

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	3
2	Aufgabenstellung	3
3	Versuchsaufbau	3
4	Theorie	4
4.1	Quecksilber Termschema	4
4.2	Semiklassische Erklärung	5
4.3	Quantenmechanische Erklärung	7
4.4	Zeeman-Effekt	7
4.5	Linienverbreiterung	7
5	Versuchsdurchführung	8
5.1	Kalibration	8
5.2	Messung	8
6	Auswertung	9
6.1	Rampenspannung	9
6.2	0° Polarisation	10
6.3	90° Polarisation	13
6.4	45° Polarisation	14
7	Diskussion der Messreihen und Fazit	17
8	Anhang	18
8.1	Dampfdruckkurve	18
8.2	0°	18
8.3	45°	25
8.4	90°	31

1 Motivation

Bereits 1924 beschrieb Wilhelm Hanle den nach ihm benannte Effekt. Hierdurch werden Absorptions-, beziehungsweise Emissionseffekte angeregter atomarer Zustände in Abhängigkeit eines äußeren Magnetfeldes unter Verwendung von linear polarisiertem Licht. Mit Hilfe dieses Effektes wollen wir in diesem Versuch die Lebensdauer des Übergangs des Zustandes $6s6p$ nach $6s^2$.

2 Aufgabenstellung

Die Aufgaben des Versuches lassen sich in folgenden Punkten einteilen:

- Bestimmung des Offsets des Polarisators und Kalibrierung der einzelnen Helmholtzspulen
- Aufnahme von Messreihen für steigende Temperatur mit folgenden Einstellungen:
 - 0° –Einstellung des Polarisators
 - 90° –Einstellung des Polarisators
 - 45° –Einstellung des Polarisators
- Bestimmung der Lebensdauer des 3P1 –Zustandes von Quecksilber durch Extrapolation einer Gerade gegen einen Druck von 0 Pa

3 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus dem Hanle-Experiment selbst. Im folgenden wollen die wichtigsten Komponenten des in Abbildung 1 dargestellten Aufbaus aufführen und kurz erläutern.

- Quecksilberdampflampe
Da wir in unserem Versuch Quecksilber anregen empfiehlt es sich einfach eine Quecksilberdampf -Niedrigdrucklampe zu benutzen und des Strahlung zu Filtern. So können wir garantieren, dass die von uns durchgelassene Strahlung genau die nötige Energie zur Anregung besitzt.
- Interferenzfilter
Durch ein Interferenzfilter wird nur ein schmaler Bereich des Frequenzspektrums durchgelassen. Hierdurch wird garantiert, dass nur das Licht des Übergangs an unsere Probe ankommt den wir auch anregen wollen.
- Polarisationsfilter
Mit Hilfe dieses Filters ist es möglich nur Licht, dass in eine Bestimmte Richtung polarisiert ist durchzulassen. Hierdurch können wir die Polarisationsrichtung im Bezug auf Beobachtungsrichtung variieren.

- Quecksilberzelle
In dieser Zelle befindet sich unsere Probe, welche wir über Peltierelementen bis auf -8° herunter kühlen können.
- Helmholtz-Spulen
Um unsere Probe haben wir insgesamt 3 Helmholtz-Spulen Paare, dessen Felder orthogonal ausgerichtet sind. Zwei der Paare dienen uns dazu äUSSere Störfelder zu kompensieren, während uns das dritte Paar ein veränderliches Magnetfeld liefert, welches wir mit einem Rampen-Generator betreiben.
- Photomultiplier
Die Strahlung unsere Probe erfassen wir mit Hilfe eines Photomultipliers und stellen sie mit Hilfe eines Speicheroszilloskops da.

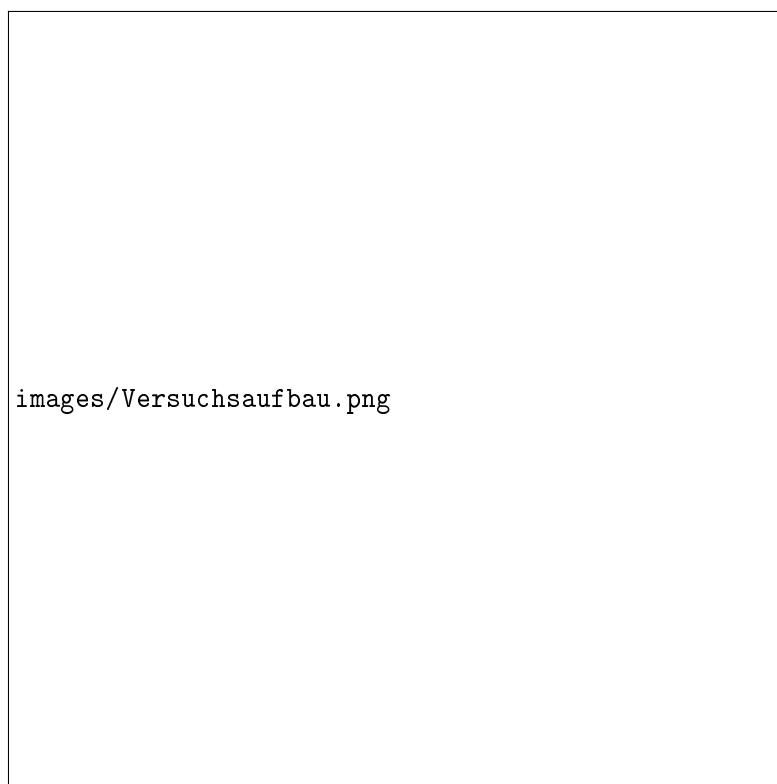


Abbildung 1: Versuchsaufbau:

- 1) Hg-Dampf-Lampe, 2) Sammellinse, 3) Inteferenzfilter, 4) Polarisationsfilter, 5) Fokussierlinse, 6) Photomultiplier-Tube, 7) Helmholtz-Spulen, 8) Quecksilberdampf-Resonanzzelle, 9) Peltierelemente, 10) Heat-Pipes

[1]

4 Theorie

4.1 Quecksilber Termschema

Wir wollen den Übergang aus der 3P_1 Zustand in den Grundzustand 1S_0 bestimmen. Dieser Übergang ist klassisch verboten, wodurch er eine relativ lange Lebensdauer besitzt und so gut zu bestimmen ist. Durch den Interferenzfilter im Versuchsaufbau können wir gewährleisten, dass nur dieser Zustand des Termschema (siehe Abb. 2) angeregt wird.

