

Versuch 3.16b

Supraleitung

von Markus Rosenstihl

Email: rosenst@prp.physik.tu-darmstadt.de

Praktikumspartner: Shona Mackie, Wolfgang Schleifenbaum

Betreuer: Herr Dr. Privalov

17. Juni 2002

In diesem Versuch behandeln wir den Effekt der Supraleitung. Die Supraleitung wurde von Kammerlingh Onnes 1911 an Quecksilber entdeckt. Bei Supraleitern verschwindet der spezifische Widerstand unterhalb einer bestimmten Temperatur T_C . Supraleiter zeichnen sich aber auch noch durch eine weitere Eigenschaft aus: Unterhalb einer Magnetfeldstärke von B_{C1} sind sie ideale Diamagnete. Dieses Verhalten bei tiefen Temperaturen wird auch Meißner-Ochsenfeld-Effekt genannt.

1 Meißner-Ochsenfeld- Effekt

Wird ein Supraleiter in einem Magnetfeld unterhalb der kritischen Magnetfeldstärke unter seine kritische Temperatur T_C abgekühlt, so werden die magnetischen Feldlinien aus dem Innern des Leiters verdrängt. Es fließt ein induzierter Abschirmstrom in an der Oberfläche des Supraleiters, der das äußere Magnetfeld aus ihm heraus drängt. Ein idealer Supraleiter hat die magnetische Suszeptibilität $\chi = -1$.

2 BCS-Theorie

Die elektrische Anziehung zwischen einem Elektron und den Ionenrümpfen erzeugt eine lokale Gitterdeformation und Energielücke E_G . Da aufgrund der hohen Masse der Ionen diese Gitterdeformation nicht sofort rückgängig gemacht werden kann, kann ein weiteres Elektron von diesem Potential angezogen werden. Dadurch werden die Elektronen durch die Gitterdeformation zueinander hingezogen. Dieser Zustand ist dann am günstigsten, wenn die Elektronen entgegengesetzten Spin und Impuls haben. Diese zwei Elektronen nennt man auch Cooper-Paar. Jedes Elektron gewinnt durch die Paarbildung $\frac{E_G}{2}$ an Energie. Der Spin eines Cooper-Paares ist 0, somit unterliegt es nicht dem Pauli-Prinzip für Fermi-Teilchen sondern der Bose-Einstein-Statistik.

Supraleiter werden in zwei Arten unterteilt: Supraleiter I. und II. Art.

- Typ I Supraleiter werden auch weiche Supraleiter genannt. Sobald H_C überschritten wird tritt ein abrupter Übergang von Supraleitung zur Normalleitung auf. Es tritt ein vollständiger Meißner-Ochsenfeld-Effekt auf, d.h. das Magnetfeld im Inneren der supraleitenden Probe wird vollständig aus ihr herausgedrängt.
- Bei Typ II Supraleiter tritt dieser Übergang nicht sprunghaft auf sondern zwischen H_{C1} und einer zweiten charakteristischen Feldstärke H_{C2} gibt es einen Mischzustand. Die Probe wird durch normalleitende Flussschläuche durchsetzt, Vortices genannt, welche die Probe durchdringen. Oberhalb H_{C2} ist die Probe wieder normalleitend. Supraleiter 2. Art haben zwischen H_{C1} und H_{C2} einen unvollständigen Meißner-Ochsenfeld-Effekt. Das innere Magnetfeld der Probe wird nicht vollständig verdrängt.

Diese Vortices sind gequantelt. Das Flussquant besitzt einen Wert von $\phi_0 = \frac{h}{2e}$. Die Zwei im Nenner ist eine Folge der doppelten Ladung des Cooper-Paares.

3 GLAG-Theorie

Mit der GLAG-Theorie werden die Supraleiter 2. Art beschrieben. Der große Unterschied zur Theorie von London besteht darin, daß in der GLAG-Theorie nicht angenommen wird daß die Cooper-Paare im ganzen Volumen konstant sind. Dadurch ist es in der GLAG-Theorie möglich auch einen Zwischenzustand (Shubnikov-Phase) zu beschreiben. Die Theorie geht davon aus, daß es sich beim Übergang von Normal- zu Supraleitend um einen Phasenübergang 2. Ordnung handelt.

