



INNOVENT



**Entwicklung eines neuartigen
linearen Hall-Sensor-Arrays inklusive
Kalibrieroutine zur hochauflösenden,
robusten Magnetfeldmessung**

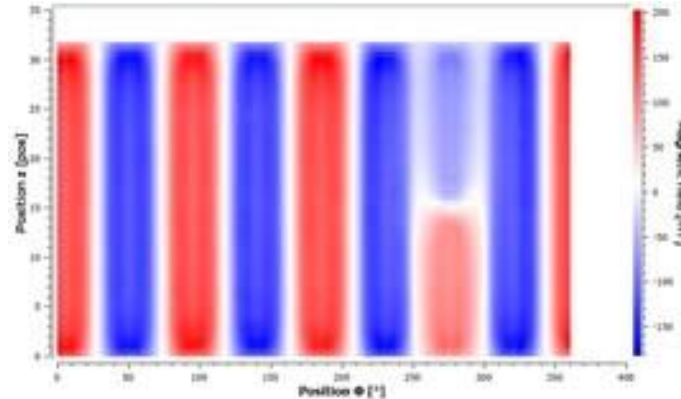
Mitglied der



ZUSE-GEMEINSCHAFT

www.innovent-jena.de

- Die Leistungsfähigkeit permanentmagnetischer Rotoren hängt entscheidend von der Qualität der verbauten Magnete ab
- kleinste Fehler in Material, Feldstärke oder -richtung mindern signifikant den Wirkungsgrad
- Kunden fordern zunehmend eine 100 %-Inline-Kontrolle statt einer Stichprobenprüfung
- Klassische Einzelsonden-Messung : eine Helixfahrt über viele Rotorumdrehungen, aufwändiger Rechenalgorithmus
- Lösung: lineares Hall-Sensor-Array erfasst alle Positionen gleichzeitig – kompletter Scan bei einer Rotorumdrehung

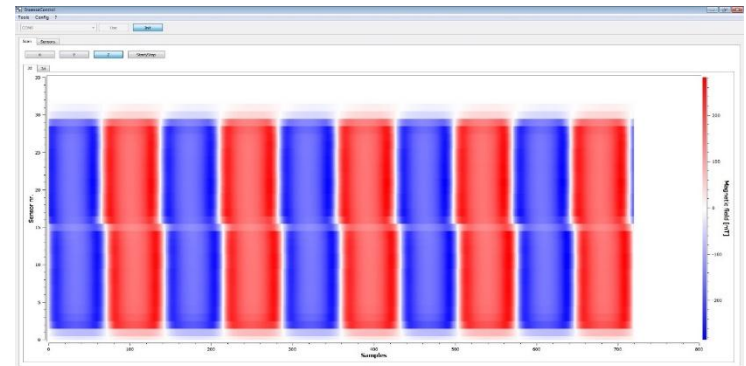


Scanzeit für einen vollständigen Rotorumfang

Einzelsonde: mehrere Minuten (Helixfahrt + komplexer Rechenalgorithmus)

Das InSense-System besteht aus drei funktional integrierten Komponenten:

1. **Die Hall-Sensorzeile**, die das Magnetfeld in drei orthogonalen Raumrichtungen erfasst und eine hochauflösende laterale Abtastung ermöglicht
2. **Dem Controller**, der die Rohdaten mit hoher Abtastezeit aufnimmt, vorverarbeitet und über industrielle Schnittstellen bereitstellt. Die Architektur minimiert Messrauschen und gewährleistet eine hohe Signalstabilität
3. **Der Software InSenseControl**, die die Messdaten visualisiert, analysiert und als Heatmap darstellt. Die Software ermöglicht eine quantitative Bewertung der Feldverteilung, einschließlich Polbreiten, Zero-Crossings und lokaler Feldgradienten



Modularer Aufbau

- Die Sensorzeile basiert auf modularen 80-mm-Segmenten, die sich zu größeren Messlängen kombinieren lassen - flexible Anpassung an unterschiedliche Rotorbreiten und Messanforderungen
- Die Sensorzeile ist kaskadierbar bis max. 4 Module (80 bis 320 mm)
- Jedes Modul enthält 32 Hall-Tripel, die das Magnetfeld in x-, y- und z-Richtung erfassen
- Der Pitch von 2,5 mm ermöglicht eine feine laterale Abtastung des Streufelds und realisiert, dass auch kleinräumige Feldinhomogenitäten detektiert werden können
- Die mechanische Konstruktion berücksichtigt thermische Ausdehnung, Vibrationsbelastungen und Montagepräzision, um reproduzierbare Messabstände sicherzustellen



