

Magnettechnik kompakt

Aktuelle Anwendungen und Technologien mit Dauermagneten

12/2023

Robuste Winkelmessung mit einer In Shaft-Lösung

Bei dem immer häufiger eingesetzten nachhaltigen Energieträger Strom in vielen automobilen und industriellen Anwendungen werden Lösungen benötigt, die gegen Störfelder immun sind. Die benötigten Genauigkeiten magnetischer Winkelmesssysteme erfordern eine hohe Homogenität des Magnetfelds. Magnetfabrik Bonn hat für diese Anforderungen einen Ringmagnet mit einer auf dem Halbach¹-Prinzip basierenden Magnetisierung und ein Messgerät zur schnellen Inline-Evaluierung der Feldhomogenität entwickelt.

Der Messaufbau ist in eine Stahlwelle (In Shaft) eingesetzt. Damit ist er robust gegenüber Stör- beziehungsweise Streufeldern und erfordert keine Differenzialmessung.

Der Magnet wird im Spritzgussverfahren aus einem kunststoffgebundenen Hartferrit hergestellt und ist damit sehr kostengünstig.

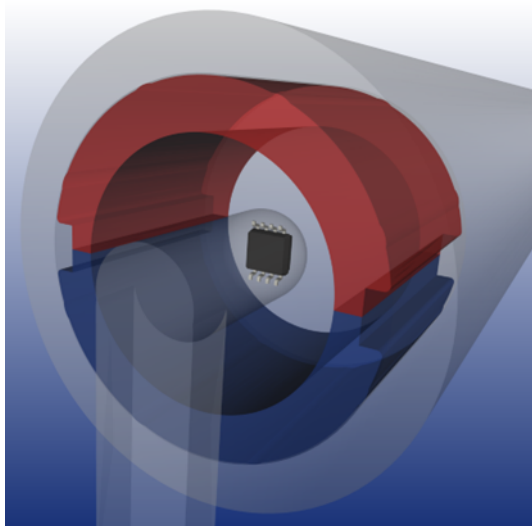


Abbildung 1: Welle – Magnet – Sensor

Die große Homogenität erlaubt höhere Montage- und dynamische Toleranzen/Vibration.

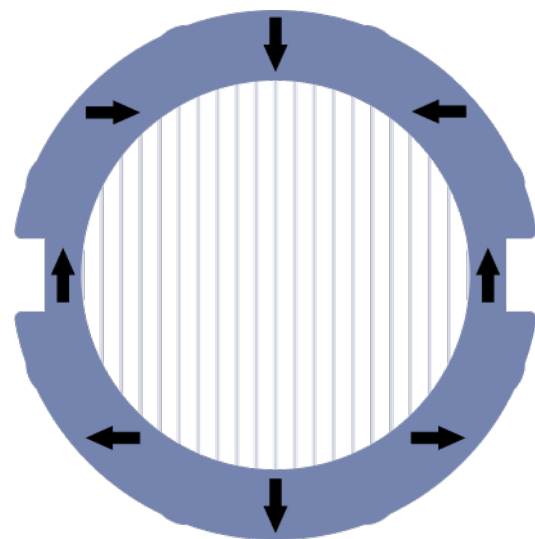


Abbildung 2: Halbach-Prinzip

Magnetfabrik Bonn kann drei Varianten aus Versuchswerkzeugen in kleinen Mengen für Versuche und Evaluierungen zur Verfügung

¹ Benannt nach Klaus Halbach, deutscher Physiker, 1925–2000.

stellen. Die Eigenschaften der drei Systeme sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst und können zur Bewertung der besten Lösung für Ihre Anwendung herangezogen werden.

Typ	$D_a^{(a)}$	$D_i^{(a)}$	$h^{(a)}$	$B_v^{(b)}$	$\varphi^{(c)}$
klein	14,7	10	15	$68 \pm 5 \%$	$< 0,35^\circ$
mittel	16,8	12,5	15	$57 \pm 5 \%$	$< 0,2^\circ$
groß	21,8	16	16	$54 \pm 5 \%$	$< 0,15^\circ$
^(a) Maße in [mm]					
^(b) Flussdichte in [mT] in diametraler Richtung					
^(c) Winkelfehler bei $r < 1$ mm					
→ siehe auch „Details“					

Tabelle 1: Varianten aus Versuchswerkzeugen

Die Details:

Die Winkelmessung in einem homogenen Magnetfeld erlaubt größere Montagetoleranzen und ist robust gegen dynamische Toleranzen. Das System ist geeignet für magnetoresistive als auch Hall²-Sensoren.