In der GLAG-Theorie werden zwei Größen eingeführt: Die Kohärenzlänge (Abstand zweier Elektronen eines Cooper-Paares) ξ und die London-Eindringtiefe λ_L . Die London Eindringtiefe beschreibt die Eindringtiefe des Magnetfelds in den Supraleiter. In der GLAG-Theorie werden Supraleiter 1. und 2. Art durch den Ginsburg-Landau-Parameter $\kappa = \frac{\lambda_L}{\xi}$ unterschieden. Ist $\kappa > \frac{1}{\sqrt{2}}$ handelt es sich um einen Supraleiter 2. Art, falls $\kappa < \frac{1}{\sqrt{2}}$ ist es ein Supraleiter 1. Art.

4 Messmethoden

4.1 Resistive Methode

Bei der Resistiven Methode wird der Widerstand einer Probe durch eine sog. Vierpolschaltung gemessen. Dadurch können Widerstände der Zuleitungen eliminiert werden, was eine sehr genaue Messung ermöglicht. Durch Messung in umgekehrter Polung werden auch noch durch Differenzbildung Thermospannungseffekte eliminiert, da diese nicht von der Stromrichtung abhängen. Die Resistive Methode ist zur Bestimmung der kritischen Temperatur eines Supraleiters 2. Art nicht unbedingt geeignet, da dieser bei Unterschreiten von T_{c2} bereits supraleitend wird. Für Supraleiter 1. Art ist diese Methode sehr gut geeignet.

4.2 Mutual-Inductance-Bridge

Mit der Gegeninduktivitäts Brücke können Magnetfeldänderungen innerhalb einer Spule mit einer Referenzspule verglichen werden. Dabei werden die Proben-Spule und die Referenz-Spule von einer beide umfassenden Spule umgeben. Da nun die Probe (Supraleiter 2. Art) unterhalb seiner oberen kritischen Temperatur das Magnetfeld nur teilweise verdrängt, ändert sich die Induktivität der Proben-Spule die man messen kann. Man erhält ein "shielding-signal" welches ein Maß für die Abschirmeigenschaften eines Supraleiters ist.

4.3 Lock-in Verstärker

In einem Lock-in Verstärker wird das Eingangssignal (Messung) mit einem Referenzsignal multipliziert. Dabei entstehen Summen- und Differenzfrequenzen. Haben nun Eingangs- und Referenzsignal die gleiche Frequenz, so tritt die Differenzfrequenz 0Hz auf. Falls nun die Signale gleiche Frequenz haben, aber einen Phasenunterschied, so entsteht eine positive oder negative Gleichspannung, dessen Spannung von der Phasendifferenz abhängt. Mit einem Lock-in Verstärker kann man das Signal-Rausch-Verhältnis verbessern.

