

[WWW.IIS.FRAUNHOFER.DE/ASIC/ANALOG](http://WWW.IIS.FRAUNHOFER.DE/ASIC/ANALOG)

# INTELLIGENTE 3D-MAGNETFELDENSORIK

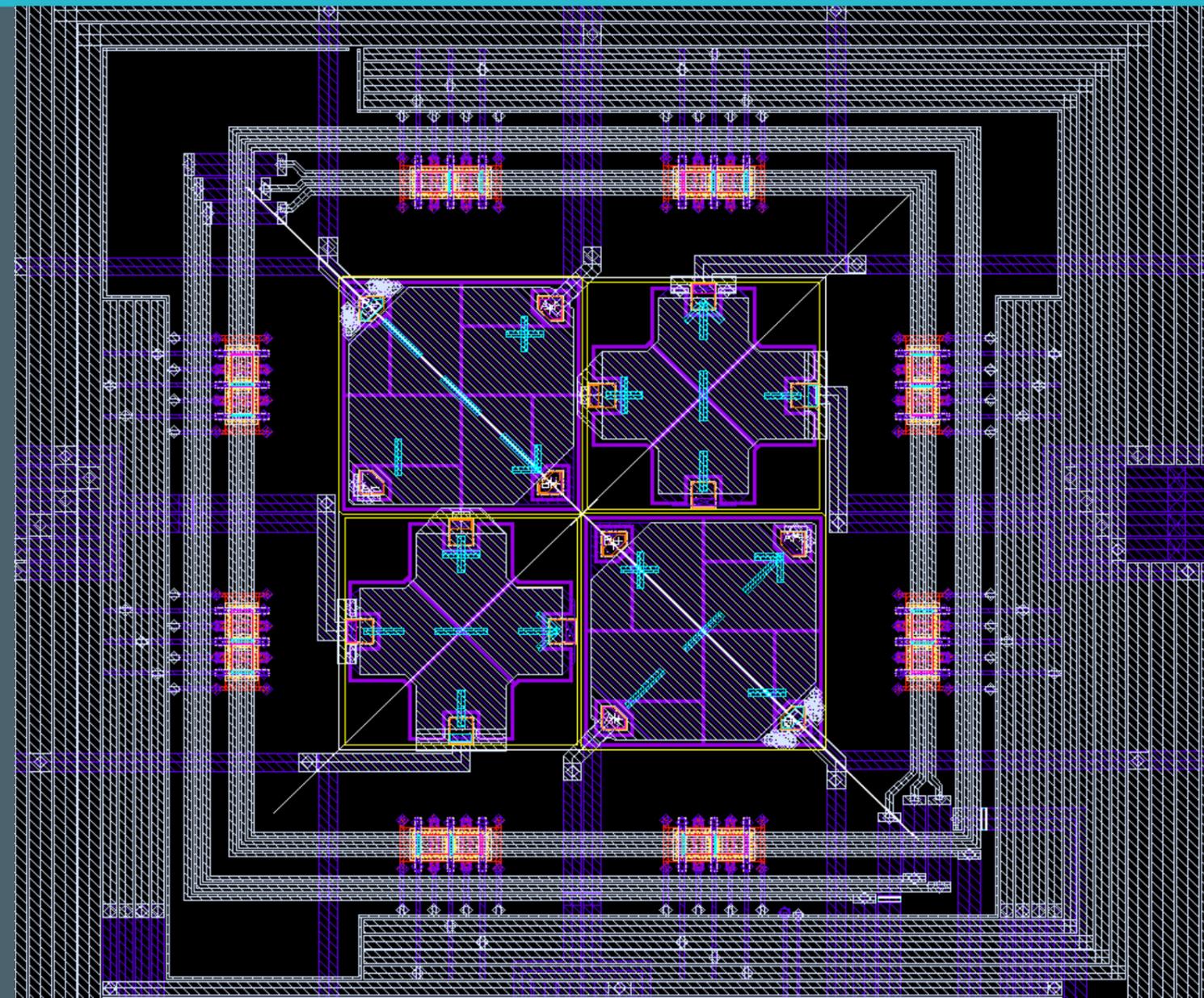
Fraunhofer-Institut für  
Integrierte Schaltungen IIS

