## Wozu benötigen wir Energie?

In allen Bereichen unserer Gesellschaft wird Energie benötigt. Im öffentlichen Verkehr, in der Industrie, der Landwirtschaft, dem Haushalt, und anderen. Wie in Abbildung 1 zu sehen, ist der Energiebedarf im Verkehrssektor (61,4 Mt Rohöleinheiten) in 2012 fast genauso groß, wie im Bereich Industrie (61,1 Mt) und Haushalten (57,5 Mt)<sup>1</sup>. Der Gesamte Energiebedarf in Deutschland teilt sich also zu fast gleichen teilen auf. Daraus folgt, dass die Betrachtung des Energiebedarfs im Bereich Haushalt einen gesellschaftlich relevanten Bezug hat.



**Abbildung 1:** Energieverbrauch in Deutschland nach Sektoren in 2012. [Quelle: (eur12)]

Im folgenden wird der den Energieverbrauch im privaten Haushalt betrachtet. Es wird der Frage nachgegangen, wo im Haushalt Energie genutzt wird und wie dies optimiert werden kann, um Energie zu sparen. Dazu werden exemplarisch einzelne Bereiche genauer betrachtet und Möglichkeiten zur Verbesserung der Energienutzung in alltäglichen Situationen anhand von Experimenten gezeigt.

Situationen oder Vorgänge bei denen in einem Haushalt Energie verbraucht wird, sind allgegenwärtig. Um eine sinnvolle Auswahl zu treffen und Mittels anschaulicher Experimente Verbesserungen in der Energienutzung aufzuzeigen, wurden folgende Fragen als Grundlage für die weiteren Betrachtungen genommen.

- Wie verteilt sich (Wärme-)Energie in meinem Raum?
- Welche Beleuchtung sollte ich für mein Zimmer wählen?
- Auf welcher Art Herd koche ich am effizientesten?

<sup>1</sup>Unter dem Energieverbrauch in Haushalten in der Grafik fällt die von privaten Haushalten, dem Handel, der öffentlichen Verwaltung, der Landwirtschaft und der Fischerei verbrauchte Energie.

**Teil II**  
**Energie**

In einem regulären Haushalt wird an verschiedenen Stellen Energie ~~verbraucht~~ umgewandelt<sup>2</sup>. Zum Beispiel beim duschen, beim Wasserkochen, beim Licht einschalten, beim Fernsehen, beim benutzen des Computers, etc. Alle Möglichkeiten zu erörtern soll nicht Bestandteil der folgenden Betrachtungen werden. Vielmehr sollen einige exemplarische Bereiche gezeigt werden und anschließend experimentell untersucht werden. Die Beispiele sind so gewählt, dass sich bestimmte physikalische Phänomene sehr gut daran zeigen lassen.

**Wärme** Mit Wärme wird Konvektion gezeigt.

**Strom** Mit Lampen wird die Effizienz von Energieumwandlung betrachtet.

**Nahrungsmittelzubereitung** Mit dem Erhitzen von Wasser wird der Wirkungsgrad verschiedener Kochplatten analysiert.

Bei allen folgenden Betrachtungen ist es wichtig sich noch einmal mit einem essentiellen Grundsatz der Energie-Lehre zu befassen. Denn wenn die Rede von Energie ist führt der allgemeine Sprachgebrauch zu Verwirrung. Der Begriff des “Energieverbrauchs” wird in diesem Kontext oft verwendet, und führt zu ungenauer Fachsprache.

## 0.1 Energieumwandlung

In der Alltagssprache wird der Begriff “Energieverbrauch” häufig verwendet, doch bei näherer Betrachtung mit dem Thema Energie, wird deutlich, dass Energie nicht “verbraucht” sondern umgewandelt wird. Energie ist eine Erhaltungsgröße. Somit gilt:

*Die Energiemenge die während einer Umwandlung in ein System hineingegeben wird, ist nach der Umwandlung die Gleiche.(siehe (Rei87))*

$$E_{\text{Gesamt}} = \text{konstant} \quad (1)$$

So wird z.B. die Energie eines Brennstoffes in einer Heizung in thermische Energie umgewandelt. Diese erwärmt einen Heizkörper, der wiederum die ihn umgebende Luft erwärmt. Die erwärmte Luft hat eine geringe Dichte, da die Moleküle in der Luft aufgrund einer höheren Energie sich stärker bewegen. Aufgrund der geringeren Dichte steigt die Luft im Zimmer nach oben und bewegt somit die im Zimmer existierende Luft. Dieses Phänomen wird in Experiment 1.1 und im Kapitel 1 noch näher gezeigt. Eine Solarzelle wandelt Strahlungsenergie von Licht in elektrische Energie um. Doch Energie muss nicht unbedingt in unterschiedliche Energiearten umgewandelt werden, wie am Beispiel eines Wärmeübertragers<sup>3</sup> zu sehen ist. Hier wird meist in einem Haus indirekt “frische” (Sauerstoffreiche) kalte Zuluft von draußen und “verbrauchte” (Sauerstoffarme) warme Abluft im Gegenstromverfahren aneinander vorbeigeführt. Dabei wird die thermische Energie des warmen Luftstroms an den kalten Luftstrom übertragen.

---

<sup>2</sup>**Achtung:** Energie wird nicht verbraucht, sondern umgewandelt. Der Begriff des “Energieverbrauchs” hat sich sehr stark im alltäglichen Umgang eingebürgert und wird deswegen oft synonym für die Umwandlung von Energie benutzt. Fachsprachlich ist das nicht korrekt.

<sup>3</sup>falscher aber im Alltag gebräuchlicher Begriff: Wärmetauscher

# Kapitel 1

## Wärme

*Es gibt keine Zustandsänderung, deren einziges Ergebnis die Übertragung von Wärme von einem Körper niedriger auf einen Körper höherer Temperatur ist. (zweiter Hauptsatz der Thermodynamik nach Rudolf Clausius um 1860)*

Wärme ist ein sehr großer und wichtiger Bereich der Energienutzung im Haushalt. Im Winter würden Menschen ohne Heizung und Isolation nicht überleben können. Der Bedarf an Energie ist in diesem Bereich, zumindest im Winter so hoch (zumindest in Bereichen des Globus zu den Polen hin), dass eine Betrachtung der Effizienz hier angebracht ist.

*Physikalisch gesehen ist Wärme die Energie, die zwischen zwei Systemen aufgrund von Temperaturunterschieden übertragen wird.(nach (Rei87))*

Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik beschreibt somit den Umstand, dass Wärme bzw. Energie in der Art ihrer Ausbreitung gerichtet ist. Sie wird sich immer vom “Warmen” zum “Kalten” bewegen. Dieser Übertragung von Energie kann über Wärmeleitung (siehe Experiment 3.1) , Wärmestrahlung (siehe Experiment2.2) und über Konvektion (siehe Experiment1.1) geschehen.

### 1.1 Heizung und Konvektion

Als Konvektion wird das Mitführen durch ein strömendes Fluid bezeichnet. Dabei können zum Beispiel gelöste Stoffe, oder auch physikalische Größen wie thermische Energie mitgeführt werden. Zunächst sehen wir uns die Funktionsweise von Konvektion an, also was in unseren Räumen passiert, während wir heizen und wie es zu Stande kommt, dass der Raum nach einiger Zeit gleichmäßig erwärmt wird. Heizkörper erwärmen die sie umgebende Luft. Die, durch die Wärme energiereichere, Luft steigt aufgrund der geringeren Dichte nach oben. Dort verdrängt warme Luft kalte Luft, welche in Folge der räumlichen Beschränkung der Wände in Richtung des Bodens verdrängt wird. So entsteht ein Kreislauf.

### 1.2 Experiment zum Thema Konvektion

Ziel dieses Experiments ist die Veranschaulichung von Wärmeaustausch in Gasen aufgrund von Temperaturdifferenzen. In diesem Beispiel werden die Gase durch Wasser

ersetze, um die Konvektion mittels einer Wärmebildkamera besser sichtbar zu machen. Im Experiment 1.1 wird ein Raum durch Wasser in Bechergläsern dargestellt. Die Wasseroberkante symbolisiert dabei die Raumdecke und das Becherglas den Boden und die übrigen Wände. Das Wasser steht symbolisch für die Luft die sich in einem Raum befindet. Eiswürfel und ein Tauchsieder stellen Fenster (Kältequellen) und Heizung (Wärmequellen) dar. Dieser Versuchsaufbau kann gut auf größere Räume angewandt werden. Es wird gezeigt, dass warme Luft (warmes Wasser) nach oben steigt und den Raum (das Wasser im Becherglas) komplett erwärmt. Im Vergleich dazu wird gezeigt, dass diese homogene Erwärmung nicht stattfindet, wenn die räumliche Anordnung von Wärme- und Kältequellen ungünstig ist. Um dies experimentell darzustellen werden Eiswürfel als Kältequelle am Boden eines Becherglases fixiert. Ein Tauchsieder wird als Wärmequelle nur in der oberen Hälfte des Becherglases gehalten. Dabei bilden sich zwei unterschiedlich temperierte Schichten im Wasser aus. In Abbildung 1.2 kann dies, durch die deutlichen farblich getrennten Bereiche auf dem Bildern der Wärmebildkamera, sehr gut nachvollzogen werden.

