

Hanle-Effekt

Björn Lennartz Johannes Löhner-Böttcher

17.3.2009

Der Versuch beschäftigt sich mit einer modernen Möglichkeit der Bestimmung von Lebensdauern in der Atom- und Molekülphysik. Aufgabe dieses Versuchs ist es, die Lebensdauer des angeregten 3P_1 Zustands des *Hg*-Atoms durch Messung des Hanle-Signals in Abhängigkeit vom Dampfdruck des Quecksilbers für verschiedene Polarisationsrichtungen des eingestrahnten Lichts zu bestimmen. Es wird die Methode des „Coherence Narrowing“ verwendet.

Inhaltsverzeichnis

A.) Vorbereitung

- I. Ziel des Versuchs
- II. Physikalische Grundlagen
 1. Klassische Betrachtung
 2. Quantenmechanische Betrachtung
 3. Coherence Narrowing
- III. Versuchsaufbau

B.) Messung

1. Aufgabe
2. Versuchsdurchführung
3. Aufgenommene Messkurven

C.) Auswertung

1. Anpassung durch Lorentzkurven
2. Berechnung der Lebensdauern
3. Polarisatorstellung 45°

Anhang:

- zu B) Messprotokoll
- zu C) Auswertungstabelle

B) Messung

1. Aufgabe

Bestimmung der Lebensdauer des angeregten $6s6p \ ^3P_1$ Zustands des Hg-Atoms durch Messung des Hanle-Signals in Abhängigkeit zum Quecksilberdampfdruck für verschiedene Polarisationsrichtungen des eingestrahnten Lichts, sowie Dokumentation der Variation der effektiven Lebensdauer durch „Coherence-Narrowing“.

2. Versuchsdurchführung

Als erstes kühlten wir die Zelle auf die tiefstmögliche Temperatur von $-9,5^\circ\text{C}$ ab, um dann die erste Messreihe über den Temperaturbereich von etwa $-9,5^\circ\text{C}$ bis $+9,5^\circ\text{C}$ bei einer Polarisatorstellung von 90° beim Aufwärmen in 1°K -Schritten aufzunehmen.

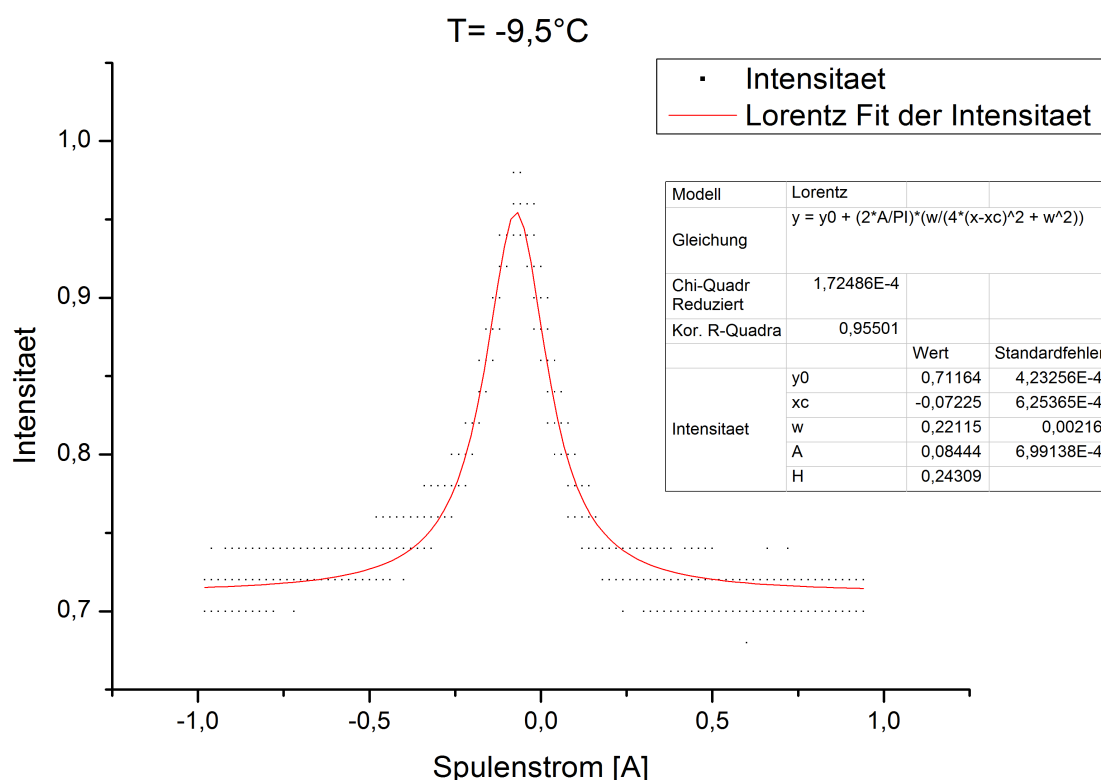
Während wir die Zelle erneut abkühlen ließen zeichneter wir vier Kurven bei einer Polarisatorstellung von 45° auf.

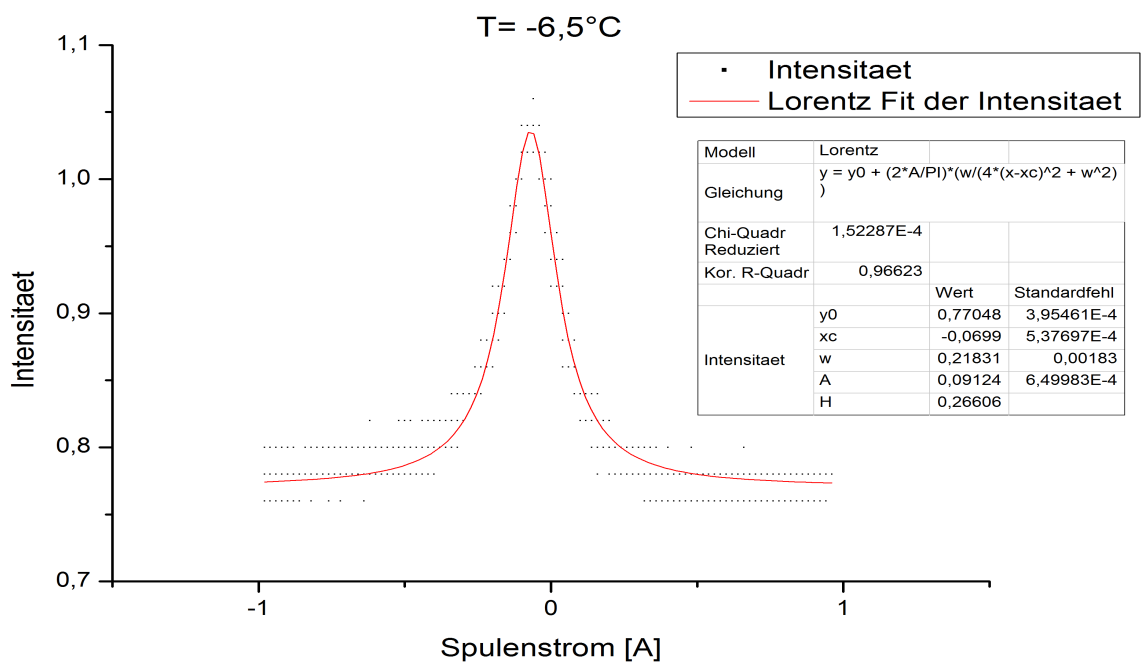
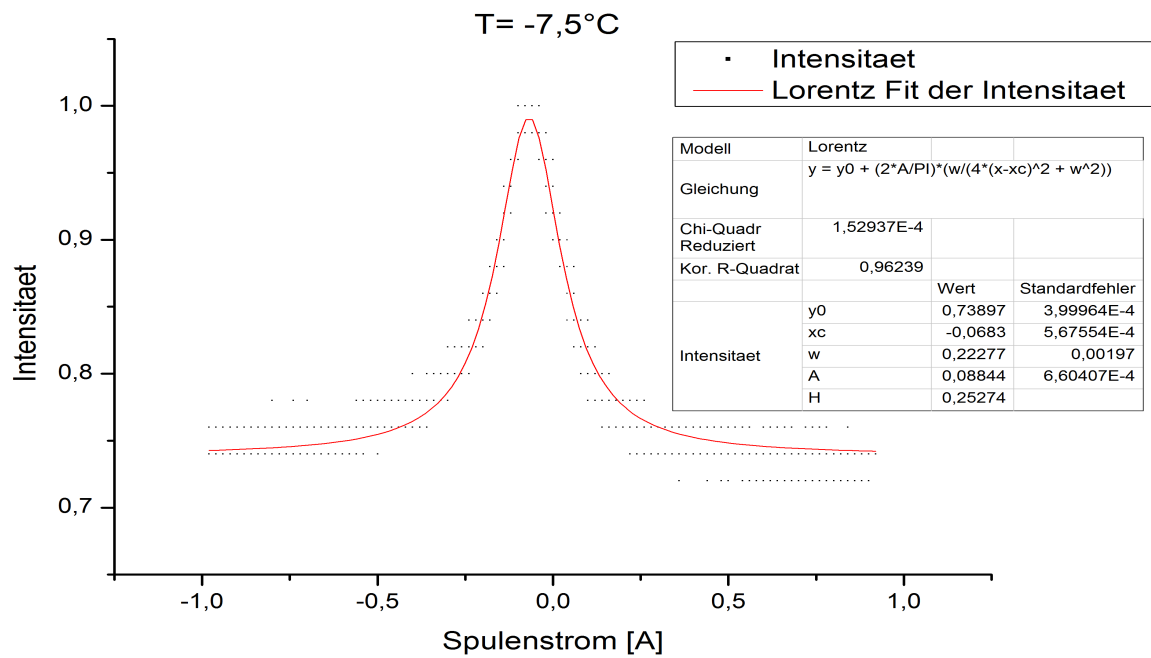
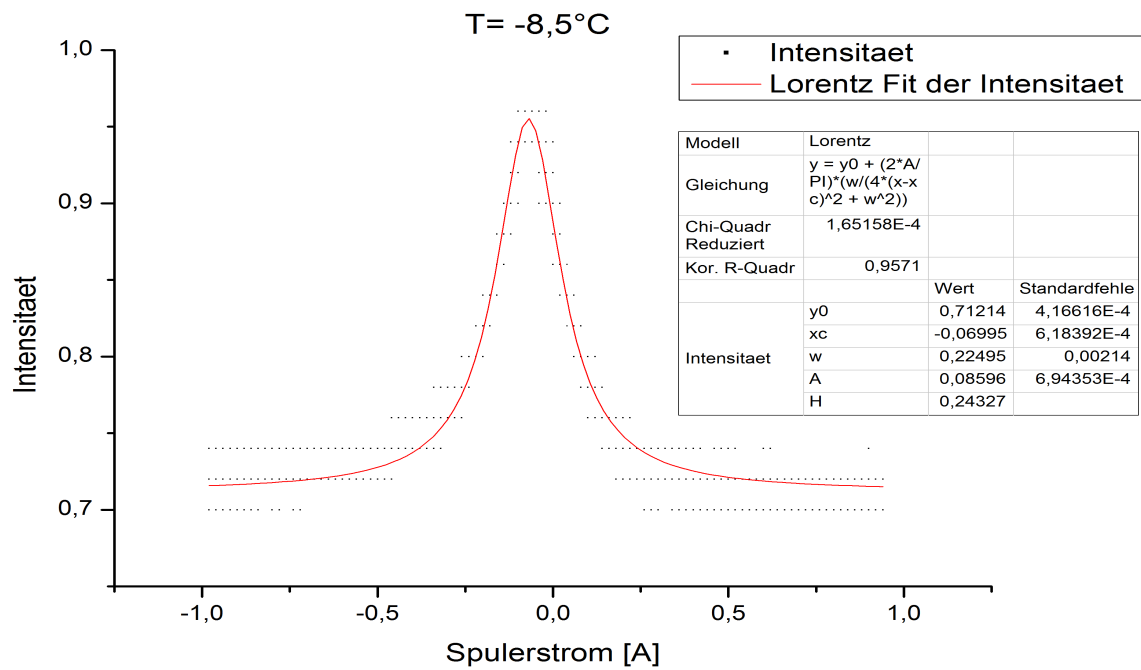
Als die tiefstmögliche Temperatur, diesmal bei etwa $-5,5^\circ\text{C}$, wieder erreicht war, nahmen wir während des Aufwärmvorgangs unsere zweite Messreihe bei der Polarisatorstellung von 0° auf.

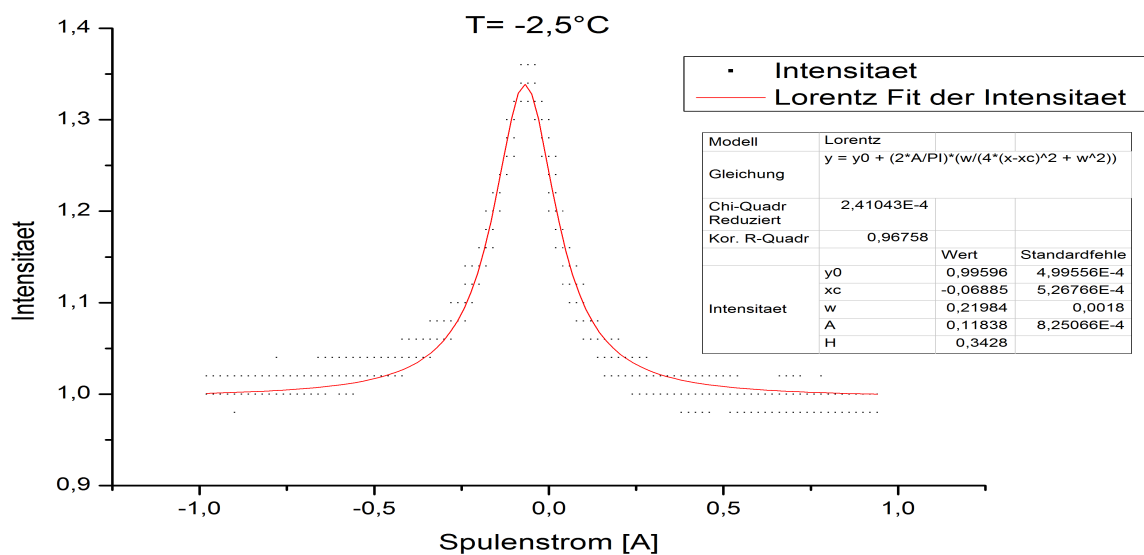
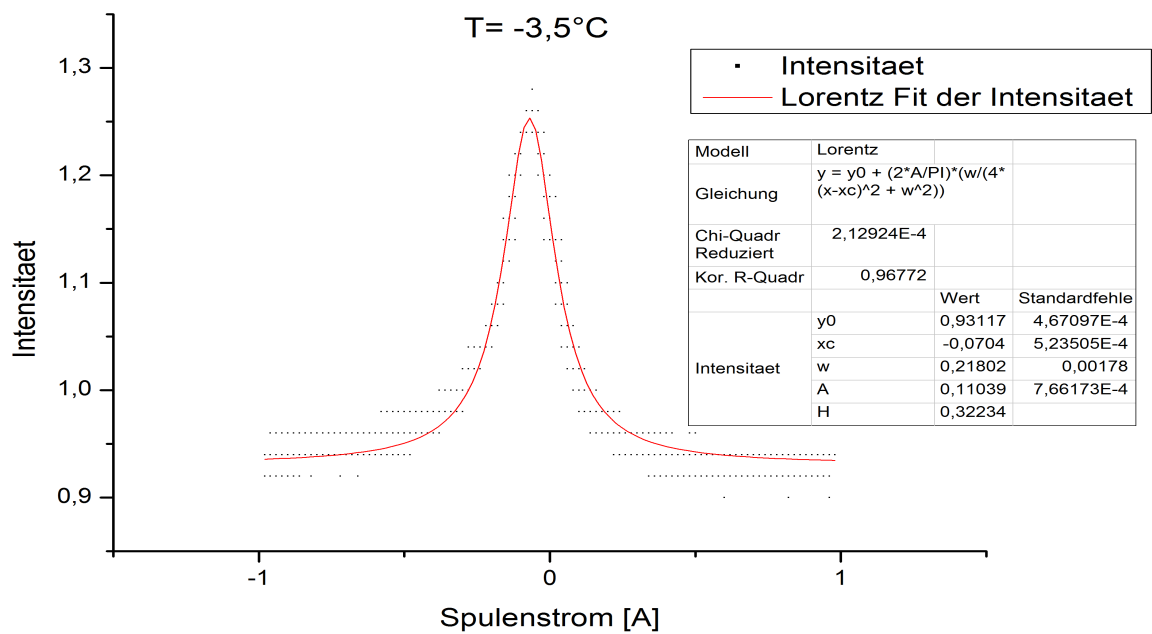
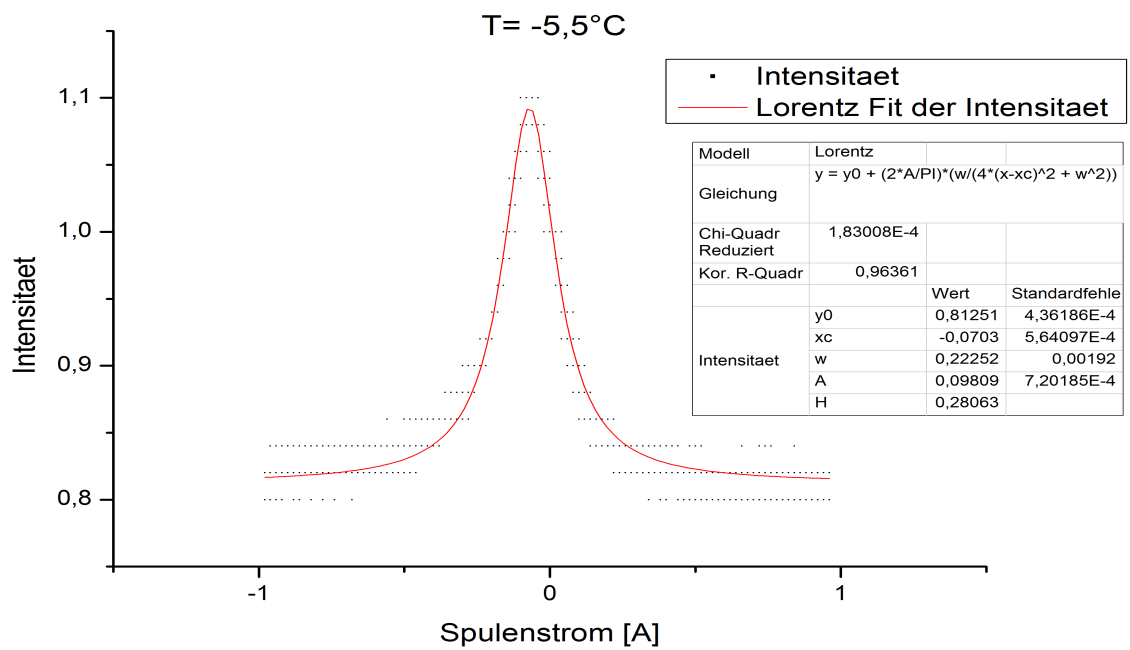
3. Aufgenommene Messkurven