Institutsleitung  
Prof. Dr.-Ing. Albert Heuberger  
(geschäftsführend)  
Dr.-Ing. Bernhard Grill

Am Wolfsmantel 33  
91058 Erlangen, Germany

Kontakt  
Dr. Hans-Peter Hohe  
Telefon +49 9131 776-4472  
[hans-peter.hohe@iis.fraunhofer.de](mailto:hans-peter.hohe@iis.fraunhofer.de)

[www.iis.fraunhofer.de](http://www.iis.fraunhofer.de)





## HALLinONE® EIN SENSOR – VIELE VORTEILE

---

INTEGRIERTE 3D-MAGNETFELD-  
SENSORIK

KOSTENGÜNSTIGE SENSOR-HER-  
STELLUNG DURCH STANDARD-CMOS-  
PROZESS

KEINE TEMPERATURKOMPENSATION  
ERFORDERLICH

ROBUST GEGENÜBER STÖRENDE  
EXTERNEN MAGNETFELDERN DURCH  
GRADIENTENAUSWERTUNG

INTEGRATION VON MAGNETISCHEN  
PIXELZELLEN

VEKTORIELLE MAGNETFELDMESSUNG  
IN EINEM PUNKT

WINKEL- UND GRADIENTENBASIERTE  
AUSWERTUNG

INTEGRIERBARE KUNDENSPEZIFISCHE  
ELEKTRONIK

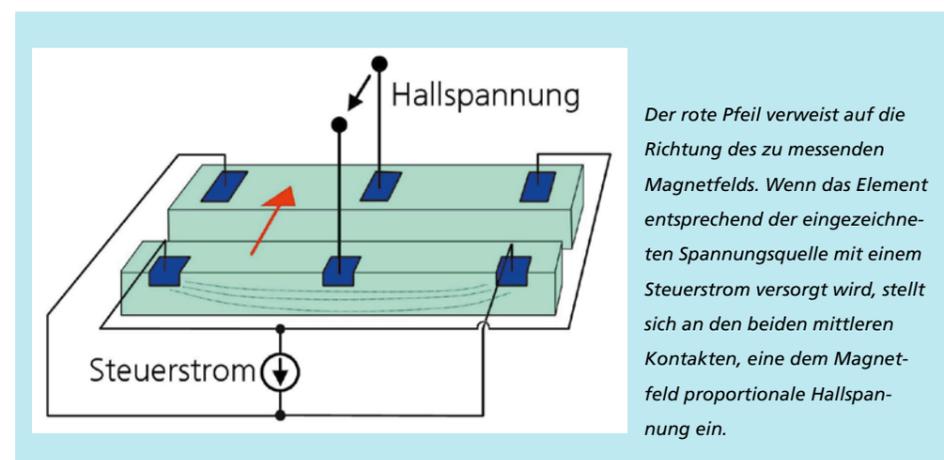
---

# HALLinONE® INTEGRIERTE 3D-MAGNETFELDENSORIK IN STANDARD-CMOS TECHNOLOGIE

## HALLinONE® – 3D-MAGNETFELDENSORIK IN EINEM CHIP

Magnetfelder aller drei Raumkomponenten mit einem Sensorchip zu erfassen, um so berührungslose Positionsmesssysteme kostengünstig realisieren zu können, ermöglicht die integrierte 3D-Hall-Sensor-Technologie HallinOne®. Während konventionelle Hallsensoren ausschließlich für senkrecht zur Chipoberfläche gelegene Magnetfelder empfindlich sind, misst der Sensor zusätzlich Magnetfelder, die parallel zur Chipoberfläche ausgerichtet sind. Für jede der drei magnetischen Achsen verfügt der Sensorchip über einen eigenen Sensor. Die Digitalisierung der Messwerte ist auf dem Sensorchip integriert. Es ist damit möglich, den Chip direkt an einen Rechner oder Mikrocontroller anzuschließen. Der HallinOne®-Sensor kann in großer Stückzahl ohne zusätzliche Prozessschritte kostengünstig auf Standard-CMOS-Technologie gefertigt werden, was zu einem günstigen Serienpreis führt.