### 1.2.1 Durchführung

Im ersten Teil des Versuchs wird die “Anti-Konvektion” gezeigt. Also die nicht Durchmischung von Flüssigkeiten trotz Temperaturdifferenzen. Im Zweiten Teil wird dann Konvektion gezeigt. Also die Durchmischung einer Flüssigkeit aufgrund von Temperaturdifferenzen.

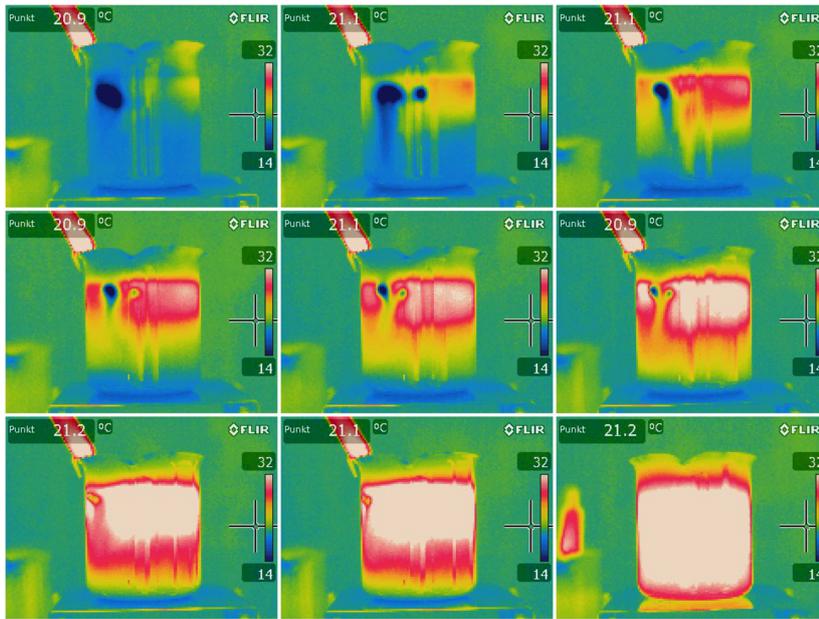
2 Bechergläser werden mit Wasser befüllt. Für den ersten Teil werden Eiswürfel in das Becherglas gelegt und mit Drahtgitter und einem Messinggewicht beschwert, damit das Eis im Wasser nicht schwimmt. Ein Tauchsieder wird oben in das erste Viertel des Glases gehalten (nicht zu nahe an das Eis). Nachdem der Tauchsieder eingeschaltet wird, lässt sich beobachten, dass das Wasser oben warm wird während das Wasser unten kalt bleibt.

Im zweiten Versuchsteil wird die Reihenfolge der Wasserschichten getauscht. Die Eiswürfel werden ohne Beschwerung in das mit Wasser gefüllte Becherglas gegeben und der Tauchsieder vollständig eingetaucht. Nachdem der Tauchsieder eingeschaltet wird, lässt sich beobachten, dass das warme Wasser nach oben steigt und sich nach und nach das gesamte Wasser erwärmt.

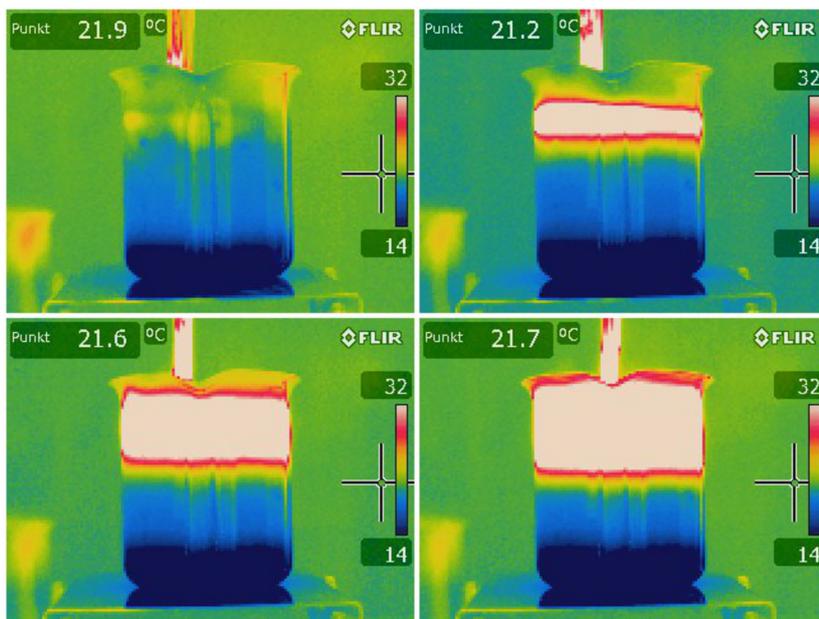
### 1.2.2 Auswertung

Anhand der IR- Fotos und der Beobachtung werden die beiden Versuche verglichen und die Bedeutung von Konvektion abgeleitet. Die Bechergläser können als Raum angesehen werden, anhand der gezeigten Konvektion wird eine Aussage darüber getroffen, wie ein Raum effizient beheizt werden kann und wie eine gute Durchmischung der Luftschichten stattfinden kann. Die besagten Fotos sind unter 1.1 und 1.2 sichtbar.

Mit diesem Experiment lässt sich zeigen, dass sich warme Luft (warmes Wasser) im Medium nach oben bewegt und dabei für eine Durchmischung des Mediums sorgt. Deswegen werden Heizkörper unterhalb von Fenstern positioniert. Der Sauerstoffgehalt der Raumluft sinkt durch den Atmungsprozess des Menschen, sodass ein regelmäßiger Austausch mit Außenluft, die einen höheren Sauerstoffgehalt als die “verbrauchte” Raumluft hat, notwendig ist. Die frische Luft vom Fenster wird durch den Heizkörper erwärmt und steigt nach oben und verteilt sich so im Raum. Daraus folgt, dass kurz-



**Abbildung 1.1:** Konvektion, die Durchmischung von Flüssigkeiten aufgrund von Temperaturdifferenzen. Zu sehen ist ein mit Wasser gefülltes Becherglas. Im Gefäß ist ein Tauchsieder vollständig eingetaucht und erhitzt das Wasser. Obenauf schwimmen zu Beginn Eiswürfel. (Die Bilder wurden mit einer Wärmebildkamera aufgenommen.)



**Abbildung 1.2:** Zu sehen ist die “Anti-Konvektion”, also die nicht Durchmischung von Flüssigkeiten trotz Temperaturdifferenzen. Zu sehen ist hier ebenfalls ein mit Wasser gefülltes Becherglas. Im oberen Teil des Gefäßes t ein Tauchsieder das Wasser, im unterem Teil sind Eiswürfel mit Drahtgitter und einem Gewicht fixiert. (Die Bilder wurden mit einer Wärmebildkamera aufgenommen.)

zeitiges Lüften für den Heizprozess sinnvoll ist, um eine gleichmäßige Wärmeverteilung bei gleichzeitigem Luftaustausch mit frischer Luft zu gewährleisten.

# Kapitel 2

## Strom

Ein weiterer Energieträger ist Strom, also die gerichtete Ladungsbewegung in einem Leiter. Damit ist Strom ein weiterer sehr großer und wichtiger Bereich der Energienutzung im Haushalt. Er wird nicht nur für die Beleuchtung, sondern Strom benötigt, oft wird Strom auch für die Erzeugung von Warmwasser eingesetzt z.B. in Form von Durchlauferhitzern oder Wasserkochern. Die Zubereitung von Nahrung basiert häufig auf Strom als einzige Energiequelle und nicht zuletzt der gesamte Bereich der Unterhaltungselektronik, welcher einen nicht unwesentlichen Teil der Freizeitgestaltung ausmacht, nutzt Strom als Energiequelle.

In diesem Zusammenhang ist eine effiziente Umsetzung des Stroms in die gewünschte Funktion von großer Bedeutung um nicht unnötig Strom in Wärme oder andere für den Zweck irrelevante Nebenprodukte umzuwandeln. Fernseher sind ein sehr weitverbreitetes Gerät der Unterhaltungselektronik, bei welchen die Umwandlung des Stroms in die gewünschte Funktion oft mit einer unerwünschten Wärmeproduktion einhergeht. Ein weiteres Beispiel sind Leuchtmittel, anhand derer die Effizienz der Umwandlung von Strom in Licht betrachtet wird.

### 2.1 Energieeffizienz unterschiedlicher Lichtquellen

Zunächst betrachten wir die Funktionsweise der gebräuchlichsten und häufigsten Leuchtmittel<sup>1</sup>, LED-Lampen und Glühlampen.

#### 2.1.1 Funktionsweise von LED- und Glühlampe

Bei Glühlampen wird ein Draht wie in Abbildung 2.2b aus einem geeignetem Material mit Strom durchflossen, so dass er zu glühen anfängt. Die Temperatur bei der dies geschieht liegt zwischen 1500-3000°C. Dabei wird elektromagnetische Strahlung emittiert, die vor allem im Bereich der Infrarotstrahlung und des sichtbaren Lichts liegt. Dabei sind ca. 5% im Bereich des sichtbaren Lichts, der größere Teil ist im Bereich der Infrarotstrahlung, also Wärme. Eine Glühlampe wandelt also nur ca. 5% der Energie in Licht um, der Rest wird in Wärme umgewandelt. Das ist nicht effizient.