Masterplatine & Schnittstellen

- Die Elektronik ist für industrielle Einsatzbedingungen konzipiert und unterstützt verschiedene Kommunikationsschnittstellen wie SPI, RS485 und USB-C
- Via Kunbus-Module kann EtherCAT integriert werden, was eine direkte Einbindung in industrielle Steuerungssysteme ermöglicht
- Die Masterplatine übernimmt die Temperaturkompensation und ermöglicht eine hohe zeitliche Abtastrate, essenziell für die präzise Erfassung der dynamischen Magnetfeldänderungen während der Rotorrotation
- Die Signalverarbeitung umfasst Filteralgorithmen, die Störkomponenten reduzieren und die Messqualität verbessern
- Die Architektur ist darauf ausgelegt, Messrauschen zu minimieren und eine hohe Signalstabilität sicherzustellen
- Ein Triggerein- und ausgang unterstützt die Synchronisation mit einer beliebigen (Rotations-)Bewegung (Antriebe der Bewegung verfügen über entsprechende Encoder



Kalibrierung in definiertem Magnetfeld

- Erzeugung des Magnetfeldes mithilfe eines Elektromagneten
- Simultane rückgeführte Messung der Flussdichte mittels kalibriertem Normal

Individuelle Kalibrierung der Sensoren

- Jeder Sensor der Sensorzeile wird separat kalibriert
- Kalibrierung der Sensoren über alle drei Raumachsen für hohe Feldwerte
- Ableitung von 3×3-Matrizen zur Orthogonalitäts- und Lagekorrektur der Sensorachsen
- Mgauss TAB Dynamik Verbundprojekt (Nr.: 1003920)

Kalibrierung der z-Richtung

- Variation des Magnetfeldes von **−800 mT bis +800 mT**
- Erfassung der jeweiligen Sensorsignale zur Bestimmung der Kalibrierparameter bei **17 definierten Feldwerten**

Kalibrierung der x und y-Richtung

- Realisierung durch einen definierten **Schräginbaus des Sensormoduls**
- Berücksichtigung der **Kosinus-Projektion**: $B_{\text{gemessen}} = B \cdot \cos(\alpha)$
- Synchrone Kalibrierung beider Sensorachsen
- Variation des Magnetfeldes: y-Richtung von **−800 mT bis +800 mT** x-Richtung von **−400 mT bis +400 mT**
- Aufnahme von ebenfalls **17 definierten Feldwerten**

Achsenweise Kalibrierung

- Getrennte Erfassung und Kalibrierung der drei Raumrichtungen
- Teilautomatisierter Kalibrierablauf mit definierter Positionierung des Sensormoduls
- Einzelsensoren werden mittels Linearer Verschiebung der Sensorzeile im Magnetfeld positioniert und die Kalibrierung im entsprechenden Feldwertebereich durchgeführt

Genauigkeit

- **0,3 % in x-Richtung** (± 400 mT)
- **0,45% in y-Richtung** (± 800 mT)
- **0,15% in z-Richtung** (± 800 mT)
- gute Übereinstimmung zwischen gemessener und tatsächlich anliegender magnetischer Flussdichte
- Unterschiede zwischen den Achsen zeigen eine richtungsabhängige Messgenauigkeit
- Die ermittelten Abweichungen liegen in einem für die Anwendung relevanten Bereich



Temperaturverhalten des Systems

- Moderate Erwärmung der Sensorplatine während des Betriebs
- Permanentmagnet bleibt weitgehend **temperaturstabil**

Temperaturabhängige Messdrift

- Drift von etwa **0,12 %/°C** nachweisbar
- Einfluss durch die integrierte **Temperaturkompensation korrigierbar**

Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit

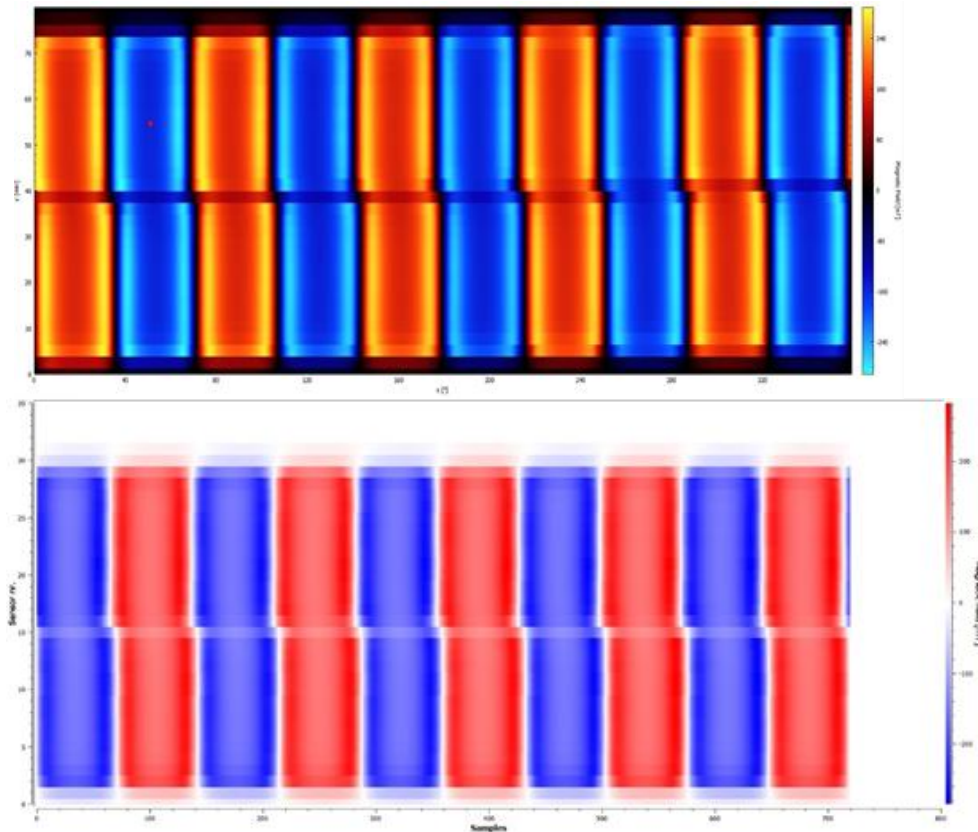
- Messgenauigkeit bleibt auch bei variierenden Temperaturen erhalten
- Reproduzierbare Messwerte auch unter **thermischer Belastung**