In unserem Versuch wird er dazu verwendet das "shielding-signal" zu messen,

4.4 Kryostat

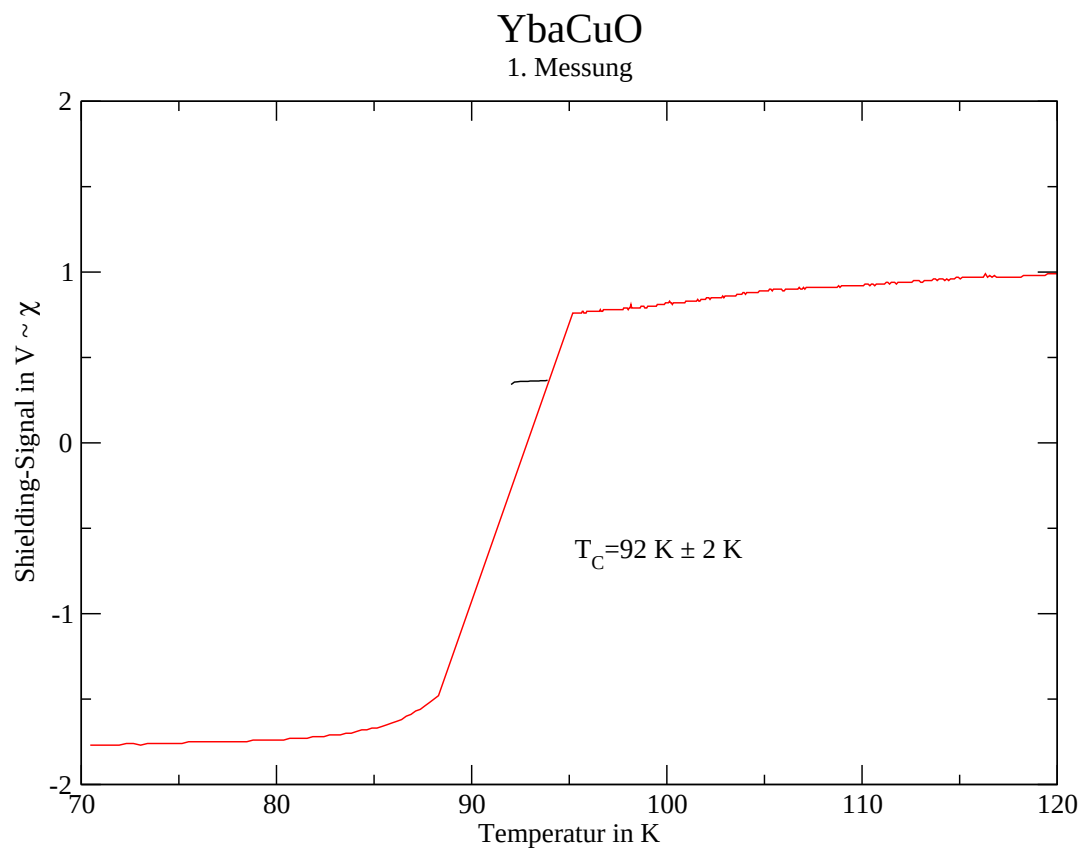
Ein Kryostat besteht aus mehreren Dewar-Gefäßen, welche durch Hochvakuum voneinander getrennt sind um den Wärmeaustausch mit der Umgebung so gering wie möglich zu halten. Das Vakuum wird durch einen Turbomolekularpumpe erzeugt.

Der im Versuch verwendete Kryostat besteht aus zwei Dewar-Gefäßen. Um den He-Verbrauch so gering wie möglich zu halten wird in beide Gefäße zunächst flüssiger Stickstoff ($T = 77K$) eingefüllt. Um das Abkühlen der Probe zu beschleunigen wird gasförmiges Helium als Kontaktgas in die Isolierkammern gefüllt um den Abkühlvorgang zu beschleunigen. Sobald das innere Gefäß auf die Temperatur des flüssigen Stickstoffs abgekühlt ist, wird der Stickstoff wieder abgepumpt und durch flüssiges Helium ($T = 4,2K$) ersetzt. Das gasförmige Helium wird abgesaugt und der Rückgewinnung zugeführt.

