

---

# Squid

## Inhalt

	Seite
A. Versuchsanleitung:	
1. Einführung in den Versuch.....	2
2. Vorkenntnisse.....	2
3. Aufgabenstellung.....	2
4. Versuchsdurchführung und Auswertung.....	3
 B. Technische Hinweise:	
1. Versuchsaufbau (Blockbild).....	6
2. Versuchsaufbau (Bilder).....	7
3. User Manual JSQ SQUID (auf CD im Anhang).....	9
4. Geräteliste für den Versuch (siehe Ordner am Versuch).....	10
 C. Literatur:	
1. Wissenschaftliche Arbeiten.....	11
2. Weiterführende Literatur.....	11
3. Literaturverzeichnis .....	12

## A. Versuchsanleitung

### 1. Einführung in den Versuch

Der Versuch macht mit der Anwendung von Supraleitern bekannt. Neben der Möglichkeit, einen Supraleiter als einfachen elektrischen Leiter ohne Widerstand zu verwenden, dient er als wichtiger Bestandteil eines Magnetfelddetektors, dessen Nachweisgenauigkeit von keinem anderen Detektor übertroffen wird. In einem solchen SQUID (**S**uperconducting **Q**Uantum **I**nterference **D**evice) werden die scharfe Flußquantisierung in einem Supraleiterring und Interferenzerscheinungen an sogenannten Josephson-Kontakten benutzt, um Magnetfeldänderungen in Bruchteilen des Flußquants  $\Phi_0$  meßbar zu machen. In diesem Versuch werden äußerst geringe Magnetfeldstärken verschiedener Proben gemessen.

### 2. Vorkenntnisse

Supraleitung, Flußquantisierung, Josephson-Effekte, Grundlagen der Elektronik des SQUIDs, "lock-in"-Meßtechnik, Magnetfeld einer Leiterschleife, magnetisches Dipolmoment.

**Die Arbeiten mit dem Sensor sind mit größtmöglicher Sorgfalt durchzuführen, da ein Zerstören einen Schaden von 4800.- anrichtet!**

### 3. Aufgabenstellung

1. Beschreiben sie den Aufbau des JSQ Magnetometer SQUID-Sensors.
2. Nehmen Sie die Grundeinstellungen vor, optimieren Sie das Signal und nehmen das typische SQUID-Pattern mit dem Dig. Speicheroszilloskop auf.
3. Beobachten des Magnetfeldes einer rotierenden Leiterschleife. Die Messungen sind mit verschiedenen Einstellungen der Apparatur aufzunehmen (Variationen in Integrationszeiten und Rotationsgeschwindigkeiten der Schleife), um das Verhältnis zwischen Signal und Rauschen zu optimieren. Dabei ist die Signalerzeugung im SQUID zu verstehen. Die Ergebnisse der Messungen sind mit der Theorie zu vergleichen.

#### 4. Ausmessen des Magnetfeldes verschiedener Proben.

- a. Eisenspan
- b. Zylinderstift (Stahl)
- c. Magnet Span
- d. Goldplättchen
- e. Verschiedene Kieselsteine.