Homogene Magnetfelder können durch unterschiedliche ringförmige Magnetanordnungen um das Sensorelement erzeugt werden. Diametrale magnetisierte Ringe haben den Nachteil, dass die Homogenität des Feldes durch die Anwesenheit magnetisierbarer Komponenten in der Umgebung beeinflusst werden kann.

Halbach-Konfigurationen erzeugen dagegen einen geschlossenen Feldverlauf um den Sensorbereich ohne Streufelder außerhalb des Erfassungsbereichs.

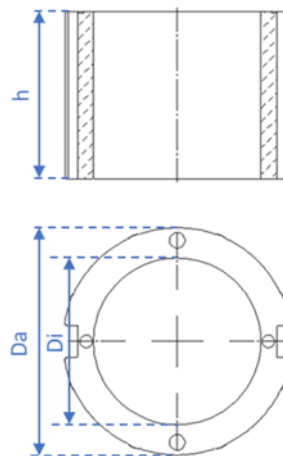


Abbildung 3: Maße

Mehrlagige Halbach-Konfigurationen sind in anderen Bereichen seit Jahren im Einsatz. In medizinischen Anwendungen oder Analysegeräten erzeugen sie sehr homogene Felder, beispielsweise für Magnetresonanz-Bildgebung. Sie werden aus vielen Formmagneten aufgebaut, die in der Halbachanordnung sehr präzise positioniert werden.

Bei der magnetischen Winkelmessung hängt der Messfehler von der Neigung und Exzentrizität des Sensors zum Magnet ab. Die Qualität der Feldhomogenität kann mathematisch durch Feldableitungen (Formfunktionen) beschrieben werden. In der Literatur³ ermöglichen die folgenden Neigungs- und Exzentrizitätsformfunktionen \tilde{T} und \tilde{E} an der Sensorposition x_0, y_0, z_0 , eine Berechnung erster Ordnung des Winkelfehlers:

2 Benannt nach Edwin Hall, amerikanischer Physiker, 1855–1938.

3 U. Ausserlechner, Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 40, 79–99, 2012.

$$\tilde{T} = \frac{1}{B_{y_0}} \cdot \left(\frac{\partial B_y}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\tilde{E} = \frac{1}{B_{y_0}} \cdot \left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2} \right) \quad (2)$$

wobei y die Feldrichtung und B_{y_0} die magnetische Flussdichte an der Sensorposition bedeuten. Die axiale Richtung z definiert den Abstand Sensor zu Magnet bei Leiterplattensensoren oder die axiale Position eines Sensordomes, so dass x als 3. Richtung auch in der Ebene liegt.

Montagetoleranzen, wie die Neigung von Sensor und Magnet sowie die Exzentrizität beider Komponenten, bestimmen die Abweichungen in der Anwendung für eine genaue Winkelmessung. Ein besonders homogenes Feld in der Nähe des Sensors reduziert diesen Fehler und bietet mehr Flexibilität. Der Winkelfehler wird kleiner, wenn die Formfunktionen verschwinden, ist jedoch nicht Null!

Eine direkte Beziehung zwischen dem Winkelfehler φ und der Exzentrizitätsformfunktion, ohne Berücksichtigung von Feld- und Sensorneigung, kann angenähert werden als

$$\varphi \simeq \frac{r^2}{2} \cdot \tilde{E} + \tilde{\delta} \quad (3)$$

wobei r der Messradius ist, und $\tilde{\delta}$ durch die Neigung Sensor zu Magnet und die dynamischen Toleranzen verursacht wird.

Die Formeln (1–3) sind praktische Simulationswerkzeuge zur Optimierung des Magnets und hilfreich bei der Qualifizierungsmessung, da nur die Feldkomponente B_y und deren Ableitungen senkrecht zur Feldrichtung untersucht werden müssen.

Die Höhe des jeweiligen Magnets aus Tabelle 1 wurde so ausgelegt, dass sich ein Optimum hinsichtlich Feldhomogenität und Kosten ergibt. Zur flexiblen Montage und Ausrichtung zum Sensor sind auf der Außenseite des Magnets zwei seitliche Vertiefungen im Winkel von 180° angebracht. Diese können zur PokaYoke-Absicherung der Montage mit unterschiedlicher Form ausgelegt sein, um die absolute Ausrichtung zum Sensor zu definieren.

Die Qualität der Feldwinkelfehlanpassung bei radialer Sensortoleranz kann mithilfe der Feldformfunktion \tilde{E} bewertet werden. Abbildung 4 zeigt den Vergleich mit dem gemessenen Winkelfehler der großen Version mithilfe eines 2D-Feldscans und Berechnung der Feldformfunktion mit $\tilde{E} = 0,0031 [1/m^2]$.

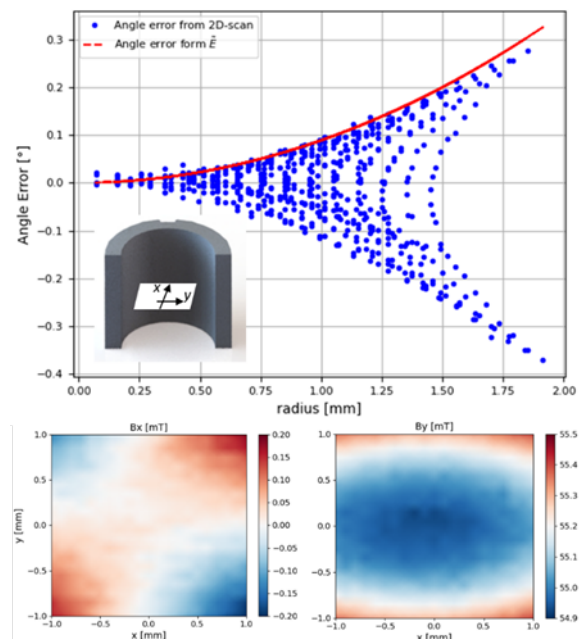


Abbildung 4: Gemessener Winkelfehler

Die Abschätzung des Winkelfehlers aus \tilde{E} ist eine schnelle Methode zur Qualifizierung von Magneten. Magnetfabrik Bonn hat ein „Distortiometer“ entwickelt, um den Winkelfehler

in einem Messschritt mittels einer Dreipunktmessung zu ermitteln. Dies ermöglicht bei Bedarf eine Inline-Qualifizierung für die Serienfertigung. Eine Verkippung von Sensor zu Magnet ist durch den konstruktiven Aufbau von Dom und Ring typischerweise gering, kann aber bei Bedarf „end-of-line“ kalibriert werden, um die beste Systemleistung zu erreichen.

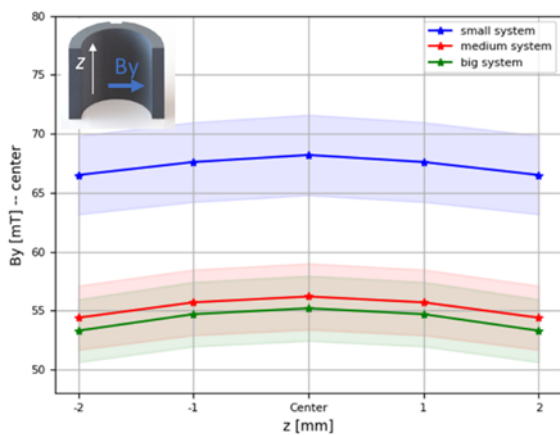


Abbildung 5: Axialer Feldverlauf, mittig

Abbildung 5 zeigt den Feldverlauf entlang der axialen Richtung in der Mitte des Magnets. Der Spritzprozess kann bei allen Varianten gesteuert werden, um eine Feldtoleranz von ca. $\pm 5\%$ zu erhalten. Ein Einfluss des Winkelfehlers von der axialen Position des Sensors ist sehr gering.

Als Magnetwerkstoff für die aktuellen Designs ist ein PA6-gebundener Hartferrit – unser Sprox® 11/21p – ausgewählt, der je nach thermischer und mechanischer Belastung bis maximal 160°C eingesetzt werden kann. Andere Bindematerialien wie PA6-GF und PPS wurden bereits erfolgreich getestet.

Der Sensormagnet ist vielseitig verwendbar. Er wird bei elektrisch angetriebenen Automobilen bereits serienmäßig zur Steuerung des E-Motors eingesetzt. Er bietet eine neue Alternative zu den bisherigen Winkelmessmethoden, z.B. für Lenkrad, Aktuatoren und Motorsteuerung.

**Mit Ihnen entwickeln wir gerne
die zu Ihrer Anwendung passende Magnetlösung.**

Gemeinsam zum Ziel. Fordern Sie uns!

magnetfabrik  bonn

Magnetfabrik Bonn GmbH
Dorotheenstraße 215 • 53119 Bonn • Deutschland
Telefon +49 228 72905-0
verkauf@magnetfabrik.de • www.magnetfabrik.de