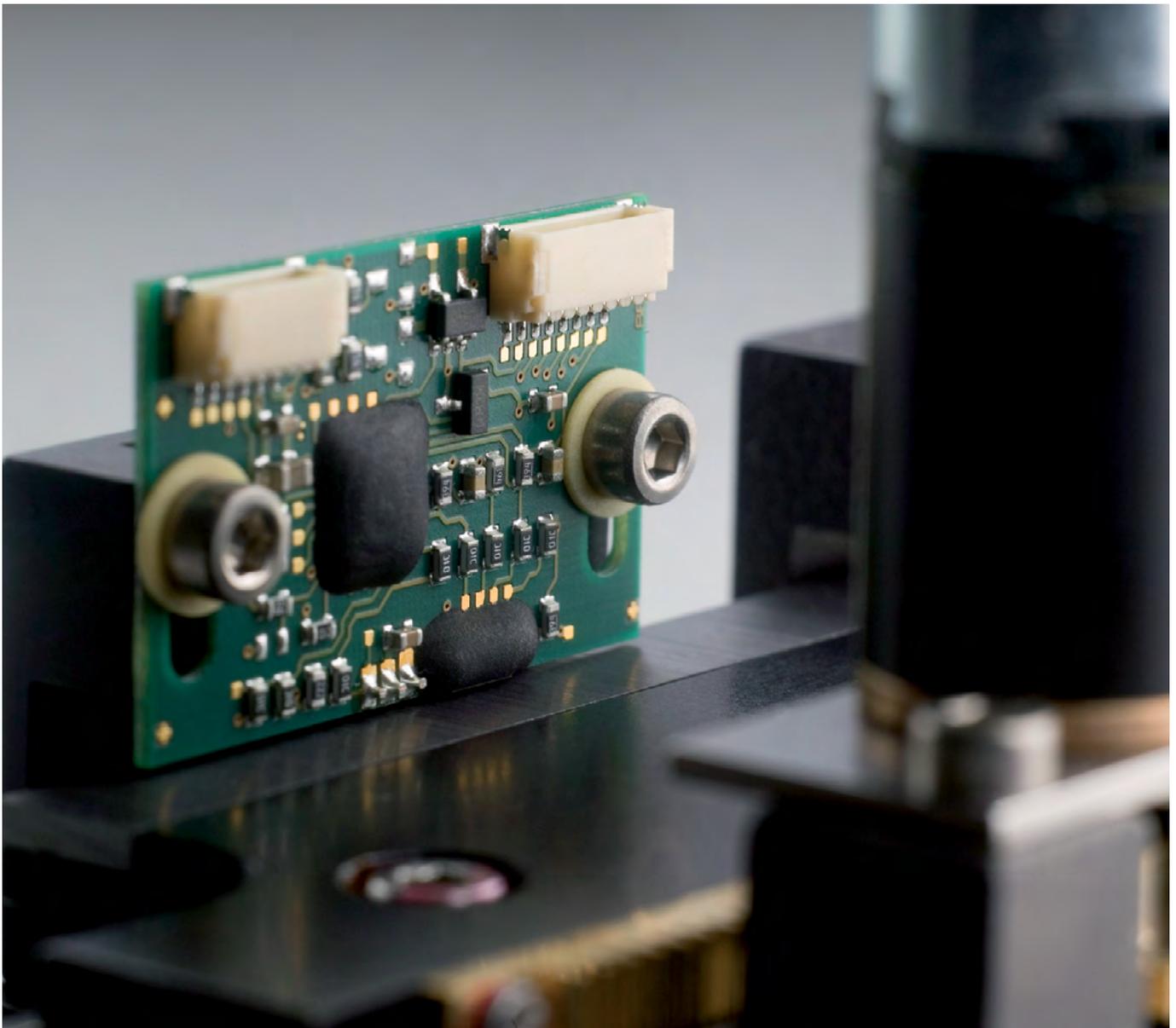


AA700 Familie

AMR FreePitch Sensoren für Winkel- und Längenmessung.



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Funktionsprinzip	6
3. Design Vorteile der AA700 Familie.....	9
4. Eckdaten der AA700 Familie	11
5. Messanordnungen	12
6. Sensorauswahl	16
7. Magnetische Materialien	17
8. Systemgenauigkeit	18
9. Signalverarbeitung	27
10. Magnetische Umrechnungsfaktoren	30
11. Gleichungen	31
12. Glossar	32

1. Einleitung

Die AA700 Sensorfamilie basiert auf der Anisotropen MagnetoResistiven (AMR)-Technologie. Der AMR Effekt tritt in ferromagnetischen Materialien auf und bewirkt eine Änderung des spezifischen Widerstands als Funktion des Magnetfeldes. AMR Sensoren der AA700 Familie erfassen ausschließlich den Winkel des angelegten Magnetfeldes und dies weitgehend unabhängig von der Feldstärke. AMR Sensoren werden in Dünnschicht-Technologie auf einem Wafer gefertigt. Die Fertigungsmittel, die Reinraumumgebung und auch die einzelnen Prozessschritte ähneln der CMOS Chip-Fertigung.

Durch die Kombination einer magnetischen Maßverkörperung, eines Sensors aus der AA700 Familie und einer Auswerte-Elektronik können lineare und rotative Bewegungen gemessen werden (siehe Bilder 1.2 bis 1.5). Die Sensoren der AA700 Familie sind nicht an bestimmte Pollängen gebunden und werden deshalb FreePitch Sensoren genannt. Dieses Dokument beschreibt, wie die Messsysteme mit AA700-Sensoren für lineare und rotative Positionsbestimmungen auszulegen sind, um hochpräzise Messergebnisse zu erhalten.

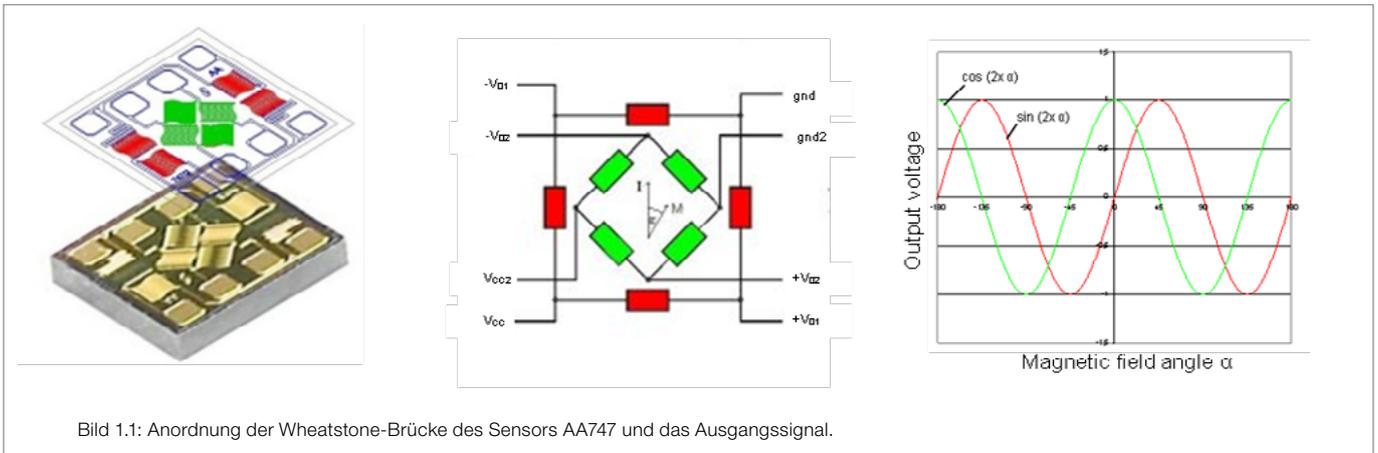


Bild 1.1: Anordnung der Wheatstone-Brücke des Sensors AA747 und das Ausgangssignal.

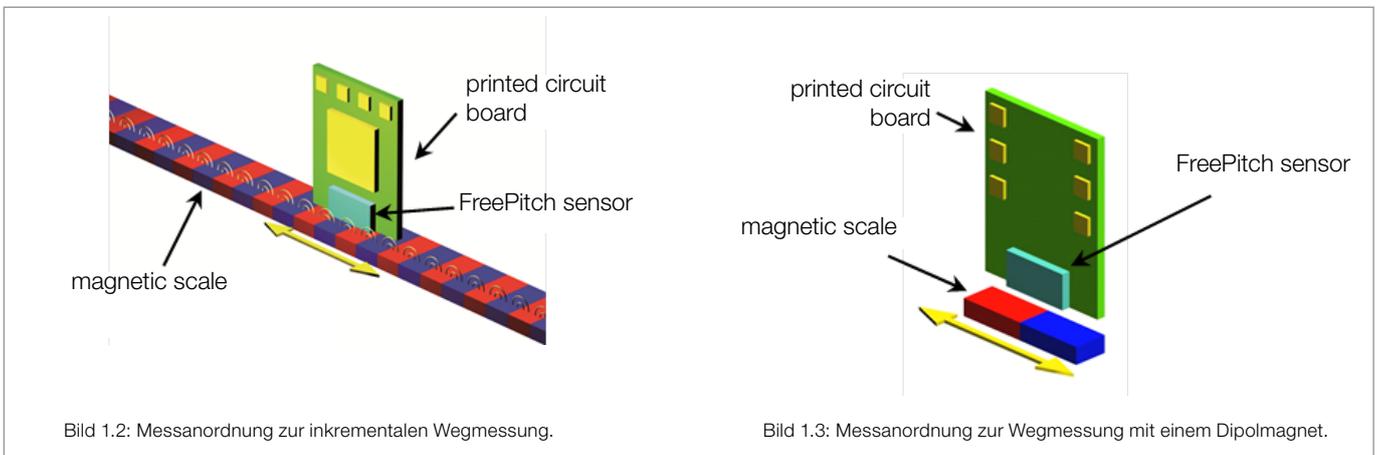


Bild 1.2: Messanordnung zur inkrementalen Wegmessung.

Bild 1.3: Messanordnung zur Wegmessung mit einem Dipolmagneten.

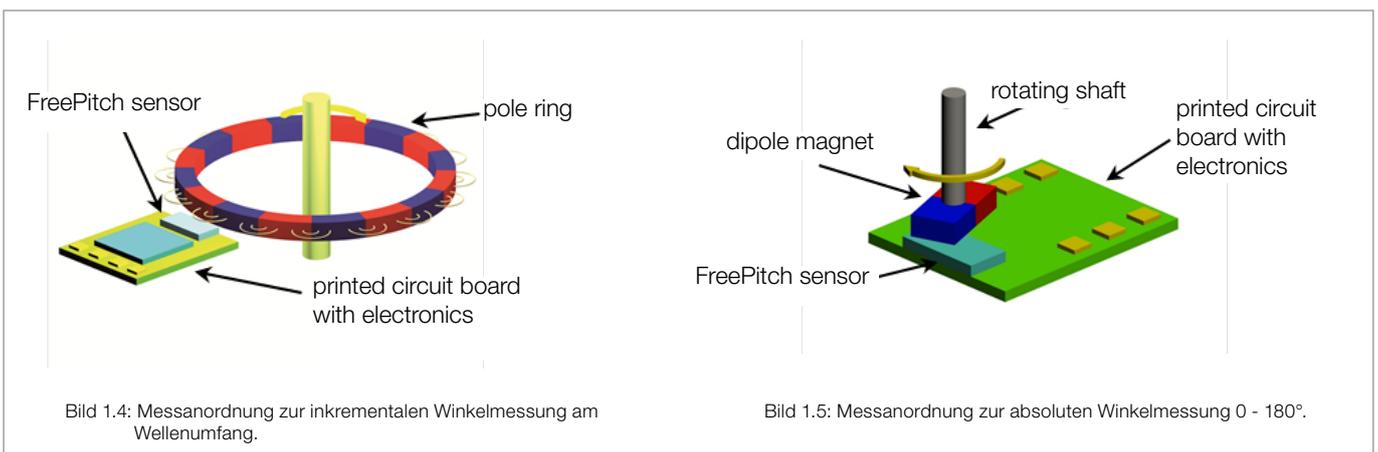


Bild 1.4: Messanordnung zur inkrementalen Winkelmessung am Wellenumfang.

Bild 1.5: Messanordnung zur absoluten Winkelmessung 0 - 180°.

1.1 Vorteile der AMR-Technologie

Die AMR-Technologie von Sensitec verfügt über ausgeprägte Vorteile:

- Hohe Auflösung
- Klein, deshalb integrationsfähig
- Berührungslos und verschleißfrei
- Unempfindlich gegenüber Staub, Wasser, Öl oder sonstigen Verschmutzungen
- Robust gegenüber Stößen und Vibrationen
- Geringes Rauschen, hohes Signal zu Rauschen Verhältnis
- Geringe Leistungsaufnahme
- Hohe Bandbreite
- Strahlungsresistent

1.2 Vorteile der AA700 Sensoren

Das Design der AA700 Familie ist das Ergebnis langjähriger Erfahrung und ist durch Patente geschützt. Die Vorteile dieser Sensor-Familie für die Anwendung sind:

- Der große Arbeitsabstand erleichtert die Integration im System und erhöht die Zuverlässigkeit
- Die hohe Genauigkeit und Auflösung ermöglicht präzise Positionierung oder feinfühligere Drehzahlregelung
- Die minimale Offset-Spannung erhöht die Messgenauigkeit auch mit einfachen Auswerteschaltungen.
- Die vernachlässigbare Hysterese erhöht die Genauigkeit des Systems
- Der geringe Temperaturkoeffizient des Offsets ermöglicht den Einsatz in einem breiten Temperaturbereich ohne nennenswerten Genauigkeitsverlust.
- Die AA700 Sensoren sind qualifiziert für den Einsatz bei Temperaturen von -40 °C bis +150 °C und damit einsetzbar in vielen Automobilanwendungen

1.3 Typische Anwendungen

Im Automobilbereich

- Positionserfassung einer Drosselklappe im Verbrennungsmotor
- Pedalweg oder Scheibenwischerposition
- Lenkwinkel
- Automatische Leuchtweitenregulierung
- Allgemeine Positionserfassung bei Türen, Fenstern, Sitzen, Schiebedächern u. a.

Im Industriebereich

- Inkrementale und absolute Winkelgeber
- Motor-Feedback-Systeme
- Industrierobotik
- Armaturen und Ventile
- Elektrowerkzeuge

Ein Beispiel für die Zuverlässigkeit der AMR-Sensoren von Sensitec ist deren Einsatz als Positionssensoren in den Antrieben der Mars Roboter (Bild 1.6). Die Rover Fahrzeuge Spirit und Opportunity fahren seit 2003 auf der Oberfläche des Mars und sind dabei sowohl der Raumstrahlung als auch extremen Temperaturunterschieden ausgesetzt.

Ein weiteres Beispiel ist die Drehmomentmessung für die Aktivlenkung (Bild 1.7). Der Sensor der AA700 Familie tastet einen Polring ab. Für die Datenübertragung vom Sensor zum Bordcomputer (ECU) kommt ein kundenspezifisches ASIC zum Einsatz. Der Anwender hat den Vorteil einer einfachen Justage. Ein zusätzlicher Abgleich im Endsystem ist nicht erforderlich. Der gegenüber Staub und Öl unempfindliche Sensor misst berührungslos, so dass es zu keinerlei mechanischer Abnutzung kommt.



Bild 1.6: Marsrover Opportunity seit 6 Jahren auf Mission mit MR-Technologie.

