

Technische Ausstattung

a) Magnetische Schirmungen:

- Im Jahr 2004 wurde der aktiv und passiv magnetisch geschirmte Raum **BMSR-2** in Betrieb genommen. Der Raum besitzt 7 Mu-Metall-Lagen und eine zusätzliche RF und Wirbelstrom Schirmung. Weiterhin sind 6 Kompensationsspulen installiert. Die erreichte magnetische Schirmung (Schirmfaktor 10^7 bei $f > 0.01$ Hz) ist einmalig.
- 2011 wurde ein 3 lagiger Abschirmraum (**Zuse-MSR**) aufgebaut, der ein residuales statisches Magnetfeld von weniger als 2nT aufweist.
- Seit 2000 ist ein weiterer 3 lagiger magnetsicher Abschirmraum (**Akustisch geschirmter MSR**) zum Betrieb eines kommerziellen 128-Kanal-SQUID MEG Systems installiert.
- Zwei supraleitende magnetische Schilde mit einer Warmbohrung von 20 mm bzw. 110 mm Durchmesser sind ebenfalls in Betrieb.

b) SQUID Systeme:

- Ein **304 SQUID Vektor-Magnetometer-System** wurde an der PTB entwickelt. Ein 64 Kanal-EEG-System kann für simultane EEG-Messungen eingesetzt werden. Das SQUID-System hat eine Frequenzweite von DC-10 kHz und ein Rauschniveau von etwa $2.3 \text{ fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ bei 1 kHz. Die SQUID Sensoren der unteren Ebene haben einen Abstand zur Kopfoberfläche von minimal 25 mm.
- In der akustisch geschirmten MSR wird ein **128-Kanal-SQUID Ganzkopf-MEG-System** (Eagle Technologies, Japan) mit einem Rauschniveau von etwa $3 \text{ fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ bei 1 kHz im Frequenzbereich von DC – 1 kHz gebutzt.
- **CUBE-II** ist ein 6-Kanal-SQUID-System zur Charakterisierung von magnetisch geschirmten Räumen.
- Ein **robustes 18-Kanal-SQUID-System** besitzt 16 Pickup-Spulen (17.1 mm Durchmesser) bilden ein reguläres Gittes mit Sensoren sensitiv in alle 3 Raumrichtungen. Zwei große hexagonale Pickup-Spulen mit 74.5 mm effektive Durchmesser in zwei Ebenen sind designend für die Detektion von tiefen magnetischen Quellen. Die Sensoren sind sehr robust bei der Anwendung von Polarisationsfeldern bis zu 50 mT. Das ermöglicht den Einsatz dieses Systems für ultra-niedrige NMR bzw. Magnetorelaxometrie. Das Rauschniveau der kleinen Magnetometer ist zwischen $0.85 \text{ fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ und $1.5 \text{ fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ und deutlich kleiner als $1 \text{ fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ für die großen Magnetometer.
- Ein **6 und ein 18-Kanal-SQUID-System** mit integriertem supraleitenden Schild zur Bildgebung von magnetischen Nanopartikel-Verteilungen durch Magnetoraxometrie. Der kleinste Abstand zwischen den SQUID-Sensoren und der Probe beträgt etwa 14 mm bzw. 20 mm.
- **Ultraempfindliches Einkanal-SQUID-System** für ULF-NMR und MEG. Dieses SQUID-System basiert auf einer gradiometrischen Aufnahmespule, die induktiv mit einem Stromsensor SQUID gekoppelt ist und einen Rauschpegel von $500 \text{ aT}/\sqrt{\text{Hz}}$ aufweist. Der minimale Abstand zwischen der Probe und der Pickup-Spule beträgt etwa 11 mm. Ein Strombegrenzer ermöglicht die Verwendung von Polarisationsfeldern bis zu 50 mT.
- **3-Kanal-SQUID-System** für ULF-NMR mit einem Larmor-Frequenzbereich von 4 Hz - 8 kHz. Es hat einen Abstand zwischen dem niedrigsten SQUID-Sensor und der Probe von nur 7 mm. Das Rauschniveau liegt bei $3 \text{ fT}/\sqrt{\text{Hz}}$.

c) Geräte zur Charakterisierung von magnetischen Nanopartikeln:

- Magnetic Property Measurement System (**MPMS-XL**, Quantum design, San Diego) Kommerzielles Gerät zur Charakterisierung von magnetischen Nanopartikel-Suspensionen und Pulverproben (Strukturparameter, Aggregation und Bindungsverhalten) im Frequenzbereich (DC ... 1 kHz), im Temperaturbereich von (2 K ... 400 K) und im Feldbereich von (+/- 5 T).
- Magnetischer Partikelspektroskop (**MPS-3**, Bruker BioSpin) zur spezifischen Quantifizierung von magnetischen Nanopartikel-Suspensionen oder Pulverproben durch nichtlineare dynamische magnetische Suszeptibilität bei 25 kHz mit Amplituden bis zu 25 mT.
- **Dynamic Light Scattering** (Malvern) zur Bestimmung der hydrodynamischen Größenverteilung und des Zetapotentials von magnetischen Nanopartikelsuspensionen.
- **Magnetorelaxometrie-Bilgebung** (mit den 304-, 6- oder 18-Kanal SQUID-Systemen). Lokalisierung und Quantifizierung von magnetischen Nanopartikelverteilungen in ausgedehnten Proben bis zu 50 cm Durchmesser mittels Magnetoraxometrie.
- **Spektroskopische Magnetoraxometrie** (unter Verwendung eines Einkanal-SQUID-Systems) zur Charakterisierung der magnetischen Relaxation von magnetischen Nanopartikeln nach Entfernung eines mäßigen Magnetfeldes von etwa 2 mT. Aus diesen Messungen wird die Energiebarriereverteilung erreicht und das Verhalten von magnetischen Nanopartikeln in biologischen Systemen wie Zellen, Blut, Gewebe analysiert und quantifiziert.
- **Asymmetrische Flow-Field-Flow-Plattform** (Postnova Analytics) zur Trennung von magnetischen Nanopartikel-Systemen nach ihren hydrodynamischen Durchmessern und größenabhängiger Strukturanalyse durch statische und dynamische Lichtstreuung, UV- und magnetische Detektoren.
- **NMR-Relaxometrie** (Bruker minispecs mq20 und mq60) zur Bestimmung der T1- und T2-Protonen-Relaxationszeiten. Zusätzlich kann eine Gradienteneinheit für die 2D-Bildgebung verwendet werden, um die Homogenität von MNP zu bestimmen, die in einer Matrix eingebettet ist.
- **Photometrie** (Phenanthrolin-Protokoll) zur Bestimmung der Eisenkonzentration oder Menge der magnetischen Nanopartikel-Suspension oder Pulverproben Dieser Wert ist nützlich, um viele der Partikelparameter zu normalisieren, die durch Charakterisierungsmessungen erhalten wurden.