

# SUPRALEITUNG

## Begriffe

- Sprungtemperatur:** Die Temperatur, bei welcher der supraleitende Zustand eines Stoffes eintritt.
- Absoluter Nullpunkt:** 0 Kelvin, entspricht  $-273,15^{\circ}$  Celsius
- HTSL:** Hoch-Temperatur-Supra-Leiter
- Diamagnete:** Stoffe, die in einem Magnetfeld ein der Feldrichtung entgegengerichtetes magnetisches Moment erhalten. Wismut ist ein Beispiel dafür.
- Flux Pinning:** die Fähigkeit eines HTSL, magnetischen Fluss zu „verankern“.

## Phänomen „Supraleitung“

Supraleitung zeichnet sich durch den *sprunghaften* Verlust des elektrischen Widerstandes unterhalb einer bestimmten Temperatur aus. Der Widerstand nimmt nicht mehr allmählich ab, sondern verschwindet ganz plötzlich!

Ein elektrischer Strom kann in einem Supraleiter völlig ohne Verluste fließen. Supraleiter zeigen auch besondere magnetische Eigenschaften. Sind sie einem starken Magnetfeld ausgesetzt, bricht die Supraleitung auch unterhalb der Sprungtemperatur zusammen. Neuere, „organische“ Supraleiter sind allerdings hoch resistent gegenüber Magnetfeldern.

Der elektrische Widerstand eines reinen Metalls nimmt bei Kühlung ab und wird beim absoluten Nullpunkt ( $-273,15^{\circ}\text{C}$  oder 0 K) sehr klein. Nach einem der einfachen Modelle zur Leitfähigkeit müsste er sogar Null werden. Dies hat aber nichts mit Supraleitung zu tun!

## Bald ein Jahrhundert...

Supraleitung wurde 1911 von Heike Kamerlingh Onnes entdeckt. Zufällig (wie oft in der Wissenschaft und Technik), als er ein Verfahren entwickelte, um Helium (He) abzukühlen, das bei 4,2 K flüssig wird.

Als Supraleiter diente Quecksilber. Onnes erhielt den Nobelpreis für dieses Verfahren, nicht aber für die Entdeckung der Supraleitung.

## Mit "Zürcher Oxid" zum Nobel-Preis

Bis 1986 waren hauptsächlich metallische Supraleiter mit Sprungtemperaturen bis zu 23 K bekannt.

1986 entdeckten zwei Forscher der IBM Rüslikon (Alex Müller [CH] und Georg Bednorz [D]) nach zweijähriger Arbeit und über 200 verschiedenen Mischungen das Lanthan-Barium-Kupferoxid, oder "Zürcher Oxid", welches bei 35 K die Eigenschaft der Supraleitung entwickelt; sie erhielten dafür den Nobelpreis.

Es handelte sich dabei um die Stoffklasse der Keramiken, die ungekühlt zu den Isolatoren gehört.

## Stand der Forschung

Die Weiterentwicklung der darauffolgenden Jahre führte u.a. zu Yttrium-Barium-Kupferoxid mit Sprungtemperaturen bis zu 94 K. Genau dieses Material wird auch bei den HTSL der Demonstrationen im Technorama verwendet. Solche Supraleiter lassen sich kostengünstig kühlen – mit flüssigem Stickstoff, der 100mal billiger ist als Flüssig-Helium. Stickstoff wird bei  $-196^{\circ}\text{C}$  (77 K) flüssig.

Inzwischen kennt man eine Fülle von Stoffklassen, welche die Besonderheit der Supraleitung aufweisen. Man teilt sie in „weiche“ (Typ I) und „harte“ (Typ II) Supraleiter ein.

**Zum Typ I gehören die meisten Metalle.** Ihre Sprungtemperaturen liegen unter 10 K; sie werden bereits in mässig starken Magnetfeldern wieder normal leitend. Interessanterweise werden die besten Leiter wie Kupfer, Silber und Gold nie supraleitend, ebenso wenig die ferromagnetischen Materialien.

**Unter den „harten“ Supraleitern (Typ II) finden wir vor allem Legierungen und Keramiken.** Sie bleiben auch in starken Magnetfeldern (somit auch bei hohen Stromdichten) supraleitend. Insbesondere die keramischen Kupferoxide sind technisch wichtig.

Der Weltrekord der Sprungtemperaturen liegt derzeit bei 138 K. Man hofft, in naher Zukunft Stoffe mit einer Sprungtemperatur bis zu 200 K zu entwickeln.

Unter den Supraleitern finden sich mittlerweile auch **exotische Vertreter: z.B. Nichtleiter wie Kohlenstoff oder Schwefel** (allerdings nur unter extremem Druck) **oder organische Supraleiter.** Kürzlich sind supraleitende Fullerene (Kohlenstoff-60-Moleküle) entdeckt worden. Seltsam sind auch Supraleiter, die – allerdings bei extrem tiefer Temperatur – gleichzeitig ferromagnetisch werden.

