



Donnelly, C., Heyderman, L. J., Gliga, S. and Guizar-Sicairos, M. (2017) Röntgenblick für Magnete. *Physik in unserer Zeit*, 48(6), pp. 266-267.

There may be differences between this version and the published version. You are advised to consult the publisher's version if you wish to cite from it.

Donnelly, C., Heyderman, L. J., Gliga, S. and Guizar-Sicairos, M. (2017) Röntgenblick für Magnete. *Physik in unserer Zeit*, 48(6), pp. 266-267. (doi:[10.1002/piuz.201770604](https://doi.org/10.1002/piuz.201770604)) This article may be used for non-commercial purposes in accordance with [Wiley Terms and Conditions for Self-Archiving](#).

<http://eprints.gla.ac.uk/151135/>

Deposited on: 07 November 2017

FESTKÖRPERPHYSIK

Röntgenblick für Magneten

Wirbel und Wände – das Innere eines Magneten ist komplexer als es den Anschein hat. Mit Hilfe von Röntgenstrahlen ist es unserer Gruppe aus Forschern vom Paul Scherrer Institut, der ETH Zürich und der Universität Glasgow gelungen, die magnetische Struktur mikrometergroßer Proben mit bisher unerreichter Auflösung abzubilden.

Die innere Struktur magnetischer Materialien wird bestimmt durch die Ausrichtung der lokalen Magnetisierungsvektoren. In einem magnetischen Feld richten sich diese parallel aus; es sind aber auch komplexere Konfigurationen wie Domänenwände und Wirbel möglich. Obwohl diese räumlichen Verwerfungen das Verhalten von Magneten in technischen Anwendungen etwa in Motoren, zur Energiegewinnung oder der Datenspeicherung entscheidend beeinflussen, waren die Möglichkeiten zur Abbildung solcher dreidimensionalen magnetischen Strukturen bislang begrenzt. Bisherige Messmethoden beschränken sich auf die Untersuchung dünner Schichten (Tomographie mit Elektronen oder weichen Röntgenstrahlen) oder liefern nur eine grobe räumliche Auflösung (Neutronentomographie).

Um die lokale Magnetisierung auch in beliebig geformten mikrometergroßen Proben zu bestimmen, haben wir ein Verfahren für magnetische Nanotomographie entwickelt. Dazu benutzen wir energiereiche Röntgenstrahlung (etwa 10 keV, was einer Wellenlänge von 1.2 Å entspricht), die auch dickere Materialien leicht durchdringt und eine detaillierte Untersuchung dreidimensionaler Strukturen erlaubt [1]. Einen weiteren entscheidenden Baustein unserer Messmethode stellen die Eigenschaften moderner Synchrotronquellen dar: Diese liefern intensives Röntgenlicht mit definierter Energie und Polarisierung, mit dem die Probe durchleuchtet wird.

Das gemessene Streubild enthält Informationen über die lokale Magnetisierung entlang der Blickrichtung. Um die magnetische Struktur innerhalb der Probe zu bestimmen, werden viele Beugungsbilder aus verschiedenen Blickwinkeln gemessen. Da die Messungen nur auf eine Magnetisierungsrichtung empfindlich sind, muss die Probe um mindestens zwei Rotationsachsen gedreht werden, um die gesamte dreidimensionale lokale Magnetisierung zu bestimmen (Abbildung 1). Aus den gewonnenen Daten lässt sich dann mit Hilfe eines von uns entwickelten Rekonstruktions-Algorithmus das dreidimensionale magnetische Vektorfeld im Material ermitteln.

Um die Funktionsfähigkeit der Methode zu demonstrieren, untersuchten wir einen GdCo₂-Zylinder mit 5 µm Durchmesser (dies entspricht etwa der Dicke von Spinnenseide). GdCo₂ ist ein weiches, magnetisches Material, in dem sich der lokale Magnetisierungsvektor graduell ändert. Die Nanotomographie führten wir an der cSAXS-Strahllinie der Swiss Light Source (Paul Scherrer Institut, Schweiz) durch, womit wir eine Auflösung von etwa 100 nm erreichten [2].

