

Dipl.-Ing. Michael Schubert, Wolfsburg

# **Untersuchungen über den Einsatz von Hochtemperatur- Supraleitern zur Kurzschluß- strombegrenzung**

Reihe **21**: Elektrotechnik

Nr. **218**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einführende Betrachtungen</b>	<b>1</b>
1.1 Grundlagen der Supraleitung . . . . .	4
1.1.1 Metallische Supraleiter . . . . .	7
1.1.2 Oxidische Supraleiter . . . . .	8
1.2 Kurzschlußstrombegrenzung mit Supraleitern . . . . .	10
1.3 Ziel der vorliegenden Arbeit . . . . .	19
<b>2 Versuchseinrichtungen und Versuchsabläufe</b>	<b>20</b>
2.1 Kühlmethoden und Versuchsgefäße . . . . .	21
2.2 Messung der kritischen Temperatur und Stromdichte . . . . .	22
2.2.1 Versuchskreis . . . . .	22
2.2.2 Messung der kritischen Temperatur . . . . .	22
2.2.3 Messung der kritischen Stromdichte . . . . .	24
2.3 Untersuchung des Magnetfeldeinflusses . . . . .	25
2.4 Kennlinienfeldaufnahme, Schaltvorgang . . . . .	26
<b>3 Untersuchte Supraleiterwerkstoffe und ihre Präparation</b>	<b>28</b>
3.1 Allgemeines . . . . .	28
3.2 YBaCuO und BiSrCaCuO Sintermaterial . . . . .	30
3.3 Achsenorientierte YBaCuO-Schichten . . . . .	31
3.4 Texturiertes polykristallines BiSrCaCuO mit Silberhülle	33
3.4.1 Methoden zum Abtrag der Silberhülle . . . . .	34

3.4.2	Methoden zur Querschnitts- und Kernanteilsbestimmung von BiSrCaCuO-Pulver-in-Rohr-Material . . . . .	37
3.4.3	Mechanische Stabilisierung des silberlosen Pulver-in-Rohr-Materials . . . . .	38
<b>4</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse</b>	<b>43</b>
4.1	Messungen der kritischen Temperatur . . . . .	43
4.1.1	YBaCuO- und BiSrCaCuO-Sintermaterial . . . . .	43
4.1.2	YBaCuO-Dünnschichten . . . . .	45
4.1.3	Texturiertes BiSrCaCuO mit Silberhülle . . . . .	46
4.2	Messungen der kritischen Stromdichte . . . . .	47
4.2.1	YBaCuO-Sintermaterial . . . . .	47
4.2.2	YBaCuO-Dünnschichten . . . . .	48
4.2.3	Texturiertes BiSrCaCuO mit Silberhülle . . . . .	49
4.3	Untersuchungen des Magnetfeldverhaltens . . . . .	50
4.3.1	YBaCuO-Sintermaterial . . . . .	50
4.3.2	BiSrCaCuO-Bandmaterial . . . . .	53
4.4	Homogenität der kritischen Parameter über größere Leiterlängen . . . . .	56
4.5	$\rho = f(I, T)$ -Kennlinienfeldaufnahme . . . . .	60
4.5.1	YBaCuO-Sintermaterial . . . . .	60
4.5.2	BiSrCaCuO-Bandmaterial . . . . .	61
4.6	Untersuchungen zum Übergangsverhalten, gezielte Quencheinleitung . . . . .	62
4.6.1	YBaCuO-Sintermaterial . . . . .	62
4.6.2	BiSrCaCuO-Bandmaterial . . . . .	63

4.7	Untersuchung von Degradationseffekten . . . . .	65
4.8	Untersuchungen an mechanisch stabilisiertem BiSrCaCuO-Bandmaterial . . . . .	67
4.8.1	Kritische Temperatur . . . . .	68
4.8.2	Kritischer Strom . . . . .	68
4.8.3	Übergangsverhalten und Kennlinienfeldauf- nahme . . . . .	68
<b>5</b>	<b>Simulationsrechnungen</b>	<b>71</b>
5.1	Allgemeines . . . . .	71
5.2	Lineares Modell für $\rho = f(I, T)$ -Abhängigkeit . . . . .	73
5.3	Exponentielles Modell für $\rho = f(I, T)$ -Abhängigkeit . . . . .	74
5.4	Ergebnisse . . . . .	77
5.4.1	Berechnete Übergangszeiten . . . . .	78
5.4.2	Inhomogenitätsproblem . . . . .	80
5.4.3	Stabilisierung . . . . .	82
5.4.4	Überspannungsproblem . . . . .	86
5.4.5	Wiedereinschaltbereitschaft . . . . .	86
<b>6</b>	<b>Ergänzende Betrachtungen und Ausblick</b>	<b>87</b>
6.1	Einfluß der Supraleiterparameter auf die Auslegung eines resistiven supraleitenden Strombegrenzers . . . . .	87
6.1.1	Kritische Temperatur . . . . .	87
6.1.2	Kritische Stromdichte . . . . .	88
6.1.3	Kritisches Magnetfeld . . . . .	89
6.1.4	Spezifischer Widerstand . . . . .	90

6.2	Baugrößenvergleich fiktiver Strombegrenzer . . . . .	91
6.3	Auslösung des resistiven Strombegrenzers . . . . .	94
6.3.1	Eigenauslösung durch $J_c$ -Überschreitung . . . . .	94
6.3.2	Gezielte Einleitung des Überganges . . . . .	94
6.3.3	Reststrom und Erwärmung nach erfolgter Strombegrenzung . . . . .	95
6.3.4	Kühlmittelbedarf . . . . .	97
6.4	Realisierbarkeit von resistiven Strombegrenzern mit Hochtemperatur-Supraleitern . . . . .	99
6.4.1	Materialinhomogenitäten und deren Auswir- kungen . . . . .	99
6.4.2	Derzeitiger Stand der Materialentwicklung . . .	101
6.4.3	Kühlung . . . . .	102
6.5	Potentielle Einsatzmöglichkeiten von HTSL- Strom- begrenzern . . . . .	102
6.5.1	Ausblick . . . . .	103
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>105</b>
	<b>Bildteil</b>	<b>107</b>
	<b>Literatur</b>	<b>189</b>