Die untenstehende Grafik stellt den wesentlichen Teil eines solchen Sensorelements, den vertikalen Einzelsensor, dar. Sie veranschaulicht, wie auf einer Standard-CMOS-Technologie ein vertikaler Hallsensor realisiert werden kann.



### Kenndaten

Auf Grund unterschiedlicher Sensorgeometrien, die zur Messung senkrechter und tangentialer Magnetfelder nötig sind, besitzt die Z-Achse andere Kennwerte als die Achsen X und Y.

#### Sensor für die Z-Achse:

Empfindlichkeit:	ca. 200 mV/T
Rauschen (@800 Hz):	11 nV/sqr (Hz)
Offset (ohne Abgleich):	< 2 $\mu$ V ( $\approx$ 10 $\mu$ T)

#### Auflösung:

$\Delta f = 100$ Hz:	0,6 $\mu$ T
$\Delta f = 1$ kHz:	2 $\mu$ T
$\Delta f = 10$ kHz:	6 $\mu$ T

#### Sensoren für die Achsen X und Y:

Empfindlichkeit:	ca. 40 mV/T
Rauschen (@800 Hz):	20 nV/sqr (Hz)
Typ. Offset (ohne Abgleich):	< 20 $\mu$ V ( $\approx$ 500 $\mu$ T)

#### Auflösung:

$\Delta f = 100$ Hz:	6 $\mu$ T
$\Delta f = 1$ kHz:	20 $\mu$ T
$\Delta f = 10$ kHz:	60 $\mu$ T

Nach dem derzeitigen technologischen Stand, misst der Sensor das Magnetfeld in Z-Richtung mit einer höheren Genauigkeit als aktuell die X- und Y-Achse. Weiteres Optimierungspotential gibt es bei den Sensoren im Bereich der Messung von tangentialen Feldern.

### Temperaturgang

Die magnetische Empfindlichkeit von Hall-Sensoren auf Siliziumbasis verschlechtert sich in höheren Temperaturbereichen. Der HallinOne®-Sensor weist beispielsweise bei einer Temperaturerhöhung auf 100 Grad Celsius eine verringerte Sensibilität von rund 30 Prozent auf.

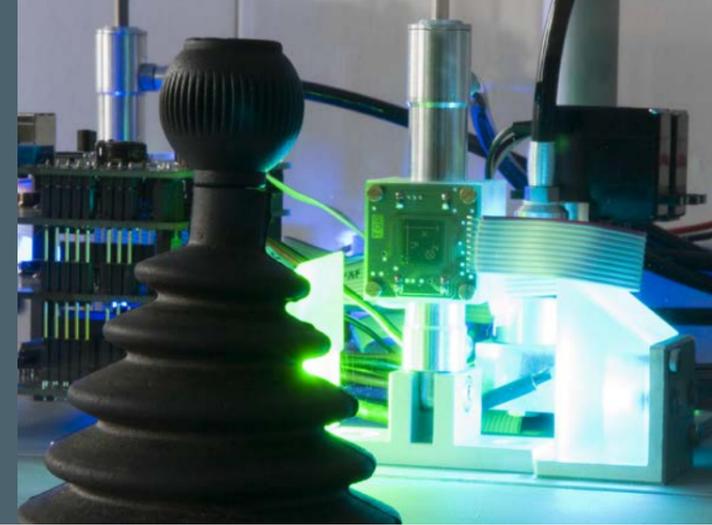
Bei Winkelmessungen (siehe auch die Beispielanwendung »Joystick« auf Seite 9) ist keine Temperaturkompensation erforderlich, da der Magnetfeldwertbetrag bei der Winkelberechnung keinen Einfluss hat.

Eine Referenzstromquelle kann die Sensorenempfindlichkeit im laufenden Betrieb ständig messen. Sofern bei bestimmten Anwendungen eine Temperaturkompensation erforderlich ist, können mit Hilfe dieser Referenzstromquelle die Messwerte korrigiert werden. Alle notwendigen Schaltungsteile sind für die Referenzmessung, bis auf einen externen Referenzwiderstand, auf dem Chip integriert.