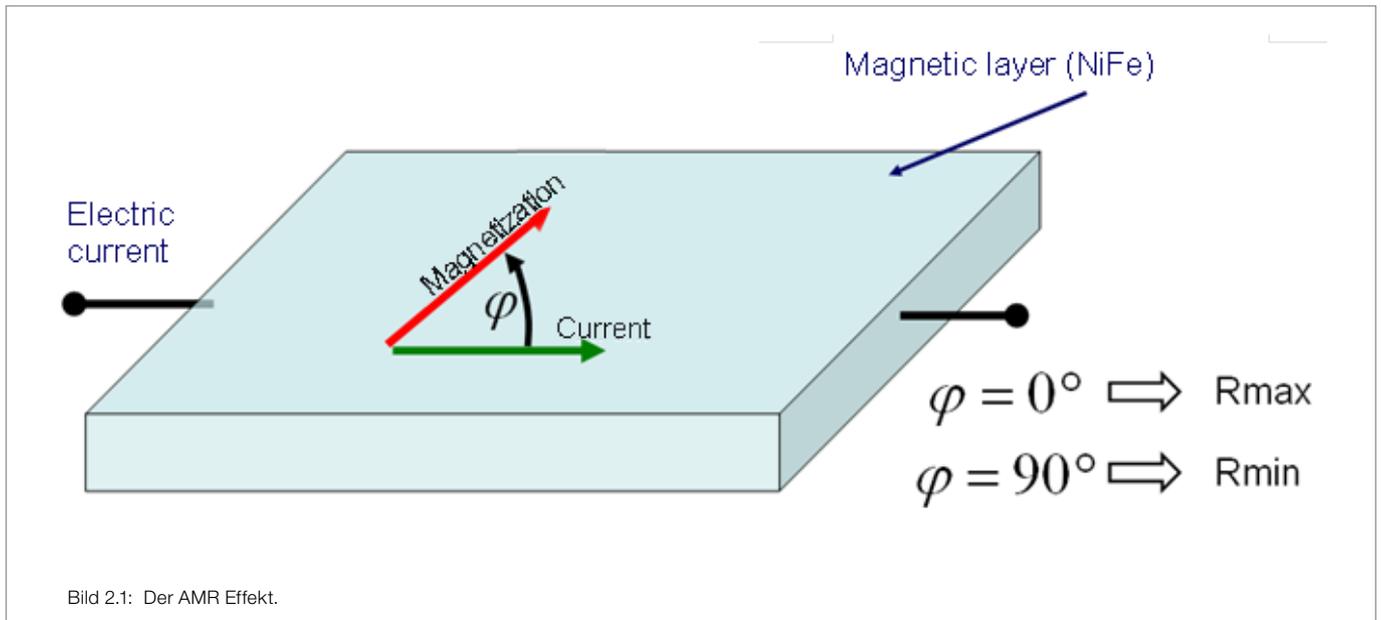


Bild 1.7: Drehmomentmessung für die Aktivlenkung mit AA745 Sensor.

2. Funktionsprinzip

2.1 Der AMR Effekt

Wenn Strom durch einen magnetisierbaren Leiter fließt, ist der elektrische Widerstand abhängig vom Winkel zwischen Stromrichtung und Magnetfeldrichtung. Wenn Magnetfeld und Stromrichtung parallel zueinander liegen (in die gleiche Richtung oder entgegengesetzt), ist der elektrische Widerstand am höchsten (siehe Bild 2.1).

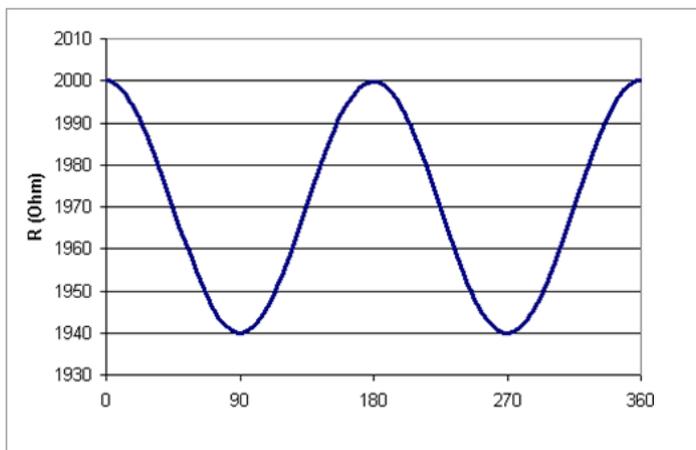


Dieser Effekt nennt sich anisotroper magneto-resistiver (AMR) Effekt und wurde von William Thomson (Lord Kelvin) 1857 entdeckt. Der elektrische Widerstand kann mit Formel (1) beschrieben werden:

$$R = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{2} + \frac{R_{\max} - R_{\min}}{2} \times \cos(2\varphi) \dots [2.1]$$

R_{\max} und R_{\min} sind der jeweils maximale und der minimale Widerstand des Stromleiters im Magnetfeld (Bild 2.1). Der Winkel φ ist der Winkel zwischen Stromrichtung und Magnetfeld. Der AMR-Effekt ist 2-periodisch, da nach 180° (π rad) Magnetfelddrehung ein kompletter Sinus (oder Cosinus) durchlaufen ist.

In dünnen Schichten folgt die Richtung der Magnetisierung dem extern angelegten Magnetfeld bereits bei Feldstärken von wenigen mT.



Die Widerstandsänderung bei AMR-Sensoren beträgt nur ca. 3 %.

Bild 2.2: Widerstandsveränderung bei einem drehenden Magnetfeld.

Um Änderungen vom Messwert durch Temperatureinflüsse zu minimieren, werden AMR Sensoren als Wheatstone-Brücken aufgebaut. Diese Anordnung wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

2.2 Der AMR FreePitch Sensor für Längen- und Winkelmessung

Sensoren der AA700 Familie erfassen den Winkel eines Magnetfeldes mittels zweier Wheatstone-Brücken. Betrachten wir zunächst eine einzelne AMR-Brücke in einem Magnetfeld.

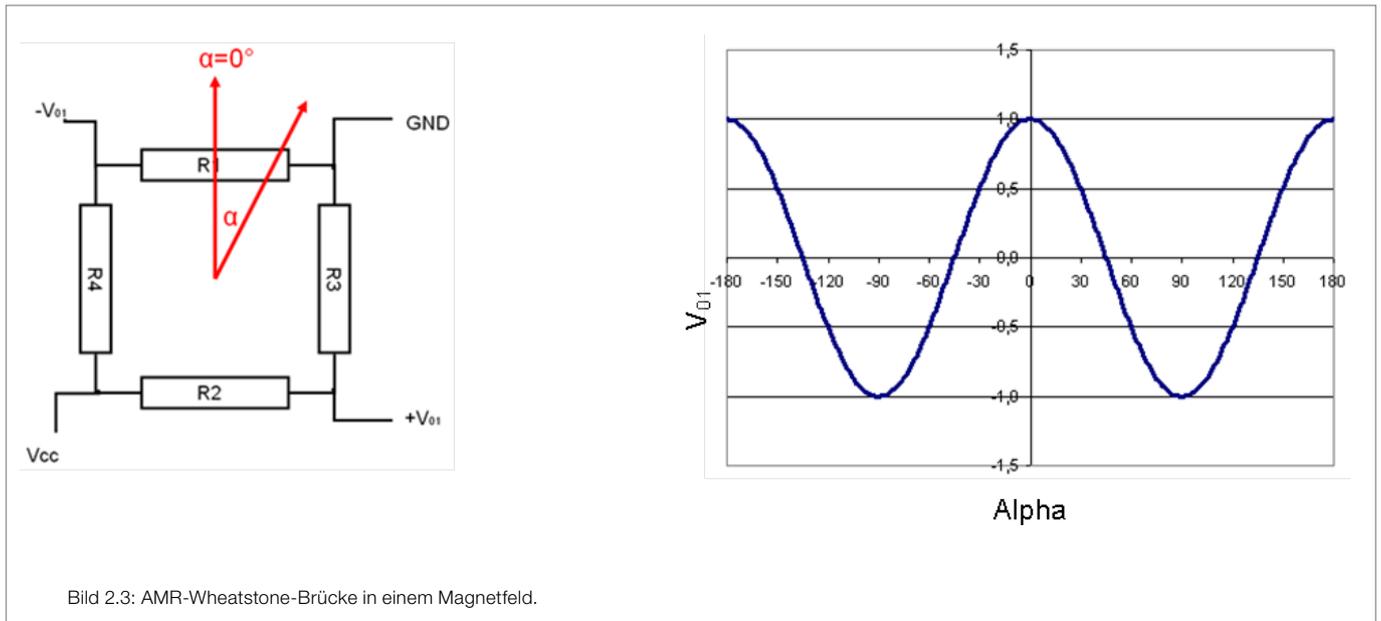


Bild 2.3: AMR-Wheatstone-Brücke in einem Magnetfeld.

In Bild 2.3 ist der Winkel zwischen der Sensorhauptachse und dem extern angelegten Magnetfeld als α festgelegt. Ist das Magnetfeld in einem Winkel $\alpha = 0^\circ$ angelegt (siehe Bild 2.3), sind zwei Widerstände der Brücke in Längsrichtung magnetisiert (R3, R4) und haben damit einen höheren Widerstand als die zwei in Querrichtung magnetisierten Widerstände (R1, R2).

Dreht sich das Magnetfeld um den Winkel α , ergibt sich der Signalverlauf wie in Bild 2.3 rechts dargestellt. Diese Brücke liefert ein cosinusförmiges Signal bis 180° (Maximum bei 0°). Bis 360° ist eine MR-Wheatstone-Brücke „2-periodisch“. Die zweite MR-Wheatstone-Brücke im Sensor ist gegenüber der ersten um 45° gedreht. Die Phase des Ausgangs ist damit um eine viertel Periode gegenüber der ersten Brücke verschoben. Damit ergibt sich das Signal aus Bild 2.4.

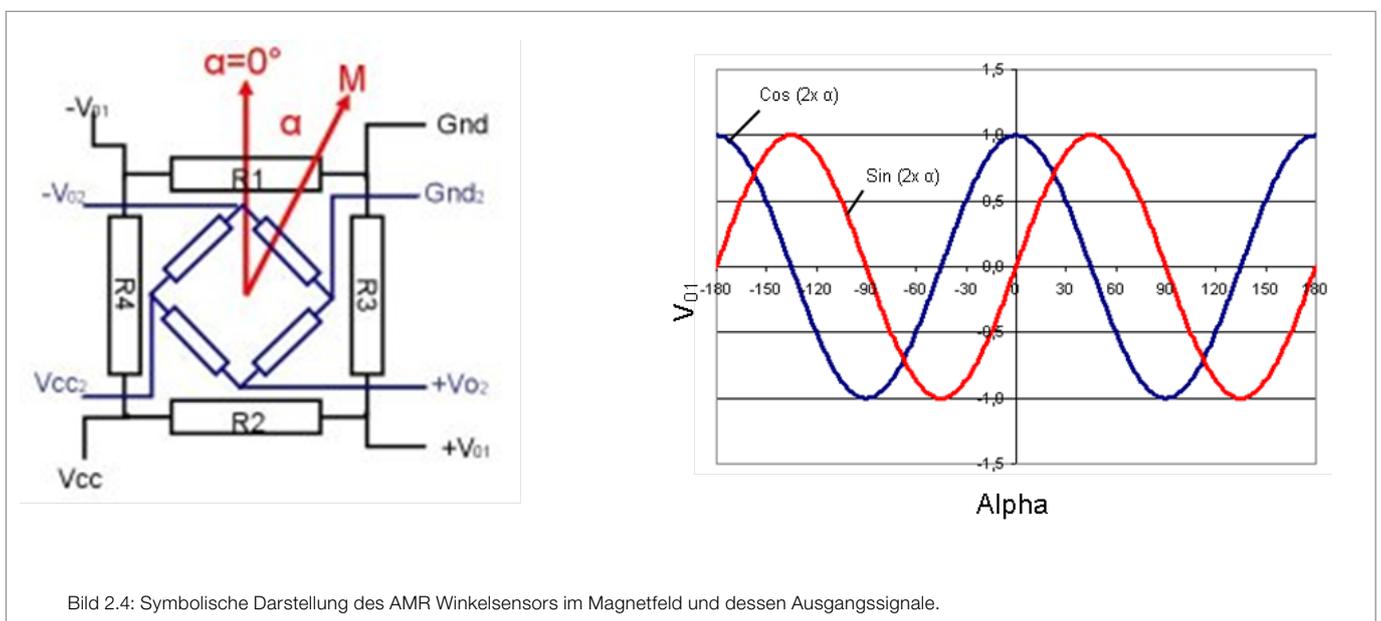


Bild 2.4: Symbolische Darstellung des AMR Winkelsensors im Magnetfeld und dessen Ausgangssignale.

Die beiden Brücken liefern die Sinus- und Cosinus-signale. Aus dem Quotient (Tangens) der beiden Signale wird der Magnetfeldwinkel ermittelt. Wenn bei der Arcustangens Berechnung die Vorzeichen der Sinus- und Cosinus-signale beachtet werden, kann der Magnetfeldwinkel bis 180° bestimmt werden. Die Arctan2-Funktion beachtet diese Vorzeichen.

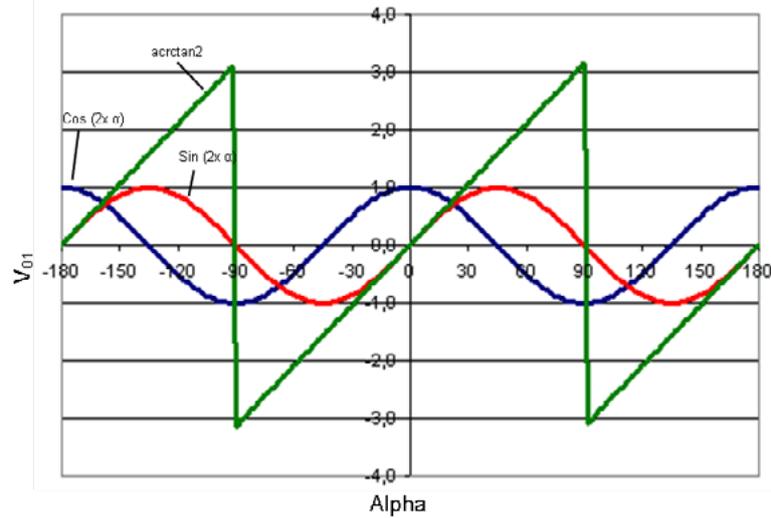


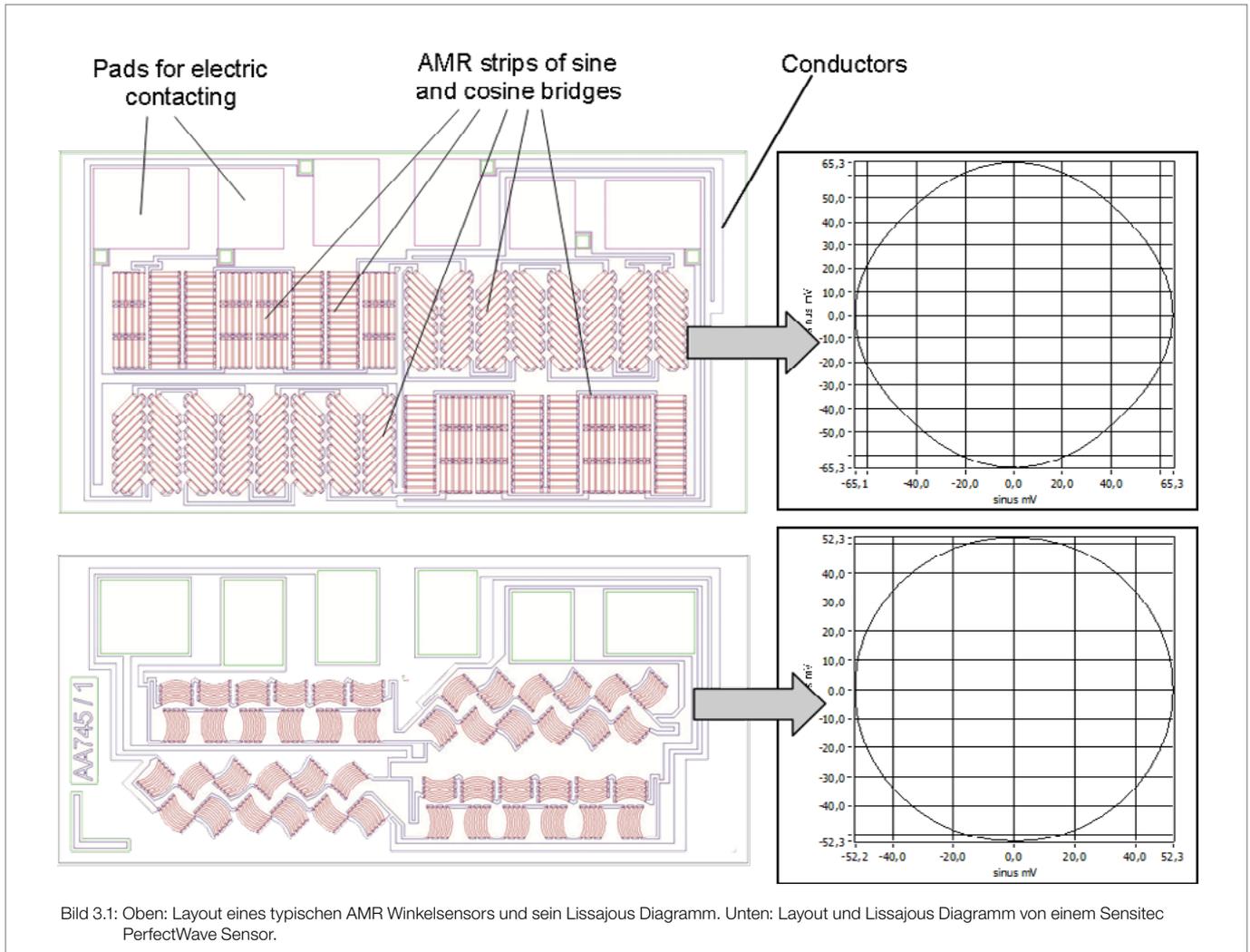
Bild 2.5: Die Sinus- und Cosinus-signale sowie die ermittelte Arctan2 Funktion.

