



Doctoral Thesis

## {mü}SR-Untersuchungen an Hochtemperatursupraleitern

**Author(s):**

Weber, Matthias Lorenz

**Publication Date:**

1992

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000626206> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH ex B

DISS. ETH Nr. 9681

und Bericht des Instituts für Mittelenergiephysik der ETH Zürich

## $\mu^+$ SR-Untersuchungen an Hochtemperatursupraleitern

ABHANDLUNG zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Matthias Lorenz Weber

dipl. Phys., ETH Zürich

geboren am 12.10.1961

von Spreitenbach (AG)

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. H.R. Ott      Referent

PD Dr. A. Schenck      Korreferent

Prof. Dr. H. Maletta      Korreferent

1992

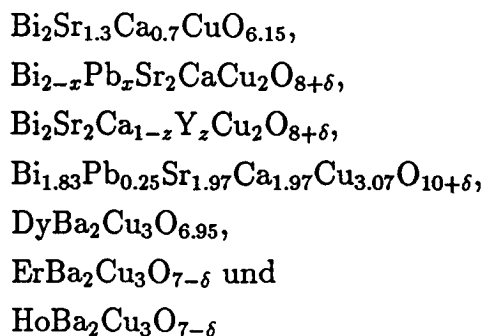


CatE

## Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit verfolgt zwei Ziele. Zum einen soll die Systematik der London'schen Eindringtiefe  $\lambda_{ab}$  in dotierten, supraleitenden Bi-Sr-Ca-Cu-O - Verbindungen in Abhängigkeit von der Ladungsträgerkonzentration  $p$  studiert werden. Zum andern gilt es, die Dynamik (via die Spin-Gitter-Relaxationszeit  $T_1$ ) und die Kopplungsmechanismen (via die Myon-Knight-Shift  $K_\mu$ ) der Seltenen-Erdmetallmomente in  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , speziell aber in  $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  zu untersuchen.

Zu diesem Zwecke wurde polykristallines



mit Hilfe der TF- $\mu^+$ SR-Spektroskopie untersucht. Ergänzend dazu fanden  $\mu^+$ SR-Untersuchungen an  $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  im Longitudinalfeld und im Nullfeld statt.

Eine an monokristallinem  $\text{Bi}_{2.2}\text{Sr}_{1.7}\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  durchgeführte Messung der von der Orientierung des supraleitenden Kristalls abhängigen "feldgekühlten" Magnetisierung unterstreicht die Notwendigkeit, bei der Bestimmung der London-Eindringtiefe in keramischen Hochtemperatursupraleitern den Einfluss der Magnetisierung der einzelnen Kristallkörner auf das  $\mu^+$ SR-Signal zu berücksichtigen.

Durch den Vergleich von generierten mit gemessenen  $\mu^+$ SR-Spektren konnte der Wert der London'schen Eindringtiefe  $\lambda_{ab}$  extrahiert werden, wobei eine Annahme bezüglich der Magnetisierungsverteilung getroffen werden musste. Die Tatsache, dass in  $\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$   $p$  und  $1/\lambda_{ab}^2$  nicht skalieren, reflektiert möglicherweise die Reduktion der mittleren freien Weglänge  $\ell$  mit zunehmendem Grad der "Verschmutzung" durch Blei. Sie kann aber auch als Hinweis dafür genommen werden, dass die supraleitenden Ladungsträger mit zunehmender Blei-Konzentration  $x$  mehr und mehr lokalisieren.

Ein theoretischer Beitrag zeigt, wie die London-Eindringtiefe im Falle monokristalliner Hochtemperatursupraleiter die Zeitevolution der Myonen in der *longitudinalen* Feldkonfiguration beeinflusst.

