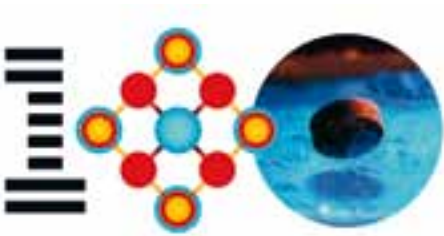


Vor 25 Jahren haben die IBM Forscher Alex Müller und Georg Bednorz ihre bahnbrechende Arbeit publiziert, für die sie ein Jahr später mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurden: der Beweis, dass Supraleitung bei höheren Temperaturen möglich ist. Jetzt ist die Technologie reif.

# Super Leistung für *Supraleitung*

Von Beat Glogger



Mehr Informationen zu Supraleitung unter:  
<http://ibm.co/dH8Jg1>

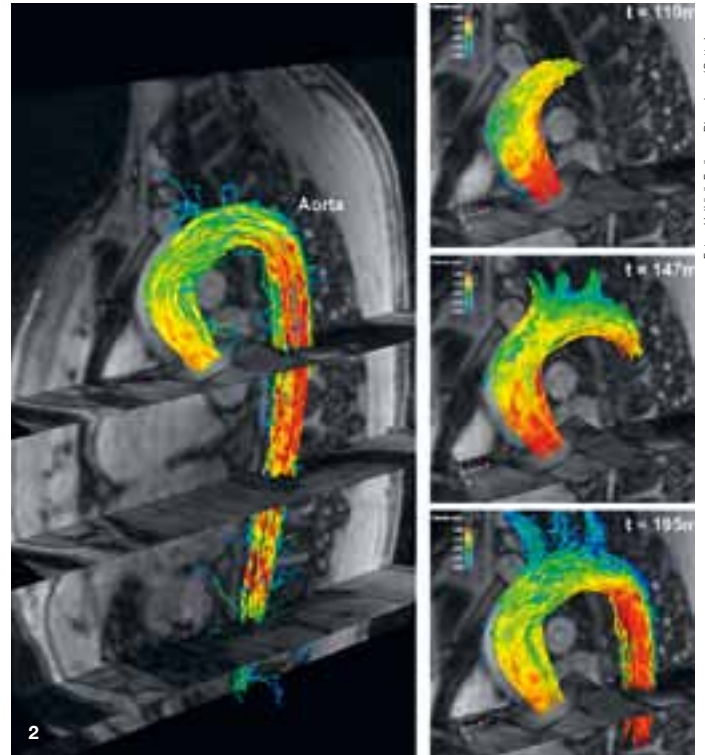


Der Legende nach soll Alex Müller schon bei der Einreichung des Manuskripts an die „Zeitschrift für Physik“ gehaut haben, dass die Arbeit Wellen werfen wird. Er und sein Kollege Georg Bednorz hatten etwas gezeigt, das bis dahin als unmöglich gegolten hatte: Oxidische Materialien leiten unter gewissen Bedingungen Strom ohne Widerstand – und dies bei einer sehr viel höheren Temperatur als die damals bekannten metallischen Supraleiter. „Das war revolutionär“, erinnert sich Alex Müller. „Denn bis dahin galten Oxide als isolierend oder bestenfalls als Halbleiter.“ Damit stiessen die beiden IBM Materialforscher eine Tür auf, nach der vor ihnen Forscher jahrzehntelang gesucht hatten. Denn wenn man Strom zum Beispiel über Kabel leiten könnte, in denen kein Verlust auftritt, würde das viele Probleme der Energieversorgung lösen. Immerhin gehen zum Beispiel im Schweizer Netz heute noch knapp fünf Prozent des elektrischen Stroms einfach so bei der Übertragung verloren. Je länger die Kabel und je älter die Technologie, desto höher kann der Verlust sein. Neben der Energieübertragung versprachen sich die Ingenieure noch viele weitere Anwendungen. Doch diese blieben über Jahrzehnte bloss Träumerei.

Entdeckt hatte das Phänomen der Supraleitung bereits vor 100 Jahren der holländische Physiker Heike Kamerlingh Onnes. Er tauchte Quecksilber in flüssiges Helium, das eine Temperatur von minus 269 Grad Celsius aufwies. Schlagartig verlor das Metall seinen elektrischen Widerstand und leitete den Strom ohne Verlust.

