

Praktikum Klassische Physik II

# Versuchsprotokoll:

## Wärmestrahlung

(P2-43)

Christian Buntin, Jingfan Ye

*Gruppe Mo-11*

Karlsruhe, 31. Mai 2010

### Inhaltsverzeichnis

1	Gültigkeit des Stefan-Boltzmann-Gesetzes	2
2	Vergleich verschiedener Strahlungsflächen	5
3	Wahre Temperatur einer Glühlampe mit Hilfe eines Pyrometers	7

## 1 Gültigkeit des Stefan-Boltzmann-Gesetzes

Mit einer Mollschen Thermosäule haben wir die Strahlungsleistung eines Hohlraumstrahlers in Abhängigkeit seiner Temperatur, welche mit einem PtRh–Pt-Thermoelement bestimmt wurde, gemessen.

Wir erwärmten den Hohlraumstrahler mit einer 65 V-Spannungsquelle. Die auftretenden Thermospannungen im eingebauten Thermoelement, die durch den Temperaturgradienten zur Umgebung zustande kamen, griffen wir mit einem Millivoltmeter ab. Die Abhängigkeit dieser Thermospannung von der Temperatur des Hohlraumstrahlers konnten wir dann aus einer Tabelle in der Versuchsanweisung entnehmen. Diese ist zwar auf 0 °C geeicht, doch da die auftretenden Temperaturen im Hohlraumstrahler bis zu 700 °C erreichen, lässt sich die kleine Abweichung der Umgebungstemperatur zur Eichtemperatur vernachlässigen.

Da wir in diesem Versuch weder die genaue Strahlungsfläche des Hohlraumstrahlers noch die Geometrie ihrer Strahlung kennen und damit nicht zurück schließen können, wieviel der abgestrahlten Leistung wirklich beim Empfänger ankommt, werden wir nicht den Vorfaktor des Stefan-Boltzmann-Gesetzes, also die Stefan-Boltzmann-Konstante, bestimmen, sondern nur die  $T^4$ -Abhängigkeit der Strahlungsleistung nachprüfen.

Die Strahlungsleistung hängt ebenfalls direkt proportional mit der induzierten Spannung in der Mollschen Thermosäule zusammen. Da wir sowieso nicht auf die genauen Vorfaktoren achten, sondern lediglich die Abhängigkeiten bestimmen wollen, ist die Proportionalitätskonstante der Mollschen Thermosäule auch unwichtig. Wir setzen für sie daher auf den Zahlenwert 1.

Unsere Messergebnisse sind in Tabelle 1 auf der nächsten Seite aufgelistet.

Die Schaubilder, sowohl in direkter als auch in logarithmischer Auftragung, sind in Abbildung 1 auf Seite 4 sowie Abbildung 2 auf Seite 4 zu sehen. Wie in der Vorbereitung begründet, muss für die Temperatur  $\Delta T = \sqrt[4]{T^4 - T_{\text{Raum}}^4}$  genommen werden. Wir nahmen eine Raumtemperatur von  $T_{\text{Raum}} = 20 \text{ °C} = 293 \text{ K}$  an.

Bei der direkten Auftragung ließen wir das Programm gnuplot eine theoretisch zu erwartende, zu  $\Delta T^4$  proportionale Funktion fitten.

Die Messpunkte in der logarithmischen Auftragung liegen, wie man sehen kann, relativ gut auf einer Geraden. Allerdings weichen vor allem die ersten Werte stark von den anderen ab. Dies könnte daran liegen, dass die Gleichsetzung von Raumtemperatur mit dem Gefrierpunkt von Wasser, nach der ja das Thermoelement geeicht wurde, bei tiefen Temperaturen noch größere Fehler aufweist. Später liegen fast alle Werte auf einer Geraden.