Bild 2.5 zeigt die Sinus- und Cosinus-signale und die errechnete Arctan2-Funktion. Erkennbar ist die eindeutige Winkelbestimmung bis 180°.

3. Designvorteile der AA700-Familie

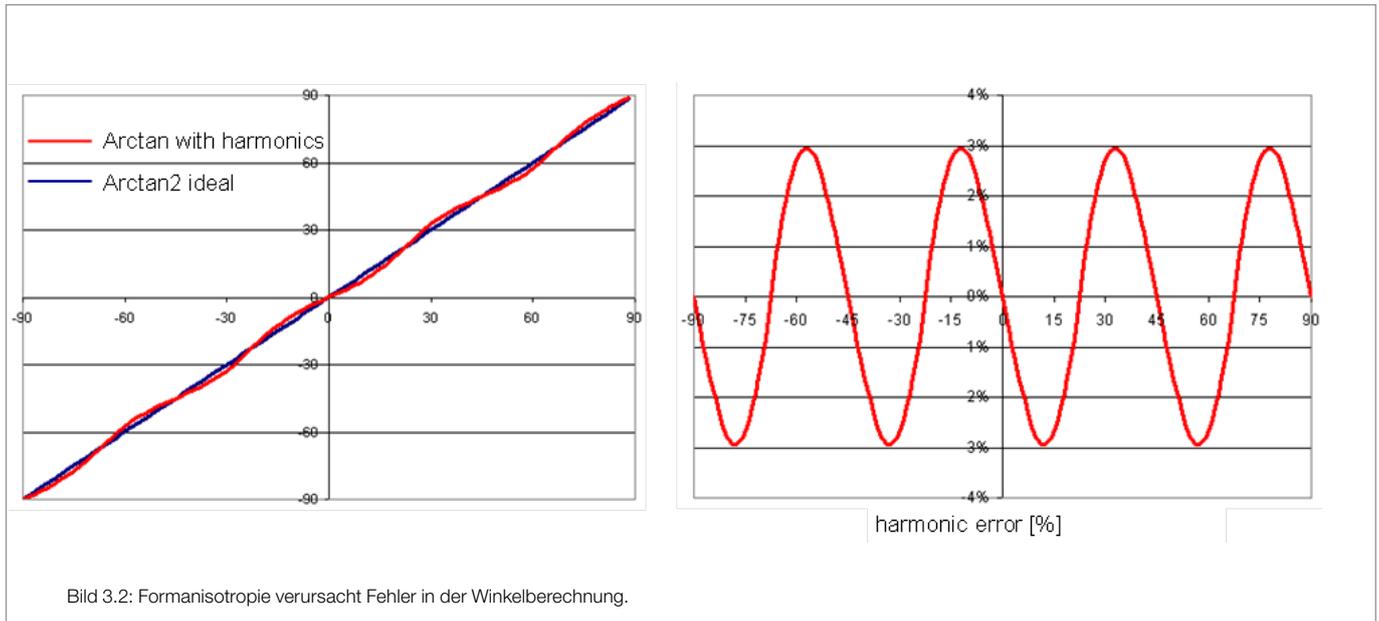
Die FreePitch Winkelsensoren der AA700-Familie heben sich von anderen MR-Sensoren durch eine Vielzahl patentierter Konstruktionsmerkmale ab. So werden z. B. Oberwellenfehler im Sensorsignal, die durch die Formanisotropie entstehen mittels PerfectWave Technologie reduziert. Formanisotropie ist das Phänomen der magnetischen Vorzugsrichtung in Längsrichtung bei Körpern, die um ein Vielfaches länger sind als breit.

Die Formanisotropie tritt auch in den Elementen eines AMR Sensors auf. Bild 3.1 zeigt oben das Layout eines typischen AMR Sensors.



Deutlich sichtbar sind die einzelnen AMR-Streifen, die zusammen die Widerstände der beiden Wheatstone-Brücken bilden. Durch diese Formanisotropie (Vorzugsrichtung) folgt das Magnetfeld in den Streifen des Sensors nicht zu 100 % dem extern angelegten Magnetfeld. Die Magnetfeldstärke, die erforderlich ist, um die Formanisotropie zu überwinden wird bestimmt durch das Verhältnis der Streifendicke zur Streifenbreite. Kurze, breite Streifen haben eine geringere Formanisotropie als lange, schmale Streifen.

Die Streifen in Bild 3.1 stehen in 4 Richtungen, was zu einem 4-periodischen Fehler als Folge der Formanisotropie führt. Der rechte Teil des Bildes 3.1 ist die Lissajous-Darstellung der Sinus- und Cosinussignale. Oberwellen auf den Sinus- und Cosinussignalen bedingen die Abweichung von der Kreisform. Deshalb wird der durch Formanisotropie verursachte Fehler auch „Oberwellenfehler“ genannt.



In Bild 3.2 ist sowohl die ideale Arctan2 Kurve eines Sensors ohne Oberwellenfehler dargestellt als auch die Kurve eines Sensors mit Oberwellenfehler. Während einer 180° Umdrehung des Magnetfeldes durchläuft der Sensor eine volle Periode, und der Fehler vier Perioden. Der Fehler wird 4-periodisch genannt.

Es gibt drei Möglichkeiten, die Folgen der Formanisotropie im AMR Sensor zu verringern:

1. Betrieb mit starkem Magnetfeld
2. Ein Sensor-Design mit breiten AMR-Streifen
3. Dünnere AMR-Schichten
4. Ein Sensordesign mit gekrümmten AMR-Streifen

3.1 Betrieb mit starkem Magnetfeld

Vor allem bei schwachen Magnetfeldern wird die Formanisotropie spürbar. Der Einfluss der Formanisotropie wird vernachlässigbar, wenn der Sensor in entsprechend starken Magnetfeldern eingesetzt wird. Mit zunehmendem Arbeitsabstand des Sensors nimmt die Magnetfeldstärke wieder ab. Die Anforderung, immer mit ausreichend starken Magnetfeldern zu arbeiten, ist deshalb nur selten durchsetzbar. Außerdem sind stärkere, meist auch größere, Magnete mit höheren Kosten verbunden.

3.2 Ein Sensor Design mit breiten AMR-Streifen

Die Verwendung breiter Streifen im Sensor-Design ist die zweite Möglichkeit, die Auswirkungen der Formanisotropie zu reduzieren. Die Formanisotropie wird vom Verhältnis Schichtdicke zu Sensorstreifenbreite bestimmt. In breiten Streifen ist sie geringer. Um dennoch einen ausreichend hohen Widerstand der Brücke zu erreichen, müssen mehr Streifen in Reihe geschaltet werden, wodurch sich die Sensorfläche vergrößert. Aus diesem Grund wurde beim Design der AA700 Sensoren dieser Weg nicht gewählt.

3.3 Dünnere AMR-Schichten

Dünnere AMR-Schichten ist eine weitere Möglichkeit die Folgen der Formanisotropie zu reduzieren. Dies führt leider auch zu einer geringeren Signalamplitude. Der AMR Effekt reduziert sich bei dünneren Schichten.

3.4 Ein Sensor Design mit gekrümmten AMR-Streifen

Die von Sensitec patentierten, gekrümmten MR-Streifen minimieren den Einfluss der Formanisotropie auf das Sensorsignal. AMR-Sensoren mit gekrümmten Streifen sind PerfectWave Sensoren. PerfectWave Sensoren der AA700 Familie vereinen kleinste Baugröße und minimale Formanisotropie-bedingte Messfehler.

4. Eckdaten der AA700-Familie

Es wird empfohlen AA700-Winkelsensoren immer im ‚Starkfeldbetrieb‘ zu verwenden. D. h., dass die Sensoren in einem ausreichend starken Magnetfeld betrieben werden damit der Einfluss der Formanisotropie im Sensor in einem vernachlässigbar kleinen Verhältnis zum angelegten Magnetfeld stehen. Dies ist schon der Fall bei einem Magnetfeld von 25 kA/m. Oft wird anstelle von Starkfeld auch von einem Betrieb ‚in Sättigung‘ gesprochen. Dies hat die gleiche Bedeutung.

Die AA700 Winkelsensoren erfassen nur die Richtung des Magnetfelds. Die Stärke hat nur einen Einfluss auf die Genauigkeit, nicht auf die Stärke des Ausgangssignals.

Die folgenden Werte beziehen sich auf Betrieb in Sättigung (25 kA/m) bei Raumtemperatur. Es sind charakteristische Werte. Datenblätter mit den vollständigen technischen Spezifikationen finden Sie unter: www.sensitec.com

Symbol	Parameter	AA745	AA747	Einheit
$\Delta\alpha$	Winkelfehler	Typ. 0.05 ¹⁾		Deg.
V_{CC}	Versorgungsspannung	Typ. 5		V
V_{off}	Offset Spannung pro V_{CC}	± 2		mV/V
V_{peak}	Signal Amplitude pro V_{CC}	Typ. 13		mV/V
RS/RB	Sensorwiderstand/Brückenwiderstand	$R_s = \text{typ. } 1.6$	$R_b = \text{typ. } 3.2$	k Ω
T_{amb}	Umgebungstemperaturbereich	- 40 to + 150		°C
H_{ext}	Magnetfeldstärke ²⁾	Typ. 25		kA/m

¹⁾ Absoluter Winkelfehler in homogenem Feld, nach Korrekturen des Offsets und der Amplitude.

²⁾ Extern angelegtes Magnetfeld in Sensorebene, um o. g. Winkelfehler zu realisieren.

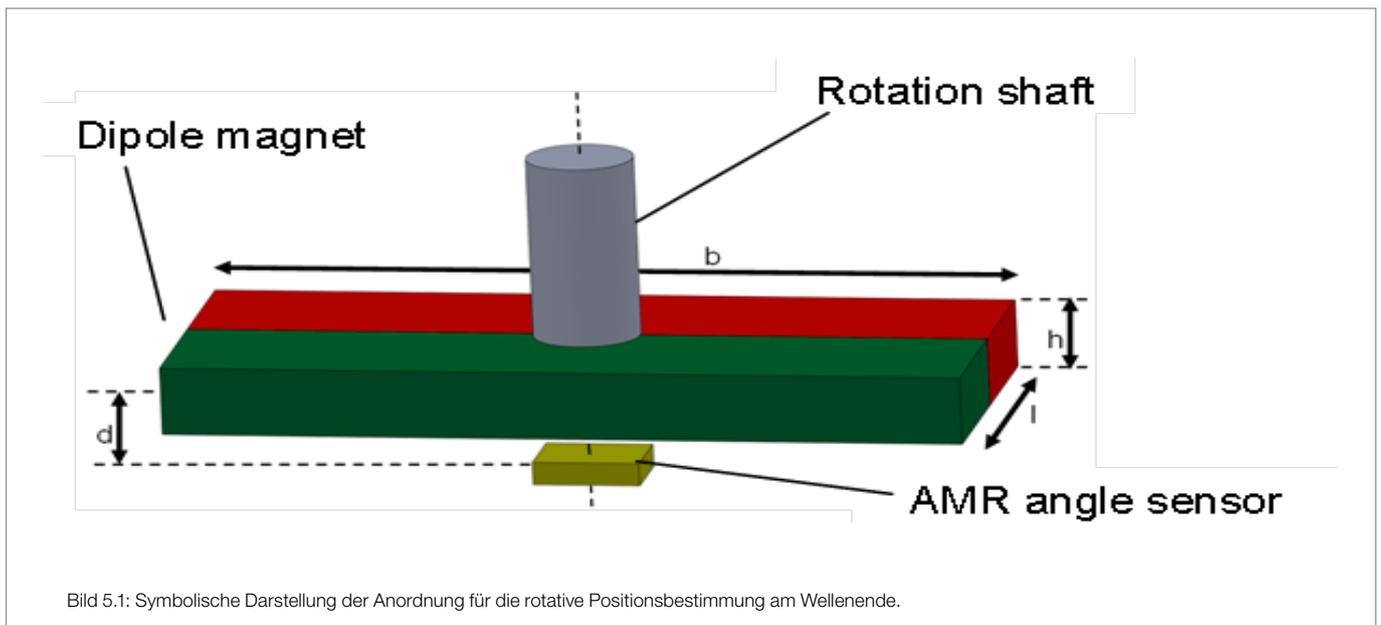
Tabelle 4.1: Eckdaten der AA700 Sensoren.

5. Messanordnungen

Nachdem die Grundlagen zur AMR-Technologie und der AA700 Familie ausführlich erörtert wurden, wird auf den nächsten Seiten erklärt, wie mit magnetischen Winkelsensoren eine Position rotativ oder linear erfasst werden kann.

5.1 Rotativ am Wellenende

Die einfachste Methode, um mit einem AMR Winkelsensor der AA700 Familie eine Position zu erfassen (absolut bis 180°), ist die Abbildung des Drehwinkels einer Welle auf das Magnetfeld im Sensor. Dazu wird der Dipolmagnet am Wellenende zentrisch gegenüber vom Winkelsensor montiert (Bild 5.1).



Die Genauigkeit der Positionsbestimmung ist u. a. abhängig von der Genauigkeit der geometrischen Anordnung. Dieser Zusammenhang wird in Kapitel 8 beschrieben.

Bei einer idealen geometrischen Anordnung:

- ist der Sensor zentrisch zur Welle positioniert
- ist der Sensor nahe am Magneten montiert
- taumelt die Welle nicht
- wurde die Magnetgeometrie optimal gewählt

Beim AA747 ist bei Raumtemperatur eine absolute Winkelgenauigkeit von bis zu 0,05° möglich.

5.2 Lineare Positionserfassung mit einem Dipol-Magnet

Eine einfache und kostengünstige Art, eine absolute Längenmessung durchzuführen, ist die Messung entlang eines 2-poligen Magneten. Die maximale absolute Messstrecke ist etwas größer als die Länge des Dipolmagneten.

