




Titel **Kalorimetrische Bestimmung des Wirkungsgrades von elektrischen Verbrauchern**

Autor Denis Nordmann

Version 13. Mai 2015, 07:34

Zitierung D. Nordmann. *Kalorimetrische Bestimmung des Wirkungsgrades von elektrischen Verbrauchern*. URL: <http://physik.co-i60.com> (abgerufen am: <Datum>)

Copyright  Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International zugänglich. Um eine Kopie dieser Lizenz einzusehen, konsultieren Sie <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> oder wenden Sie sich brieflich an Creative Commons, Postfach 1866, Mountain View, California, 94042, USA.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Grundlagen	2
2.1	Wärme und Wärmekapazität	2
2.2	Phasenumwandlung	2
2.3	Elektrische Energie	3
2.4	Der Wirkungsgrad	3
2.5	Kalorimetrie	3
2.5.1	Zwickel-Abgleich	5
3	Versuchsaufbau und -durchführung	6
3.1	Benötigte Geräte	7
4	Versuchsauswertung	7
4.1	Effizienzmessung mit Kochtopf und Elektroherd	7
4.1.1	Berechnung des Wirkungsgrades	8
4.1.2	Fehlerabschätzung	9
4.2	Effizienzmessung mit Wasserkocher (offene Heizspirale)	10
4.2.1	Berechnung des Wirkungsgrades	11
4.2.2	Fehlerabschätzung	11
5	Zusammenfassung	12

1 Einleitung

Für die Umwandlung der elektrischen Energie in Wärme können je nach Anwendung unterschiedliche Verbraucher verwendet werden. Einfache Beispiele aus dem Alltag sind z. B. der Wasserkocher, die Glühbirne oder der Föhn. Für eine effiziente Arbeitsweise müssen diese Geräte entsprechend konstruiert werden, sodass eine Wärmeübertragung mit geringen Verlusten an das zu erhitzende Medium stattfindet. Im folgenden Versuch wird die Effizienz eines Wasserkochers sowie eines Kochtopfes mithilfe der kalorimetrischen Methode untersucht. Dabei wird dem jeweiligen Gerät eine abgewogene Menge an Wasser zugeführt, erwärmt und anhand des Temperatur-Zeit-Verlaufs sowie der gemessenen elektrischen Leistung der Wirkungsgrad beider Methoden bestimmt.

2 Grundlagen

2.1 Wärme und Wärmekapazität

Die Wärme ist eine Energieform, die mit der Temperaturzunahme eines Stoffes zusammenhängt. Die Wärmemenge ΔQ , die man zur Temperaturänderung ΔT benötigt, wird von einer Stoffeigenschaft – der Wärmekapazität – bestimmt:

$$\Delta Q = C \cdot \Delta T. \quad (1)$$

Die Wärmekapazität C kann als Produkt der spezifischen Wärmekapazität c und der Gesamtmasse m geschrieben werden

$$C = m \cdot c, \quad (2)$$

wobei c eine Materialgröße ist und in der Einheit $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ angegeben wird. Das Wasser besitzt bei einer Temperatur von $20\text{ }^\circ\text{C}$ und konstantem Druck von 1 atm eine spezifische Wärmekapazität von $c_{\text{W}} = 4,18\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, welche beispielsweise etwa $11\times$ höher ist als die von Kupfer ($c_{\text{Cu}} = 0,386\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$) [1].

Die Wärmekapazität ist eine vom Aggregatzustand und der Temperatur abhängige Größe. Da sich die Wärmekapazität des betrachteten Stoffes über einen weiten Temperaturbereich nur geringfügig ändert, können somit kalorimetrische Messungen durchgeführt werden. Anhand der spezifischen Wärmekapazität, der Masse und der Temperaturdifferenz $\Delta T = (T_2 - T_1)$ lässt sich gemäß

$$\Delta Q_{\text{W}} = m_{\text{W}} \cdot c_{\text{W}} \cdot (T_2 - T_1) \quad (3)$$

die benötigte Energie berechnen, die z. B. benötigt wird, um 1 kg Wasser von 290 K auf 300 K zu erwärmen. Die Temperatur T_2 entspricht einer Temperatur im Endzustand (z. B. einer Mischtemperatur), T_1 hingegen einer Anfangstemperatur.

2.2 Phasenumwandlung

Wird einer Flüssigkeit ständig Wärmeenergie zugeführt, findet je nach Druck und Temperatur eine Änderung des Aggregatzustandes von flüssig auf gasförmig statt. Während des Siedens ändert sich die Temperatur der flüssigen Phase nicht und die zugeführte

Wärmeenergie wird zur Umwandlung der Flüssigkeit in Wasserdampf verbraucht [2]. Die Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme ist gegeben mit

$$\Delta Q_v = r_v \cdot m_v, \quad (4)$$

wobei r_v die spezifische Verdampfungswärme in J/kg ist und m_v die Masse der bereits verdampften Flüssigkeit ist. Wasser siedet beispielsweise bei einer Temperatur von 100 °C und einem Druck von 1 atm (1013 hPa). Die Verdampfungswärme von Wasser besitzt einen Wert von $r_v = 2256$ kJ/kg [2].

