



TIEFTEMPERATURFORSCHUNG

# Von Walther Meißner zum Quanten-Bit

DIE KOMMISSION FÜR TIEFTEMPERATURFORSCHUNG BETREIBT AM WALTHER-MEISSNER-INSTITUT SEIT ÜBER 60 JAHREN SPITZENFORSCHUNG IM BEREICH DER TIEFTEMPERATURPHYSIK.

VON RUDOLF GROSS UND  
DIETRICH EINZEL

**D**urch die Verflüssigung von Helium im Jahr 1908 und die Entdeckung der Supraleitung im Jahr 1911 wurde das goldene Zeitalter der Tieftemperaturforschung eingeläutet. In seinen Anfängen prägte dieses Gebiet ganz wesentlich Walther Meißner, der Nestor und Pionier der Tieftemperaturphysik und -technik in Deutschland. Nach seiner Promotion bei Max Planck trat Meißner 1908 in die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Berlin ein und etablierte dort das erste Tieftemperaturlabor in Deutschland (das dritte weltweit, nach Leiden und Toronto). Wissenschaftliche und technische Höhepunkte waren damals die erstmalige Verflüssigung von Helium in Deutschland am 7. März 1925 und die Entdeckung des perfekten Diamagnetismus in Supraleitern (1933). Beim letztgenannten Phänomen werden Magnetfelder aus dem Inneren eines Supraleiters entweder abgeschirmt oder bei Kühlung unter seine Sprungtemperatur sogar aus ihm verdrängt. Diese fundamentale Erscheinung wird auch heute noch bei der Charakterisierung neuer supraleitender Systeme verwendet. Wegen seiner weitreichenden Bedeutung wird dieser Effekt nach seinen Entdeckern „Meißner-Ochsenfeld-Effekt“ genannt.

Im Jahr 1934 folgte Walther Meißner einem Ruf an die Technische Hoch-



WMI/D. EINZEL

schule München, wo er ein völlig neues Kältelaboratorium aufbaute und damit das aufstrebende Gebiet der Tieftemperaturforschung nach Bayern brachte. In den Kriegsjahren wurden die Forschungseinrichtungen des Meißner-Lehrstuhls nach Herrsching am Ammersee in zwei provisorische Baracken verlegt.

## Gründung der Kommission für Tieftemperaturforschung

Nach dem Zweiten Weltkrieg setzte sich Walther Meißner mit geradezu unvorstellbarer Energie für den Wiederaufbau ein. Politisch unbelastet, wurde er zu zahlreichen Führungsaufgaben herangezogen. Unter anderem wählten ihn die Mitglieder

der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, deren Mitglied er bereits seit 1938 war, zum Präsidenten und vertrauten ihm die Aufgabe des Wiederaufbaus und der Neustrukturierung an. Während seiner Amtszeit von 1946 bis 1950 gründete er zusammen mit Klaus Klusius die Kommission für Tieftemperaturforschung, deren Vorsitzender er bis 1963 blieb. Diese Kommission übernahm die Herrschinger Bauten, übersiedelte dann im Jahre 1967 in das neu errichtete Garching Institutsgelände, das seit 1992 den Namen Walther-Meißner-Institut (WMI) trägt.

Walther Meißner erkannte bereits früh die große Bedeutung der Tief-

**Schwebender Supraleiter (Levitation als Folge des Magnetfeldverdrängungseffekts).**

**Walther Meißner (1882–1974),  
Präsident der Bayerischen  
Akademie der Wissenschaften  
von 1946 bis 1950, Gründer  
der Kommission für Tieftem-  
peraturforschung.**



temperaturforschung und -technik für die Naturwissenschaften und viele Anwendungsgebiete. Bis heute wurden mehr als zehn Nobelpreise für Physik und Chemie für die Entdeckung von Tieftemperaturphänomenen vergeben, und wichtige Anwendungen wie die Magnetresonanztomographie in der Medizintechnik oder supraleitende Magnete für Teilchenbeschleuniger wären ohne eine langfristig angelegte Tieftemperaturforschung nicht möglich gewesen. Neben zahlreichen wissenschaftlichen Ehrungen erhielt Walther Meißner 1954 das Große Verdienstkreuz der Bundesrepublik Deutschland. Nach seiner Emeritierung im Jahre 1952 folgten ihm Heinz Maier-Leibnitz, Klaus Andres und Rudolf Gross auf dem Lehrstuhl der Technischen Hochschule (heute: Technische Universität) München nach. Walther Meißner starb 1974 im Alter von 91 Jahren in München.