Bei LED-Lampen (Lumineszenzdiode bzw. Light Emitting Diode) wird beim Übergang eines Elektrons von einer Anode zu einem Halbleiterkristall auf einer Kathode Licht emittiert. Das emittierte Licht besteht aus Photonen, die bei der Elektron-Loch-Rekombination

---

<sup>1</sup>neben Gasdrucklampen, wie Halogenröhren oder Energiesparlampen

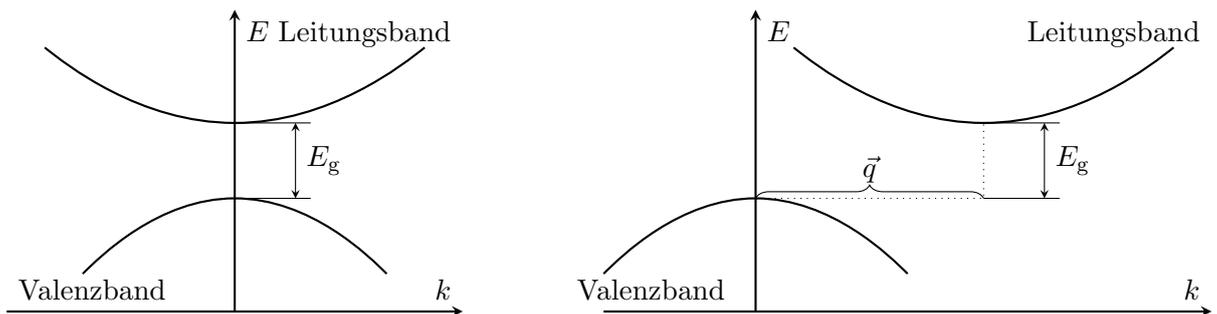
emittiert wurden. ((HRW09) S. 1291 ff.) Diese Erklärung basiert auf einem Zentralem Konzept der Festkörper Physik, dem Bändermodell. Das Bändermodell ist ein quantenmechanisches Modell zur Beschreibung von Energiezuständen in Halbleiterkristallen. (vergl. (IL09) Kapitel 7) Es lassen sich damit thermische, optische und elektrische Eigenschaften zeigen. In Abbildung 2.1 werden die Übergänge von Elektronen im Bändermodell von Halbleitern gezeigt.

Halbleiter mit direkten Übergängen, wie in Abbildung 2.1a eignen sich für LED-Lampen. In diesen fällt ein Elektron vom Leitungsband in das Valenzband und emittiert dabei Licht in Form eines Photons mit der Energie

$$E = h \cdot f \quad (2.1)$$

Der Betrag des Impuls des Photons  $p = \frac{h}{\lambda}$  ist bei diesem direktem Übergang im Vergleich zu einem indirektem Übergang so klein, dass er in den meisten Fällen vernachlässigt werden kann.

Halbleiter mit indirekten Elektronen Übergängen wie in Abbildung 2.1b emittieren kein Licht, da dort die Impulserhaltung nicht eingehalten werden kann. Diese Halbleiter finden sich in verschiedenen elektrischen Bauteilen wie Solarzellen, oder Dioden, die den Strom nur in eine Richtung durchlassen.



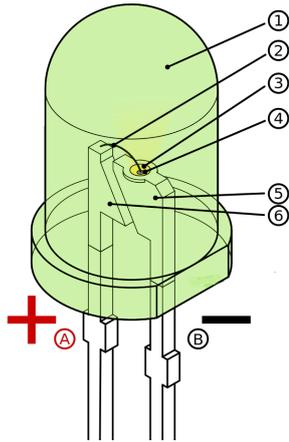
(a) Beim direkter Übergang von Elektronen zwischen dem Leitungsband und dem Valenzband wird Energie in Form von Photonen freigesetzt.

(b) Beim indirekter Übergang von Elektronen zwischen dem Leitungsband und dem Valenzband wird Energie in Form von Wärme abgegeben.

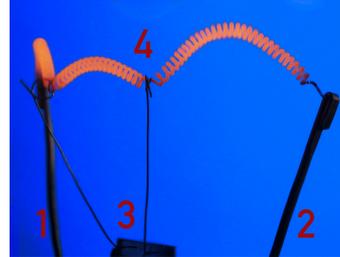
**Abbildung 2.1:** Übergänge zwischen Valenzband (Im Allgemeinen das höchste besetzte Elektronenenergieband am absoluten Temperatur-Nullpunkt) und Leitungsband (Das Energieband, das am absoluten Temperatur-Nullpunkt über dem Valenzband liegt.)

Der benötigte Strom, um eine LED-Lampe zum leuchten zu bringen, ist sehr gering. LED-Lampen benötigen meistens weniger als 20W und sind dabei genauso hell, oder heller als Glühlampen. Ca. 30% der Energie die die LED-Lampe aufnimmt wird auch in Licht umgewandelt. Es gibt in Laborversuchen bereits noch effizientere LED-Lampen, diese sind allerdings noch nicht für den normalen Gebrauch nutzbar.

LED-Lampen leuchten prinzipiell nur in einer Farbe. Diese wird durch das Material des Halbleiters bestimmt. LED-Halbleiter bestehen aus Kombinationen von Elementen wie Phosphiden und Arseniden. Bei Rekombination von Ladungsträgern werden Photonen entsprechend bestimmter diskreter Energieniveaus abgegeben. Aus Formel 2.1 folgt, dass die Energie mit der das Photon abgegeben wird, mit einer bestimmten Wellenlänge korreliert. Durch diese wird die jeweilige Lichtfarbe bestimmt.



(a) Eine LED Lampe mit Gehäuse (1), dem Bonddraht (2), Reflektor (3), Halbleiterkristall (4), Anode (6/A) und Kathode (5/B) [Quelle: (Ind09)]



(b) Eine vergrößerte Darstellung des Glühdrahtes einer Glühlampe mit Anode und Kathode (1+2), den elektr. neutralen Stützdrähten (3) und dem Glühdraht (4) [Quelle: (Arn05)]

**Abbildung 2.2:** Funktionsprinzipien von LED-Lampen und Glühlampen.

Blaues Licht entsteht zum Beispiel, wenn eine hohe Energie freigesetzt wird. Rotes Licht, wenn eine niedrigere Energie abgegeben wird. So wird das Licht einer Wellenlänge, also einfarbiges Licht, erzeugt. Und das ist das Besondere an LED: Jede-LED-Lichtfarbe beschränkt sich auf einen sehr schmalen Wellenlängenbereich (Stichwort: dominante Wellenlänge), welcher dementsprechend nur eine ganz bestimmte Lichtfarbe repräsentiert.

Das einzige Spektrum, das nicht direkt aus dem Chip erzeugt werden kann, ist das weiße Lichtspektrum, da weißes Licht eine Mischung aus sämtlichen Lichtfarben darstellt. Um weißes Licht mit LED-Lampen zu erzeugen wird entweder das Prinzip der additiven Farbmischung verwendet (siehe Abbildung 2.3a) oder Lumineszenzkonversion (siehe Abbildung 2.3b). Dies sind die gängigsten Verfahren.

### 2.1.2 Lichtgrößen

Damit die Lampen im folgenden verglichen werden können, ist es notwendig sich mit den Begriffen der Lichttechnik zu befassen.

| Größe              | Einheit               | Symbol | Größe              | Einheit         |
|--------------------|-----------------------|--------|--------------------|-----------------|
| Lichtstrom         | $lm = \frac{1sr}{cd}$ | $\Phi$ | Strahlungsstärke   | $1W$            |
| Beleuchtungsstärke | $lx = \frac{lm}{m^2}$ | E      | Bestrahlungsstärke | $\frac{W}{m^2}$ |

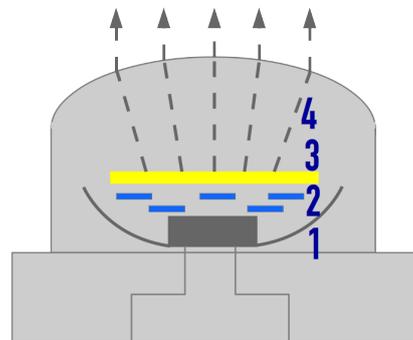
**Tabelle 2.1:** Gegenüberstellung radiometrischer und Photometrischer Lichtgrößen

Die Bewertung von Lampen erfolgt auf zwei Wegen. Zum einen messen technische Geräte die direkte Beleuchtungsstärke als Äquivalent zur Bestrahlungsstärke. Zum anderen müssen bei der Bewertung von Lampen durch das menschliche Auge besondere Biologische Faktoren berücksichtigt werden.

Zur besseren Übersicht der verschiedenen Lichtgrößen und zur Einordnung der radiometrischen und der photometrischen Größen, ist in Tabelle 2.1 aufgeschlüsselt wie



(a) Das weiße Licht wird bei der additiven Farbmischung durch die Mischung von rotem, grünem und blauem Licht (RGB) mit unterschiedlichen Wellenlängen erzeugt. Der Vorteil bei dieser Methode: Durch gezielte Ansteuerung kann die Lichtfarbe verändert werden. So kann neben weißem Licht auf Wunsch auch farbiges Licht erzeugt werden. Dieses Verfahren wird zum Beispiel im Bereich von LED-Fernsehern angewendet, bei denen LED zur Bilddarstellung und zur Hintergrundbeleuchtung eingesetzt werden.