Relevanz für den Inline-Einsatz

- Hohe thermische Stabilität für den kontinuierlichen Betrieb von Bedeutung
- Geeignet für Anwendungen mit **wechselnden Temperaturprofilen**
- Thermische Robustheit des Systems bestätigt

- **4 von 6 Einzelprüfungen erfolgreich bestanden**
- Grundsätzliche elektromagnetische Verträglichkeit des Systems konnte nachgewiesen werden
- **Nachbesserungsbedarf bei elektrostatischer Entladung (ESD) und Burst-Störgrößen**
- Bei diesen Prüfungen besteht Optimierungspotenzial hinsichtlich der Störfestigkeit und des Systemaufbaus
- Mögliche Ansatzpunkte sind beispielsweise eine Optimierung der Leitungsführung, Schirmung und Filterung

Test	Bezugsnorm	Zielwert		Ergebnis
Störaussendung	DIN EN 61326-1			
- Funkstörstrahlung	DIN EN 55011	Gruppe 1 Klasse A		+
Störfestigkeit	DIN EN 61326-1			
- elektrostatische Entladung	DIN EN 61000-4-2	Luft:	±8kV	-
		Kontakt:	±4kV	
- elektromagnetische HF-Felder	DIN EN 61000-4-3	Bereich 1	10 V/m	+
		Bereich 2	3 V/m	
		Bereich 3	1 V/m	
- netzfrequentes Magnetfeld	DIN EN 61000-4-8		30 A/m	+
- schnelle Transiente (Bursts)	DIN EN 61000-4-4	Signal:	±1kV	-
- leitungsgeführte HF	DIN EN 61000-4-6	Signal:	3V	+



Nachweis der Systemleistung

- Vergleich von Einzelsonde und InSense
- Präzise Streufelderfassung unter dynamischen Bedingungen

Deutliche Reduzierung der Messzeit

- Einzelsonde: **31 Umdrehungen** und Helixfahrt
- InSense: vollständige Streufeldinformation in **1 Umdrehung**

- Drastische Verkürzung der Messdauer

Hohe Messqualität

- Heatmaps beider Messverfahren **nahezu identisch**
- Hohe Übereinstimmung und Reproduzierbarkeit der Messergebnisse

Potenzial für Inline-Prüfung

- Schnelle Erfassung des Streufeldes
- Gute Voraussetzungen für die **Inline-Qualitätskontrolle in der Serienfertigung**

Inline-Messung erfolgreich realisierbar

- Integration der Sensorzeile direkt in den bestehenden Messprozess möglich
- Dadurch grundsätzlich für den Einsatz unter realen Betriebsbedingungen geeignet

Erreichte Messgenauigkeiten

- **x-Richtung: 0,15 % y-Richtung: 0,45 % z-Richtung: 0,30 %**
- Insgesamt gute Übereinstimmung zwischen gemessener und tatsächlich anliegender magnetischer Flussdichte
- Die ermittelten Abweichungen liegen in einem für die Anwendung relevanten Bereich

EMV-Stabilität

- Die durchgeführten Prüfungen zeigen, dass das Messsystem auch unter elektromagnetischer Belastung grundsätzlich stabile Messwerte liefert
- Das System weist eine ausreichende Robustheit gegenüber verschiedenen elektromagnetischen Störeinflüssen auf, weiterer Entwicklungsbedarf für einen zuverlässigen industriellen Einsatz

Temperaturabhängigkeit

- Einfluss der Umgebungstemperatur auf das Sensorsignal eindeutig nachweisbar
- Gemessene Änderung von etwa **0,12 %/°C**
- Temperaturabhängigkeit stellt damit einen relevanten Einflussfaktor auf die Messgenauigkeit dar
- Durch **Temperaturkompensation** kann der Einfluss reduziert werden

So erreichen Sie uns:



Hauptgebäude und Technikum

(Prüssingstraße 27B, 07745 Jena)



Telefon:

+49 (0)3641 282510

E-Mail:

innovent@innovent-jena.de

www.innovent-jena.de



INNOVENT

Technologieentwicklung Jena

Zweigstelle (Ilmstraße 18, 07743 Jena) Elektrochemie und Galvanik



Follow us on:

