



ITK PRECISIONING GmbH · ELSOMA GmbH

Neuentwicklungen bei der Magnetisierung von Sensor- und Kleinmotormagneten

Magnetisierverfahren · Magnetisieranlagen · Impulsmagnetisierköpfe · Magnetische Messtechnik

MagSense 2026 · 16.–17. September 2026 · Jena

Dr. Rolf Slatter

Inhaber · ITK Precisioning GmbH, Lahnau · ELSOMA GmbH, Schwerte

Inhalt des Vortrags

01	Die Unternehmen	ITK Precisioning und ELSOMA — Leistungen entlang der Wertschöpfungskette
02	Markt und Anwendungen	Wachstum der magnetischen Sensorik, Funktionsprinzip und typische Anwendungen
03	Maßverkörperungen	Anforderungen an magnetische Maßverkörperungen und die daraus folgenden Herausforderungen
04	Magnetisierverfahren	In-Mold, Vorrichtungsmagnetisierung und vorrichtungsfreies Codieren
05	Magnetisieranlagen	ELSOMAG® SL01 Rotorwriter sowie die RMP- und LMP-Anlagen von ITK
06	Impulsmagnetisierköpfe	Entwicklung eines intelligenten Impulskopfes — Feldstärke, Genauigkeit, Diagnose
07	Zusammenfassung	Ergebnisse und Ausblick

ITK Precisioning GmbH — Produkte und Leistungen

Sechs Maschinenplattformen für die Magnetfertigung — im Haus entwickelt, gebaut und betreut



01

Rund-magnetisierungsanlagen

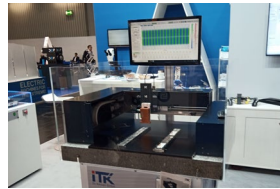
Magnetisierung von Ring-, Scheiben- und Zylindermagneten mit geregelter Pollage.



02

Linear-magnetisierungsanlagen

Durchgehendes Schreiben magnetischer Maßstäbe und Bänder über mehrere Meter Länge.



03

Magnetische Strukturprüfung

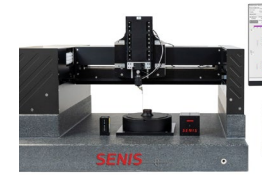
Hochauflösende Abtastung magnetischer Strukturen.



04

Sensor-characterisierung

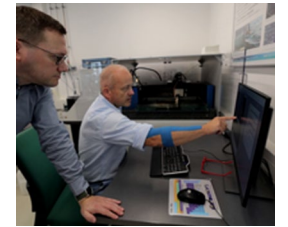
Automatische Charakterisierung von xMR- und Hall-Sensoren gegen einen magnetischen Normmaßstab.



05

3D-Magnetfeld-vermessung

Bx, By und Bz gleichzeitig über Magnete und komplette Baugruppen vermessen.



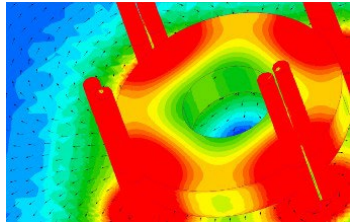
06

Magnetische Mikroskopie

Hochpräzise Messung von Streufeldern mit TMR- oder Quantensensoren.

ELSOMA GmbH — Produkte und Leistungen

Fünf verzahnte Kompetenzen — von der ersten Berechnung bis zur automatisierten Fertigungslinie



01

Berechnung und Simulation

3D-FEM-Simulation von Magneten und Magnetisiervorrichtungen — von der ersten Idee an.



02

Magnetisier-technik

Energieeffiziente Magnetisiergeräte für Ferrit, SmCo, NdFeB und alle gängigen Werkstoffe.



03

Magnetische Messtechnik

Portable und inline-fähige Flussdichtemessgeräte für Wareneingang und -ausgang.



04

Automatisierung

Sondermaschinen zum Codieren und Prüfen von Sensormagneten in Großserie.