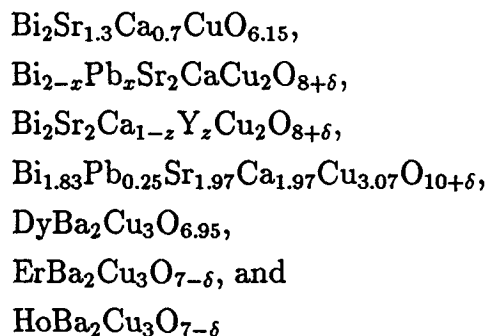
Die TF-Experimente in den paramagnetischen  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  - Verbindungen ergaben, dass die  $\mu^+SR$ -Frequenzverteilung zur Hauptsache durch den 4f-Suszeptibilitätstensor bestimmt wird ("Powder spectrum"). Aus der Tatsache, dass die  $\mu^+SR$ -Frequenz im gesamten Temperaturbereich der Summe aus dem äusseren Feld, dem Lorentz-Feld, dem Entmagnetisierungsfeld und der mit dem supraleitenden Zustand verknüpften Magnetisierung entspricht, wird geschlossen, dass in keiner der untersuchten  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  - Verbindungen eine mit  $\mu^+SR$  messbare, durch die Kontakthyperfein-Wechselwirkung verursachte Myon-Knight-Shift vorhanden ist.

Die im Longitudinalfeld und Nullfeld durchgeführten  $\mu^+SR$ -Messungen deuten darauf hin, dass in  $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  zur Hauptsache die dipolare Wechselwirkung für die allfällig vorhandenen Ordnungsphänomene der  $\text{Ho}^{3+}$ -Momente verantwortlich ist.

## Abstract

The purpose of this work was to investigate the systematics of the magnetic London penetration depth  $\lambda$  in doped Bi-based high- $T_c$  superconductors with respect to the carrier concentration  $p$ , and to study the dynamic properties (via the spin lattice relaxation time  $T_1$ ) and the coupling mechanisms (via the muon Knight-shift  $K_\mu$ ) of the rare earth moments in REBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7- $\delta$</sub>  and especially in HoBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7- $\delta$</sub> .

For that purpose transverse field (TF)  $\mu^+$ SR-experiments in polycrystalline



were performed. In addition HoBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7- $\delta$</sub>  was investigated by means of longitudinal field (LF) and zero field (ZF)  $\mu^+$ SR-spectroscopy.

Measurements of the angular dependence of the “field cooled” magnetization in a Bi<sub>2.2</sub>Sr<sub>1.7</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+ $\delta$</sub>  single crystal reveal the necessity – when determining the London penetration depth in a ceramic high- $T_c$  superconductor – also to consider the influence of the individual grains’ magnetization on the  $\mu^+$ SR signal.

Through a comparison of the measured  $\mu^+$ SR spectra with artificially generated ones, the values of the London penetration depth  $\lambda_{ab}$  could be extracted, provided that the distribution of the magnetization was properly taken into account. The fact that  $1/\lambda_{ab}^2$  does not scale with  $p$  in Bi<sub>2- $x$</sub> Pb <sub>$x$</sub> Sr<sub>2</sub>Ca<sub>1- $z$</sub> Y <sub>$z$</sub> Cu<sub>2</sub>O<sub>8+ $\delta$</sub>  probably reflects a decrease of the mean free path length  $\ell$  with enhanced lead contamination. It may also be interpreted as evidence that the carriers involved in the Cooper-pair formation become more and more localized with increasing lead content.

As a theoretical contribution, the time evolution of the muon polarization in longitudinal field geometry in single-crystal high- $T_c$  superconductors is discussed with respect to its dependence on the London penetration depth.

The TF-experiments in the paramagnetic  $\text{REBa}_2\text{Cu}_2\text{O}_{7-\delta}$  compounds revealed that in all investigated systems the internal local field distribution is mainly determined by the 4f-susceptibility tensor (powder spectrum). The fact that the  $\mu^+SR$  frequencies are well represented by the sum of the external applied magnetic field, the Lorentz field, the demagnetization field, and the magnetization in the superconducting state implies an immeasurably small muon Knight-shift due to the contact hyperfine interaction in any of the investigated paramagnetic superconductors.

The LF and ZF  $\mu^+SR$  investigations suggest that in  $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  the dipolar interaction is mainly responsible for the establishment of a possible magnetic order of the  $\text{Ho}^{3+}$  moments.