### 4. Versuchsdurchführung und Auswertung

1. Füllen Sie das *Dewar* ca. 10cm mit flüssigem Stickstoff auf. Beachten Sie dabei die Sicherheitsanweisungen für den Umgang mit bei tiefen Temperaturen verflüssigten Gasen (hier: flüssiger Stickstoff mit einer Siedetemperatur von ca. 77 Kelvin).
2. Tauchen Sie den *SQUID*-Sensor langsam in den flüssigen Stickstoff ein, damit er den Boden des *Dewars* nicht durchschlägt und schließen Sie das *BNC*-Kabel an die Elektronik-Box an. Schalten Sie nun die Geräte ein und warten ca. 15min, bis die Elektronik und auch der Sensor eine stabile Betriebstemperatur erreicht hat.
3. Starten Sie das Programm "HMLab" für das Dig.-Speicheroszilloskop. Gehen Sie zu Projekt und wählen dann über Öffnen die Datei Hameg1508.prd aus.
4. Starten Sie das Programm "JSQ Duo Sensor Control". Schalten Sie die Elektronik auf "Test". Laden Sie die Grundeinstellungen für den Sensor aus dem Speicher des Tiger Controllers ("Load Param"). Nach der unter B.3 befindlichen Beschreibung "User Manual for JSQ Magnetometer *SQUID* and Electronics" wird das Pattern Signal optimiert .
5. Positionieren Sie den Leiterschleifenmittelpunkt senkrecht hinter dem *SQUID*-Sensor. Wählen Sie an der Schleifenhalterung die entsprechenden Widerstände mit dem vorhandenen Jumper aus, um einen bestimmten Strom in der Leiterschleife zu erzeugen und schalten Sie die Rotation der Halterungsachse ein. Machen Sie im "Measure-Modus" für alle Widerstände Messungen mit unterschiedlichen Integrationszeiten, Rotationsgeschwindigkeiten und Häufigkeiten der Umdrehungen der Halterung, um das Signal-Rauschen-Verhältnis zu optimieren. Vergleichen Sie die so erhaltenen Ergebnisse mit der Theorie. Ermitteln Sie aus den Ergebnissen die kleinste meßbare Flußänderung durch das *SQUID*.

Widerstand $R_i$	Widerstand [ $\Omega$ ]
R1	100
R2	510
R3	1000
R4	5100
R5	10000

Tabelle 1: Werte für die zwischenschaltbaren Widerstände

$$\Delta V = s_i F_{\text{eff}} 2B_z$$

$$B_z = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{p_m}{z^3}$$

$$p_m = I \cdot A$$

mit der maximalen Spannungsdifferenz  $\Delta V$ , dem Proportionalitätsfaktor  $s_i$ , der Effektivfläche  $F_{\text{eff}} = 100\mu\text{m} \cdot 100\mu\text{m}$  des SQUIDS und der Magnetfeldstärke  $B_z$  auf der Symetrieachse der Leiterschleife ( $z = 2,70\text{cm} \pm 0,25\text{cm}$ ). Das magnetische Dipolmoment  $p_m$  ergibt sich einerseits aus der Stromstärke  $I$

durch die Leiterschleife und dem Flächennormalenvektor  $A$ , wobei  $|A| = \pi \cdot R^2$  ( $R = 2,9\text{mm} \pm 0,3\text{mm}$ ), als auch aus der Magnetfeldstärke  $B_z$ . Vergleichen Sie die Ergebnisse.

**Wichtig:**

Bei Beendigung der Messungen mit der Leiterschleife ist der Strom durch die Schleife zu unterbrechen.

6. Tauschen Sie die Schleifenhaltung gegen die Probenhalterung aus und messen Sie nach einer Nullmessung (nur die Probenhalterung) die Magnetfelder der Proben (Eisenspan, Bolzen Goldplättchen und Kieselstein) mit geeigneten Meßeinstellungen und bestimmen Sie die entsprechenden Dipolmomente.

$$\Delta V = S_i F_{\text{eff}} 2 B_z$$

$$B_z = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{p_m}{z^3}$$

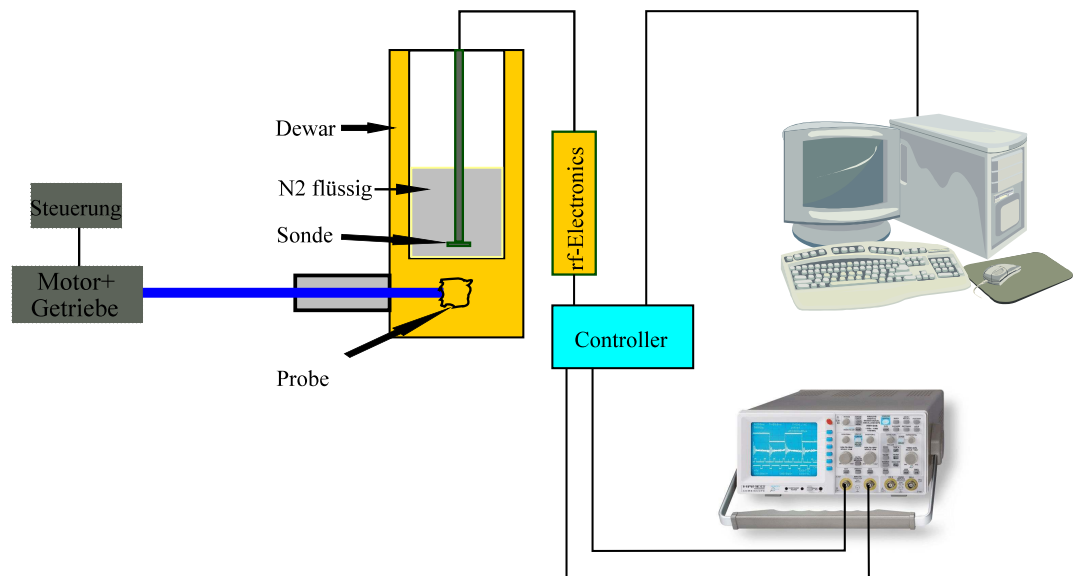
mit der maximalen Radialkomponente  $B_z$  des Magnetfeldes und  $z = 2,70\text{cm} \pm 0,25\text{cm}$ . Sollte die Nullmessung zu große Meßwerte liefern (im Bereich mehrerer zehntel Volt), so ist die Probenhalterung magnetisiert. Durch leichtes Klopfen an der Halterung mit einem harten Gegenstand läßt sich die Magnetisierung verringern.

