

Physik Anfängerpraktikum - Versuch 207
Temperaturstrahlung

Sebastian Rollke (103095)
webmaster@rollke.com

und

Daniel Brenner (105292)
daniel.brenner@uni-dortmund.de

durchgeführt am 7. Juni 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Der schwarze Körper	2
1.2	Das Stefan-Boltzmann-Gesetz	2
1.3	Das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz	3
1.4	Klassische Betrachtung der schwarz-Körper-Strahlung	3
1.4.1	Die Ultra-violett-Katastrophe	3
1.5	Die quantenmechanische Beschreibung der schwarz-Körper-Strahlung	3
1.5.1	Das Wien'sche Verschiebungsgesetz	4
1.6	Bestimmung der Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers	4
2	Experimentelles Vorgehen	6
2.1	Zielsetzung und Messprogramm	6
2.2	Versuchsaufbau	6
2.2.1	Die Thermosäule	7
3	Auswertung	9
3.1	Fehlerrechnung	9
3.2	Eichung der Thermosäule	9
3.3	Temperaturabhängigkeit der Strahlungsleistung	12
3.4	Entfernungsabhängigkeit der Strahlungsleistung	17
3.5	Spektrale Verteilung der Temperaturstrahlung	20

Kapitel 1

Einleitung

Die Elektronen eines Festkörpers befinden sich (in Abhängigkeit von der Temperatur) zum Teil in angeregten Zuständen (\rightarrow *Fermi-Dirac-Statistik*). Wenn sie aus diesen angeregten Zuständen in niederenergetische Zustände "fallen" emittieren sie Energie in Form von Strahlung.

In diesem Versuch soll die Abhängigkeit dieser Strahlung von der Entfernung, der Temperatur sowie ihre spektrale Verteilung bestimmt werden.

Weiterhin soll die Gültigkeit des *Planck'schen Strahlungsgesetzes* überprüft und die *Stefan-Boltzmann-Konstante* bestimmt werden.

1.1 Der schwarze Körper

Für Experimente mit Bezug auf Strahlung verwendet man das idealisierte Modell des *schwarzen Körpers*. Hierbei handelt es sich um einen Körper, der ein Absorptionsvermögen von 1 besitzt und er somit sämtliche einfallende Strahlung absorbiert. In folgedessen sind natürlich Reflektions- und Transmissionskoeffizient 0. Anzumerken ist, daß ein derartiger Körper nicht exakt im Experiment reproduziert werden kann.

Der *schwarzen Körper* verfügt nun über eine kleine Öffnung über die er wieder Strahlung emittiert. Da sich der Körper im thermischen Gleichgewicht befindet muß er somit sämtliche einfallende Strahlung wieder abstrahlen.

1.2 Das Stefan-Boltzmann-Gesetz

Man stellt fest, daß ein *Schwarzer Körper* Strahlung emittiert, deren Leistung nur von der Temperatur und der Wellenlänge abhängt. Dies bezeichnet man als das *Stefan-Boltzmann-Gesetz*. Man erhält die Gesamtleistung durch Integration über alle vorkommenden Wellenlängen

$$S(T) := \int_0^{\infty} P(\lambda, T) d\lambda . \quad (1.1)$$

1.3 Das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz

Das *Kirchhoffsche Strahlungsgesetz* beschreibt den Zusammenhang

$$\frac{\epsilon}{A} = P(\lambda, T) \quad (1.2)$$

wobei ϵ das Emissionsvermögen und A das Absorptionsvermögen eines Körpers beschreibt. Da das Absorptionsvermögen eines schwarzen Körpers laut Definition gerade 1 ist, besitzt er somit auch das größtmögliche Emissionsvermögen ($\epsilon = 1$) aller Körper.

1.4 Klassische Betrachtung der schwarz-Körper-Strahlung

Eine erste quantitative Beschreibung der Strahlung eines Schwarzen Körpers beschreibt das Rayleigh-Jeans-Strahlungsgesetz

$$du(\nu, T) = 8\pi \frac{\nu^2}{c^3} kT d\nu \quad (1.3)$$

mit der Strahlungsleistung du pro Volumeneinheit, der Frequenz ν , der Vakuumlichtgeschwindigkeit c , der Boltzmann-Konstante k und der absoluten Temperatur T .

Obwohl dieses Gesetz für relativ niedrige Frequenzen der Strahlung brauchbare Ergebnisse liefert, so treten bei höheren Frequenzen Widersprüche auf, die den physikalischen Gesetzen widersprechen.

1.4.1 Die Ultra-violett-Katastrophe

Man erhält die gesamte Strahlungsleistung des schwarzen Körpers indem man über alle vorkommenden Wellenlängen (bzw. Frequenzen) integriert

$$\int_0^{\infty} u(\nu, T) d\nu \rightarrow \infty .$$

Dies entspricht der Fläche unter der Kurve, die jedoch (vgl. Abb. 2.1), nicht konvergiert. Der schwarze Körper müßte somit laut dem Strahlungsgesetz von Rayleigh-Jeans unendlich viel Leistung emittieren, was natürlich den Naturgesetzen widerspricht.

Da diese Widersprüche erst bei Frequenzen oberhalb des sichtbaren Spektrums auftreten verwendet man die Bezeichnung *Ultraviolett-Katastrophe*.

1.5 Die quantenmechanische Beschreibung der schwarz-Körper-Strahlung

Erst 1900 gelang es Planck mit seiner Quantenhypothese die Widersprüche bei der Beschreibung der Spektralverteilung der schwarz-Körper-Strahlung zu lösen.

Mit der Annahme, dass Energie nur in gequantelter Form vorkommt und im Falle von Photonen mit einer genau definierten Energie

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

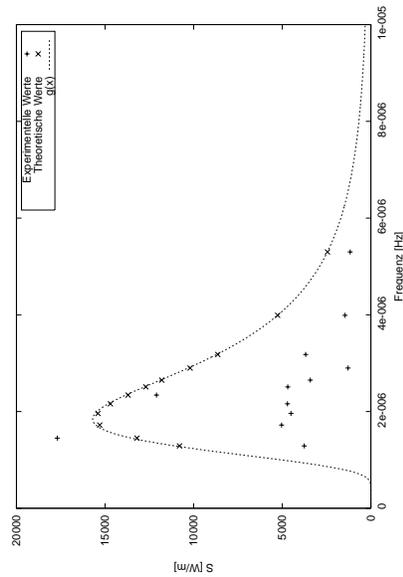


Abbildung 1.1: Das Plancksche Strahlungsgesetz

transportiert wird. Hierbei ist h das Planck'sche Wirkungsquantum, ν die Frequenz des Photons, λ dessen Wellenlänge und c die Vakuumlichtgeschwindigkeit.

