

# Ortsaufgelöste Vektor-Magnetometrie

Promotion und TransMet-Projekt:

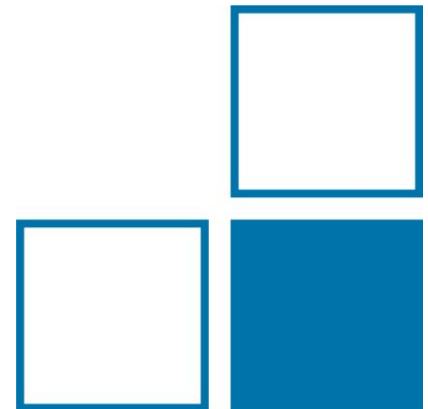
„Rückführbare Kalibriereinrichtung für Vektor-Magnetometer“

Betreuung: Prof. Dr. Schilling

Industriepartner: Matesy GmbH (Jena)

Nicolas Rott

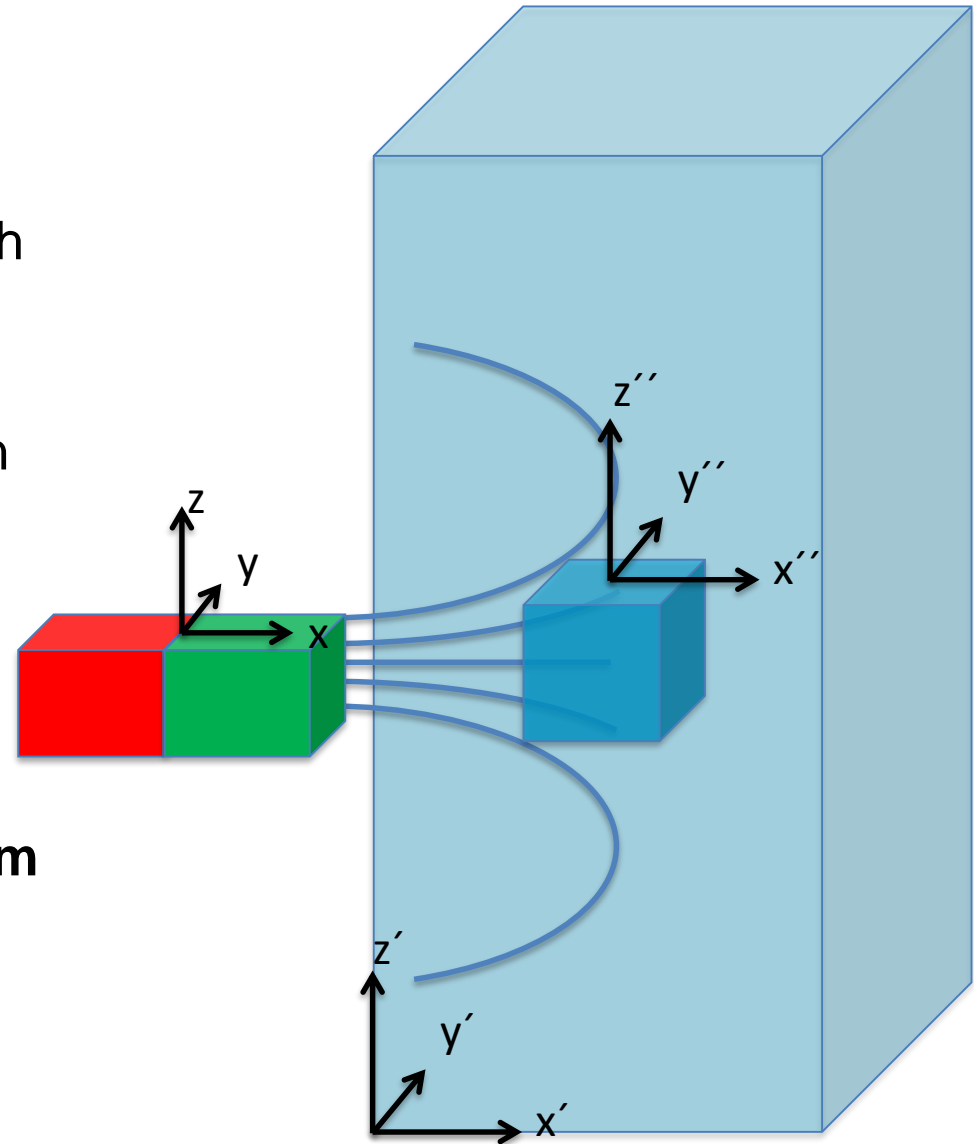
AG 2.51 Magnetische Messtechnik



- Einleitung
- Sensoren und Sensorkonzept
- Bestimmung der Sensorausrichtung
- Bestimmung der Sensorposition
- Kalibriersysteme
- Fazit