2.3 Elektrische Energie

Die Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme erfolgt in einem elektrischen Widerstand, z. B. einer Heizspirale. Aus der Elektrizitätslehre (vgl. Literatur, z. B. [1]) ist bekannt, dass die elektrische Leistung

$$P_{\text{el}} = U \cdot I \quad (5)$$

ist, vorausgesetzt der Strom I und die Spannung U sind zeitlich konstant. Wird elektrische Energie in einem Zeitintervall $\Delta t = (t_2 - t_1)$ vollständig in Wärmeenergie ΔQ umgesetzt, so gilt

$$\Delta Q_{\text{el}} = U \cdot I \cdot \Delta t \quad \Rightarrow \quad \Delta Q_{\text{el}} = P_{\text{el}} \cdot \Delta t. \quad (6)$$

Die mittlere elektrische Leistung ist auf jedem Verbraucher angegeben.

2.4 Der Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad η wird berechnet als Quotient einer abgegebenen Leistung (Nutzleistung) P_{ab} zu einer zugeführten (aufgenommenen) Leistung P_{auf} , also

$$\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{auf}}} \quad \text{bzw.} \quad \eta = \frac{\Delta Q_{\text{ab}}}{\Delta Q_{\text{auf}}} \quad (7)$$

Bei der Nutzleistung kann es sich z. B. um die elektrische Energie handeln, die zum Erwärmen des Wassers verwendet wird. Das Wasser sowie der Kalorimeter sind die Verbraucher – sie nehmen die zugeführte Leistung auf. In der Natur ist der Wirkungsgrad von Maschinen stets $\eta < 1$. Eine Maschine, die mit einem Wirkungsgrad von $\eta = 1$ arbeiten würde, wäre eine verlustfrei arbeitende Maschine, was nach dem Energieerhaltungssatz nicht möglich ist.

2.5 Kalorimetrie

Die Kalorimetrie beschäftigt sich mit der Messung von Wärmemengen. Zur Messung von Wärmemengen wird meist ein thermisch isolierter Behälter (Kalorimeter) verwendet, der einerseits den Wärmeaustausch mit der Umgebung und andererseits den Wärmeaustausch mit dem Inhalt des Kalorimeters (meist Wasser) minimiert. Im Falle der Effizienzmessung werden sehr ineffiziente Kalorimeter benutzt (Wasserkocher, Topf), welche viel Wärme an die Umgebung abgeben.

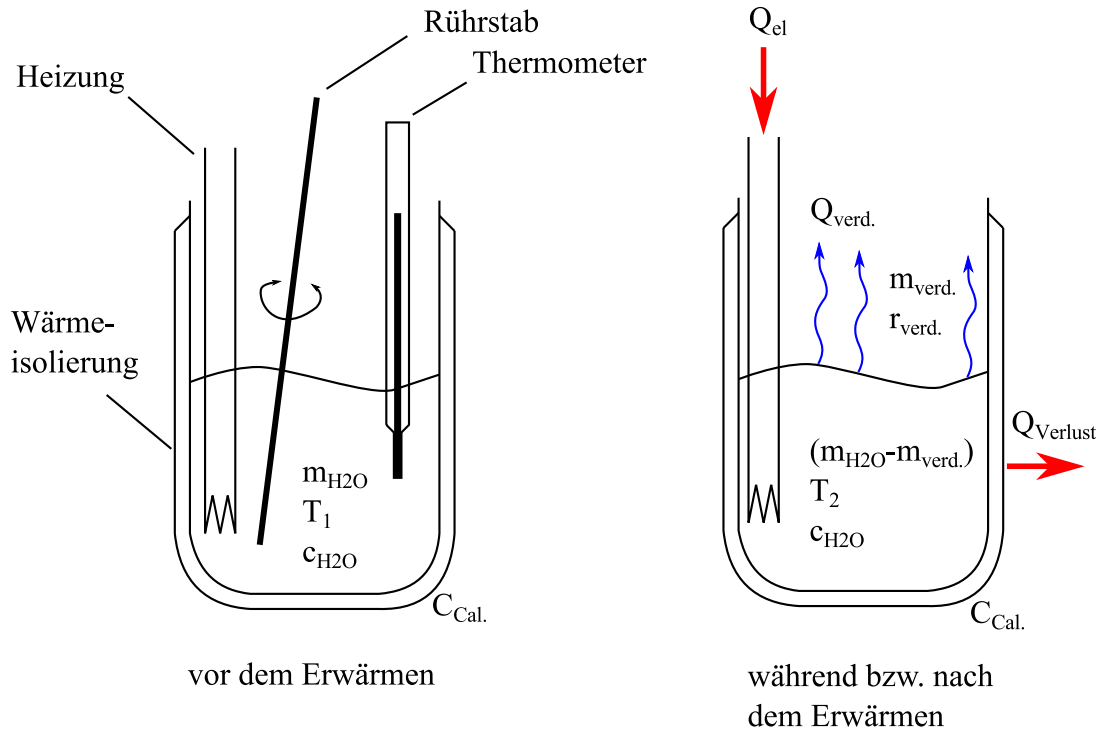


Abbildung 1: Vereinfachtes Modell eines Kalorimeters.

Für die Effizienzmessung wird ein vereinfachtes Kalorimeter-Modell gemäß Abbildung 1 betrachtet. Laut Energieerhaltungssatz ist die aufgenommene Wärmeenergie ΔQ_{auf} gleich der abgegebenen Wärmeenergie ΔQ_{ab} ist, also

$$\Delta Q_{\text{auf}} = \Delta Q_{\text{ab}}. \quad (8)$$

Die elektrische Heizung gibt Wärme an das Wasser, das Kalorimeter, das Thermometer sowie den Rührer ab. Ebenfalls muss die Verdampfung des Wassers in der Nähe des Siedepunkts berücksichtigt werden. Der Energieerhaltungssatz ließe sich somit schreiben als

$$C_{\text{Cal}} \cdot (T_2 - T_1) + r_v \cdot m_v + c_W \cdot (m_W - m_v) \cdot (T_2 - T_1) = U \cdot I \cdot (t_2 - t_1), \quad (9)$$

wobei C_{Cal} die Wärmekapazität des Kalorimeters ist (auch Kalorimeterkonstante genannt). Die Kalorimeterkonstante wird in der Praxis in einem separaten Experiment bestimmt – sie berücksichtigt die Erwärmung des Kalorimeters sowie des Zubehörs (Thermometer, Rührer etc.).