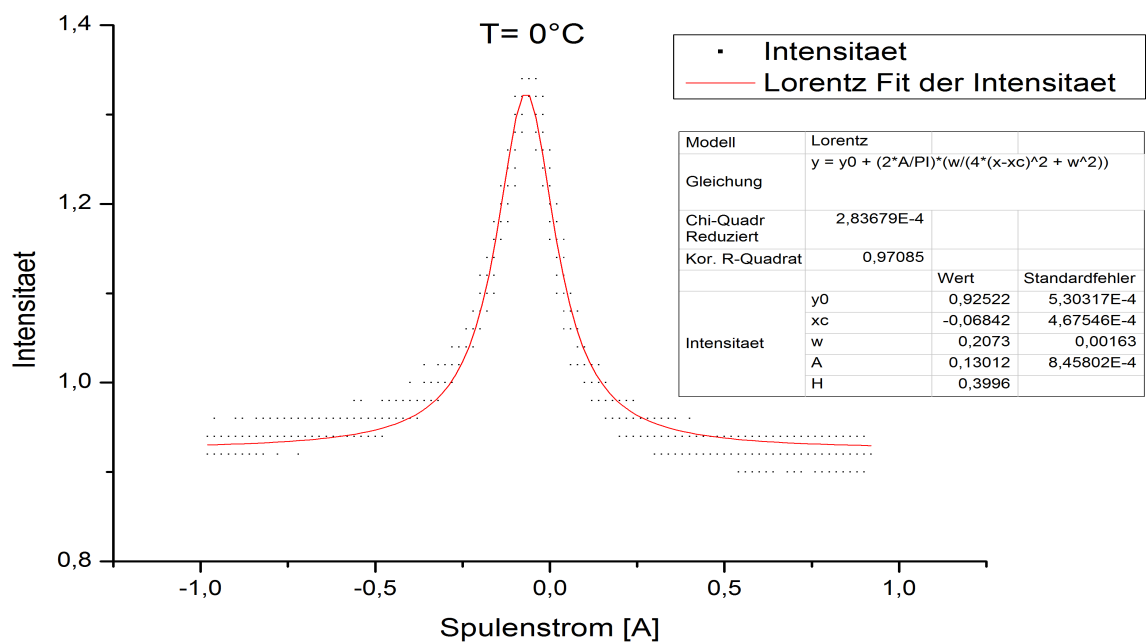
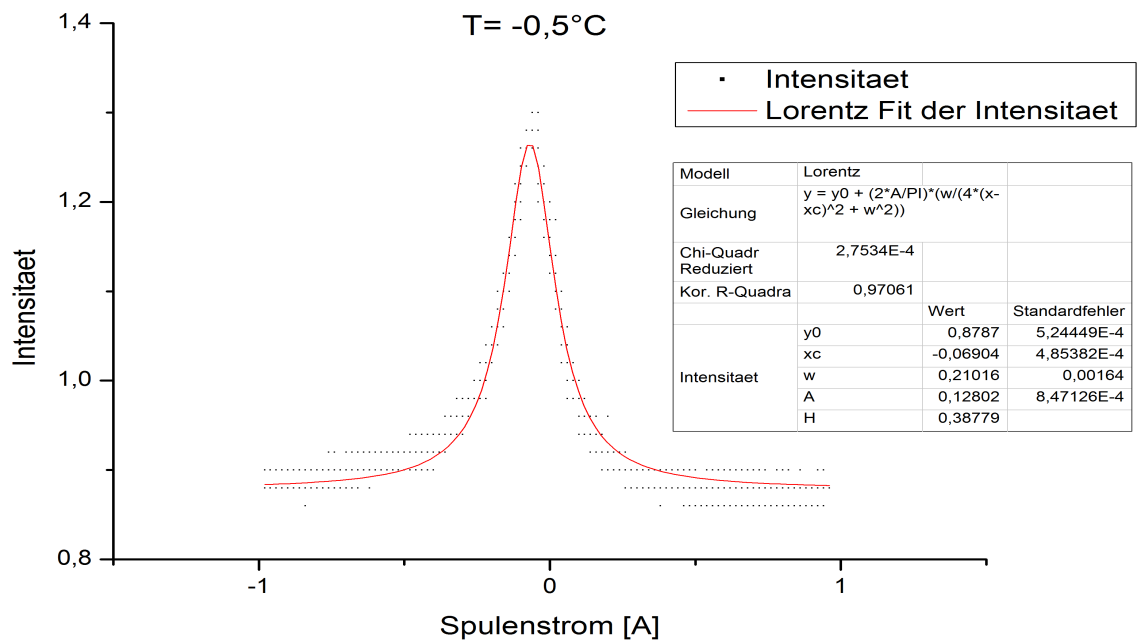
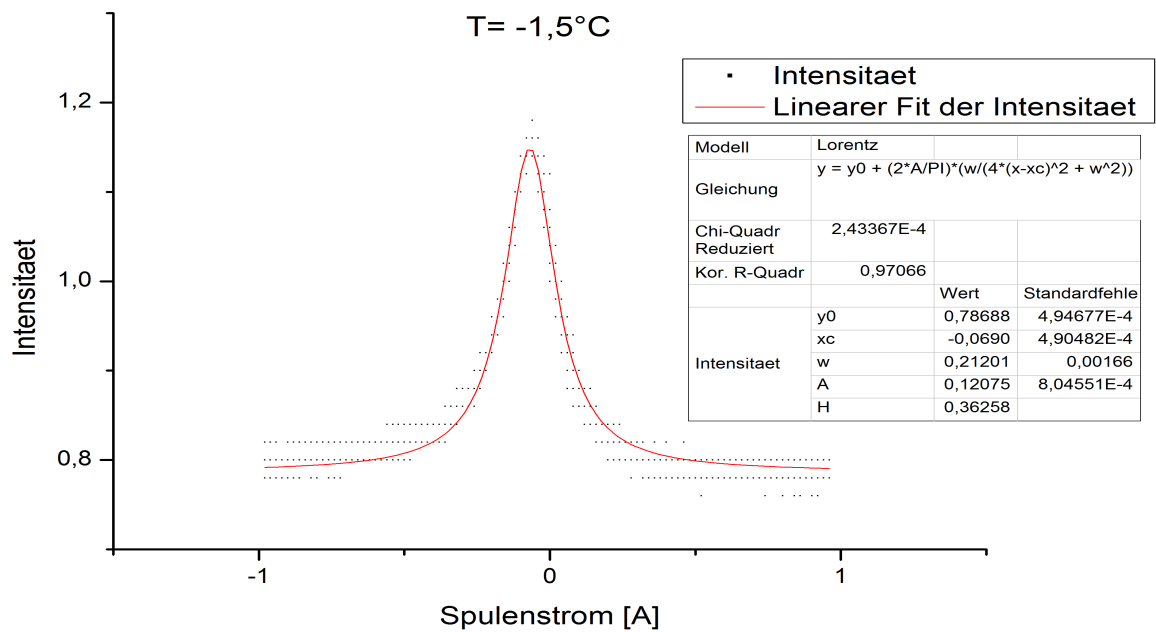
Für Temperaturen von $-9,5^\circ\text{C}$ bis $+9,5^\circ\text{C}$ wurden die Intensitäten der Resonanzfluoreszenz über den Spulenstrom am Helmholtzspulenpaar aufgetragen. (bereits gefittete Kurven)

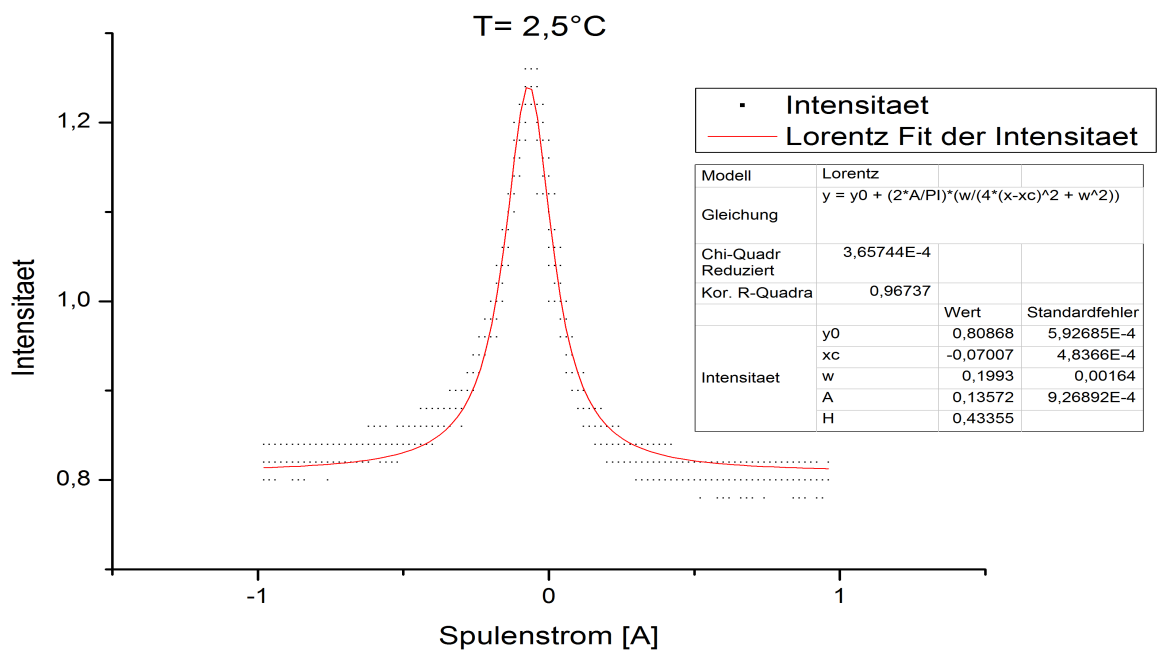
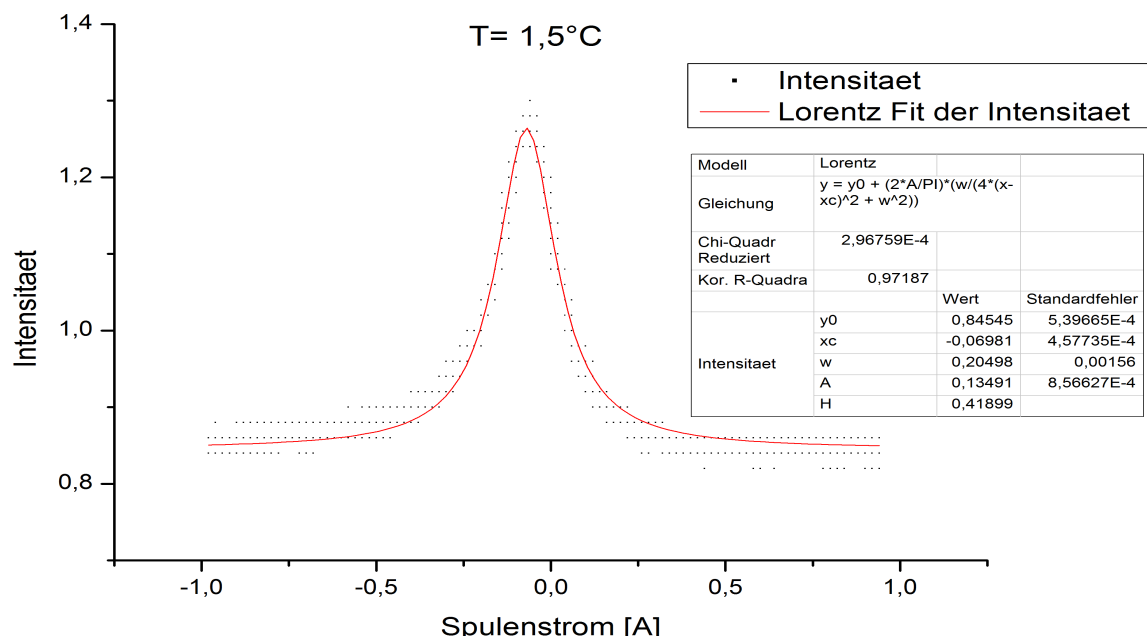
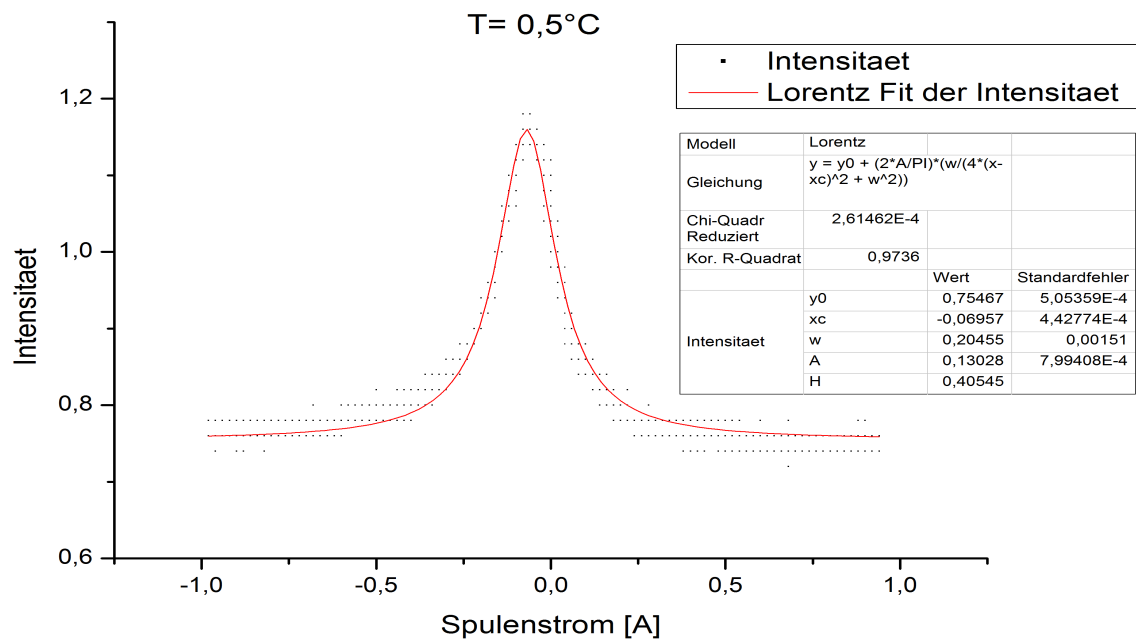
1. Polarisatorstellung 90° :