### Integration

Die mehrdimensionalen Magnetfeldsensoren in HallinOne® sind Teil einer umfassenden Sensorbibliothek. Komplette Systeme zur Magnetfeldmessung mit Auswertung kann der Kunde individuell in einem ASIC (Application Specific Integrated Circuit) realisieren. Insbesondere lassen sich ADUs (Analog-Digital-Umsetzer), DAUs (Digital-Analog-Umsetzer), Mikrocontroller, Schnittstellen und beliebige digitale Logik zusammen mit den Sensoren auf einem Chip integrieren. Neben möglichen Preisvorteilen ergibt sich daraus auch ein guter Schutz vor Nachbau. Weitere Vorteile sind der geringe Platzbedarf der 3D-Sensortechnologie sowie eine erhöhte Funktionssicherheit durch reduzierte externe Verbindungen. Zudem ist es möglich, komplexe Systeme mit verschiedenen Sensoren auf einem Chip zu vereinen, indem die Magnetfeld-Sensorelemente beispielsweise mit Licht-, Kraft-/Torisons- oder Temperatursensoren kombiniert werden.

# DURCH HALLinONE® BESSERE PRODUKTE MIT NEUER TECHNOLOGIE



## LEISTUNGSFÄHIGERE WASCHMASCHINEN DURCH INTELLIGENTE 3D-MAGNETFELDSENSORIK

Verbesserte Abläufe und Regelprozesse in Waschmaschinen durch intelligente Steuerung – dafür sorgt die HallinOne®-Technologie. Der vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Kooperation mit der Firma Seuffer entwickelte 3D-Magnetfeldsensor optimiert die Leistungsfähigkeit von Waschmaschinen.

### Anforderungen an den Sensor:

- Positionsbestimmung der Wäschetrommel
- Ermittlung des Wäschegewichts
- Erkennen von Unwuchten
- Verhinderung einer Überbeanspruchung der mechanischen Komponenten

Der 3D-Magnetfeldsensor HallinOne® ermöglicht erstmals, an einer Stelle in der Waschmaschine, alle drei Raumachsen eines beliebigen Magnetfelds zu messen.

### Sensor-Eigenschaften:

- Berührungslose Winkelmessung
- Integrierte 3D-Magnetfeldsensorik
- Auflösung als Drehwinkelsensor besser als 0,1 Grad
- Kostengünstige Sensor-Herstellung durch Standard-CMOS-Prozess
- Integrierbarkeit in kundenspezifische Elektronik

### Kundennutzen durch 3D-Magnetfeldsensorik in Waschmaschinen:

- Waschmitteloptimierung
- Optimierung der Trommellager
- Höhere Schleuderzahl
- Schleudern mit Unwuchtausgleich
- Höheres Ladevolumen

## LINEARE POSITIONSMESSUNG MIT 3D-MAGNETFELDSENSOREN AUF STANDARD-CMOS

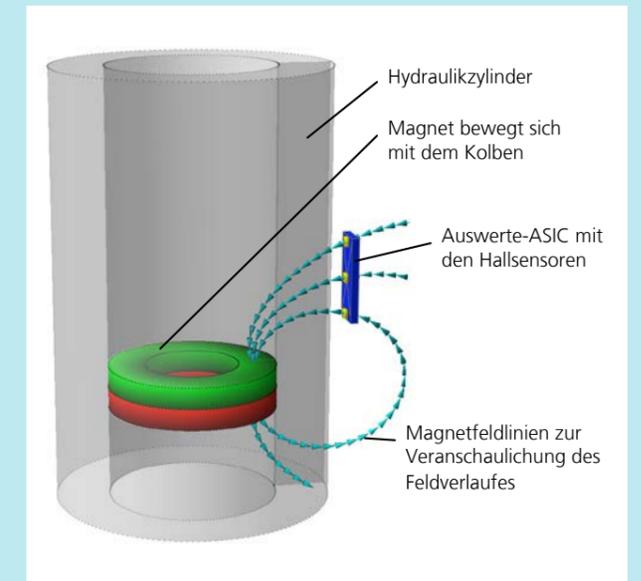
HallinOne® stellt Sensoren zur Verfügung, die das Magnetfeld vektoruell vollständig in einem Punkt messen können. Die lineare Positionsmessung nutzt zwei oder drei (je nach Auswerteverfahren) solcher sogenannter Pixelzellen zur Positionsbestimmung. Winkel- und gradientenbasierte Auswertungen erlauben eine robuste Positionsmessung. Weder Temperaturänderungen noch homogene Störfelder können das Messergebnis verfälschen. Dieser Ansatz ist nicht teurer als herkömmliche Ansätze, da die Sensoren auf dem Auswertechip integriert sind.