(b) Bei einer LED mit Lumineszenzkonversion wird das weiße Licht (4) dadurch erzeugt, dass eine oberhalb einer blau leuchtenden LED (1 und 2) angebrachte sehr dünne Phosphorschicht (3) durch das kurzwellige und energiereiche Licht der blauen LED dazu angeregt wird, energieärmeres gelbes Licht zu emittieren. Dabei entsteht auch weißes Licht. Der Farbton kann durch die Menge an Phosphorfarbstoff variiert werden.

**Abbildung 2.3:** Weißes Licht wird nach zwei gängigen Verfahren erzeugt. Entweder über die additive Farbmischung, oder über die Photolumineszenz.

die Photometrischen (physiologischen) und Radiometrischen (physikalischen) Lichtgrößen zueinander stehen. Die Größen sind physikalisch äquivalent. Im Alltäglichen Gebrauch hat sich allerdings der Lichtstrom als Bewertungskriterium für die Vergleichbarkeit von Lampen durchgesetzt und wird auf die Verkaufsverpackungen gedruckt.

Das menschliche Auge passt sich je nach Helligkeit unterschiedlich an. Bei Dunkelheit erfolgt die Dunkeladaption und die Pupillen erweitern sich, so wird bis zu 80 mal mehr Licht aufgenommen und es werden insbesondere die Stäbchen auf der Netzhaut aktiviert. Diese sind für das Schwarzweiß-Sehen verantwortlich. Zusätzlich werden biochemische Prozesse ausgelöst, die die Lichtausbeute erhöhen. Bei Helligkeit erfolgt die (im Vergleich zur Dunkeladaption sehr viel schnellere) Helladaption und die Pupillen verengen sich. Es werden vor allem die Zäpfchen auf der Netzhaut aktiviert, diese sind vor allem für das Farbe-Sehen verantwortlich. Auch hier fördern biochemische Prozesse den notwendigen Prozess der dafür Verantwortlich ist, dass die Zellen jetzt Lichtunempfindlich werden. (siehe (BDD01))

Durch diese Anpassung des menschlichen Auges verschiebt sich die Empfindlichkeit des für bestimmtes Licht im Wellenspektrum. Es wird beim Dunkeladaptierten Auge vor allem blaues Licht sehr gut wahrgenommen, beim Helladaptiertem Auge vor allem grünes Licht sehr gut wahrgenommen. (aus (Sch14) Seite 3.)

**Lichtstrom  $\Phi$**  Der Lichtstrom wird in Lumen (lm) angegeben und beschreibt die von einer Lichtquelle in alle Richtungen abgestrahlte Lichtleistung.

Die Definition des Lichtstroms basiert auf der Bewertung der Strahlenleistung des Lichtes unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Wahrnehmung des menschlichen Auges aufgrund der Hell-Dunkeladaption von Licht.

**Beleuchtungsstärke  $E$**  Die Beleuchtungsstärke wird in Lux (lx) angegeben und beschreibt das Verhältnis von Lichtstrom und beleuchteter Fläche.

$$\begin{aligned} \text{Beleuchtungsstärke} &= \frac{\text{Lichtstrom}}{\text{Fläche}} \\ E &= \frac{\Phi}{A} \end{aligned} \tag{2.2}$$

### 2.1.3 Energieeffizienz

Die Energieeffizienz ist ein Maß für den Energieaufwand zur Erreichung eines festgelegten Nutzens. Im Gegensatz zum Wirkungsgrad (der im Kapitel 3 ausführlicher behandelt wird) bedarf der Nutzen hier keiner energetischen Definition. Ein Vorgang ist dann effizient, wenn ein bestimmter Nutzen mit minimalem Energieaufwand erreicht wird. Dies entspricht dem ökonomischen Prinzip (namentlich dem Minimalprinzip).

Die Effizienz von den Lampen wird über die subjektive Wahrnehmung der Helligkeit beurteilt. Die Helligkeit ist zwar eine Messbare aber letztlich eine durch subjektive Wahrnehmung beeinflusste Größe. Um die Effizienz letztlich zu ermitteln, muss das Verhältnis von benötigter Leistung (Watt) und der daraus gewonnen (Licht-)Leistung ( $\frac{lm}{W}$ ) ermittelt werden. Anschließend wird die (Licht-) Leistung ermittelt und somit die Effizienz beurteilt. Die Umrechnung erfolgt ausschließlich aufgrund der Tatsache, dass sich Lumen als Angabe auf den Verpackungen von Lampen durchgesetzt hat und somit einen einfachen Ansatz zur Vergleichbarkeit bietet. Quantitativ ist der Lichtstrom mit der Beleuchtungsstärke äquivalent.

## 2.2 Experiment zur Energieeffizienz

Die zuvor theoretischen Überlegungen sollen nun in einem Experiment untersucht werden. Ziel dieses Experiments ist die Veranschaulichung von unerwünschter Energieumwandlung. Anhand der Wärmeentwicklung, der Lichtausbeute und der Leistungsaufnahme wird eine LED-Lampe mit einer Glühlampe verglichen.

### 2.2.1 Durchführung

Die Glühlampe wird in die Fassung geschraubt und eingeschaltet. Das Stativ mit dem Lux Sensor wird seitlich dazugestellt und an das Messinstrument angeschlossen. Nach dem sich ein stabiler Helligkeitswert eingestellt hat wird dieser erfasst. Das Stativ wird ersetzt durch ein weiteres Stativ mit dem Temperaturfühler. Dieser wird nun an das Messgerät angeschlossen und, nach dem sich der Messwert stabilisiert hat, die Temperatur erfasst.

Die Lampe in der Fassung wird mit der LED-Lampe ersetzt und die Messung der Helligkeit und der Temperatur wiederholen sich nach dem obigen Schema.

### 2.2.2 Auswertung

Durch grafisches Auftragen der gemessenen Werte wie in Abb. 2.4 werden deutliche Unterschiede bei Faktoren, die die Energieeffizienz beeinflussen, schnell sichtbar. Die Grafiken vergleichen die Verbrauchswerte, die Beleuchtungsstärke und die erzeugte Wärme der Glühlampe und der LED-Lampe.

Um die Energieeffizienz letztlich vergleichen zu können sollte vor allem die Beleuchtungsstärke noch in den Lichtstrom umgewandelt werden. Dadurch werden die beiden Lampen besser vergleichbar. Um die gemessene Beleuchtungsstärke in den Lichtstrom umzuwandeln, wird die Lichtstärke mit der Fläche des Sensors multipliziert. Beispielfür die LED-Lampe:

$$\begin{aligned} \text{Lichtstärke} \cdot \text{Fläche} &= \text{Lichtstrom} \\ E \cdot A &= \Phi \\ 70000 \cdot 0,02 &= 14000 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Die Lichtausbeute, also der Wert der uns eine Auskunft über die Effizienz gibt, wird in diesem Zusammenhang über den Lichtstrom pro Leistung angegeben. Da die Lichtausbeute die Effizienz, eine einheitenfreie Größe, beschreibt, gibt es hier keine Einheit.

$$\begin{aligned} \frac{\text{Lichtstrom}}{\text{Leistung}} &= \text{Lichtausbeute} \\ \frac{1400}{20} &= 70 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Um diese Angabe noch etwas anschaulicher zu machen wird nun über das Verhältnis der Lichtausbeute zur gesamten Energie der Wirkungsgrad bestimmt.

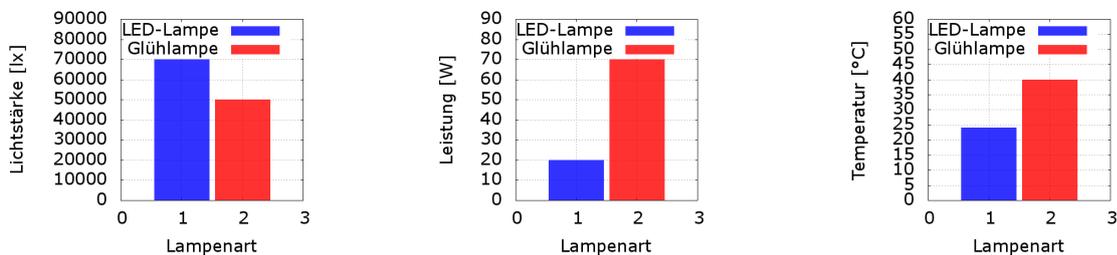
$$\frac{\text{Lichtausbeute}}{\text{Leistung}} = \text{Wirkungsgrad} \quad (2.5)$$

$$\frac{70}{20} = 35$$

In Tabelle 2.2 sind die Messwerte entsprechend umgewandelt. Es ergibt sich ein Wirkungsgrad von 2% für die Glühlampe und 35% für die LED-Lampe. Diese Werte sind realistisch und zeigen eindrucksvoll, wie viel der Energie von der Glühlampe in Wärme umgewandelt wird und wie wenig in sichtbares Licht. Die grafische Auswertung der Tabelle 2.2 in Abbildung 2.4 zeigt deutlich das Verhältnis der Lichtstärke im Vergleich zur aufgenommenen Energie und der abgegebenen Wärme.

|                                 | LED-Lampe | Glühlampe |
|---------------------------------|-----------|-----------|
| Leistung[W]                     | 20        | 70        |
| Temperatur[°C]                  | 24        | 40        |
| Lichtstärke[lx]                 | 70000     | 50000     |
| Fläche[m <sup>2</sup> ]         | 0,02      | 0,02      |
| Lumen[lm]                       | 1400      | 1000      |
| Lichtausbeute[ $\frac{lm}{W}$ ] | 70        | 14        |
| Wirkungsgrad[%]                 | 35        | 2         |

**Tabelle 2.2:** Verbrauchswerte einer LED-Lampe im Vergleich mit einer Glühlampe.



(a) Vergleich der Lichtstärke. (b) Vergleich der Leistungsaufnahme. (c) Vergleich der Temperatur.

