

Eine Fallstudie – Teil 2

# MR- und Hall-Winkelsensorik zur Positionserfassung im Vergleich

Der Beitrag (Teil 1 erschien in der *elektronik industrie* 6, Seiten 60 und 61) gibt Hilfestellung anhand eines Praxis-Beispiels und nähert sich der Thematik durch eine Untersuchung zweier Winkelsensoren, als Stellvertreter für die AMR- bzw. Hall-Technologie. Dieser Teil geht speziell auf den Messaufbau zur Winkelfehlerbestimmung und auf die Messergebnisse ein.

Als Referenzsystem zur Winkel­fehlermessung bietet sich die Verwendung eines genauen optischen Drehgebers an. Das verwendete Messgerät bot eine absolute Winkelgenauigkeit von besser als 50 Winkelsekunden und diente gleichzeitig als mechanische Basis für den Antrieb sowie als Magnet-Träger (Bild 3). Gegenüber trägt ein positionierbarer Tisch die Interpolatorkarte mit dem MR- oder Hall-Sensor (DUT). Die Auswertelektronik besteht aus dem 13 Bit Sinus-Digitalwandler iC-NQ, der das BiSS-Interface als schnelle Daten- und Kalibrierschnittstelle bietet. Über die BiSS-Schnittstelle ist die synchron getriggerte Messwerterfassung auch für mehrere Geräte möglich. Deshalb wurde sinnvollerweise ein Sinus-/Cosinus-Geber als Referenz gewählt, den ein weiterer iC-NQ Interpolator auf die BiSS-Schnittstelle umsetzt. Aufgrund der 2048 Sinusperioden pro Umdrehung des Referenzgebers ist hier eine geringe Interpolation völlig ausreichend. Alle Einstellungen wurden direkt vom PC aus vorgenommen (Tabelle 2).

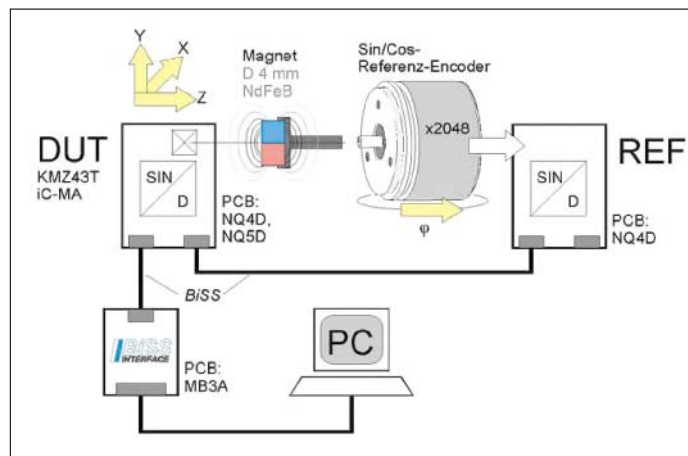


Bild 3: Referenzsystem zur Winkelfehlermessung.

## Messergebnisse

Identisch für beide Sensoren wurde die Interpolator-Auflösung von 10 bit bzw. 1024 Winkelschritten beibehalten, sodass alle Messdaten die gleiche grafische Auswertung durchlaufen (Matlab) und die Winkelfehlerkurven mit einer Y-Skalierung

**AUTOR**  
 Dipl.-Ing. Joachim Quasdorf ist bei IC-Haus im ASSP-Vertrieb und -Marketing in leitender Position für die technische Kundenbetreuung und Pressearbeit zuständig.

in LSB (1 LSB =  $360^\circ/1024 = 0,35^\circ$ ) direkt gegenüberstellbar sind. Selbst bei idealer Positionierung zum Magneten in allen 3 Achsen – verwendet wurde ein diametral magnetisierter NdFeB-Magnet mit 4 mm Durchmesser – zeigen

beide Sensoren zunächst große Winkelabweichungen, solange die Sensorsignale nicht abgeglichen sind (rote Kurve in Bild 4). Sind die Signalfehler beseitigt (Einstellung nach Tabelle 2), ist der minimale Fehlerverlauf erreicht (grüne Kurve). Dieser minimale Fehlerverlauf ist als grüne Referenz in allen nachfolgenden Bildern enthalten. Zur Klärung der offenen Frage, ob beide Sensortypen aufgrund des Messprinzips

unterschiedliche Anforderungen an die mechanische Justage stellen, wurden mehrere Fehlerkurven aufgezeichnet und dabei Achse für Achse Toleranzen hinzugefügt. Bild 5 dokumentiert bezüglich der Z-Achse, dem Arbeitsabstand zum Magneten, ►

