

WMI AKTUELL

# Neue DFG-Forschergruppe am Walther-Meißner-Institut

ZU DEM DFG-FINANZIERTEN FORSCHUNGSPROJEKT  
„DOTIERUNGSABHÄNGIGKEIT VON PHASENÜBERGÄNGEN UND  
ORDNUNGSPHÄNOMENEN IN KUPRATSUPRALEITERN“ (FOR538)

---

VON RUDI HACKL

---

**E**in besonders spannendes Gebiet der modernen Festkörperphysik sind Supraleiter auf Kupferoxydbasis wie  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . Sie erreichen außergewöhnlich hohe kritische Temperaturen bis etwa  $150^\circ\text{K}$  ( $-133^\circ\text{C}$ ), bleiben aber bis heute ein Rätsel. Zur Aufklärung wichtiger Fragestellungen hat deshalb die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) am 6. Februar 2004 die Forschergruppe „Dotierungsabhängigkeit von Phasenübergängen und Ordnungsphänomenen in Kupratsupraleitern“ (FOR 538) eingerichtet. Für zunächst drei Jahre wurden insgesamt sieben Stellen für Doktoranden und Postdoktoranden und Sachmittel für Investitionen und Verbrauch bewilligt. Nach drei Jahren kann ein Antrag auf Verlängerung des Vorhabens gestellt werden, so dass die Forschergruppe eine mittelfristige Perspektive von sechs Jahren hat. Die DFG folgt damit der Meinung der Gutachter, dass man für die Erforschung der Supraleitung nicht nur Erfahrung, sondern auch einen langen Atem braucht.

**Supraleitung** ist eines der faszinierendsten Phänomene der Physik. Es war lange auf sehr tiefe Temperaturen im Bereich von etwa  $20^\circ\text{K}$  ( $-250^\circ\text{C}$ ) beschränkt. Unterhalb einer kritischen Temperatur  $T_c$  tritt ein kohärenter makroskopischer Quantenzustand auf, der zu einer radikalen Änderung der Materialeigenschaften führt. Das Verschwinden des elektrischen Widerstandes, aber auch Erscheinungen wie der Josephson-Effekt sind Grundlagen für zahlreiche Anwendungen. Das Magnetfeld eines Kernspintomographen für medizinische Untersuchungen wird zum Beispiel von einer supraleitenden Spule erzeugt. Viele Überraschungen und immer neue Rätsel schlagen die Physiker in ihren Bann. Seit der ersten Beobachtung 1911 gab es nicht weniger als fünf Nobelpreise für Entdeckungen auf diesem Gebiet.

**1986 fanden Bednorz und Müller** in  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$  Supraleitfähigkeit bei etwa  $35^\circ\text{K}$ . Die Sensation war perfekt, als Chu  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$  mit einer Sprungtemperatur von  $93^\circ\text{K}$  herstellen konnte. Wie die Unbekannte  $x$  in den chemischen Formeln schon ahnen lässt, hängen die Eigenschaften der Kuprate empfindlich von der Zusammensetzung ab. Tatsächlich findet man die jeweils höchste Sprungtemperatur in  $\text{La}_{1.84}\text{Ba}_{0.16}\text{CuO}_4$  bzw. in

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.93}$ . Es war schnell klar, dass es sich bei den Kupraten nicht um herkömmliche Metalle, sondern um dotierte Isolatoren handelt. Die Zahl der für den Stromtransport vorhandenen Ladungsträger ist proportional zu  $x$ . Für  $x$  nahe Null gibt es sogar magnetische Ordnung. Wenn man die Zahl der Ladungsträger normiert, ergibt sich ein nahezu universeller Zusammenhang von Dotierung und elektrischen Eigenschaften. Dieses Phasendiagramm ist nach übereinstimmender Auffassung der Schlüssel zum Verständnis der Kuprate. Entsprechend groß waren die Anstrengungen in den letzten 18 Jahren, ohne dass es jedoch zu einem Durchbruch gekommen wäre.

**Nun haben sich aber** in den letzten fünf Jahren die experimentellen und theoretischen Methoden so entscheidend weiterentwickelt, dass durch eine koordinierte Zusammenarbeit qualitative Fortschritte bei der Erklärung des Phänomens

plötzlich wieder in greifbare Nähe gerückt sind. Das liegt zum einen daran, dass inzwischen numerische Verfahren zur Verfügung stehen, die Modellrechnungen zu realistischen System erlauben. Zum anderen haben die experimentellen Techniken durch Neu- und systematische Weiterentwicklungen eine so hohe Präzision erreicht, dass die Ergebnisse verschiedener spektroskopischer Methoden quantitativ miteinander verglichen werden können. Auf diese Weise kann man viel gezielter danach suchen, „Was die Welt im Innersten zusammenhält“, also was zur Bildung der sogenannten Cooper-Paare führt, die den Suprastrom tragen.

**Aufgrund dieser neuen** Entwicklungen und Möglichkeiten ist der Gedanke gereift, bereits existierende Einzelanstrengungen zu bündeln und bei der DFG einen Antrag auf die Einrichtung einer Forschergruppe zu stellen. Die Grundidee besteht darin, möglichst viele spektroskopische Techniken auf ein und dieselben Proben höchster Qualität anzuwenden, die Ergebnisse simultan auszuwerten und gleichzeitig die Modellbildung voranzutreiben.

**Unter Federführung** des Walther-Meißner-Instituts (WMI) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften haben sich sieben Arbeitsgruppen aus ganz Deutschland zusammengeschlossen. Gemeinsame Basis sind die zum überwiegenden Teil am WMI hergestellten und charakterisierten Proben (Dr. A. Erb, Prof. R. Gross). Die Arbeitsgruppe am Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstofffor-

schung in Dresden (Dr. M. Knupfer, Dr. S.V. Borisenko, Prof. J. Fink) untersucht Eigenschaften von Ladungsträgern mit winkelaufgelöster Photoelektronen-Spektroskopie (ARPES). Neutronenstreuung (Prof. B. Keimer) und Infrarotellipsometrie-Experimente (Dr. C. Bernhard) werden am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart durchgeführt. Die Einbeziehung von Raman- (Dr. R. Hackl, Prof. R. Gross) und Tunnel-Spektroskopie (Dr. L. Alff, Prof. R. Gross) am WMI ergibt eine nahezu vollständige Kombination sich ergänzender Methoden. Die Modellbildung und einen wesentlichen Teil der Datenanalyse übernimmt die Arbeitsgruppe am Institut für Theoretische Physik I der Universität Würzburg (Prof. W. Hanke, Prof. F. Assaad, Prof. E. Arrigoni, Dr. M. Potthoff). Ansprechpartner und Sprecher der Forschergruppe ist Dr. R. Hackl (WMI).