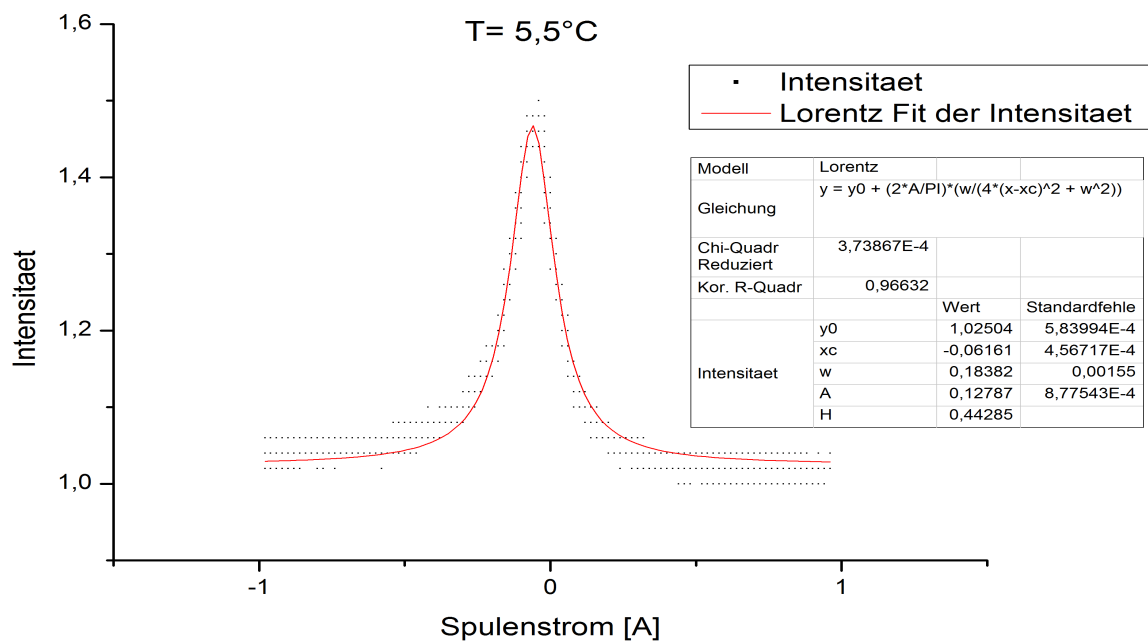
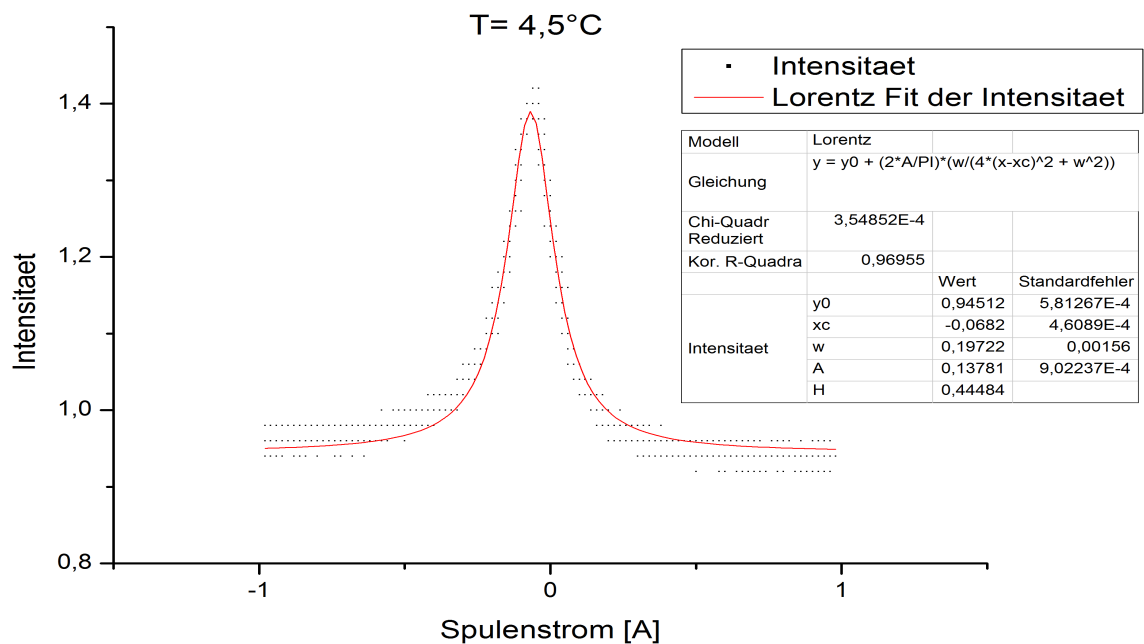
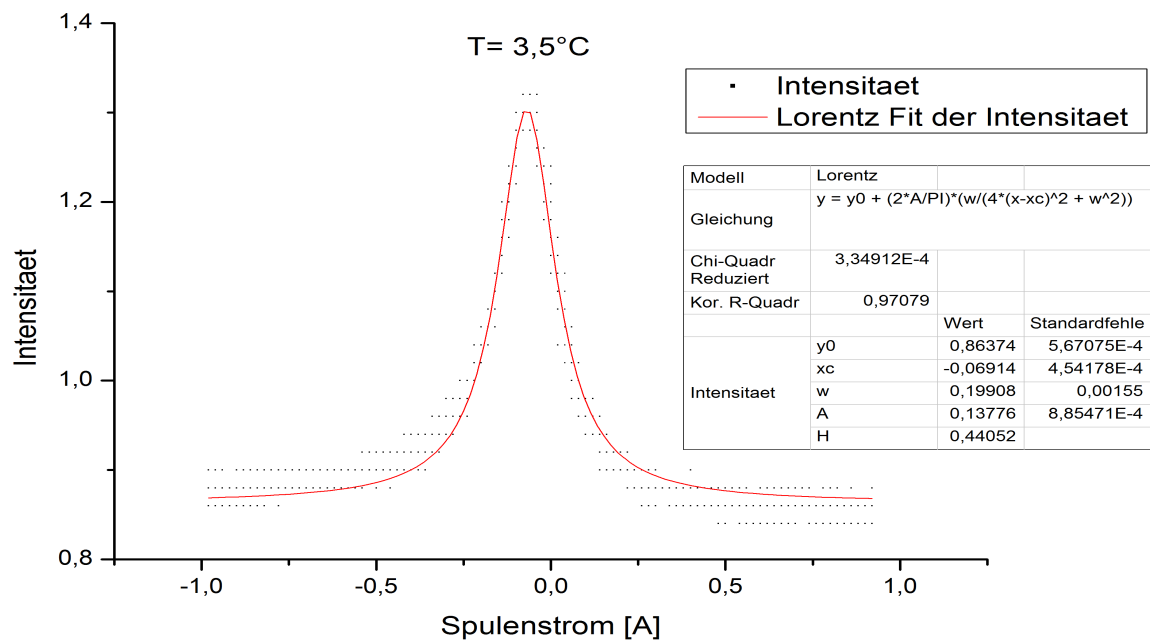


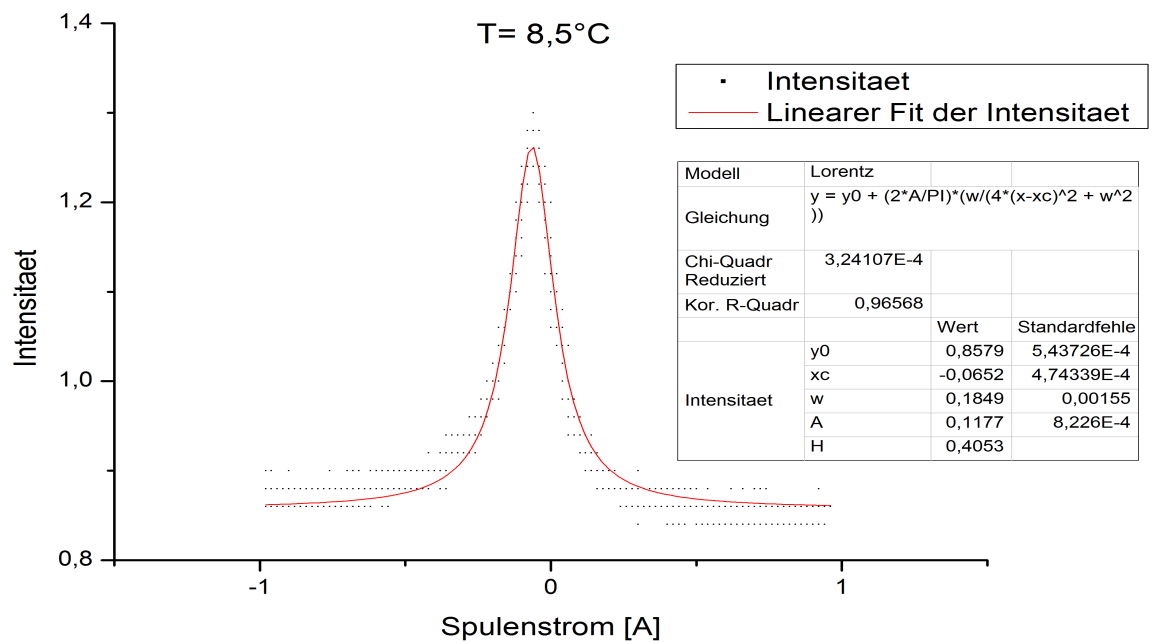
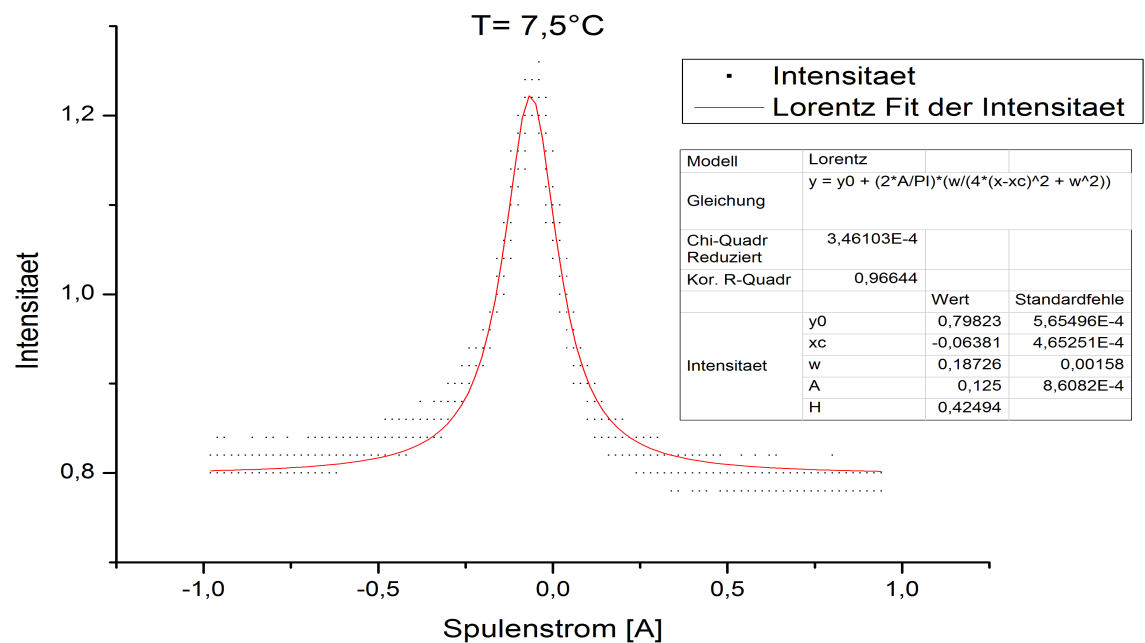
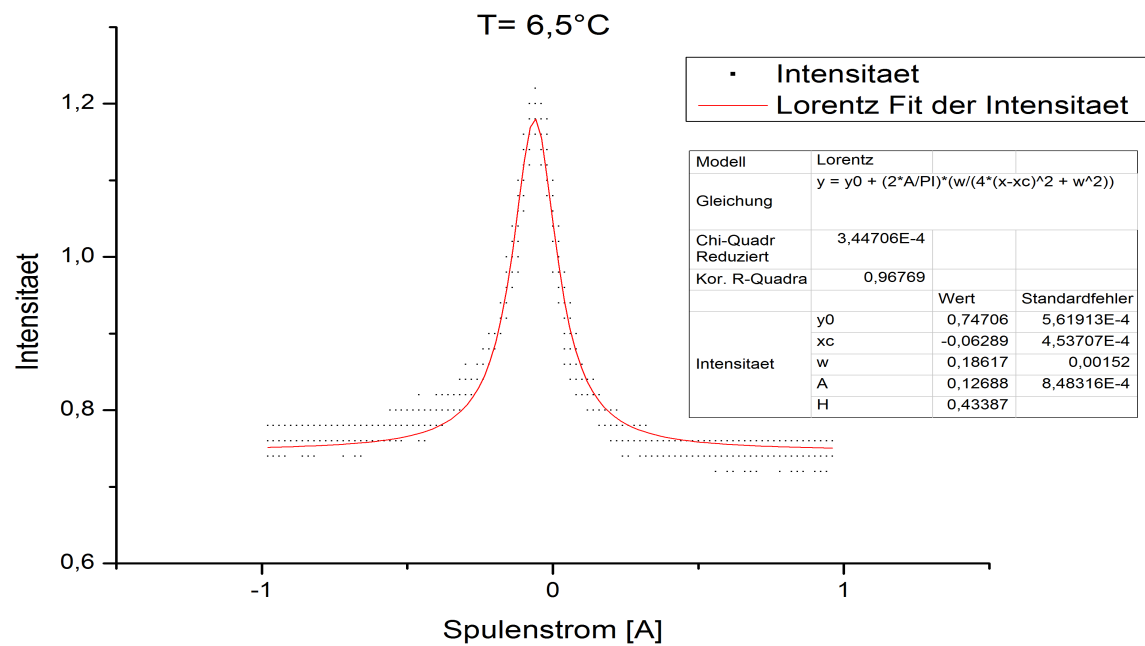