	Referenz Sinus-Encoder (2048 PPR)	MR-Sensor KMZ43T (Philips)	Hall-Sensor iC-MA (iC-Haus)
<b>Messkarte</b>	NQ4D	NQ4D	NQ5D
<b>Antrieb</b>			
Drehzahl RPM	15	15	15
Sinusfrequenz [Hz]	512	0,25	0,25
<b>Signalabgleich</b>			
GAIN	6,66	53	3:3
RATIO	1	1	0,9867
SINOFFS [mV]	0	-273	15,6
COSOFFS [mV]	0	0	0
PHASE [°]	90	90	90
<b>Interpolation</b>			
SELRES	64 x 2048 (6 + 11 bit)	1024 (10 bit)	1024 (10 bit)
HYS [°]	0	0	0
Winkelauflösung [°]	0,0027	0,176	0,351
<b>Datenausgabe BiSS</b>			
Datenlänge [bit]	20	24	24
Taktrate [Mbit/s]	5	5	5
Intervall [ms]	2,7	2,7	2,7

Tabelle 2: Vom PC aus vorgenommene Einstellungen. Erwartungsgemäß musste der Hall-Sensor bezüglich Amplituden-Differenz (Parameter RATIO) und Offset (Parameter SINOFFS) nachgestellt werden, der MR-Sensor hauptsächlich bezüglich Offset (Parameter SINOFFS).

dass beide Sensoren Toleranzen im mm-Bereich durchaus erlauben, ohne eine Winkelfehlergrenze von z. B.  $0,5^\circ$  zu überschreiten. Erwartungsgemäß erlaubt der MR-Sensor den größeren Arbeitsabstand.

Durch die feinere Skalierung der Y-Achse wird auffällig, dass die Fehlerkurve des MR-Sensors die kleinere Schwankungsbreite zeigt, begründbar durch die höhere Grundauflösung bzw. der doppelten Signalperiode. Ein gleichwertiges Ergebnis ist für den Hall-Sensor erzielbar, wenn die Interpolator-Auflösung auf 11 bit erhöht wird

(Bild 5 rechts, blaue Kurve) – das Signal

verschwindet nicht im Rauschen. Eine Fehljustage in der X/Y-Ebene ist deutlicher Fehler-

relevanter als die Änderung des Arbeitsabstands (Bild 6). Einen Winkelfehler von bis zu  $1^\circ$  bzw. 3 LSB erreicht der Hall-Sensor, wenn die Achsenmitte um  $2/10$  mm diagonal verlassen wird (X- und Y-Achse). Auch eine nur horizontale (X-Achse) oder nur vertikale (Y-Achse) Verschiebung kann ein ähnliches Fehlerbild erzeugen, was nicht zwingend völlig symmetrisch aussehen muss.

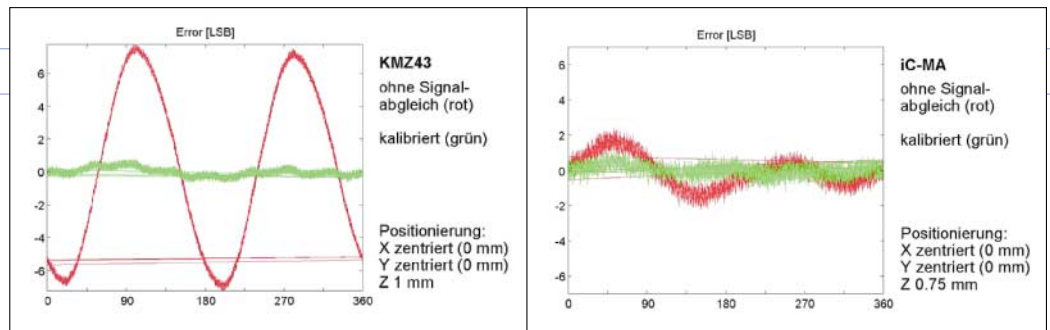


Bild 4: Beide Sensoren zeigen ohne Abgleich große Winkelabweichungen (rote Kurve) nach dem Abgleich ist der Fehler nur noch minimal (grün).