Planck kam somit zu dem nach ihm benannten Strahlungsgesetz (vgl. Abb 1.2)

$$dP(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5(e^{hc/\lambda kT} - 1)} d\lambda$$

Man erkennt, dass die Fläche unter der Kurve endlich ist und entsprechend der klassische Widerspruch gelöst wurde.

1.5.1 Das Wien'sche Verschiebungsgesetz

Diefferenziert man das Plancksche Strahlungsgesetz nach λ erhält man das *Wien'sche Verschiebungsgesetz*

$$\nu_{max} = const \cdot T .$$

Es beschreibt die Temperaturabhängigkeit des Leistungsmaximums. Man erkennt eine lineare Abhängigkeit. Das Wien'sche Verschiebungsgesetz deckt sich auch sehr gut mit alltäglichen Erfahrungen. So beginnen heiße Körper zu glühen und verfärben sich vom roten ins gelbe und weiter zu Farbe mit niedrigerer Wellenlänge.

1.6 Bestimmung der Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers

Da durch die *Plancksche Strahlungsformel* nun die spektrale Verteilung der Strahlung des schwarzen Körpers bekannt ist, läßt sich die Leistung des schwarzen Körpers theoretisch bestimmen.

Durch ausführen der Integration (1.1) erhält man den Zusammenhang

$$S(T)_{ges} = \frac{2}{15} \pi^4 \frac{k^4}{c^2 h^3} (T^4 - T_E^4) \frac{\Delta F_S \Delta F_E}{r^2} \quad (1.4)$$

mit der Gesamtstrahlungsleistung S_{ges} , der Temperatur des Strahlers T , der Empfängertemperatur T_E , sowie deren Flächen ΔF_S bzw. ΔF_E .

Zur Vereinfachung führt man die *Stefan-Boltzmann-Konstante* σ ein

$$\sigma := \pi \frac{2}{15} \pi^4 \frac{k^4}{c^2 h^3} \quad (1.5)$$

womit sich (1.4) dann als

$$S(T)_{ges} = \frac{\sigma}{\pi} (T^4 - T_E^4) \frac{\Delta F_S \Delta F_E}{r^2} . \quad (1.6)$$

Man erkennt, dass die Gesamtstrahlungsleistung in vierter Potenz von der Temperatur und mit r^{-2} von der Entfernung abhängt.

Kapitel 2

Experimentelles Vorgehen

2.1 Zielsetzung und Messprogramm

Im folgenden sollen die Abhängigkeiten der Strahlungsleistung von Temperatur und Entfernung überprüft werden. Zudem soll die Stefan-Boltzmann-Konstante bestimmt werden.

Weiterhin soll die spektrale Verteilung der Strahlungsleistung mit dem Planckschen Strahlungsgesetz verglichen werden.

Zu diesem Zweck nehmen wir Messreihen $S(T)$ (von 50°C bis 1200°C), $S(r)$ (von 13 cm bis 80 cm) bzw $S(\lambda)$ (für verschiedene Wellenlängen) auf. Da die Strahlungsleistung nicht direkt gemessen werden kann, verwendet man eine *Thermosäule* (s.u.) um über die von dieser abgegebenen Spannung auf die Strahlungsleistung zu schließen.

2.2 Versuchsaufbau

Zur Aufnahme der Messreihen verwenden wir den in Abb. 3.1 dargestellten Versuchsaufbau. Die

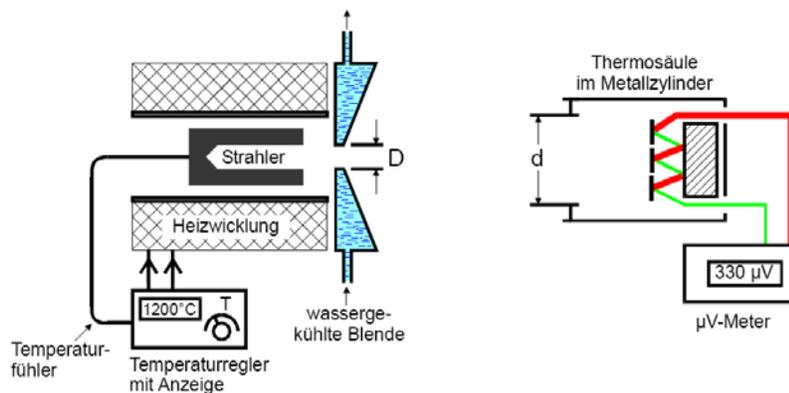


Abbildung 2.1: Versuchsaufbau

Strahlungsquelle ist dabei der durch eine externe Heizung erhitzter Körper, vor dem sich eine

wassergekühlte Blende befindet, deren Öffnung die eigentliche Strahlungsquelle für den Versuch darstellt.

Die Entfernung zwischen Strahler und Empfänger kann dabei variiert werden. Für die Messung der Spektralverteilung verwenden wir verschiedene Frequenzfilter um die gewünschte Wellenlänge herauszufiltern.

2.2.1 Die Thermosäule

Auf der Empfängerseite befindet sich die bereits erwähnte Thermosäule. Eine Thermosäule besteht aus mehreren in Reihe geschalteten Thermoelementen (vgl. Abb. 3.2) und gibt eine Spannung ab, die proportional zur eingestrahelten Leistung (meist einige μV) ist. Um nun von der

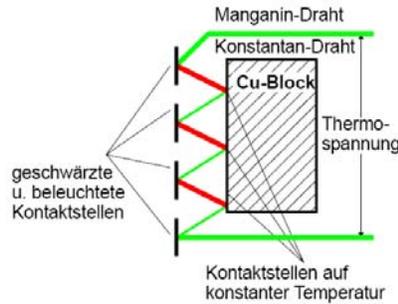


Abbildung 2.2: Aufbau der Thermosäule

Spannung der Thermosäule auf die Strahlungsleistung schließen zu können muß die Thermosäule geeicht werden. Zur Berechnung des Eichfaktors verwendet man die in Abb. 3.3. dargestellte Schaltung.