Soll der Wirkungsgrad des elektr. Verbrauchers kalorimetrisch bestimmt werden, können Gleichungen 7 und 9 miteinander kombiniert werden zu

$$\eta = \frac{C_{\text{Cal}} \cdot (T_2 - T_1) + r_v \cdot m_v + c_W \cdot (m_W - m_v) \cdot (T_2 - T_1)}{U \cdot I \cdot (t_2 - t_1)}. \quad (10)$$

In der Kalorimetrie können Wärmeenergieverluste minimiert, jedoch nicht vollständig verhindert werden. Für diesen Umstand wird ein sog. Zwickel-Abgleich durchgeführt – eine grafische Methode zur Berücksichtigung der Wärmeverluste des Kalorimeters [3].

2.5.1 Zwickel-Abgleich

Eine schematische Darstellung einer Messkurve mit Zwickel-Abgleich ist in Abbildung 2 dargestellt. Im Experiment wird eine abgewogene Menge an Wasser in das Kalorimeter gegeben und das thermische Gleichgewicht abgewartet (Zeitintervall $t_0 - t_1$). Nach Zuführung der Wärmeenergie bei t_1 , beispielsweise durch eine elektrische Heizung oder durch Zugabe von heißem Wasser mit bekannter Masse, steigt die Temperatur im Kalorimeter zunächst an ($t_1 - t_2$) und nimmt nach dem Ende des Heizvorgangs ab ($t_2 - t_3$). Für die Bestimmung der Temperaturen T_1 und T_2 für Gleichung 9 werden die Vor- und Nachkurve gemäß Abbildung 2 extrapoliert. Anschließend wird eine senkrechte Linie so gelegt, dass die Flächen zwischen der Messkurve und den extrapolierten Linien gleich groß werden. Die Schnittpunkte der Senkrechten mit den VK/NK-Geraden ergeben die gesuchten Temperaturen T_1 und T_2 .

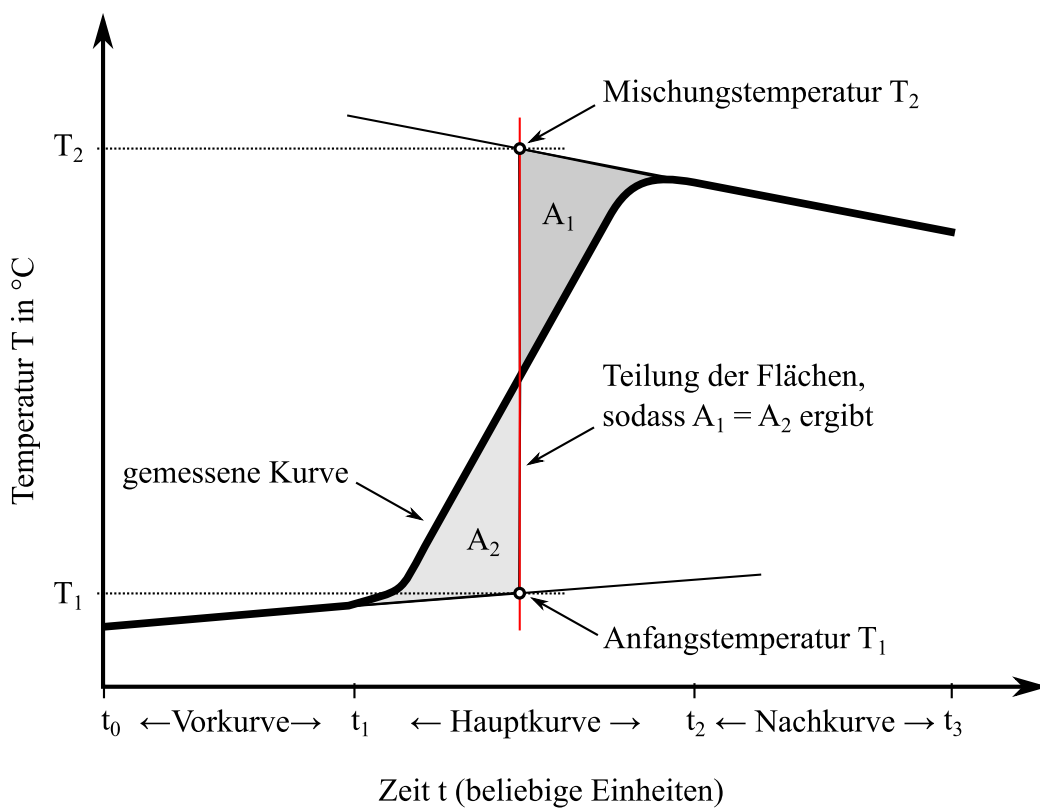


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Zwickel-Abgleichs.

3 Versuchsaufbau und -durchführung

Für diesen Versuch stehen uns eine Auswahl von verschiedenen Verbrauchern, wie in Abbildung 3 dargestellt. Verwendet wird ein Wasserkocher mit offener Heizspirale (in Kontakt mit dem Wasser) sowie eine Elektroherdplatte, welche als Heizquelle für einen Kochtopf mit Deckel dient.