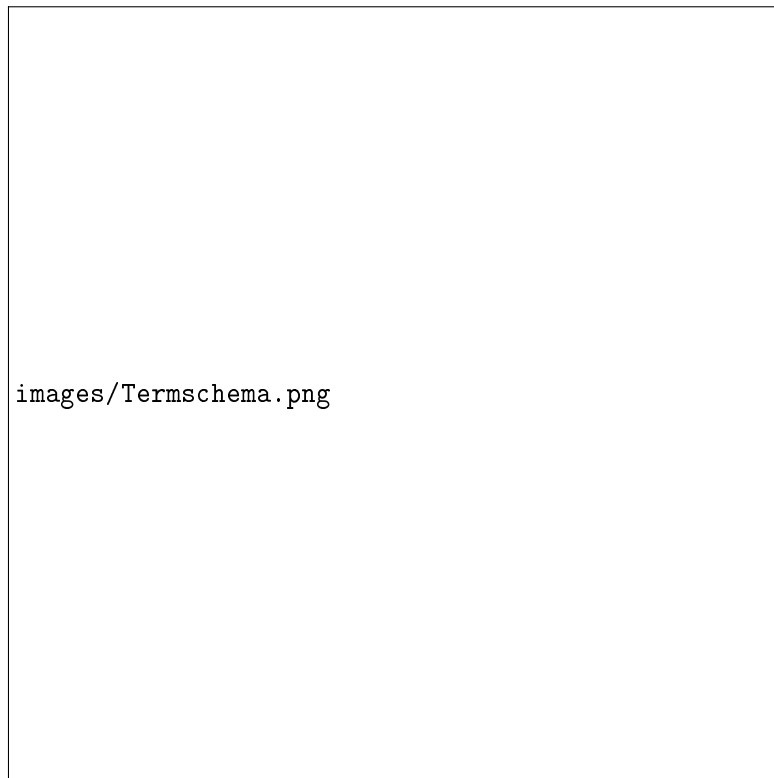


Abbildung 2: Auszug aus dem Termschema von Quecksilber [2]

4.2 Semiklassische Erklärung

Klassisch wollen wir zunächst das Elektron als gedämpften harmonischen Oszillator ansehen, welcher durch linear polarisiertes Licht angeregt wird. Das äußerste Elektron schwingt hierdurch zunächst parallel zur Polarisationsrichtung des Lichtes, bis es schließlich wieder zur Ruhe kommt. Wir wollen dies durch einen zur Polarisationsrichtung parallel ausgerichteten oszillierenden Dipol beschreiben, mit dem Abstrahlverhalten

$$I \sin^2(\Phi) \quad (1)$$

wobei Φ der Winkel zwischen Dipolachse und Beobachtungsrichtung ist. Für $\Phi = 0$ folgt also keine Abstrahlung, was eine Begründung für die totale Reflexion von polarisiertem Licht beim Brewster-Winkel liefert. Durch ein zur Polarisationsrichtung orthogonales B-Feld, können wir das Elektron um das B-Feld präzidieren lassen. Je stärker das angelegte Feld, desto höher die Winkelgeschwindigkeit der Drehung, was dafür sorgt, dass das Elektron durch einen gröSSeren Winkelbereich präzidieren kann, bevor es abgeklungen ist(siehe Abb. 3).



Abbildung 3: Präzessionsbewegung
[2]

Betrachtet man nun im Allgemeinen eine Vielzahl von Elektronen folgt das Zurückfallen in den Grundzustand dem exponentiellen Verlauf $\exp(-\frac{t}{\tau})$, wobei τ der mittleren Lebensdauer entspricht. Wollen wir nun die gesamt Intensität ermitteln, die ein angeregtes Atom abstrahlt, müssen wir über den gesamten Zeitraum integrieren:

$$I = C \int_0^{\infty} \sin^2(\Phi) e^{-\frac{t}{\tau}} dt \quad (2)$$

Unter der Berücksichtigung der Beziehung $\Phi = \omega_L t$ ergibt sich

$$I = C \int_0^{\infty} \sin^2(\omega_L t) e^{-\frac{t}{\tau}} dt \quad (3)$$

wobei unser Präzisionsfrequenz durch die Lamorfrequenz gegeben ist

$$\omega_L = \frac{g_j B \mu_B}{\hbar} \quad (4)$$

mit dem Lande-Faktor g_j , dem Bohrschen Magneton μ_B . Setzt man die Lamorfrequenz in Formel 3 ein erhält man

$$I = C \frac{2\tau^2 \omega}{1 + 4\tau^2 \omega_L^2} \quad (5)$$

Diese Funktion entspricht einer invertierten Lorentzkurve und entspricht der 90° -Stellung, in der das Licht in Beobachtungsrichtung polarisiert ist. Folglich entspricht die 0° -Stellung Licht, das senkrecht zur Beobachtungsrichtung polarisiert ist. Für diese Einstellung ergibt sich dann

$$I = \frac{C}{2} \left(2 - \frac{4\tau^2 \omega_L^2}{1 + 4\tau^2 \omega_L^2} \right) \quad (6)$$

unter Berücksichtigung von $\Phi = \omega_L t + \frac{\pi}{2}$, stellt dies eine Lorentzkurve da. Lorentzkurven sind nicht normierbar, weshalb wir darauf zurückgreifen die FWHM zu benutzen

$$\tau = \frac{\hbar}{g_j \mu_B B_{FWHM}} \quad (7)$$

4.3 Quantenmechanische Erklärung

Bei Berücksichtigung der Feinstruktur wird deutlich, dass nicht nur 3P_x sondern auch zusätzlich 3P_2 und 3P_0 besetzt werden. Diese beiden Zustände fallen unter Aussendung von links- bzw. rechtszirkular polarisiertem Licht in den Grundzustand. Ohne ein äußeres Magnetfeld sind diese drei Zustände entartet, was eine destruktive Interferenz und somit eine minimale Intensität zur Folge hat. Durch ein äußeres Magnetfeld kann diese Entartung aufgehoben werden, da hier die Zeeman-Aufspaltung stattfindet. Nun kann keine Interferenz mehr stattfinden, da die nun unterschiedliche Wellenlängen vorliegen, was eine Zunahme des Intensität zur Folge hat. Mit Hilfe der Breit-Formel erhält man ebenfalls als Ergebnis für τ Formel 7.