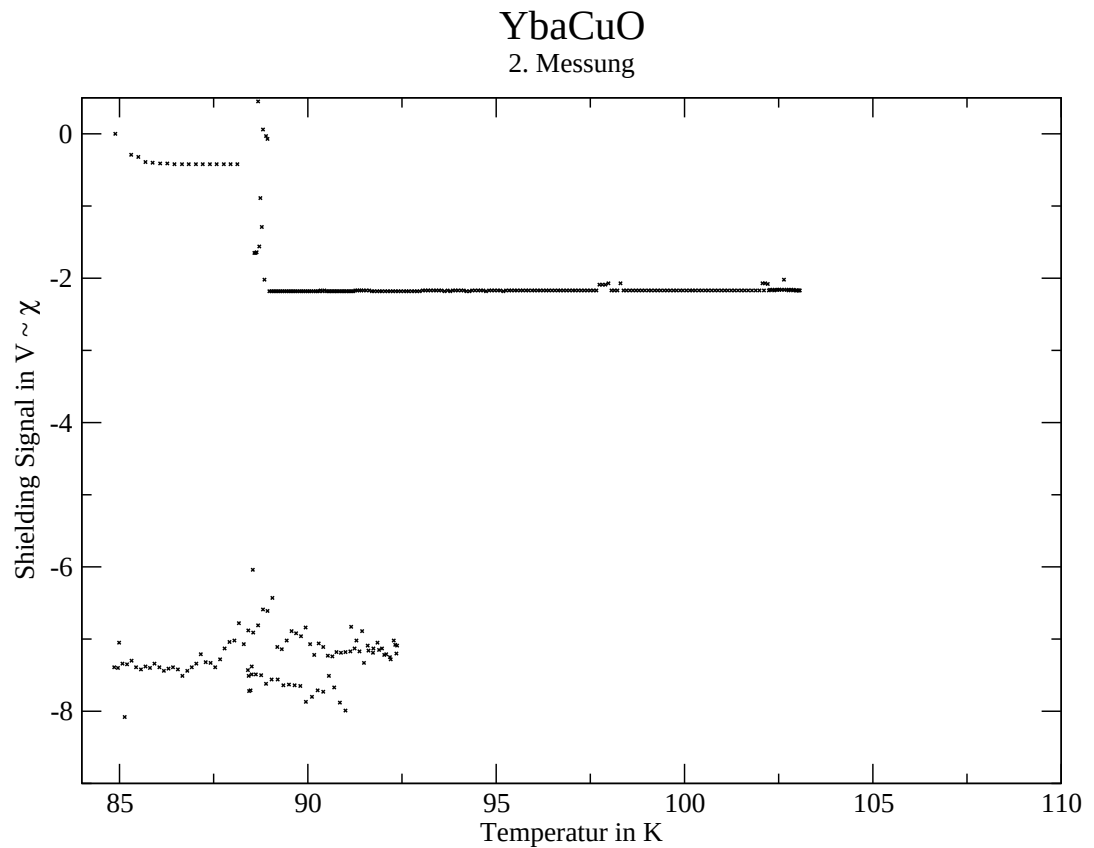
5 Versuchsdurchführung

5.1 YBaCuO

Zunächst wurde die YBaCuO-Probe untersucht. Dabei handelt es sich um einen Hochtemperatur Supraleiter 2. Art mit einer Sprungtemperatur von max. 92 K (Literaturwert). Da wir bei der Aufnahme der Messungen mehrere Programmcrashes am Übergang Normalleitend -> Supraleitend hatten, wurden mehrere Messungen durchgeführt. In der 1. Messung erkennt man deutlich, daß es sich um einen Supraleiter 2. Art handelt, da das Magnetfeld relativ langsam mit abnehmender Temperatur im Bereich von 94 K - 86 K aus der Probe gedrängt wird.



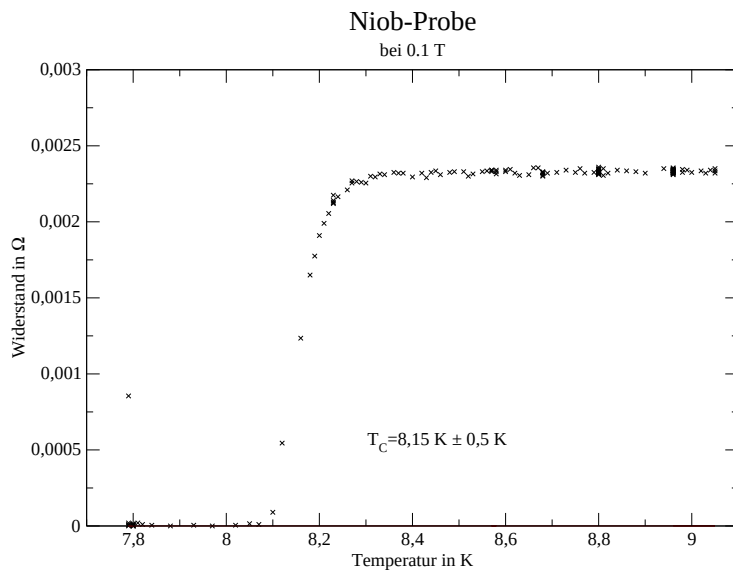
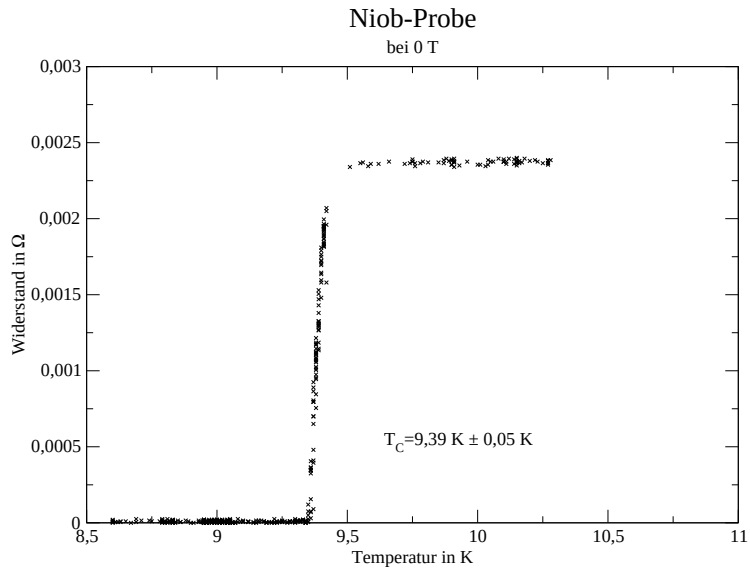
In der zweiten Messung lässt sich die Sprungtemperatur genauer bestimmen zu $T_C = 89,9 \pm 0,5 \text{ K}$.