## Wettlauf um neue Materialien

Bald wurde klar, dass sich die Supraleitung auch in anderen Metallen erreichen liess, wenn man sie mit bestimmten chemischen Elementen versetzt. Doch alle Mischungen hatten einen entscheidenden Nachteil: Die Supraleitung trat nur bei extrem tiefen Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt auf. Sollten daraus tatsächlich nützliche Anwendungen werden, musste man Materialien finden, die bei wesentlich höheren Temperaturen supraleitend sind. Bednorz und Müller suchten bei den Oxiden. „Wir hatten Hinweise, dass dies möglich ist“, erinnert sich Georg Bednorz. Doch diese Idee war derart absurd, dass sich die beiden für ein besonderes Vorgehen entschieden. „Wir haben quasi verdeckt ermittelt – ohne dass das Management darüber Bescheid wusste.“ →



Fotos: Uniklinik Freiburg, Bloomberg/Getty Images



1 Das erste kommerziell genutzte Stromkabel, das mit Hochtemperatur-Supraleitern ausgerüstet ist, wurde im Jahr 2008 in Long Island bei New York in Betrieb genommen. 2 Schon länger im praktischen Einsatz sind „kalte“ Supraleiter. Zum Beispiel in Magnetresonanztomografen, die heute als bildgebendes Verfahren in der Medizin nicht mehr wegzudenken sind. 3 Seit 2005 in Japan im Test: eine Magnetschwebebahn, die Geschwindigkeiten von über 500 Kilometern in der Stunde erreicht. In Bahn und Schienen eingebaut sind Hochtemperatur-Supraleiter. 4 In der Metall verarbeitenden Industrie kommen seit Kurzem magnetische Blockheizkörper zum Einsatz, die dank Hochtemperatur-Supraleitung bis zu 50 Prozent weniger Energie verbrauchen.

Der Durchbruch kam 1986:  $\text{La}_{1,85}\text{Ba}_{0,15}\text{CuO}_4$  lautete die magische Formel des ersten Hochtemperatur-Supraleiters. Ein keramisches Kupferoxid, dessen so genannte Sprungtemperatur bei 35 Kelvin liegt. Das war zwar immer noch sehr kalt, nämlich minus 238 Grad Celsius, aber sensationelle 50 Prozent oder 12 Grad höher als der bisherige Rekord von 23 Kelvin. Und Teil zwei der Sensation: Eine neue Klasse von Supraleitern war entdeckt und öffnete das Tor zu einer stürmischen Entwicklung. Ein weltweites Rennen um noch höhere Temperaturen begann. Lanthan wurde ersetzt durch Yttrium. Es folgten Bismut, Strontium, Kalzium und viele weitere Elemente. Eine nächste magische Grenze war 77 Kelvin: Ab hier ist die Kühlung mit flüssigem Stickstoff möglich. Dieser ist so billig herzustellen, dass ungeahnte Anwendungen in greifbare Nähe rückten. Der heute gültige Rekord liegt bei minus 138 Grad Celsius. Aufgestellt von den beiden Professoren Andreas Schilling und Hans Rudolf Ott im Jahr 1993 an der ETH Zürich. Seither ist es um die Supraleitung ruhiger geworden. Kritiker sprechen sogar von einem Hype, von zu hohen Versprechungen und sie reklamieren, dass die Anwendungen zu lange auf sich warten lassen.

### Medizin, Geologie, Energietechnik

Jedoch haben die Supraleiter den Weg in die Praxis gefunden. Im Tieftemperaturbereich kommen sie schon seit einigen Jahren in den Spitälern in Magnetresonanztomografen zum Einsatz. Sie liefern Bilder vom Inneren eines Patienten ohne schädliche Röntgenstrahlen. Dazu werden mittels riesiger supraleitender Magnete die leicht magnetischen Wassermoleküle im Gewebe einheitlich ausgerichtet. Darauf versetzen Radiowellen die Moleküle in Schwingung – die Moleküle senden dadurch Signale aus, die von supraleitenden Antennen registriert werden. Schliesslich setzt ein Computer diese Signale in dreidimensionale Bilder um. Die Antennen heissen in der Fachsprache SQUID (Superconducting QUantum Interference Device), und sie werden überall dort gebraucht,



Ein Experiment, das als Symbol um die Welt ging: Ein Magnet schwebt über einem mit flüssigem Stickstoff gekühlten Hochtemperatur-Supraleiter.

wo es gilt, sehr schwache Magnetfelder zu messen: In der Geologie und der Archäologie spüren sie Erzvorkommen oder Strukturen von Gebäudeüberresten auf.