## Flux-Pinning

Die neue Demonstrationsanlage im Technorama will vor allem zeigen, dass HTSL in erheblichem Masse “magnetischen Fluss verankern können” (“Flux Pinning”). **Ein Magnetfeld wird** bei der Abkühlung unter den Sprungpunkt **im Supraleitermaterial fixiert** – “**gepinnt**” – dadurch wird die Lage eines Supraleiters in einem Magnetfeld festgelegt. Diese hält er bei, bis er sich erwärmt und die Sprungtemperatur überschritten hat.

Der bei der Demonstration benützte Supraleiter ist ein speziell bearbeitetes Yttrium-Barium-Kupferoxid. Die Keramik wird “dotiert”, d.h. gezielt mit Fremdstoffen versetzt, die für die Kristallbildung und damit für die magnetischen Eigenschaften ausschlaggebend sind.

## Wozu das Ganze?

Schon heute gibt es eine ganze Menge technischer Anwendungen, von denen sich viele auch als wirtschaftlich vielversprechend abzeichnen. Häufig ergeben sich mögliche Anwendungen auch erst nach der Entdeckung neuer Supraleiter, neuer Eigenschaften.

**In der Medizin** sind die MRI-Untersuchungen (Magnetic Resonance Imaging) – detaillierte Bilder aus dem Körper ohne ihn zu öffnen, insbesondere aus dem Gehirn – ohne Supraleitermagnetspulen nicht mehr denkbar.

Die **Teilchenforschung** könnte ohne Supraleiter die immer grösser werdenden Beschleuniger wie z.B. am CERN in Genf nicht betreiben. Diese Anlagen liefern wesentliche Erkenntnisse zum Aufbau aller Materie und zum Verstehen des Urknalls.

Zahlreiche Firmen entwickeln neue **Generatoren zur Stromerzeugung**. Mit supraleitenden Materialien erreichen diese einen Wirkungsgrad von über 99 % – und dies bei der halben Grösse konventioneller Generatoren. Auch **Motoren** werden aus supraleitendem Material entwickelt.

ABB, Baden-Dättwil, hat einen supraleitenden **Fehlerstrombegrenzer** für **6.4 Millionen Watt (eine Weltrekordleistung)** entwickelt. Diese neue Generation schaltet innerhalb von wenigen Tausendstelsekunden Ströme von einigen tausend Ampere. Zum Vergleich: Haushaltströme erreichen maximal einige zehn Ampere.

Weltweit werden Tests zum Einsatz von supraleitenden **Kabeln zur Stromversorgung** durchgeführt. Ein supraleitendes Kabel von 250 kg kann ein herkömmliches Erdkabel von 18'000 kg ersetzen. Inzwischen sind erste Installationen ans Netz gegangen, seit Mai 2001 werden 150'000 Einwohner Kopenhagens (Dänemark) über ein Kabel aus HTSL versorgt.

Der nächste Sprung in der Entwicklung der **Supercomputer ist auf Supraleitertechnologie angewiesen**, anders lassen sich die extrem kurzen Schaltzeiten (1000-mal schneller als heute) nicht erreichen.

Supraleitung – Beilage zur Medieninformation vom 5. März 2002  
(Wozu das Ganze? – Fortsetzung)

Die zuerst für militärische Zwecke entwickelten SQUIDS, die ein Magnetfeld messen können, welches hundert Milliarden mal schwächer ist als jenes der Erde, erobern jetzt die Medizin. Statt dass man damit U-Boote oder Minen sucht, wird der menschliche Körper untersucht – ohne die starken Magnetfelder, die für MRI-Untersuchungen benötigt werden.

Die Volksrepublik China baut in Lizenz die erste kommerzielle **Magnetschwebbahn**, den Transrapid. Gerade im magnetischen Schweben zeigen Supraleiter ihre Vorzüge im besonders hohem Masse. Auch hier werden Einsatzmöglichkeiten der hier gezeigten HTSL gesehen.

## Weltrekord

Supraleiter ähnlich jenen, die in der neuen Technorama-Demonstration eingesetzt werden, haben als Permanentmagnete **bis zu 16 Tesla erreicht – gegenwärtig Weltrekord**. Dieser wurde am Institut für Festkörper – und Werkstoffforschung in Dresden aufgestellt.

Die dabei auftretenden Kräfte sind so gross, dass sie die “Pillen” zerreißen würden, wenn sie nicht in ein Stahlkorsett eingelagert wären.

Diese Weltrekord-Magnete unterscheiden sich nicht grundsätzlich von den HTSL-“Pillen” der Demonstration im Technorama. – Allerdings werden die erwähnten Werte erst bei deutlich niedrigeren Temperaturen von 20 K erreicht.