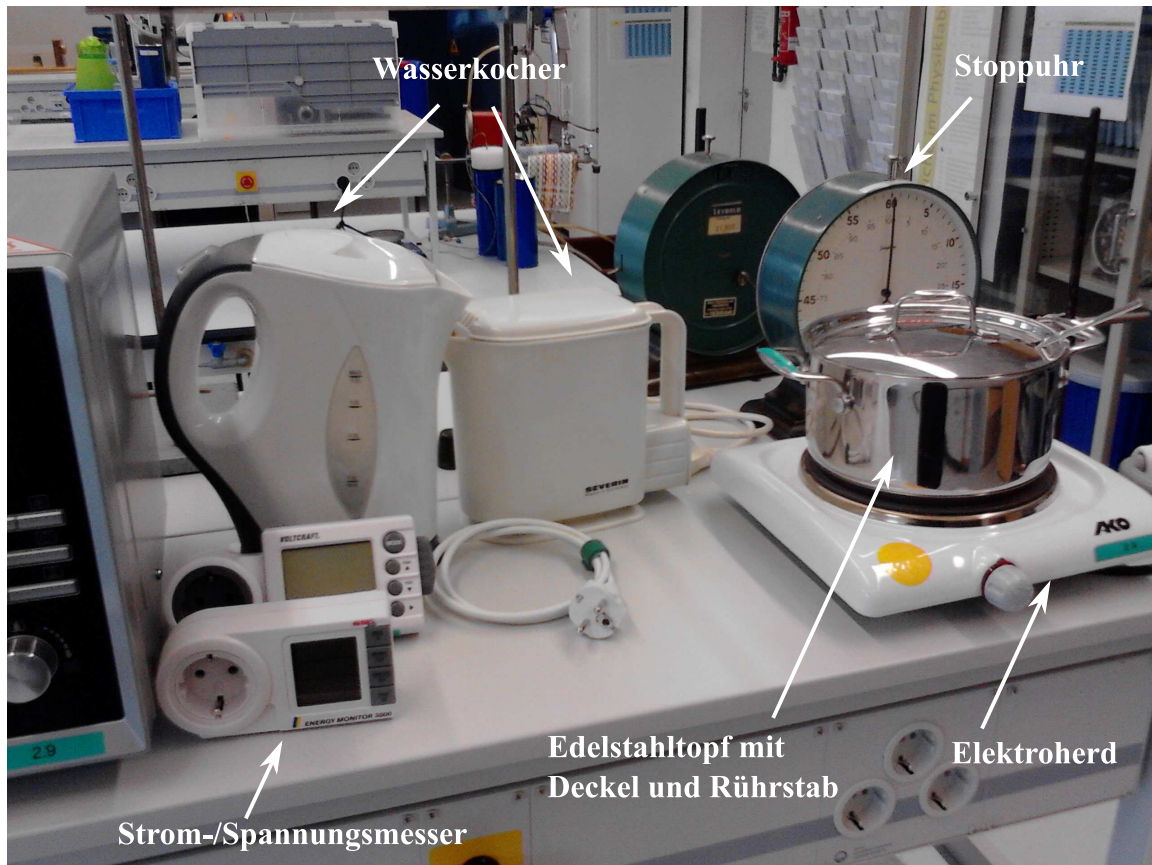


Abbildung 3: Zur Auswahl stehende elektrische Verbraucher.

Der schematische Aufbau beider Versuche ist in Abbildung 4 (Bild a und b) dargestellt. Für den Versuch mit dem Wasserkocher (Bild a) wird eine bestimmte Menge an deionisiertem Wasser abgewogen und in den Wasserkocher eingefüllt. Unter ständigem Rühren wird bei Raumtemperatur etwa drei Minuten lang die Temperatur protokolliert (Vorkurve für den Zwickel-Abgleich). Anschließend wird der Wasserkocher eingeschaltet und elektrische Leistung in regelmäßigen Zeitabständen protokolliert. Ebenfalls wird die Zeit der Energiezufuhr gemessen (Stoppuhr). Das Wasser muss während des gesamten Versuches gerührt werden, damit sich keine Temperaturschichten im Wasserkocher bilden und somit das Ergebnis verfälschen. Die Abschaltung des Wasserkochers erfolgt bei einer Wassertemperatur im Bereich von etwa 80 °C bis 90 °C um ein Sieden des Wassers zu vermeiden. Während des Abkühlvorgangs wird die Temperatur für eine Dauer von etwa 5 bis 10 Minuten unter Rühren protokolliert (Nachkurve). Der Versuch mit dem Kochtopf (Bild b) erfolgt analog zum Wasserkocher. Beim Aufwärmvorgang wird der Leistungsregler auf maximale Stufe eingestellt.