# Einleitung: orts aufgelöste Feldmessung

- hypothetische Feldverteilung im Koordinatensystem  $(x,y,z)$
- Sensor wird in einem Raster durch das Messvolumen bewegt: Koordinatensystem  $(x,y,z)'$
- Sensor misst  $\bar{B}$  in seinem eigenen Koordinatensystem  $(x,y,z)''$



**Ziel:**  
 Die Messung in  $(x,y,z)''$  in Beziehung setzen zu einem orthonormalen Koordinatensystem  $(x,y,z)$

**-> rückführbare Messung eines Vektor-Magnetometers**

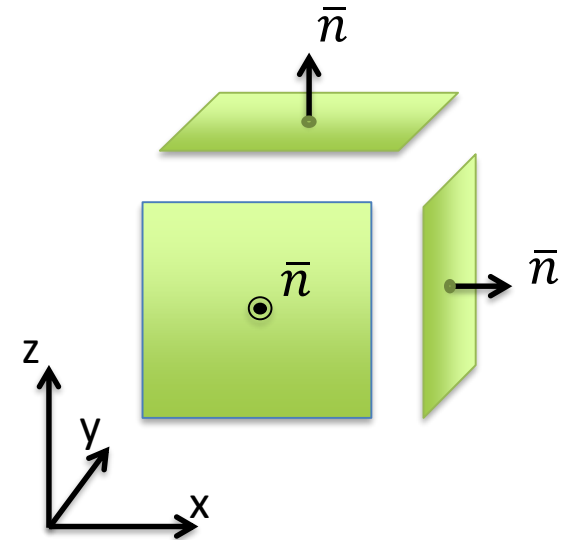
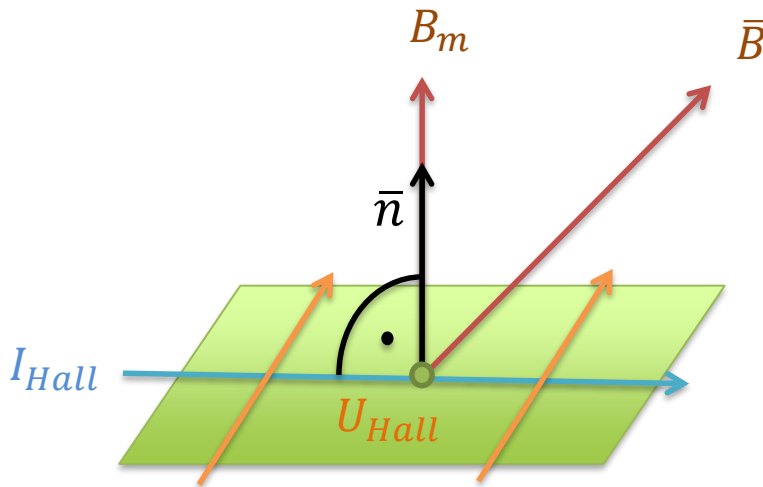
## skalare Sensoren:

- Kernspinresonanz  
Präzession des Kernspins, z.B. des geschirmten Protons in  $\text{H}_2\text{O}$  mit dem gyromagnetischen Verhältnis  $\gamma_p$
- Elektronenspinresonanz  
nutzt den Zeeman-Effekt in Alkalimetallen, hohe Empfindlichkeit, klein

## Richtungsabhängige Sensoren (messen die Projektion auf ihre empfindliche Achse):

- Hall
- Fluxgate
- SQUID
- Magnetoresistiv (AMR, GMR, TMR, ...)
- ...

$$\frac{U_{Hall}}{I_{Hall}} \propto B_m = \bar{n} \cdot \bar{B} \quad (\text{für homogenes } \bar{B})$$