Man beheizt die Säule mit einem elektrischen Strom, der eine wohlbekannte thermische Leistung

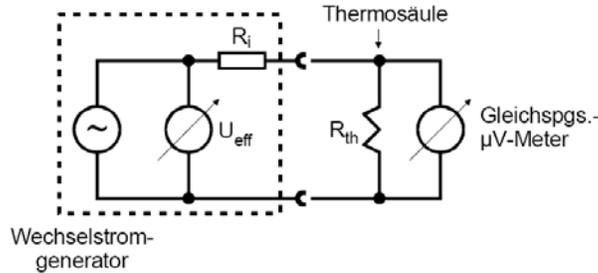


Abb.5: Schaltung zur Eichung der Thermosäule

Abbildung 2.3: Schaltung zur Eichung der Thermosäule

$$N_{el} = \frac{U_{eff}^2}{R_{ges}^2} R_{th} \tag{2.1}$$

an die Säule abgibt. Daraus lässt sich dann die Eichung der Thermosäule bestimmen.

Kapitel 3

Auswertung

3.1 Fehlerrechnung

Im allgemeinen benutzen wir die folgenden Gleichungen zur Fehlerbestimmung. Wir identifizieren die relativen Fehler der Messgröße x mit $s_{x,rel}$ und die absoluten Fehler der Messgröße als s_x . Dabei gilt

$$s_{x,rel} := \frac{s_x}{x} .$$

Der Mittelwert einer Messreihe ergibt sich nach:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Für die Standardabweichung σ_x gilt:

$$\sigma_x := \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Damit folgt der Fehler des Mittelwerts zu:

$$s_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Für fortgepflanzte Fehler verwenden wir die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung mit relativen Fehlern

$$r_x = \sqrt{s_{x1,rel}^2 + s_{x2,rel}^2 + \dots}$$

. Lineare Regressionen führen wir mit dem Programm Open Office nach der Methode der kleinsten Abstandsquadrate durch. Damit erfolgt auch die Fehlerberechnung der Regression.

3.2 Eichung der Thermosäule

Durch beheizen der Thermosäule mit einem elektrischen Strom erhalten wir den Eichfaktor f

$$U_{th} = f \cdot N_{el}$$

Gegeben waren der Widerstand der Thermosäule $R_{th} = (14,85 \pm 0,01)\Omega$ der Innenwiderstand der Spannungsquelle $R_i = 683\Omega$ und entsprechend der Gesamtwiderstand R_{ges} als Summe der beiden.

N_{el} ist dabei über (2.1) gegeben. In Tabelle 3.1 sind nun die gewonnenen Messwerte aufgetragen. Durch lineare Regression (vgl. Abb. 3.1) erhält man den Eichfaktor

$U_{eff}[V]$	$U_{Th} \pm 1[\mu V]$	N [mW]
0,0	0	0
0,5	1	0,01
1,0	5	0,03
1,5	12	0,07
2,0	21	0,12
2,5	31	0,19
3,0	46	0,27
3,5	62	0,37
4,0	80	0,49
4,5	102	0,62
5,0	125	0,76
5,5	152	0,92
6,0	180	1,10
6,5	211	1,29
7,0	248	1,49
7,5	286	1,72
8,0	325	1,95
8,5	366	2,20
9,0	408	2,47
9,5	464	2,75
10,0	521	3,05

Tabelle 3.1: Eichung der Thermosäule

$$f = (167,33 \pm 0,78) \left[\frac{\mu V}{mW} \right]$$

Im folgenden wird auch der Kehrwert

$$f^{-1} = (5,98 \cdot 10^{-3} \pm 2,98 \cdot 10^{-5}) \left[\frac{mW}{\mu V} \right]$$

verwendet.

