

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Messung des Feldverlaufs einer Spule mit einer verschiebbaren Pick-Up Spule	2
2.1	Versuchsaufbau	2
2.2	Messverfahren	2
2.3	Messergebnisse	3
2.4	Interpretation	4
3	Suszeptibilitatmessung	4
3.1	Justieren der Probe (Bestimmung der Lage der Pick-Up-Spulen)	4
3.1.1	Versuchsaufbau	4
3.1.2	Messverfahren	5
3.1.3	Messergebnisse	6
3.1.4	Interpretation	6
3.2	Bestimmung des Curiepunkts von Terbium	7
3.2.1	Versuchsaufbau	7
3.2.2	Messverfahren	8
3.2.3	Messergebnis	8
3.2.4	Interpretation	8
3.3	Bestimmung der Sprungtemperatur eines Supraleiters	9
3.3.1	Versuchsaufbau	9
3.3.2	Messverfahren	10
3.3.3	Messergebnis	10
3.3.4	Interpretation	11
4	Anhang	12

1 Einleitung

Die in diesem Kurzprotokoll beschriebenen Experimente wurden am 24.05.2017 an der TU Wien im Rahmen des Praktikums Laborübungen III (134.126) von *Kassandra Kunz* und *Helmut Hörner* durchgeführt. Sie beschäftigen sich mit der Bestimmung des Feldverlaufs einer Spule, sowie der Messung des Curie-Punkts einer Terbium-Probe und der Bestimmung der Sprungtemperatur eines Supraleiters durch Messung der Suszeptibilitätsänderung mittels einer Lock-In-Verstärkungsmessung.

2 Messung des Feldverlaufs einer Spule mit einer verschiebbaren Pick-Up Spule

2.1 Versuchsaufbau

- Eine 14 cm lange, horizontal montierte Kupferspule (“Primärspule”, Durchmesser 25 mm) wurde an den $50\ \Omega$ Sinus-Ausgang (Referenzkanal) des Lock-In Verstärkers [SR830DSP] angeschlossen.
- Eine an einem waagrechten Führungsstab befestigte, horizontal verschiebbare Pick-Up Spule wurde mit dem Signaleingang A des Lock-In-Verstärkers verbunden.

2.2 Messverfahren

- Der Signalausgang des Lock-In-Verstärkers [SR830DSP] wurde auf $f = 82\ \text{Hz}$ und $U = 5\ \text{V}$ eingestellt.
- Die Eingangsempfindlichkeit wurde auf $50\ \mu\text{V}$ eingestellt.
- Die Pick-Up-Spule wurde ca. 50 cm in die Primärspule eingeführt.
- Der Phasenabgleich wurde mittels der Auto-Phase-Funktion durchgeführt, so dass an Kanal 1 des Lock-In Verstärkers [SR830DSP] die maximale Spannung angezeigt wurde.
- Die Pick-Up-Spule wurde wieder aus der Primärspule herausgezogen.
- Die Eingangsempfindlichkeit wurde auf $20\ \mu\text{V}$ eingestellt.
- Die Pick-Up-Spule wurde in 5 mm-Schritten in die Primärspule eingeführt, und (beginnend bei 0 mm) die Spannung an Kanal 1 des Lock-In Verstärkers [SR830DSP] für jede Spulentiefe protokolliert.
- Bei Überschreiten der Spannung von $20\ \mu\text{V}$ wurde die Eingangsempfindlichkeit auf $50\ \mu\text{V}$ umgestellt und mit der Messung fortgefahren.
- Am Ende dieser Messreihe wurde die Phasenverschiebung des Referenzsignals abgelesen und dokumentiert.

2.3 Messergebnisse

Tabelle 1 und Abbildung 1 zeigen die Messergebnisse:

Tiefe s [mm]	ind. Spannung U_{ind} [μV]
0	1,82
5	2,54
10	3,68
15	5,55
20	8,75
25	13,97
30	21,06
35	27,90
40	32,78
45	35,64
50	37,25
55	38,19
60	38,77
65	39,19

Tabelle 1: Feldverlauf in einer Kupferspule entlang der Achse, gemessen über die in einer Tiefe r axial angebrachten Pick-Up-Spule induzierte Spannung.