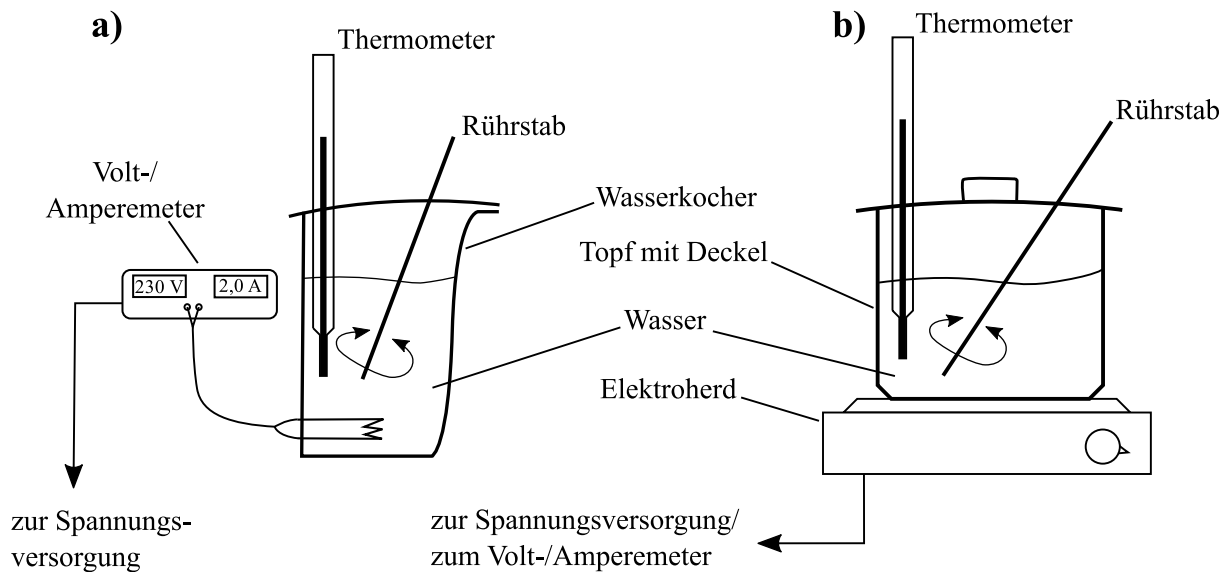


Abbildung 4: Schematischer Aufbau beider Versuche.

3.1 Benötigte Geräte

- Thermometer bzw. Thermoelement mit USB-Anschluss, Stoppuhr, Rührstab
- Wasserkocher (1200 W, Herstellerangabe), Topf mit Deckel, Elektroherd/Ceranfeldplatte (1500 W Herstellerangabe)
- Waage, deionisiertes Wasser, Energiemesser bzw. Strom- und Spannungsmesser

4 Versuchsauswertung

4.1 Effizienzmessung mit Kochtopf und Elektroherd

Für die Effizienzmessung wird ein Edelstahlkochtopf mit Deckel mit der Gesamtmasse $m_{\text{Topf}} = (1196,6 \pm 0,1)$ g verwendet. Nach dem Einfüllen von Wasser beträgt die Gesamtmasse $m_{\text{ges}} = (2199,7 \pm 0,1)$ g. Die Leistungsaufnahme des Elektroherds beträgt laut Hersteller-Etikett $P = 1500$ W.

Die Aufnahme der Temperatur-Zeit-Kurve erfolgt elektronisch mithilfe eines PCs. Hierfür wird ein Widerstands-Thermometer mit USB-Anschluss an den PC angeschlossen und mittels Software die Messwerte in eine ASCII-Textdatei geschrieben. Die Gesamtdauer von $t = 1200$ s wird in Zeitintervallen von $\Delta t = 1$ s aufgenommen. Dies entspricht insgesamt 1200 Messpunkten, welche mithilfe von MATLAB bzw. entsprechender Software ausgewertet werden. Die Genauigkeit des Thermoelements in der Temperaturmessung wird mit $\Delta T = \pm 0,05$ °C geschätzt.

Der Verlauf der Messung ist in Abbildung 5 sichtbar. Nach $t = 180$ s wurde die Herdplatte eingeschaltet (maximale Stufe). Ein Temperaturanstieg ist erst ab $t = 240$ s beobachtbar, da die Komponenten (Herdplatte, Topf) zunächst erwärmt werden müssen. Die Heizung wird bei $t = 560$ s abgeschaltet, jedoch steigt die Temperatur weiter an bis auf $T = 93,6$ °C, da die heiße Herdplatte das Wasser nachheizt.