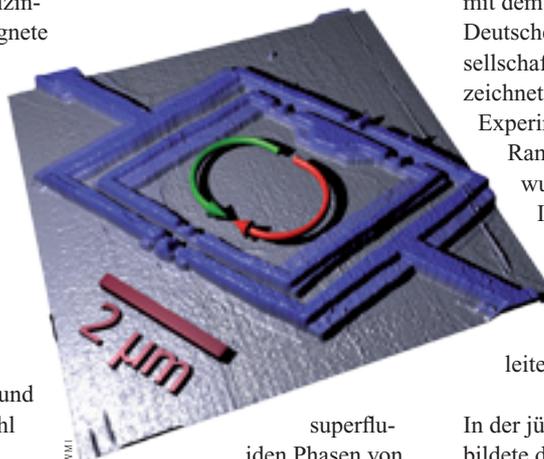
**Supraleitendes Quanten-Bit, die beiden Pfeile symbolisieren die supraleitenden Ringströme als Basiszustände des Quanten-Bits.**

#### Wissenschaftliche Highlights

Am WMI werden bis heute grundlegende Tieftemperaturexperimente durchgeführt, die zu zahlreichen wichtigen Entdeckungen geführt haben. Zwei von Walther Meißners Schülern (Robert Doll und Martin

Näbauer) wurden 1961 durch die Entdeckung eines Quantisierungsphänomens auf makroskopischer Skala bekannt: Der magnetische Fluss in einem supraleitenden Hohlzylinder tritt nur in ganzzahligen Vielfachen eines so genannten Flussquants auf, in dessen Form sich die Tatsache widerspiegelt, dass der mikroskopische Ursprung der Supraleitung der quantenmechanische Strom von Elektronenpaaren ist. Zusammen mit dem Josephson-Effekt bildet die Flussquantisierung die physikalische Grundlage für höchstempfindliche Magnetfeldsensoren, deren Einsatzgebiet heute von der zerstörungsfreien Materialprüfung bis zum Biomagnetismus reicht.

Anfang der 1970er Jahre wurden im Garchingertieftemperaturlabor (der so genannten Garchingertieftemperaturmühle) die ersten Experimente in Deutschland zur Untersuchung der



superfluiden Phasen von flüssigem  $^3\text{He}$  durchgeführt. Ähnlich wie bei der Supraleitung in Metallen, bei der der elektrische Widerstand unterhalb der Sprungtemperatur völlig verschwindet, bedeutet die Suprafluidität einer Flüssigkeit das reibungsfreie Fließen durch engste Strömungskanäle (Kapillare, Puder etc.). Bemerkenswert ist die niedrige Sprungtemperatur von nur zwei Tausendstel Kelvin, unterhalb welcher das Phänomen der Suprafluidität über-

haupt erst auftritt. Ein weiteres Forschungshighlight aus den 1980er Jahren ist die erstmalige Messung der Temperaturabhängigkeit der Magnetfeld-Eindringtiefe in dem so genannten Schwere-Elektronen-Supraleiter  $\text{UBe}_{13}$  (in dem die Elektronen bis zu 1.000 Mal schwerer sind als normale Metallelektronen), welche Aufschlüsse über eine sehr exotische Symmetrie der der Supraleitung zu Grunde liegenden Elektronenpaare zuließ.

Auch zum Verständnis der im Jahr 1986 entdeckten Hochtemperatur-Supraleiter, die bereits oberhalb der Siedetemperatur des flüssigen Stickstoffs (77 K) supraleitend werden und dadurch für technische Anwendungen sehr interessant sind, lieferte das WMI entscheidende Beiträge. Für die Entdeckung des so genannten Intrinsic Josephson-Effekts in diesen Materialien wurde einer seiner Entdecker, Paul Müller, mit dem Walter Schottky-Preis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft des Jahres 1994 ausgezeichnet. Mit den weltweit ersten Experimenten zur elektronischen Raman-(d. h. Licht-)Streuung wurden wichtige Beiträge zur Identifikation der unkonventionellen (Singulett- $d$ -Wellen-)Symmetrie der Elektronenpaare in den Hochtemperatur-Supraleitern geliefert.