**Wichtig:**

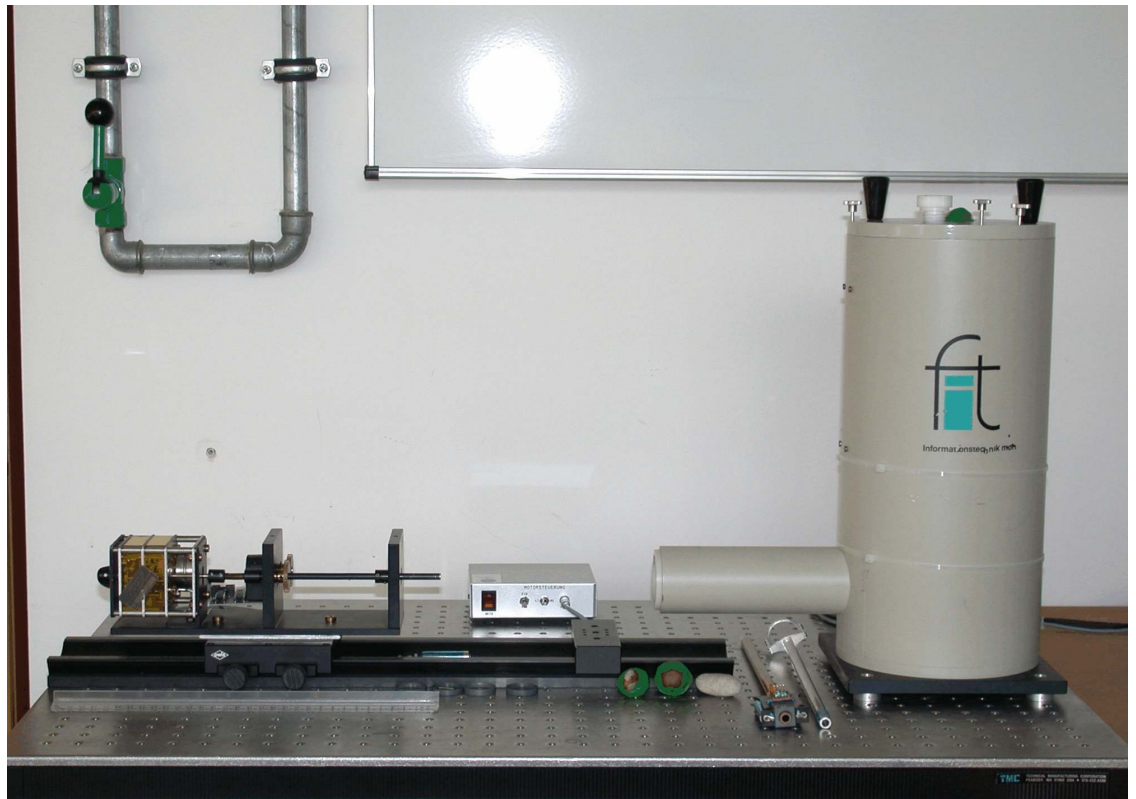
Bei der Verwendung des muß nach Beenden der Messungen das SQUID sofort mit einem Heißluftföhn (Lauwarm-warm) vollkommen getrocknet werden, da sonst Korrosionen am SQUID diesen unbrauchbar machen.