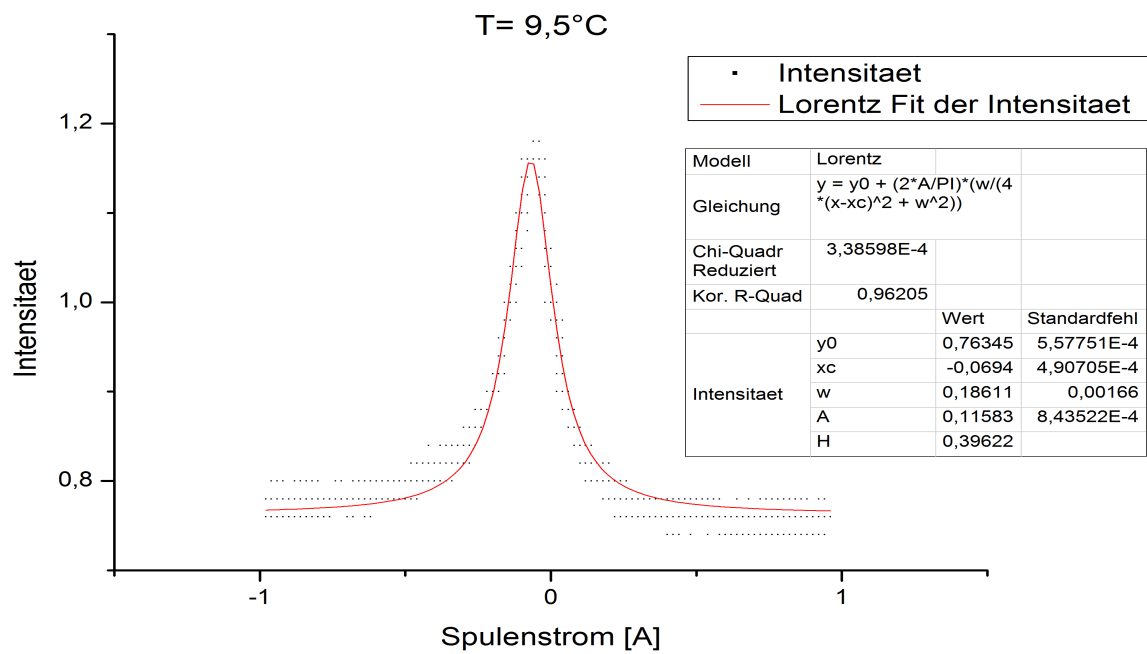




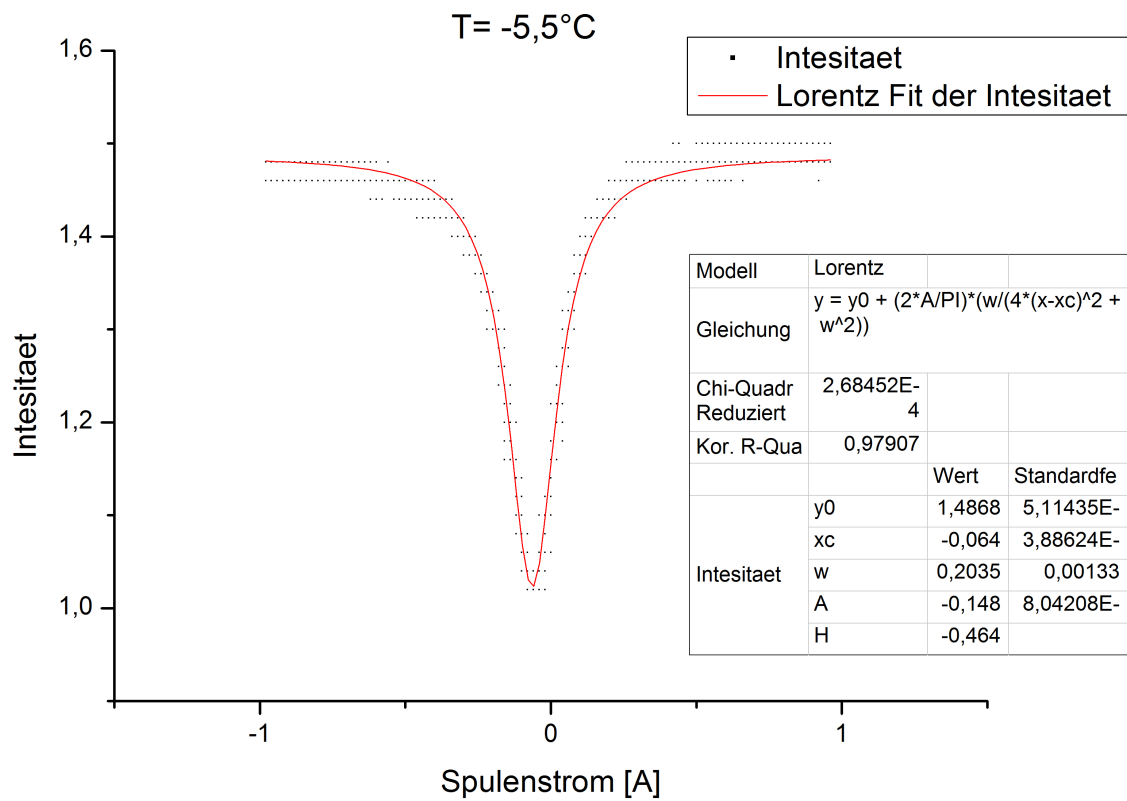


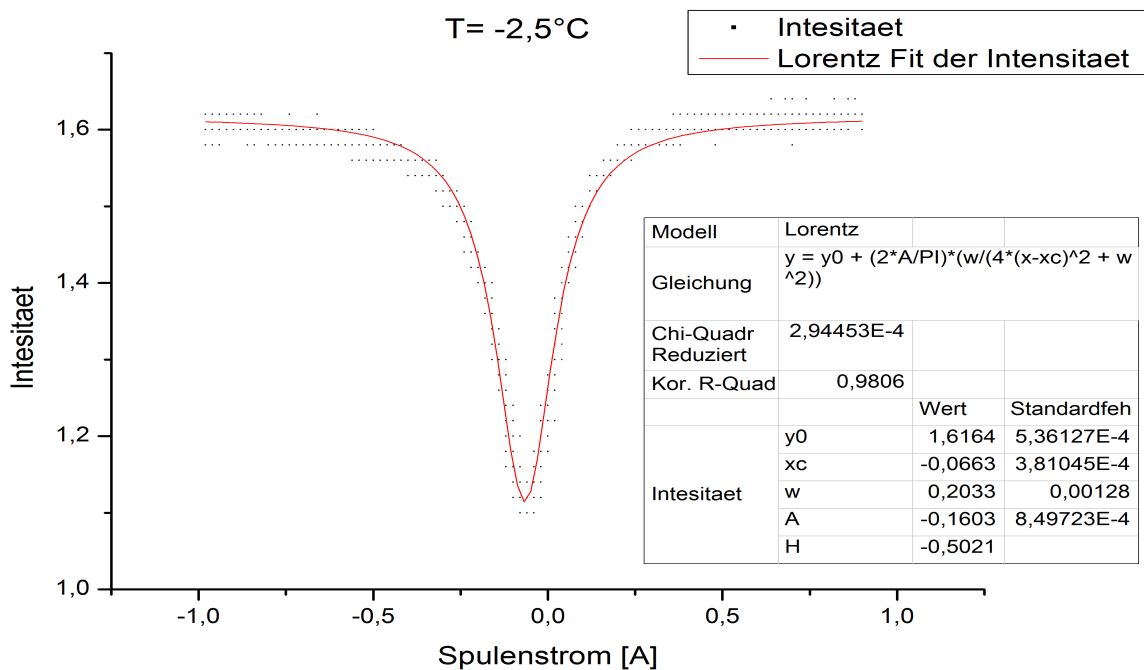
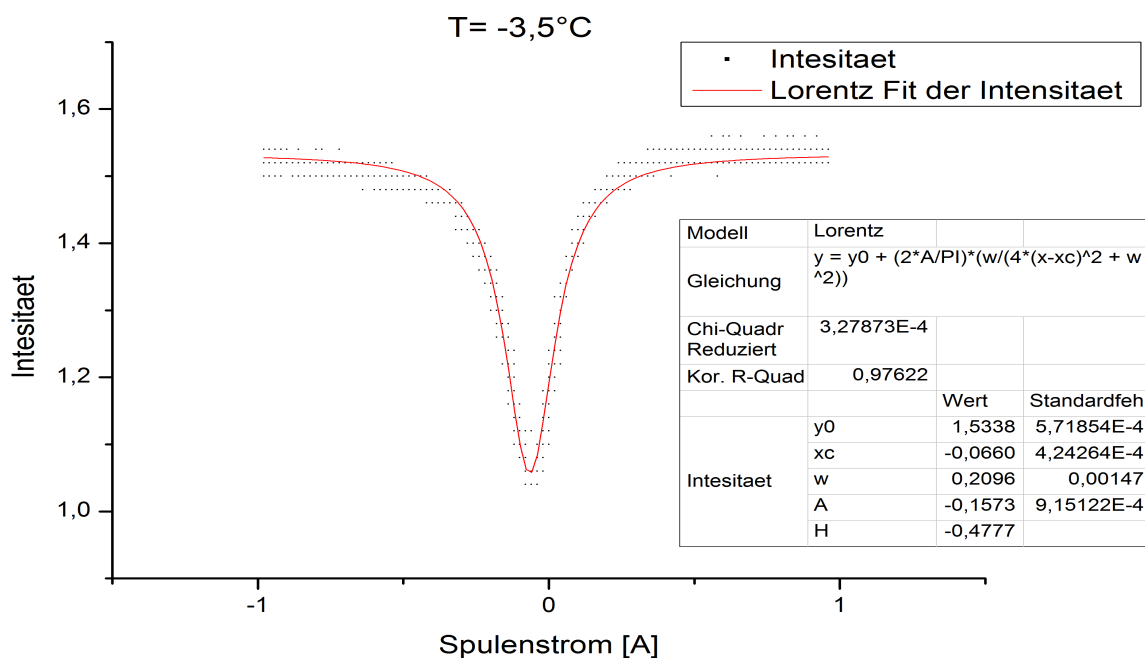
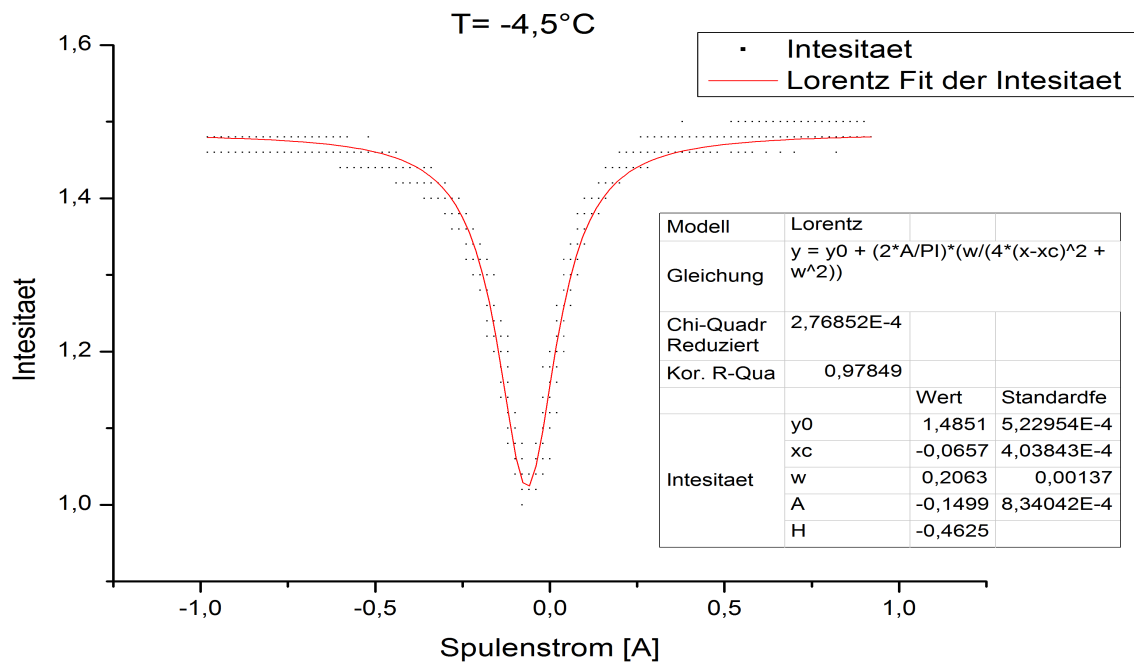


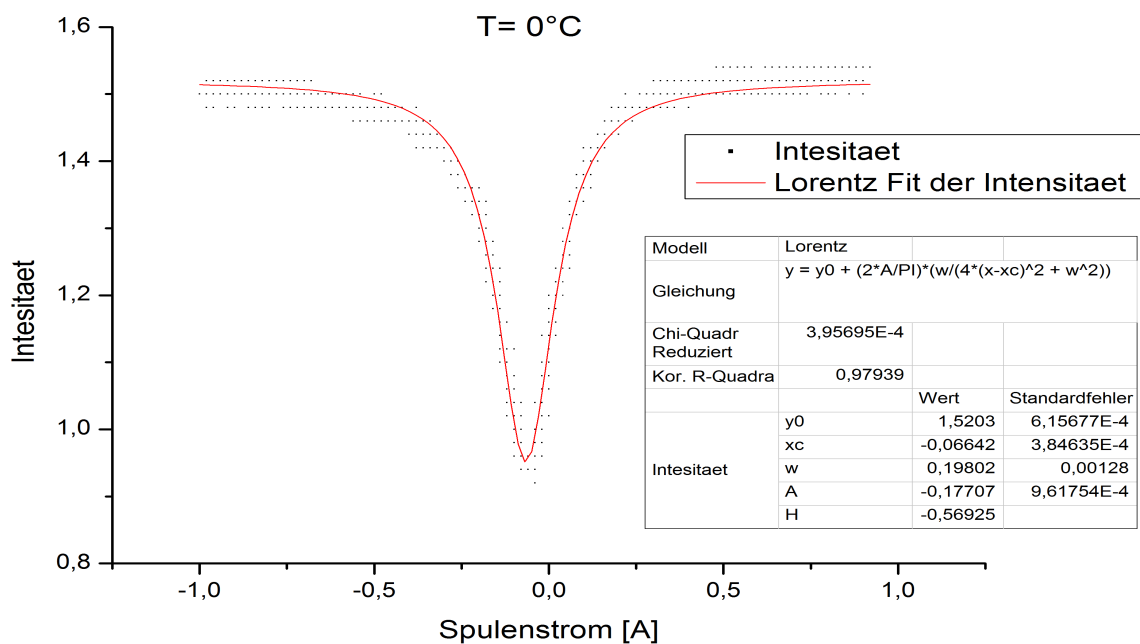
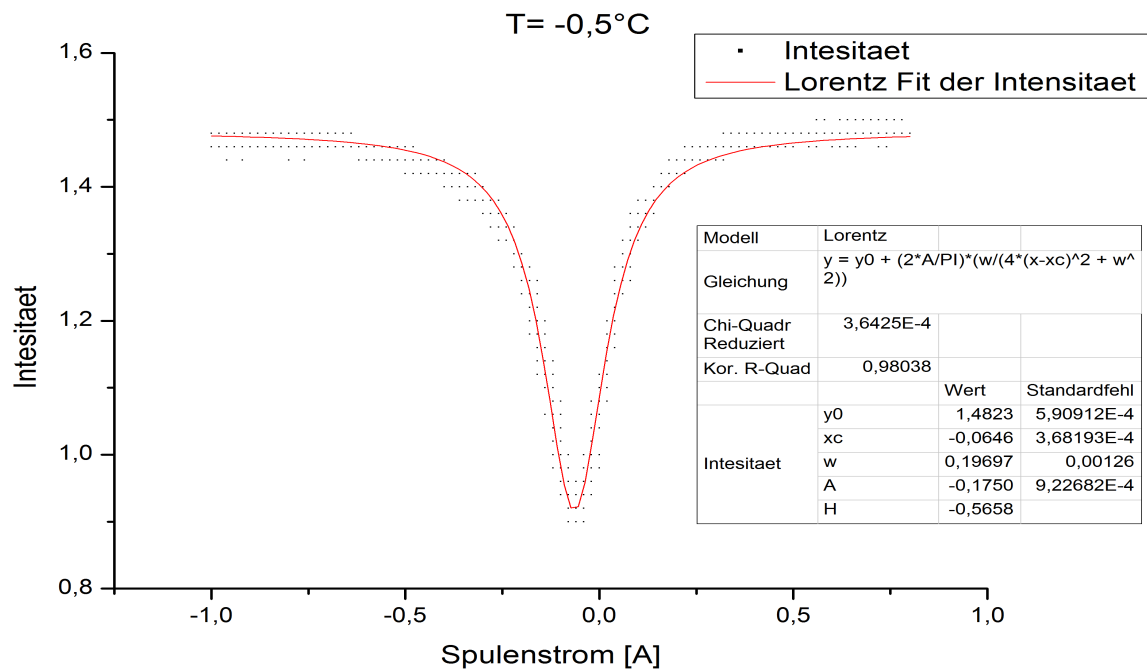
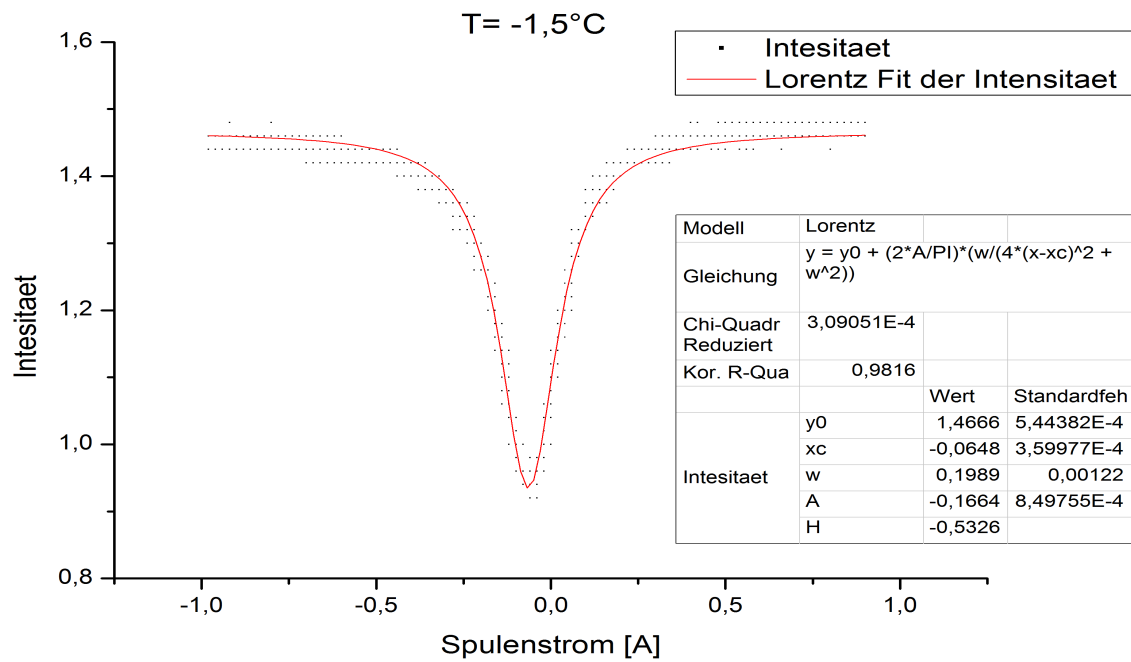