In der jüngeren Vergangenheit bildete die Realisierung einer geeigneten Hardware für zukünftige Quanteninformationssysteme einen Schwerpunkt der Forschungsarbeiten am WMI. Es konnte gezeigt werden, dass sich supraleitende Quantenschaltkreise bei sehr tiefen Temperaturen wie künstliche Atome verhalten, mit denen sich nicht nur so genannte Quanten-Bits, die Grundelemente von Quanteninformationssystemen, sondern auch völlig neuartige quantenoptische Experimente realisieren lassen. Die-



BEIDE ABB.: WMI/D. EINZEL

se neuen Entwicklungen bestätigen die Weitsicht Walther Meißners, der als einer der Ersten die zentrale Bedeutung der Tieftemperaturforschung und ihre Rolle als Keimfeld für neue Ideen erkannt hat.

### Technische Entwicklungen

Das Walther-Meißner-Institut spielt nicht nur im wissenschaftlichen, sondern auch im technischen und methodischen Bereich eine führende Rolle in der Tieftemperaturforschung. Hier wurde unter anderem erstmals in Deutschland ein  $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkühler realisiert, mit dem bereits 1969 Temperaturen unter 20 Millikelvin erreicht wurden. Im vergangenen Jahrzehnt lag ein besonderes Augenmerk auf der Entwicklung eines  $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkühlers, bei dem das bisher verwendete flüssige Helium durch einen so genannten Pulsröhrenkühler ersetzt wird. Neben einer Kostenreduktion bietet dieses Konzept enorme Vorteile beim Einsatz in abgelegenen Forschungsstandorten oder in Entwicklungsländern, wo keine Infrastruktur für flüssiges Helium vorhanden ist. Das vom WMI entwickelte Konzept wird bereits in etwa 50 % der weltweit verkauften  $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkühler eingesetzt. Auch die am WMI entwickelte Tauchpumpe für flüs-

siges Helium findet heute in vielen Heliumverflüssigungsanlagen Verwendung.

### Das Walther-Meißner-Institut heute

Die Tieftemperaturforschung hat den Höhepunkt ihrer Entwicklung noch lange nicht erreicht. Sie ist bis heute ein hochaktuelles und sehr innovatives Forschungsfeld geblieben, das viele Impulse für benachbarte Disziplinen liefert. Am WMI wird zurzeit ein breites Spektrum von interessanten Forschungsthemen bearbeitet. Es schließt Untersuchungen von so unterschiedlichen Phänomenen ein wie Supraleitung und Suprafluidität (DFG-Forschergruppe 538), Magnetismus und Spinelektronik (DFG-Schwerpunktprogramme 1157 und 1285), mesoskopische Systeme und Nanotechnologie (Exzellenzcluster Nanosystems Initiative Munich) oder festkörperbasierte Quanteninformationsverarbeitung, d. h. die Physik der Quanten-Bits und der darauf aufbauenden Quantencomputer (DFG Sonderforschungsbereich 631). Die Einbindung dieser Forschungsarbeiten in verschiedene nationale und internationale Forschungsverbünde sowie in Kooperationen mit industriellen Partnern belegt den Querschnittscharakter und die zentrale Bedeutung der

Tieftemperaturforschung. Auch werden am WMI Langzeitprojekte durchgeführt, die auf die Optimierung der Techniken und Methoden zur Erzeugung, Handhabung und Messung tiefer Temperaturen hinzielen. Ferner beliefert das WMI beide Münchner Universitäten mit flüssigem Helium.

Das Walther-Meißner-Institut stellt heute für mehr als 15 Diplomanden und 20 Doktoranden sowie zahlreiche internationale Gäste attraktive Forschungsprojekte und hochmoderne Arbeitsbedingungen bereit. Es ist damit das Akademieinstitut mit dem geringsten Durchschnittsalter. Durch zahlreiche Lehrangebote werden die physikalischen und technischen Grundlagen der Tieftemperaturforschung an eine große Zahl von Studenten weitergegeben und dadurch das Erbe Walther Meißners lebendig gehalten.



*Rudolf Gross ist Direktor des Walther-Meißner-Instituts für Tieftemperaturforschung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Er hat den Lehrstuhl für Technische Physik an der TU München inne. Dietrich Einzel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am WMI und Privatdozent an der TU München.*

**Das Walther-Meißner-Institut in Garching von (Süd-)Westen.**