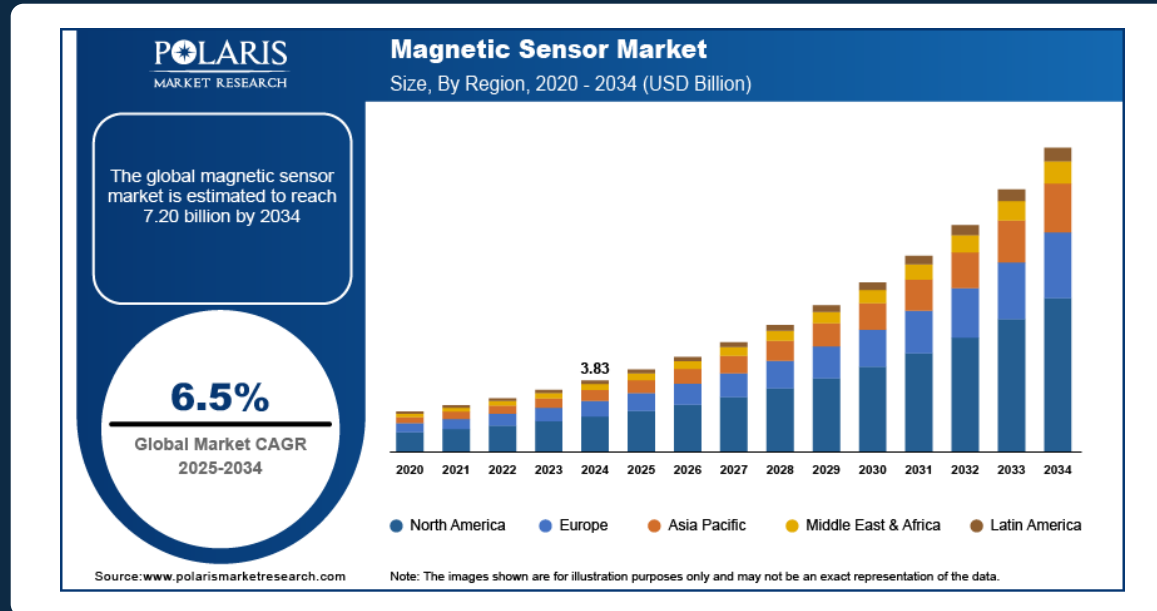


05

Lohn-magnetisierung

Codierung und Kalibrierung von Magneten in kleinen und mittleren Losen im Kundenauftrag.

Wachstum des Marktes für magnetische Sensorik

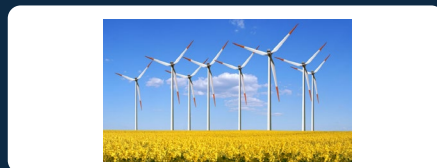


- Die Nachfrage nach magnetischen Sensorsystemen wächst seit Jahren stetig — vor und nach der Pandemie
- Automatisierung, Elektromobilität, erneuerbare Energien und smarte Geräte beruhen auf magnetischer Sensorik
- Der globale Encodermarkt wächst von 3,81 Mrd. USD (2026) auf 5,71 Mrd. USD (2031), CAGR 8,21 %
- Der Anteil magnetischer Encoder wächst dabei gegenüber optischen Systemen

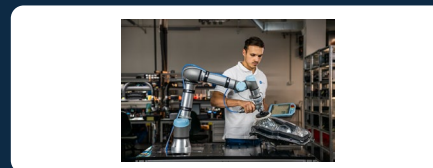
Magnetsensormarkt nach Regionen — globale CAGR 6,5 % (2025 – 2034)



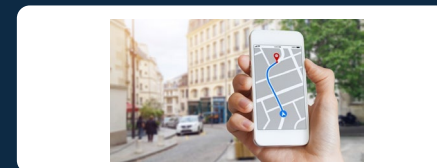
Lenkwinkelsensoren im Fahrzeug



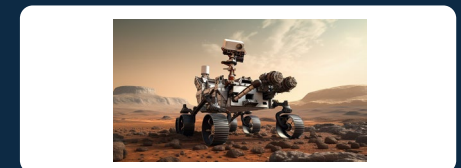
Pitch-Winkelsensoren in Windkraftanlagen



Winkelsensoren in Cobot-Gelenken



Kompasssensoren in Smartphones

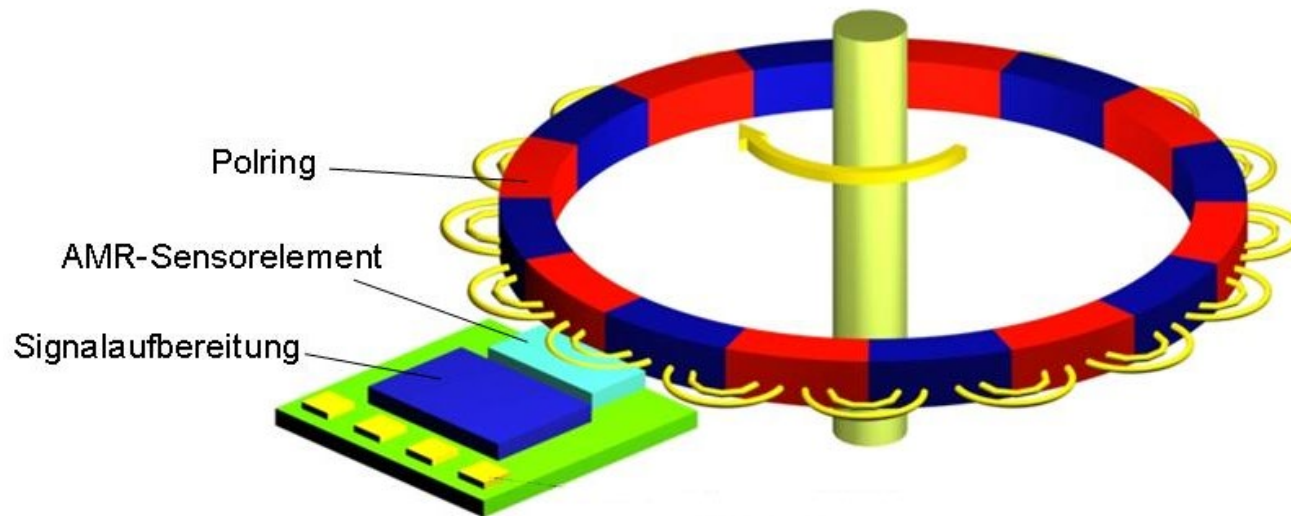


Winkelsensoren in Planetenrovern

Bildquellen: Polaris Market Research, Mordor Intelligence, MarketsandMarkets

Magnetische Positionsmesssysteme — Funktionsprinzip

Ein magnetisches Positionsmesssystem besteht typischerweise aus einer magnetischen Maßverkörperung mit definiertem Streufeld — einem Polring für die Winkelmessung oder einem linearen Maßstab für die Wegmessung —, einem magnetischen Sensor (Hall oder xMR), der auf Stärke oder Richtung des Feldes reagiert, und einer Signalverarbeitung, die das Rohsignal aufbereitet und auswertet.