4.4 Zeeman-Effekt

Dieser Effekt beschreibt die Aufspaltung eines Energieniveaus durch ein äußeres Feld. Die Niveaus spaltet sich bezüglich ihrer magnetischen Dipolmomente auf, was den Quantenzahlen m entspricht. Die Energiedifferenz bezüglich dem ursprünglichen Energieniveau beträgt:

$$\Delta E = -g_j \mu_B m_j B \quad (8)$$

wobei g_j den Lande-Faktor

$$g_j = 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)} \quad (9)$$

bezeichnet, mit den Quantenzahlen $j = l + s$, dem Elektronenspin s und dem Bahndrehimpuls l . Man spricht vom sog. Level Crossing, wenn der Zeeman-Effekt so stark ist, dass sich verschiedene Energieniveaus überschneiden.

4.5 Linienverbreiterung

Natürliche Linienbreite

Aufgrund der Heisenbergschen Unschärferelation muss das Produkt $\Delta E \Delta t$ gröSSer gleich \hbar sein. In unserem Fall ist $\Delta t = \tau$, also:

$$\tau \Delta E \geq \hbar \text{ mit } \Delta E = h\Delta\nu \rightarrow \Delta\nu \geq \frac{1}{2\pi\tau} \quad (10)$$

Dopplereffekt

Der Dopplereffekt hat den gröSSten Einfluss auf die Linienverbreiterung. Auf Grund der hohen Geschwindigkeit der Atome muss der relativistische Dopplereffekt berücksichtigt werden. Durch diesen ändert sich für die Atome die Frequenz des Lichtes, wodurch die Linienverbreiterung nun von der Temperatur abhängt, wobei die Geschwindigkeit der Maxwell-Boltzmann-Verteilung folgt:

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{c} \sqrt{\frac{kt}{m}} \quad (11)$$

Mit der Masse der Atome m der Boltzmann-Konstanten k und der Frequenz ω_0 .

Coherence Narrowing

Wenn anstatt der direkten Messung eines ausgesendeten Photons im Photomultiplier stattdessen ein weiteres Atom angeregt wird, nennt man dies Coherence Narrowing. Wenn dies eintritt, misst man an Stelle der wahren Lebensdauer eine verlängerte. Dieser Effekt ganz mehr mal hintereinander passieren und die Wahrscheinlichkeit hierfür steigt mit der Temperatur. Wir werden deswegen für verschiedene Temperaturen die Lebenszeit messen und führen eine lin. Regression durch um für $T = 0K$ die wahre Lebenszeit zu erhalten.

5 Versuchsdurchführung

5.1 Kalibration

Zu Beginn des Versuchs wurde die Resonanzzelle mit der Kühlvorrichtung auf $-8^\circ C$ gekühlt. Bei dieser Temperatur bestimmten wir zunächst die Null-Einstellung unser Polarisators. Diese erhielten in dem wir zunächst alle Ströme der Spulen auf Null setzten und durch regelmässiges durchfahren der Rampen. Als nächsten Schritt versuchten wir dann die äusseren Felder zu kompensieren, in dem wir den Strom der zwei Helmholtzpaare änderten die für die Kompensation gedacht waren. Auch hier durchfahren wir immer wieder unsere Rampe, um die Lorentzkurve des Hanle-Effekts zu erhalten und so die Parameter zu optimieren. Für eine optimale Symmetrie der Kurve betrieben wir hier noch ein Mal eine Feinjustierung für die Winkeleinstellung des Polarisators. Um eine noch besser Kalibrierung zu erreichen drehten wir hier nach den Polarisator auf die 90° -Einstellung und justierten hier ebenfalls noch eine Mal alle Felder leicht nach. Leider ging bei dieser Justierung unser Rampengenerator kaputt, sodass wir diese Justierung nach der Reparatur des Generators erneut durchführen mussten. Unsere Entgültigen Einstellungen ergaben sich dann zu: Als Offset konnten wir 19° bestimmen.

	U / V	I / A
y	0,016	0,0024
z	-2,667	-0.3001

Tabelle 1: Kalibrationswerte der Magnetströme

5.2 Messung

Für die Messung haben wir zunächst die Kühlung abgeschaltet um dann nach jedem Temperaturanstieg um 1 K eine Messung durchzuführen. Um den langwierigen Abkühlvorgang nicht wiederholen zu müssen, entschieden wir uns dazu direkt bei jeder Temperatur die 0° , 90° und die 45° Einstellung. Ein Messvorgang bestand daraus, einen Rampen Durchlauf des Generators mit dem Oszilloskop aufzunehmen. Wir führten die Messung bis zu einer Temperatur von $16^\circ C$ durch und erhielten somit 25 Messpunkte.

6 Auswertung

Zur Auswertung unserer Daten benutzen wir ROOT. Wir nutzten eine Fit-Funktion die eine deutlich komplexere Form als den in der Theorie beschriebene Zusammenhang darstellt. Der Vorteil dieser ist, dass sie unsere Lebensdauer in Abhängigkeit der Temperatur direkt als Parameter enthält und dieser Wert so direkt abgelesen werden kann. Außerdem kann diese Funktion sowohl für die 0° als auch für die 90° Grad Polarisation genutzt werden. Die Funktion lautet:

$$f(x, y) = A \frac{C(2CD(x-F)\sin(2E) - \cos(2E) + 4C^2D^2(x-F) + 1)}{2(4C^2C^2(x-F)(x-F) + 1)} + B \quad (12)$$

Hierbei entspricht der Parameter B der Lebensdauer und der Parameter D ist fix durch folgende Gleichung bestimmt:

$$D = \frac{g_j \mu_B}{\hbar} 10^{-12} \quad (13)$$

Mit den Konstanten $\mu_B = 9,274E^{-24}$, $\hbar = 1,055E^{-34}$ und $g_j = 1,484$. Der multiplizierte Faktor dient dazu, dass C die Einheit $[\frac{1}{mTns}]$ bekommt. Ein weiterer Vorteil dieser Funktion ist, dass sich so auch der Fehler für unsere Lebensdauer sich direkt durch unseren Fit ergibt und somit eine Fehlerfortpflanzung sich erübrigt.

