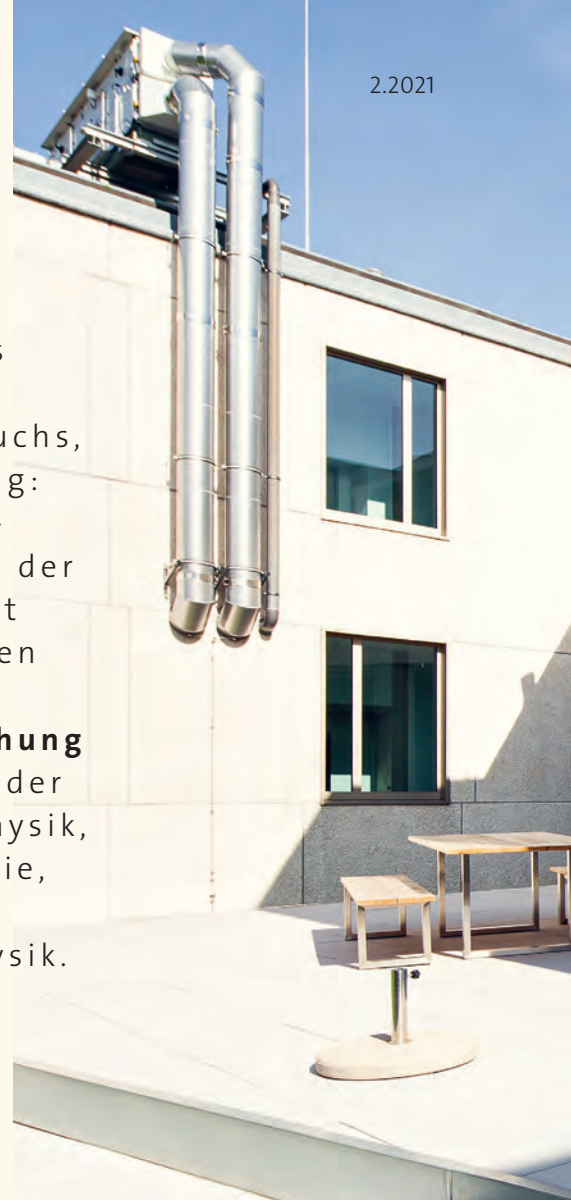


# Pioniere der Quantenforschung

Von Hans Hübl

Einzigartiges Umfeld, kreativer Nachwuchs, lange Erfahrung: Das Walther-Meißner-Institut der BAdW betreibt seit Jahrzehnten **exzellente Grundlagenforschung** auf dem Gebiet der Tieftemperaturphysik, Nanotechnologie, Festkörper- und Quantenphysik.



**N**eugiergetriebene Grundlagenforschung ist eine unverzichtbare Quelle des wissenschaftlichen Fortschritts und steht oft am Anfang von wichtigen technischen Weiterentwicklungen. Das Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung (WMI) der BAdW auf dem Forschungscampus Garching betreibt naturwissenschaftliche Grundlagenforschung in der Tieftemperaturphysik auf international höchstem Niveau. Langfristiger Erfolg in diesem Bereich ist nur zu erreichen, wenn man ein inspirierendes Umfeld schafft.

## Erfolgskonzept

Das Erfolgskonzept des WMI beruht darauf, erstklassige Infrastruktur in den Bereichen Tieftemperaturphysik, Nanotechnologie, Festkörper- und Quantenphysik mit einem Team aus hochmoti-

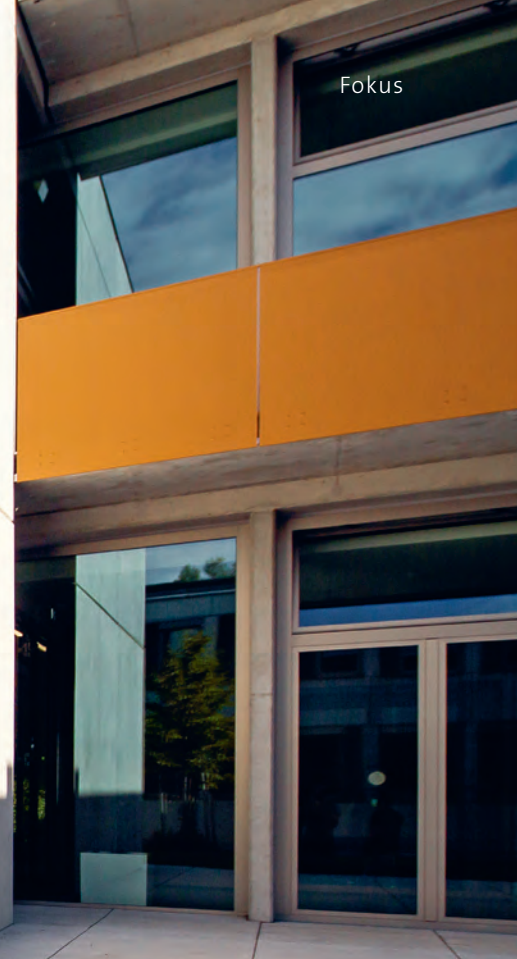
vierten, kreativen Forscherinnen und Forschern zusammenzubringen. Diese Kombination in Verbindung mit einer langfristig angelegten Forschungsstrategie und einer besonderen Personalstruktur mit Dauerstellen für Profi-Forscherinnen und -Forscher hat in der 75-jährigen Geschichte des WMI zu einer Vielzahl von wichtigen Entdeckungen und technischen Weiterentwicklungen geführt.