Maßverkörperung

Polring oder Linearmaßstab mit definiertem Polmuster

Magnetsensor

Hall- oder xMR-Element (AMR, GMR, TMR)

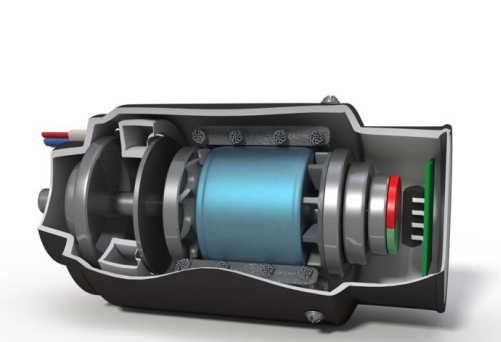
Signalverarbeitung

ASIC für Interpolation, Linearisierung und Schnittstelle

Polring, AMR-Sensorelement und Signalaufbereitung im Zusammenspiel

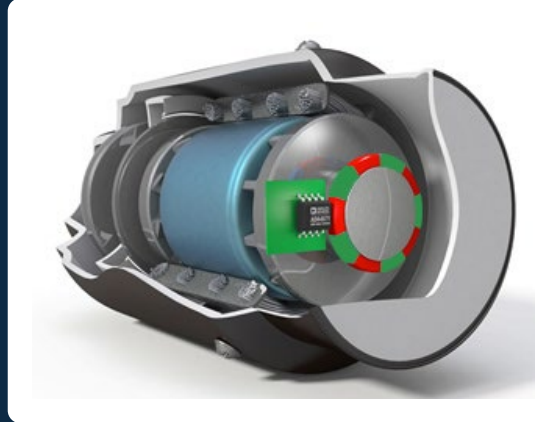
Bildquellen: Sensitec GmbH

Positionsmesssysteme — typische Konfigurationen



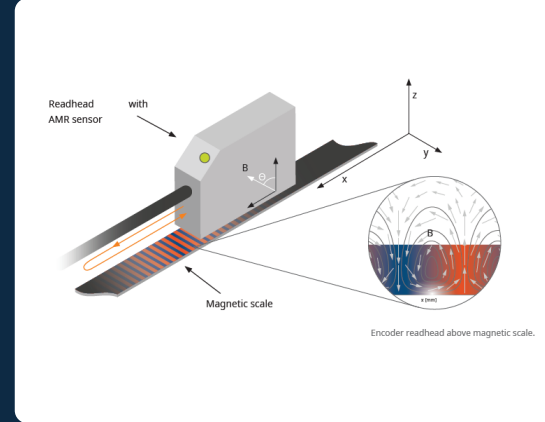
Inkrementelle Winkelmessung (off-axis)

Polring mit vielen Polen, optionale Referenzspur; AMR-, TMR- oder Hall-Sensor



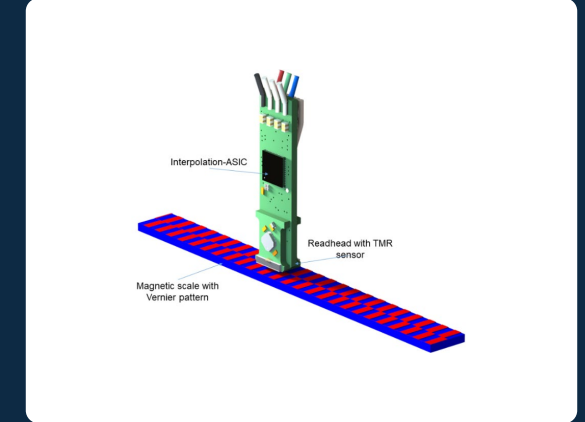
Absolute Winkelmessung (end-of-shaft)

Dipolmagnet auf dem Wellenende, absolute Einzelumdrehung über 360°



Inkrementelle Längenmessung

Linearmaßstab mit Inkrementalspur und optionaler Referenzspur



Absolute Längenmessung (Nonius)

Zwei bis drei Spuren mit unterschiedlichen Pollängen; Phasendifferenz liefert den Absolutwert

Sensorprinzipien im Vergleich

Magnetische Sensoren bieten gegenüber anderen Messprinzipien eine Reihe von Vorteilen

Messprinzip	Genauigkeit	Empfindlichkeit	Robustheit	Temperaturstabilität	Integrierbarkeit	Kosten
Potentiometrisch	+	+	–	+	0	++
Induktiv	+	+	+	++	+	+
Magnetisch — Hall	0 ... +	+	0 ... +	0	++	+
Magnetisch — AMR	++	++	++	+	+	+
Magnetisch — GMR	+	++	+	++	+	0
Magnetisch — TMR	++	++	+	++	+	+
Optisch	++	++	0	+	0	– ... 0

Der Vergleich kann nur als Orientierung dienen. Jede Technologie hat in bestimmten Anwendungen Vorteile; die konkreten Anforderungen und Umgebungsbedingungen entscheiden über die Wahl des Messprinzips.