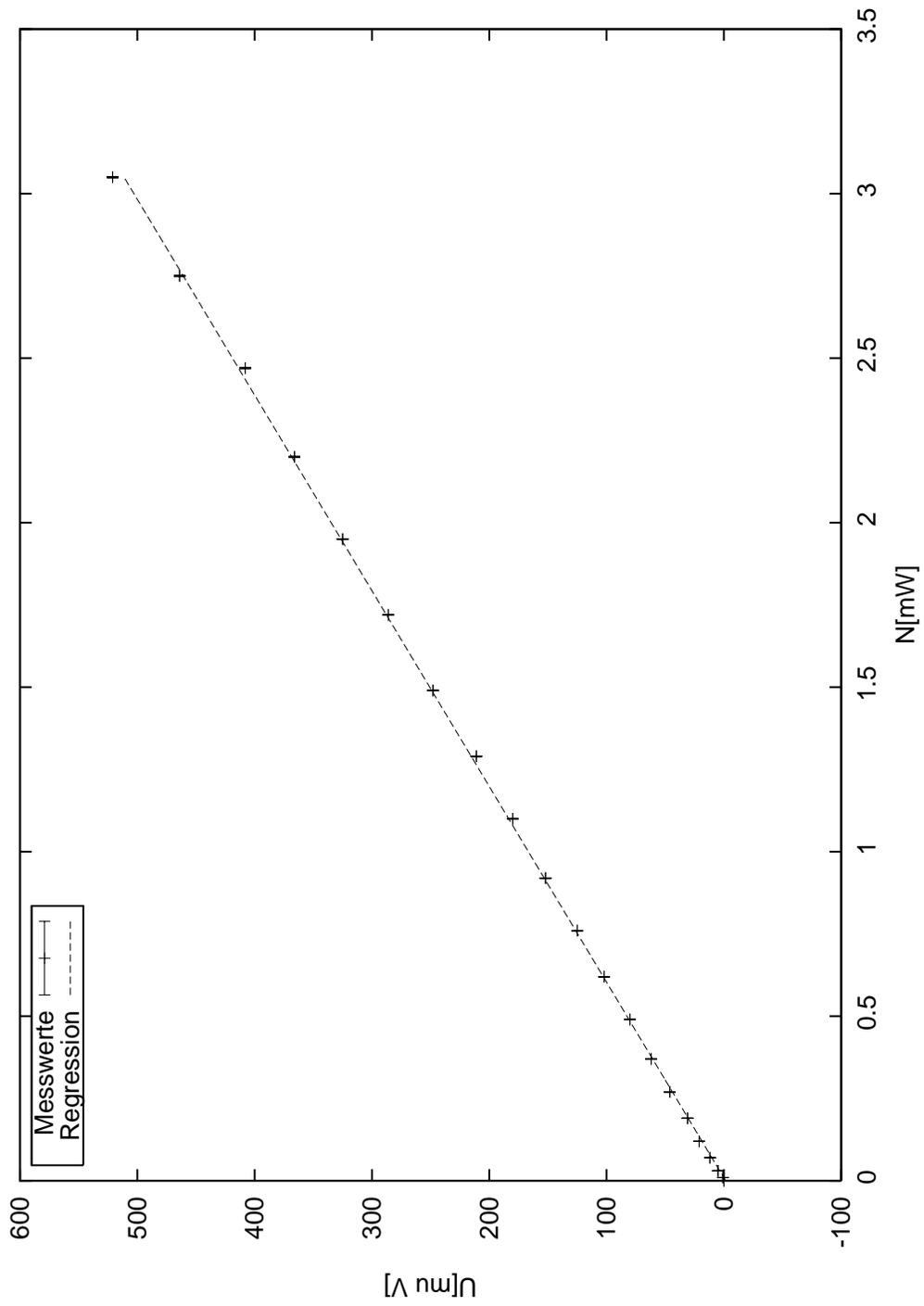


Abbildung 3.1: Lineare Regression zur Bestimmung des Eichfaktors f

3.3 Temperaturabhängigkeit der Strahlungsleistung

Die Messung zur Bestimmung der Strahlungsabhängigkeit fand bei einer Raumtemperatur von $T_E = 21,0^\circ C$ statt. Die Entfernung zwischen Strahler und Empfänger betrug 200mm. Die Fläche der Strahler Blende berechnet sich (mit dem bekannten Durchmesser) nach

$$\Delta F_S = \pi R_S^2 = \pi \left(\frac{7,5}{2} \right)^2 mm^2 = 44,18 mm^2 .$$

Der Fläche der Empfängerblende ergibt sich durch Messung des Durchmesser d_E (vgl Tabelle 2.2) zu

$$\Delta F_E = \pi R_S^2 = \pi \left(\frac{(1,22 \pm 0,003)}{2} \right)^2 cm^2 = (1,16 \pm 0,01) cm^2 .$$

Der Fehler ergibt sich nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung mit dem rel. Fehler des Mittelwerts. Zunächst war nun zu überprüfen, dass die Strahlungsleistung in vierter Potenz von der Tem-

$d_E [cm]$
1,205
1,215
1,215
1,225
1,204
1,204
1,226
1,224
1,224
1,225
1,217

Tabelle 3.2: Durchmesser der Empfängerblende d_E

peratur abhängig sind. Zu diesem Zweck wurden die Messwerte logarithmiert (vgl. Tabelle 3.3) und eine lineare Regression (vgl Abb. 3.2) durchgeführt, die uns den Exponenten

$$a = (3,78 \pm 0,05)$$

liefert. Der sich somit zwar ausgehend von der Messgenauigkeit zu weit vom zu erwartende Wert von 4 befindet. Jedoch in der gleichen Größenordnung liegt.

Als weiterer Schritt soll nun die *Stefan-Boltzmanm-Konstante* σ bestimmt werden. Zunächst definiert man die Konstante

$$k := \frac{\Delta F_E \cdot \Delta F_S}{\pi r^2} = (1,04 \cdot 10^{-7} \pm 4,83 \cdot 10^{-10}) m^2 ,$$

wobei r der Abstand der beiden Blenden ist.

Weiterhin errechnet man die Strahlungsleistung S durch

$$S = U_{th} \cdot f^{-1}$$

Und trägt S/k gegen $(T^4 - T_E^4)$ (vgl. Tabelle 3.4) in einem Diagramm (vgl. Abb. 3.3) auf und ermittelt per linearer Regression die Steigung a der Geraden $f(x) = a \cdot x + b$ zu