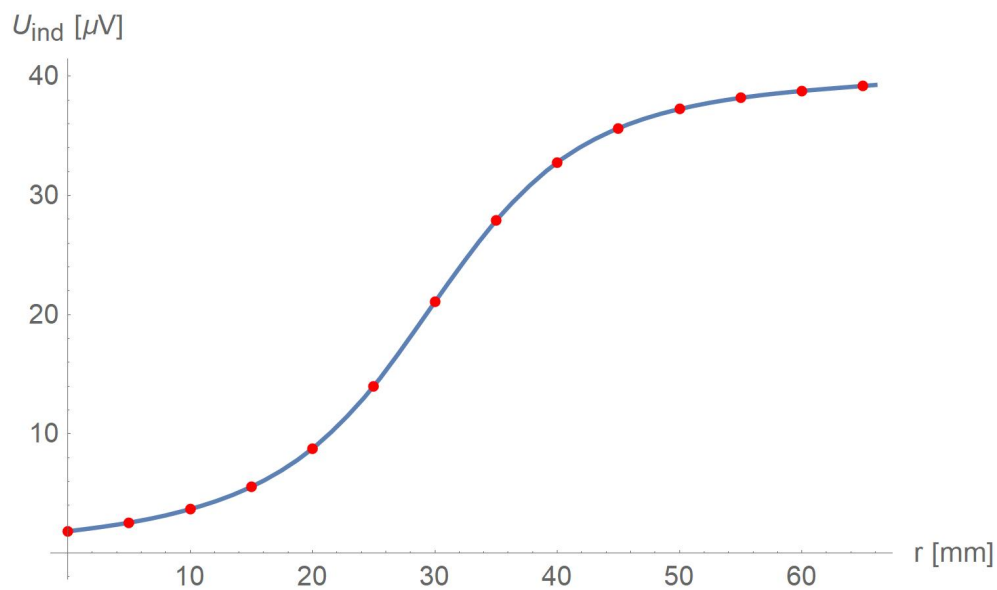


Abbildung 1: Feldverlauf in einer Kupferspule entlang der Achse, gemessen über die in einer Tiefe r axial angebrachten Pick-Up-Spule induzierte Spannung (Messpunkte rot, Interpolation blau).

Setzt man den ersten Messpunkt bei $r = 0$ mm mit dem letzten Messpunkt bei $r = 65$ mm in Beziehung, ergibt sich eine Abschwächung auf 4,6 %. Tatsächlich war die Pick-Up-Spule jedoch so verbaut, dass nicht klar ersichtlich war, bei welcher Millimetermarke sie tatsächlich in die Primärspule eindringt. Betrachtet man den Kurvenverlauf in Abbildung 1, so scheint es, dass der Spulenanfang eher bei $r = 25$ mm liegt. Unter dieser Annahme ergibt sich eine Abschwächung am Spulenanfang auf 35,6 % des Maximalwertes.

Die gemessene Phasenverschiebung betrug $\varphi = 89,2^\circ$

2.4 Interpretation

- Wie erwartet, zeigt sich im Spulenninneren der relativ langen Spule eine annähernd konstante Feldstärke (siehe Abbildung 1), während sie gegen den Spulenrand hin abnimmt.
- Die Phasenverschiebung beträgt $\varphi = 89,2^\circ$ und liegt etwas unter dem theoretisch zu erwartenden Wert von 90° , was auf den Widerstand der Kupferspule zurückzuführen ist.

3 Suszeptibilitätmessung

3.1 Justieren der Probe (Bestimmung der Lage der Pick-Up-Spulen)

3.1.1 Versuchsaufbau

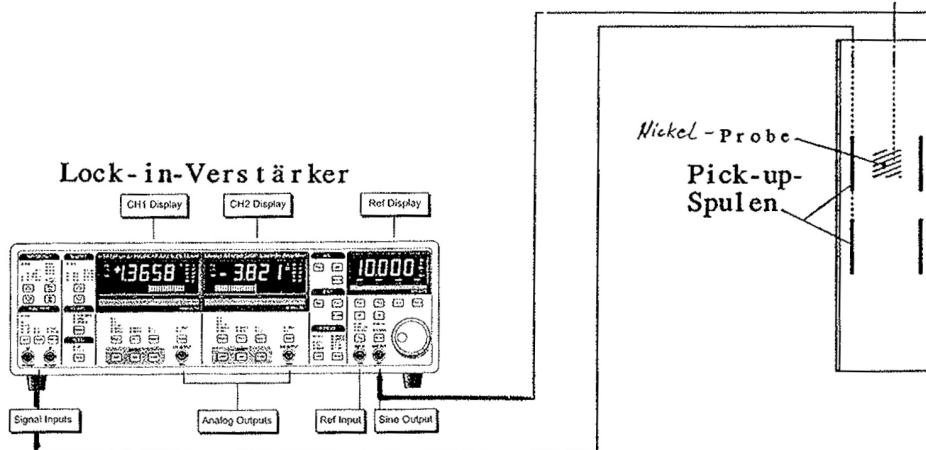


Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Lage der Pick-Up-Spulen, aus: [Hilscher, Sassik 2009, S. 22].