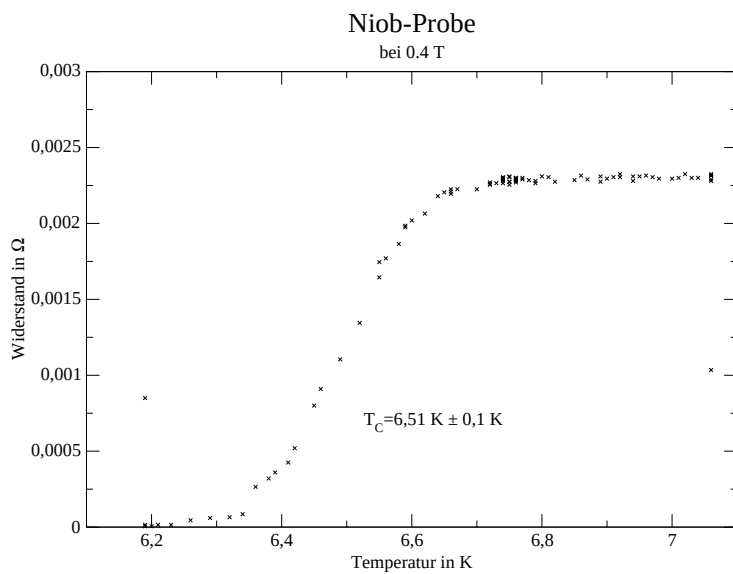
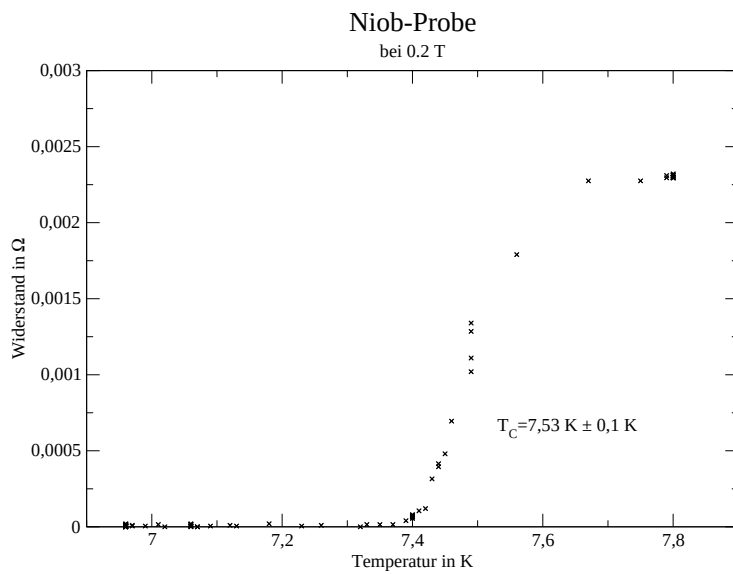