$$a = (1,79 \cdot 10^{-8} \pm 4,12 \cdot 10^{-10}) \frac{W}{m^2 K^4} .$$

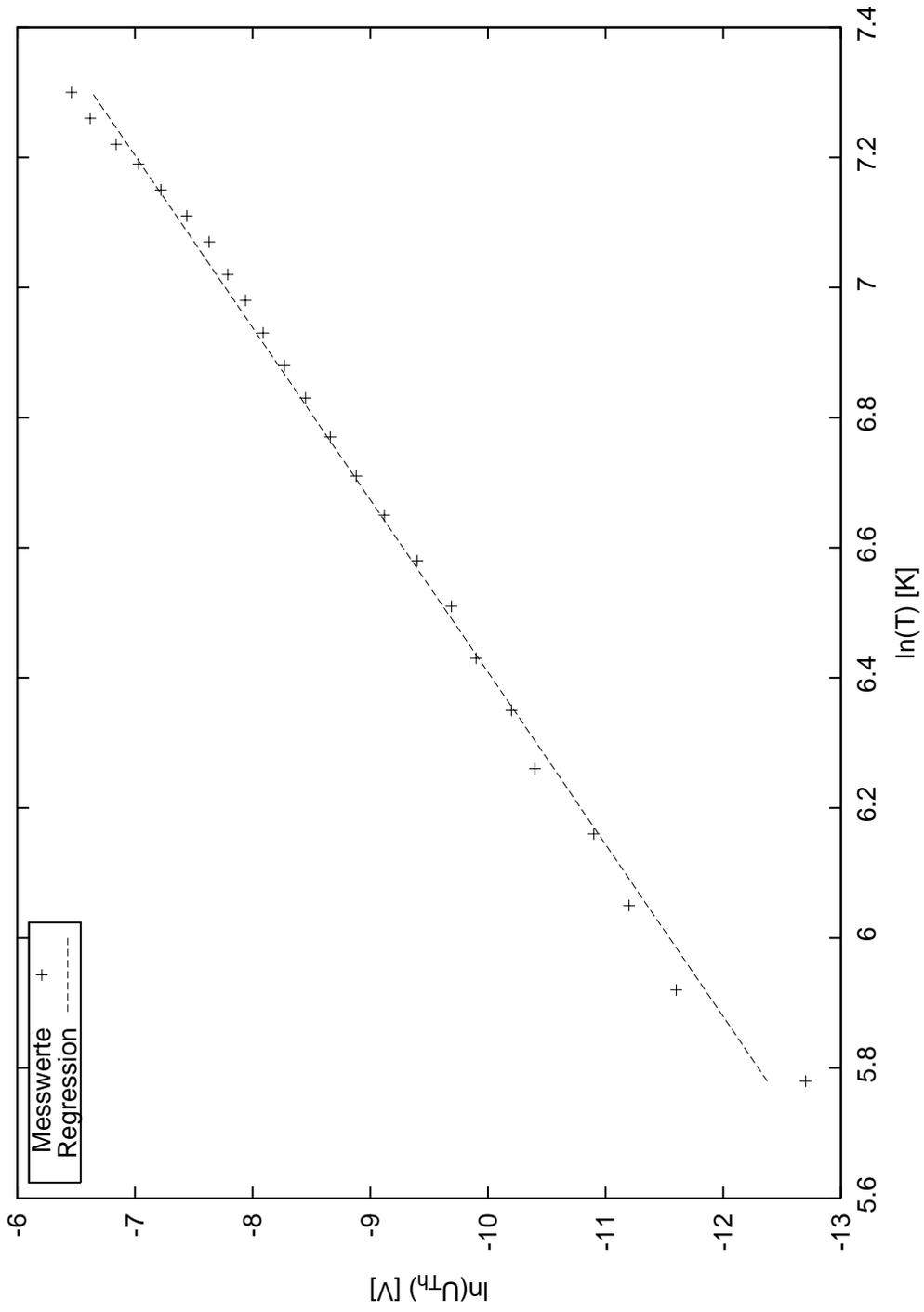


Abbildung 3.2: Bestimmung des Exponenten von T

T[°C]	T[K]	ln(T) [K]	$U_{Th}[\mu V]$	$\ln(U_{Th}[V])$
50	323,15	5,78	3	-12,72
100	373,15	5,92	9	-11,62
150	423,15	6,05	14	-11,18
200	473,15	6,16	19	-10,87
250	523,15	6,26	30	-10,41
300	573,15	6,35	39	-10,15
350	623,15	6,43	50	-9,90
400	673,15	6,51	62	-9,69
450	723,15	6,58	83	-9,40
500	773,15	6,65	109	-9,12
550	823,15	6,71	139	-8,88
600	873,15	6,77	174	-8,66
650	923,15	6,83	214	-8,45
700	973,15	6,88	257	-8,27
750	1023,15	6,93	306	-8,09
800	1073,15	6,98	357	-7,94
850	1123,15	7,02	414	-7,79
900	1173,15	7,07	487	-7,63
950	1223,15	7,11	587	-7,44
1000	1273,15	7,15	734	-7,22
1050	1323,15	7,19	889	-7,03
1100	1373,15	7,22	1072	-6,84
1150	1423,15	7,26	1338	-6,62
1200	1473,15	7,30	1565	-6,46

Tabelle 3.3: Temperaturabhängigkeit der Strahlungsleistung

S/k [W]	s_S [W]	$(T^4 - T_E^4)[K^4]$
1,72E+002	1,79E+000	1,09E+010
5,17E+002	5,37E+000	1,94E+010
8,04E+002	8,35E+000	3,21E+010
1,09E+003	1,13E+001	5,01E+010
1,72E+003	1,79E+001	7,49E+010
2,24E+003	2,33E+001	1,08E+011
2,87E+003	2,98E+001	1,51E+011
3,56E+003	3,70E+001	2,05E+011
4,77E+003	4,95E+001	2,73E+011
6,26E+003	6,50E+001	3,57E+011
7,98E+003	8,29E+001	4,59E+011
9,99E+003	1,04E+002	5,81E+011
1,23E+004	1,28E+002	7,26E+011
1,48E+004	1,53E+002	8,97E+011
1,76E+004	1,83E+002	1,10E+012
2,05E+004	2,13E+002	1,33E+012
2,38E+004	2,47E+002	1,59E+012
2,80E+004	2,90E+002	1,89E+012
3,37E+004	3,50E+002	2,24E+012
4,21E+004	4,38E+002	2,63E+012
5,10E+004	5,30E+002	3,07E+012
6,16E+004	6,39E+002	3,56E+012
7,68E+004	7,98E+002	4,10E+012
8,99E+004	9,33E+002	4,71E+012

Tabelle 3.4: Temperaturabhängigkeit der Strahlungsleistung

Die in der Tabelle angegebenen Fehler berechnen sich nach

$$r_S = \sqrt{r_f^2 + r_k^2} .$$

Man erhält

$$\sigma_{exp} = (5,62 \pm 0,13) \cdot 10^{-8} \frac{W}{K^4 m^2} .$$

Wir finden einen Literaturwert ("Kuchling - Taschenbuch der Physik") von $\sigma_{th} \approx 5,67 \cdot 10^{-8}$. Mit einer Abweichung von ca. 1% liegt das Experiment somit sehr nahe an der Theorie.

