



Innenansicht des primären MFFT aus hochreinem Kupfer. Beidseitig des zentralen, mit Federn befestigten Silizium-Chips mit den Detektionsspulen befindet sich jeweils ein Chipträger mit SQUID-Stromsensoren. Sichtbar sind jeweils nur deren Rückseiten.

### Vorteile

- **vollständige und einfache Berechenbarkeit des Thermometers**
- **thermisch robuster Temperatursensor, einfache Integration im Kryostaten**
- **zwei unabhängige Signalkanäle ermöglichen die Anwendung der Kreuzkorrelationsmethode als auch Konsistenzprüfungen**
- **Aufbau mit zwei Positionen für Spulen-Chips in frei wählbaren Abständen zum Temperatursensor, *in situ*-Kalibrierung der SQUID-Gradiometer**

### Ansprechpartner:

Dr. Bernhard Smandek  
Technologietransfer  
Telefon: +49 531 592-8303  
Telefax: +49 531 592-69-8303  
E-Mail: [bernhard.smandek@ptb.de](mailto:bernhard.smandek@ptb.de)

Dr. Alexander Kirste  
Arbeitsgruppe Tieftemperaturskala  
Telefon: +49 30 3481-7741  
E-Mail: [alexander.kirste@ptb.de](mailto:alexander.kirste@ptb.de)



Physikalisch-Technische  
Bundesanstalt  
Bundesallee 100  
D-38116 Braunschweig

[www.technologietransfer.ptb.de](http://www.technologietransfer.ptb.de)

## SQUID-basiertes Rauschthermometer zur Messung thermodynamischer Temperaturen im Tieftemperaturgebiet

Magnetfeld-Fluktuations-Thermometer (MFFT) sind SQUID-basierte Rauschthermometer die bei tiefen Temperaturen (typisch unterhalb von 5 K) eingesetzt werden. Sie detektieren die Fluktuationen des Magnetfeldes an der Oberfläche eines elektrisch leitenden Körpers („Temperatursensor“), die mit den im Inneren fließenden, thermisch angeregten Strömen verknüpft sind. Durch den neuen, **vollständig berechenbaren Sensor ist es erstmals möglich, mit dem pMFFT direkt thermodynamische Temperaturen zu messen, wodurch die sonst nötige Rückführung auf die internationalen Temperaturskalen ITS-90 und PLTS-2000 entfällt.**

Das pMFFT besteht aus vier Hauptkomponenten: (i) einem metallischen Temperatursensor aus hochreinem Kupfer, (ii) zwei planaren, gradiometrischen Detektionsspulen auf einem Si-Chip, die von zwei dc SQUID-Stromsensoren ausgelesen werden (=SQUID-Gradiometer), (iii) einer planaren Kalibrier-spule auf einem Si-Chip, (iv) einer 2-Kanal-SQUID-Elektronik. Der zentrale Bereich des Kupferkörpers im Inneren, über dem sich die Detektionsspulen befinden, bildet den eigentlichen Temperatursensor. Dort wird das thermische magnetische Flussrauschen über zwei unabhängige SQUID-Gradiometer gemessen und unter Verwendung der Kreuzkorrelationsmethode ausgewertet, was alle nicht-thermischen Rauschteile reduziert. Mit bekannter Geometrie und elektrischer Leitfähigkeit des Sensors kann die Temperatur aus den Rauschspektren berechnet werden.

### Wirtschaftliche Bedeutung

Sinnvoll ist der Einsatz des pMFFTs als Referenz-Thermometer bei tiefen Temperaturen (<1 K), insbesondere unterhalb von 10 mK. Es deckt dabei den gesamten Temperaturbereich von mindestens 0,9 mK bis 4,2 K ab. Durch die geringe Messunsicherheit ist es für metrologische Anwendungen geeignet. Das pMFFT trifft auf einen wachsenden Markt von Kryotechnik, basierend z.B. auf trockenen <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He-Mischkryostaten mit vielfältigen Anwendungen (z.B. Strahlungs- und Teilchendetektoren, Quantencomputer, Grundlagenforschung).

### Entwicklungsstand

pMFFTs der aktuellen, ersten Version sind im Betrieb und werden weiterhin erprobt. Weiterentwicklungen zur Reduzierung der relativen Messunsicherheit sind geplant.

Unter der Nummer DE 10 2014 011 670 B3 wurde ein Patent erteilt. Lizenzen für die Nutzung dieser neuen Methode sind verfügbar.