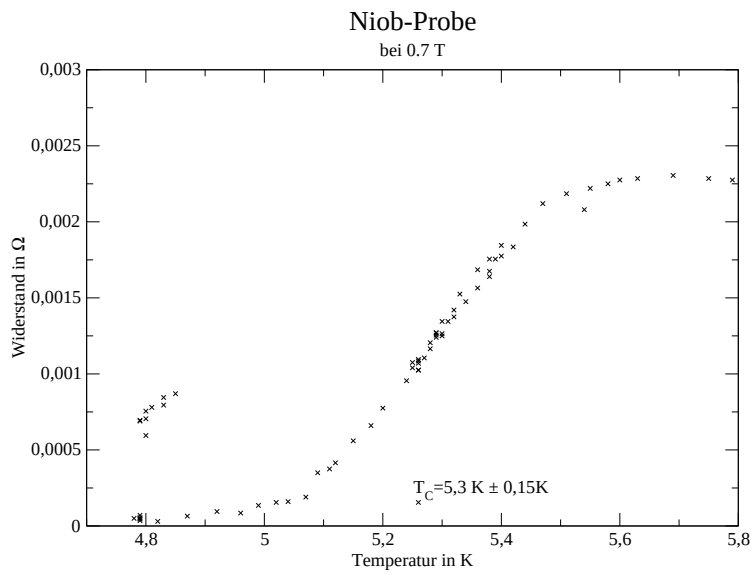
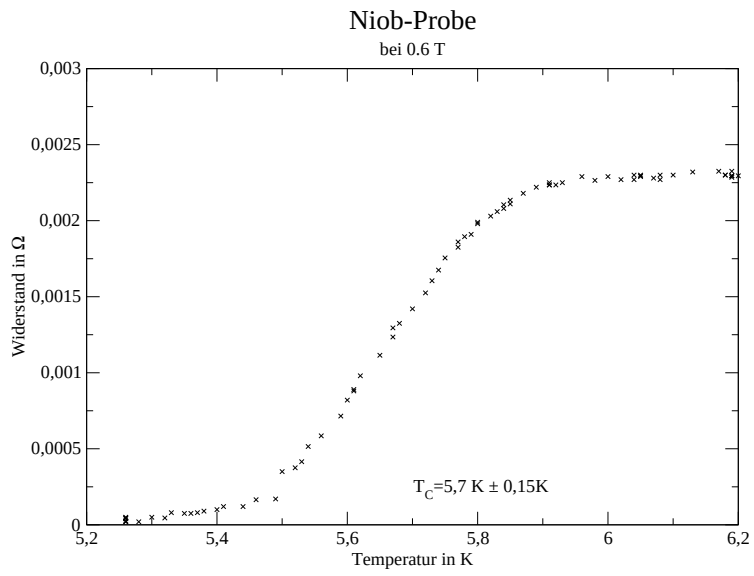
5.2 Niob

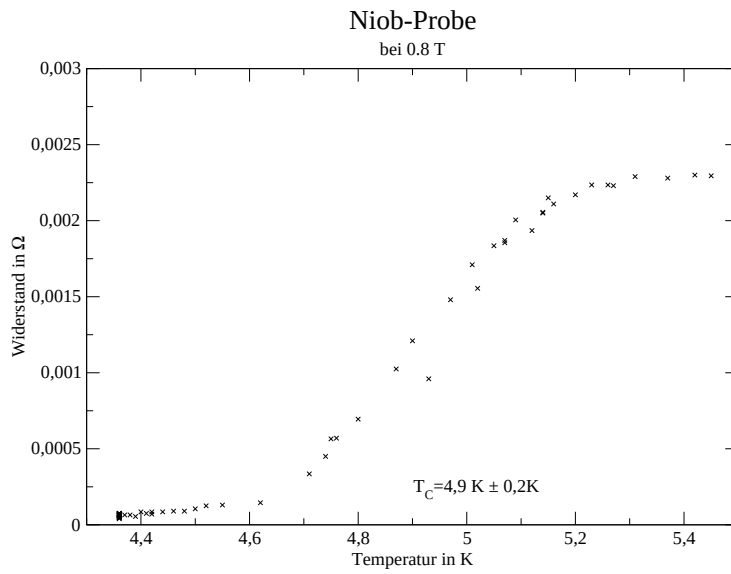
Da Niob ein Supraleiter 1. Art ist wurden die Messungen mit der resistiven Methode durchgeführt. Um die im Anleitungsblatt gegebenen Formel von Casimir und Gorter zu überprüfen wurde die kritische Temperatur T_C in Abhängigkeit eines statischen Magnetfeldes gemessen. Da bei steigender Magnetfeldstärke der Übergang zur Supraleitung weniger abrupt war, musste bei abnehmender Temperatur ein größerer Fehler angenommen werden.

Feldstärke H in T	Temperatur T_C in K	Fehler in K
0	9,39	0,05
0,1	8,15	0,05
0,2	7,53	0,1
0,4	6,51	0,1
0,6	5,7	0,15
0,7	5,3	0,15
0,8	4,9	0,2









Wenn wir nun die Werte mit der Formel von Casimir und Gorter fitten, dann erhalten wir das kritische Feld H_C bei 0 K durch interpolation zur Y-Achse.