- Die Primärspule einer senkrecht aufgebauten Spulenkonstruktion wurde an den $50\ \Omega$ Sinus-Ausgang (Referenzkanal) des Lock-In Verstärkers [SR830DSP] angeschlossen (siehe Abbildung 2).
- In der Primärspule befindet sich ein Spulensystem aus zwei gegengleich gewickelten, aber ansonsten identischen Pick-Up-Spulen, das mit dem Signaleingang A des Lock-In Verstärkers verbunden wurde.

3.1.2 Messverfahren

- Der Signalausgang des Lock-In Verstärkers [SR830DSP] wurde auf $f = 82\ \text{Hz}$ und $U = 5\ \text{V}$ eingestellt.
- Die Eingangsempfindlichkeit wurde auf $2\ \text{mV}$ eingestellt.
- Die Lage der Spindel am Probenstab mit der Nickelprobe wurde mit einem Millimetermaßstab gemessen, die Spindel 50 Umdrehungen weitergedreht, und dann die Position erneut gemessen.
- Aus der gemessenen Längendifferenz wurde der Vorschub pro Umdrehung ermittelt.
- Der Probenstab wurde ca. $30\ \text{mm}$ eingeführt.
- Der Phasenabgleich wurde mittels der Auto-Phase-Funktion durchgeführt, so dass an Kanal 1 des Lock-In Verstärkers [SR830DSP] die maximale Spannung angezeigt wurde.
- Der Probenstab wurde wieder aus der Primärspule herausgezogen.
- Die Eingangsempfindlichkeit wurde auf $1\ \text{mV}$ eingestellt.
- Der Probenstab wurde in $5\ \text{mm}$ -Schritten in die Primärspule eingeführt, und (beginnend bei $0\ \text{mm}$) die Spannung an Kanal 1 des Lock-In Verstärkers [SR830DSP] protokolliert.
- Je nach Bedarf wurde bei Überschreiten der Spannung von $1\ \text{mV}$ die Eingangsempfindlichkeit auf $2\ \text{mV}$, und bei Unterschreiten von $2\ \text{mV}$ wieder auf $1\ \text{mV}$ angepasst.

3.1.3 Messergebnisse

Es wurde ermittelt, dass 50 Umdrehungen der Spindel des Probenstabes einer Verschiebung um 50 mm entsprechen; eine Umdrehung somit einem Millimeter. Die 5 mm-Abstände der Messung wurden daher mit jeweils fünf Spindelumdrehungen realisiert.

Tabelle 2 und Abbildung 3 zeigen die Messergebnisse.

Tiefen s [mm]	ind. Spannung U [mV]
0	0,200
5	0,301
10	0,477
15	0,743
20	1,051
25	1,242
30	1,234
35	0,991
40	0,546
45	0,001
50	-0,538
55	-0,941
60	-1,144
65	-1,115
70	-0,892
75	-0,589
80	-0,336
85	-0,173

Tabelle 2: Bestimmung der Lage der Pick-Up-Spulen

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, befindet sich die erste Pick-Up-Spule ca. 25 mm vom Spulenanzug entfernt.

3.1.4 Interpretation

- Wie erwartet zeigt sich bei jeder Pick-Up-Spule ein Extremum, das sich durch die von der Nickelprobe verursachte lokal erhöhte Suzeptibilität erklärt.
- Das unterschiedliche Vorzeichen der induzierten Spannung ist auf durch die unterschiedliche Wickelrichtung der beiden Pick-Up-Spulen zurückzuführen.