### Positionssensoren

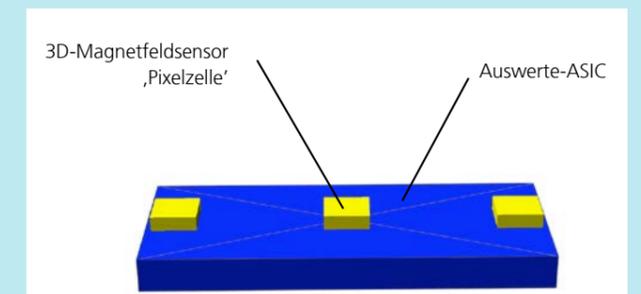
Für Positionssensoren gibt es zahlreiche Einsatzfelder, insbesondere in Fahrzeugen und automatisierten Produktionsanlagen. Die technologische Entwicklung der magnetischen Positionssensoren weist eine deutliche Richtung von einfachen Winkel- und Distanzsensoren hin zu mehrdimensionalen, robusten, intelligenten Sensorsystemen.

Die Komplexität der Entwurfsaufgaben für magnetische Positionssensoren steigt mit der Anzahl der Freiheitsgrade und der Komplexität der Sensoren stark an. Daher ist Simulationsunterstützung beim Entwurf solcher Systeme nicht nur aus Kostengründen sinnvoll, sondern bereits ab zwei Freiheitsgraden unverzichtbar.

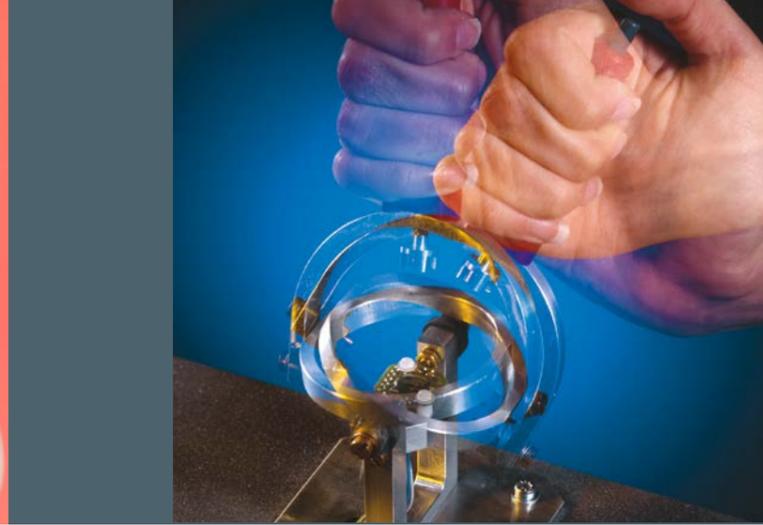
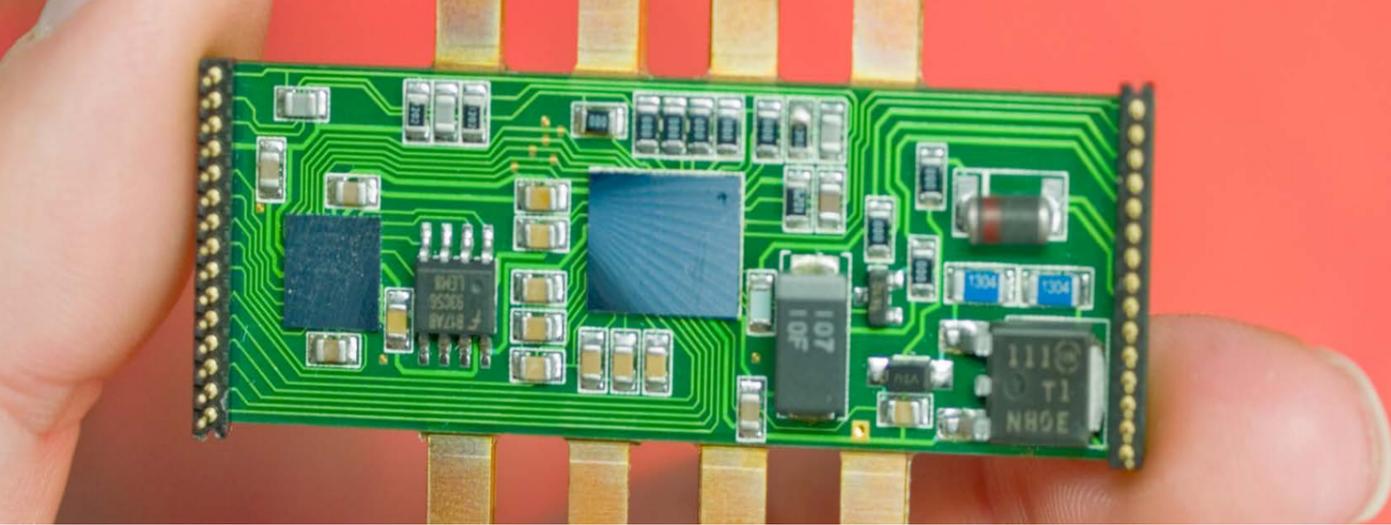
Das Fraunhofer IIS hat die HallinOne®-Technologie für mehrdimensionale, auf einem CMOS-IC integrierte Hallsensoren entwickelt. Das Teilinstitut in Dresden hat eine Entwurfsumgebung für HallinOne®-Sensoren ausgearbeitet, mit der sowohl Komponenten als auch das Gesamtsystem bereits in frühen Entwurfsphasen simuliert werden kann.