Das Walther-Meißner-Institut blickt auf eine lange wissenschaftliche Tradition zurück. Gegründet 1946 durch Akademiepräsident Walther Meißner als „Zentralinstitut für Tieftemperaturforschung“, sollte es nach dem Zweiten Weltkrieg die in Deutschland sehr erfolgreiche Tieftemperaturforschung fortsetzen. 1982 wurde das Institut zu Ehren seines Gründungsdirektors in „Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung“ umbenannt. Die Direktoren des Instituts sind

bis heute immer gleichzeitig Inhaber des Lehrstuhls für Technische Physik der TU München. Diese fruchtbare Verbindung eröffnet die Möglichkeit, den aufstrebenden wissenschaftlichen Nachwuchs für die Forschung am WMI zu begeistern und das Institut mit einem stetigen Zufluss neuer Ideen zu versorgen. Umgekehrt profitieren die jungen Forscherinnen und Forscher von den hervorragenden Bedingungen und der Betreuung durch erfahrene Mentoren. Viele Ehemalige des WMI leiten heute selbst Universitätslehrstühle oder bekleiden führende Positionen in der Industrie.

## Zentrale Forschungsfelder

Bereits bei der Gründung des WMI im Jahr 1946 wurden die Themenbereiche Supraleitung und Suprafluidität sowie Magnetismus als zentrale



## Das Institut blickt auf eine 75-jährige, wissenschaftlich äußerst erfolgreiche Geschichte zurück.

Erst in Herrsching am Ammersee, seit 1967 auf dem Forschungscampus Garching: das Walther-Meißner-Institut.

Forschungsschwerpunkte identifiziert. Das Gebiet Magnetismus geriet dann viele Jahrzehnte etwas in Vergessenheit und wurde erst nach 2000 wieder in den Vordergrund gerückt. Als sogenannte Quantenphänomene sind Supraleitung und Magnetismus ohnehin eng miteinander verzahnt und führen an den Schnittstellen zu interessanten neuen Phänomenen. In den vergangenen 20 Jahren wurden am WMI maßgeschneiderte Quantensysteme aus supraleitenden und magnetischen Materialien erfolgreich für Anwendungen in den Bereichen Quantencomputing, -kommunikation und -sensorik entwickelt. Auch dieses heute noch schnell wachsende Forschungsfeld, das mittlerweile immer mehr in den Anwendungsbereich rückt, hat das WMI mit vielen Pionierarbeiten geprägt und so wesentlich zum Erfolg des Forschungsstandorts München beigetragen, der mit der

Gründung des Munich Quantum Valley Anfang 2021 fortgeschrieben werden soll.

### Pionierarbeiten am WMI

Im Folgenden sollen einige wichtige wissenschaftlichen Entdeckungen und technische Entwicklungen des WMI benannt werden. Nach 1945 stand zunächst die Entwicklung von Helium-Verflüssigern im Vordergrund. Damit wurde die Tradition wichtiger kryotechnischer Entwicklungen fortgesetzt, die in Bayern mit der Erfindung von Luftverflüssigungsanlagen durch Carl von Linde begonnen hatte. Bis heute trägt das WMI regelmäßig mit wichtigen Neuerungen zum Fortschritt in der Tieftemperaturtechnik bei, darunter die Entwicklung der „trockenen“ Mischkühler zu Beginn der 2000er Jahre, mit denen ohne flüssiges Helium als Kühlmittel Temperaturen nahe am absoluten



**„Am WMI stehen uns Studierenden immer alle Zimmertüren offen, wenn wir bei unseren Messungen einmal nicht weiterkommen.“**

**Elisabeth Meidinger** (l.), Master-Studentin am WMI im Bereich Magnetismus, im Gespräch mit Kommilitonen.

Nullpunkt ( $-273,15^{\circ}\text{C}$ ) erreicht werden. Diese Kühltechnik hat heute einen Marktanteil von über 95 % und ist die Grundvoraussetzung für den Betrieb von supraleitenden Quantencomputern.

Die erste historisch sehr wichtige Entdeckung gelang 1961, als Robert Doll und Martin Nábauer die Quantisierung des magnetischen Flusses in supraleitenden Hohlzylindern nachwies. Mit diesem Experiment wurde nicht nur demonstriert, dass es sich bei der Supraleitung um einen makroskopischen Quantenzustand handelt, sondern dass dieser aus Elektronenpaaren gebildet wird. Die Flussquantisierung und der ein Jahr später von Brian D. Josephson theoretisch vorhergesagte Josephson-Effekt bilden bis heute die Basis für die supraleitende Quantenelektronik. Sie wird für die Herstellung von hochempfindlichen Magnetfeldsensoren verwendet, aber auch, um supraleitende Quantencomputer zu realisieren.

