



Doctoral Thesis

## Ueber den Zwischenzustand stromdurchflossener Supraleiter

**Author(s):**

Rinderer, Leo

**Publication Date:**

1956

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000092004> →

**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](#).

Über den Zwischenzustand  
stromdurchflossener Supraleiter

---

VON DER

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN  
HOCHSCHULE IN ZÜRICH

ZUR ERLANGUNG

DER WÜRDE EINES DOKTORS DER  
NATURWISSENSCHAFTEN

GENEHMIGTE

PROMOTIONSARBEIT

VORGELEGT VON

LEO RINDERER  
Österreichischer Staatsangehöriger

Referent: Herr Prof. Dr. P. Grassmann  
Korreferent: Herr Prof. Dr. G. Busch

Basel  
Buchdruckerei Birkhäuser AG.  
1956

Die Messungen an Probe 2 bei 3,5 °K zeigen, dass ihr effektiver Widerstand sowie die Kerndurchmesser grösser sind, als man nach der Theorie erwartet. Daraus ist zu schliessen, dass auch der Widerstand des Kernes grösser sein muss als derjenige, der aus der Doppelkegelanordnung folgt. Die Volumenverteilung der normal- und supraleitenden Bereiche ist offenbar nicht so einfach. In der durch unsere Quersfeldmessungen erhärteten Langevin-London-Theorie wird ja nichts über die Struktur des Kernes ausgesagt, und die von LONDON angedeutete Möglichkeit der Doppelkegelverteilung geht weder in seine Theorie ein, noch ergibt sie sich aus ihr.

## 6. Zusammenfassung.

### 6.1.

Die bei unseren Untersuchungen über die Eigenstromübergänge (Kapitel 3) in Zinn erzielten Resultate können in folgenden Punkten kurz zusammengefasst werden:

a) Das von uns verwendete Zinn erfüllt die Silsbeesche Hypothese.

b) Die Übergangskurven waren reproduzierbar und wurden besonders bei unserer reinen Probe durch Aufheizeffekte praktisch nicht verfälscht.

c) Der Vergleich der Sprunghöhe mit dem klassischen Langevin-London-Übergang zeigt, dass die Abweichungen für reine Proben relativ gering sind (siehe Fig. 5).

d) Die Höhe des ersten Sprungs  $R(I_c)/R_n$  ist abhängig von der Temperatur sowie von der freien Weglänge der Elektronen, das heisst von der Reinheit. Trägt man das Verhältnis  $y_0 = a/l$  für unsere Proben bei verschiedener Temperatur im Kuperdiagramm auf, so sieht man, dass die Übereinstimmung nur qualitativ ist (siehe Fig. 3) und dass  $R(I_c)/R_n$  mit wachsendem  $y_0$  entgegen Kupers Theorie zunimmt.

e) Die endliche Breite des ersten steilen Widerstandsanstieges bei Stromübergängen ganz nahe an der Sprungtemperatur dürfte genau so wie die endliche Breite der Temperatursprünge von Verunreinigungen herrühren. Diese bewirken eine gewisse Bandbreite des kritischen Feldes, die bemerkbar wird, solange sie mit  $H_c$  selbst vergleichbar ist, was in unmittelbarer Nähe von  $T_c$  sicher der Fall ist (siehe Fig. 20).

Erhärter wird diese Interpretation dadurch, dass, wie in Fig. 4 zu sehen ist, sich dieses Gebiet des endlichen Widerstandsanstieges bei den stärker verunreinigten Proben viel weiter ausdehnt.

## 6.2.

Unsere Resultate über die Eigenstromübergänge in longitudinalen Aussenfeldern (Kapitel 4) können wie folgt zusammengefasst werden:

a) Die mit einer Erweiterung der London-Theorie berechneten Stromübergänge in longitudinalen Aussenfeldern stimmen relativ gut mit unseren Messungen an Zinn überein. Zur besseren Übersicht für das Verhalten im Zwischenzustand wurden die Linien gleichen Widerstandes in einem  $H_T$ - $H_i$ -Diagramm aufgezeichnet.

b) Es wurde gezeigt, dass die Breite der Längsfeldübergänge mit sinkender Temperatur abnehmen sollte. Trotz der probenbedingten Bandbreite des kritischen Feldes wurden auch unsere an Zinn untersuchten Übergänge mit abnehmender Temperatur schmaler.