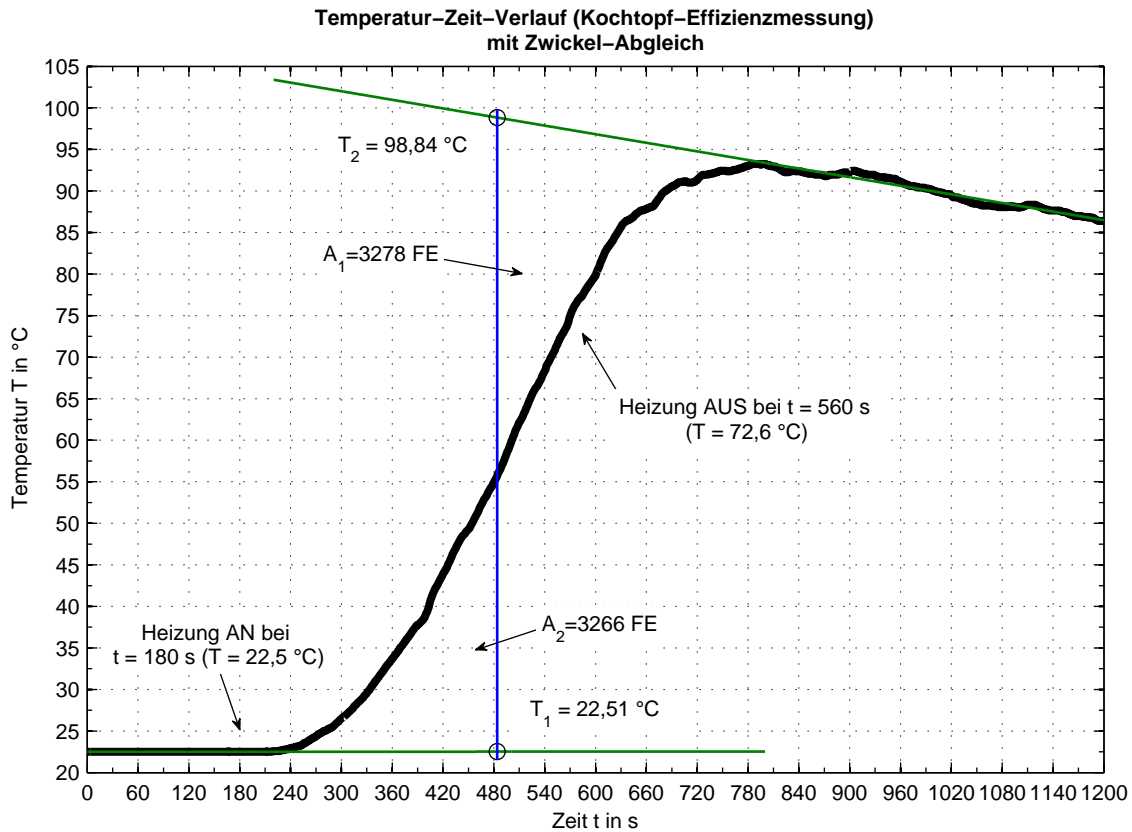


Abbildung 5: Temperatur-Zeit-Diagramm zur Effizienzmessung mit Kochtopf/Elektroherd. Die Fläche zwischen der Ausgleichsgeraden und Messkurve wurde in Flächeneinheiten (FE) angegeben, welche ein Ergebnis aus der numerischen Integration sind.

Die Auswertung der Flächen A_1 und A_2 wurde mit einem selbstgeschriebenen Programm in MATLAB durchgeführt. Hierfür wurden die Flächen zwischen der Ausgleichsgerade und der Temperaturkurve numerisch integriert und anschließend der Zeitpunkt gesucht, bei dem $A_1 \approx A_2$ ist ¹. Die für die Berechnung des Wirkungsgrades notwendigen Temperaturen sind $T_1 = (22,51 \pm 0,05) \text{ °C}$ und $T_2 = (98,84 \pm 0,05) \text{ °C}$.

Während des Heizvorgangs ist eine geringe Menge an Wasser verdampft. Damit dieser Beitrag in der späteren Rechnung berücksichtigt wird, musste der Topf mit dem restlichen Wasser nach dem Effizienzversuch gewogen werden. Die Gesamtmasse des Topfes nach dem Versuch wurde mit $m_{\text{ges,nach}} = (2173,4 \pm 0,1) \text{ g}$ ermittelt. Während des Versuchs sind somit $m_{\text{verd.}} = (26,3 \pm 0,2) \text{ g}$ Wasser verdampft.

4.1.1 Berechnung des Wirkungsgrades

Nun wird der Wirkungsgrad gemäß Gleichungen 7 und 9 berechnet. Da die Kalorimeterkonstante nicht bestimmt wurde, werden nur die Beiträge von Q_v und Q_w berücksichtigt. Durch die Vernachlässigung des Beitrags des Kalorimeters wird ein etwas niedrigerer Wirkungsgrad berechnet, als dies in der Realität der Fall ist.

Ströme und Spannungen wurden nicht gemessen sondern nur die elektrische Leistung P im Zeitintervall Δt . Damit ergibt sich für den Wirkungsgrad die Gleichung

¹Alternativ lassen sich die Flächen A_1 und A_2 bestimmen, indem die Messkurve auf Millimeterpapier aufgetragen wird und die Kästchen in den Bereichen A_1/A_2 gezählt werden.

$$\eta = \frac{Q_v + Q_W}{Q_{el.}} \implies \eta = \frac{r_v \cdot m_v + c_W \cdot m_W \cdot (T_2 - T_1)}{P \cdot (t_2 - t_1)}, \quad (11)$$

wobei $m_W = m_{ges} - m_{Topf}$ ist. Die entsprechenden Werte eingesetzt ergeben einen Wirkungsgrad von

$$\eta_{Topf} = \frac{2256000 \text{ J/kg} \cdot 0,0263 \text{ kg} + 4180 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \cdot 1,0037 \text{ kg} \cdot 76,32 \text{ K}}{1395 \text{ J/s} \cdot 380 \text{ s}} = \underline{0,7159}.$$

4.1.2 Fehlerabschätzung

Der Fehler $\Delta\eta$ wird abgeschätzt, indem die Regeln der Fehlerrechnung auf Gleichung 11 angewandt werden. Zu den fehlerbehafteten Größen von η zählen zunächst die gewogenen Massen mit $\Delta m_v = \pm 0,2 \text{ g}$, $\Delta m_{ges} = \pm 0,1 \text{ g}$ und $\Delta m_{Topf} = \pm 0,1 \text{ g}$. Da sich m_W aus der Differenz von m_{ges} und m_{Topf} zusammensetzt, addieren sich die Messfehler von m_W zu $\Delta m_W = \pm 0,2 \text{ g}$. Der Fehler der elektrischen Leistungsmessung beträgt $\Delta P = \pm 20 \text{ W}$ und der Fehler der Temperaturmessung T_2 und T_1 beträgt jeweils $\pm 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Terme r_v und c_W werden als Konstanten behandelt, d.h. als fehlerfrei betrachtet. Der Messfehler in der Zeit t wird als vernachlässigbar klein angenommen, da der Computer die Daten mit einer ausreichend hohen Präzision im Millisekunden-Bereich speichert². Da uns keine Kalorimeterkonstante $C_{Cal.}$ vorliegt, wird diese in der Rechnung nicht berücksichtigt. Der Maximalfehler von η wird wie folgend berechnet:

$$\Delta\eta = \left| \frac{\partial\eta}{\partial m_v} \right| \cdot \Delta m_v + \left| \frac{\partial\eta}{\partial m_W} \right| \cdot \Delta m_W + \left| \frac{\partial\eta}{\partial T_2} \right| \cdot \Delta T_2 + \left| \frac{\partial\eta}{\partial T_1} \right| \cdot \Delta T_1 + \left| \frac{\partial\eta}{\partial P} \right| \cdot \Delta P \quad (12)$$

Die partiellen Ableitungen der Gleichung 11 sind jeweils

$$\frac{\partial\eta}{\partial m_v} = \frac{r_v}{P \cdot (t_2 - t_1)} \quad (13)$$

$$\frac{\partial\eta}{\partial m_W} = -\frac{c_W \cdot (T_1 - T_2)}{P \cdot (t_2 - t_1)} \quad (14)$$

$$\frac{\partial\eta}{\partial T_2} = \frac{c_W \cdot m_W}{P \cdot (t_2 - t_1)} \quad (15)$$

$$\frac{\partial\eta}{\partial T_1} = -\frac{c_W \cdot m_W}{P \cdot (t_2 - t_1)} \quad (16)$$

$$\frac{\partial\eta}{\partial P} = -\frac{(m_v \cdot r_v - c_W \cdot m_W \cdot (T_1 - T_2))}{P^2 \cdot (t_2 - t_1)} \quad (17)$$

und sobald die entsprechenden Zahlenwerte eingesetzt sind erhalten wir als Ergebnis

$$\Delta\eta_{Topf} = 8,5108 \cdot 10^{-4} + 1,2035 \cdot 10^{-4} + 3,9569 \cdot 10^{-4} + 3,9569 \cdot 10^{-4} + 1,02 \cdot 10^{-2} = \underline{0,012}.$$

Hier wurde auf eine ausführliche Rechnung verzichtet – die Zahlenwerte dienen der Kontrolle³. Es ist sichtbar, dass der größte Beitrag zum Fehler von η aus der Messung der elektrischen Leistung kommt. Die restlichen Beiträge sind um zwei Größenordnungen kleiner.

²Im Falle einer Messung mit einer Stoppuhr kann der Fehler in der Zeitmessung je nach Reaktionsvermögen des Experimentators $\pm 0,2 \text{ s}$ bis $\pm 0,5 \text{ s}$ betragen.

³Rundungsfehler sind möglich, da MATLAB mit einer höheren Präzision rechnet als mit den hier im Protokoll angegebenen Werten

Ergebnis der Kochtopf-Effizienzmessung

$$\eta_{\text{Topf}} = (0,7159 \pm 0,012)$$

oder in Prozent ausgedrückt

$$\eta_{\text{Topf}} = (71,6 \pm 1,2)\%$$

4.2 Effizienzmessung mit Wasserkocher (offene Heizspirale)

Dieser Teil der Messung verläuft analog zur Effizienzmessung mit dem Kochtopf. Die Masse des Wasserkochers beträgt $m_{\text{WK}} = (524,8 \pm 0,1)$ g. Mit Wasser gefüllt beträgt das Gesamtgewicht $m_{\text{ges}} = (1528,0 \pm 0,1)$ g. Nach dem Experiment wurde erneut gewogen, um die Energieverluste durch verdampftes Wasser zu bestimmen. Die Wägung ergab eine Masse von $m_{\text{ges,nach}} = (1525,4 \pm 0,1)$ g – es sind also $m_v = (2,6 \pm 0,2)$ g Wasser verdampft.

Die Temperatur-Zeit-Kurve ist in Abbildung 6 dargestellt. Im Vergleich zum Kochtopf-Versuch haben wir während der Heizphase eine deutlich stärkere Temperaturänderung pro Zeiteinheit. Die Dauer der Vorkurve beträgt 180 s. Anschließend wurde der Wasserkocher eingeschaltet und über eine Dauer von 250 s betrieben. Die Nachkurve wurde über eine Dauer von 300 s nach dem Ausschalten gemessen. Die Gesamtdauer des Experiments beträgt 730 s bei einem Messintervall von 1 s. Während der Heizphase wurde eine mittlere elektrische Leistung von $P = (1033 \pm 19)$ W gemessen.

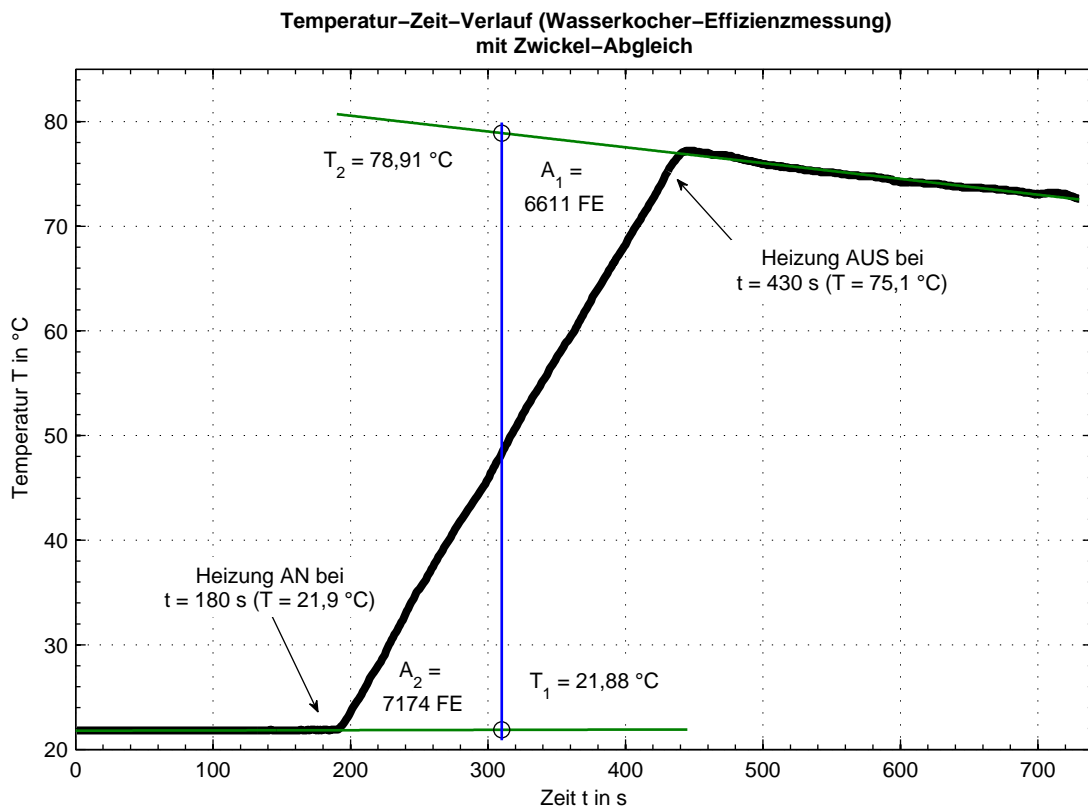


Abbildung 6: Temperatur-Zeit-Kurve während der Effizienzmessung beim Wasserkocher.

4.2.1 Berechnung des Wirkungsgrades

Die aus dem Zwickel-Abgleich ermittelten Temperaturen sind $T_2 = (78,91 \pm 0,05)$ °C und $T_1 = (21,88 \pm 0,05)$ °C. Hieraus ergibt sich ein Wirkungsgrad von

$$\eta_{\text{WK}} = \frac{2256000 \text{ J/kg} \cdot 0,0026 \text{ kg} + 4180 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \cdot 1,0032 \text{ kg} \cdot 57,03 \text{ K}}{1033 \text{ J/s} \cdot 250 \text{ s}} = \underline{0,9491}.$$

4.2.2 Fehlerabschätzung

Die Fehlerabschätzung erfolgt analog zum Abschnitt 4.1.2. Somit erhalten wir

$$\Delta\eta_{\text{WK}} = 1,7 \cdot 10^{-3} + 1,8468 \cdot 10^{-4} + 8,1218 \cdot 10^{-4} + 8,1218 \cdot 10^{-4} + 1,73 \cdot 10^{-2} = \underline{0,021}.$$

Ergebnis der Wasserkocher-Effizienzmessung

$$\eta_{\text{WK}} = (\mathbf{0,9491} \pm \mathbf{0,021})$$

oder in Prozent ausgedrückt

$$\eta_{\text{WK}} = (\mathbf{94,9} \pm \mathbf{2,1})\%$$

5 Zusammenfassung

Das Ergebnis dieses Experiments zeigt, welchen Einfluss die Anordnung des elektrischen Heizelements auf die Wärmeübertragung besitzt. Beim Kochtopf erfolgt der Wärmetransport vom Heizelement aus über die metallische Herdplatte und den Kochtopf. Zwischen der Herdplatte und dem Kochtopf gibt es ein sehr kleines Luftpolster (der Kontakt zwischen beiden ist nicht vollkommen) welcher als zusätzliche Isolierschicht fungiert. Ein weiterer Faktor ist die Wärmeabgabe an die Umgebung, die ebenfalls zu einer niedrigeren Effizienz beiträgt.

Aus dem Experiment lässt sich daher schlussfolgern, dass der Wasserkocher effizienter arbeitet – trotz Wärmeverluste an die Umgebung. Beim Wasserkocher wurde ein Wirkungsgrad von $\eta_{\text{WK}} = (94,9 \pm 2,1)\%$ gemessen, während der Kochtopf einen Wirkungsgrad von $\eta_{\text{Topf}} = (71,6 \pm 1,2)\%$ aufweist. Das Messergebnis ist dennoch mit gewisser Vorsicht zu betrachten, da ein Wasserkocher kein „optimaler“ Behälter ist, um kalorimetrische Messungen durchführen zu können. Dennoch ist ein signifikanter Unterschied in der Effizienz beider Methoden sichtbar.

Literatur

- [1] Paul A. Tipler und Dieter Gerlich. *Physik*. 3., korrigierter Nachdr. der 1. Aufl. 1994. Spektrum Lehrbuch. Heidelberg [u.a.]: Spektrum Akad. Verl., 2000 (siehe S. 2 f.).
- [2] Helmut Lindner. *Physik für Ingenieure: Mit 72 Tabellen*. 13., verb. Aufl. Leipzig und Köln: Fachbuchverl., 1992 (siehe S. 3).
- [3] Wilhelm Walcher. *Praktikum der Physik*. 5., überarb. u. erw. Aufl. Teubner-Studienbücher : Physik. Stuttgart: Teubner, 1985 (siehe S. 4).