**Abbildung 2.4:** Verbrauchswerte einer LED-Lampe im Vergleich mit einer Glühlampe. Die Grafiken veranschaulichen das Verhältnis von Temperatur und Leistung zur abgegebenen Lichtstärke. Die Temperaturangabe erfolgt zur besseren Lesbarkeit in °C

# Kapitel 3

## Nahrungsmittelzubereitung

Die Zubereitung von Nahrungsmitteln ist ebenfalls ein wichtiger Bereich der Energienutzung im Haushalt. Kochen dabei nur ein sehr grober Begriff. Das Zubereiten eines kompletten Essen ist nur eine von viele Möglichkeiten Energie zur Nahrungsmittelzubereitung zu nutzen. Die Nutzung einer Mikrowelle um ein Fertiggericht zuzubereiten zählt ebenso dazu wie das Erwärmen von Wasser für einen Tee oder Kaffee.

Da das Erwärmen von Wasser eine sehr häufige und einfache Art der Energienutzung in diesem Bereich ist, ist es sinnvoll, dieses Thema experimentell zu untersuchen. Insbesondere ist hierbei der Wirkungsgrad von Interesse, der im Kapitel 2 bereits unter dem Begriff der Effizienz betrachtet wurde.

### 3.1 Wirkungsgrad unterschiedlicher Kochplatten

Ziel dieses Experiments ist die Veranschaulichung des Wirkungsgrad anhand der benötigten Zeit um eine definierte Menge Wasser zum Kochen zu bringen. Dazu wird eine E-Herd Platte und eine Induktionskochplatte benutzt.

Der Wirkungsgrad ist ein Maß für die Effizienz von Energiewandlungen und Energieübertragungen. Er ist eine dimensionslose Größe und beschreibt das Verhältnis der Nutzleistung  $P_{ab}$  zur zugeführten Leistung  $P_{zu}$  oder das Verhältnis der in einer bestimmten Zeit erhaltenen Nutzenergie  $E_{ab}$  zur in der gleichen Zeit zugeführten Energie  $E_{zu}$ . Üblicherweise wird der Wirkungsgrad mit dem griechischen Buchstaben  $\eta$  bezeichnet.

Bei näherer Betrachtung erschließt sich, dass die abgegebene Arbeit nicht größer sein darf als die zugeführte Arbeit, daher kann der Wirkungsgrad nie über "1" steigen, was in Prozent ausgedrückt 100% entspricht. Im Falle der Kochplatte ist die zugeführte Arbeit die elektrische Arbeit zum Erhitzen des Kochgeschirr. In der Theorie lässt sich dieser Sachverhalt über die Formel:

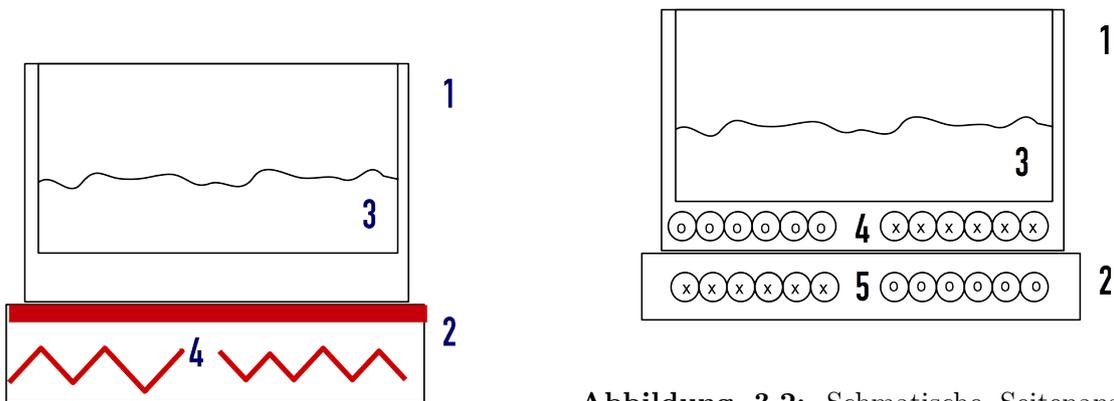
$$\begin{aligned}\eta &= \frac{W_{ab}}{W_{zu}} \\ &= \frac{Q}{W_{el}} \\ &= \frac{m \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T}{P \cdot t}\end{aligned}\tag{3.1}$$

zeigen.

Dabei ist  $m$  die Masse der Wassermenge,  $\Delta T$  die Temperaturdifferenz vor und nach dem zufügen der elektrischen Arbeit, welche als  $W_{el}$  bezeichnet wird.  $P$  bezeichnet die Leistung, in unserem Falle die der Koch- bzw. Induktionsplatte.  $t$  ist die für den Erwärmungsprozess benötigte Zeit.  $c_{H_2O}$  beschreibt die spezifische Wärmekapazität des Wassers mit  $c_{H_2O} = 4,19 \frac{J}{g \cdot K}$ . Die Einheit der spezifischen Wärme lautet  $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ , die hier verwendete Einheit lässt sich daraus ableiten.<sup>1</sup> Für die praktische Anwendung wird ein Wirkungsgrad angestrebt, der sich 1 nähert. Also der Fall, bei dem die genutzte Energie zu einem möglichst großem Teil der aufgewendeten Energie entspricht.

### 3.1.1 Funktionsweise unterschiedlicher Kochplatten

Viele Varianten von Herden (in diesem Fall Elektroherd) haben einen geringen Wirkungsgrad, da zumeist der "Herd" erwärmt wird und dadurch der Topf auf dem Herd, durch die geleitete Wärme, wird dann die Energie an das Gargut (hier Wasser) abgegeben und so erwärmt. Um also Wasser zu erhitzen wird Energie genutzt, um eine Auflage für einen Topf zu erhitzen, die wiederum den Topf erhitzt, der das Wasser beinhaltet. 3.1 Das Kochen per Induktion erfolgt mit einem höherem Wirkungsgrad, da dort die Hitze direkt im Kochgeschirr erzeugt (induziert) wird. Wie das funktioniert und wie sich das auf den Wirkungsgrad ausübt wird im folgendem betrachtet.



**Abbildung 3.1:** Schematische Seitenansicht einer Elektroherdplatte (2) mit einem Heizelement (4). Auf der Platte befindet sich ein Topf (1), welcher mit Wasser (3) gefüllt ist .

**Abbildung 3.2:** Schematische Seitenansicht einer Induktionsplatte (2) mit der Spule (5) und einem Topf (1) gefüllt mit Wasser (3). Im Topf ist das im Boden des Topfes entstehende korrespondierende Magnetische Feld (4) dargestellt.

Worin besteht nun der Unterschied zwischen der E- Herdplatte und der Induktionsplatte? Bei der Induktionsplatte wird folgendes Prinzip verwendet: Energie wird in Form von zeitlich veränderlichen Feldern auf das Kochgeschirr übertragen und in Wärme umgewandelt. Die besagten Felder werden erzeugt, indem sich unterhalb eines Ceranfeldes eine stromdurchflossene Spule befindet. Diese erzeugt ein magnetisches Wechselfeld, welches wiederum Wirbelströme erzeugt, die das Metall durch den ohmschen Widerstand ( $R = \frac{U}{I}$ ) aufheizen. Die Erwärmung kommt dadurch zu Stande, da das elektrische Feld die Elektronen im Leiter in Bewegung versetzt. Diese reiben an und im Material des Leiters. Durch diese Reibung entsteht Wärme. Um möglichst hohe

<sup>1</sup>nach: <http://www.chemie.de/lexikon/Spezifische.W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t.html>

Wirkungsgrade zu erzielen empfiehlt es sich einen Topf mit ferromagnetischem Material im Boden zu verwenden.