## B. Technische Hinweise

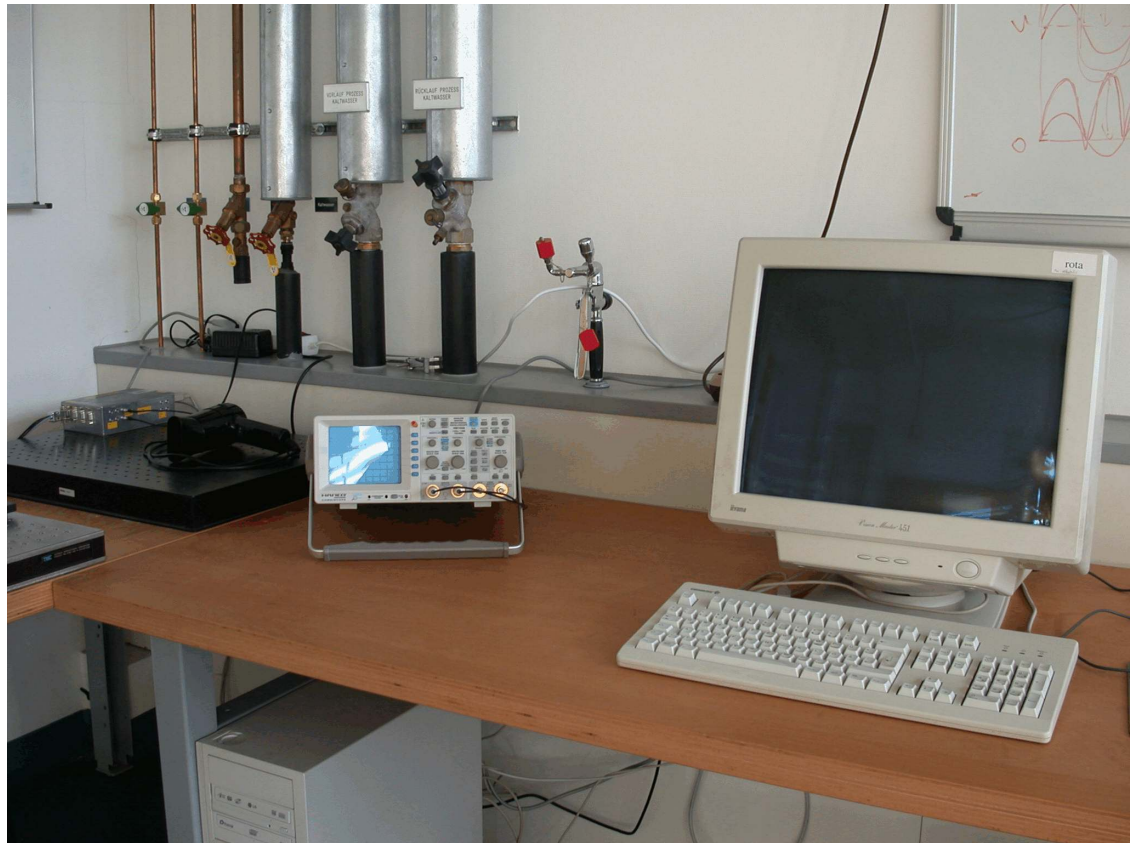
### 1. Versuchsaufbau (Blockschaltbild)



## 2. Versuchsaufbau (Bild)



## 2. Versuchsaufbau (Bild 2)





### **3. User Manual for JSQ Magnetometer SQUID**

#### **4. Geräteliste**

JSQ HTS-rf-SQUID Magnetometer

Dewar mit magn. Abschirmung

Digitales Speicheroszilloskop

Probenhalter mit Motor und Getriebe

Motorsteuerung

Heißluftfön zum Trocknen des Sensors

PC mit Software

(Beschreibungen der einzelnen Geräte im Ordner am Versuch)