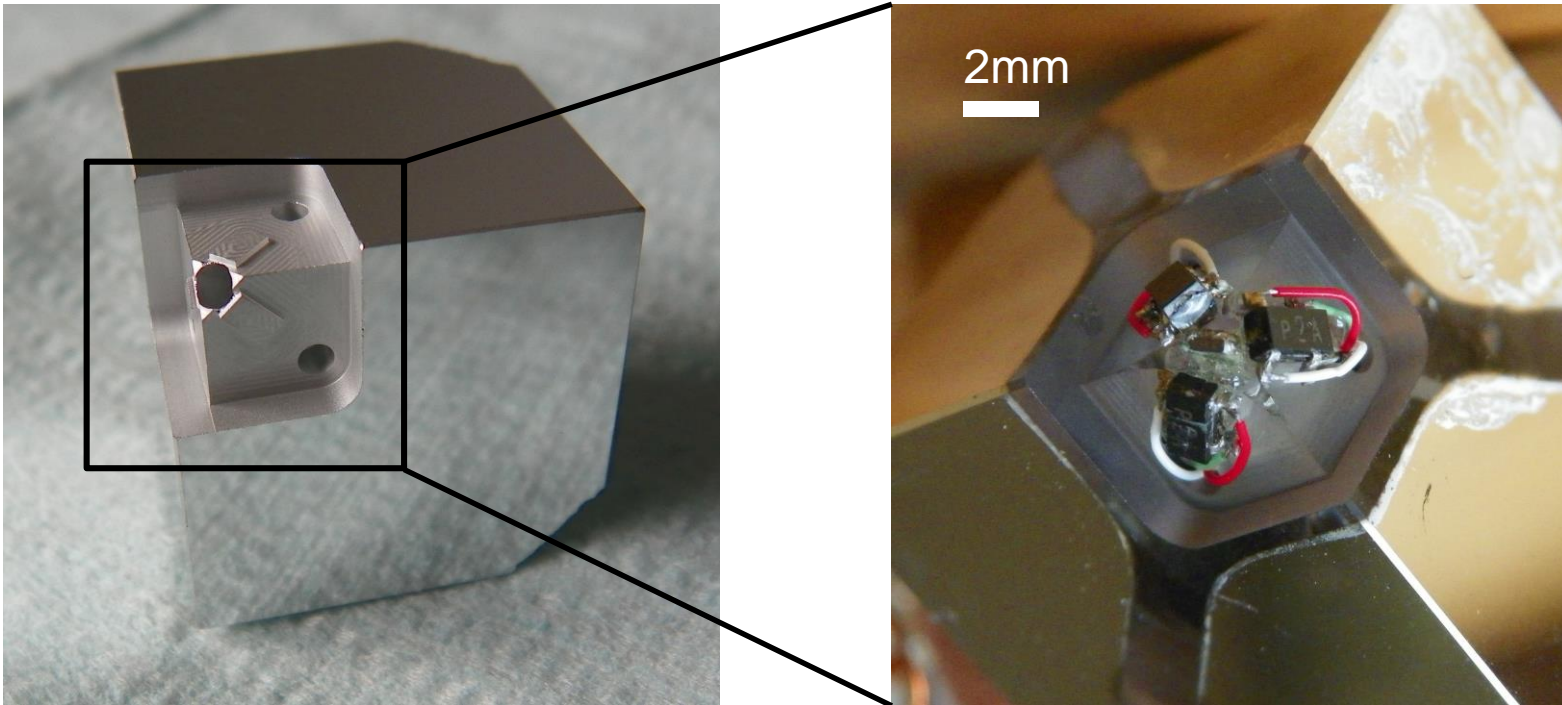


- Messbereich: 1 mT to 10 T
- Unsicherheit: etwa 100 ppm
- Temperatureinfluss: ca. 1‰ / K
- Größe der aktiven Fläche: 70 μm
- keine Hysterese

- Positionen der aktiven Zentren in  $(x, y, z)$
- Abweichung Hallflächennormale  $\bar{n}(\varphi, \theta)$  von der Orthogonalität