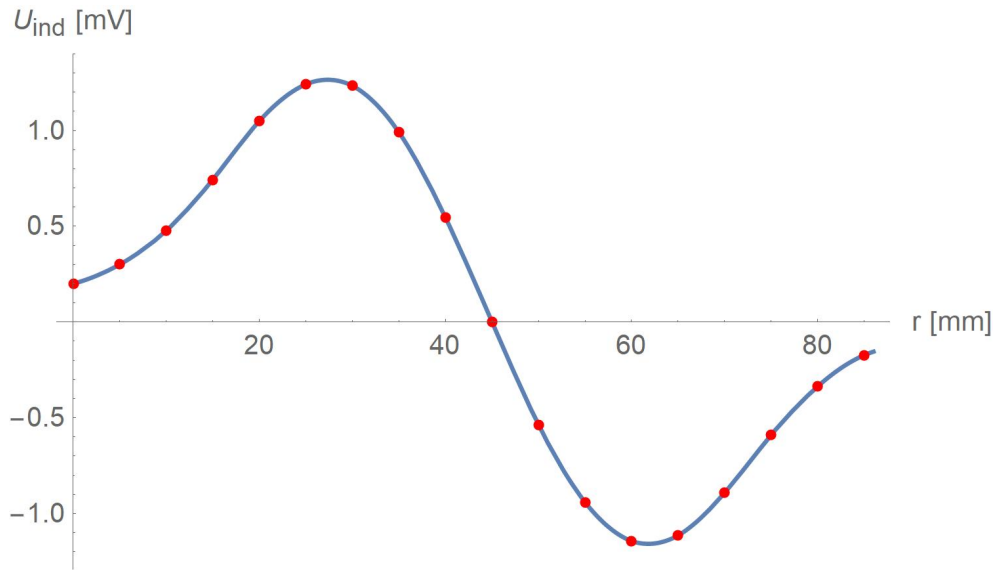


Abbildung 3: Bestimmung der Lage der Pick-Up-Spulen (Messpunkte rot, Interpolation blau).

3.2 Bestimmung des Curiepunkts von Terbium

3.2.1 Versuchsaufbau

- Die Primärspule blieb an den $50\ \Omega$ -Sinus-Ausgang (Referenzkanal) des Lock-In Verstärkers [SR830DSP] angeschlossen (siehe Abbildung 2).
- Der Signalausgang des Lock-In Verstärkers [SR830DSP] blieb auf $f = 82\ \text{Hz}$ und $U = 5\ \text{V}$ eingestellt.
- Die Eingangsempfindlichkeit wurde auf $10\ \text{mV}$ eingestellt.
- Das Pick-Up-Spulensystem blieb mit dem Signaleingang A des Lock-In Verstärkers verbunden.
- Die Datenerfassungsmodule [USB-9211A] und [USB-6210] waren mit zwei USB-Eingängen des Mini-PCs [ESPRIMO] verbunden.
- Das Au-0,003%-Fe-Chromel Thermoelement des Tb-Probenstabs [TB-PROBE] wurde an das Datenerfassungsmodul [USB-9211A] angeschlossen.
- Der Ausgang CH1 des Lock-In Verstärkers [SR830DSP] wurde auf "X" gestellt und an das Datenerfassungsmodul [USB-6210] angeschlossen.
- Das Spulensystem wurde in den mit flüssigen Stickstoff gefüllten Dewar [AGIL2] abgesenkt.

3.2.2 Messverfahren

- Die Spindel des Tb-Probenstabs [TB-PROBE] wurde so eingestellt, dass die Tb-Probe nach Einführen des Stabes in 25 mm Tiefe (neben der ersten Pick-Up-Spule) positioniert war.
- Die am Mini-PC [ESPRIMO] installierte Software “Lock-In XY-Schreiber”[XYSOFTWARE] wurde gestartet.
- Die Thermoelementreferenz des Tb-Probenstabs [TB-PROBE] wurde in einen mit Eiswasser befüllten Dewar [AGIL2] gehängt.
- Der Tb-Probenstab [TB-PROBE] wurde in das Stickstoff-gekühlte Spulensystem eingeführt.
- Die softwaregesteuerte Datenaufzeichnung wurde gestartet.
- Nach Abschluss der Datenerfassung wurden die Messdaten gesichert.
- Die durch die Software am Bildschirm angezeigte Grafik wurde mittels Screenshot in MS-Paint übertragen und ebenfalls gesichert.

3.2.3 Messergebnis

Abbildung 4 zeigt den aufgezeichneten Spannungsverlauf.