Aus den Ergebnissen lässt sich die magnetische Ordnung in beliebigen Schnittebenen darstellen (Abbildung 2). Dabei finden sich interessante Strukturen: Ein Beispiel sind Wirbel, in denen sich die Magnetisierung um einen zentralen Kern windet. Diese Wirbel haben eine topologische Kennzahl und können daher nur zusammen mit ihren Gegenstücken auftreten – auch diese haben wir in unseren Messungen eindeutig nachgewiesen.

Weiterhin finden wir Domänenwände, die Regionen von konstanter, aber entgegengesetzter Magnetisierung trennen. Dort, wo sich magnetische Wirbel und Domänenwände durchdringen, bilden sich noch komplexere Konfigurationen, sogenannte Bloch-Punkte. Sie beschreiben eine magnetische Singularität, in denen die lokale Magnetisierung verschwindet. Solche Strukturen wurden vor fünfzig Jahren vorhergesagt, aber erst unsere Messungen konnten die magnetische Anordnung in ihrer Umgebung bestimmen.

Die Bestimmung der räumlich aufgelösten Magnetisierung ist nicht nur für das fundamentale Verständnis von magnetischen Materialien relevant. Die von uns entwickelte Nanotomographie ermöglicht es, das Verhalten von Magneten in technischen Anwendungen zu verstehen und ihre Konstruktion und Effizienz zu verbessern.

Literatur

[1] M. Holler et al., Nature **2017**, 543, 402.

[2] C. Donnelly et al., Nature **2017**, 547, 328.

Claire Donnelly, Sebastian Gliga, Manuel Guizar-Sicairos, Laura J. Heyderman, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz

Übertragung ins Deutsche: Naëmi Leo

ABB. 1 | MAGNETISCHE NANOTOMOGRAPHIE

Die magnetische Probe (Bildmitte) wird mit kohärenten, zirkular polarisierten Röntgenstrahlen durchleuchtet und das Streubild gemessen (rechts). Um die räumlich aufgelöste Magnetisierung zu bestimmen, wird die Probe um verschiedene Achsen gedreht (nach [2]).

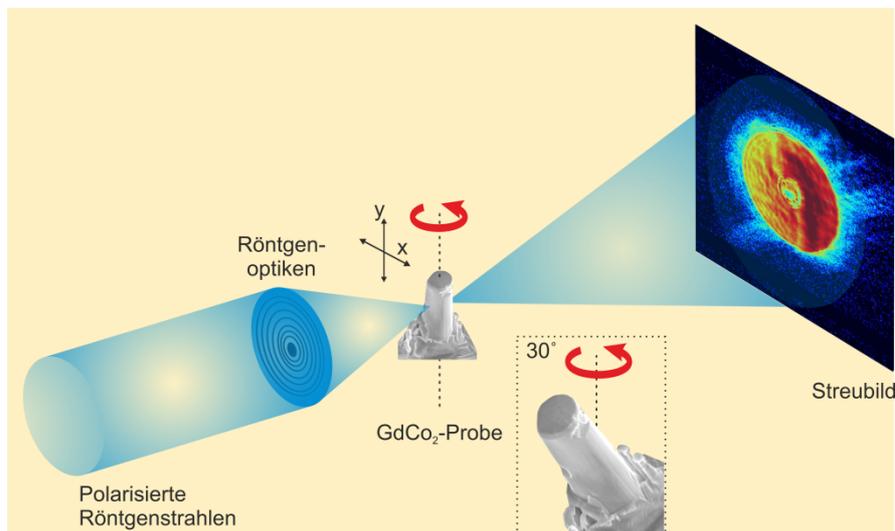


ABB. 2 | MAGNETISCHE STRUKTUREN IN FERRIMAGNETISCHEM GdCo₂

Links: Querschnitt durch die GdCo₂-Probe. Pfeile zeigen die Richtung der lokalen Magnetisierung, Vektoren nach oben (unten) sind orange (blau) gefärbt. Rechts, von oben nach unten: Zweidimensionale magnetische Wirbel, deren topologisches Gegenstück sowie die dreidimensionale magnetische Struktur eines Bloch-Punktes (nach [2]).