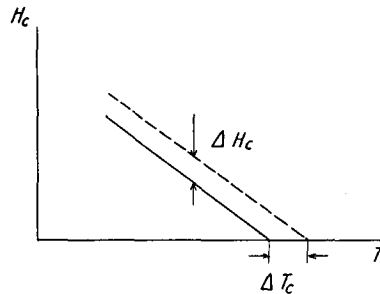


Fig. 20.

Schematische Darstellung der „Bandbreite“ des kritischen Feldes und der kritischen Temperatur nahe der Sprungtemperatur. Die ausgezogene und gestrichelte Linie begrenzen die Breite der Übergangskurven.

c) Der „paramagnetische Effekt“ wurde von anderer Seite damit erklärt, dass der Strom spiralförmige Bahnen beschreibt. Die von uns gemessenen Stromübergänge im longitudinalen Aussenfeld stimmen jedoch mit der Theorie, die achsenparallele Strombahnen annimmt, im Gebiet des paramagnetischen Effektes relativ gut überein.

## 6.3.

Die Ergebnisse über den Widerstandsverlauf beim Übergang zwischen Supraleitung und Normalleitung eines stromdurchflossenen Supraleiters im transversalen Aussenfeld (Kapitel 5) können wie folgt zusammengefasst werden:

a) Die Querfeldübergänge bei kleinen Meßströmen  $I \ll I_c$  stimmen mit den bisherigen Messungen anderer Autoren überein.

b) Die nach einer einfachen Erweiterung der Silsbee-Hypothese berechnete Grenzlinie  $s$  zwischen reiner Supraleitung und Zwischen-

zustandsgebiet im  $H_I$ - $H_t$ -Diagramm (Fig. 15) weicht nur sehr wenig von den experimentellen Ergebnissen ab.

c) Für Meßströme  $I > 0$  wurde der Zustand der vollen Normalleitung erst für Felder  $H_t > H_c$  erreicht. In unserem Fall konnten für entsprechend hohe Belastungsströme Zwischenzustandsgebiete in Querschnitten bis zu  $2 \cdot H_c$  beobachtet werden. Man kann zeigen, dass solche Gebiete zu erwarten sind, solange

$$H_t - H_I < H_c$$

was mit unseren Beobachtungen übereinstimmt.

d) Schickt man durch einen im überkritischen Transversalfeld  $H_t > H_c$  befindlichen Supraleiter einen Strom, so sinkt der Widerstand trotz Erhöhung des Belastungsstromes von seinem normalleitenden Wert  $R/R_n = 1,0$  ab, um nach Durchlaufen eines Minimums wieder auf  $R/R_n = 1,0$  asymptotisch anzusteigen. Siehe Fig. 16.

e) In einem von einem überkritischen Strom  $I > I_c$  durchflossenen Supraleiter bildet sich ein Zwischenzustandskern aus. Es kann nun ein transversales Aussenfeld angelegt werden, ohne dass sich der Widerstand der Probe ändert. Daraus wurde eine Methode entwickelt, die eine direkte Bestimmung der Grösse des Zwischenzustandskernes zulässt. Die Resultate stimmen gut mit den nach LANGEVIN-LONDON theoretisch berechneten Werten für den Kernradius überein. Diese Messungen beweisen zudem die Richtigkeit des Zwischenzustandsmodelles von LANGEVIN und LONDON.

Die vorliegende Arbeit entstand auf Anregung von Herrn Prof. Dr. P. GRASSMANN, Vorstand des Institutes für Kalorische Apparate und Kältetechnik, der ihr stets reges Interesse entgegenbrachte und sie mit vielen wertvollen Ratschlägen entscheidend förderte. Es sei mir darum an dieser Stelle gestattet, ihm meinen herzlichen Dank auszusprechen. Besonderer Dank gebührt auch Herrn Dr. J. L. OLSEN, der das Kältelaboratorium betreut und mir bei der Durchführung dieser Arbeit stets mit Rat und Tat zur Seite stand. Unsere wertvollen Diskussionen haben viel zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ferner bin ich der Schenkung der *A.G. Brown, Boveri & Cie., Baden*, für die Bereitstellung finanzieller Mittel zu bestem Dank verpflichtet.

## 7. Literaturangaben.

- 1) H. KAMERLINGH ONNES, Comm. Leiden Suppl. **34** (1913); 133a, b, c, d.
- 2) F. B. SILSBEE, J. Wash. Acad. Sci. **6**, 597 (1916).
- 3) F. B. SILSBEE, Bull. Bur. Stand. **14**, 301 (1918).