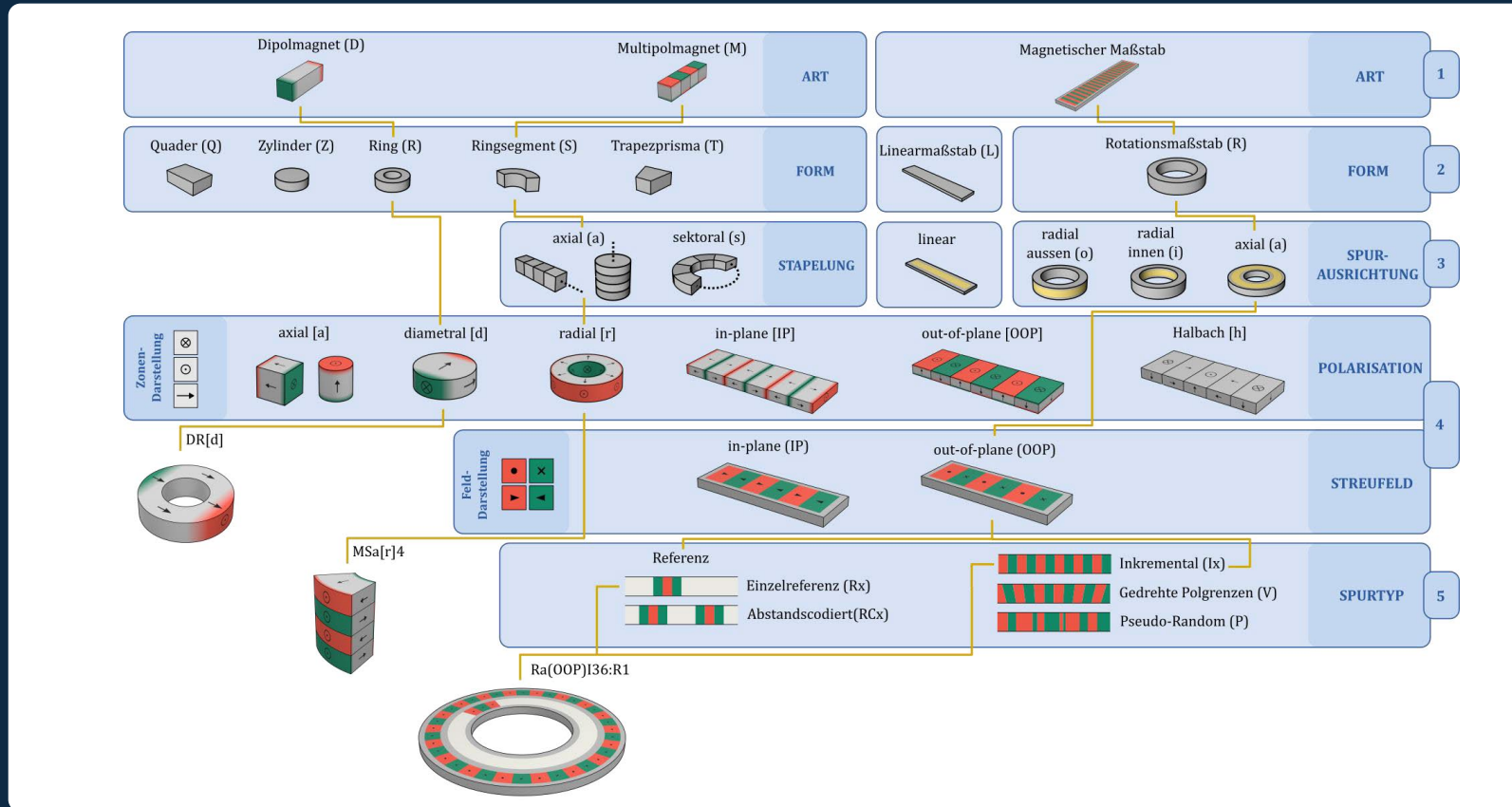
Wertschöpfungskette magnetischer Positionsmesssysteme



FOKUS DIESES VORTRAGS: CODIERUNG UND MESSUNG MAGNETISCHER MASSVERKÖRPERUNGEN UND ROTOREN

Magnetische Maßverkörperungen — ein breites Feld

Art, Form, Spur- und Polarisationsrichtung, Spurtyp — die Kombinatorik erklärt, warum kaum zwei Bauteile gleich sind