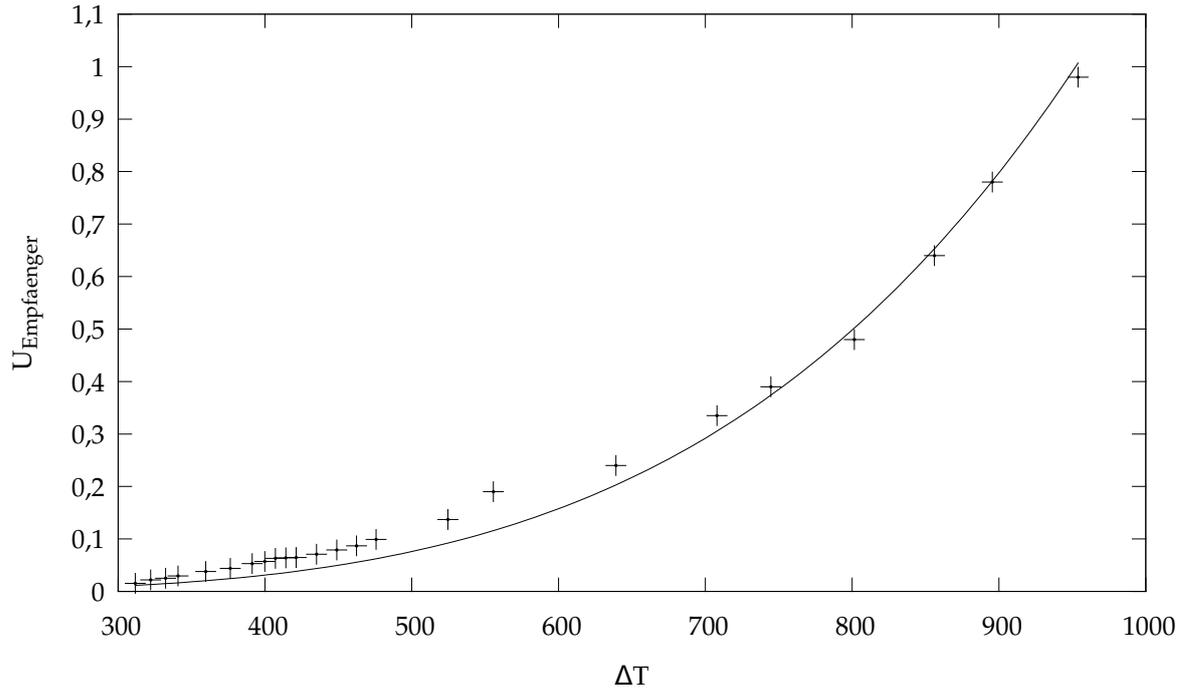
Wir erhalten eine Steigung von 3,38, obwohl der Theorie zufolge die Steigung 4 betragen müsste. Dies liegt wahrscheinlich an Ungenauigkeiten der Messapparatur, der fehlenden korrekten Eichung sowie an Verlusten bei der Strahlungsübertragung von Quelle zum Empfänger, die mit steigender Strahlungsintensität auch höher werden. Darüber hinaus reagierte das Messgerät der Mollschen Thermosäule nur sehr träge, sodass wir immer einige Sekunden warten mussten, bis wir die Spannung ablesen konnten. In dieser Zeit hat sich die Thermosäule höchstwahrscheinlich in nicht vernachlässigbarer Weise erhitzt, sodass auch dies zu Verfälschungen der Messungen führte.

Eine schöne Nebenerscheinung in diesem Versuch war auch das rötliche Leuchten des Hohlraumstrahlers bei hohen Temperaturen ab etwa 600 °C, während bei Raumtemperatur der Strahler dunkel war. Dieser Effekt ist eine Bestätigung des Planckschen-Strahlungsgesetzes, nach dem zum Einen die Strahlungsintensität mit der Temperatur ansteigt und zum Anderen das Strahlungsmaximum sich mit steigender Temperatur in Richtung kürzerer Wellenlängen verlagert, und sich damit vom infrarotem dem sichtbarem Spektrum immer weiter annähert.