Beispiel einer linearen Positionsmessung an Zylindern



Schematischer Aufbau des Auswerte-ASICs mit drei integrierten magnetischen Pixelzellen



# HALLinONE® – DIE ZUKUNFTSTECHNOLOGIE

## STROMSENSORIK

### Technik

Stromsensoren messen das vom elektrischen Stromfluss erzeugte Magnetfeld. Zum Einsatz kommen hierbei Hall-Elemente, die auf einem Standard-CMOS-Prozess realisiert werden können.

Die hohe Empfindlichkeit der Sensoren und ihre Eigenschaft, Offsets und Temperaturabhängigkeit durch eine integrierte Elektronik zu kompensieren, machen es möglich, auf magnetfeldkonzentrierende Bauelemente wie Ferritkerne zu verzichten. Neben der Vermeidung von Hysterese- und Sättigungseffekten ergeben sich daraus ein einfacher Aufbau sowie eine hohe Integrationsfähigkeit.

Um Strom zu messen, sind zwei Magnetfeldsensoren notwendig, da nur so externe Magnetfelder, wie zum Beispiel das Erdfeld, kompensiert werden können. Die verwendeten Hall-Elemente messen nur die Z-Komponente des Magnetfelds, die senkrecht zur Chip-Oberfläche gerichtet ist. Während bei externen Störfeldern die Z-Komponenten in beiden Sensoren den gleichen Betrag und das gleiche Vorzeichen besitzen, haben sie, beim vom Stromfluss erzeugten Feld, entgegengesetzte Vorzeichen. So kann der im Leiter fließende Strom störungsfrei bestimmt werden. Die Integration beider Sensoren auf einem Chip ermöglicht einen kompakten Aufbau und eine exakte Reproduzierbarkeit ihrer Geometrie. Eine einmalige Kalibrierung kann Positionierungsfehler, des nicht auf einen Chip integrierten Stromleiters, kompensieren.

## ANWENDUNGSBEISPIEL JOYSTICK

Der 3D-Magnetfeldsensor lässt sich einsetzen, um berührungslos die aktuelle Stellung eines Joystick-Bedienhebels zu erfassen.

