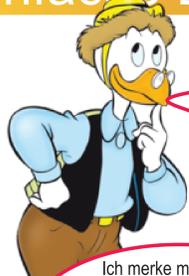


# Supraleiterbahn

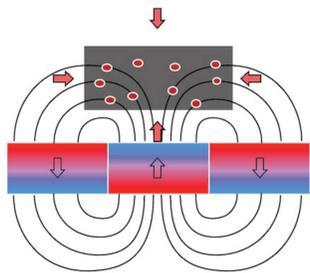
## einfache Erklärung



Die Schiene besteht aus vielen kleinen Magneten. Die Magneten werden von unsichtbaren magnetischen Feldlinien umgeben. Im Inneren des Zuges befindet sich ein besonderes Material. Wird es abgekühlt, so wird es

supraleitend. Dabei wird die Position der Feldlinien in dem Supraleiter eingefroren. Die Schiene hält dann den Supraleiter genau in dem Abstand über der Schiene, die er beim Einkühlen hatte.

Ich merke mir genau die Position der unsichtbaren Feldlinien, die durch mich durchgehen. Dadurch kann ich den Abstand zur Schiene halten.



Supraleiter mit Pinningzentren im Magnetfeld einer dreipoligen Schiene.

### Was ist flüssiger Stickstoff?

Stickstoff kennen wir normalerweise als Gas. Unsere Luft besteht zu 78 % aus Stickstoff. Wir atmen Stickstoff also täglich ein und aus. Kühlt man Stickstoff ab, so wird er bei einer bestimmten Temperatur  $-196\text{ }^\circ\text{C}$  (tiefste gemessene Temperatur in der Antarktis ist  $-89\text{ }^\circ\text{C}$ ) flüssig, ähnlich wie Wasserdampf zu flüssigem Wasser wird. Wie Wasser bei  $100\text{ }^\circ\text{C}$  zu kochen beginnt, kocht flüssiger Stickstoff bei  $-196\text{ }^\circ\text{C}$  (Stickstoff-Blasen steigen auf). Bis der Stickstoff völlig verkocht ist, behält er die Temperatur von  $-196\text{ }^\circ\text{C}$  bei.



### Gibt es einen Supraleiter bei Zimmertemperatur?

Nein. Keiner weiß, ob man je einen finden wird. Wissenschaftler suchen seit 100 Jahren nach einem solchen Material (siehe unten) und dabei gibt es noch heute Überraschungen. Die wärmsten Supraleiter sind  $-120\text{ }^\circ\text{C}$  "heiß". Das ist schon etwas mehr als der halbe Weg vom absoluten Temperatur-Nullpunkt bis zur Raumtemperatur.

Hier sind die Supraleiter. Sie schwimmen im flüssigen Stickstoff.

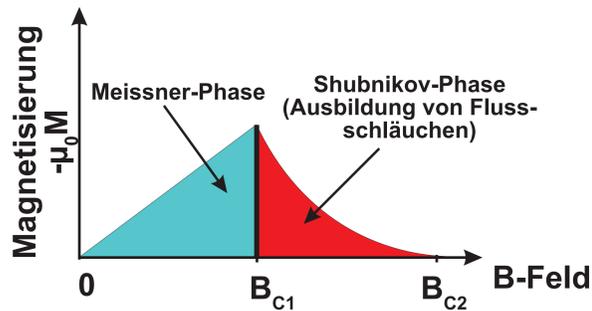
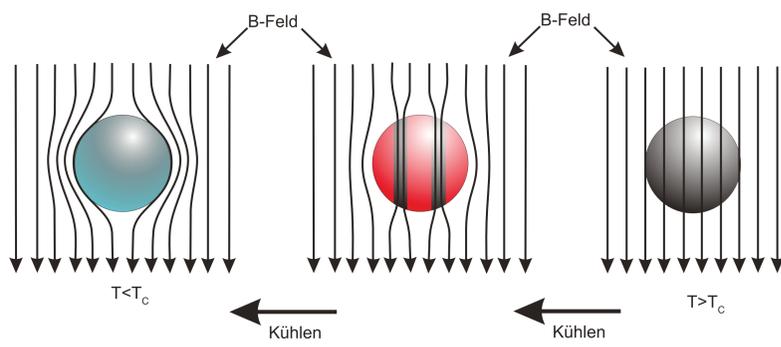


### Kann die Supraleiterbahn einen Menschen tragen?

Ja. Wissenschaftler in Dresden haben einen Zug gebaut, der durch Supraleiter schwebt (oben links). Supraleiter kann man auch dazu verwenden, sehr starke Magneten zu bauen. In dem Feld eines solchen Magneten kann sogar ein lebendiger Frosch zum Schweben gebracht werden (linkes Bild).