SECHS ORDNUNGSEBENEN

Art

Dipol-, Multipolmagnet, Maßstab

Form

Quader, Zylinder, Ring, Ringsegment, Linear- und Rotationsmaßstab

Spurausrichtung

Linear-, Radial- und Axialspur

Polarisation

axial, diametral, radial, in-plane, out-of-plane, Halbach

Streufeld

in-plane oder out-of-plane

Spurtyp

inkrementell, gedrehte Polgrenzen, Pseudorandom; mit oder ohne Rückschluss

Topologie magnetischer Maßverkörperungen nach der INNOMAG-Richtlinie

Bildquellen: INNOMAG e.V. — Richtlinie Magnetische Maßverkörperungen

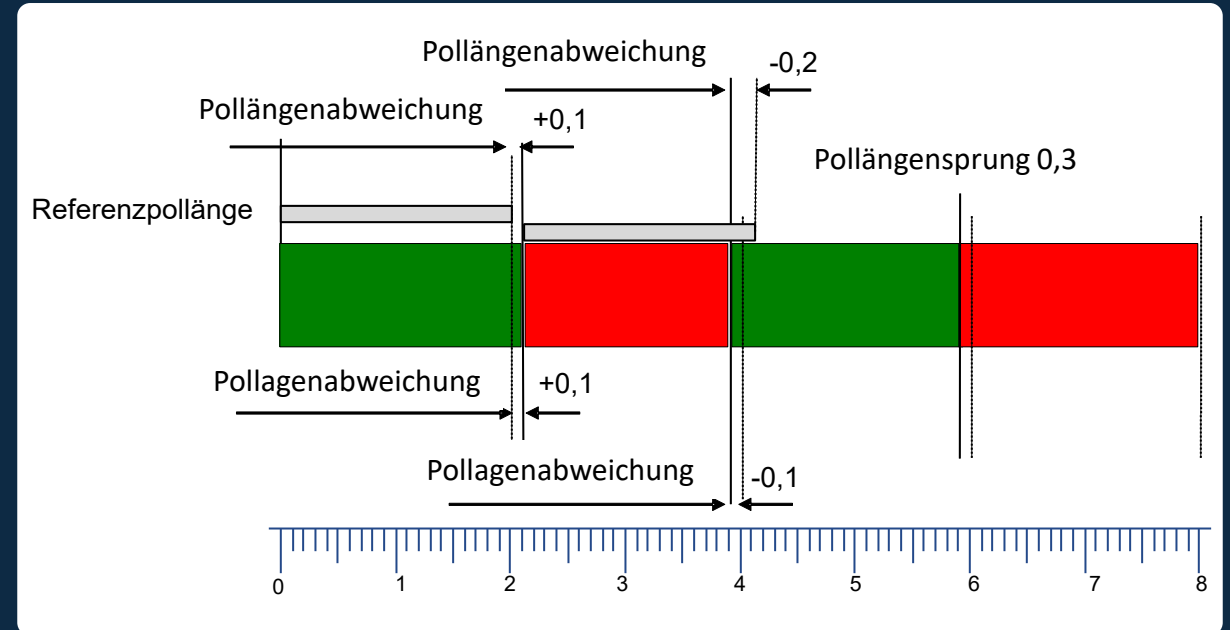
Anforderungen an magnetische Maßverkörperungen

ANFORDERUNGEN AN DAS MESSSYSTEM

- Hohe Präzision (Genauigkeit und Wiederholbarkeit)
- Hohe Auflösung
- Hohe Dynamik
- Hohe Robustheit — mechanisch wie chemisch

DARAUS FOLGT FÜR DIE MASSVERKÖRPERUNG

- Ausreichende Streufeldstärke für große Arbeitsabstände
- Geringe Pollagenabweichung, einzeln und kumuliert
- Geringe Pollängenabweichung, einzeln und kumuliert
- Sinusförmiges Feldprofil mit geringem Oberwellenanteil
- Scharfe und parallele Polübergänge



Typische Fehlerarten einer linearen magnetischen Maßverkörperung nach DIN SPEC 91411

Herausforderung 1 — Vielfalt der Polmuster

- Unterschiedliche Anwendungen benötigen unterschiedliche Polmuster und unterschiedliche Pollängen — Auflösung und zulässiger Arbeitsabstand sind Funktionen der Pollänge
- Die meisten Positionieranwendungen arbeiten heute inkrementell und benötigen eine Referenzfahrt; der Trend geht zu absoluten Systemen („true power-on“) mit deutlich komplexeren Mustern



Inkrementelle Messung

Gleichmäßige Pollänge über die gesamte Maßverkörperung



Inkremental mit Referenzspur

Zusätzliche Spur für die Nullpunktbestimmung



Absolut — Nonius

Zwei Spuren mit leicht unterschiedlichen Pollängen



Absolut — Pseudorandomcode

Binäre Codesequenz mit variablen Pollängen

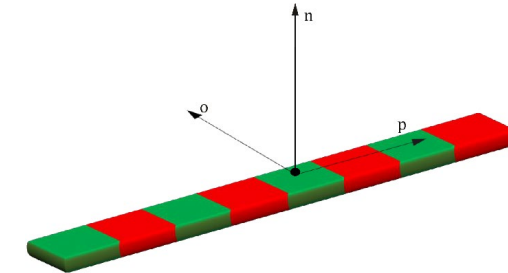
Herausforderung 2 — Parallel- und Normalmagnetisierung

Zwischen der Codierung magnetischer Maßverkörperungen und der magnetischen Datenspeicherung bestehen weitgehende Parallelen.