6.1 Rampenspannung

Zunächst wollen wir für eine Messung exemplarisch die Rampenspannung bestimmen. Dies ist voll kommend ausreichend, das diese sich im Verlauf unseres Experiments nicht verändert. Hierzu haben wir einen Fit für die Messung bei $-8^\circ C$ mit der Polarisation 0° durchgeführt (Abbildung 4).

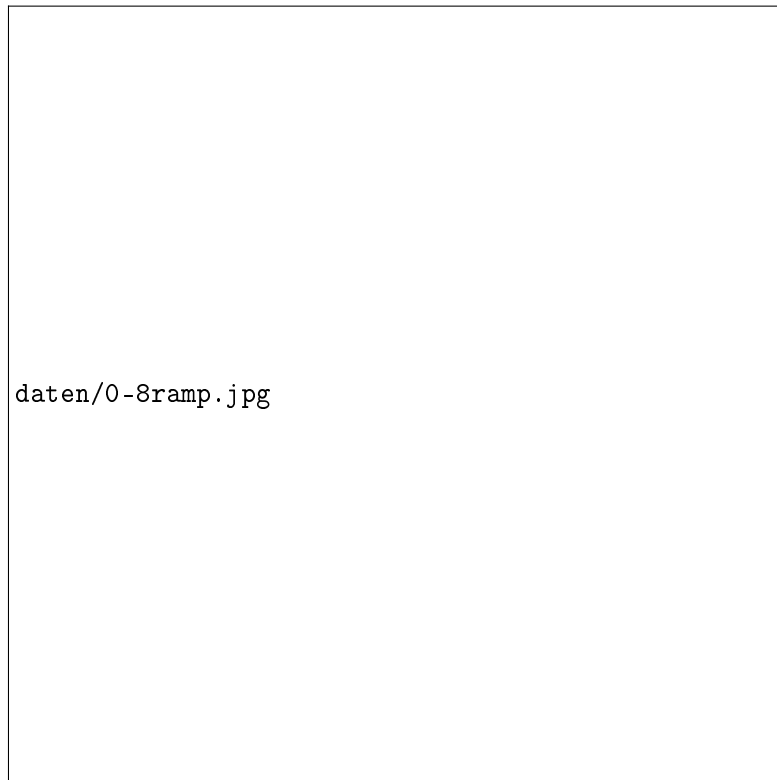


Abbildung 4: Rampenspannung bei 0° Grad Polarisation und für -8°C

Für die Steigung der Spannung ergibt sich also $\frac{dU}{dt} = (0,6057 \pm 0,0005) \frac{\text{A}}{\text{s}}$, wobei der Fehler hier mit weniger als 0,1% zu vernachlässigen ist.

6.2 0° Polarisation

Die einzelnen Abbildungen der Fits zu den den verschiedenen Temperaturen finden sich im Anhang 8.2. Wir wollen hier nur exemplarisch die Abbildung 5 aufführen, da sich die die Abbildungen im wesentlichen kaum unterscheiden.



Abbildung 5: Lorentzkurve bei 0° Grad Polarisation und für -8°C

Zur Bestimmung unserer wahren Lebenszeit und Berücksichtigung des Coherence Narrowing, führen wir nun mit unseren gewonnenen Daten eine lin. Regression durch. Hier wollen wir die einzeln bestimmten Lebenszeiten gegen den Gasdruck P auftragen. Dieser hängt mit der Temperatur T des GaSSes wie folgt zusammen:

$$P(T) = P_c \exp\left[\frac{T_c}{T} (a_1 T_r + a_2 T_r^{1,89} + a_3 T_r^2 + a_4 T_r^8 + a_5 T_r^{8,5} + a_6 T_r^9)\right] \quad (14)$$

Die Parameter dieser Funktion sind im Anhang 8.1 zu finden. Da in dieser Gleichung auch die Parameter Fehler aufweisen und auch noch korreliert sind, ist eine einfache Fehlerfortpflanzung sehr aufwendig. Wir führten deswegen einzelne exemplarische Rechnungen durch, wobei wir für unseren Fehler auf die Temperatur 0,5 K annahmen. Durch diese Schien uns ein relativer Fehler von 10% für angebracht. Eine Zusammenfassung der Einzelergebnisse ist in Tabelle 2 zu finden. Durch die lin. Regression ergibt sich der wahre Wert der Lebensdauer durch den y-Achsenabschnitt zu $\tau_0 = (105,3 \pm 0,6) \text{ns}$, siehe Abbildung 6.

Temperatur/K	Fehler/K	Lebensdauer/ns	Fehler/ns	Druck/Pa	Fehler/Pa
265,2	0,5	107,5	0,7	0,012	0,001
266,2	0,5	111,3	0,6	0,013	0,001
267,2	0,5	115,3	0,6	0,015	0,001
268,2	0,5	110,6	0,6	0,016	0,002
269,2	0,5	112,5	0,7	0,018	0,002
270,2	0,5	115,6	0,6	0,020	0,002
271,2	0,5	114,9	0,6	0,022	0,002
272,2	0,5	119,2	0,6	0,024	0,002
273,2	0,5	119,0	0,7	0,027	0,003
274,2	0,5	120,6	0,6	0,030	0,003
275,2	0,5	124,2	0,6	0,033	0,003
276,2	0,5	121,5	0,8	0,036	0,004
277,2	0,5	127,3	0,7	0,040	0,004
278,2	0,5	128,4	0,6	0,044	0,004
279,2	0,5	128,0	0,7	0,048	0,005
280,2	0,5	129,6	0,6	0,053	0,005
281,2	0,5	130,4	0,7	0,058	0,006
282,2	0,5	138,6	0,7	0,064	0,006
283,2	0,5	133,2	0,6	0,070	0,007
284,2	0,5	136,0	0,7	0,077	0,008
285,2	0,5	135,7	0,8	0,084	0,008
286,2	0,5	137,7	0,7	0,092	0,009
287,2	0,5	132,4	0,7	0,10	0,01
288,2	0,5	138,7	0,7	0,11	0,01
289,2	0,5	137,5	0,9	0,12	0,01

Tabelle 2: Ergebnisse für 0° Polarisation



Abbildung 6: Lineare Regression bei 0° Grad Polarisation

6.3 90° Polarisation

Leider sind durch einen technischen Defekt ein Teil unserer Messdaten verloren gegangen. Dies ist in erster Linie später bei unserer Diskussion wichtig, für die Auswertung selber ergibt sich dadurch kein Unterschied. Durch die Wahl unsere Fit-Funktion können wir hier wieder die selbe benutzen. Die Ergebnisse aller Messpunkte finden sich im Anhang 8.4, hier wollen wir wieder nur exemplarisch das Ergebnis des Messpunktes 0°C angeben in Abbildung 7.