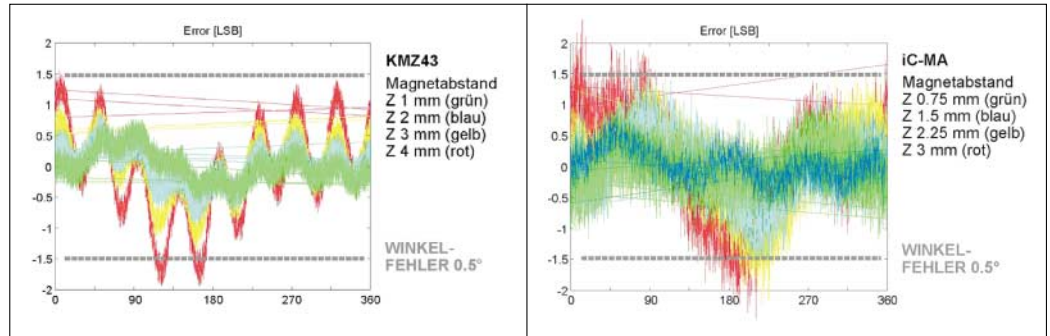


Bild 5: Arbeitsabstand zum Magneten in Z-Achse. Der MR-Sensor (links) ermöglicht den größeren Arbeitsabstand.

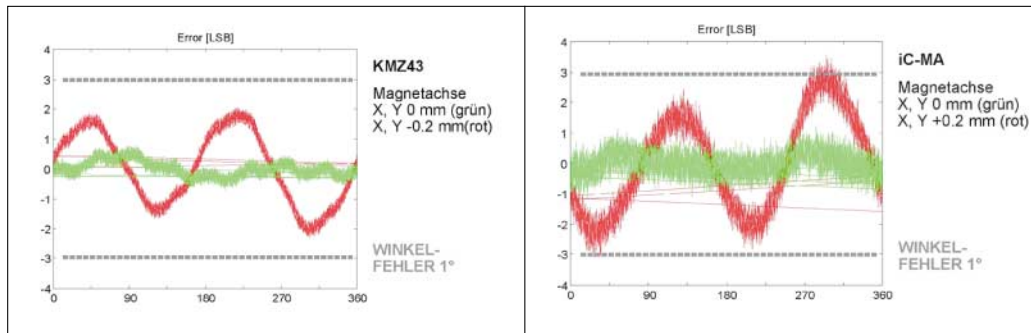
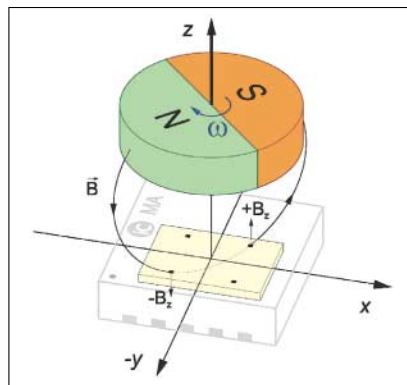


Bild 6: Eine Fehljustage in der X/Y-Ebene.

### ▼ iC-MA SENSORFUNKTIONEN

Als magnetischer Sensor mit großer Abstandstoleranz erfasst iC-MA Drehwinkel bis  $360^\circ$  berührungslos und ermöglicht Anwendungen mit hermetischer Trennung der Elektronik vom mechanischem Antrieb, z. B. für nasse und staubige Umgebungen. Das platzsparende 10-polige DFN-Gehäuse von  $4 \times 4 \times 1$  mm enthält mehrere Hallensoren sowie die integrierte Signalaufbereitung mit 6-, 7- oder 8-bit-AD-Wandlung. 26 verschiedene Betriebsarten sind per Pin wählbar; die Winkelausgabe ist entweder durch analoge Signale (Sinus, Cosinus, Sägezahn, Dreieck) oder digitale Signale möglich (Quadraturs-Encoder mit Index, Zählpulse). Gleichzeitig sind die vier Signalpins bus-



fähig für den Daisy-Chain-Betrieb mehrerer Sensoren. Feldstärken ab 20 mT genügen für den sicheren Betrieb, Arbeitsabstände von mehreren Millimetern zwischen Magnet und Gehäuse sind er-

reichbar. Ein Fehlersignal zeigt zu kleine Feldstärken an und kann als Tastfunktion dienen. Der Baustein verarbeitet Drehfrequenzen bis zu 60 000 U/min, z. B. für Robotik- und Maschinenbau-Anwendungen im Temperaturbereich von  $-40$  bis  $125^\circ\text{C}$ .