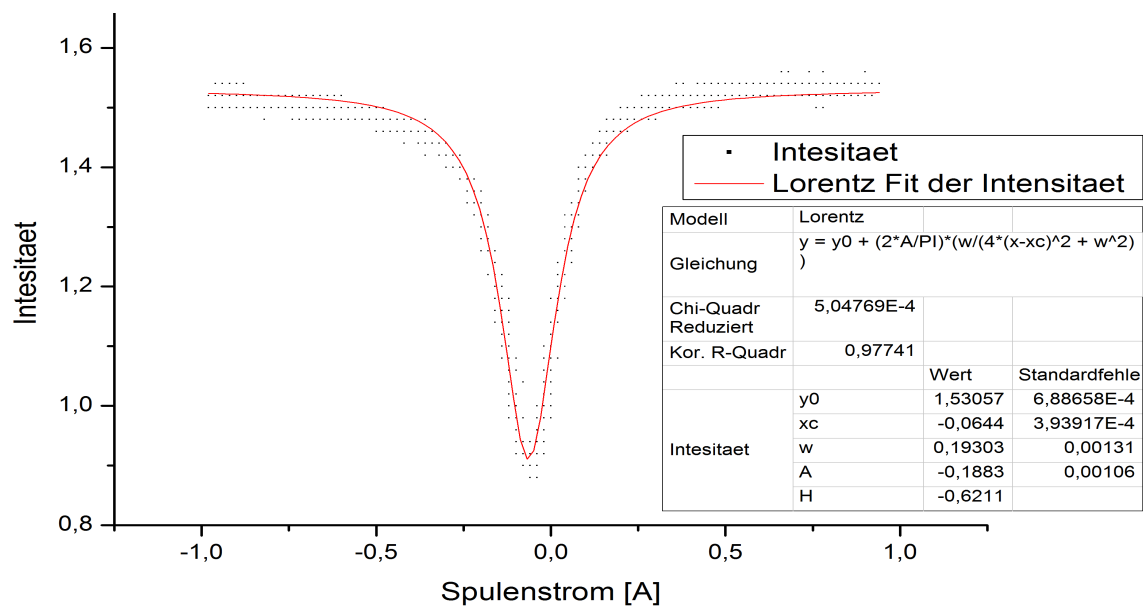
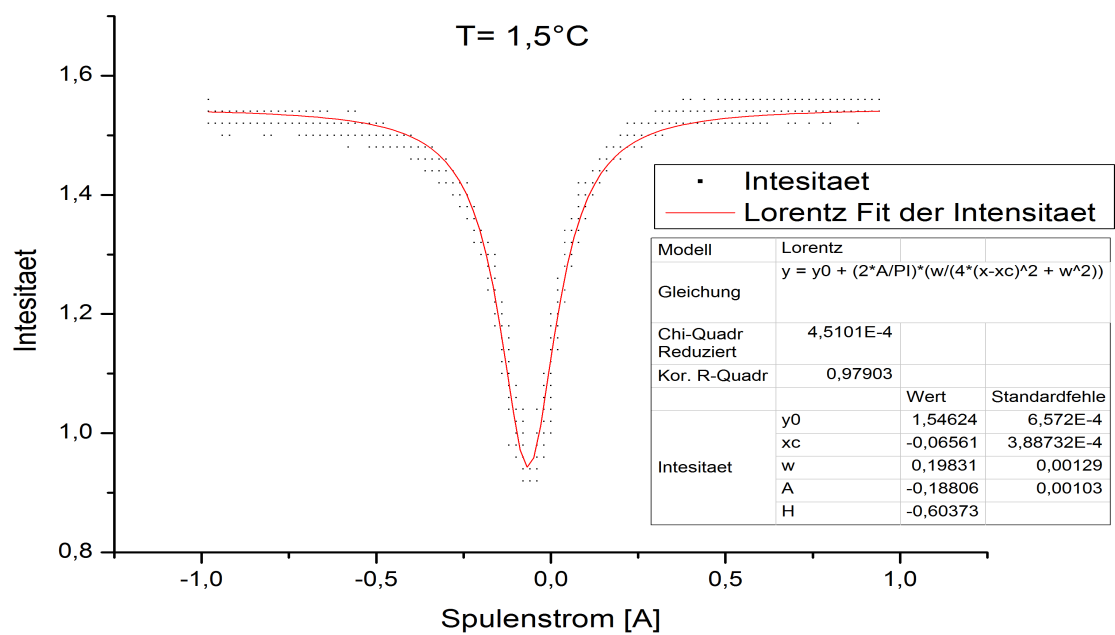
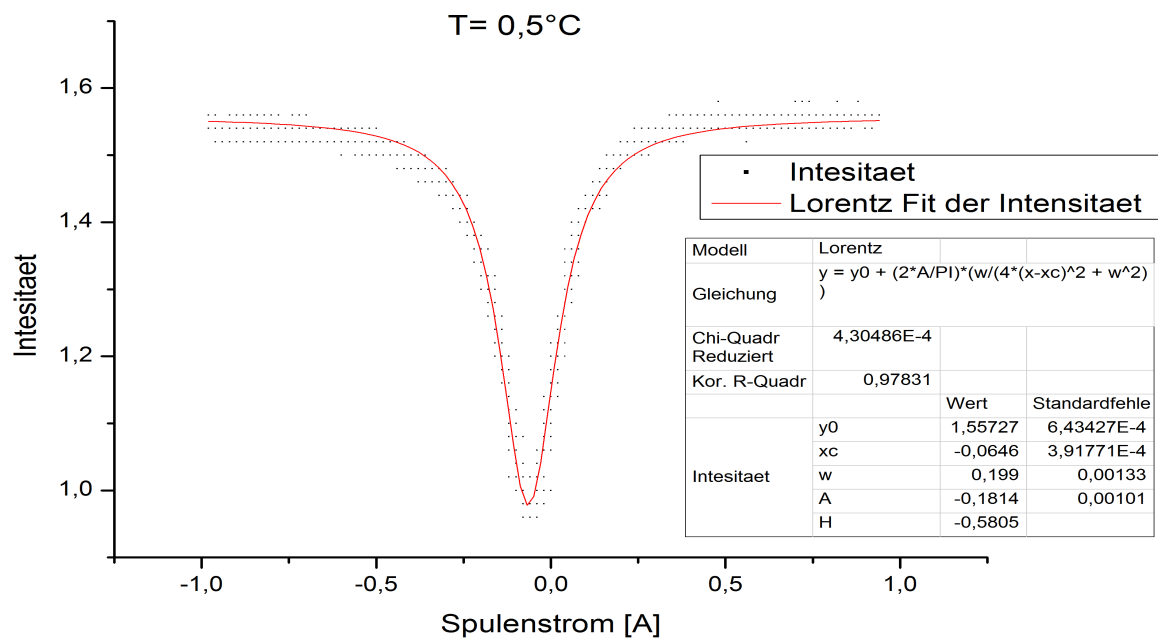


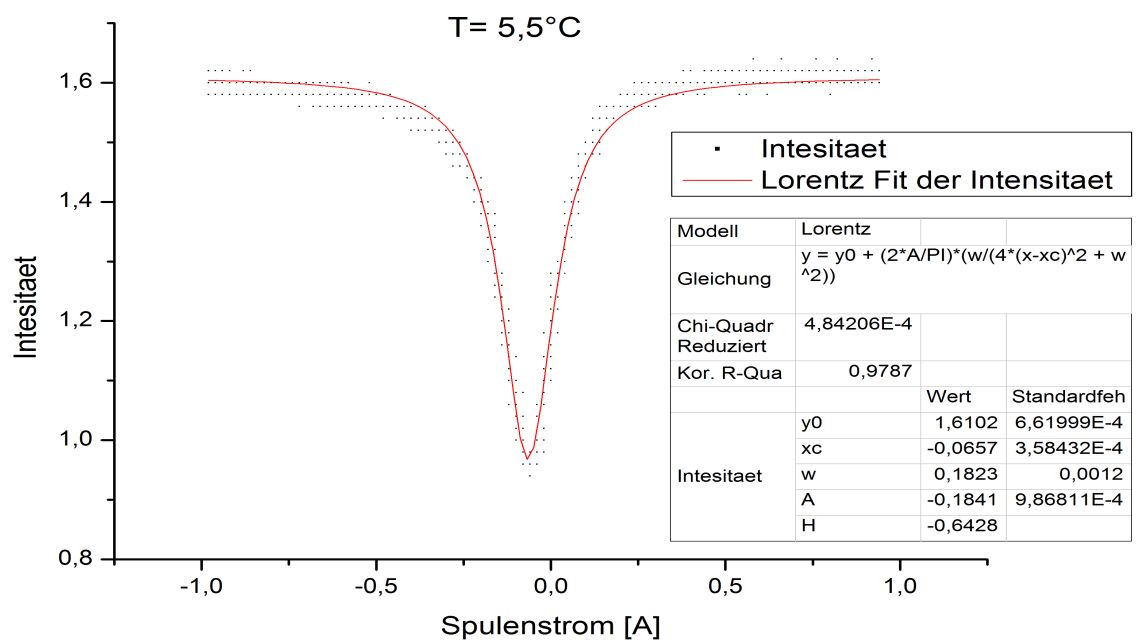
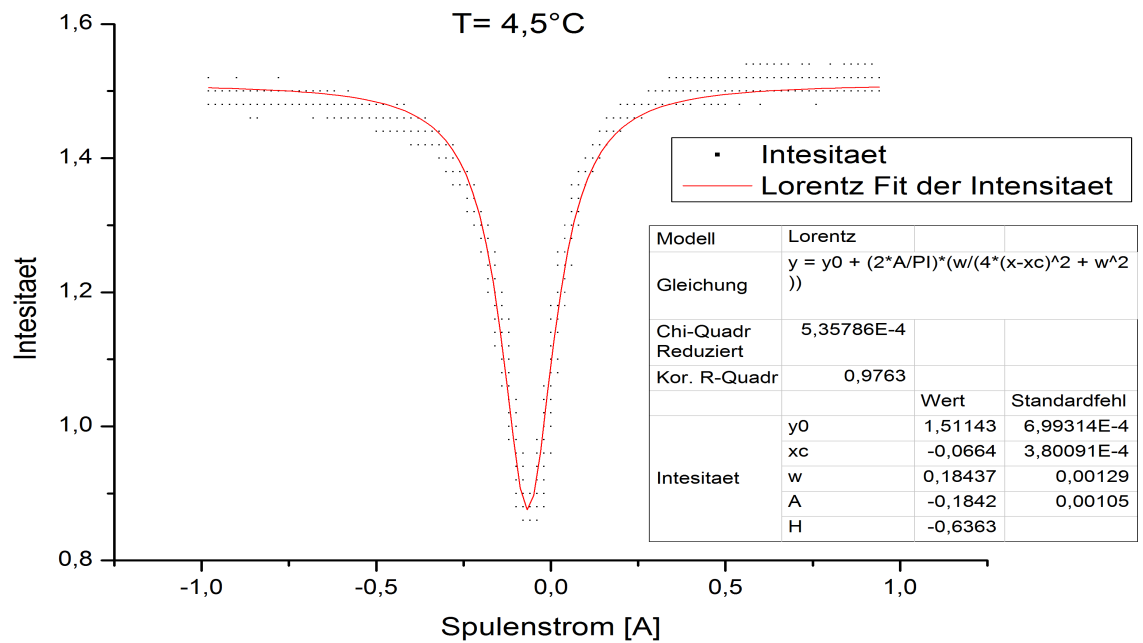
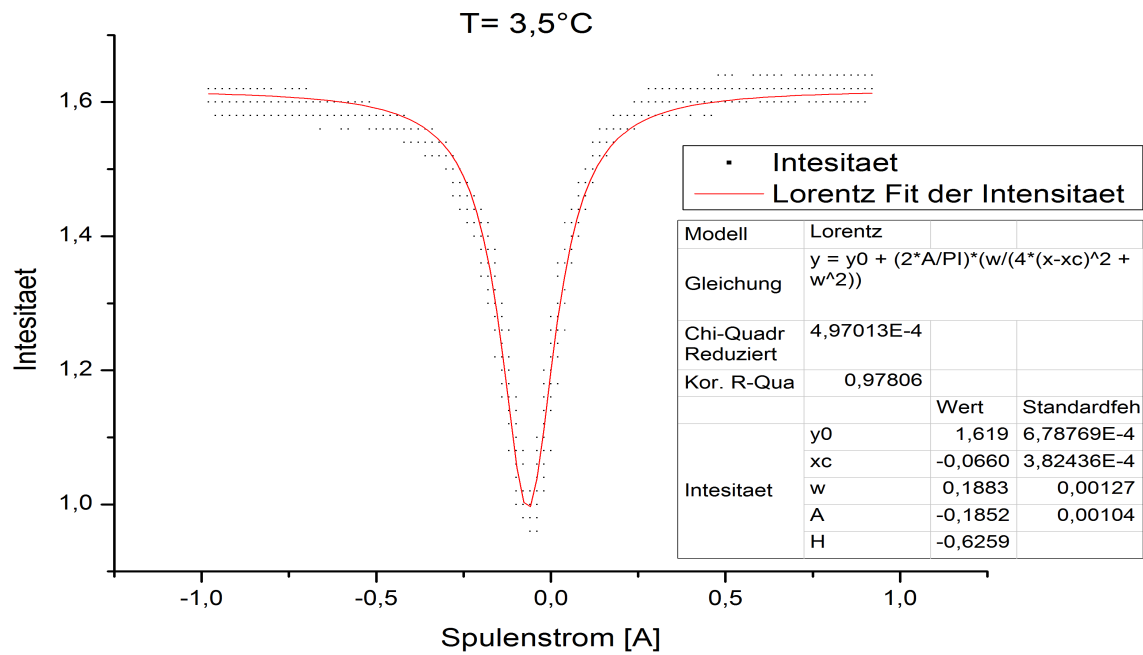
2. Polarisatorstellung 0° :

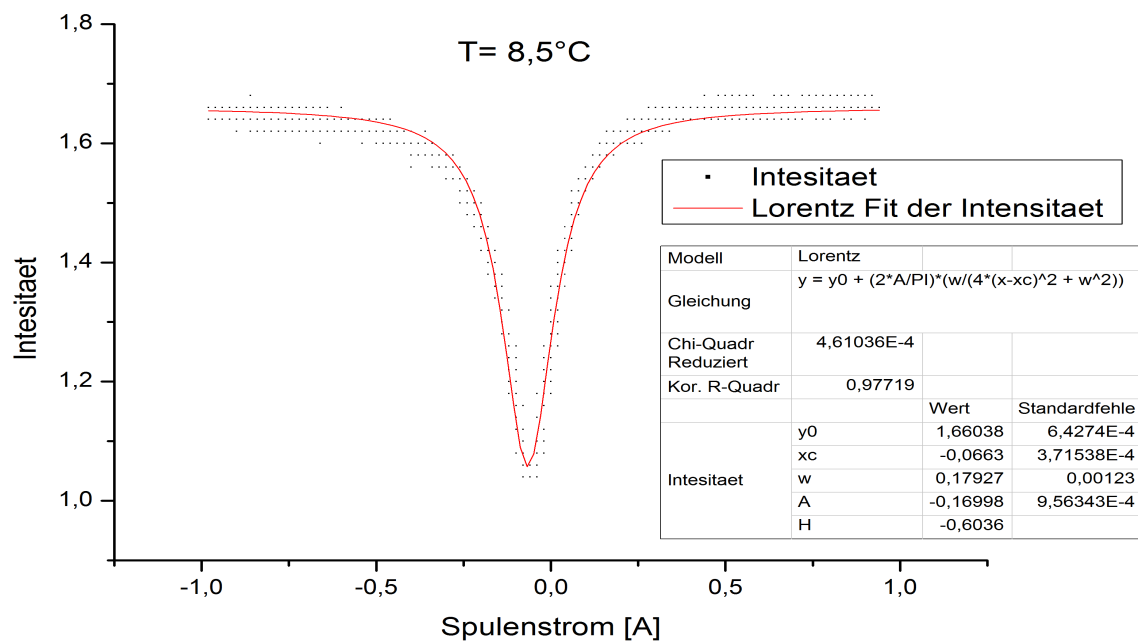
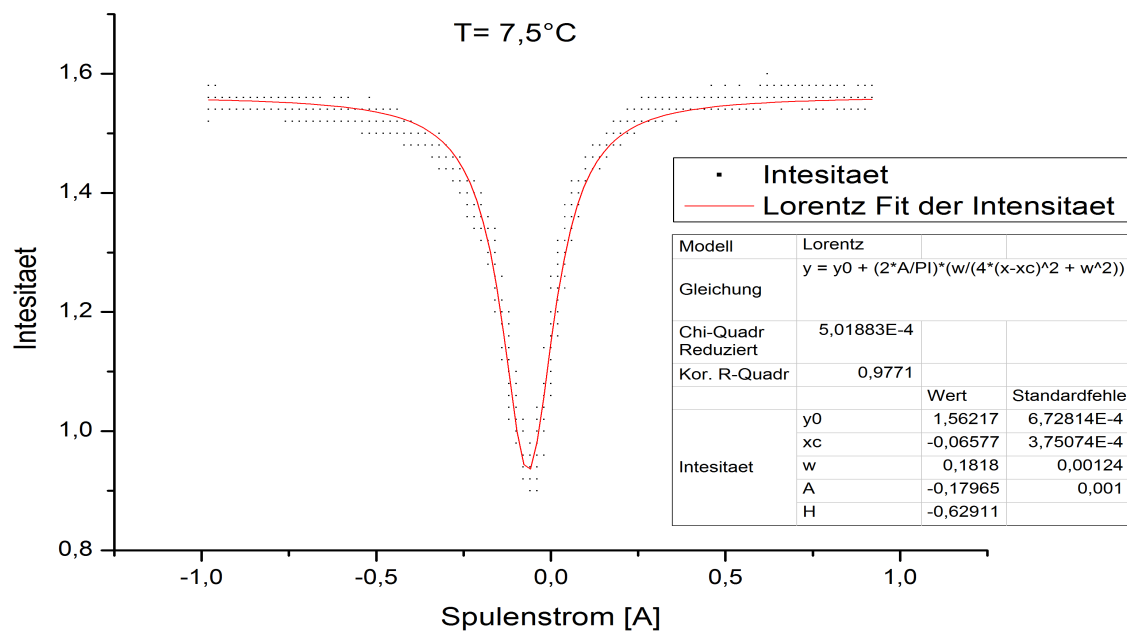
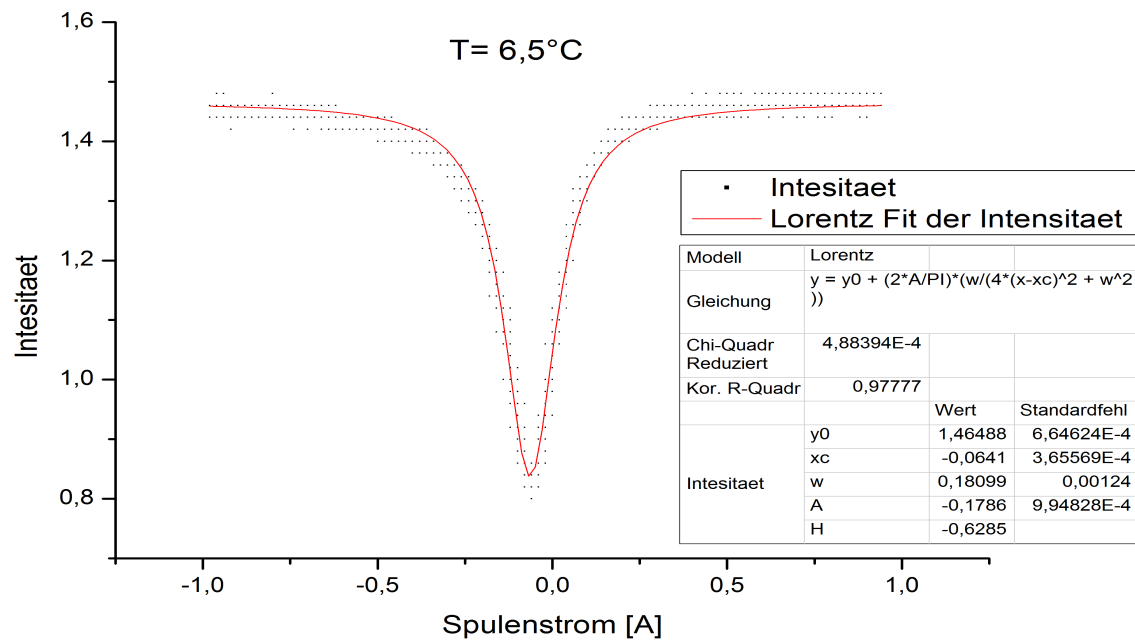


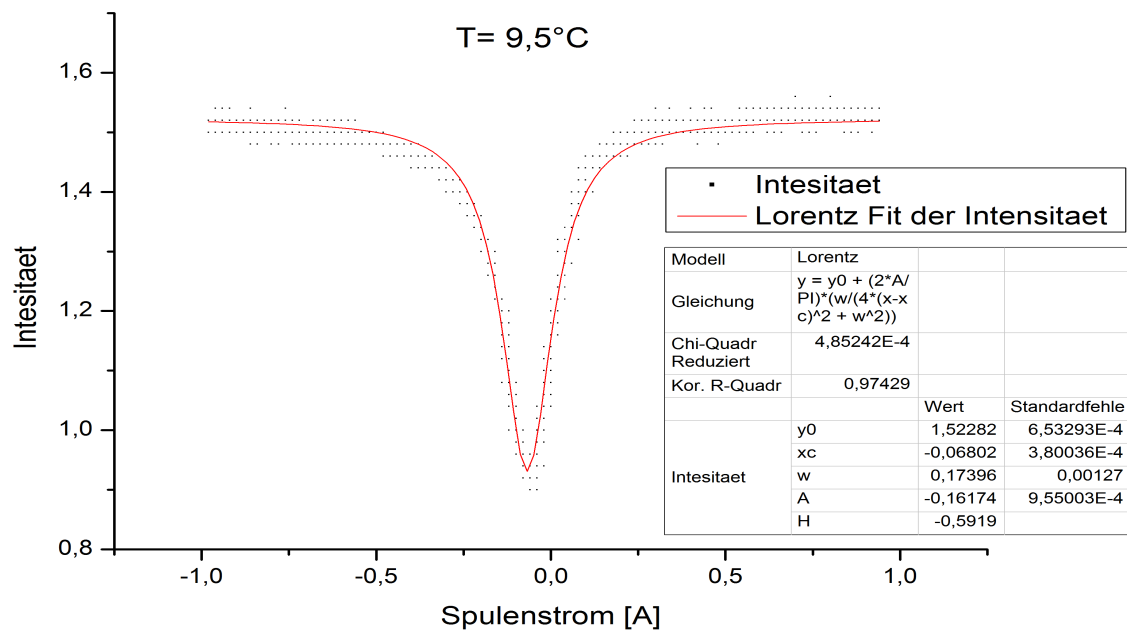




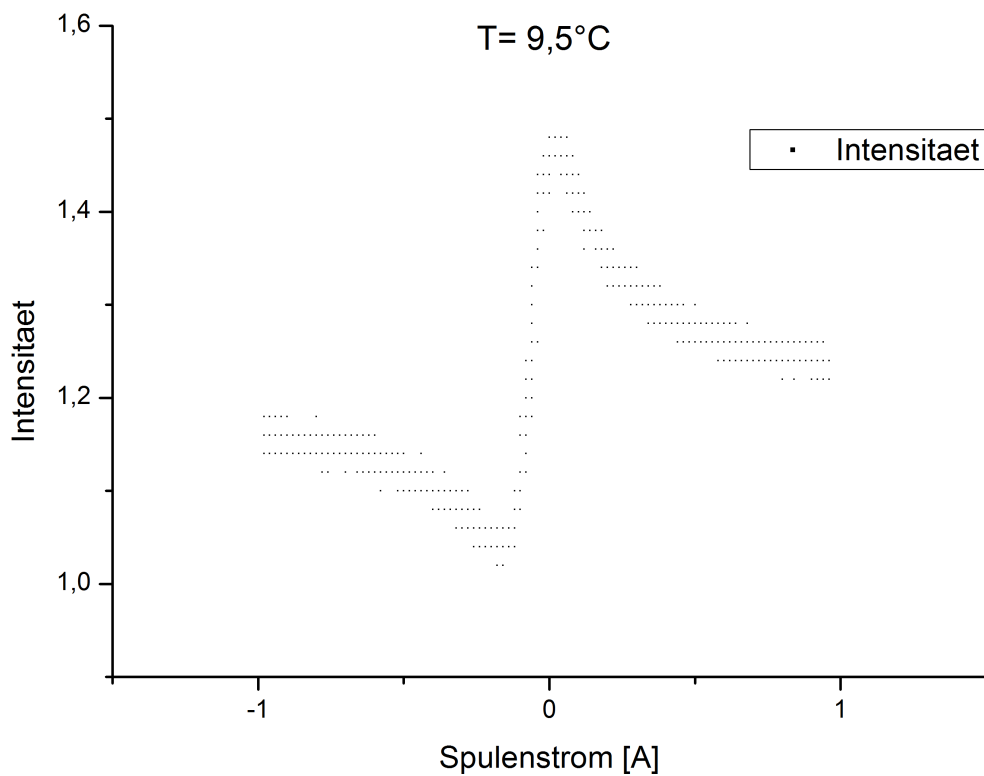


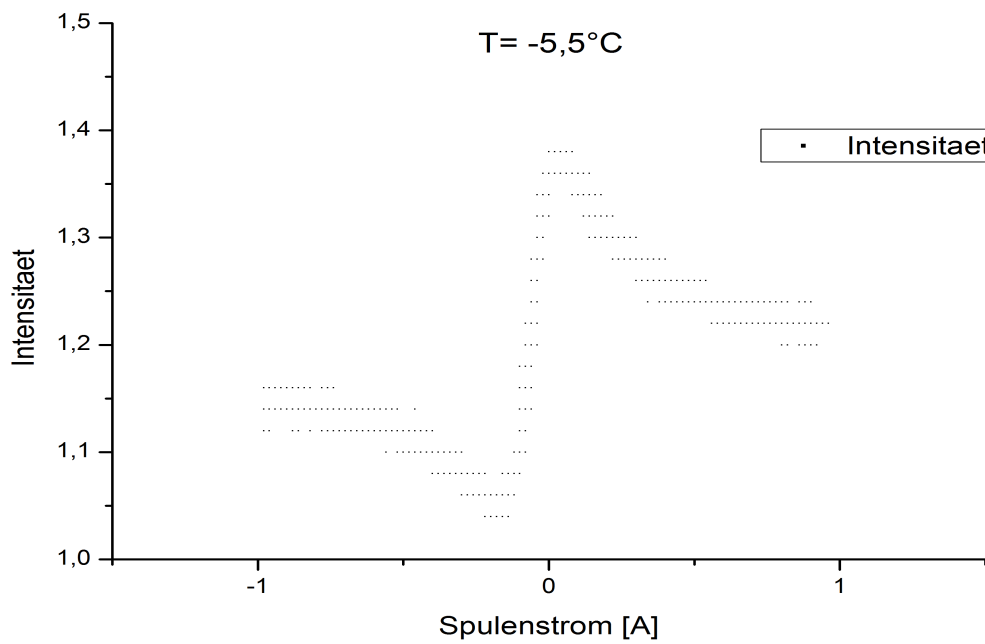
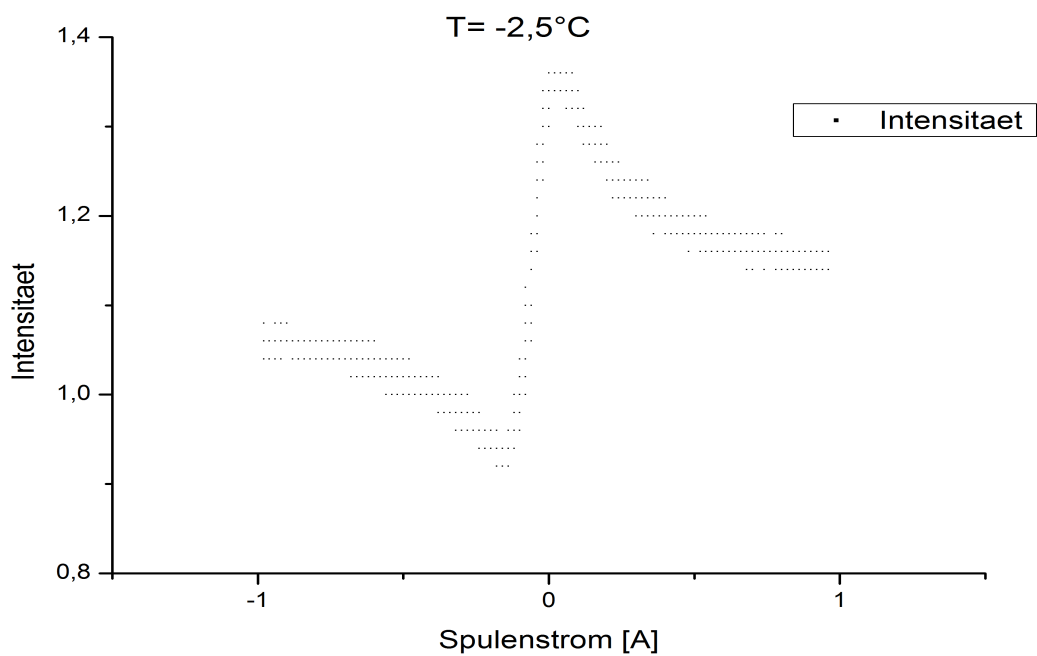
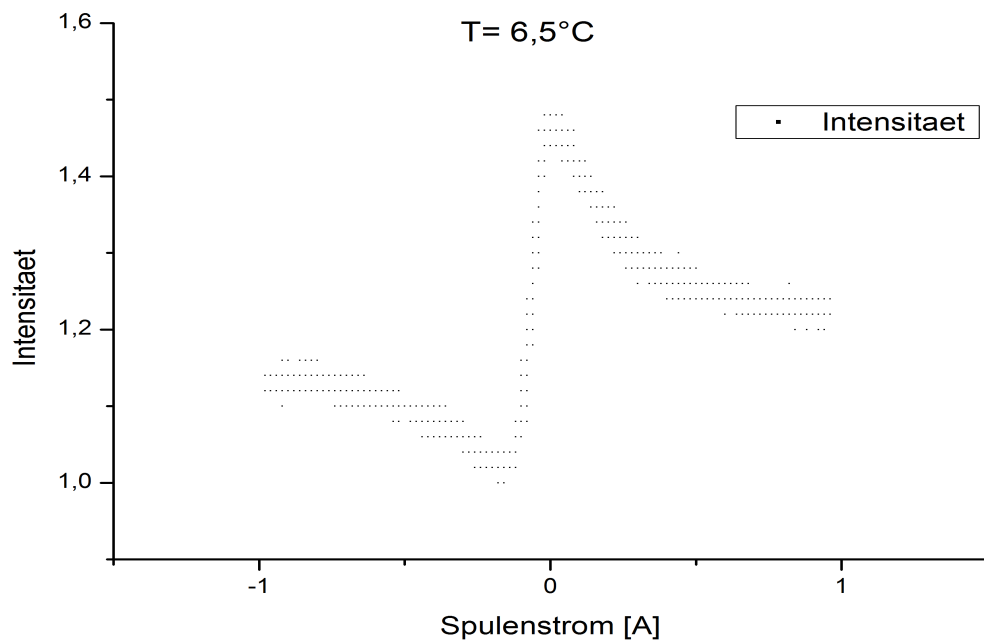






3. Polarisatorstellung 45° :





C) Auswertung

1. Anpassung durch Lorentzkurven

Unsere aufgezeichneten Messwerte für 90° und 0° konnten wir nun für jeden Temperaturwert mit

einer Lorentzkurve anpassen: $y(x) = y_0 + \frac{2A}{\pi} \frac{w}{4(x-x_c)^2 + w^2}$

Dabei bezeichnen y_0 den y-Achsenoffset, A die Fläche unter der Kurve,

x_c die x-Koordinate des Peaks und w die Halbwertsbreite der Kurve.