„Die praktische Anwendung der Hochtemperatur-Supraleiter hat jetzt begonnen“, sagt Jason Fredette, Sprecher von American Superconductor. Die Firma hat vor drei Jahren in Long Island bei New York ein unterirdisches Stromkabel installiert, das drei Mal mehr Strom transportiert als herkömmliche Kupferkabel. Es misst zwar nur 600 Meter, doch es handelt sich um die erste kommerziell betriebene supraleitende Stromleitung. „Deren Bedeutung wird in Zukunft zunehmen“, sagt Fredette. Nicht nur weil das Kabel weniger Verlust aufweist, sondern auch „weil in den Kabelschächten der Städte der Platz sehr beschränkt ist.“ Das Geheimnis des Superkabels liegt in seinem Kern: einer Leitung, die mit flüssigem Stickstoff das Kabel kühlt. Und das supraleitende Material ist als feines Geflecht in verschiedene andere Schichten eingebaut, sodass dieses trotz keramischer Eigenschaften flexibel ist.

American Superconductor ist führend auf dem Gebiet der Supraleitung. Ihre jüngste Entwicklung heisst SeaTitan. Eine gewaltige Windturbine mit 10 Megawatt Leistung. Das ist im Vergleich zu den grössten heute installierten Turbinen gut das Doppelte. Bis ins Jahr 2015 sollen

zusammen mit verschiedenen Lizenzfirmen die ersten Prototypen gebaut und ab 2016 kommerzialisiert sein. Auf einem ähnlichen Generator basiert ein Schiffsmotor, der wesentlich weniger Treibstoff verbraucht und nur noch halb so schwer ist wie Schiffsmotoren gleicher Leistung. Diese enorme Gewichtsreduktion ist darum möglich, weil der supraleitende Draht in den Wicklungen rund 150 Mal mehr Strom leiten kann. Und in Japan ist seit 2005 der Prototyp einer Magnetschwebebahn im Test, die eine Geschwindigkeit von über 580 Kilometern in der Stunde erreicht. Auch hier sind die supraleitenden Magnete verbaut, die mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden.

Stellt sich die Frage, ob sich dieser enorme Kühlaufwand energetisch überhaupt lohnt. Jason Fredette von American Superconductors hat einen einfachen Vergleich zur Hand. „Ein einziger SeaTitan versorgt bis zu 5000 Haushalte mit Strom. Der flüssige Stickstoff ist in derart gut isolierten Behältnissen eingeschlossen, dass zur Kühlung die Leistung eines herkömmlichen Haushaltskühlschranks reicht.“ —

[www.zurich.ibm.com](http://www.zurich.ibm.com)

---

Die beiden IBM Forscher Alex Müller und Georg Bednorz schafften den Durchbruch: Vor 25 Jahren zeigten sie, dass Supraleitung bei höheren Temperaturen möglich ist. Nur ein Jahr nach Veröffentlichung ihrer Arbeit wurden sie mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.

# „Es ging uns um *den Spass* an der Sache“

---

THINK! Sie haben in den letzten 25 Jahren viele Interviews gegeben. Welche Frage möchten Sie nicht mehr hören?

**ALEX MÜLLER** Sie dürfen alles fragen.

**GEORG BEDNORZ** (lacht) Ob ich mit dem Nobelpreis gerechnet habe.

Sie haben die Frage schon zu oft gehört?

**BEDNORZ** Absolut. Meine Antwort war immer, dass ein Nobelpreis so etwas Entferntes, quasi Unerreichbares ist, dass man sich damit tunlichst nicht beschäftigen sollte.

Wobei Supraleitung kein schlechtes Feld für einen Nobelpreis ist. Es gab immerhin schon deren fünf auf dem Gebiet.