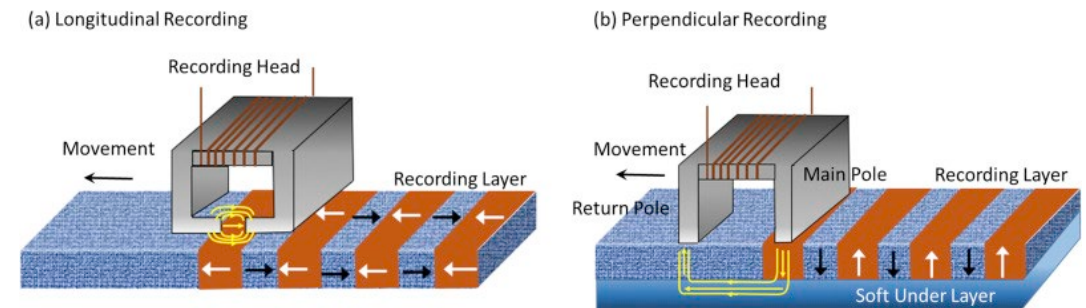
Je nach eingesetztem Sensor — Hall oder MR, Schwach- oder Starkfeldbetrieb — wird entweder parallele (longitudinale, in-plane) oder normale (senkrechte, out-of-plane) Magnetisierung benötigt.

Die Normalmagnetisierung ist bei Maßverkörperungen die dominierende Lösung. Die magnetische Schicht sitzt dabei typischerweise auf einem weichmagnetischen Trägerband, das Teil des magnetischen Kreises wird.

Die Parallelmagnetisierung bleibt derzeit auf hochpräzise Längenmesssysteme beschränkt. Die Sensoren arbeiten dort im Schwachfeldbetrieb, der Arbeitsabstand ist sehr klein.



Koordinatensystem und Magnetisierungsrichtungen nach DIN SPEC 91411



Longitudinale und senkrechte Aufzeichnung in der magnetischen Datenspeicherung

Herausforderung 3 — Schwach- und Starkfeldbetrieb

Schwachfeldbetrieb

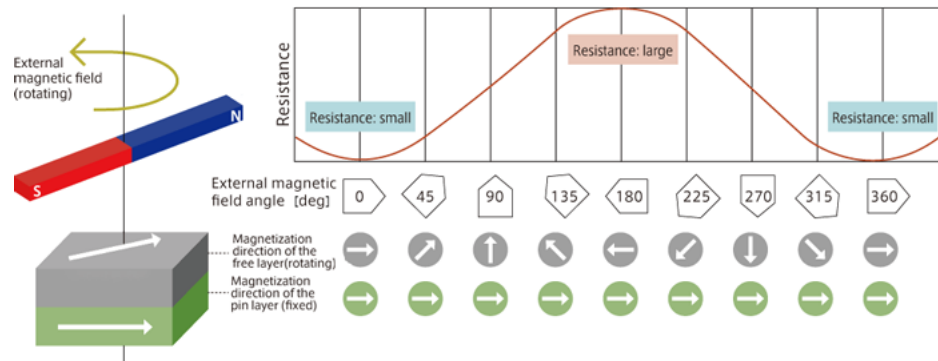
bis 6 kA/m

- Der MR-Sensor arbeitet im linearen Teil seiner Kennlinie und reagiert auf die Feldstärke
- Keine Hysterese, sehr gute Linearität
- Sehr kleiner Arbeitsabstand erforderlich
- Typisch für hochpräzise Längenmesssysteme

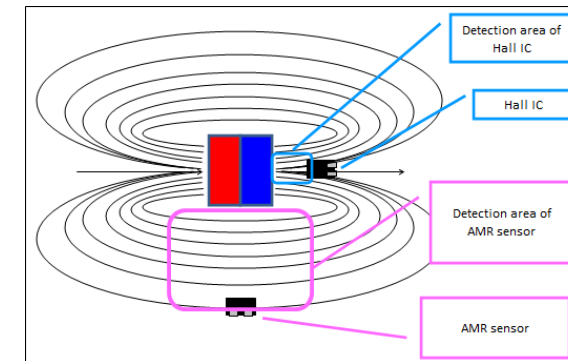
Starkfeldbetrieb

über 20 kA/m

- Das Streufeld sättigt den MR-Sensor, der dann nur noch auf die Feldrichtung reagiert
- Große und variable Arbeitsabstände möglich
- Robuster gegenüber Toleranzen und Verschmutzung
- Typisch für industrielle und automobilen Anwendungen

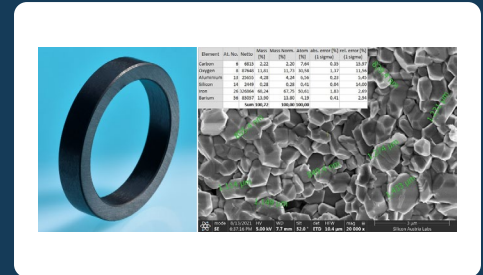
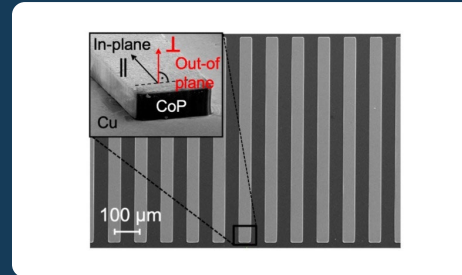


Funktionsprinzip eines TMR-Winkelsensors — Widerstand als Funktion der Feldrichtung



Arbeitsbereiche von Hall- und AMR-Sensoren im Vergleich

Bildquellen: Sensitec GmbH, ELSOMA GmbH



Magnetisierverfahren im Überblick

Drei Verfahren, die sich in Flexibilität, Genauigkeit und wirtschaftlicher Losgröße deutlich unterscheiden

1

In-Mold-Magnetisierung

Der Polring wird bereits im Spritzgießwerkzeug magnetisiert oder ausgerichtet. Geringe Polzahl, wenige Spuren, hohe Werkzeugkosten — wirtschaftlich ab etwa 100.000 Stück pro Jahr.