Der erkennbare Sprung bei $-0,8\text{ mV}$ entspricht gem. Datenblatt des Au-0,003%-Fe-Chromel Theroelements einer Curietemperatur von 237 K.

3.2.4 Interpretation

- Die gemessene Curietemperatur stimmt mit dem Literaturwert (siehe [Thoburn et al 1958, S. 56]) überein.
- Man erkennt den Übergang vom paramagnetischen in den diamagnetischen Zustand beim Unterschreiten der Curietemperatur.

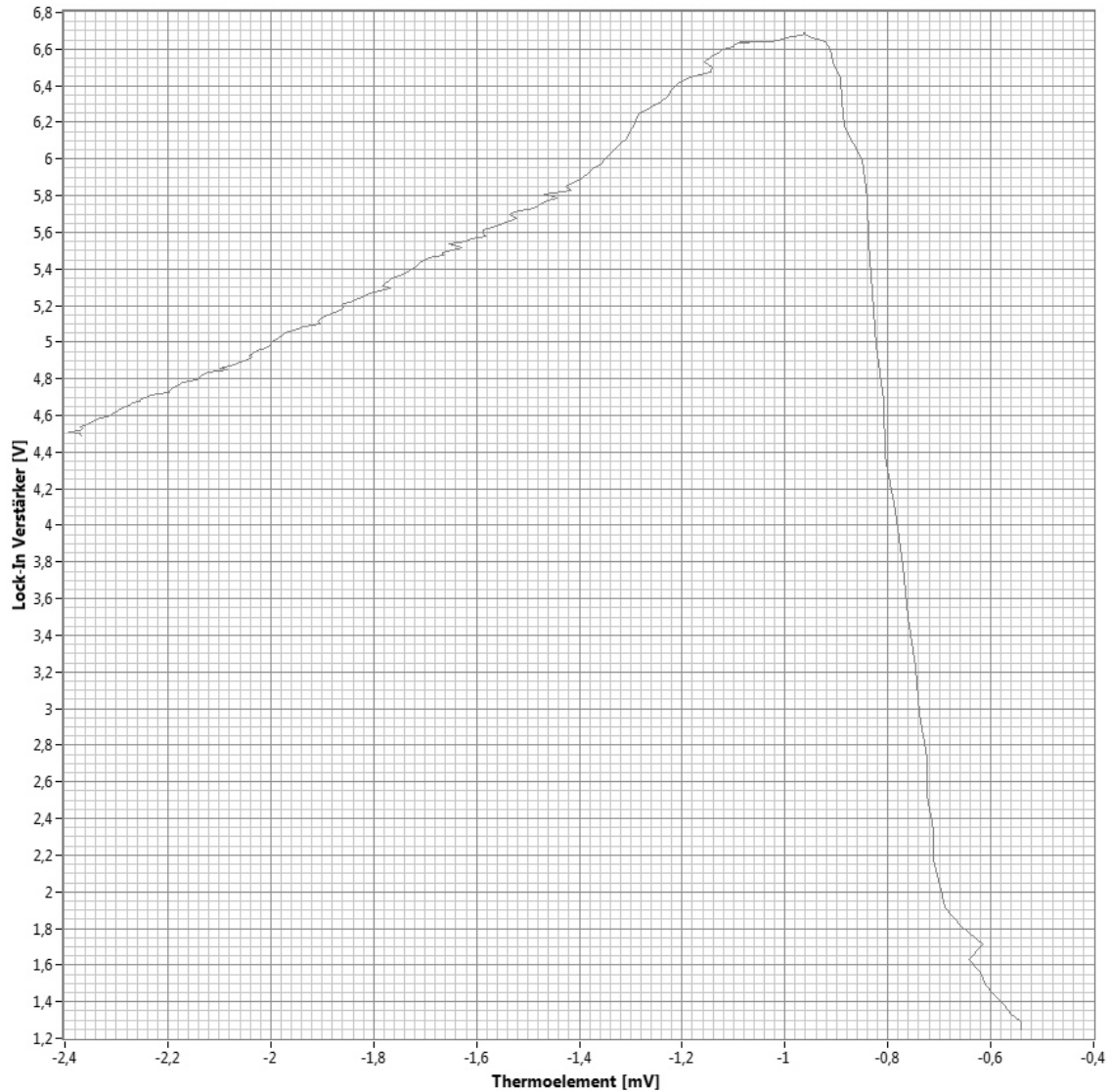


Abbildung 4: Suzeptibilitätsänderung von Terbium in Abhängigkeit von der Temperatur, gemessen durch Änderung der induzierten Spannung an einem gegengleich gewickelten Spulensystem in einem 82 Hz Wechselfeld. Die Sprungspannung von $-0,8$ mV entspricht einer Curietemperatur von 237 K.