### Theoretische Betrachtung der Induktionsplatte

Die Induktion lässt sich theoretisch betrachtet durch das Induktionsgesetz, eine der Maxwell Gleichungen erläutern. Die Erzeugung eines Magnetfeldes erfolgt durch zeitlich veränderliche elektrische Felder. Genauer gesagt: Das Kreuzprodukt aus Nablaoperator mit dem vektoriellen elektrischen Feld erzeugt ein zeitlich veränderliches Magnetfeld, nach dem Induktionsgesetz

$$\nabla \times E = -\frac{\delta B}{\delta t} \quad (3.2)$$

Durch das negative Vorzeichen des sich ergebenden Magnetfeldes lässt sich schließen, dass die Ursache der Wirkung entgegengestellt ist (aus der Lenz'schen Regel). Ebenso lässt sich der umgekehrte Fall damit zeigen, denn zeitlich veränderliche Magnetfelder erzeugen wiederum ein zeitlich veränderliches elektrisches Feld, nach dem erweiterten Durchflutungsgesetz. Die Zeitabhängigkeit der Felder ist durch  $\frac{\delta}{\delta t}$  gegeben.  $\nabla$  bedeutet eine komponentenweise (partielle) Ableitung, diese wird mittels Kreuzprodukt (gekennzeichnet durch  $\times$ ) auf das elektrische Feld angewandt.

$$\nabla \times B = \mu_0 \cdot j + \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\delta E}{\delta t} \quad (3.3)$$

Die Vorfaktoren vor der zeitlichen Ableitung stellen den Verschiebungsstrom dar.  $\mu_0$  beschreibt dabei die magnetische Feldkonstante, sie spielt eine Rolle bei der Beschreibung von Magnetfeldern.  $\epsilon_0$  ist dabei die elektrische Feldkonstante, sie wiederum ist das Äquivalent zur magnetischen Feldkonstante. Sie spielt wiederum eine Rolle bei der Beschreibung von elektrischen Feldern.  $j_0$  ist hierbei der Betrag der Stromdichte. Diese Vorfaktoren bilden, wie bereits erwähnt, den Verschiebungsstrom. Der totale elektrische Strom in einem System setzt sich aus eben diesem Verschiebungsstrom und dem Strom zusammen, der entsteht, wenn Ladungsträger durch den Leiter bewegt werden. Ein elektrisches Feld besteht aus zwei Komponenten. Einerseits dem Leistungsstrom, welcher durch die bewegten Elektronen im Leiter erzeugt wird (hier durch Induktion durch das Magnetfeld) und dem Verschiebestrom, der sich durch die Vorfaktoren beschreiben lässt. Er beschreibt die zeitliche Veränderungsrate des elektrischen Flusses und ist nicht an einen Leiter gebunden.

## 3.2 Experiment zum Wirkungsgrad unterschiedlicher Kochplatten

Verglichen wird der Wirkungsgrad von einer Elektroherdplatte mit dem einer Induktionskochplatte. Damit können wir Aussagen über die Energienutzung von zwei verschiedenen funktionierenden Herdarten machen. Die Ermittlung des Wirkungsgrades geschieht über das Erhitzen von Wasser zum Siedepunkt. Die benötigte Zeit und die genutzte Leistung, sowie die verwendete Wassermasse sind dafür ausschlaggebend.

### 3.2.1 Durchführung

Der mittels Leitungswasser temperierte Topf wird mit 0,4 l Wasser gefüllt und auf die E-Herd Kochplatte gestellt. Der Temperaturfühler wird mittels eines Stativs so im Topf platziert, dass der Fühler mittig im Wasser ist und nicht zu nah am Topfrand, nicht zu nah am Topfboden und nicht zu nah an der Wasseroberfläche. Die Starttemperatur des Wassers wird dokumentiert. Die Stoppuhr wird auf Null gestellt und zeitgleich mit der Herdplatte aktiviert. Bei einer Temperatur von 100°C wird die Uhr gestoppt.

Die E-Herd Kochplatte wird durch eine Induktionskochplatte ausgetauscht. Der Topf wird nun mittels Leitungswasser temperiert, mit 0,4 l Wasser gefüllt und auf die Induktionsplatte gestellt. Der Temperaturfühler wird wie bei der E-Herd Kochplatte mittig im Wasser des Topfes ausgerichtet. Nachdem die Stoppuhr auf Null gestellt wurde wird sie zeitgleich mit der Induktionsplatte aktiviert. Bei einer Temperatur von 100°C wird die Uhr gestoppt.

### 3.2.2 Auswertung

Während der Kochvorgänge beider Kochplatten wird mittels des Leistungs- und Energiemesser geprüft, dass beide Kochplatten mit der selben Leistung arbeiten. Die Stoppuhr erfasst die Zeit bis 100° C erreicht wurden. Mittels der beiden aufgenommenen Zeiten wird der Wirkungsgrad ermittelt. Anmerkung: Durch Messungenauigkeiten bei einigen Temperaturfühlern, kann es passieren, dass das Wasser kocht, bevor auf der Anzeige die 100° C erreicht sind. Die Zeit wird beim Sieden des Wassers gestoppt und die Temperaturdifferenz mit dem beim Stoppzeitpunkt gemessenen Temperaturwert errechnet. Mit den vorhandenen Werten kann über die Formel (3.1) der jeweilige Wirkungsgrad ermittelt und miteinander verglichen werden. Für die Elektroherdplatte:

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{m \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T}{P \cdot t} \\ &= \frac{400 \text{ g} \cdot 4,19 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot 80 \text{ K}}{1400 \text{ W} \cdot 600 \text{ s}} \\ &= 0,16\end{aligned}\tag{3.4}$$

Das entspricht einem Wirkungsgrad von 16 %. Das bedeutet, nur 16% der zugeführten Energie, werden effektiv für das Erwärmen des Wassers verwendet, der Rest geht als Wärme in den Raum und erwärmt die Umgebung der Platte. Für die Induktionsplatte:

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{m \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T}{P \cdot t} \\ &= \frac{400 \text{ g} \cdot 4,19 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot 80 \text{ K}}{1400 \text{ W} \cdot 120 \text{ s}} \\ &= 0,80\end{aligned}\tag{3.5}$$

Was wiederum einem Wirkungsgrad von 80% entspricht. Der Vergleich zeigt, dass die Induktionsplatte den Eindeutig höheren Wirkungsgrad und damit die bessere Energienutzung besitzt. Bei den durchgeführten Messungen ist eine deutliche Zeitersparnis bei der Induktionsplatte zu bemerken. Für das Erhitzen der gleichen Menge Wassers, benötigt diese nur ca.  $\frac{1}{5}$  der Zeit, welche die Elektroherdplatte benötigt (vgl.

$t_{EHerd} = 600s; t_{Indukt.} = 120s$ ). Bezogen auf Energiesparen ist die Induktionsplatte die bessere Wahl. Zusätzlich sei erwähnt, dass durch Auflegen des Deckels beim Kochen der Wirkungsgrad für beide Platten noch erhöht werden kann, da so die Wärme im Topf vom Deckel reflektiert wird und damit nochmals auf das Gargut treffen kann.

Eine Übersicht der verwendeten Parameter, sowie der errechneten Wirkungsgrade ist in Tabelle 3.1 einsehbar.

|   | E-Herdplatte | Induktionsplatte |
|---|--------------|------------------|
| Leistung[W]   | 1400         | 1400             |
| Temperaturdifferenz[K]  | 80           | 80               |
| spezifische Wärmekapazität von Wasser $[\frac{J}{g \cdot K}]$ | 4,19         | 4,19             |
| Wassermasse[g]  | 400          | 400              |
| Zeit[s]   | 600          | 120              |
| Wirkungsgrad[%]   | 16           | 80               |

**Tabelle 3.1:** Gegebene und errechnete Werte für die Wirkungsgrade.

# Kapitel 4

## Fazit

Wir haben nun einen guten Überblick über Sparpotentiale in unseren Haushalten. Wir haben anhand des Konvektionsexperimentes gezeigt, wie wir vernünftig unsere Räume heizen und lüften um eine möglichst effiziente Energienutzung zu gewährleisten. Genau aus diesem Grund werden Heizkörper direkt unter Fenstern montiert: Durch das Lüften, also den Lufteinstrom von draußen, wird die erhitzte Luft von der Heizung in unseren Raum getragen und kann dort durch die Konvektion hochsteigen. Ebenso haben wir gezeigt, wie viel schneller und effizienter wir mit der richtigen Ausstattung kochen können, eine Induktionsplatte im Haushalt spart Zeit und Geld im Bereich Energienutzung. Die Induktionsplatte nutzt mehr der ihr gegebenen Energie, weniger geht als Verlust in den Raum ab. Auch im Bereich Beleuchtung haben wir gezeigt, dass es gute Möglichkeiten gibt auch hier Geld zu sparen. Eine gute LED Lampe nutzt deutlich weniger Energie, für eine im Endeffekt größere Lichtausbeute, als eine handelsübliche Glühlampe. Noch dazu erwärmt diese nebenbei die Umgebene Luft stark. Hier spielt wieder der Wirkungsgrad eine Rolle, denn die Glühlampe arbeitet mit einer höheren Energiemenge als die LED, nutzt aber von dieser nur einen Bruchteil. Sparpotentiale stecken in jedem Haushalt, wie wir gesehen haben. Es ist an uns, diese auch zu nutzen und damit den steigenden Energiepreisen zuvorzukommen. Wenn die Preise für unsere genutzte Energie steigen, dann können wir mindestens dafür Sorgen, dass die Energie, die wir bezahlen möglichst effizient genutzt wird.