Das Messprinzip beruht auf der Magnetfeldmessung eines diametral magnetisierten Permanentmagneten, der senkrecht über dem IC angeordnet wird. Mehrere Hall-Sensoren werten den Gradienten des Magnetfeldes aus, so dass über Differenzverstärker die Richtungskomponenten des Feldgradienten in Form eines Sinus- und Cosinus-Signals zur Verfügung gestellt werden.



## KOMPAKT

Obwohl sich AMR- bzw. Hall-Technologie im Prinzip unterscheiden, sind die Unterschiede in der Anwendung als Winkelsensor erstaunlich gering. Dies gilt bezüglich der zulässigen Montage-Toleranz sowie dem erreichbaren Messergebnis. Zur Disposition steht die Möglichkeit der hohen inkrementellen Winkelauflösung mit dem MR-Sensor, oder die Möglichkeit der absoluten Winkelauflösung über  $360^\circ$  durch den Hall-Sensor. Letzteres wird dann Sinn machen, wenn kleinere Auflösungen gefragt sind, die die integrierte Sensor-Elektronik bereits anbietet. Die Wahl kann auch der geforderte Temperaturbereich entscheiden, der MR-Sensor ist prinzipiell für Anwendung außerhalb von  $-40$  bis  $125^\circ\text{C}$  geeignet.

Unter den gleichen Bedingungen erreicht der MR-Sensor ca.  $0,7^\circ$  bzw. 2 LSB als Maximalfehler, der gewählte Magnet passt hier gut zur kleinen Sensorfläche. Die genannte Justagetoleranz ist also für kleine Winkelauflösungen unproblematisch, bis  $1,4^\circ$  (8 bit) bleibt der Winkelfehler innerhalb der Auflösung. Für höhere Auflösungen und Genauigkeiten ist eine feinere Justage erforderlich, gegebenenfalls ist auch die Wahl des Magneten zu optimieren.

Als weitere, mögliche Fehlerquelle käme ein verkippt montierter Sensor in Frage, was im gewählten Aufbau durch eine Verdrehung der Magnetachse simuliert wurde. Selbst bei einer bereits deutlich sichtbaren Verdrehung von  $1,5^\circ$  ( $\varphi$  in Bild 3) überschreitet die Winkelfehlerkurve eine Grenze von  $\pm 1$  LSB nicht, wenn die Sensorlage in der X/Y-Ebene nachjustiert wird. Mithin ist Verkipfung als Montagefehler in gewissen Grenzen ebenfalls tolerierbar; ein bemerkenswerter Unterschied zwischen beiden Sensoren besteht diesbezüglich nicht.

Störfelder als potentielle Fehlerquelle wurde nicht näher untersucht, Einflüsse durch Temperatur-Änderung nur in einem begrenzten Bereich von  $-40$  bis ca.  $60^\circ\text{C}$ . Für diesen Einsatzbereich war die bei Raumtemperatur vorgenommene Signalkalibrierung optimal, allerdings Drift-Effekte beim MR-Sensor ab ca.  $70^\circ\text{C}$  bereits im Ansatz erkennbar. Die separate Untersuchung eines Sensorsystems für hohe Umgebungstemperaturen unter Einbezug der Auswerteelektronik ist sicher sinnvoll.

## Ausblick

Eine abschließende exakte Technologie-Bewertung kann dieser Beitrag nicht wiedergeben, bestimmt doch die konkret gestellte Aufgabe den Lösungsweg. Aufgegriffen wurden verschiedene Anregungspunkte zur Diskussion, die zeigen, welches Potential in der einen oder anderen Technologie steckt. Hier darf man für die Zukunft gespannt sein, wenn neue, genauere MR-Sensoren vorgestellt werden, die bereits bei kleineren Feldstärken arbeiten. Auf Wunsch bietet integrierte Hall-Sensorik heute bereits einen DSP – Verbesserungen hinsichtlich der Signalqualität sind sicher zu erwarten. Dies auch bezüglich der Anwendungsfreundlichkeit, die nachgefragte Zielapplikation wird eine weitere Differenzierung der Lösungsansätze bestimmen. (jj)



## KONTAKT

iC-Haus  
[www.ichaus.com](http://www.ichaus.com)

Kennziffer 513