# Optisch referenzierbarer Sensorkörper

- Würfel 20 mm Kantenlänge
- Rauheit < 100 nm
- Orthogonalitätsfehler < 0,003 °



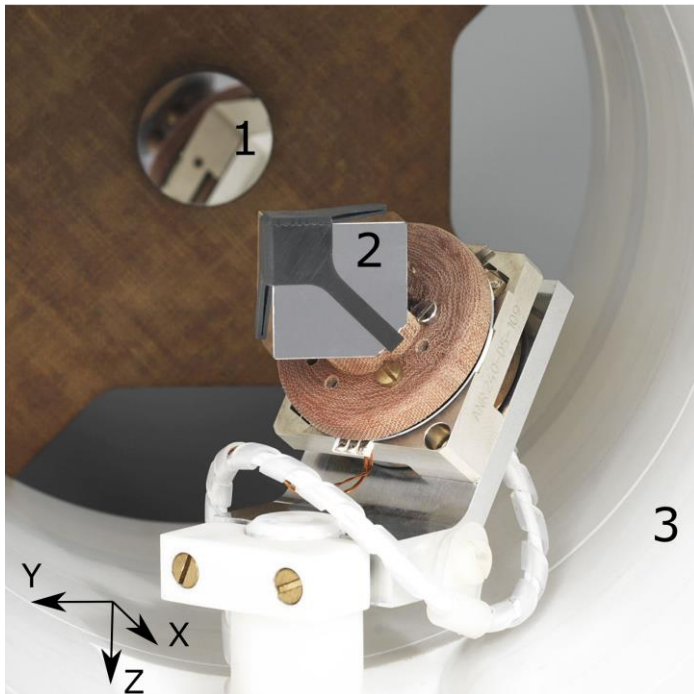
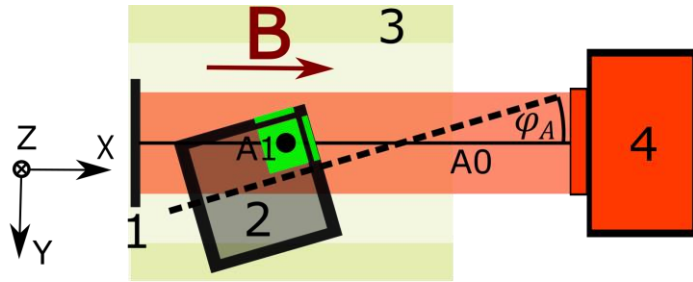
## Neuer Ansatz:

Direkte Position- und Orientierungsbestimmung der aktiven Chipflächen



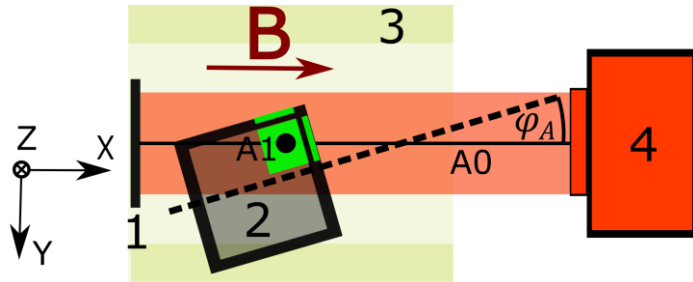
- Kompensations-Wicklungen
- Feldspule mit Sensor im inneren
- Autokollimator (für Winkelmessungen an den Spiegelflächen)

# Bestimmung der Sensorausrichtung I



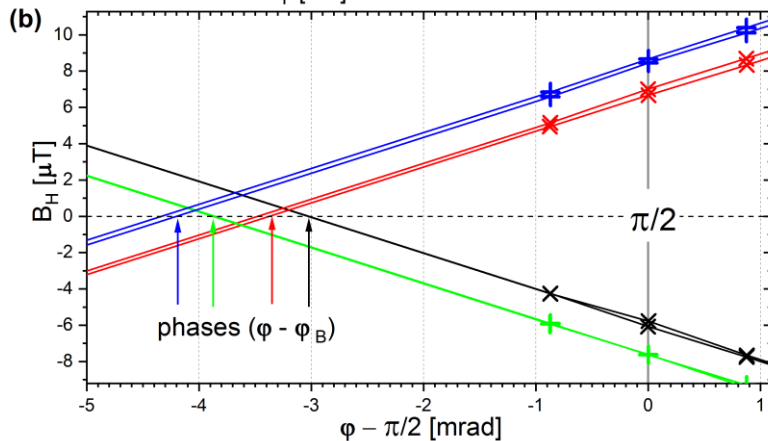
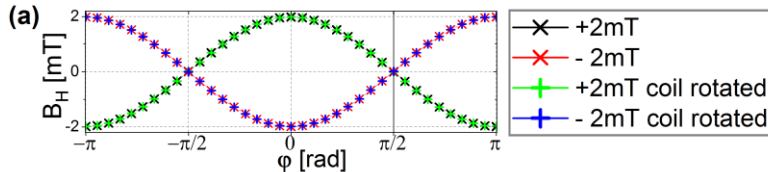
- Sensor in der Spule (mit Spiegel)
- Würfelflächen innerhalb der Strahlbreite des Autokollimators  
-> Winkelmessung ( $\varphi, \theta$ ) in Bezug auf die optische Achse  $A_0$
- Drehung um die Achse  $A_1$ ,  
Winkelmessung encoder + optisch
- Eine zweite Drehachse in der Raumdiagonale des Würfels permutiert die Flächen/Sensoren (permutiert  $\varphi$  vs  $\theta$ )
- ✓ Optisch referenzierte Messung von Würfelflächen in Bezug auf das externe System  
-> *Nun müssen wir die noch die Sensororientierung in Bezug auf den Sensorwürfel bestimmen!*

# Bestimmung der Sensorausrichtung II



$$B_H \sim \cos(\underbrace{\varphi - \varphi_H - \varphi_B}) B_{xy}$$

*Phase zwischen Feld und optischem Winkel*



- $\varphi_H$  Winkel zwischen Hallflächen-normale und optischer Fläche
- $\varphi_B$  Winkel zwischen optischer Achse und Spulenfeld /Hintergrundfeld
- $\varphi_B$  kann durch ein Schema der Feldumkehr und der Spulenrotation eliminiert werden.
- ✓ Die Orientierung aller Sensornormalen in Bezug auf den Würfel wurde ermittelt.

Autokollimator+ Spule (Spiegel)  $\leftrightarrow$  Glaswürfel  $\leftrightarrow$  Hallelemente  
 Unsicherheit (k=2) kleiner  $130\mu\text{rad} \sim 0.0075^\circ$

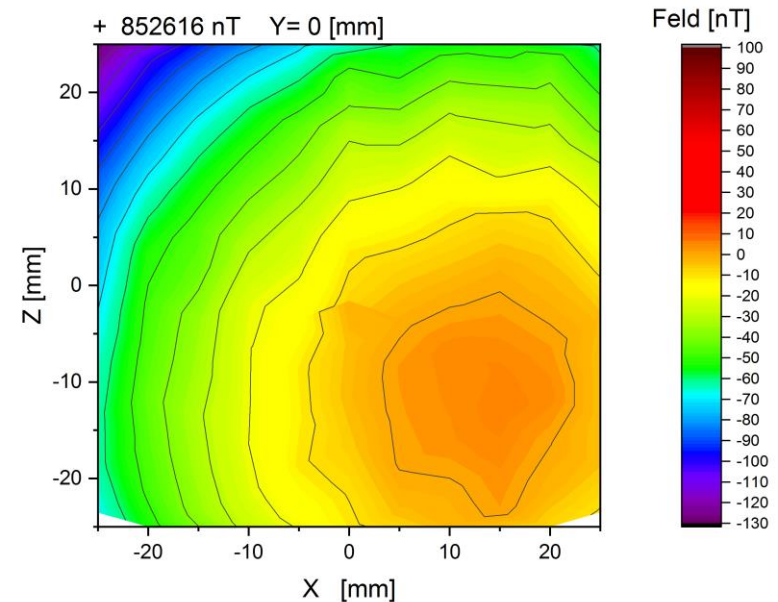


## “nicht-magnetische” XYZ Positioniereinheit:

- Verfahrweg 50 mm in allen Achsen
- interne Positionsbestimmung über Glasmaßstäbe mit  $1.2 \mu\text{m}$  Positioniergenauigkeit
- Validierung des Gesamtsystems durch Abt. 5

## Beispiel:

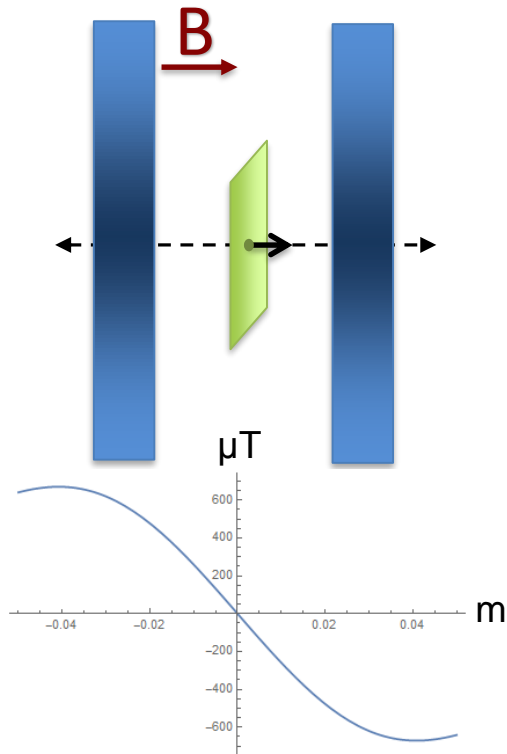
Homogener Bereich  
einer 1m-Helmholtz-  
Spule:  
geometrisches vs.  
magnetisches  
Zentrum



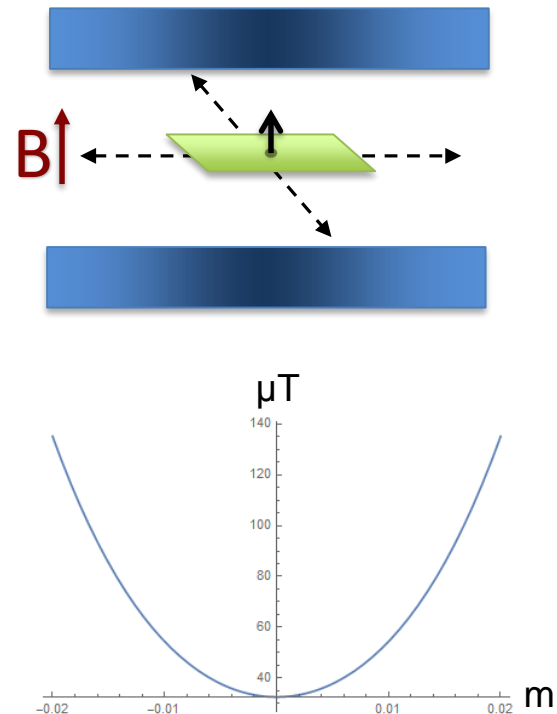
# Bestimmung der Sensorposition

Für die Positionsbestimmung werden inhomogene Felder benötigt, welche durch spezielle Spulensysteme erzeugt werden:

Gradientenfeld (axial) für die Position in Richtung der empfindlichen Achse

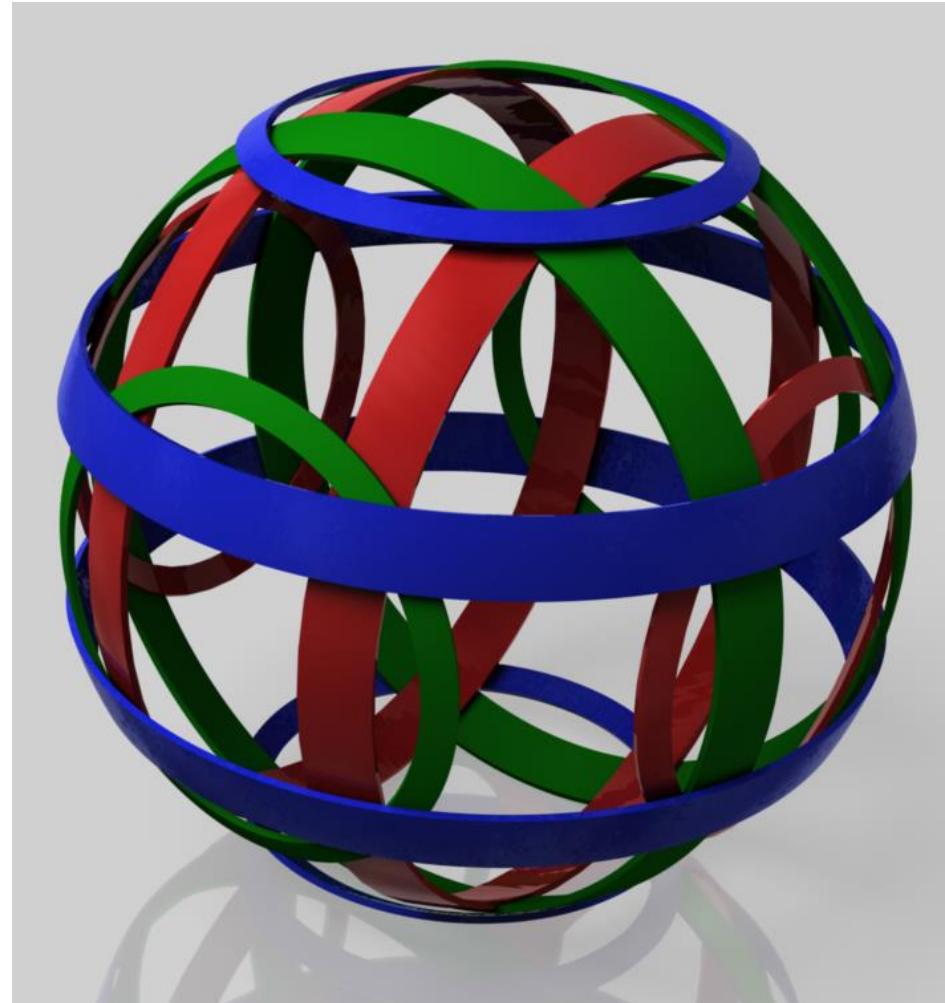
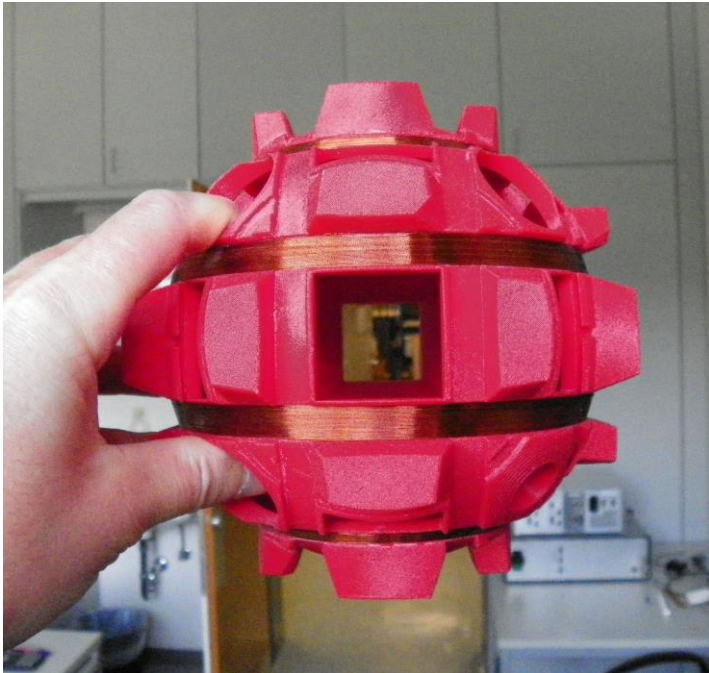


Inhomogenes Feld (radial) für Positionen senkrecht zur empfindlichen Achse



## Dreiaxsiges Spulensystem optimiert für den Betrieb als:

- Homogenes Feld
- Gradientenfeld axial
- Radiale Inhomogenität



- Entwicklung eines 3D-Sensors mit eigener optischer Referenz
- Sensorausrichtung mit Unsicherheit unter  $0,0075^\circ$ .
- Konzept für Positionsmessungen

## Ausblick:

- Vermessung der aktiven Bereiche direkt auf den Hall-Chips
- Rückführbare Positions- und Längenmessungen (Koordinatenmesstechnik)
- Konstruktion und Qualifizierung einer Kalibrierspule

**Danke für Ihre Aufmerksamkeit**