**BEDNORZ** Das Thema ist so faszinierend und es gab so viele Überraschungen und Entdeckungen; sowohl in der Theorie wie auch auf dem experimentellen Sektor. Sie reden von Faszination. Hat Supraleitung auch etwas mit Mystik zu tun?

**BEDNORZ** Ja natürlich. Es hat etwas Geheimnisvolles, wenn man eines der Schlüsselexperimente sieht, die als Beweis der Supraleitung dienen: diesen schwebenden Magneten. Das ist wie die schwebende Jungfrau, die uns Zauberer vorgaukeln. Aber hier ist es Wirklichkeit – faszinierende Physik.

Fühlen Sie sich als Zauberer?

**BEDNORZ** Eher als Kreativeur. Als einer, der neue Realitäten schafft.

Es wurde später behauptet, Ihre Entdeckung sei Zufall gewesen.

**MÜLLER** Ginsburg, der Russe, brachte diesen Vorwurf. Ich kann es aber belegen, dass es nicht so war. Wir haben danach gesucht. Ich hatte an einer Konferenz eine Theorie über die Polaronen gehört. Und sass dann in Erice (Sizilien) – man sieht da von oben wunderbar nach Trapani runter – und dachte: „Gopfridstutz das sollte doch möglich sein!“ Da ist mir in den Sinn gekommen, dass man Kupfer- oder Nickeloxid nehmen müsste. Als ich zurückkam, sprach ich mit Georg darüber. Ich dachte, ich bräuchte eine Woche, um ihn davon zu überzeugen. Aber nach zwei Stunden kam er und sagte, er mache das. Ich hatte einen Moment erwischt, als Georg wegen seiner Projekte frustriert war.

**BEDNORZ** Wir haben uns wie eine verschworene Truppe abgesprochen: Wir suchten in oxidischen Materialien, weil wir Hinweise darauf hatten, dass in diesem System Supraleitung auftreten könnte, und wir hofften, sogar bei höheren Temperaturen. Spielt Zufall überhaupt eine Rolle in der Wissenschaft?

**BEDNORZ** Ich würde sagen: Glück. Wenn Sie so drei Jahre arbeiten, ohne dass sich ein Erfolg abzeichnet, dann haben Sie

auch mal einen Durchhänger. In solch einem Moment blätterte ich wahllos in der Literatur und fand ein Rezept und wusste: Das muss es sein. Es waren Materialien, die französische Kollegen untersucht hatten – aus einer anderen Motivation heraus. Für mich passte es aber genau in unser Konzept. Dass ich das realisierte, war der Glücksfall. Ich bin dann sofort ins Labor gegangen und habe zu einem Laborantenlehrling gesagt: „Wir müssen das unbedingt synthetisieren!“ Man muss das Glück auch packen. Interessiert Sie 25 Jahre danach die Supraleitung noch immer?

**BEDNORZ** Natürlich bin ich daran interessiert zu sehen, was aus unserer Entdeckung geworden ist und noch werden wird.

Verfolgen Sie die Weltrekorde wie andere die Sportresultate?

**BEDNORZ** Nein, da bin ich relaxt. Wir haben mal einen Weltrekord aufgestellt, der war zwar temporär, aber es war ein wesentlicher Rekord.

Hat man es nach 25 Jahren nicht manchmal satt, immer über etwas zu reden, das man vor langer Zeit vollbracht hat?

**MÜLLER** Ich werde zu allen möglichen Tagungen eingeladen. Aber irgendwie werde ich – herumgeboten. Und die Leute erwarten, dass man da etwas Wichtiges

ALEX MÜLLER (84) lebt zusammen mit seiner Frau in einer Altersresidenz. Nur noch gelegentlich hält er Vorträge zur Supraleitung. Er beschäftigt sich heute intensiv mit C.G. Jung und der Traumdeutung. „Wenn mir hier alles zu viel wird, sitze ich in meinen Jaguar und fahre nach Laax“, sagt er.