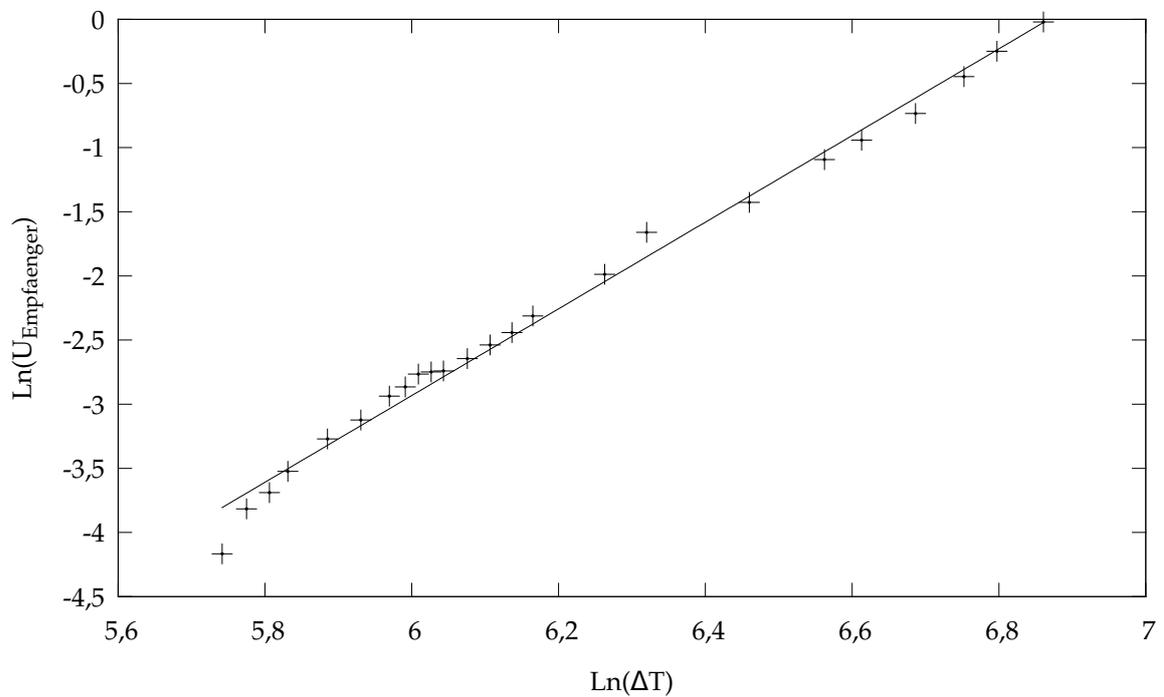
$U_{\text{Strahler}}$ in mV	$T_{\text{Strahler}}$ in °C	$T_{\text{Strahler}}$ in K	$U_{\text{Empfänger}}$ in mV
0,55	87	360	0,0155
0,60	94	367	0,022
0,65	101	374	0,025
0,70	107	380	0,0295
0,80	121	394	0,038
0,90	134	407	0,044
1,0	146	419	0,053
1,05	153	426	0,057
1,1	159	432	0,063
1,15	165	438	0,064
1,2	171	444	0,0645
1,3	183	456	0,071
1,4	195	468	0,079
1,5	207	480	0,087
1,6	219	492	0,099
2,0	264	537	0,137
2,6	293	566	0,19
3,0	373	646	0,24
3,65	440	713	0,335
4,0	476	749	0,39
4,5	532	805	0,48
5,1	586	859	0,64
5,5	625	898	0,78
6,1	683	956	0,98

**Tabelle 1:** Abhängigkeit der Strahlungsleistung des Hohlraumstrahlers von seiner Temperatur.

- $U_{\text{Strahler}}$ : Thermospannung am Strahler
- $T_{\text{Strahler}}$ : Aus der Spannung ergebende Temperatur
- $U_{\text{Empfänger}}$ : Induzierte Spannung an der Mollschen Thermosäule



**Abbildung 1:** Direkte Auftragung der Strahlungsleistung (ausgedrückt durch die induzierte Spannung  $U_{\text{Empfaenger}}$ ) gegen Temperatur  $\Delta T$ .  
Regressionskurve der Form  $ax^4$  mit  $a = 1,22 \cdot 10^{-12}$



**Abbildung 2:** Logarithmische Auftragung der Strahlungsleistung gegen Temperatur  $\Delta T$ .  
Regressionsgerade der Form  $mx + c$  mit  $m = 3,38$

## 2 Vergleich verschiedener Strahlungsflächen

Für diesen Versuch hatten wir eine erhitzbare Kreisscheibe zur Verfügung, auf welcher 4 etwa gleich große Sektoren verschiedener Oberflächen vorhanden waren. Diese waren blanker Kupfer, rauher Kupfer, Titanoxid sowie Ruß. Wieder erhitzen wir die Kreisscheibe elektrisch mit einer Spannungsquelle und maßen die Temperatur mit einem eingebauten Thermoelement, diesmal jedoch eines basierend aus NiCr–Ni. Da diesmal nicht so hohe Temperaturen wie in der vorherigen Aufgabe erreicht werden und niedrige Temperaturen von größerer Bedeutung sind, wird das kalte Ende des Thermoelements in Eiswasser gelegt, damit sichergestellt ist, dass die Vergleichstemperatur bei 0 °C liegt.