**Teil III**  
**Anhang**

# Kapitel 5

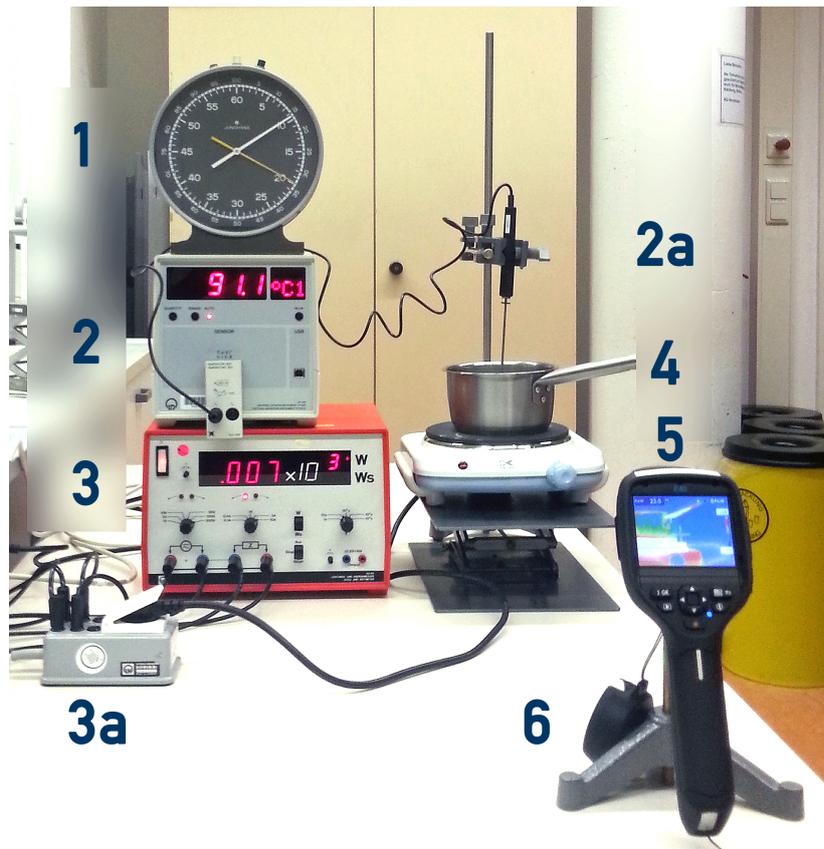
## Details zu den Experimenten

### 5.1 Kochen

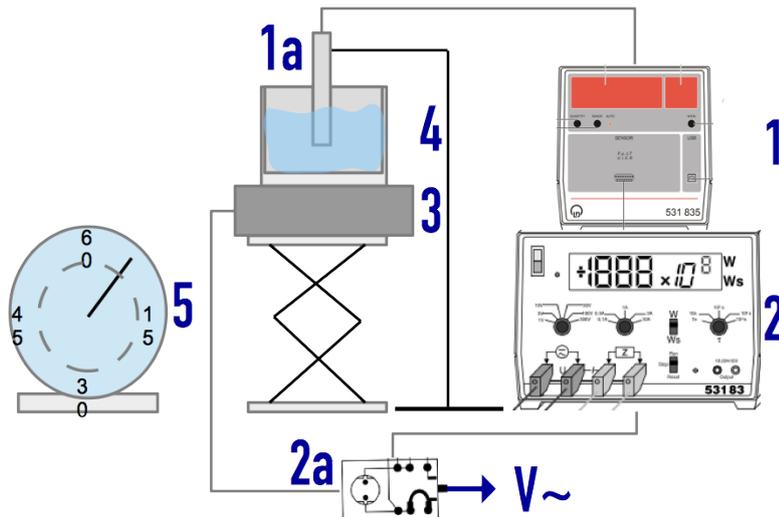
#### 5.1.1 Material

- Hauptmaterial
  - Leistungs- und Energiemesser (Leybold 531 83)
  - Messanschlusskasten (Leybold 502 05)
  - Tischstoppuhr, mechanisch (Junghans 312/2841)
  - Universelles Messinstrument Physik Sprinter 8 (Leybold 531 835)
  - Temperaturfühler NTC (Leybold 666 212) mit Temperatur-Box (Leybold 524 045)
  - Induktions-Einzelkochplatte (ProfiCook PC-EKI 1016)
  - E-Herd-Platte
  - Topf (mit magnetischem Boden)
  - Wärmebildkamera (FLIR E40)
  
- Zubehör
  - Becherglas
  - Wasserhahn zum abkühlen des Topfes
  - Hebebühne (SwissBoy Rudolf Grauer AG)
  - Kabel
    - \* Sicherheitsbananenstecker (4 Stück)
    - \* Kaltgerätekabel (2 Stück)
  - Stativ-Material (Standfuß, Stange 1m, Stange 0,2 m, Muffen (2 Stück))

#### 5.1.2 Aufbau



**Abbildung 5.1:** Aufbau für das Experiment zum Wirkungsgrad mit verschiedenen Kochplatten. Die Messgeräte 1-3 dienen der Zeiterfassung (1) der Dauer bis eine bestimmte Temperatur (2) bei einer bestimmten Leistung (3) erreicht ist. Um die Leistung der Kochplatte (5) mit dem Messgerät (3) erfassen zu können, ist dieses mittels eines Messanschlusskastens (3a) zwischengeschaltet. Die Temperatur des Wasser im Topf (4) wird mittels eines Temperaturfühlers (2a) erfasst. Zur Veranschaulichung der Verlustwärme kann eine Wärmebildkamera (6) verwendet werden.



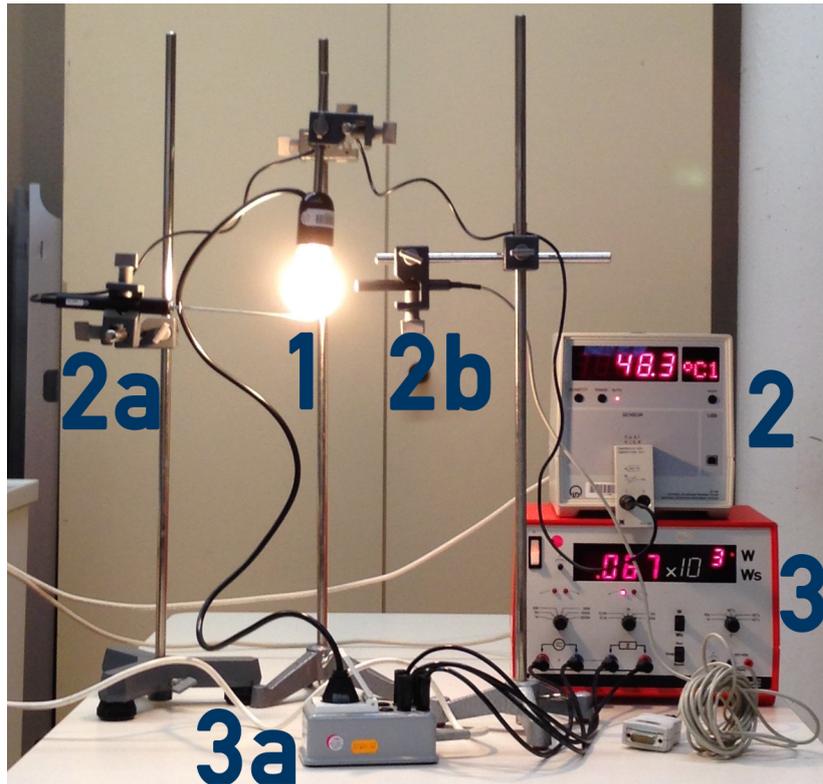
**Abbildung 5.2:** Die Kochplatte (3) wird über den Messanschlusskasten (2a) an den Leistungs- und Energiemesser (2) und einen normalen Netzanschluss angeschlossen. Mit dem Universal Messgerät (1) wird über den Temperatursensor (1a) die Temperatur des Wassers im Topf (4) gemessen. Die Zeit wird mit der Tischstoppuhr (5) gemessen.

## 5.2 Lampe

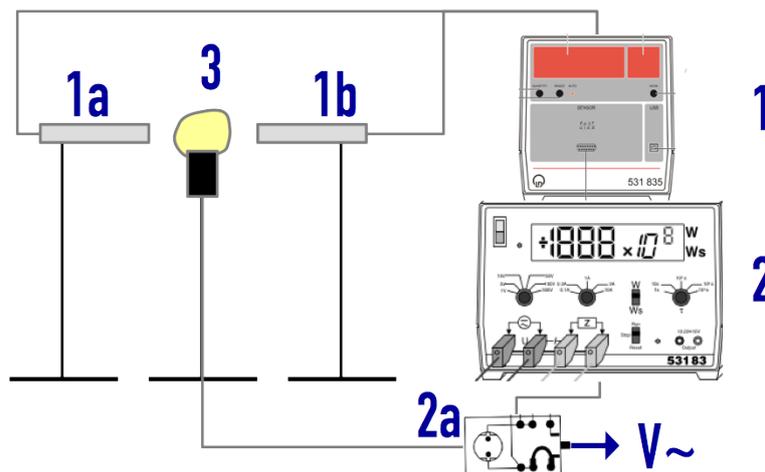
### 5.2.1 Material

- Hauptmaterial
  - LED-Lampe (TiWin: 5700 K; 13 W)
  - Glühlampe (Osram: 60 W; Wolfram-Draht)
  - Leistungs- und Energiemesser (Leybold 531 83)
  - Messanschlusskasten (Leybold 502 05)
  - Universelles Messinstrument Physik Sprinter 8 (Leybold 531 835)
  - Temperaturfühler NTC (Leybold 666 212) mit Temperatur-Box (Leybold 524 045)
  - Lux Sensor (Leybold 666 243) mit LUX-Box (Leybold 524 051)
- Zubehör
  - Lampenfassung E27 mit Stiel
  - Stativ-Material (Standfuß, Stange 1m, Stange 0,2 m, Muffen (2 Stück))
    - \* für die Lampenfassung
    - \* für den Temperatursensor
    - \* für den Lux Sensor

### 5.2.2 Aufbau



**Abbildung 5.3:** Aufbau für das Experiment zur Effizienz von Energie. Um die Leistung der Lampe (1) mit dem Messgerät (3) erfassen zu können, ist dieses mittels eines Messanschlusskastens (3a) zwischengeschaltet. Die Temperatur der Lampe wird mittels eines Temperatursensors (2a) auf dem Messgerät (2) erfasst. Die Helligkeit mit dem Lux Sensor (2b) ebenfalls auf (2) erfasst.