3.3 Bestimmung der Sprungtemperatur eines Supraleiters

3.3.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entspricht dem Versuchsaufbau aus Kapitel 3.2.1, jedoch unter Verwendung des $Bi_{1.5}Pb_{0.5}Ca_2Sr_2Cu_3O_y$ -Supraleiter-Probenstabs [SL-PROBE].

3.3.2 Messverfahren

Das Messverfahren entspricht dem Messverfahren aus Kapitel 3.2.2 unter Verwendung des Supraleiter-Probenstabs [SL-PROBE].

3.3.3 Messergebnis

Abbildung 5 zeigt den aufgezeichneten Spannungsverlauf.

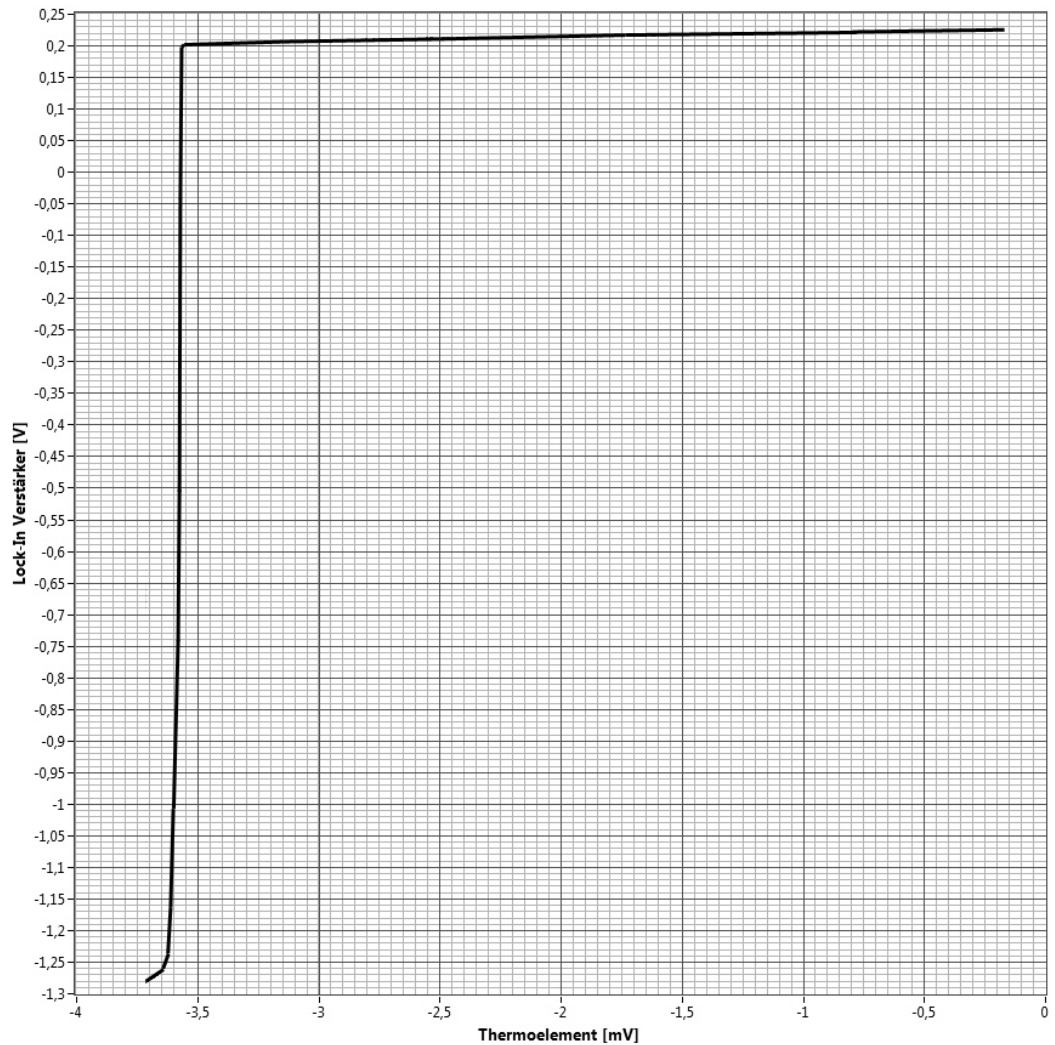


Abbildung 5: Suzeptibilitätsänderung eines Supraleiters in Abhängigkeit von der Temperatur, gemessen durch Änderung der induzierten Spannung an einem gegengleich gewickelten Spulensystem in einem 82 Hz Wechselfeld. Die Sprungspannung von $-3,57$ mV entspricht einer Temperatur von 103 K.