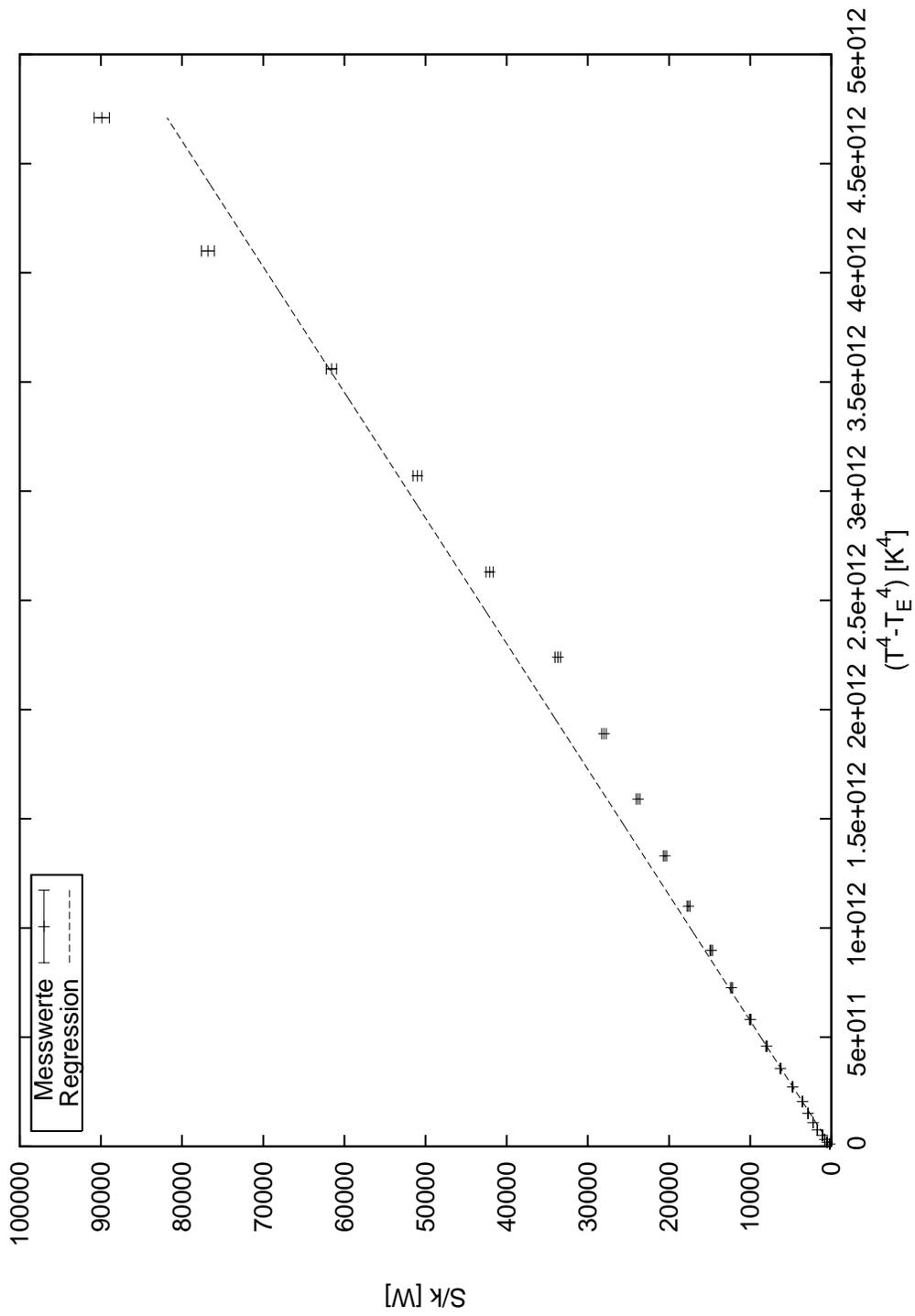


Abbildung 3.3: Temperaturabhängigkeit der Strahlungsleistung

3.4 Entfernungsabhängigkeit der Strahlungsleistung

Nun soll die Entfernungsabhängigkeit der Strahlungsleistung überprüft werden. Die Messung wurde bei einer Temperatur von 1200°C auf Strahlerseite durchgeführt. Die Raumtemperatur betrug weiterhin 21,0°C. Dazu werden zunächst die in Tabelle (3.5) dargestellten logarithmierten Messwerte um analog zur Temperaturabhängigkeit auf den Exponenten von r schließen zu können.

Auf die gemessenen Werte mußte ein Offset von 2,2cm aufaddiert werden, um den realen Abstand zu erhalten.

Das erste Wertepaar wurde dabei für sämtliche Berechnungen ausser acht gelassen, da es zu stark von den anderen Messwerten abweicht. Die lineare Regression (vgl Abb. 3.4) liefert einen

$r_{gem} \pm 1 [cm]$	$r \pm 1 [cm]$	$U_{Th} [\mu V]$	$\ln(U_{Th} [\mu V])$	$\ln(r) [cm]$
10,8	13	1327	7,19	2,56
11,8	14	3070	8,03	2,64
13,8	16	2430	7,80	2,77
15,8	18	1953	7,58	2,89
17,8	20	1610	7,38	3,00
21,8	24	1113	7,01	3,18
23,8	26	944	6,85	3,26
25,8	28	811	6,70	3,33
27,8	30	702	6,55	3,40
32,8	35	512	6,24	3,56
37,8	40	388	5,96	3,69
47,8	50	246	5,51	3,91
57,8	60	171	5,14	4,09
67,8	70	123	4,81	4,25
77,8	80	97	4,57	4,38

Tabelle 3.5: Abstandsabhängigkeit der Strahlungsleistung

Exponenten von

$$a = -2,01 \pm 0,01$$

was sehr gut mit dem erwarteten -2 übereinstimmt.

In Analogie zur Temperaturabhängigkeit definieren wir eine Konstante

$$g := \frac{\Delta F_E \Delta F_S}{\pi} \cdot (T_4 - T_E^4)$$

und tragen dann S/g gegen r^{-2} (vgl Tabelle 3.6) auf. Die lineare Regression (vgl. Abb. 3.5) liefert uns dann die Stefan-Boltzmann-Konstante

$$\sigma_{exp} = (4,26 \cdot 10^{-8} \pm 4,40 \cdot 10^{-10}) \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right].$$

Man beobachtet eine erheblich größere Abweichung (ca. 25%) als bei der temperaturabhängigen Messung.