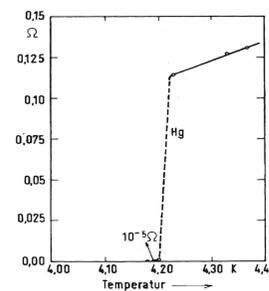


## für Experten



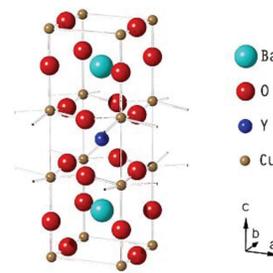
Wird ein Supraleiter in einem Magnetfeld unter die Sprungtemperatur  $T_c$  gekühlt, wird das Magnetfeld aus dem Supraleiter herausgedrängt. An der Oberfläche fließt nun ein Suprastrom, der ein genauso großes Magnetfeld wie das äußere Feld erzeugt, nur in entgegengesetzter Richtung (**Meissner-Phase**). Damit hat ein Supraleiter eine magnetische Suszeptibilität von  $-1$ , ist also ein idealer Diamagnet.

Einige Supraleiter (Supraleiter 2. Art) lassen es bei höheren Magnetfeldern zu, dass einzelne magnetische Flussschläuche in den Supraleiter eindringen. Die von Suprastrom umflossenen Flussschläuche sind ortsfest. Es entsteht eine Mischphase (**Shubnikov-Phase**). Erst bei noch höheren Magnetfeldern bricht die Supraleitung vollständig zusammen.



Ein Supraleiter ist nicht nur ein idealer Diamagnet. Er wird noch durch eine zweite Eigenschaft definiert: **Sie leiten den elektrischen Strom bis zu einer kritischen Stromdichte ohne Verluste.**

Werden supraleitende Materialien unterhalb der Sprungtemperatur gekühlt, bilden sich durch eine attraktive Wechselwirkung aus zwei Elektronen sogenannte Cooper-Paare. Diese sind Träger des Suprastroms.



**Hochtemperatur-Supraleiter** sind keramische Materialien mit komplexer Struktur (z.B. Yttriumbariumkupferoxid mit der Formel  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ). Die Sprungtemperatur kann relativ hoch sein ( $-120\text{ }^\circ\text{C}$ ). Jedoch sind sie spröde und schwer zu verarbeiten. Der supraleitende Strom fließt nur in bestimmten Kristallrichtungen. Der genaue Mechanismus der Supraleitung ist noch immer unklar, weil sehr viele Elektronen an der neuern Ordnung beteiligt sind.

## Geschichte der Supraleitung

**1908:** Durch das von Linde entdeckte Verfahren konnte flüssiges Helium hergestellt werden. Damit war es erstmals möglich, sehr tiefe Temperaturen zu erreichen ( $T < -268\text{ }^\circ\text{C}$ )

**1911:** H. Kamerlingh Onnes kühlt Quecksilber mit Hilfe von flüssigem Helium auf  $4,18\text{ K} = -267\text{ }^\circ\text{C}$ . Er maß einen verschwindenden elektrischen Widerstand. Das Phänomen der Supraleitung war entdeckt. H. Kamerlingh Onnes bekam 1913 den Nobelpreis.

**1952:** V.L. Ginzburg und L.D. Landau entwickeln eine Theorie, die den Phasenübergang und auch Supraleiter 2. Art mit einbezieht. L. D. Landau erhielt unter anderem dafür 1962 den Nobelpreis.

**1957:** J. Bardeen, L. N. Cooper und J. R. Schieffer veröffentlichen die nach ihnen benannte BCS-Theorie. Sie stellt eine erste mikroskopische Beschreibung der Supraleitung dar. Der zugrundeliegende Effekt ist die Kopplung zweier Elektronen durch eine attraktive Wechselwirkung zu einem sog. Cooper-Paar.



H. Kamerlingh Onnes



Brian D. Josephson



L.D. Landau



J.G. Bednorz und K.A. Müller

**1966:** J. Clark entwickelt basierend auf der Arbeit von B.R. Josephson das SQUID. Für seine theoretischen Arbeiten erhielt B. R. Josephson 1973 den Nobelpreis.

**1986:** Mit der Entdeckung des keramischen Hochtemperatursupraleiters (die Sprungtemperatur lag fast doppelt so hoch wie bei den vorher bekannten) Lanthan-Barium-Kupferoxid ( $\text{La}_{2-x}\text{BaCuO}_4$ ) durch J. G. Bednorz und K. A. Müller 1986 begann eine neue Ära. Beide erhielten ein Jahr später den Nobelpreis.

**1993:** Höchste bekannte Sprungtemperatur von  $150\text{ K}$  in  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8-x}$  (hoher Druck) gemessen.

**2001:** Im Januar 2001 wurde nach 40 Jahren ein neuer "konventioneller" Supraleiter von J. Akimitsu gefunden:  $\text{MgB}_2$  mit einer Sprungtemperatur von  $39\text{ K}$ .

**2006:** H. Hosono entdeckt eine neue Klasse von Hochtemperatursupraleitern, die Eisen enthalten. Bisher dachte man magnetische Verunreinigungen würden die Supraleitung zerstören. In diesem Fall erzeugen sie Supraleitung. Die Ursache für Hochtemperatursupraleitung bleibt weiter unklar. Die BCS Theorie versagt in diesem Fall.



J. Bardeen



L.N. Cooper



J.R. Schieffer