Abbildung 7: Invertierte Lorentzkurve bei 90°Grad Polarisation und für 0°C

Aus den Messungen ergibt sich folgender Datensatz, der in Tabelle 3 dargestellt ist.

Temperatur/K	Fehler/K	Lebensdauer/ns	Fehler/ns	Druck/Pa	Fehler/Pa
273,2	0,5	122,9	0,5	0,027	0,003
274,2	0,5	123,6	0,5	0,030	0,003
275,2	0,5	122,6	0,6	0,033	0,003
276,2	0,5	129,1	0,7	0,036	0,004
277,2	0,5	126,1	0,7	0,040	0,004
278,2	0,5	133,7	0,7	0,044	0,004
279,2	0,5	128,5	0,6	0,048	0,005
280,2	0,5	134,8	0,7	0,053	0,005
281,2	0,5	135,3	0,7	0,058	0,006
282,2	0,5	133,3	0,6	0,064	0,006
283,2	0,5	138,9	0,7	0,070	0,007
284,2	0,5	139,6	0,7	0,077	0,008
285,2	0,5	138,2	0,8	0,084	0,008
286,2	0,5	139,2	0,9	0,092	0,009
287,2	0,5	137,8	0,8	0,10	0,01
288,2	0,5	149,0	1	0,11	0,01
289,2	0,5	142,2	0,9	0,12	0,01

Tabelle 3: Ergebnisse für 90° Polarisierung

Für die wahre Lebensdauer ergab sich $\tau_{90} = (102 \pm 1) \text{ ns}$ durch die lin. Regression (siehe Abbildung 8).



Abbildung 8: Lineare Regression bei 90° Grad Polarisation

6.4 45° Polarisation

Auch hier gingen wir wieder auf die selbe Art vor. Der theoretische Verlauf konnte bestätigt werden und bildet sich aus einer invertierten und einer normalen Lorentzkurve (siehe Abbildung 9). Auch diesen Verlauf können wir durch unsere Fit-Funktion annähern. Als Wert für τ_{45} erhielten wir $(105,3 \pm 0,6) ns$. Unsere Zwischenergebnisse sind in Tabelle 4 zu finden und die lineare Regression in Abbildung 10. Die restlichen Fits sind im Anhang 8.3 enthalten.

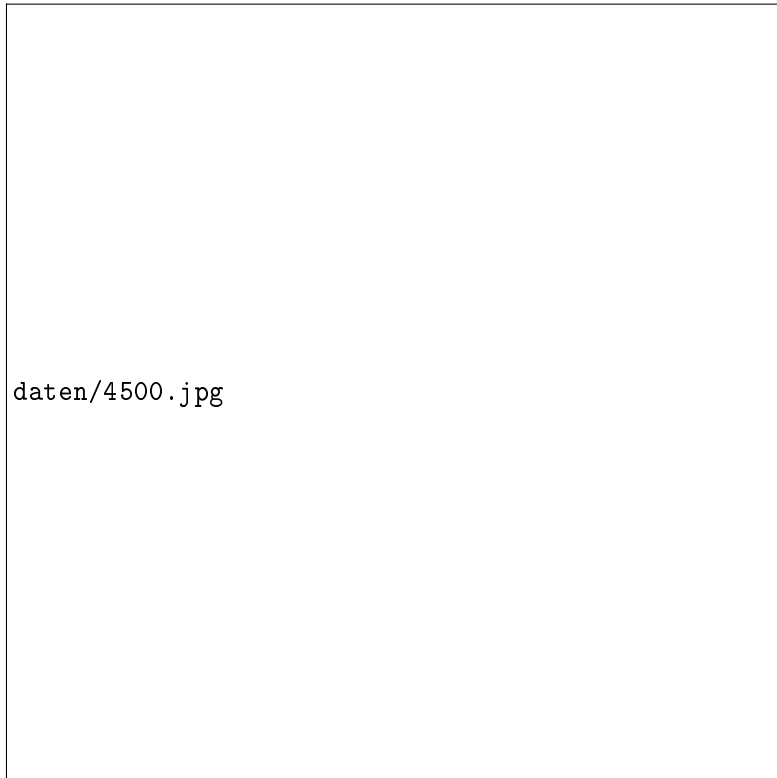


Abbildung 9: Verlauf bei 45° Grad Polarisation und für 0°C

Temperatur/K	Fehler/K	Lebensdauer/ns	Fehler/ns	Druck/Pa	Fehler/Pa
265,2	0,5	116,6	0,6	0,012	0,001
266,2	0,5	111,4	0,6	0,013	0,001
267,2	0,5	121,5	0,5	0,015	0,001
268,2	0,5	125,3	0,5	0,016	0,002
269,2	0,5	116,9	0,6	0,018	0,002
270,2	0,5	117,2	0,5	0,020	0,002
271,2	0,5	118,6	0,4	0,022	0,002
272,2	0,5	120,3	0,5	0,024	0,002
273,2	0,5	122,4	0,4	0,027	0,003
274,2	0,5	127,5	0,4	0,030	0,003
275,2	0,5	121,7	0,4	0,033	0,003
276,2	0,5	127,1	0,4	0,036	0,004
277,2	0,5	133,5	0,4	0,040	0,004
278,2	0,5	133,6	0,5	0,044	0,004
279,2	0,5	133,0	0,4	0,048	0,005
280,2	0,5	130,1	0,5	0,053	0,005
281,2	0,5	130,5	0,5	0,058	0,006
282,2	0,5	138,9	0,7	0,064	0,006
283,2	0,5	136,6	0,6	0,070	0,007
284,2	0,5	138,6	0,7	0,077	0,008
285,2	0,5	139,3	0,6	0,084	0,008
286,2	0,5	138,4	0,8	0,092	0,009
287,2	0,5	141,1	0,7	0,10	0,01
288,2	0,5	145,7	0,7	0,11	0,01
289,2	0,5	144,9	0,8	0,12	0,01