Fotos: Jos Schmid

GEORG BEDNORZ (61) war einer der jüngsten je mit dem Nobelpreis ausgezeichneten Wissenschaftler. Er forscht noch heute bei IBM als IBM Fellow und widmet sich neben der Supraleitung vor allem der Erforschung der Fotoleitfähigkeit in speziellen oxidischen Materialien und der Nutzung dieses Effekts zur Energiegewinnung.



oder Tiefgründiges von sich gibt. Das ist eine Belastung. Ich hätte schon etwas zu sagen – vielleicht auch nicht. Aber manchmal sitze ich lieber hier und lese oder bin für mich.

Andererseits wäre es aber auch eine komfortable Position. Einem Nobelpreisträger glaubt man eher als sonst jemandem.

**MÜLLER** Natürlich hat das mehr Gewicht. Aber dann muss man auch mehr Substanz bieten.

**BEDNORZ** Am besten geht man mit dem Nobelpreis um, indem man nicht täglich darüber nachdenkt. Wenn ich angefragt werde, einen Vortrag zu halten, dann möchte ich den Grund des Interesses wissen. Dieses Interesse sollte nicht nur bestehen, weil ich Nobelpreisträger bin. Als Wissenschaftler bin ich stets bemüht, jedes Mal etwas Neues einzubringen.

Ist das noch möglich?

**BEDNORZ** Ja, sonst hätte ich keinen Spass daran. Eine gewisse Zeit lang hatte ich es satt, nach neuen Verbindungen zu suchen. Ich habe mich aus dem Gebiet experimentell ausgeklinkt und habe neue Materialien synthetisiert, die mit Supraleitung gar nichts zu tun haben. Jetzt beschäftige ich mich aber wieder intensiver damit, weil ich häufig nach dem Stand der Entwicklung auf dem Gebiet gefragt werde und wie es mit Anwendungen aussehe. Die Standardfrage lautet: „Warum dauert es so lange?“ Diese Frage liegt mir, denn da kann ich doch eine wichtige Botschaft abgeben: Die Forschung und auch die Anwendungsentwicklung müssen Hürden überwinden, die man zu jenem Zeitpunkt gar nicht richtig realisiert hatte.

**MÜLLER** Ich war letzte Woche in Dallas. Es war ein Saal mit 600 Sitzplätzen, bis auf den letzten waren alle besetzt. Am Schluss standen sie auf: Standing Ovation. Und dies mit 84! Was will ich mehr? (Greift zu einer Publikation.)

Das habe ich vorgetragen. Das Konzept zur Erklärung der Supraleitung mit Polaronen. Jahrelang hat man diskutiert, ob es magnetische Wechselwirkungen seien – Magnonen oder Phononen? Weder noch: Es sind Polaronen, also Verzerrungen des Gitters, aber nur lokale. →

Das begreifen aber die wenigsten. Im letzten Sommer, als ich im Spital war, habe ich eine wissenschaftliche Arbeit ausgegraben mit einer Theorie zu den Polaronen. Danach hat ein junger Physiker existierende Experimente für mich in einer Grafik dargestellt. Und diese Analyse stimmt mit der Theorie überein. Aber eben, Fachkollegen an der ETH sagen, es seien magnetische Wechselwirkungen. Sie ignorieren meine Befunde. Warum denn?

**MÜLLER** Sie wollen und können nicht. Aber das hier (klopft auf seine jüngste Publikation) ist der Beweis, dass das Konzept, das wir damals gehabt haben, richtig war.

Sie brauchen nach einem Nobelpreis doch keine Bestätigung mehr.

**MÜLLER** Es geht nicht um Anerkennung. Es geht um Physik. Um das Verstehen. Was ist richtig, was falsch? Das war schon immer so, nicht nur bei der Supraleitung.

Verstehen Sie die jungen Physiker noch?

**BEDNORZ** Die wissenschaftlichen Probleme, die von der heutigen Generation von Physikern behandelt werden, werden immer komplexer und erfordern grosses Spezialwissen. Da wird es schwierig – und manchmal unmöglich –, die Sache im Detail zu verstehen. Bei dieser Spezialisierung habe ich manchmal auch etwas Sorge. Dabei besteht die Gefahr, dass die neue Generation etwas schmalspuriger wird.

Was hat sich seither sonst noch verändert in der Wissenschaft?

