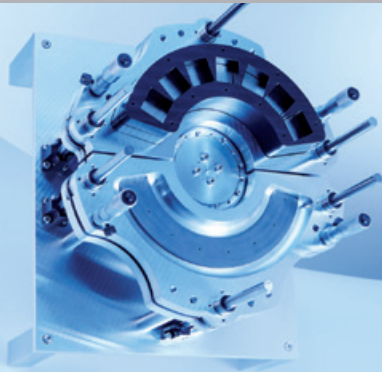
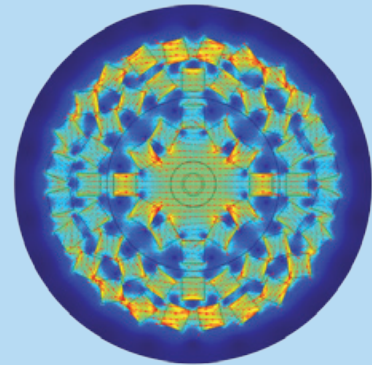




1



2



- 1 *Magnetsystem für bewegliche Proben.*
- 2 *Simulierte Magnetfeldverteilung für einen dreifachen Halbach-Ring.*

## PERMANENT-MAGNETSYSTEME DESIGN, SIMULATION UND AUFBAU

Magnetfelder können grundsätzlich durch Elektro- oder Permanentmagnet-Systeme generiert werden. Permanentmagnete haben einige Vorteile gegenüber Elektromagneten: Sie funktionieren ohne Strom und kommen ohne aufwändige Kühlung aus. Permanentmagnete auf Basis neuartiger Materialien sind seit einigen Jahren am Markt erhältlich und werden in einer immer größeren Anzahl von Anwendungen genutzt. So sind Dauermagnete bereits heute in permanenterregten Synchronmotoren in Elektro-Automobilen etabliert. Auch in der Labormesstechnik werden Permanent-Magnetsysteme verwendet, um Materialien im Magnetfeld zu charakterisieren. Ein mögliches Anwendungsfeld ist die NMR-Spektroskopie, die besonders bei der Untersuchung großer Moleküle starke Magnetfelder erfordert. Üblicherweise werden dafür teure und empfindliche supraleitende Magnete eingesetzt. Für Magnetfelder bis zu 2T könnten hier perspektivisch Permanentmagnete aus zeitgemäßen Ma-

terialien eingesetzt werden, um leichte und portable Analysegeräte zu ermöglichen.

---

### Anwendungsspezifischer Aufbau von Magnetsystemen

---

Magnetfelder einer definierten Stärke und Ausrichtung lassen sich mit individuellen Anordnungen von Permanentmagneten erzeugen. Eine der wesentlichen Herausforderungen beim Entwurf und Bau solcher Magnetsysteme ist es, ein möglichst hohes Feld mit möglichst wenig magnetischem Material zu erzeugen, denn das Material ist in der Regel der größte Kostenfaktor eines Magnetsystems. Fraunhofer IPM konstruiert Magnetsysteme, die auf kundenspezifische Anwendungen abgestimmt sind. Wissenschaftler am Institut sind spezialisiert auf Konzeption und Aufbau von Permanentmagnet-Systemen für die kältemittelfreie Kühlung mithilfe magnetokalorischer Materialien. Diese könnte in Zukunft eine

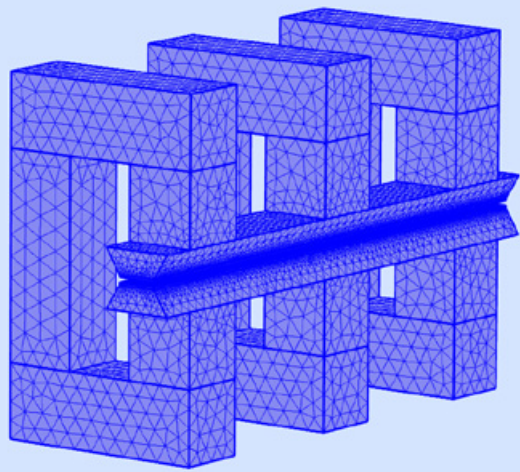
#### Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Heidenhofstraße 8  
79110 Freiburg

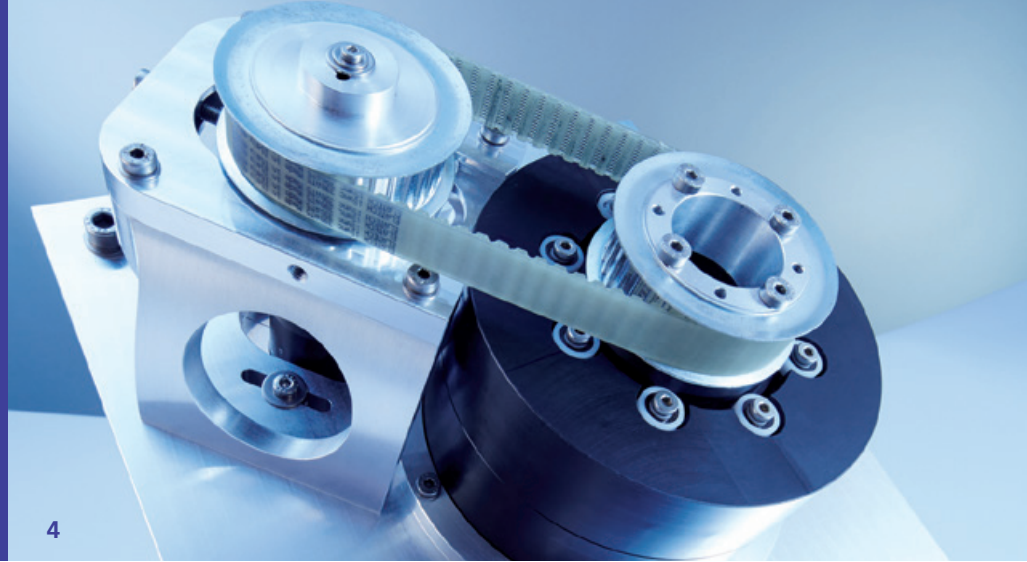
#### Ansprechpartner

Dr. Kilian Bartholomé  
Stellv. Abteilungsleiter, Gruppenleiter  
Kalorik und Thermoelektrik  
Telefon +49 761 8857-238  
kilian.bartholome@ipm.fraunhofer.de

[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)



3



4

Alternative zur klassischen kompressorbasierten Kühlung sein. Bei der magnetokalorischen Kühlung regen Permanentmagnete das magnetokalorische Material an.

### Berechnung komplexer Magnetfelder

Beim Aufbau solcher Systeme werden Simulationen mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) durchgeführt, um Größe, Ausrichtung und Ort des Magnetfelds vorherzusagen. Auch Verluste durch Streufelder können berechnet und damit minimiert werden, indem das Feld durch weichmagnetische Materialien geführt wird. Auf Basis der Simulationsergebnisse wird das optimale Design des Magnetsystems entwickelt. Dies beinhaltet nicht nur die Einzelmagnete, sondern gegebenenfalls auch den Einsatz eines Eisenjochs oder von Polschuhen. Es können auch verschiedene Materialklassen sowie besondere Anforderungen an den Bauraum betrachtet werden.

### Halbach-Arrays für durchstimmbare Magnetfelder

Permanentmagnete können nicht nur verwendet werden, um ein Magnetfeld einer bestimmten Größe zu erzeugen. Die Anordnung von Dauermagneten in Halbach-Arrays ermöglicht auch das Durchstimmen eines Magnetfelds, also z. B. die Variation zwischen Null und einem endlichen Magnetfeld. Fraunhofer IPM konstruiert Anordnungen von Einzelmagneten in Doppel- oder Dreifach-Halbach-Arrays mit komplexen Halterungssystemen und besonders stabilen nichtmagnetischen Werkstoffen. So wurde am Institut ein Halbachsystem konstruiert und gebaut, das die Variation der Feldstärke zwischen 0,1 und 0,5T erlaubt. Um das Durchstimmen des Feldes zu ermöglichen, muss eine bestimmte Anzahl der Einzelmagnete ihre Position verändern können. Im Fraunhofer IPM-Halbach-System ist die Ansteuerung für die beweglichen Einzelmagneten bereits integriert.

3 Geometrie eines Jochsystems im FEM-Modell.

4 Realisiertes Magnetsystem mit integriertem Halbachring für eine durchstimmbare Feldstärke.

### Unser Angebot

- Design von Permanentmagnetsystemen mithilfe von Finite-Elemente-Simulationen (z. B. Halbach-Ringe)
- Konstruktion von Magnetsystemen inkl. Feldführung durch weichmagnetische Materialien und Ansteuerung schaltbarer Magneteile
- Anordnung und Bau von Magnetsystemen

### Anwendungen für Systeme aus Permanentmagneten

- Magnetische Kühlung auf Basis magnetokalorischer Materialien: kältemittelfreies Kühlen
- Laborsysteme zur Charakterisierung von Materialien im Magnetfeld
- Systeme zur Aufprägung eines Magnetfelds während der Herstellung funktioneller Materialien: z. B. für Heißpresse oder Metallpulverspritzguss
- Halbach-Array für durchstimmbare Magnetfelder