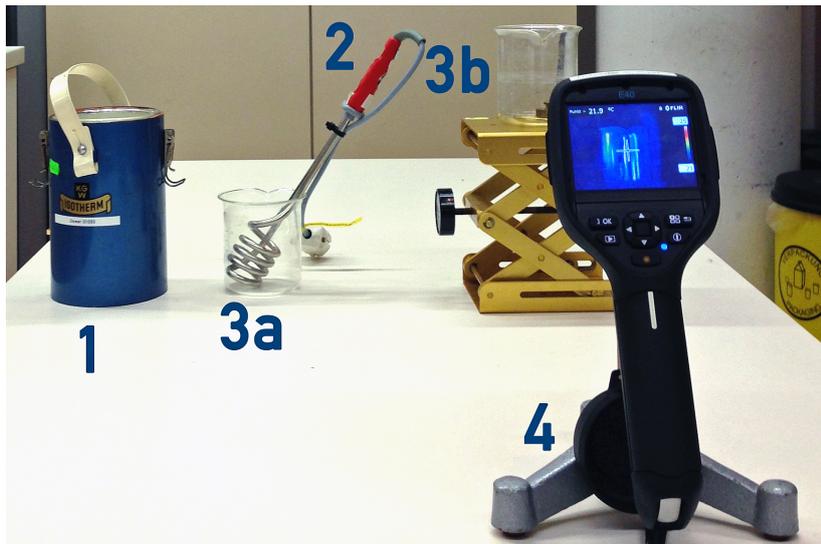
**Abbildung 5.4:** Die Lampe (3) wird über den Messanschlusskasten (2a) an den Leistungs- und Energiemesser (2) und einen normalen Netzanschluss angeschlossen. Mit dem Universal Messgerät (1) wird über den Temperatursensor (1a) und den Lux Sensor (1b) die Temperatur und die Lichtstärke gemessen.

## 5.3 Konvektion

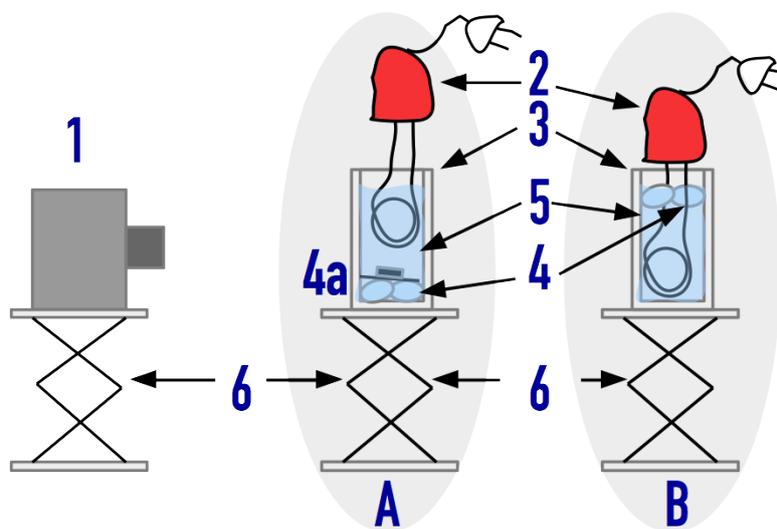
### 5.3.1 Material

- Hauptmaterial
  - Drahtgitter
  - 2 Bechergläser
  - Tauchsieder (Rommelsbacher RT350 mit Überhitzungsschutz)
  - Eiswürfel
  - Wärmebildkamera (FLIR E40)
- Zubehör
  - Stativmaterial für die Wärmebildkamera
  - isoliertes Behältnis für die Eiswürfel (Dewar 1l)
  - Hebebühne (SwissBoy Rudolf Grauer AG)

### 5.3.2 Aufbau



**Abbildung 5.5:** Aufbau für das Experiment zur Veranschaulichung von Konvektion. Die Temperaturverteilung von Wasser in den Bechergläsern (3a, 3b) wird mittels einer WärmebildKamera (4) veranschaulicht. Im Dewar (1) befinden sich Eiswürfel, die im Becherglas (3b) mittels eines Drahtgitters und eines Gewichtes am Boden gehalten werden.



**Abbildung 5.6:** Die Schematische Skizze zum Experiment Konvektion zeigt beide Teile des Experiments. A zeigt den Aufbau für die “Anti-Konvektion” und B den Aufbau für die Konvektion. Die WärmebildKamera (1) wird, genauso wie der Restliche Aufbau, mittels Stativ (6) auf eine Höhe gebracht. Die Eiswürfel (4) werden im Teil (A) mittels eines Gitters und eines Gewichts (4a) am Boden des Becherglases (3) im Wasser (5) gehalten. Das Wasser wird in beiden Teilen mit einem Tauchsieder (2) erhitzt.

# Tabellenverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Gegenüberstellung radiometrischer und Photometrischer Lichtgrößen . . . . . | 14 |
| 2.2 | Vergleich v. Verbrauchswerten bei Lampen . . . . .                          | 18 |
| 3.1 | Vergleich v. Wirkungsgraden der Kochplatten . . . . .                       | 23 |

# Abbildungsverzeichnis

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Grafik: Energieverbrauch in Deutschland 2012 . . . . .           | 5  |
| 1.1 | Bildreihe zu: Konvektion . . . . .                               | 10 |
| 1.2 | Bildreihe zu: “Anti-Konvektion” . . . . .                        | 10 |
| 2.1 | Grafik: Übergänge zwischen Valenzband und Leitungsband . . . . . | 13 |
| 2.2 | Veranschaulichung: Funktion von Lampen . . . . .                 | 14 |
| 2.3 | Veranschaulichung: wie entsteht weißes Licht . . . . .           | 15 |
| 2.4 | Grafik: Vergleich v. Verbrauchswerten bei Lampen . . . . .       | 18 |
| 3.1 | Veranschaulichung: E-Herdplatte Schema . . . . .                 | 20 |
| 3.2 | Veranschaulichung: Induktionsplatte Schema . . . . .             | 20 |
| 5.1 | Experiment: Wirkungsgrad versch. Kochplatten . . . . .           | 27 |
| 5.2 | Schema: Aufbau Kochen . . . . .                                  | 28 |
| 5.3 | Experiment: eff. Nutzung von Energie . . . . .                   | 29 |
| 5.4 | Schema: Aufbau Lampe . . . . .                                   | 29 |
| 5.5 | Experiment: Konvektion . . . . .                                 | 30 |
| 5.6 | Schema: Aufbau Konvektion . . . . .                              | 31 |

# Literaturverzeichnis

- [Arn05] ARNOLDIUS: Doppelwendel einer 200-Watt-Glühlampe mit Stromzuführung und zwei stromlosen Haltedrähten (Mitte). [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electric\\_bulb\\_filament.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electric_bulb_filament.jpg). Version:10 2005, Abruf: 19.01.2015. – Glühlampe
- [BDD01] BRECHNER, Dipl.-Biol. E. ; DINKELAKER, Dr. B. ; DREESMANN, Dr. D.: Kompaktlexikon der Biologie. <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/hell-dunkel-adaptation/5367>. Version:2001, Abruf: 19.01.2015
- [eur12] EUROSTAT, Your key to European s.: Energetischer Endverbrauch nach Sektor. <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&pcode=tsdpc320&language=de&toolbox=data>. Version:2012, Abruf: 19.01.2015
- [HRW09] HALLIDAY, David ; RESNICK, Robert ; WALKER, Jearl ; KOCH, Stephan W. (Hrsg.): Halliday Physik. 2. Auflage. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009 (978-3527406456)
- [IL09] IBACH, Harald ; LÜTH, Hans: Festkörperphysik. Springer Berlin Heidelberg, 2009 (Springer-Lehrbuch 978-3-540-85794-5). <http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-85795-2>
- [Ind09] INDUCTIVELOAD: Drawing of a 5mm round LED (the "normal" type), with numerical labels. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:LED,\\_5mm,\\_green\\_\(en\).svg#mediaviewer/File:LED,\\_5mm,\\_green\\_\(int\).svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:LED,_5mm,_green_(en).svg#mediaviewer/File:LED,_5mm,_green_(int).svg). Version:9 2009, Abruf: 19.01.2015. – Leuchtdiode
- [Rei87] REIF, Frederick: Statistische Physik und Theorie der Wärme. de Gruyter Berlin, New York, 1987 (3-11-011383-X)
- [Sch14] SCHWARZHANS, Dr. D.: Photometrie. 2014. – Vortrag über Photometrische Größen und den Zusammenhang zu physikalischen Größen