Tabelle 4: Ergebnisse für 45° Polarisation



Abbildung 10: Lineare Regression bei 45° Grad Polarisation

7 Diskussion der Messreihen und Fazit

Wir erhielten in den verschiedenen Messreihen folgende Ergebnisse für τ :

$$\tau_0 = (105,3 \pm 0,6)ns \quad (15)$$

$$\tau_{45} = (105,3 \pm 0,6)ns \quad (16)$$

$$\tau_{90} = (102 \pm 1)ns \quad (17)$$

Ein Vergleich mit dem theoretischen Wert $\tau_t = 119ns$ zeigt, dass unsere Messdaten alle mehrere Standardabweichungen zu tief liegen, wobei der Wert für 90° am schlechtesten ist. Das dieser schlechter als die anderen ist lässt sich wohl auf den Verlust der Messdaten zurückführen, wodurch uns nur ein halber Datensatz zur Verfügung stand. Ein möglicher Grund für die allgemein schlechten Ergebnisse ist wohl ein zu kleiner Fehler auf unsere Einzellebenszeit. Diese haben wir alleine durch den Fit angenommen und dadurch eine statistische Schwankung für das Ergebnis bei einer Temperatur vernachlässigt, auch unsere schlechte χ^2 -Werte der lin. Regressionen sind hierdurch zu erklären. Deswegen wollen wir hier noch ein Mal eine Beispiel Regression für 0° zeigen, bei der wir den 4-fachen Fehler auf die Lebenszeiten angenommen haben (Abbildung 11).

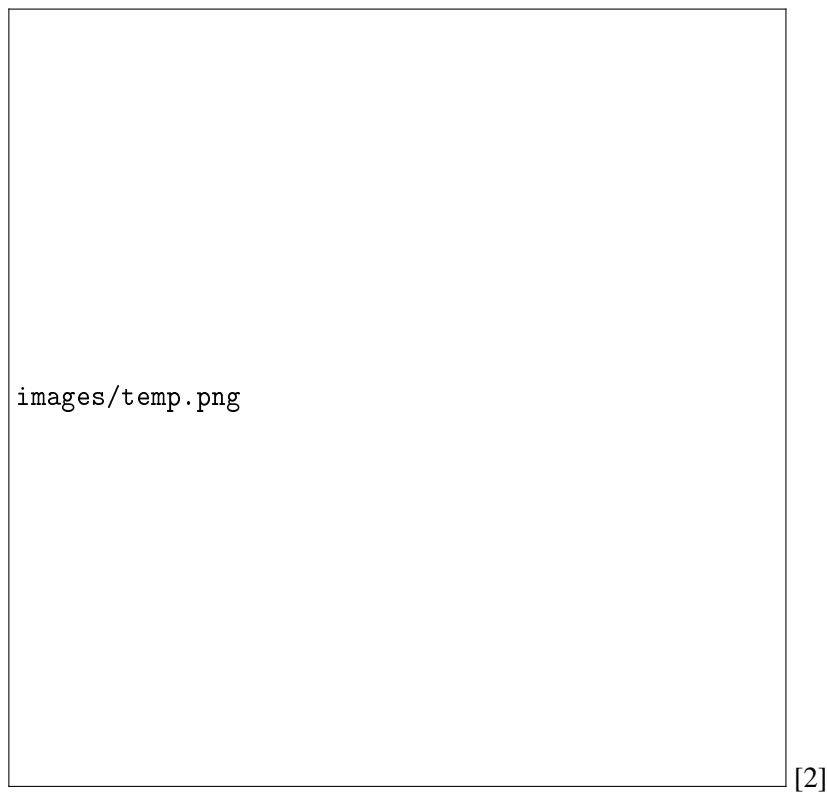


Abbildung 11: Lineare Regression bei 0° Grad Polarisation mit korrigiertem Fehler

Durch versuche mit verschiedenen Fehlern hat sich gezeigt, das mit gröSSerer werdendem Fehler nicht nur unser χ^2 (was nicht anders zu erwarten ist), sondern auch unser wahrer Werte für τ stetig besser wird, wie hier zum Beispiel $\tau = (109 \pm 1)ns$. Eine Verbesserung unserer Fehler wäre durch eine zusätzliche Messreihe möglich, in der man die Schwankung der Lebensdauer für eine feste Temperatur beobachtet. Dieser Aspekt reicht jedoch nicht vollständig aus, um die Abweichung zu erklären. Auch der Coherence Narrowing-Effekt scheidet aus, denn dieser könnte unsere Ergebnisse nur zu groSS werden lassen. Die Verschiebung unserer Messdaten ist wohl auf zusätzliche Streustrahlung zurückzuführen, die unsere Daten verfälscht. Trotzdem liegen unsere Daten in der richtigen GröSSenordnung und widersprechen so dem theoretischen Wert nicht, auch wenn sie ihn nicht direkt bestätigen können.

8 Anhang

8.1 Dampfdruckkurve



8.2 0 ◦



(a) Fit bei -8°



(b) Fit bei -7°



(c) Fit bei -6°



(d) Fit bei -5°



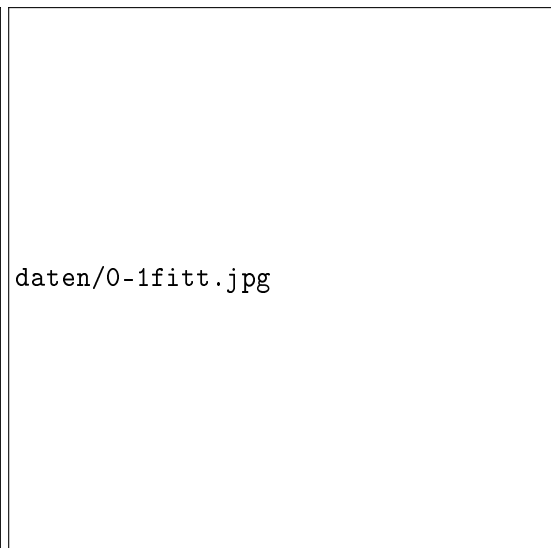
(e) Fit bei -4°



(f) Fit bei -3°



(g) Fit bei -2°



(h) Fit bei -1°

daten/00fitt.jpg

(i) Fit bei 0°

daten/01fitt.jpg

(j) Fit bei 1°

daten/02fitt.jpg

(k) Fit bei 2°

daten/03fitt.jpg

(l) Fit bei 3°

daten/04fitt.jpg

(m) Fit bei 4°

daten/05fitt.jpg

(n) Fit bei 5°

daten/06fitt.jpg

(o) Fit bei 6°

daten/07fitt.jpg

(p) Fit bei 7°

daten/08fitt.jpg

(q) Fit bei 8°

daten/09fitt.jpg

(r) Fit bei 9°

daten/010fitt.jpg

(s) Fit bei 10°

daten/011fitt.jpg

(t) Fit bei 11°



daten/012fitt.jpg

(u) Fit bei 12°



daten/013fitt.jpg

(v) Fit bei 13°



daten/014fitt.jpg

(w) Fit bei 14°



daten/015fitt.jpg

(x) Fit bei 15°



Abbildung 12: Fit bei 16°

8.3 45 ○



(a) Fit bei -8°

(b) Fit bei -7°



daten/45-6.jpg

(c) Fit bei -6°



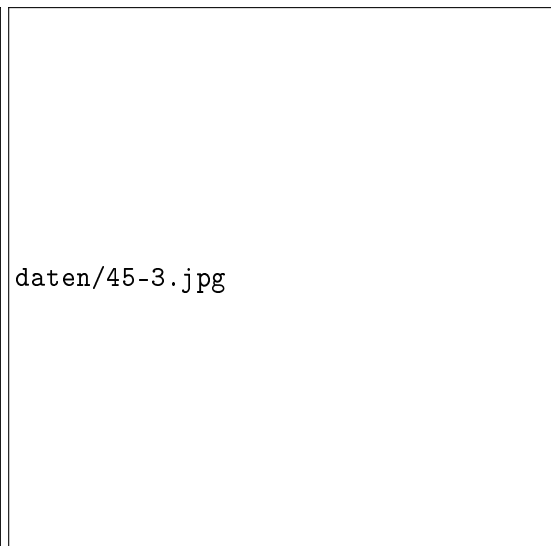
daten/45-5.jpg

(d) Fit bei -5°



daten/45-4.jpg

(e) Fit bei -4°



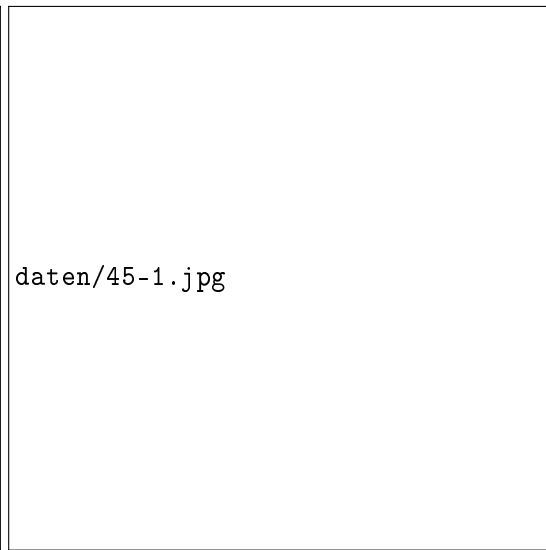
daten/45-3.jpg

(f) Fit bei -3°



daten/45-2.jpg

(g) Fit bei -2°



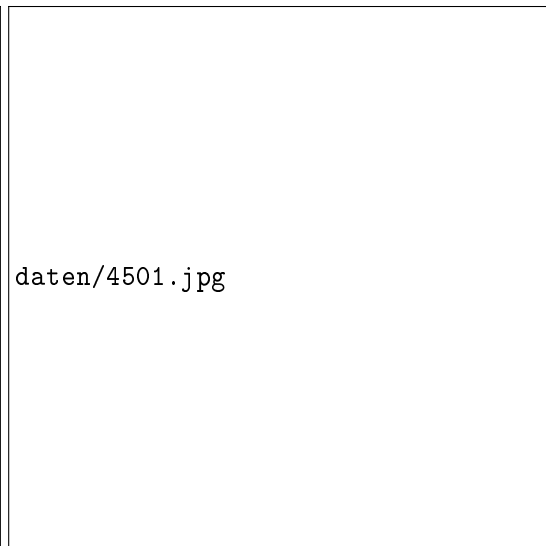
daten/45-1.jpg

(h) Fit bei -1°



daten/4500.jpg

(i) Fit bei 0°



daten/4501.jpg

(j) Fit bei 1°



daten/4502.jpg

(k) Fit bei 2°



daten/4503.jpg

(l) Fit bei 3°



daten/4504.jpg

(m) Fit bei 4°



daten/4505.jpg

(n) Fit bei 5°