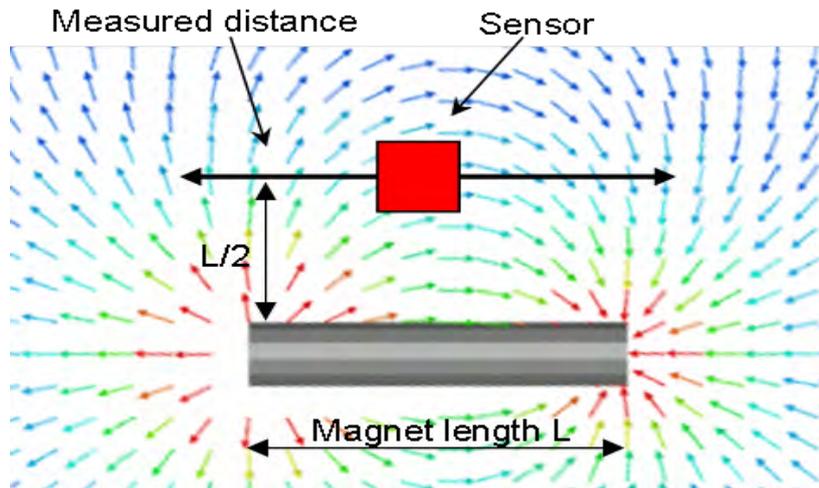


Bild 5.2: Sensoranordnung für lineare Positionserfassung an einem 2-poligen Magneten.

In Bild 5.2 ist der Feldverlauf eines 2-poligen Magneten dargestellt. Die Pfeile entsprechen der Magnetfeldrichtung, die vom Sensor detektiert wird. Die Drehung des Magnetfeldes um 180° bewirkt eine komplette Sinusperiode. Der Messwert ist abhängig vom Abstand des Sensors vom Magneten, da sich die Feldrichtung mit dem Abstand verändert.

Typischer Weise werden AA745 oder AA747 Winkelsensoren in dieser Anordnung bei Messlängen von 3 bis 30 mm eingesetzt. Optimaler Abstand des Sensors ist ca. eine halbe Magnetlänge (abhängig von der Magnetgeometrie). Mit dieser Anordnung ist eine Linearität von 1 % erreichbar.

5.3 Linear am magnetischen Maßstab

Ein linearer Maßstab besteht aus einer Reihe von Nord- und Südpolen. Ein AA745 Sensor bewegt sich in einem konstanten Abstand linear entlang des Magnetstabes und erfasst ein Magnetfeld, das sich über eine Pollänge um 180° dreht und damit eine komplette Sinus- bzw. Cosinusperiode im Winkelsensor erzeugt. Siehe Bild 5.3.

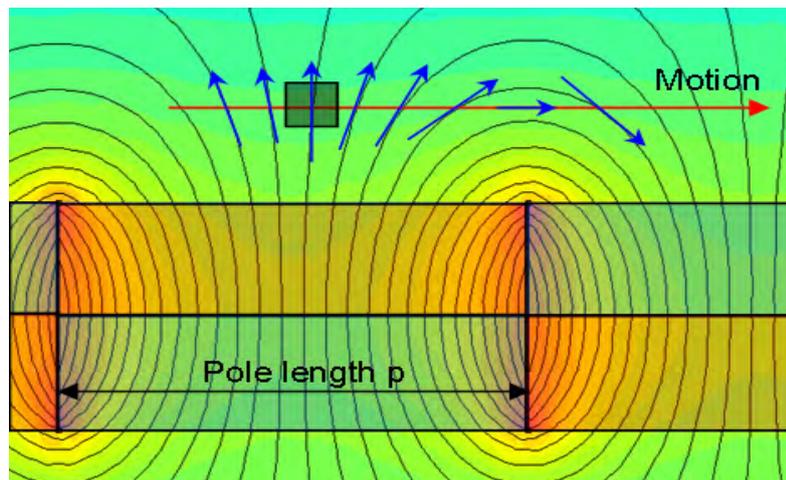


Bild 5.3: Richtungsänderung des Magnetfeldes bei einer linearen Bewegung entlang eines magnetischen Maßstabs.

Das Ausgangssignal des Winkelsensors ist über eine Pollänge des Maßstabs periodisch. Damit ist eine absolute Positionsbestimmung nur innerhalb einer Pollänge möglich. Die Pollänge kann ab 2 mm beliebig gewählt werden. Die Sensoren der AA700 Familie werden deshalb als FreePitch (übersetzbar als „freie Pollänge“) Sensoren bezeichnet.

Die Genauigkeit Δx bei der Längenmessung ist unter anderem von der Winkelgenauigkeit $\Delta \alpha$ des Sensors und der Pollänge p abhängig.

$$\Delta x = p \times \frac{\Delta \alpha}{180} \dots [5.1]$$

Ist die Winkelgenauigkeit $\Delta \alpha$ des AA745 Sensors = 0,05° und ist die Pollänge $p = 2$ mm, gilt für die theoretische Messgenauigkeit: **$\Delta x = 0,55 \mu\text{m}$** .

Der optimale Abstand zwischen Sensor und Maßstab beträgt 1/2 Pollänge. Wie sich Arbeitsabstand und Magnetauswahl auf die Messgenauigkeit auswirken, wird in Kapitel 8 beschrieben.

Wenn der Fahrweg länger als eine Pollänge ist, müssen die Pole von der Auswerteelektronik gezählt werden. In diesem Fall wird von einem inkrementalen System gesprochen.

Inkrementale Systeme bekommen über einen Referenzsensor einen Bezugspunkt. Diese Referenzposition muss einmal detektiert werden, damit die Position als Inkrement relativ zum Referenzpunkt gezählt wird. Der Referenzpunkt kann als einzelner Pol auf einer zweiten Spur des Maßstabs realisiert werden oder auf eine mechanische oder optische Weise außerhalb des Maßstabs liegen.

5.4 Das Mehrspur-Noniusverfahren

Mit Sensoren der AA700-Familie kann die Position innerhalb einer Pollänge absolut bestimmt werden. Für längere Verfahrenwege ist eine zweite Magnetspur erforderlich, um zu bestimmen, bei welchem Polpaar sich der Sensor befindet. Ein häufig eingesetztes Prinzip ist das Noniusverfahren.

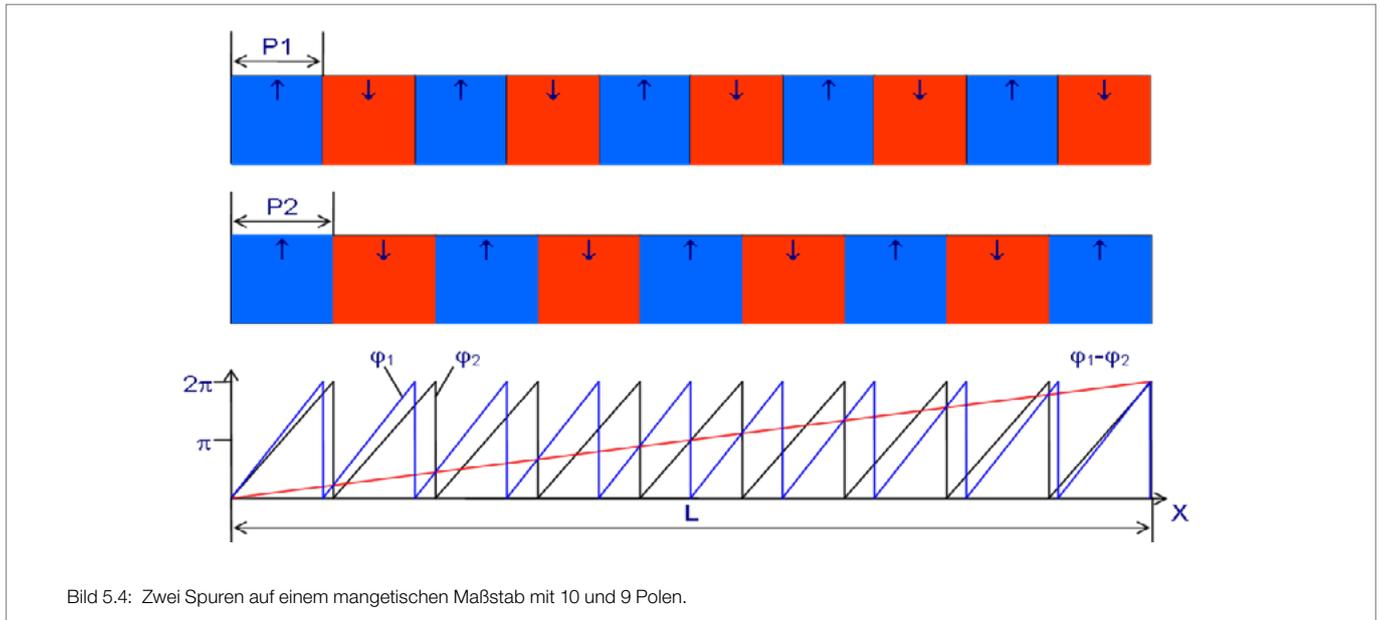


Bild 5.4: Zwei Spuren auf einem magnetischen Maßstab mit 10 und 9 Polen.

Bild 5.4 zeigt zwei Maßstäbe mit der gleichen Länge aber einer unterschiedlichen Anzahl an Polen (Maßstab 1: 10 Pole, Maßstab 2: 9 Pole). Der Messkopf enthält zwei Sensoren aus der AA700-Familie und bewegt diese entlang der beiden Maßstäbe. Von beiden Sensoren wird über das Arctan2-Verfahren die Position relativ zum Magnetpol bestimmt. Die Differenz liefert die Information, über welchem Pol sich der Sensorkopf befindet.

Bei einer Grundperiodenlänge von $P_1 = 10 \text{ mm}$ und $P_2 = 11,1 \text{ mm}$ kann z. B. eine absolute Längenmessung von 100 mm durchgeführt werden.

5.5 Rotativ am Wellenumfang

Rotative Messverfahren am Wellenumfang sind vergleichbar mit linearen Messverfahren, denn mathematisch gesehen ist ein linearer Maßstab ein Polring mit unendlichem Durchmesser.

Sowohl die einspurige inkrementale als auch die mehrspurige absolute Anordnung, wie hier oben beschrieben, sind rotativ einsetzbar.

5.6 360° absolut am Wellenende

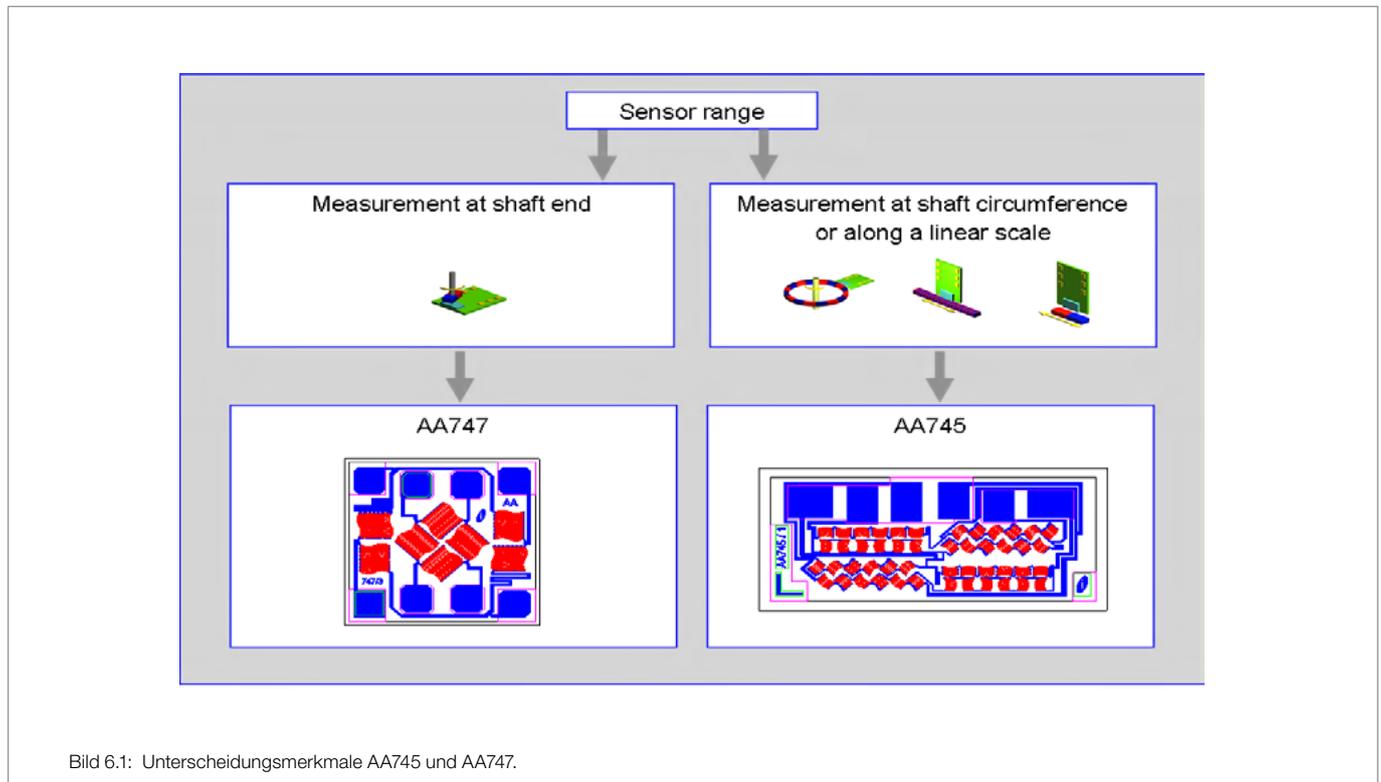
Da die Sensoren AA745 und AA747 bei einer vollen mechanischen Drehung über 360° zwei Signalperioden am Ausgang liefern, muss zur absoluten Winkelbestimmung über 360° die Signalperiode mit einer weiteren Information eindeutig identifiziert werden. Dies kann z. B. durch zusätzliche Sensoren, die Nord- und Südpol unterscheiden können, (z. B. GF708 oder auch Hall-Schalter) realisiert werden. Ein zusätzlicher Magnet ist dafür nicht erforderlich.

6. Sensorauswahl

Sowohl der AA745 als auch der AA747 sind gemäß AEC-Q100 für automobiler Anwendungen qualifiziert. Sie sind auch für industrielle Anwendungen geeignet.

Beim AA745 sind die Elemente der Wheatstone-Brücke auf einer Seite des Sensors positioniert. Wird der Sensor an einer Leiterplattenkante montiert, können die Sensorelemente sehr nah am magnetischen Maßstab angebracht werden. Damit eignet sich dieser Sensor besonders für lineare Positionserfassung an einem Maßstab oder für die rotative Positionserfassung am Wellenumfang.

Beim AA747 sind die Sensorelemente so angeordnet, dass eine sehr kleine, quadratische Sensorform entsteht. Der AA747 eignet sich besonders für die Winkelmessung am Wellenende. Im unten gezeigten Schema sind die Unterscheidungsmerkmale übersichtlich zusammengefasst.



6.1 Produktübersicht

Der AA745 ist für eine Positionserfassung an einem linearen Maßstab oder Polrad dimensioniert, der AA747 für die Winkelerfassung am Ende einer Welle. Aus diesem Grund sind auch die Lieferformen unterschiedlich. Der AA745 ist als ‚Bare Die‘ verfügbar und wird per COB (Chip On Board) weiterverarbeitet. Der AA747 ist in einem SMD-fähigen SO8 Gehäuse verfügbar. Weitere Lieferformen sind auf Anfrage erhältlich.

Produktübersicht AA745

Produktbezeichnung	Gehäuse	Lieferform
AA745ABA-LL	Bare Die (Wafer - ungesägt)	Wafer box
AA745ACA-LK	Bare Die (Wafer - gesägt)	Folie

Tabelle 6.1: Produktübersicht AA745.

Produktübersicht AA747

Produktbezeichnung	Gehäuse	Lieferform
AA747AHA-LB	SO8 Gehäuse	Tape on reel

Tabelle 6.2: Produktübersicht AA747.