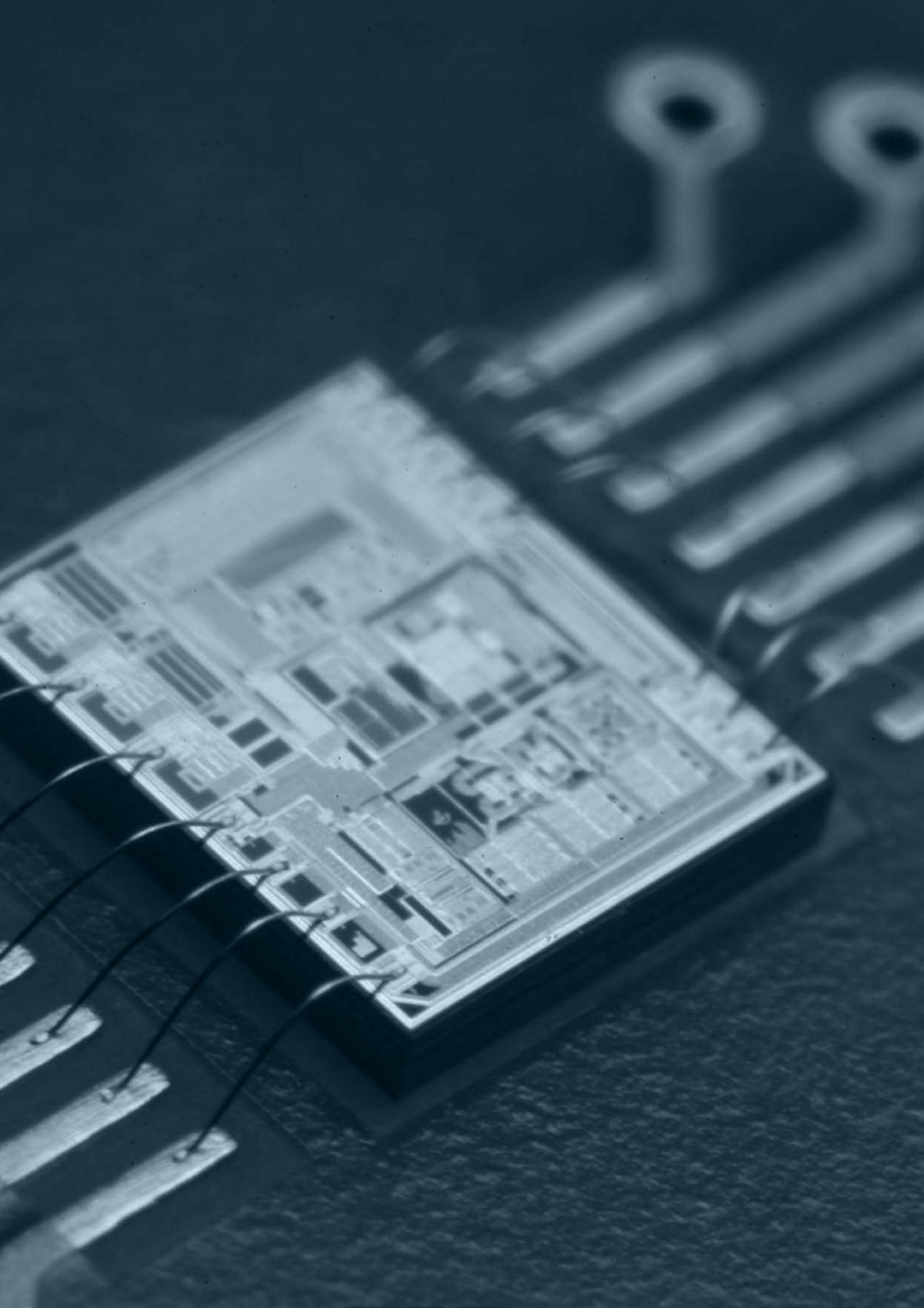
Am unteren Ende des Bedienhebels befindet sich hierfür ein Permanentmagnet, dessen Ausrichtung gegenüber dem darunter befindlichen Sensorchip ständig gemessen wird. Alle drei Achsrichtungen des gemessenen Magnetfelds werden genutzt, um die Richtung des Bedienhebels, über das vom Magneten ausgehende Feld, zu bestimmen. Zum beweglichen Teil des Joysticks sind keine elektrischen Verbindungen nötig. So lässt sich ein hochwertiger und robuster Joystick aufbauen, der selbst in feuchter oder verschmutzter Umgebung einsetzbar ist. Um einen analogen oder digitalen Bedienknopf am Bedienhebel zu realisieren, ist es zudem möglich, den Abstand des Magneten zum Sensorchip zu verändern. Hierfür sollte dann die Temperaturkompensation für die Magnetfeldwerte aktiviert sein, damit ein stabiles Betragssignal des Magnetfelds gewährleistet ist.