Unsere Messergebnisse befinden sich in Tabelle 2 auf der nächsten Seite.

Wir fanden heraus, dass bei gleicher Temperatur Titanoxid am meisten abstrahlt. Da wir hier wieder die genaue geometrischen Anordnung nicht kennen und somit nicht die Strahlungsleistung des perfekten schwarzen Körpers berechnen können, nehmen wir die Titanoxid-Strahlungswerte als perfekte Strahlungswerte, wohlwissend, dass dieser nicht perfekt strahlt. Dies sieht man vor allem daran, dass der Sektor weiß ist und somit im sichtbaren Bereich wenig absorbiert, dafür aber viel reflektiert.

Setzt man den Emissionskoeffizienten  $\varepsilon = \frac{P_{\text{ideal}}}{P_{\text{real}}}$  für TiO auf 1, kann man die  $\varepsilon_i$  ( $i$  bezeichnet das jeweilige Material) bei verschiedenen Temperaturen berechnen. Unsere Ergebnisse sind in Tabelle 3 auf der nächsten Seite angegeben.

Wir sehen, dass Kupfer nur einen kleinen Bruchteil der Schwarzkörperemission und -absorption hat. Dies war auch zu erwarten, da Metalle bekanntlich sehr viel Licht reflektieren und nur wenig absorbieren. Damit emittieren sie auch wenig. Das raue Kupfer strahlte nur deswegen mehr ab, da durch die aufgeraute Oberfläche die effektive Strahlungsfläche gegenüber der glatten Fläche deutlich vergrößert wurde.

Ruß hat wie erwartet sehr gute Schwarzkörpereigenschaften. Im sichtbaren Bereich absorbiert Ruß sogar das komplette Spektrum, da es eben schwarz erscheint.

Zu unserem Erstaunen hat aber Titanoxid noch bessere Strahlungseigenschaften, obwohl es weiß ist, also im sichtbaren Bereich kaum Licht absorbiert. Die hohen Werte rühren aber daher, dass bei den Temperaturen, auf die wir die Sektorenplatte erhitzen, die Materialien vor allem infrarotes Licht ausstrahlen. Im Infrarotem ist Titanoxid also höchstwahrscheinlich schwarz.

Insgesamt ist bei diesem Versuch ebenfalls zu beobachten, dass  $\varepsilon$  in dem von uns gewählten Temperaturbereich weitgehend unabhängig von der Temperatur ist. Lediglich der erste Wert weicht bei allen 3 Stoffen von den restlichen ab. Dies liegt aber eher an der Ungenauigkeit des Messgeräts als an grundlegenden Materialeigenschaften.

$U_{\text{Strahler}}$ in mV	$T_{\text{Strahler}}$ in °C	$T_{\text{Strahler}}$ in K	$U_{\text{Empfänger}}$ in mV			
			Cu blank	Cu rau	Ruß	TiO
0,87	22	295	0,01	0,03	0,045	0,05
0,95	24	297	0,035	0,06	0,08	0,085
1,00	25	298	0,035	0,065	0,105	0,105
1,11	28	301	0,06	0,095	0,145	0,15
1,30	32	305	0,11	0,17	0,245	0,26
1,50	37	310	0,15	0,24	0,34	0,365
1,75	43	316	0,22	0,34	0,49	0,52
2,00	49	322	0,29	0,43	0,65	0,67
2,50	62	335	0,46	0,68	0,99	1,07
3,0	74	347	0,63	0,82	1,32	1,37
3,5	86	359	0,83	1,10	1,70	1,8
4,0	98	371	0,95	1,35	2,1	2,2
4,5	110	383	1,20	1,65	2,6	2,75
4,75	116	389	1,40	1,90	2,9	3,0