7. Magnetische Materialien

Wie in Kapitel 4 beschrieben, sollen die Sensoren AA745 und AA747 bei einer Magnetfeldstärke von mindestens 25 kA/m betrieben werden. Für jede Anwendung ist es sinnvoll, den Magneten auf seine höchstmögliche Magnetfeldstärke auszulegen. Dies minimiert sowohl die Fehler im Sensor als auch die von Störfeldern verursachten Fehler. Der Sensor kann auch durch sehr starke Magnetfelder nicht geschädigt werden. Die Stärke des Magnetfelds wird vom Abstand zum Magneten, von den Magnetdimensionen und von der Remanenz B_r des Magneten bestimmt.

Die Remanenz B_r beschreibt, wie stark das Magnetfeld eines Magneten ist, das nach einer Magnetisierung gespeichert bleibt. Der maximal erreichbare magnetische Fluss an der Oberfläche eines Magneten ist $1/2 \times B_r$. Die Koerzitivfeldstärke H_c beschreibt, welche Magnetfeldstärke erforderlich ist, um die gespeicherte Magnetisierung zu ändern. Ein zu niedriges H_c kann zu einer ungewünschten Änderung der Magnetisierung durch Fremdfelder führen.

Beide Eigenschaften B_r und H_c sind Materialeigenschaften.

	Koerzitivfeldstärke H_c (kA/m)	Remanenz B_r (mT)	Drift (/ K)	Temperaturstabilität (°C)	Korrosionsstabilität	Bemerkung
SmCo		1000	-0,03 %	>200°	Sehr gut	
Hartferrit (Polymergebunden)	150 - 190	120 - 290	-0,2 bis -0,4 %	Bis 160°	Sehr gut	Umspritzen von Einlegeteilen möglich
Hartferrit (gesintert)	130 - 250	210 - 400	-0,2 bis -0,4 %	Bis 250°	Sehr gut	
AlNiCo (Metallguss)	50 - 120	800 - 1300	-0,2 %	Bis 450°	Sehr gut	
NdFeB (Polymergebunden)	250 - 400	400 - 650	-0,8 %	Bis 150°	Sehr gut	Umspritzen von Einlegeteilen möglich
NdFeB	870 bis 2750	800 - 1300	-0,1 %	80 bis 200°	Schlecht	

Tab. 7.1: Häufig verwendete magnetische Werkstoffe und ihre typischen Werte.

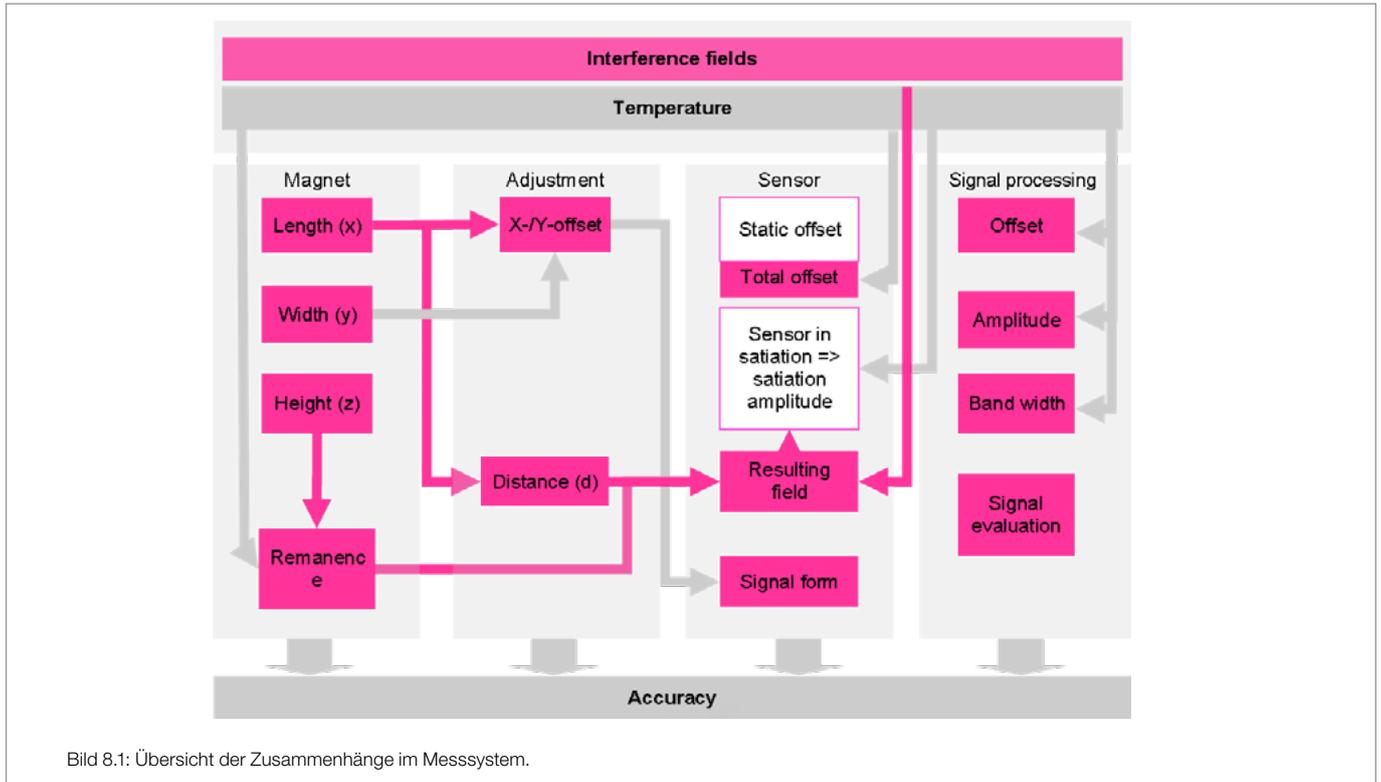
Häufig eingesetzt werden kunststoffgebundene (polymergebundene) Magnete. Diese Magnetmaterialien bestehen aus Hartferrit- oder Seltenerdmetallpulver und Kunststoffen. Durch die Verwendung in Spritzgussmaschinen, lassen sich beliebige Formen der Maßverkörperung herstellen. In einigen Anwendungen ist das Umspritzen von Einlegeteilen interessant.

Kriterien für die Materialauswahl sind Kosten, Temperaturbereich, mechanische Geometrie und mechanische Beanspruchbarkeit. Neben dem Material hat auch die Magnetgeometrie Einfluss auf die Messung. Details hierzu finden Sie im Kapitel 8 "Systemgenauigkeit".

Sensitec bietet als aktive Maßverkörperung Polringe, lineare Maßstäbe und 2-polige Magnete an.

8. Systemgenauigkeit

Die Signalqualität und die Genauigkeit eines Winkelsensors sind von verschiedenen Parametern abhängig. Diese lassen sich im Wesentlichen in Umgebungseinflüsse, Magneteigenschaften, Sensoreigenschaften und Justage unterscheiden. Das nachfolgende Schema gibt eine Übersicht über die komplexen Zusammenhänge in einem Messsystem.



8.1 Magnetdimensionierung zur Optimierung der Feldstärke und Genauigkeit

Bei der Dimensionierung des Magneten zur rotativen Positionserfassung am Wellende müssen zwei Größen beachtet werden:

- 1) Die geforderte magnetische Feldstärke an der Position des Sensors muss eingehalten werden. Diese wird bestimmt durch die Magnetgeometrie, das Magnetmaterial und der Sensorposition relativ zum Magneten.
- 2) Der zulässige Sensorversatz von der Achsmitte. Das durch den Versatz entstehende Fehlermaß wird stark durch die Magnetgeometrie bestimmt.

Der Magnet ist so zu dimensionieren, dass er bei möglichst kleinem Volumen (Preis) ein möglichst starkes und gleichzeitig homogenes Magnetfeld am Ort des Sensors erzeugt. Ein starkes Magnetfeld erlaubt einen großen Arbeitsabstand und reduziert den Einfluss von Störfeldern. Die Homogenität des Magnetfelds erlaubt größtmögliche, mechanische Toleranzen beim Einbau des Sensors.

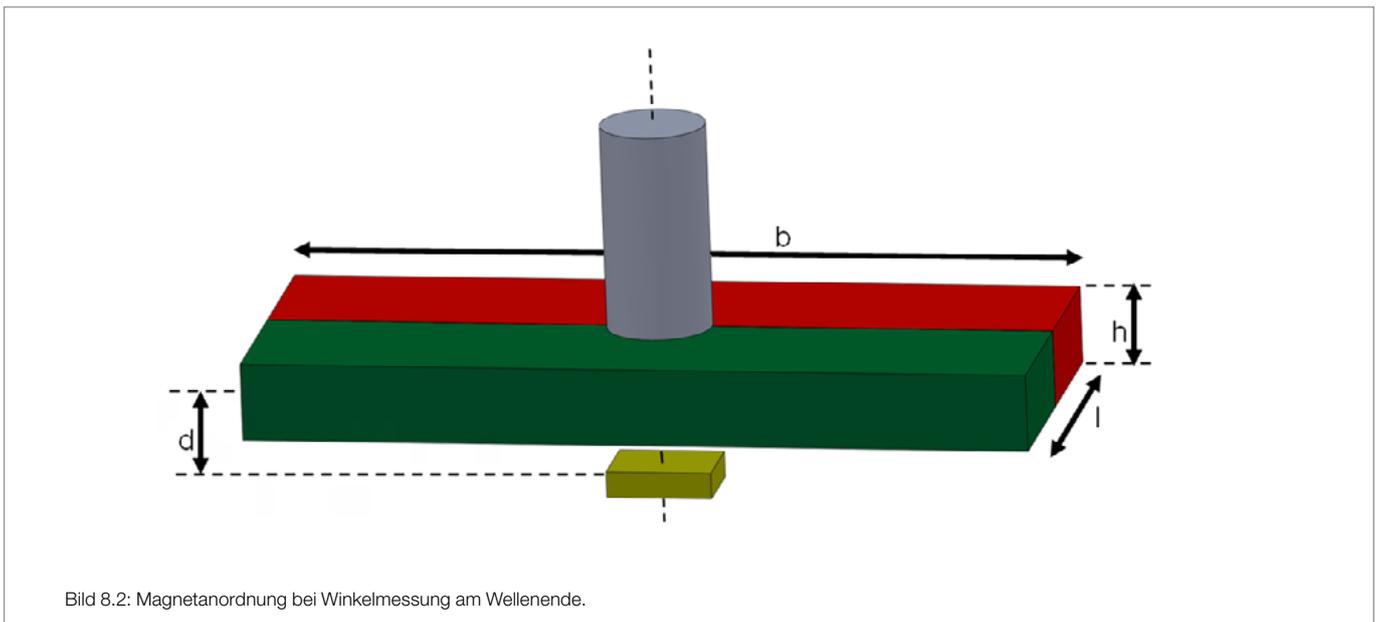


Bild 8.2: Magnetanordnung bei Winkelmessung am Wellenende.

Bild 8.2 zeigt die Anordnung eines drehbaren Magneten gegenüber einem Winkelsensorchip.

In Bild 8.3 auf der nächsten Seite wird der Zusammenhang zwischen Feldstärke und Magnetlänge in Magnetisierungsrichtung bei verschiedenen Sensorabständen deutlich. Der verwendete Magnet ist aus Ferrit mit $B_r = 300 \text{ mT}$. Beim Einsatz anderer Materialien ist entsprechend anderer Werkstoffremanenzen eine einfache lineare Umrechnung möglich. Für jeden Arbeitsabstand gibt es eine optimale Magnetlänge. Kleinere Arbeitsabstände erhöhen die Feldstärke bei Verringerung des Magnetvolumens.

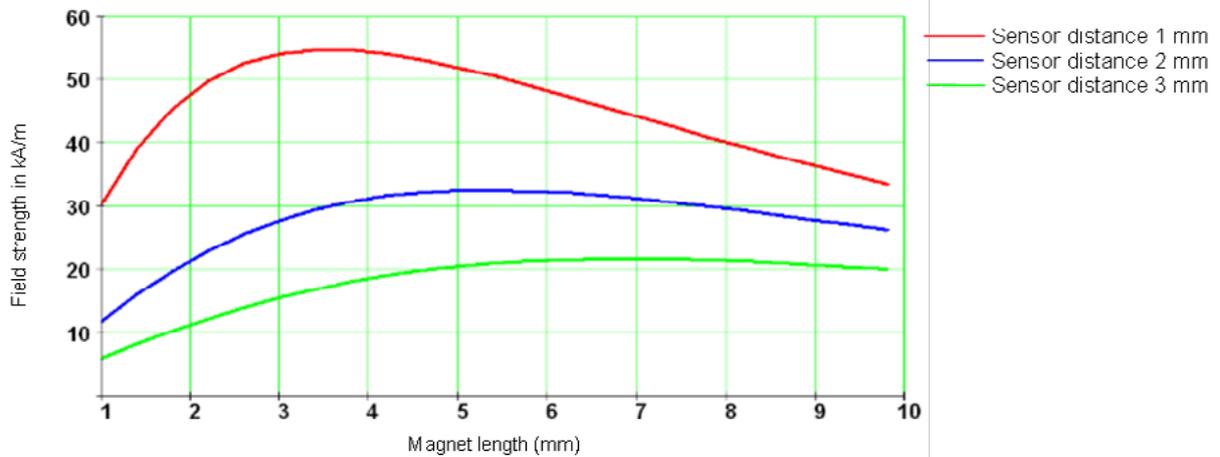


Bild 8.3: Magnetfeldstärke als Funktion der Magnetlänge bei drei verschiedenen Magnetabständen. $B_r = 300 \text{ mT}$, $b = 7 \text{ mm}$, $h = 5 \text{ mm}$.

Der Sensor soll möglichst zentrisch gegenüber der Achse montiert werden. Versatz oder Taumeln verursachen Fehleranteile in der Messung. Die Größe dieser Fehleranteile kann durch eine gute Magnetdimensionierung reduziert werden. Bild 8.4 zeigt den Einfluss der Magnetbreite auf den durch Achsversatz erzeugten maximalen Winkelfehler in verschiedenen Arbeitsabständen. Als Achsversatz ist hier 1 mm angenommen.

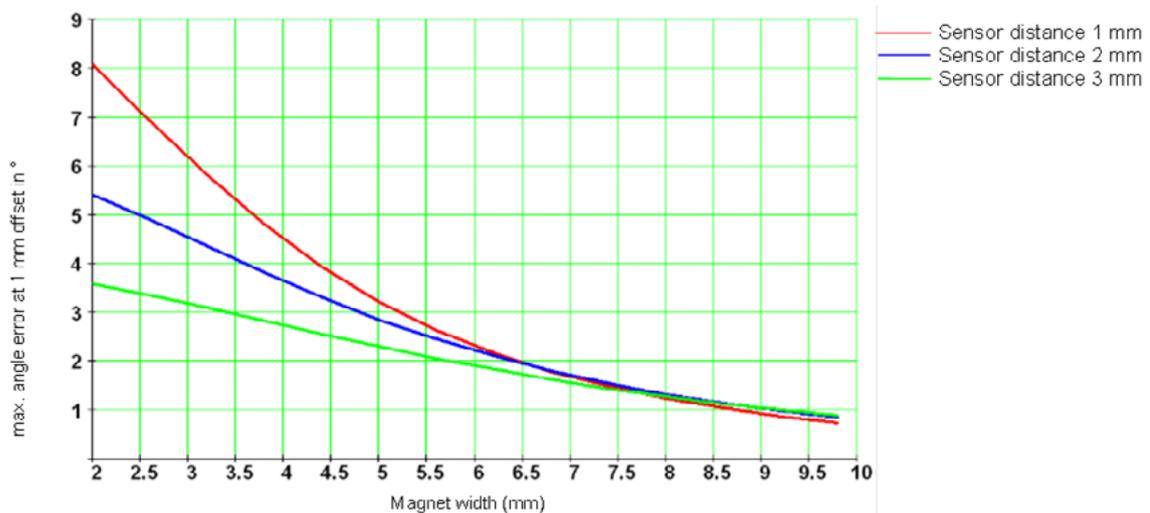


Bild 8.4: Winkelfehler bei 1 mm Achsversatz. $B_r = 300 \text{ mT}$, $l = 2 \text{ mm}$, $h = 5 \text{ mm}$.