2

Vorrichtungsmagnetisierung

Dedizierte Magnetisiervorrichtung in Verbindung mit einem Impulsmagnetisiergerät. Höhere Polzahlen möglich, Genauigkeit geringer als beim Codieren — wirtschaftlich ab etwa 10.000 Stück pro Jahr.

3

Vorrichtungsfreies Codieren

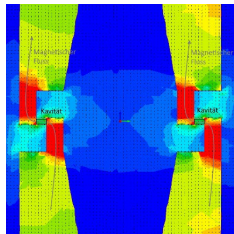
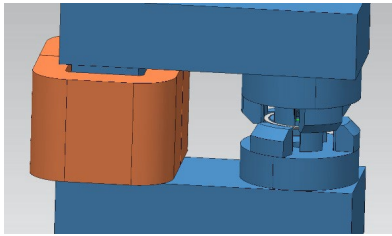
Pol für Pol auf einer Magnetisieranlage geschrieben. Höchste Flexibilität bei Polmuster, Polzahl und Spuren, höchste Genauigkeit — wirtschaftlich von 1 bis 250.000 Stück pro Jahr.

WARUM VORRICHTUNGSFREIES CODIEREN AN BEDEUTUNG GEWINNT

- Industrielle und automobiler Anwendungen verlangen mehr Varianten, mehr Polmuster und mehr Spuren, als sich mit Werkzeugen und Vorrichtungen wirtschaftlich abbilden lassen
- Losgrößen zwischen Einzelstück und Großserie erfordern eine Technologie, die ohne variantenspezifische Vorrichtung auskommt
- Vorrichtungsfreies Codieren erreicht in der Regel eine höhere Genauigkeit als In-Mold- oder Vorrichtungsmagnetisierung, weil jeder Pol einzeln und lagegerecht geschrieben wird

In-Mold-Magnetisierung: ELSOMOLD® — das Prinzip

SIMULATION

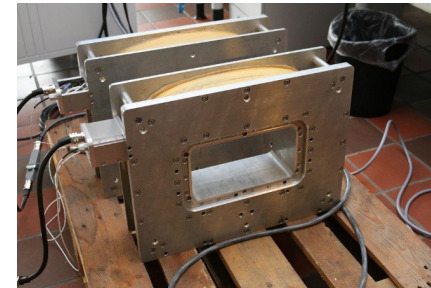


UMSETZUNG

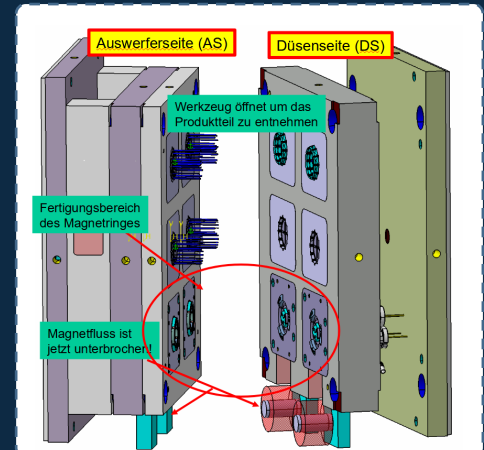
Magnetisiergerät



Spule



Integration



Der Magnet wird im Spritzgießwerkzeug ausgerichtet und magnetisiert — Simulation, Spule, Gerät und Werkzeugschnittstelle aus einer Hand.

HAUPTFUNKTIONEN

- Ausrichten und Magnetisieren im Werkzeug — ohne Zusatzschritt
- Spule und Joch ausgelegt auf Kavitätengeometrie und Werkstoff

KENNWERTE

Feldstärke in der Kavität	800 kA/m	Magnetgröße	Da: 49 x Di: 41 x 2 mm
Polzahl	6 Pole	Taktzeit	30 s

In-Mold-Magnetisierung: ELSOMOLD® in der Praxis

Multimediafunktion per Joystick für ein Motorrad — ein spritzgegossener Multipolring, im Werkzeug magnetisiert



Der BMW-Motorrad-Multimediacontroller in Einbaulage am Lenker (Quelle: Touratech)



Das Controllermodul (Quelle: BMW-Europe-moto.com)

DIE ANWENDUNG

Ein joystickbedienter Multimedia-Controller für BMW-Motorräder — ein sicherheitsrelevantes mechatronisches Modul.