Hier jeweils ein Lorentzkurvenfit zu einer 90° und einer 0° Messung (Polarisation):

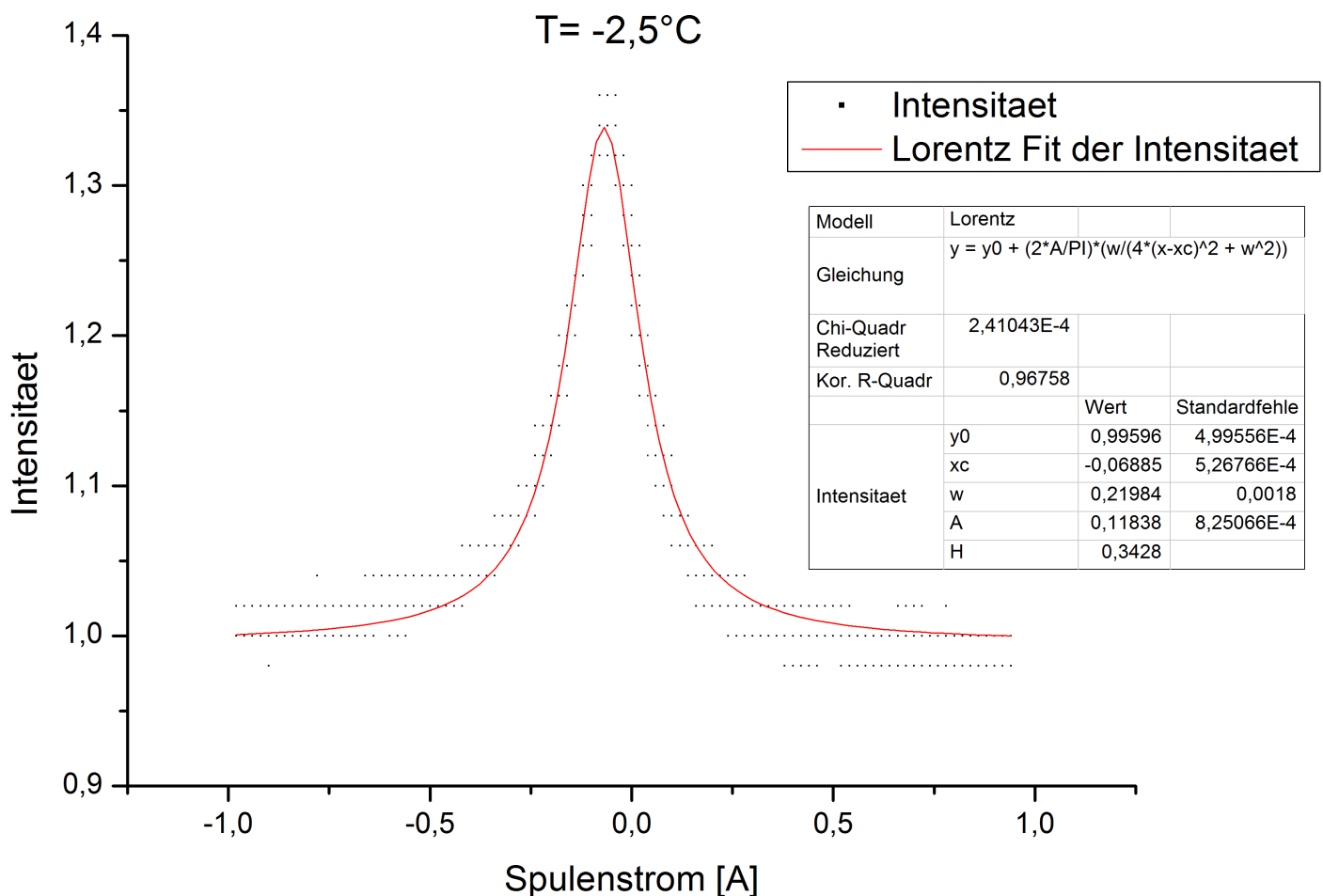


Abbildung : Lorentzkurve bei Messung -2,5°C der 90°-Messreihe

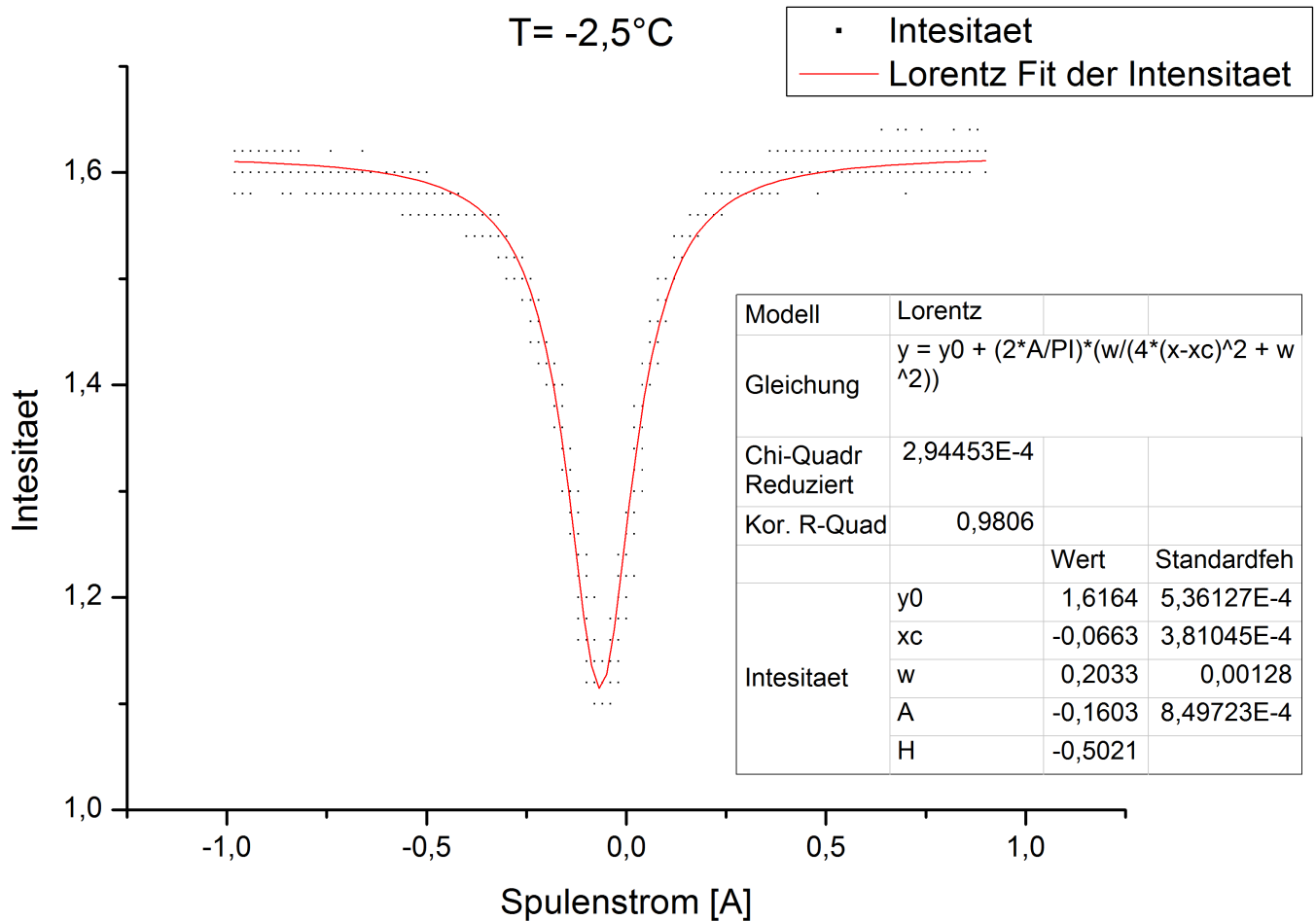


Abbildung : Lorentzkurve bei Messung $-2,5^\circ\text{C}$ der 0° -Messreihe

2. Berechnung der Lebensdauern

Um die Lebensdauer zu bestimmen, muss man zunächst die Magnetfeldstärke $H_{1/2}$ bei halber Intensität des Peaks aus der Halbwertbreite w (aus dem Fit) ermitteln: $2 H_{1/2} = 3,363 \cdot 10^{-4} \cdot w$

Mit einem Landésche Faktor $g_j = 1,5$, dem Bohrsche Magneton $\mu_B = 9,27402 \cdot 10^{-24} \frac{\text{J}}{\text{T}}$ und der

Planck-Konstante $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05457 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ergibt sich

die Lebensdauer in Sekunden : $\tau = \frac{\hbar}{2 g_j \mu_B H_{1/2}} = \frac{\hbar}{g_j \mu_B \cdot 3,363 \cdot 10^{-4} \cdot w}$

Den Fehler $\sigma(\tau)$ der Lebensdauer erhält man durch den Fehler der Halbwertsbreite:

$$\sigma(\tau) = \tau \frac{\sigma(w)}{w}$$

Die Lebensdauer wurde somit für jede Messung der zwei Messreihen berechnet (siehe Auswertungstabelle) und über die Temperatur aufgetragen.

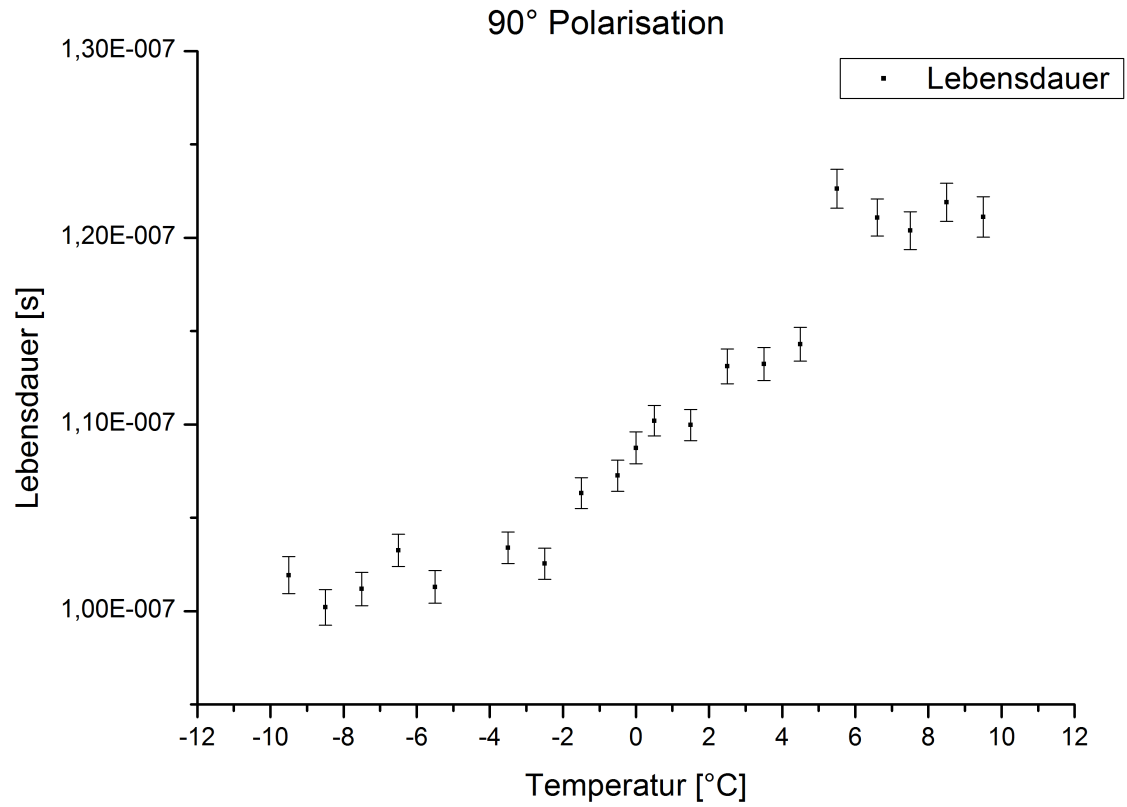


Abbildung :Lebensdauer in Abhängigkeit zur Temperatur für 90°-Messreihe

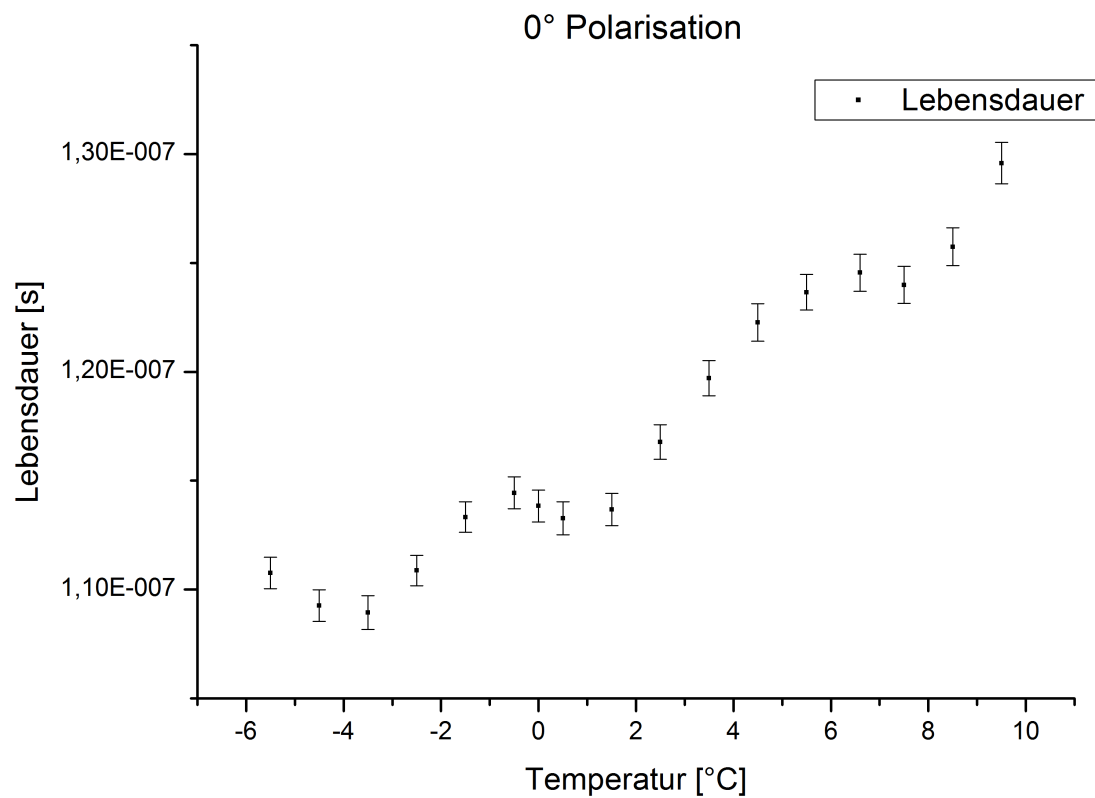


Abbildung :Lebensdauer in Abhängigkeit zur Temperatur für 0°-Messreihe

Da wir die Temperatur mit einem Temperaturmessgerät ohne Nachkommastelle gemessen haben, wählten wir jeweils den Temperaturpunkt, als zwei Temperaturen geschwankt haben, also jeweils an „x,5°C-Stellen“. Eine Temperaturänderung während einer einzelnen Messung konnten wir deshalb nicht feststellen.

Den Fehler für die Temperatur wählten wir demnach fest als $\sigma(T)=0,2^\circ\text{C}$.

Es handelt es sich um den Effekt des „coherence narrowing“, wie man an der Zunahme der Lebensdauer mit steigender Temperatur erkennt.

Der Dampfdruck von Quecksilber lässt sich über den Zusammenhang

$$\log_{10}(p/\text{Torr}) = \mathcal{A} + \mathcal{B} \cdot \log_{10}(T/\text{K}) + \frac{\mathcal{C}}{T} \quad \text{bestimmen.}$$

Dabei sind A, B und C temperaturabhängige, empirische Konstanten.

Temperaturbereich	\mathcal{A}	\mathcal{B}	\mathcal{C}
$T = -30^\circ\text{C} \dots +3^\circ\text{C}$	8,86	0	-3340K
$T = +3^\circ\text{C} \dots +25^\circ\text{C}$	10,5724	-0,847	-3342,26K

Um die Lebensdauer im natürlichen Zustand, also dem Druck $p=0$ Torr zu ermitteln, mussten wir den Dampfdruck p aus der in Kelvin umgewandelten Temperatur durch die empirische Formel

$$p = 10^{(\mathcal{A} + \mathcal{B} \log_{10} T + \frac{\mathcal{C}}{T})} \quad \text{bestimmen.}$$

Es ergeben sich die Formeln $p = 10^{8,86 - \frac{3440}{T}}$ für $T < 3^\circ\text{C}$

und $p = 10^{10,5724 - 0,847 \cdot \log_{10}(T) - 3342,26 \frac{\text{K}}{T}}$ für $T > 3^\circ\text{C}$

Als Fehler für den Druck ergibt sich mit Fehlerfortpflanzung:

$$\sigma(p) = \sqrt{\left(\frac{dp}{dT}\right)^2 \sigma^2(T)} = \left| \frac{\left(\frac{B \cdot T}{\ln(10)} - C\right) \cdot \ln(10) \cdot p \cdot \sigma(T)}{T^2} \right|$$

Nun konnten wir die Lebensdauern über den Dampfdruck auftragen und mit linearen Fits für beide Messreihen die natürliche Lebensdauer bei $p=0$ Torr extrapolieren.