Der Versatz geht quadratisch in den Fehler ein. Wenn der Achsversatz anstelle von 1 mm nur 0,5 mm ist, müssen die Fehleranteile aus Bild 8.4 durch 4 geteilt werden.

8.2 Dimensionierung der Polringe und linearen Maßstäbe

Für die Dimensionierung der Polringe und linearen Maßstäbe gelten die gleichen Regeln.

Für die Dimensionierung des Maßstabs muss beachtet werden:

1. Die Magnetische Feldstärke an der Position des Sensors.
2. Fehleranteile, verursacht durch den Arbeitsabstand.
3. Fehleranteile, verursacht durch das Ende des linearen Maßstabs.

Genau wie beim Dipolmagnet wird die Feldstärke an der Position des Sensors bestimmt durch drei Faktoren:

- Magnetgeometrie
- Magnetmaterial
- Sensorposition relativ zum Magneten

Bei dickeren Maßstäben beträgt die Tiefe der Magnetisierung nur wenige Millimeter. Bei dünnen Maßstäben, die über die volle Stärke magnetisiert werden, kann die Feldstärke durch einen Stahlrückschluss an der Rückseite verdoppelt werden.

Ein linearer magnetischer Maßstab besteht aus vielen aneinander gereihten Magneten. Die Feldstärke als Funktion von Pollänge, Abstand und Banddicke wird von folgender Näherungsformel beschrieben:

$$H_{\max} \approx 0.4 \cdot Br \cdot \left(1 - e^{-2.5 \cdot \frac{D}{P}} \right) \cdot e^{-2\pi \cdot \frac{A}{2 \cdot P}} \dots [8.1]$$

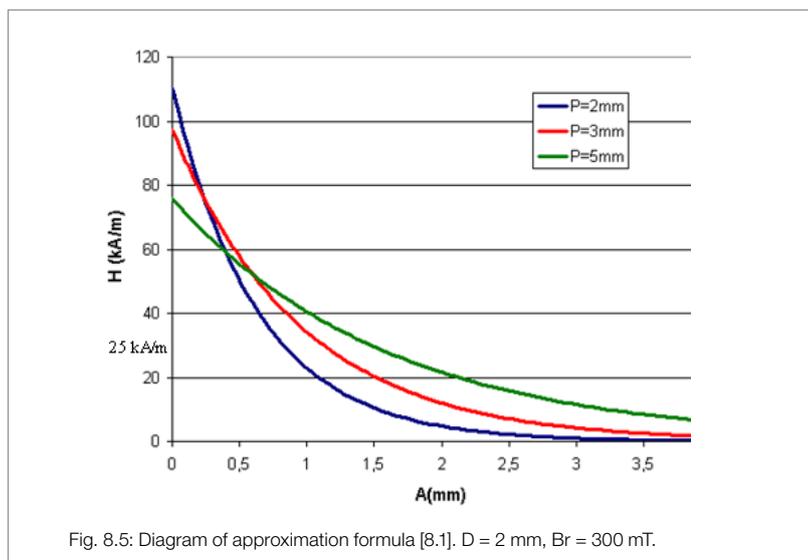
Br = Magnetische Remanenz (mT)

D = Stärke des Maßstabs bzw. Magnetisiertiefe (mm)

P = Pollänge (mm)

A = Abstand zum Maßstab (mm)

H_{max} = Maximale magnetische Feldstärke (kA/m)



In der nebenstehenden Grafik wurde mithilfe der Näherungsformel die maximale Feldstärke als Funktion vom Abstand bei drei verschiedenen Polteilungen berechnet. Als Stärke des Maßbandes wurden 2 mm angenommen bzw. ein Maßband von 1 mm Stärke mit Stahlrückschluss. Für Br wurden 300 mT eingesetzt.

Eine größere Stärke des Maßstabs trägt nur dann zum Magnetfeld bei, wenn diese auch über die volle Stärke durch magnetisiert ist.

Sichtbar ist, dass bei kleinen Polteilungen der Arbeitsabstand entsprechend klein gewählt werden muss. Als Gleichung für den Arbeitsabstand gilt:

$$A \leq \frac{P}{2} \dots [8.2]$$

Im Folgenden wird der Einfluss des Arbeitsabstands auf die Genauigkeit näher betrachtet. Bild 8.6 zeigt die jeweils horizontale und vertikale Komponente (X und Y) des Magnetfelds, wenn sich der Messpunkt über die Länge von 4 mm parallel zum Maßstab bewegt. Als Parameter wurde der Abstand zum Maßstab von 0,5 bis 2 mm gewählt. Die Pollänge des Maßstabs beträgt 2 mm.

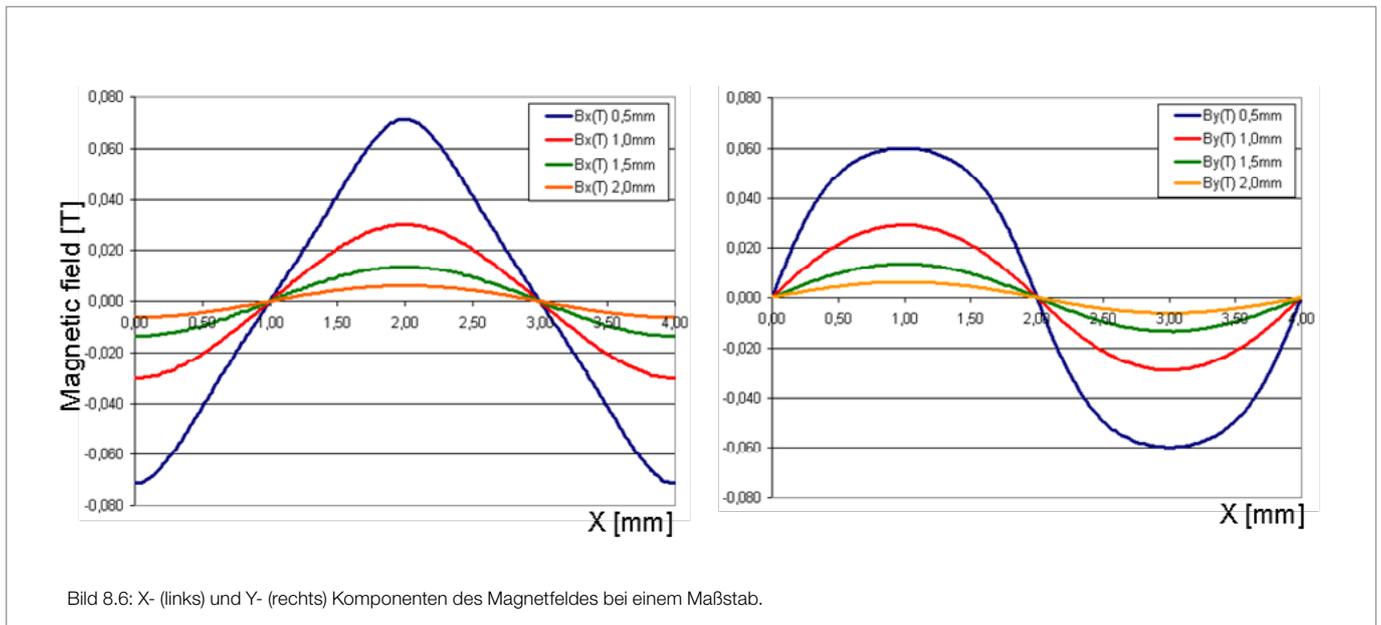


Bild 8.6: X- (links) und Y- (rechts) Komponenten des Magnetfeldes bei einem Maßstab.

Bei einer Bewegung über zwei Magnetpole, rotiert das Magnetfeld um 360°. Wenn die beiden Feldkomponenten in x- und y-Richtung sinusförmig sind, ergibt sich ein linearer Winkelverlauf. Bild 8.6 macht deutlich:

- Mit zunehmendem Abstand werden die Feldkomponenten schwächer.
- Bei mittlerem Abstand (1 oder 1,5 mm) ähnelt der Verlauf der Feldkomponenten einer Sinus- bzw. Cosinuskurve.
- Bei geringem Abstand ähnelt der Verlauf der Feldkomponenten kaum noch einer Sinus- bzw. Cosinuskurve.

Der AA700 Winkelsensor liefert bei Bewegung über einen Magnetpol eine komplette Signalperiode. Zur Ermittlung der Sensorposition innerhalb eines Pols, wird die Arctan2-Funktion benutzt. In Bild 8.7 auf der nächsten Seite ist für die verschiedenen Arbeitsabstände die Abweichung von der idealen Position dargestellt.

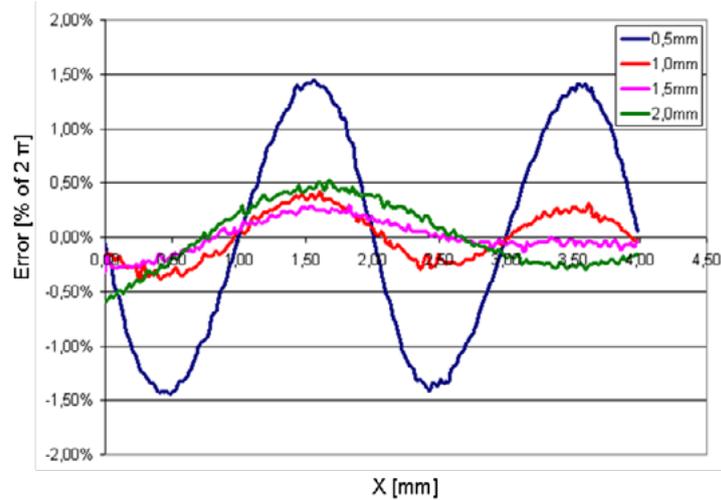


Bild 8.7: Positionsabweichungen als Folge der Nichtlinearität des Magnetfeldverlaufs.

Das ‚Rauschen‘ im Bild 8.7 ist eine Folge der Auflösung der Simulation. Anhand dieses Bildes stellen wir fest:

- Ein zu kleiner Abstand führt zum größten Fehler.
- Bei einem Abstand von 1 mm und 1,5 mm ist der Fehler am geringsten.
- Bei größerem Abstand steigt der Fehler nur gering an.

Diese Ergebnisse bestätigen nochmals die Gleichung für den Arbeitsabstand von der vorigen Seite und wir können diese ergänzen zu:

$$\frac{P}{4} A \leq \frac{P}{2} \dots [8.3]$$

Bei größerem Abstand wird das Magnetfeld schwächer und damit wird der Einfluss externer Störfelder und eventuell auch der Formanisotropie größer.

Ein weiterer Messfehler kann am Ende des Maßstabs entstehen. Im folgenden Bild 8.8 ist ein Magnetfeld um das Ende eines Maßstabs simuliert.

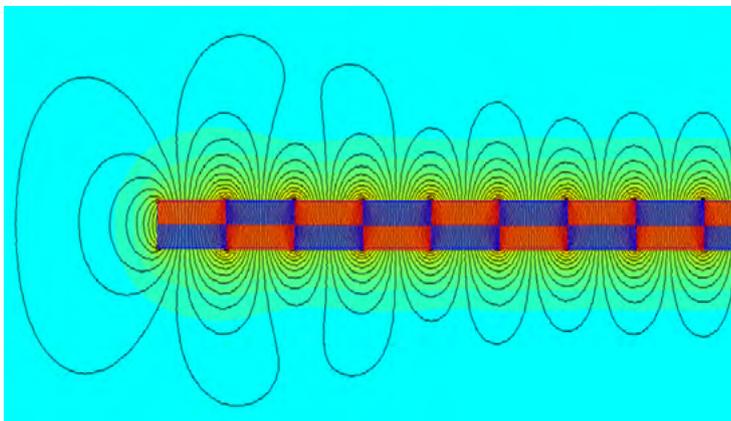


Bild 8.8: Magnetfeldsimulation an einem Maßstab.

Hier ist deutlich sichtbar, wie über fünf Pole das Magnetfeld am Maßstabsende beeinflusst ist. Diese Zahl fünf ist als Richtwert zu sehen: über die ersten fünf Pole ist die Linearität durch das Ende des Maßstabs negativ beeinflusst.

In der Anwendung ist der Maßstab meist auf einen weichmagnetischen Metallträger montiert und es befinden sich möglicherweise noch weitere metallische Teile in der Nähe. Wenn die Genauigkeit am Maßstabsende entscheidend ist, kann hier eine Simulation Klarheit bringen. Sensitec bietet lineare Polringe und Maßstäbe auf Basis von kunststoffgebundenem Hartferrit an. Nähere Daten finden Sie in unserem Katalog.

8.3 Sensor- und Messfehleranteile

Bevor die Messsignale der AMR Brücken in die Berechnung der Arctan2 Funktion einfließen, muss Folgendes berücksichtigt werden:

- Offset-Spannungen der Wheatstone-Brücken
- Amplituden-Differenzen zwischen den beiden Wheatstone-Brücken
- Phasenfehler

8.3.1 Offset-Spannung

Der Einfluss der Offset-Spannung ist am besten an einem Beispiel erklärt.

8.3.2 Offsetfehler auf Sinus

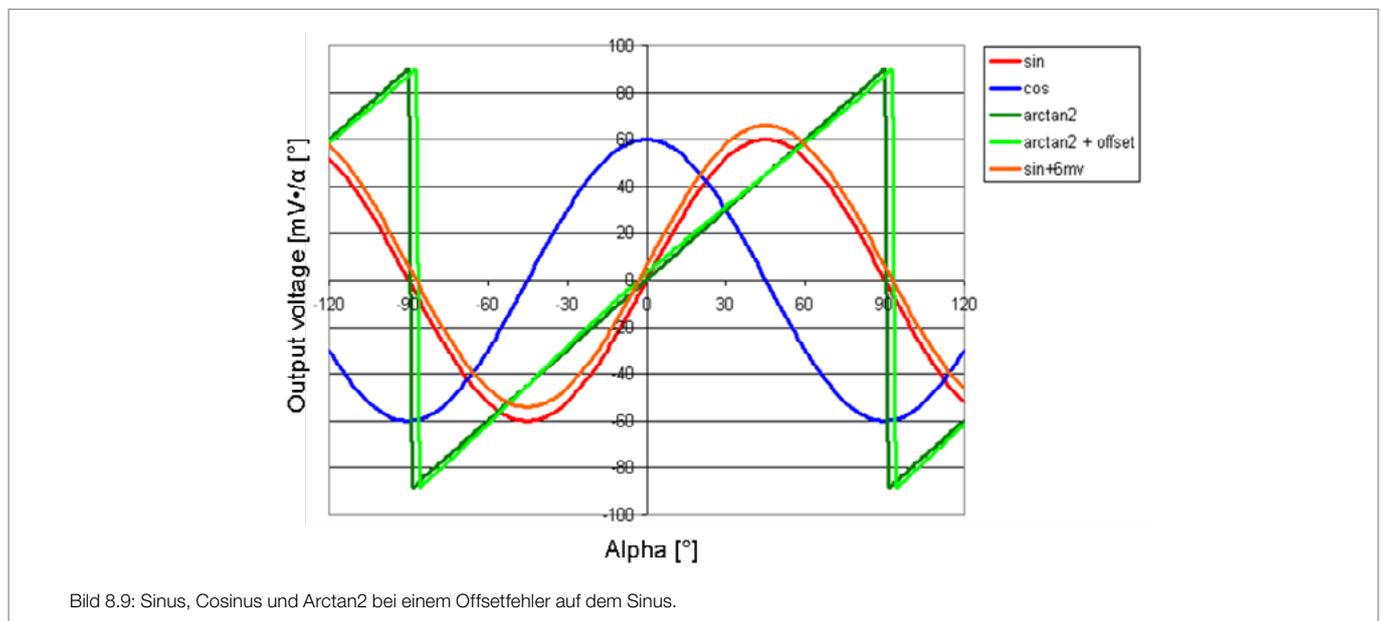


Bild 8.9: Sinus, Cosinus und Arctan2 bei einem Offsetfehler auf dem Sinus.