daten/4506.jpg

(o) Fit bei 6°



daten/4507.jpg

(p) Fit bei 7°



daten/4508.jpg

(q) Fit bei 8°



daten/4509.jpg

(r) Fit bei 9°



daten/4510.jpg

(s) Fit bei 10°



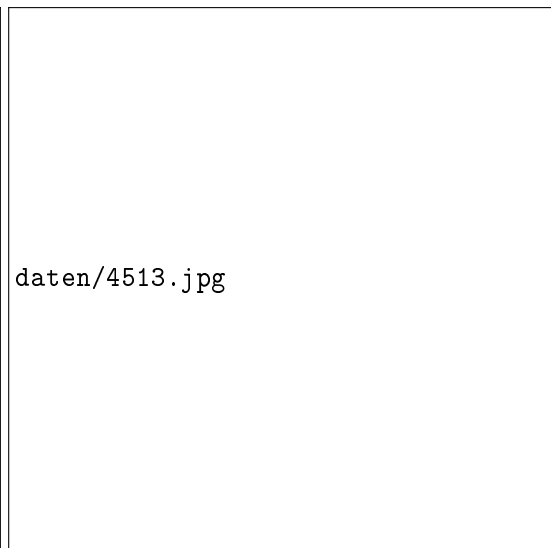
daten/4511.jpg

(t) Fit bei 11°



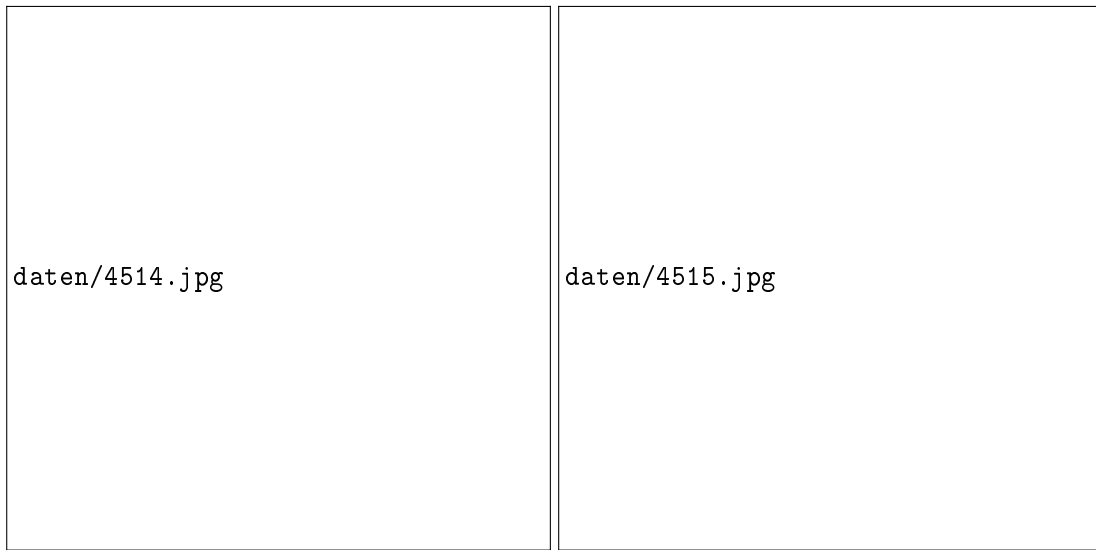
daten/4512.jpg

(u) Fit bei 12°



daten/4513.jpg

(v) Fit bei 13°



(w) Fit bei 14°

(x) Fit bei 15°

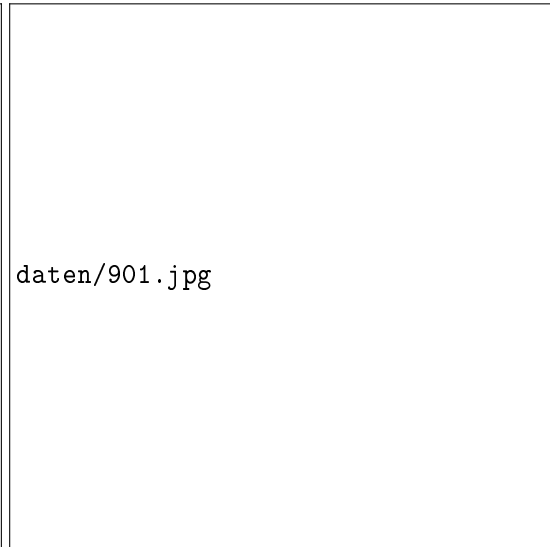


Abbildung 13: Fit bei 16°

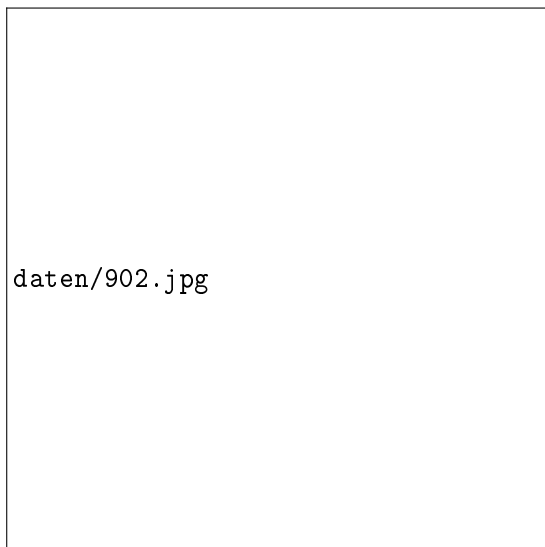
8.4 90 °



(a) Fit bei 0°



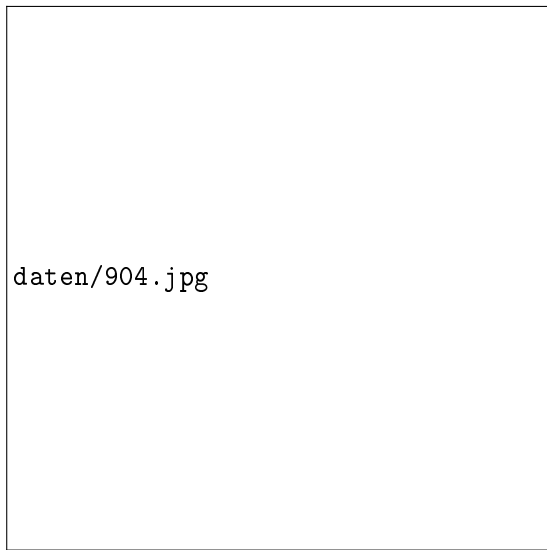
(b) Fit bei 1°



(c) Fit bei 2°



(d) Fit bei 3°



daten/904.jpg

(e) Fit bei 4°



daten/905.jpg

(f) Fit bei 5°



daten/906.jpg

(g) Fit bei 6°



daten/907.jpg

(h) Fit bei 7°



daten/908.jpg

(i) Fit bei 8°



daten/909.jpg

(j) Fit bei 9°



daten/9010.jpg

(k) Fit bei 10°



daten/9011.jpg

(l) Fit bei 11°



daten/9012.jpg

(m) Fit bei 12°



daten/9013.jpg

(n) Fit bei 13°




daten/9014.jpg

(o) Fit bei 14°



daten/9015.jpg

(p) Fit bei 15°



daten/9016.jpg

Abbildung 14: Fit bei 16°

Literatur

- [1] Wolf-Dieter Hasenclever. Bau einer Apparatur zur Messung von Lebensdauern angeregter Atomzustände mit Hilfe des Hanle-Effektes. Master's thesis, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 1970.
- [2] M.Kohli. Versuchsanleitung, Der Hanle-Effekt. <http://wwwhep.physik.uni-freiburg.de>, 2010.