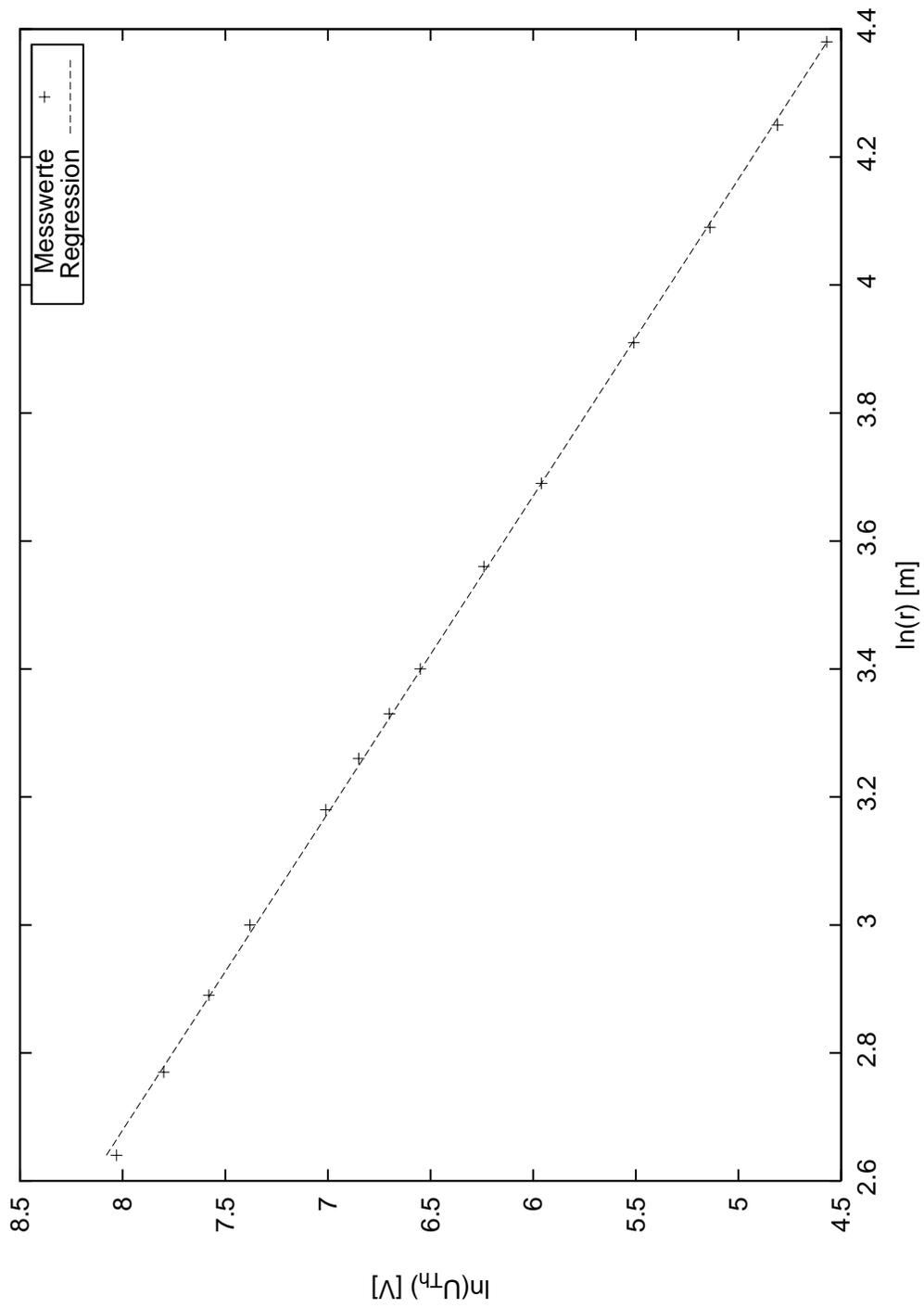


Abbildung 3.4: Bestimmung des Exponenten von r

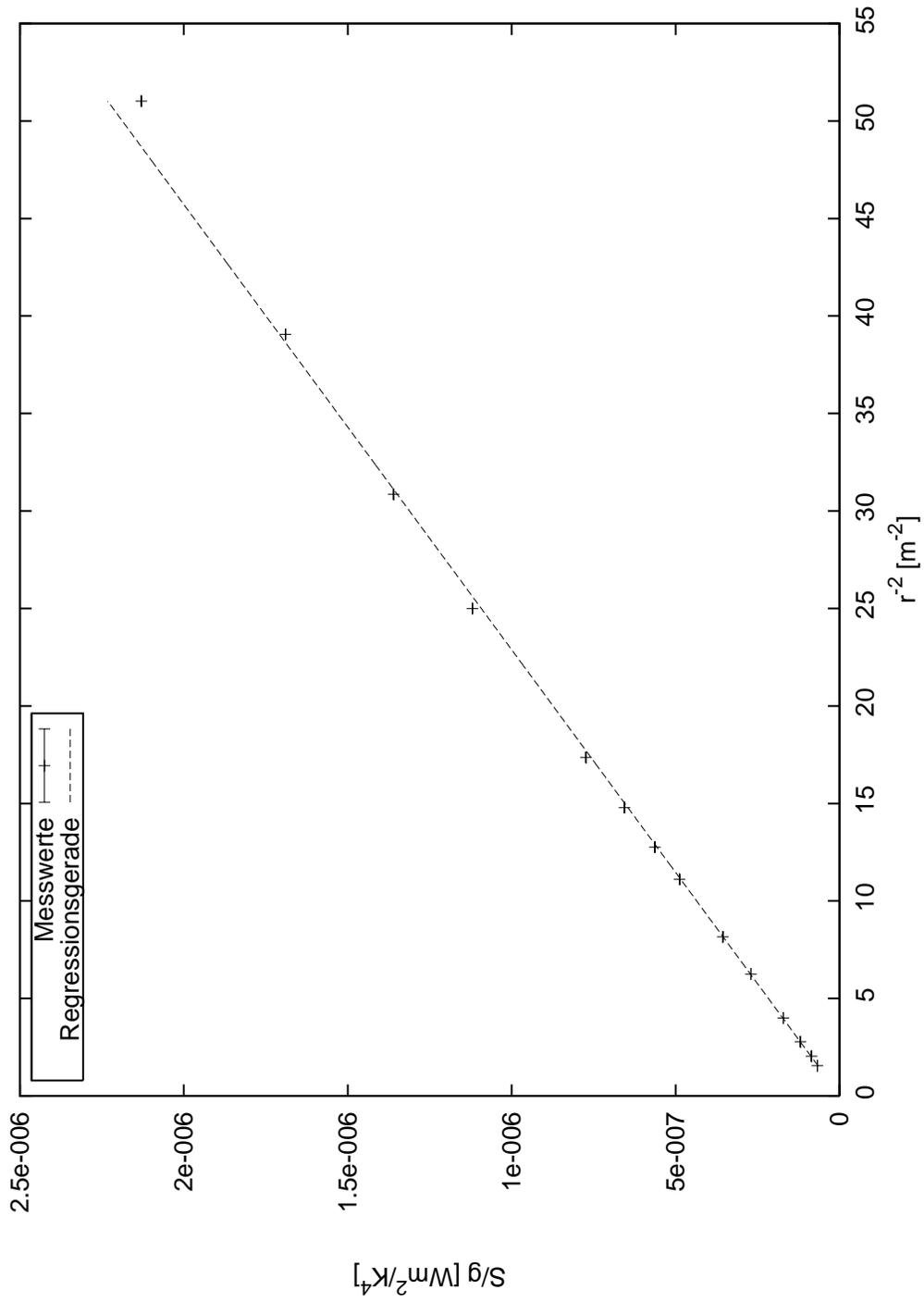


Abbildung 3.5: Entfernungsabhängigkeit der Strahlungsleistung

S/g [W/m^4K^4]	$s_N[W]$	$r2 \pm 1[m^{-2}]$
9,22E-007	9,95E-011	59,17
2,13E-006	4,66E-011	51,02
1,69E-006	3,69E-011	39,06
1,36E-006	2,97E-011	30,86
1,12E-006	2,45E-011	25,00
7,73E-007	1,69E-011	17,36
6,56E-007	1,43E-011	14,79
5,63E-007	1,23E-011	12,76
4,88E-007	1,07E-011	11,11
3,56E-007	7,78E-012	8,16
2,70E-007	5,90E-012	6,25
1,71E-007	3,74E-012	4,00
1,19E-007	2,60E-012	2,78
8,55E-008	1,87E-012	2,04
6,74E-008	1,47E-012	1,56