Nach der Entdeckung der Hochtemperatur-Supraleiter im Jahr 1986 standen diese Materialien lange Zeit im Fokus der WMI-Forschung. Ein wichtiger Beitrag des WMI war hier die Entdeckung des intrinsischen Josephson-Effekts durch Reinhold Kleiner und Paul Müller (1992). Sie zeigten, dass der Josephson-Effekt aufgrund

der Schichtstruktur der Hochtemperatur-Supraleiter eine intrinsische Eigenschaft dieser Materialien ist, die heute gezielt für die Erzeugung von Mikrowellenstrahlung bis in den THz-Bereich genutzt wird.

Nach 2000 wurde am WMI die Technologie für die Herstellung komplexer supraleitender und magnetischer Materialsysteme sowie von Nanostrukturen aufgebaut. Diese Investitionen waren von zentraler Bedeutung für die Grundlagenforschung zu Supraleitung, Magnetismus und festkörperbasierten Quantensystemen sowie für die gleichzeitig begonnenen, anwendungsorientierten Arbeitsgebiete Spintronik und supraleitende Quantenschaltkreise. In der Spintronik nutzt man aus, dass Elektronen neben ihrer Ladung auch einen quantisierten Drehimpuls (Spin) besitzen. Der wohlbekannte Ladungstransport in elektrischen Leitern kann deshalb auch mit einem Spintransport verbunden sein. Heute kann man sogar „reine“ Spinströme erzeugen, die nur den Drehimpuls, aber keine Ladung transportieren. Dieses sehr dynamische Forschungsgebiet gibt Hoffnung für neuartige Bauelemente, die für den Fortschritt in der Informationstechnologie benötigt werden. Auch zu diesem Gebiet hat das WMI mit

zahlreichen Pionierarbeiten beigetragen – von der Entwicklung grundlegender Konzepte für die Realisierung von „Batterien“ und „Messgeräten“ für Spinströme bis zur Entdeckung zentraler Effekte wie dem Spin-Hall-Magnetwiderstand (2013) und dem Spin-Nernst-Effekt (2017).

### Stark wachsendes Forschungsfeld

Ein seit 2000 stark wachsendes Forschungsfeld des WMI betrifft die Herstellung und Charakterisierung von festkörperbasierten Quantensystemen. Das Institut konzentriert sich auf supraleitende und magnetische sowie auf hybride Quantensysteme. Die anfangs rein grundlagenorientierten Forschungsarbeiten haben durch das zunehmende wirtschaftliche Interesse an den Quantentechnologien einen immer stärkeren Anwendungsbezug erhalten. Auch auf diesem Gebiet hat das WMI wichtige Pionierarbeiten geleistet. Zu nennen sind der erste Nachweis von ultrastarker Licht-Materie-Wechselwirkung zwischen einem künstlichen Festkörperatom und einem einzelnen Mikrowellenphoton

**Luis Flacke** (Mitte), Doktorand am WMI, bei der Teamarbeit an einer Ultrahochvakuumkammer (im Hintergrund in Alufolie gewickelt).

(2010) oder die starke Kopplung zwischen den quantisierten Anregungen des Spingitters und Mikrowellenphotonen im Jahr 2013.

Weltweit führend ist das Institut in der Quantenmikrowellentechnologie. Die herausragenden Arbeiten reichen hier von der Entwicklung grundlegender Messtechniken (Zustandstomographie, 2010) über die erste Realisierung von Pfadverschränkung (2012) bis hin zur erstmaligen Implementierung von Quantenkommunikationsprotokollen im Mikrowellenbereich (Präparation eines entfernten Zustands: 2019, Teleportation: 2021). Vor Kurzem hat das WMI ein so genanntes Quantum Local Area Network realisiert, mit dem in Zukunft supraleitende Quantencomputer untereinander vernetzt werden können. Die am WMI geleistete Grundlagenforschung wird auch in diesem Bereich die Basis für zahlreiche Anwendungen bilden.

Das Walther-Meißner-Institut wird das fruchtbare wissenschaftliche Umfeld künftig weiter ausbauen, um helle, motivierte Köpfe zum exzellenten Team hinzuzugewinnen, moderne Themengebiete zu identifizieren und grundlegende Fragestellungen zu beantworten. Die unter dem Dach des Instituts vereinten Forscherinnen und Forscher werden so weiterhin im kompetitiven globalen wissenschaftlichen Umfeld auf höchstem Niveau agieren und zum Renommee des Instituts beitragen.

**„Ich erlebe am WMI eine herausragende Betreuung meiner Doktorarbeit und die Möglichkeit, eigenverantwortlich zu arbeiten.“**



Foto: Kai Neunert

---

### PD Dr. Hans Hübl

ist stellvertretender Direktor des Walther-Meißner-Instituts für Tieftemperaturforschung der BAdW. Er forscht zu Magnetismus, Spinelektronik und hybriden Quantensystemen.

---