## WEITERE ANWENDUNGSGEBIETE

Da der integrierte 3D-Magnetfeldsensor erstmals praktisch punktförmig alle drei Achsen des Magnetfelds kostengünstig erfassen kann, eröffnen sich gegenüber konventionellen Magnetfeldsensoren eine Reihe neuer Anwendungen:

- Ein- und mehrachsige Magnetschalter mit nur einem Chip
- Mehrachsige Vermessung von Magnetfeldern, Charakterisierung von Permanentmagneten
- Linearbewegung in Werkzeugmaschinen mit Unterdrückung von Fremdfeldern durch Gradientenauswertung
- Kontaktlose Potentiometer mit nur einem Chip
- Näherungsschalter mit großem Arbeitsabstand (bis ca. 15 Zentimeter)
- Hochgenaue Positionsmessung mittels mehrdimensionaler magnetischer Skalen
- Drehwinkelmessung mit hoher Auflösung und/oder großem Abstand zum Magneten
- »Off-Axis«-Drehwinkelmessung sowohl mit Absolutwerten als auch gradientenbasiert
- Für komplexe Anwendungen sowie Einsätze in Hochtemperaturbereichen bis 170 Grad Celsius, hat Fraunhofer IIS in Kooperation mit der Firma Micronas GmbH einen Gradienten-Hall-Sensor entwickelt, der auch für Anwendungen im Motorenbau geeignet ist.

Auf diese Weise lässt sich die gesamte vom Kunden gewünschte Signalaufbereitung und Auswertung mit den Sensoren auf einem Chip integrieren. Diese preiswerten »System on Chip«-Lösungen können den entscheidenden Wettbewerbsvorteil gegenüber einem Mitbewerber bedeuten.



## **DAS IST HALLinONE®:**

**HOCHGENAUE LATERALE MAGNETFELDESENSOREN  
AUF HALL-BASIS**

**VERTIKALE MAGNETFELDESENSOREN  
(INTEGRIERTER 3D-SENSOR AUF CMOS)**

**RAUSCHOPTIMIERTE SENSORSIGNALAUFBEREITUNG  
FÜR MAGNETFELDESENSOREN**

**INTEGRIERTER SELBSTTEST, SELBSTÜBERWACHUNG  
UND EMPFINDLICHKEITSKALIBRIERUNG**

**MAGNETISCHE GRADIENTENSSENSOREN**

**MAGNETISCHE »FARB«-KAMERA**

## **UNSERE KOMPETENZ FÜR SIE:**

**ENTWICKLUNG KUNDENSPEZIFISCHER  
3D-MAGNETFELDESENSOREN UND STROMSENSOREN  
(AUF STANDARD-CMOS-TECHNOLOGIEN)**

**VERMESSUNG UND SIMULATION VON MAGNET-  
FELDERN**

**SINGLE-CHIP-INTEGRATION VON OPTISCHEN UND  
MAGNETISCHEN SENSOREN**

**MIXED-SIGNAL-IC-DESIGN, INTEGRATION VON  
ULTRA-LOW-CURRENT FUNKEMPFÄNGER- UND FUNK-  
TRANSMITTER-ASICS, WAKE-UP RECEIVER**

**UNTERSTÜTZUNG BEI DER SERIENEINFÜHRUNG  
SOWIE KLEINSERIENFERTIGUNG**