Tabelle 3.6: Entfernungsabhängigkeit der Strahlungsleistung

3.5 Spektrale Verteilung der Temperaturstrahlung

Um die spektrale Verteilung der Temperaturstrahlung zu ermitteln wurden jeweils Filter verwendet, die (ideell) nur eine Wellenlänge (durchlassen) sollten. Jedoch besitzen diese Filter einen gewissen Durchlassbereich $\Delta\lambda$. Die gemessenen Spannungen an der Thermosäule sowie die Kenngrößen der Filter sind in Tabelle 3.6 aufgetragen.

Zum Vergleich mit dem Planck'schen Strahlungsgesetz stellen wir nun $\frac{\Delta P}{\Delta\lambda}$ (also die Division

$\langle \lambda \rangle [\mu m]$	$\Delta\lambda[nm]$	$U_{Th} \pm 1[\mu V]$	P[mW]
1,29	12,7	8	0,05
1,45	2,7	8	0,05
1,72	54,6	46	0,27
1,96	63,6	48	0,29
2,16	83,8	66	0,39
2,34	44	89	0,53
2,51	65	51	0,30
2,65	98	56	0,33
2,90	158	34	0,20
3,18	65	40	0,24
3,99	98	24	0,14
5,30	158	31	0,19

Tabelle 3.7: Spektralverteilung der Temperaturstrahlung

der Strahlungsleistung durch den Durchlassbereich des Filters) sowie einige theoretisch ermittelte Werte nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz dar. Die Theoriewerte müssen jedoch mit dem Verhältnis $\frac{F_F \dot{E}_S}{2\pi r^2}$ multipliziert werden, wir nur einen geringen Anteil des Raumes betrachten. Man erkennt nur mit sehr viel Wohlwollen eine Übereinstimmung zwischen Theoriekurve

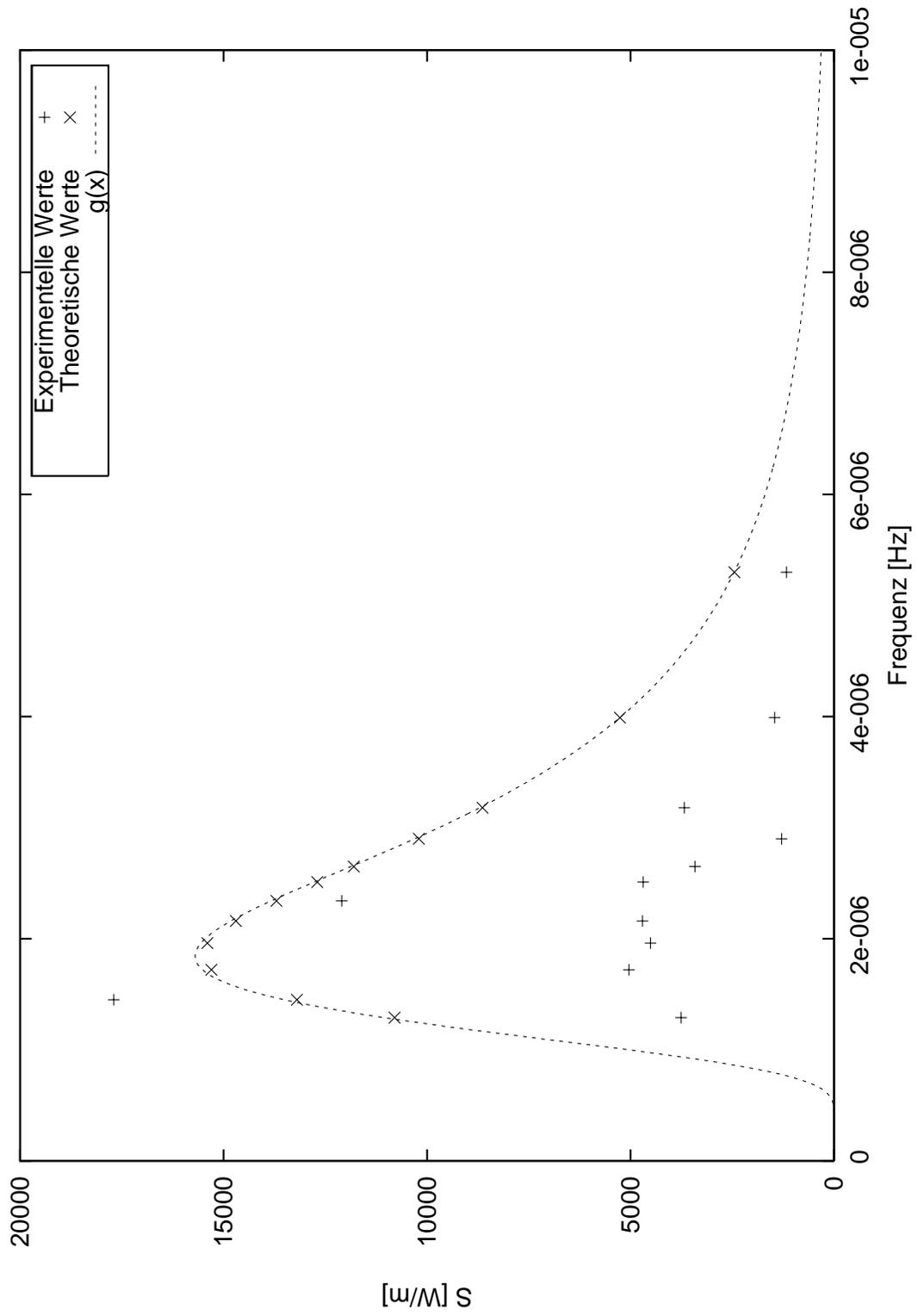


Abbildung 3.6: Spektralverteilung der Strahlungsleistung

und gemessenen Werten. Eine Fehlerursache könnte in einer Verschmutzung der Filter begründet liegen.