## **C. Literatur**

### **1. Wissenschaftliche Arbeiten**

- 1.1 Zulassungsarbeit von V. Bange: *Einrichtung des Versuches “ SQUID “*, Mai 2000

### **2. Weiterführende Literatur**

- 2.1 J. Clarke:: SQUIDS, Spektrum der Wissenschaft, Oktober 10/1994 Spektrum Akademischer Verlag (1994)
- 2.2 Ibach, Lüth: Festkörperphysik, Springer-Verlag (1995)
- 2.3 Buckel: Supraleitung, VCH Verlagsgesellschaft (1993)
- 2.4 Weinstock, Nisenoff: Supereconducting Electronics, NATO ASI Series F, Computer and Systems Sciences, Vol. 59 (1988), Seite 87 ff (inklusive lock-inTechnik)
- 2.5 Linde AG, Werksgruppe Technische Gase: Safety Instructions 1, Industrial Gases

### 3. Literaturverzeichnis

- [1] H.K. Onnes: Comm. Leiden 120b (1911)
- [2] H. Ibach, H. Lüth: Festkörperphysik, Springer-Verlag (1995)
- [3] R. Doll, M. Näbauer: Physical Review Letters 7, 43 (1961)
- [4] D.N. Langenberg, D.J. Scalapino, B.N. Taylor: Proceedings IEEE 54, 560 (1966)
- [5] K.H. Hellwege: Einführung in die Festkörperphysik, Springer-Verlag (1988)
- [6] W. Buckel: Supraleitung, VCH Verlagsgesellschaft (1977, 1990, 1993)
- [7] E.A. Lynton: Supraleitung, Hochschultaschenbücher-Verlag (1966)
- [8] P.A. Tipler: Physik, Spektrum Akademischer Verlag (1991)
- [9] C. Gerthsen, H.O. Kneser, H. Vogel: Physik, Springer-Verlag (1977)
- [10] D. Halliday, R. Resnick: Physics, J. Wiley & Sons, Inc. (1966)
- [11] H. Weinstock, M. Nisenoff: Superconducting Electronics, NATO ASI Series F: Computer and Systems Sciences, Vol. 59 (1988)
- [12] Spektrum der Wissenschaft, Oktober 10/1994: J. Clarke: SQUIDS, Spektrum Akademischer Verlag (1994)
- [13] Sonderdruck aus dem Spektrum der Wissenschaft, Dossier 2/1998: J. Feldhaus, J. Rossbach, H. Weise: Freie-Elektronen-Laser, Spektrum Akademischer Verlag (1998)
- [14] Manual Model HM2 High-T, Magnetometer, Version 1.0, Forschungsgesellschaft für Informationstechnik mbH (F.I.T.)
- [15] Dr.S.S. Tinchev: Sonderdruck aus: Berichte aus Forschung und Entwicklung unserer Gesellschaften, Heft 2/92, F.I.T.
- [16] W. Demtröder, Experimentalphysik 2, Springer-Verlag (1995)
- [17] J.D. Jackson: Classical Electrodynamics, J. Wiley & Sons, Inc. (1962, 1975)

- [18] E.M. Pugh, E.W. Pugh: Principles of Electricity and Magnetism, Addison-Publishing Company (1970)
- [19] D. Nührmann: Das große Werkbuch Elektronik, Franzis-Verlag (1989)
- [20] H. Hinsch: Elektronik, Springer-Verlag (1996)
- [21] F.M. Gardner: Phaselock Techniques, J. Wiley & Sons, Inc. (1966)
- [22] U. Tietze, Ch. Schenk: Halbleiterschaltungstechnik, Springer-Verlag (1993)
- [23] M. Böhm, A. Scharmann: Höhere Experimentalphysik, VCH Verlagsgesellschaft (1992)
- [24] J. Hinken: Supraleiter-Elektronik, Springer-Verlag (1988)
- [25] M. Fiederle: Diplomarbeit Universität Freiburg (1992)
- [26] V.F. Weisskopf. The formation of Cooper Pairs and the nature of superconducting currents, CERN 79-12, Theoretical Studies Division (1979)
- [27] H.M. Staudenmaier: Physics Experiments using PCs, Springer-Verlag (1995)
- [28] Safety Instructions 1, Industrial Gases: Linde AG, Werksgruppe Technische Gase