Der erkennbare Sprung bei $-3,57\text{ mV}$ entspricht gem. Datenblatt des Au-0,003%-Fe-Chromel Theroelements einer Sprungtemperatur von 103 K.

3.3.4 Interpretation

- Die gemessene Sprungtemperatur (103 K) stimmt auf 3,7% mit dem Literaturwert von 107 K überein (siehe [Xia et al 1989, S. 51ff]).

4 Anhang

Verwendetes Equipment

[SR830DSP]	Stanford Research Systems SR830 DSP LOck-In Amplifier
[AGIL2]	Air Liquide AGIL2 Dewar (zwei Stück)
[TB-PROBE]	Tb-Probenstab mit integriertem Au-0,003%-Fe-Chromel Theroelement
[SL-PROBE]	$Bi_{1.5}Pb_{0.5}Ca_2Sr_2Cu_3O_y$ -Supraleiter-Probenstab mit integriertem Au-0,003%-Fe-Chromel Theroelement
[USB-9211A]	Datenerfassungsmodul National Instruments USB-9211A
[USB-6210]	Datenerfassungsmodul National Instruments USB-6210
[XYSOFTWARE]	Individualsoftware "Lock-In XY-Schreiber", programmiert in LabView.
[ESPRIMO]	Fujitsu ESPRIMO Q920 Barebone Mini-PC mit Windows XP

Tabellenverzeichnis

1	Feldverlauf in einer Kupferspule entlang der Achse, gemessen über die in einer Tiefe r axial angebrachten Pick-Up-Spule induzierte Spannung. . . .	3
2	Bestimmung der Lage der Pick-Up-Spulen	6

Abbildungsverzeichnis

1	Feldverlauf in einer Kupferspule entlang der Achse, gemessen über die in einer Tiefe r axial angebrachten Pick-Up-Spule induzierte Spannung (Messpunkte rot, Interpolation blau).	3
2	Versuchsaufbau zur Bestimmung der Lage der Pick-Up-Spulen, aus: [Hilscher, Sassik 2009, S. 22].	4
3	Bestimmung der Lage der Pick-Up-Spulen (Messpunkte rot, Interpolation blau).	7
4	Suzeptibilitätsänderung von Terbium in Abhängigkeit von der Temperatur, gemessen durch Änderung der der induzierten Spannung an einem gegengleich gewickelten Spulensystem in einem 82 Hz Wechselfeld. Die Sprungspannung von $-0,8$ mV entspricht einer Curietemperatur von 237 K.	9
5	Suzeptibilitätsänderung eines Supraleiters in Abhängigkeit von der Temperatur, gemessen durch Änderung der der induzierten Spannung an einem gegengleich gewickelten Spulensystem in einem 82 Hz Wechselfeld. Die Sprungspannung von $-3,57$ mV entspricht einer Temperatur von 103 K.	10

Literatur

- [Thoburn et al 1958] W. C. Thoburn, S. Legvold, F. H. Spedding: Magnetic Properties of Terbium Metal. *Physics Review* 112, S. 56, October 1958.
- [Xia et al 1989] Xia, Jiansheng; Cao, Liezhao; Sun, Shifang; Zhang, Qirui; Chen, Jian; Chen, Zuyao; Chen, Xianhui; Qian, Yitai: Superconducting Behavior of $\text{Bi}_{1.5}\text{Pb}_{0.5}\text{Ca}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ at Low Magnetic Field. *Physica Status Solidi (b)*, Vol. 154, Issue 1, S 51-54 ew 112, S. 56, October 1958.
- [Hilscher, Sassik 2009] G. Hilscher; H. Sassik: Lock-in Verstärker und Wechselfeld (AC) Suzeptibilität. Laboranleitung, Tu-Wien, Juli 2009.