Da Origin keine x-Fehler, also die $\sigma(p)$ beim linearen Fit berücksichtigt, haben wir aus den vorläufigen Fitparametern durch die Formel $\sigma^2(\tau)_{\text{korrigiert}} = \sigma^2(\tau) + B^2 \cdot \sigma^2(p)$ die neuen Parameter berechnet.

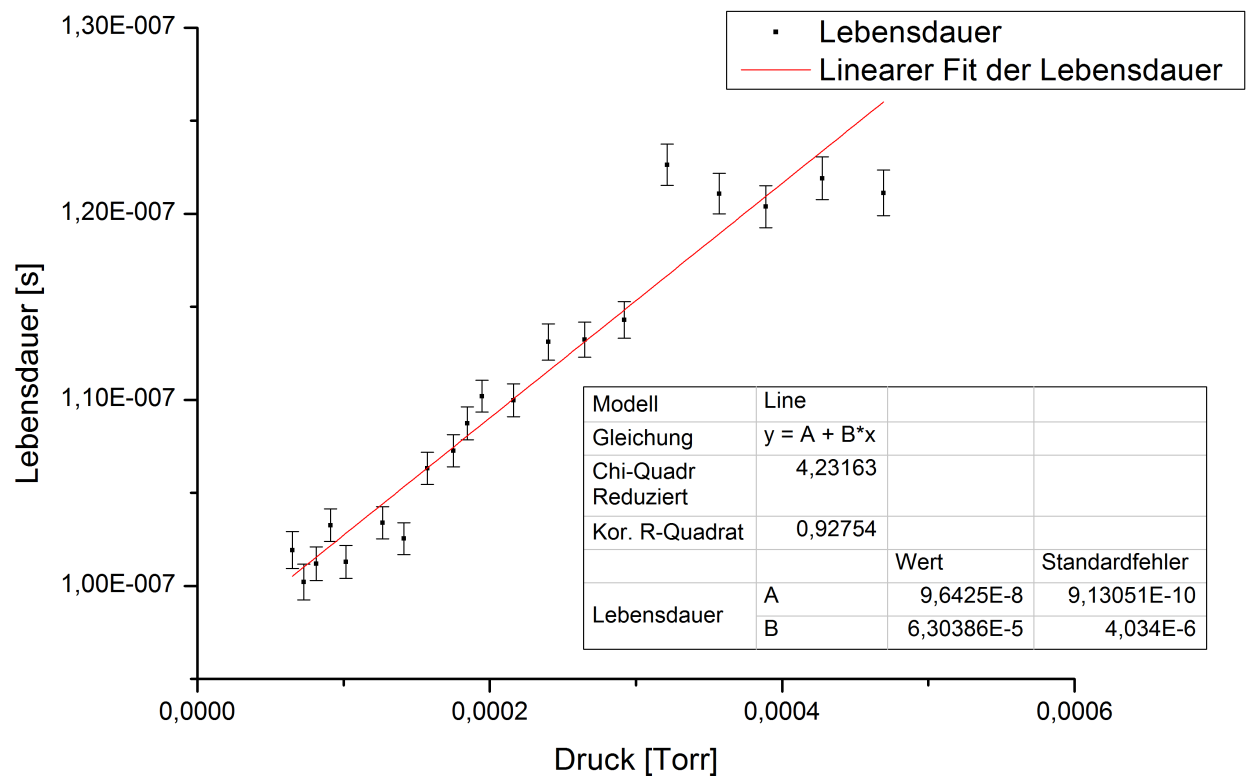


Abbildung :Lebensdauer in Abhängigkeit zum Dampfdruck für 90°-Messreihe

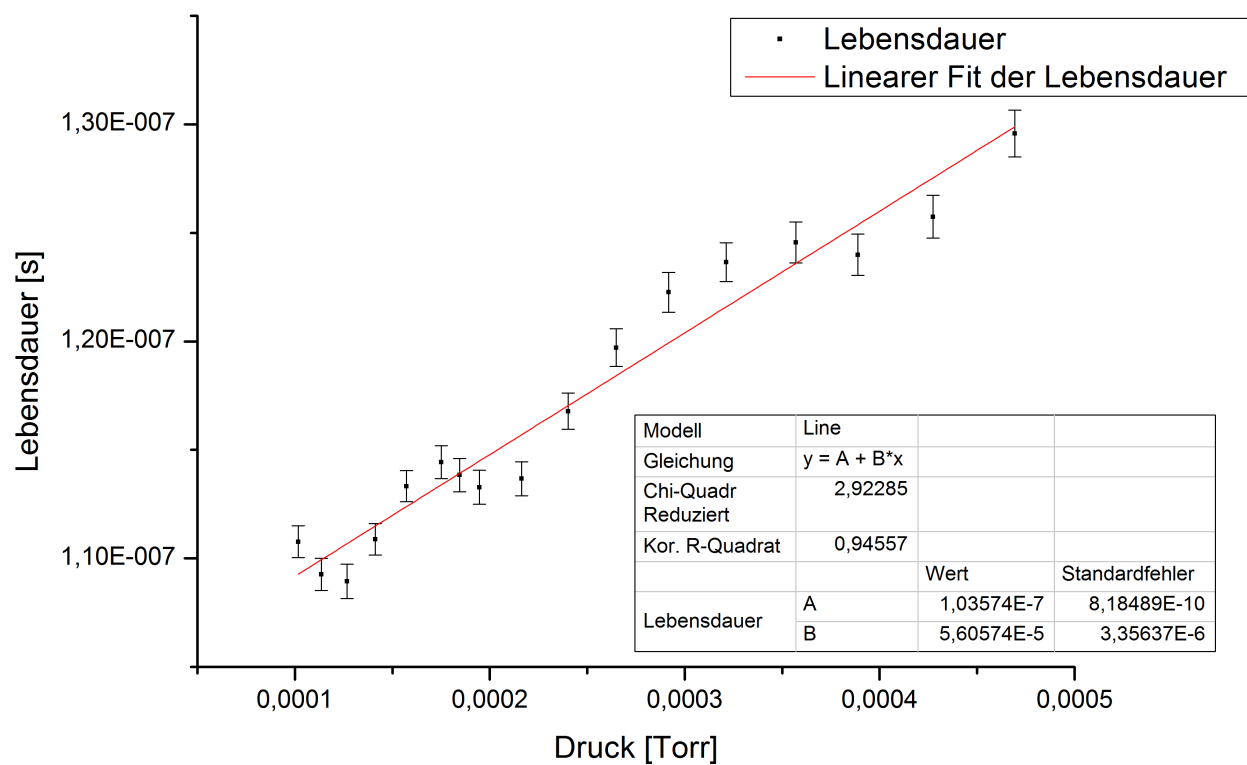


Abbildung :Lebensdauer in Abhängigkeit zum Dampfdruck für 0°-Messreihe

Es ergibt sich die natürliche Lebensdauern des 3P_1 Zustands der Hg-Atome für die

90°-Messreihe: $\tau_{90^\circ} = (0,96425 \pm 0,00913) \cdot 10^{-7} s$

0°-Messreihe: $\tau_{0^\circ} = (1,03574 \pm 0,00818) \cdot 10^{-7} s$

Aus diesen beiden Werten können wir nun das gewichtete Mittel bestimmen:

$$\bar{\tau}_G = \frac{\left(\sum_{i=1}^2 \left(\frac{\tau_i}{\sigma_i^2} \right) \right)}{\left(\sum_{i=1}^2 \left(\frac{1}{\sigma_i^2} \right) \right)} = 1,00391 \cdot 10^{-7} s$$

Als gewichteter Fehler ergibt sich: $\sigma(\bar{\tau}_G) = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^2 \left(\frac{1}{\sigma_i^2} \right)}} = 0,00609 \cdot 10^{-7} s$

Die beiden Werte für die natürliche Lebensdauer der beiden Reihen weichen um

$(0,07149 \pm 0,00609) \cdot 10^{-7} s$ voneinander ab. Damit liegen sie doch deutlich auseinander.

Insgesamt liegt unser gewichtetes Mittel deutlich unter dem Literaturwert von $\tau_{lit} = 1,18 \cdot 10^{-7} s$.

Eine möglicher Grund ist eine nicht ausreichende Kompensation umliegender Magnetfelder wie dem Erdmagnetfeld.. Es kommt hinzu, dass die Temperatur nur sehr ungenau gemessen werden konnte. Deshalb haben wir eventuell den Fehler für die Temperatur unterschätzt.

Da die Peltierelemente schon in der ersten Kühlung nur bis $-9,5^\circ C$ gekühlt haben und nicht wie vorgesehen bis $-20^\circ C$, in der zweiten Kühlung sogar nur bis $-5,5^\circ C$, ist die Messung deswegen allgemein ungenauer geworden.

Grund für die deutliche Abweichung vom Literaturwert sind womöglich entscheidende systematische Fehler in der Apperatur, da beide Werte deutlich unter dem Literaturwert liegen.

3. Polarisatorstellung 45°

Die Messungen, die bei der Polarisatorstellung 45° aufgenommen wurden, zeigen den typischen Verlauf einer Dispersionskurve. Hier kommt es zu einer Überlagerung einer Lorenz- und einer inversen Lorentzkurve.

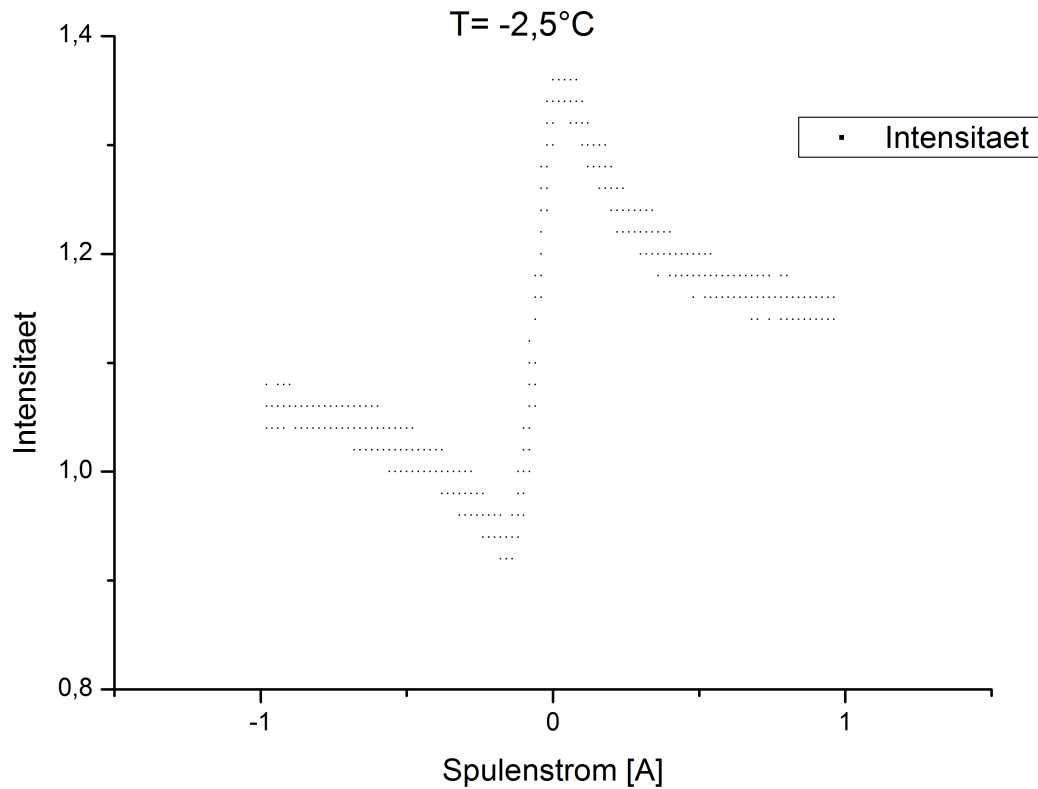


Abbildung : Messung bei -2,5°C der Polarisatorstellung 45°

Die Polarisatorstellung 45° ist also die Überlagerung der beiden Lorentzkurven für 0° und 90°.

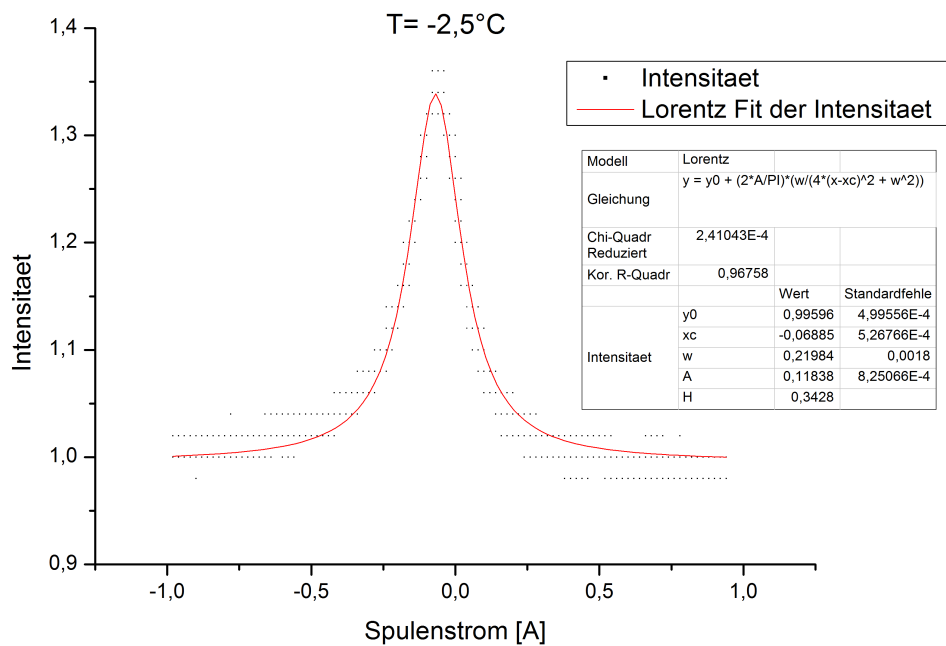


Abbildung: Lorentzkurve für Polarisatorstellung 90°

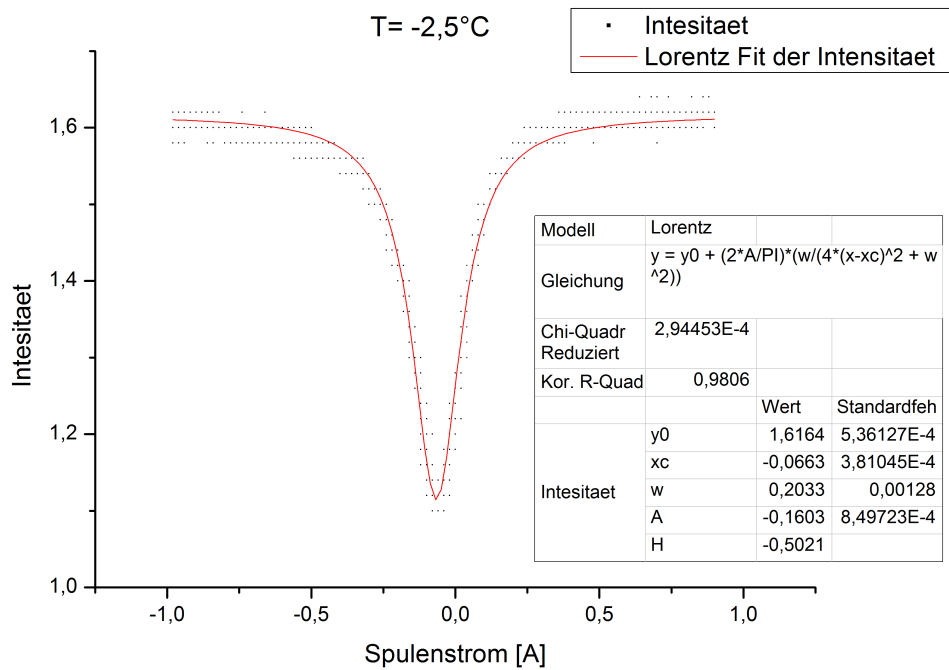


Abbildung: Lorentzkurve für Polarisatorstellung 90°