Bild 8.9 zeigt die idealen Sinus- und Cosinussignale sowie deren Arctan2 und wie sich die Kurven und der Arctan2 verändern, wenn das Sinussignal mit einem Offsetfehler erzeugt wird. Der hier verwendete Fehler ist stark übertrieben, um die Änderung in der grafischen Darstellung sichtbar zu machen. Bei einem Offsetfehler von 6 mV auf einer Amplitude von 60 mV (= Offsetfehler 10 %) beträgt der Winkelfehler nach Arctan2 Berechnung maximal 2,9°. Diese 2,9° auf 180° entsprechen 1,6 %.

Gleichung für die Berechnung des Winkelfehlers als Folge eines Offsetfehlers:

$$\Delta \varphi \approx \frac{\Delta U_o}{2\pi} \dots [8.4]$$

Dabei ist der Offsetfehler ΔU_o in % der Amplitude und der Winkelfehler $\Delta \varphi$ in % von 180° zu verwenden.

Um offsetbedingte Fehler zu vermeiden, muss die Auswerteelektronik dazu in der Lage sein, über mindestens einen kompletten Sinus den Mittelwert (DC-Komponente) zu bestimmen. D. h., dieser Offset muss immer vom Messwert abgezogen werden. Meistens reicht eine einmalige Ermittlung des Offsets.

8.3.3 Amplitudendifferenz

In Bild 8.10 ist dargestellt, wie die Signale aussehen, wenn das Sinussignal einen Amplitudenfehler von 6 mV hat (= 10 % von 60 mV).

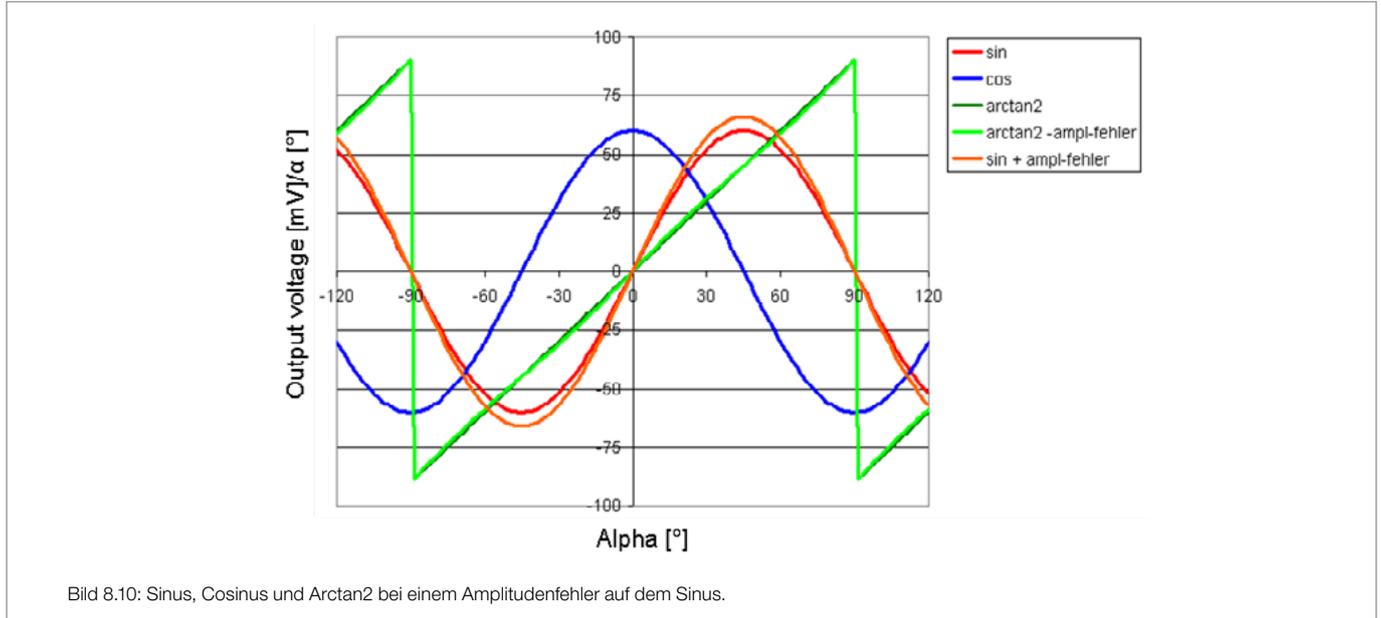


Bild 8.10: Sinus, Cosinus und Arctan2 bei einem Amplitudenfehler auf dem Sinus.

Bei einem Amplitudenfehler von 6 mV (= 10 % von 60 mV) auf dem Sinus kann ein Winkelfehler von ca. 1,4° (0,7 % von 180°) errechnet werden.

Gleichung für die Berechnung des Winkelfehlers als Folge eines Amplitudenfehlers in einem der Signale:

$$\Delta \varphi \approx \frac{\Delta U}{4\pi} \dots [8.5]$$

Dabei sind Amplitudenfehler ΔU in % der Amplitude und Winkelfehler $\Delta \varphi$ in % von 180° zu verwenden.

Bei den Sensoren der AA70-Familie kann unter Verwendung der Arcus-Tangens-Funktion die Amplitude des Sinus- und Cosinussignals gekürzt werden. Da beide Amplituden sich auch synchron zu Versorgungsspannungsschwankungen verhalten ist auch hier das Winkelergebnis unabhängig von der Amplitude. Beim AA747 sind die Messbrücken von Sinus und Cosinus getrennt versorgt, hier können durch unterschiedliche Versorgungsspannungen abweichende Amplituden erzeugt werden.

8.3.4 Phasenfehler

Der Phasenfehler im Sensor wird durch die Lithographie in der Fertigung bestimmt und ist vernachlässigbar klein. Trotzdem wird der Einfluss eines Phasenfehlers beschrieben, weil dieser bei der digitalen Signalverarbeitung durch asynchrones Sampeln entstehen kann.

8.3.5 Phasenfehler auf Sinus

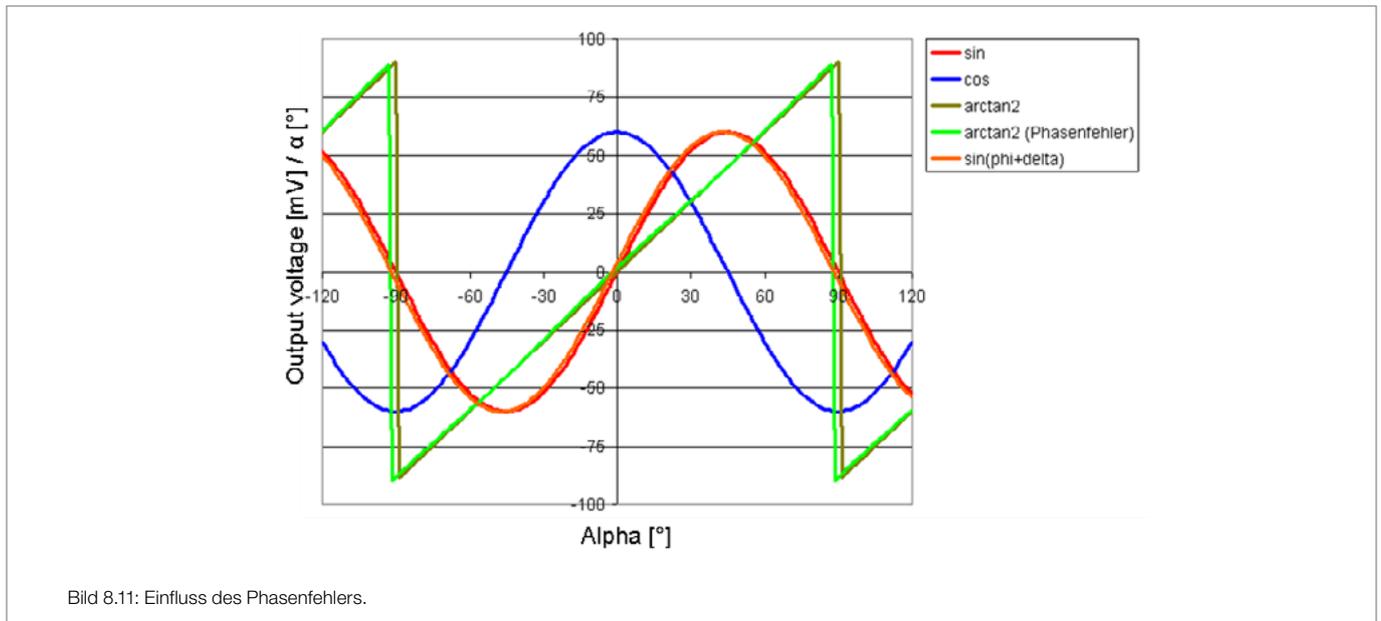


Bild 8.11: Einfluss des Phasenfehlers.

In Bild 8.11 sind sowohl die idealen Sinus-, Cosinus- und Arctan2 Signale als auch die entsprechenden Signale im Falle eines Phasenfehlers von 1,8° dargestellt. Das Ausgangssignal hat in diesem Fall einen Phasenfehler von 3,6°. Dies führt in der Arctan2-Berechnung zu einem Fehler von 1,8°. Phasenfehler wirken sich unmittelbar im Ergebnis aus.

$$\text{Phasenfehler} = \text{Winkelfehler} \dots\dots [8.6]$$

Phasenfehler haben die gleiche Periodizität wie die Sinus- und Cosinussignale.

9. Signalverarbeitung

Das Sensorsignal muss auf ein für die Anwendung geeignetes Signal angepasst werden. Dies kann zum Beispiel durch Verstärker, Komparatoren, Interpolatoren, Mikrokontroller, CPLD oder FPGA geschehen. Nachstehend ein Beispiel von einem Blockdiagramm für eine inkrementale Wegerfassung mit Referenzpunkt, Interpolation und Linedriver.

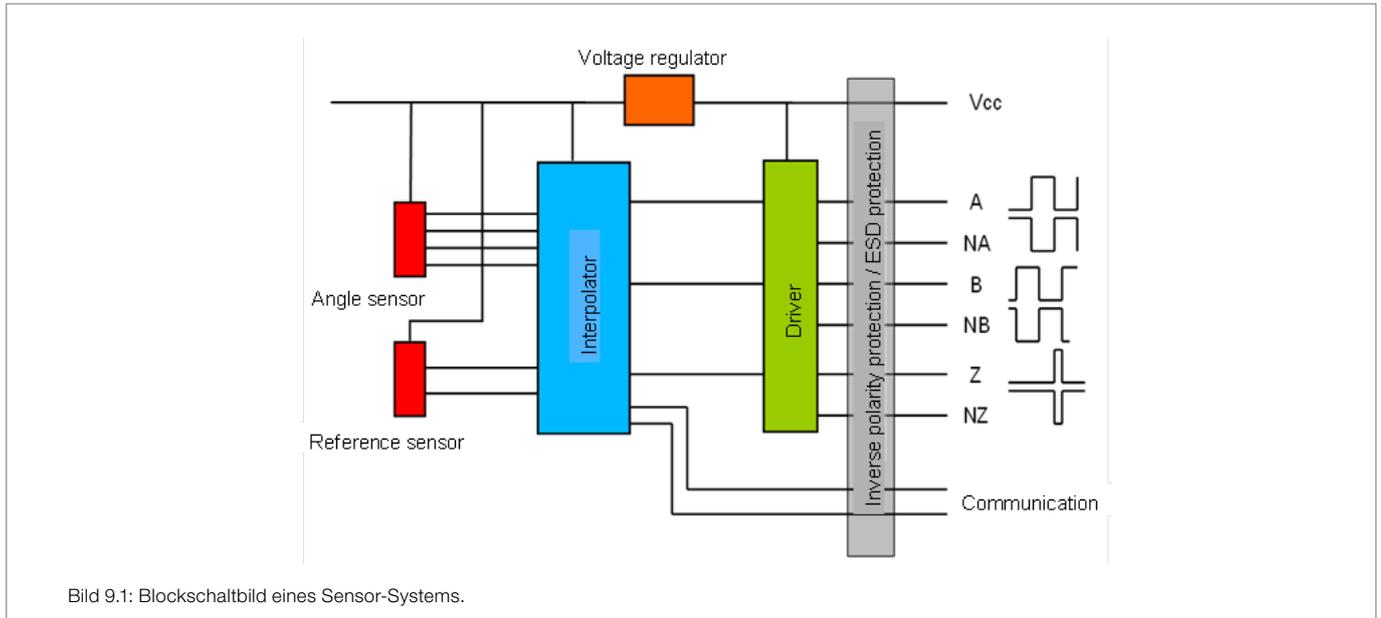


Bild 9.1: Blockschaltbild eines Sensor-Systems.

In Bild 9.1 ist sowohl der Winkelsensor als auch ein Referenzsensor an einem Interpolator angeschlossen. Dieser Interpolator verstärkt die Eingangssignale, korrigiert eventuelle Offset-Spannungen und bestimmt mittels dem Arctan2 Verfahren die Position innerhalb eines Polpaars. Veränderungen der Position werden als Pulse auf den A und B Leitungen ausgegeben. Der Treiber verstärkt diese Signale für die Übertragung über eine Leitung. Die Ein- und Ausgänge sollten durch eine geeignete Beschaltung vor Schäden durch ESD oder Verpackung geschützt werden.

Die Ausgangssignale als inkrementale Impulse in Bild 9.1 sind nur eine der vielen Möglichkeiten. In den meisten Anwendungen muss zuerst das Sensorsignal verstärkt werden, entweder als diskrete Schaltung mittels Operationsverstärker oder als integrierter Eingangsverstärker im Interpolator. Im Nachfolgenden wird die Eingangsverstärkung beschrieben.

9.1 Signalverstärkung

Die einfachste Realisierung eines Vorverstärkers hält die Sensormittenspannung bei $1/2 \times U_b$ und erzeugt verstärkte Sinus- und Cosinussignale.

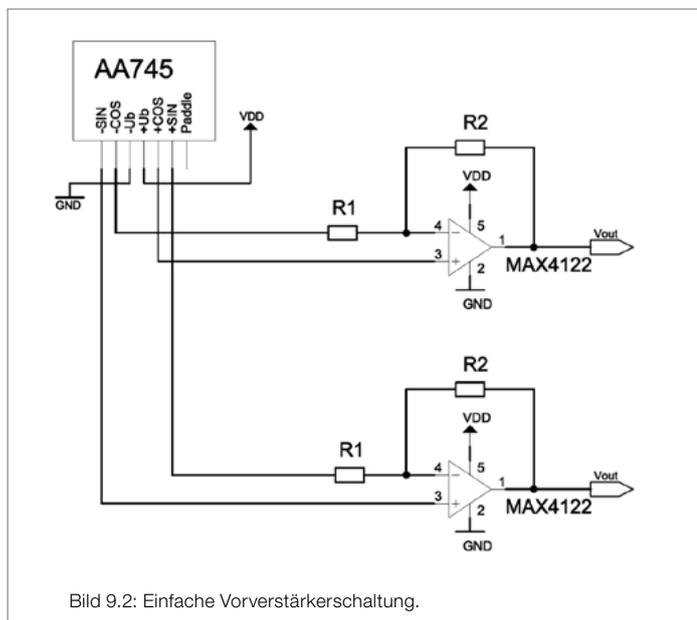


Bild 9.2: Einfache Vorverstärkerschaltung.

So können die Sensorsignale auf den Eingangsbereich des Analog-Digital-Wandlers des Mikrocontrollers skaliert werden.

$$V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \dots [9.1]$$

$R_B = \text{Sensorbrückenwiderstand } R_1 > R_B$

Das digitale Aufbereiten der Signale (z. B. die Eliminierung des statischen Offsets) wird im Mikrocontroller vorgenommen. Für die einfache Vorverstärkung in Bild 9.2 werden für Sinus und Cosinus jeweils ein Verstärker und zwei Widerstände benötigt. Der Nachteil ist eine unsymmetrische Belastung der Sensorbrückenwiderstände, wodurch eine Verstimmung der Brücke möglich ist. Ein weiterer Nachteil ist sein geringer Eingangswiderstand.