**BEDNORZ** Die Zeit ist schnelllebig geworden. Ergebnisse werden in Windeseile über die elektronischen Medien verbreitet, und somit ist auch die Kommunikation unter den Wissenschaftlern intensiver als noch vor 25 Jahren, als das Fax die grösste Errungenschaft war. Fehlt die Zeit zum Denken?

**BEDNORZ** Der Druck ist grösser geworden. Der Druck zu publizieren, und zwar in ganz bestimmten Gazetten – ich sage bewusst Gazetten. Vielfach besteht die Tendenz zur marktschreierischen Verbreitung und Überbewertung

von Forschungsergebnissen. Die jungen Leute schielen dann vor allem auf Journale, die zu einem nicht immer berechtigten Renommee gekommen sind.

Sie waren ein ungleiches Paar. Herr Bednorz, Sie haben bei IBM ein Praktikum gemacht, dann waren Sie Diplomand, Doktorand und schliesslich Forschungspartner Ihres damaligen Managers und Förderers Alex Müller. Wie hat sich dabei Ihr persönliches Verhältnis verändert?

**MÜLLER** Ich bin mit den meisten Leuten per Sie. Ich fragte Georg Bednorz, ob er das nicht probieren könnte. Das war im Dezember. Ich gehe immer Ski fahren. Und als ich zurückkam, hatte er schon die ersten Tests gemacht. Da haben wir einen Champagner getrunken.

**BEDNORZ** Und seitdem duzen wir uns. Dadurch, dass wir die Köpfe zusammengesteckt haben und eben dieses offenbar Unmögliche versucht haben, war das eine verschworene Gemeinschaft. Als wir dann mit unsren exotischen Materialien Erfolg hatten, mussten wir noch enger zusammenrücken, weil wir gespürt haben, es kommt eine Periode, wo wir kämpfen müssen.

Nach dem Nobelpreis?

**BEDNORZ** Nein, schon vorher. Weil wir erwartet hatten, dass wir nur auf Skeptiker treffen würden. Als dann aber im Kreis der Wissenschaft die Euphorie relativ schnell um sich griff, war das für uns doch überraschend.

Hatten Sie einfach die Theorie im Kopf, oder haben Sie auch an Anwendungen gedacht?

**MÜLLER** Am Anfang gar nicht. Da war es nur Akademie. Und Spass an der Sache. Und heute gibt es erste kommerzielle Anwendungen der Supraleitung. Man kann damit Geld verdienen. An der ETH werden heute Leute, die etwas erfinden oder entdecken, ermuntert, ein Spin-off zu gründen. Haben Sie eine Firma, die ihre Entdeckung vermarktet?

**BEDNORZ** Nein. Ich bin kein Geschäftsmann.

**MÜLLER** Ich war sechs Jahre Berater bei American Superconductors.

**BEDNORZ** Das Einzige, was mir einen

finanziellen Vorteil bringt, sind meine Aktien bei American Superconductors. Von dieser Firma weiss ich, dass alles, was sie entwickelt, von chinesischen Firmen auf den Markt gebracht wird. Was halten Sie von dieser Entwicklung?

**BEDNORZ** Das ist halt so. Wenn die einen die Hände in den Schoss legen, hat irgendein anderer die Nase vorne, und dieses Mal sind es die Chinesen. Das ist auch gut so, denn es passiert etwas. Gegenwärtig wird viel über Energie diskutiert, darüber, ob ein Atomausstieg möglich sei, ob man genug wisse über erneuerbare Energien. Hätten Sie nicht Lust, da mal zu zeigen, was überhaupt möglich ist?

**BEDNORZ** Doch, natürlich. Ich denke, jetzt ist der Zeitpunkt gekommen, wo wir uns Gedanken darüber machen müssen, ob wir Energie weiterhin als alltägliche Sache ansehen oder ob wir damit haushalten und sparen, sparen, sparen, wo es überhaupt nur möglich ist. Da sind die erneuerbaren Energien eine Variante. Und da sind auch die Supraleiter gefragt. Koste es, was es wolle. Im Moment ist alles noch teuer. Aber je mehr supraleitende Kabel hergestellt werden, desto stärker sinkt der Preis, und dann werden sie auch konkurrenzfähig. Es ist nur eine Frage der Zeit. Irgendwann kommen die Supraleiter. —