**Tabelle 2:** Gemessene Strahlungswerte von verschiedenen Oberflächen

$T_{\text{Strahler}}$ in K	$\epsilon_{\text{Cu blank}}$	$\epsilon_{\text{Cu rau}}$	$\epsilon_{\text{Ru}}$
295	0,200	0,600	0,900
297	0,412	0,706	0,941
298	0,333	0,619	1,000
301	0,400	0,633	0,967
305	0,423	0,654	0,942
310	0,411	0,658	0,932
316	0,423	0,654	0,942
322	0,433	0,642	0,970
335	0,430	0,636	0,925
347	0,460	0,599	0,964
359	0,461	0,611	0,944
371	0,432	0,614	0,955
383	0,436	0,600	0,945
389	0,467	0,633	0,967
Mittelwert:	0,409	0,633	0,950

**Tabelle 3:** Vergleich der Emissionskoeffizienten.

### 3 Wahre Temperatur einer Glühlampe mit Hilfe eines Pyrometers

Wir betrachteten in einem Pyrometer die geeichte Pyrometerlampe und die dahinter aufgestellte Glühlampe (mit Wolfram als Glühwendel). Wir versuchten, bei verschiedenen Stromstärken die Intensitäten beider Glühlampen mit bloßem Auge anzugleichen und notierten die Stromstärken durch die jeweiligen Lampen. Die Temperatur  $T_{\text{Pyro}}$  der Pyrometerlampe lasen wir anhand der Kurve  $T_S$  aus der Versuchsanweisung ab. Mit der Kurve  $T_W - T_S$  konnten wir durch die Beziehung  $T_W = T_S + (T_W - T_S)$  ebenfalls die Temperatur  $T_W = T_{\text{Glueh}}$  der Gluehwendel (aus Wolfram) bestimmen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 aufgelistet.

In Abbildung 3 trugen wir schließlich die Temperatur  $T_{\text{Glueh}}$  der Wolframglühlampe gegen die Stromstärke  $I_{\text{Glueh}}$  auf.

Man muss bei diesem Versuch noch beachten, dass unsere Messungen „per Auge“ sehr ungenau waren, da beide Leuchtquellen im Pyrometer nicht übereinander zu betrachten waren. Es war auch sehr schwer, das Pyrometer so zu justieren, dass beide Leuchtquellen gleichzeitig beobachtet werden konnten. Die Helligkeiten konnten daher nur sehr ungenau abgeschätzt werden.

$I_{\text{Pyro}}$ in A	$T_{\text{Pyro}}$ in K	$I_{\text{Glueh}}$ in A	$T_{\text{Glueh}}$ in K
2,22	1550	2,30	2590
2,61	1780	2,80	3310
3,09	2030	3,18	3800
3,59	2240	3,83	4320
3,64	2260	3,98	4360

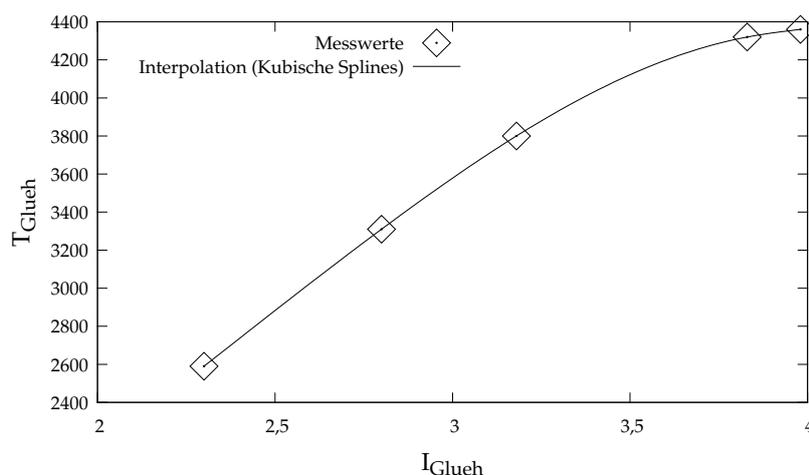
**Tabelle 4:** Vergleich der Stromstärken beider Lampen bei gleicher Intensität.

$I_{\text{Pyro}}$ : Stromstärke durch die Pyrometerlampe.

$T_{\text{Pyro}}$ : Temperatur der Pyrometerlampe bei  $I_{\text{Pyro}}$ .

$I_{\text{Glueh}}$ : Stromstärke durch die Glühlampe.

$T_{\text{Glueh}}$ : Temperatur der Pyrometerlampe bei  $I_{\text{Glueh}}$ .



**Abbildung 3:**  $T_{\text{Glueh}}$  in Abhängigkeit von  $I_{\text{Glueh}}$ .