Um den sehr hochohmigen Eingangswiderstand der Verstärkerschaltung zu erreichen, wird vor beide Eingänge je ein Impedanzwandler vorgeschaltet. Die Differenzverstärkung wird in der hier beschriebenen Schaltung über die Widerstände R1 und R2 bestimmt.

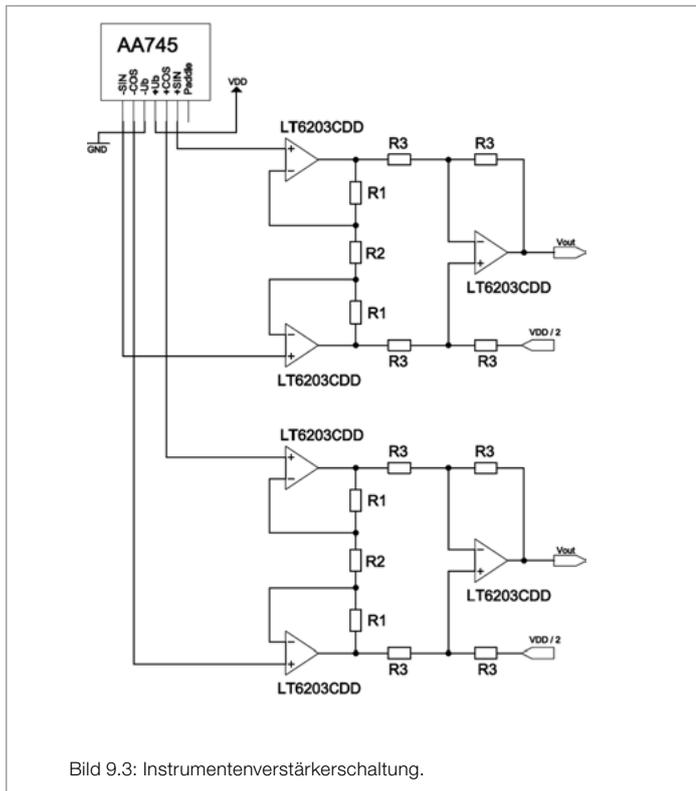


Bild 9.3: Instrumentenverstärkerschaltung.

$$V = 1 + \frac{2 \cdot R_1}{R_2} \dots [9.2]$$

Instrumentenverstärker sind komplexer aufgebaut und belasten die Messbrücken nur minimal. Einige Halbleiterhersteller bieten den Instrumentenverstärker in einem Gehäuse an.

Ebenfalls gut einsetzbar sind programmierbare Verstärker, denn hiermit kann auch der Offset der Sinus und Cosinussignale programmiert werden. Eine weitere Möglichkeit, die verschiedene programmierbare Verstärker bieten, ist eine dynamische Anpassung der Amplitude und des Offsets im Betrieb über Temperatur.

9.2 Anwendungen mit Interpolations ASIC

Zur Digitalisierung zu einem Quadratursignal A/B bietet sich der Einsatz eines Interpolatorbausteins an. Das im Interpolator integrierte, analoge Frontend ermöglicht es, den Sensorchip direkt anzuschließen. Diese Bausteine bieten umfangreiche, zum Teil programmierbare Funktionen. Es können z. B. Auflösung, Hysterese, Drehrichtung u.ä. eingestellt werden.

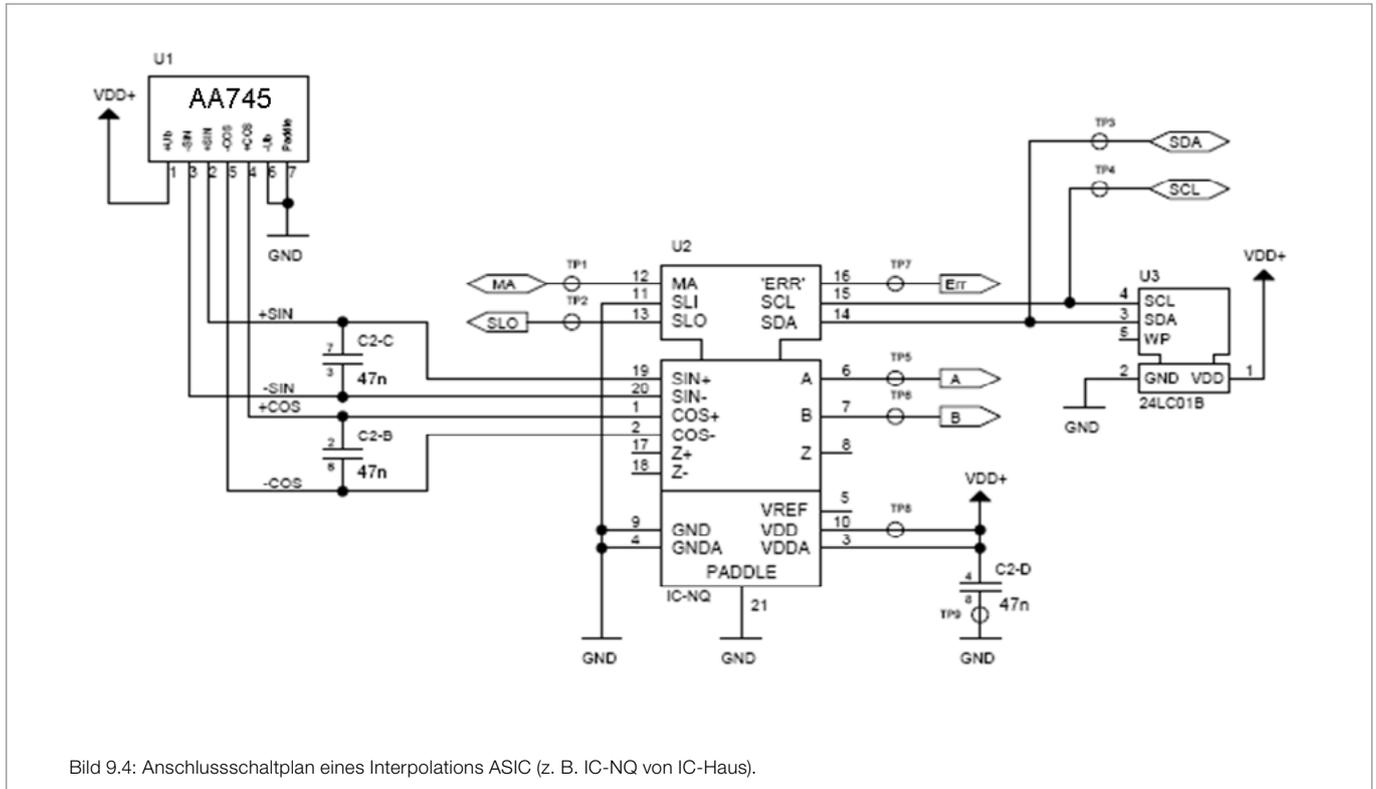


Bild 9.4: Anschlusschaltplan eines Interpolations ASIC (z. B. IC-NQ von IC-Haus).

Am Markt existieren verschiedene Anbieter von für AA700 Sensoren geeigneten Signal-Conditioning-ASICs. Die folgende Tabelle zeigt eine kleine Auswahl. Sensitec verfügt über tiefgehendes Applikationswissen und unsere Applikationsingenieure beraten Sie gerne.

ASIC Lieferanten (eine Auswahl)

Firmenname	Postanschrift	Internetadresse
GEMAC MBH	Zwickauer Str. 227, 09116 Chemnitz	www.gemac-chemnitz.de
IC-Haus GmbH	Am Kümmerling 18, D-55294 Bodenheim	www.ichaus.de
NXP Semiconductors	Stresemannallee 101, 22529 Hamburg	www.nxp.com
RLS d.o.o.	C Il Grupe Odredov 25, SI -1261 Ljubljana-Dobrunje	www.rls.si
Sensitec* GmbH	Georg-Ohm Straße 11, 35633 Lahnu	www.sensitec.com
Sensor Dynamics AG	Schloss Eybesfeld 1e A-8403 Graz-Lebring, Austria	www.sensordynamics.cc
ZMD AG	Grenzstrasse 28, 01109 Dresden	www.zmd.de

¹⁾ Die Sensitec ASICs werden ausschließlich als Teil einer Komplettlösung ausgeliefert.

Tabelle 9.1: Auswahl an ASIC Lieferanten.

10. Magnetische Umrechnungsfaktoren

In der Literatur werden noch häufig Einheiten aus dem Gaußschen System verwendet. Im Folgenden finden Sie die Faktoren für die Umrechnung in SI Einheiten.

Größe	Symbol	CGS Einheit	Umrechnung	SI Einheit
Magnetische Flussdichte	B	Gauss	1 Gauss = 10^{-4} Tesla	Tesla (T=Wb/m ²)
Magnetische Feldstärke	H	Ørsted (Øe)	$10e = \frac{1000}{4\pi} \text{ A / m} \approx 79.577 \text{ A / m}$	Ampere / Meter

Umrechnung Flussdichte in Feldstärke

$$B = \mu \cdot H$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$\mu_r \approx 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am in Luft}$$

$$B \approx 12,5 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

Tipp: Mehr zur magnetischen Feldstärke: http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetische_Feldstärke

11. Gleichungen

Die folgenden Gleichungen sind in diesem Dokument beschrieben.

Kapitel	Gleichung	Nr./Seite
Kapitel 2	$R = \frac{R_{\max} + R_{\min}}{2} + \frac{R_{\max} - R_{\min}}{2} \cdot \cos(2\varphi)$	2.1 / Seite 6
Kapitel 5	$\Delta X \approx \rho \cdot \frac{\Delta \alpha}{180}$	5.1 / Seite 14
Kapitel 8	$H_{\max} \approx 0.4 \cdot Br \cdot \left(1 - e^{-2.5 \cdot \frac{D}{P}} \right) \cdot e^{-2\pi \cdot \frac{A}{2 \cdot P}}$	8.1 / Seite 22
Kapitel 8	$A \leq \frac{P}{2}$	8.2 / Seite 23
Kapitel 8	$\frac{P}{4} < A \leq \frac{P}{2}$	8.3 / Seite 24
Kapitel 8	$\Delta \varphi \approx \frac{\Delta U_0}{2\pi}$	8.4 / Seite 25
Kapitel 8	$\Delta \varphi \approx \frac{\Delta U}{4\pi}$	8.5 / Seite 26
Kapitel 8	Phasenfehler = Winkelfehler	8.6 / Seite 27
Kapitel 9	$V = \frac{R_2}{R_1 + R_3}$	9.1 / Seite 28
Kapitel 9	$V = 1 + \frac{2 \cdot R_1}{R_2}$	9.2 / Seite 29

12. Glossar

Begriff	Erklärung
Anisotropie	Die Richtungsabhängigkeit einer Eigenschaft.
Chiplayout	Die geometrische Festlegung der MR-Strukturen und Verbindungen im Chip sowie die Festlegung der Anschlüsse.
Dünnschichttechnik	In der Dünnschichttechnik werden dünne Schichten, meist unter 1 μm , auf ein Substrat aufgebracht.
FixPitch	FixPitch Sensoren sind an die Pollängen der Maßverkörperung angepasst. Die Linearität des Sensors wird dadurch optimiert. Die Empfindlichkeit für Störfelder wird ebenfalls minimiert.
Formanisotropie	Magnetische Anisotropie verursacht durch die geometrische Dimensionierung eines Strom führenden Elements.
FreePitch	FreePitch Sensoren sind so optimiert, dass sie unabhängig von der Pollänge der Maßverkörperung eingesetzt werden können. FreePitch Sensoren sind die kleinsten Winkelsensoren unter den Magnetfeldsensoren.
Kit	Hierbei handelt es sich um einen zweckgebundenen Satz von einzelnen, unmontierten Teilen und Modulen, die für die kundenseitige Montage und Integration in die Maschine bzw. das Gerät vorgesehen sind.
Koerzitivfeldstärke H_c	Die magnetische Feldstärke, die erforderlich ist, um eine gespeicherte Magnetisierung zu ändern.
Komponente	Einzelteile, die für die Integration in ein Modul oder System vorgesehen sind.
Modul	Ein Modul von Sensitec setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Das Modul selbst ist noch nicht funktionsfähig und benötigt weitere Bauteile – wie etwa eine Maßverkörperung – um ein Kit oder System zu bilden.
PerfectWave	Sensoren mit PerfectWave liefern beste Signalqualität, höchste Genauigkeit und optimale Sensor-Linearität durch Oberwellenfilterung. Auch bei schwachen Magnetfeldern ist die Linearität des Sensors gewährleistet.
PurePitch	Bei PurePitch Sensoren ist das FixPitch Prinzip über mehrere Pole erweitert, um die Genauigkeit noch weiter zu steigern. Durch diese Anordnung werden die Auswirkungen von Unregelmäßigkeiten in der Maßverkörperung reduziert sowie der Einfluss von Störfeldern minimiert.
Remanenz B_r	Die Stärke der Magnetisierung, die in einem Material nach einer Magnetisierung zurück bleibt.
System	Funktionsfähiger Verbund aus Sensitec-Komponenten und / oder -Modulen. Der Vorteil des kompletten Systems besteht darin, dass sich Ihr Montage- und Konstruktionsaufwand minimiert.

General Information

Disclaimer

Sensitec GmbH reserves the right to make changes, without notice, in the products, including software, described or contained herein in order to improve design and/or performance. Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, Sensitec GmbH does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information. Sensitec GmbH takes no responsibility for the content in this document if provided by an information source outside of Sensitec products.

In no event shall Sensitec GmbH be liable for any indirect, incidental, punitive, special or consequential damages (including but not limited to lost profits, lost savings, business interruption, costs related to the removal or replacement of any products or rework charges) irrespective the legal base the claims are based on, including but not limited to tort (including negligence), warranty, breach of contract, equity or any other legal theory.

Notwithstanding any damages that customer might incur for any reason whatsoever, Sensitec product aggregate and cumulative liability towards customer for the products described herein shall be limited in accordance with the General Terms and Conditions of Sale of Sensitec GmbH. Nothing in this document may be interpreted or construed as an offer to sell products that is open for acceptance or the grant, conveyance or implication of any license under any copyrights, patents or other industrial or intellectual property rights.

Unless otherwise agreed upon in an individual agreement Sensitec products sold are subject to the General Terms and Conditions of Sales as published at www.sensitec.com.

Application Information

Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Sensitec GmbH makes no representation or warranty – whether expressed or implied – that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

Customers are responsible for the design and operation of their applications and products using Sensitec products, and Sensitec GmbH accepts no liability for any assistance with applications or customer product design. It is customer's sole responsibility to determine whether the Sensitec product is suitable and fit for the customer's applications and products planned, as well as for the planned application and use of customer's third party customer(s). Customers should provide appropriate design and operating safeguards to minimize the risks associated with their applications and products.

Sensitec GmbH does not accept any liability related to any default, damage, costs or problem which is based on any weakness or default in the customer's applications or products, or the application or use by customer's third party customer(s). Customer is responsible for doing all necessary testing for the customer's applications and products using Sensitec products in order to avoid a default of the applications and the products or of the application or use by customer's third party customer(s).

Sensitec does not accept any liability in this respect.

Life Critical Applications

These products are not qualified for use in life support appliances, aeronautical applications or devices or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury.

Copyright © by Sensitec GmbH, Germany

All rights reserved. No part of this document may be copied or reproduced in any form or by any means without the prior written agreement of the copyright owner. The information in this document is subject to change without notice. Please observe that typical values cannot be guaranteed. Sensitec GmbH does not assume any liability for any consequence of its use.

Sensitec GmbH

Schanzenfeldstr. 2 · 35578 Wetzlar · Germany
Tel. +49 6441 5291-0 · Fax +49 6441 5291-117
www.sensitec.com · sensitec@sensitec.com