WAS DAS BAUTEIL LEISTEN MUSS

- Robuste Mechatronik
- Funktionssicherheit im harten Geländeeinsatz
- Zuverlässige, hochwertige Haptik
- Beständig gegen alle Umwelteinflüsse
- Kostenoptimiert

BEITRAG VON ELSOMA

- Berechnung der Magnetisierung des Multipolrings
- Auslegung der In-Mold-Magnetisierung
- Unterstützung der Werkzeugmacher
- Lieferung des Flusssichtmessgeräts

DAS MAGNETISIERTE BAUTEIL

Multipolring — sechs Segmente, radiale Magnetisierung, 60° Segmentbreite; axiale und radiale Feldkomponenten gemessen



Bildquellen: Touratech, BMW-Europe-moto.com, Brehmer Group — Freigabe ausstehend

Vorrichtungsmagnetisierung — ELSOMAG® 230 C4 EEM

Dedizierte Magnetisiervorrichtung und Impulsmagnetisiergerät — wirtschaftlich ab etwa 10.000 Stück pro Jahr



Magnetisieren einer Spulenvorrichtung am Tischgerät — Bedienung ohne Spezialwissen

– 50 %
Energieverbrauch

2400 Ws
max. Impulsenergie

10 kA
Magnetisierstrom

HIGHLIGHTS

Energieeffizient

Rückgespeiste Energie halbiert den Verbrauch und verdoppelt fast die Impulse je Zeiteinheit

Leistungsdicht

Tischgerät mit Kondensatorbank, skalierbar von 720 bis 2880 μF

Einfach zu bedienen

Bedienoberfläche auf Klarheit ausgelegt — Betrieb ohne Spezialwissen

Präzise

Magnetisierung und Kalibrierung von Motor- und Sensormagneten besser als 1 %

Integrierbar

Ethernet und USB, optional I/O-Schnittstelle für die Fertigungslinie

Diagnosefähig

Messtechnik und Diagnosesoftware für den zuverlässigen Dreischichtbetrieb

Bildquellen: ELSOMA GmbH

ELSOMAG® 230 C4 EEM in der Praxis



DAS BAUTEIL

Metallpulverspritzgegossener, anisotroper NdFeB-Ringmagnet, 25 mm AD × 21,2 mm ID × 18 mm, 28 Pole

DIE ANFORDERUNG

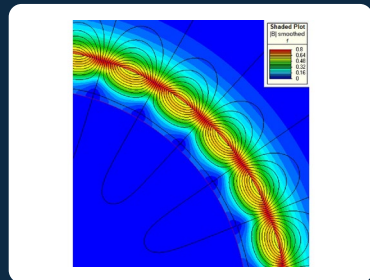
Im Mittel 520 mT in 0,25 mm Abstand von der Mantelfläche, kein Einzelpol unter 494 mT

DIE AUFGABE

FEM-Simulation, danach Auslegung und Bau einer Prototypvorrichtung mit FeCo-Kern für 100 Schüsse

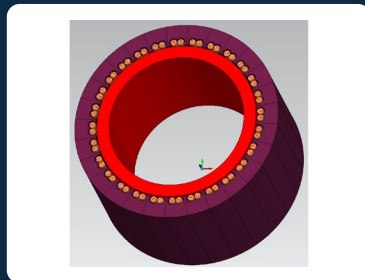
DAS ERGEBNIS

Zielstrom 10 kA; Polwinkelabweichung innerhalb $\pm 0,9^\circ$, Standardabweichung $0,40^\circ$



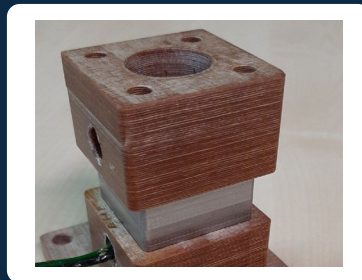
1

Simulation der Magnetisierung



2

Modellierung der Vorrichtung



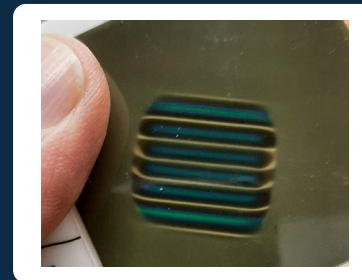
3

Bau der Prototypvorrichtung



4

Magnetisieren mit dem 230 C4 EEM



5

Streufeld auf der Betrachterfolie



6

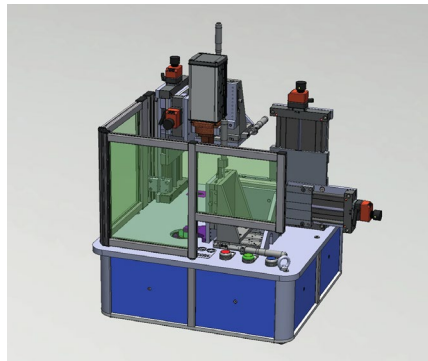
Winkelfehler am A05 gemessen

Von der ersten Feldberechnung bis zum freigegebenen Bauteil — Simulation, Vorrichtung, Magnetisiergerät und Messung aus einer Hand.

Bildquellen: ELSOMA GmbH, MIM Plus Technologies — Freigabe ausstehend

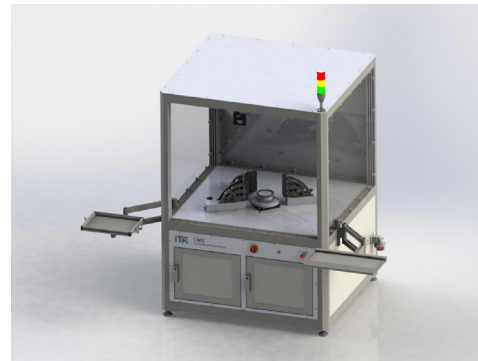
Vorrichtungsfreies Codieren auf Magnetisieranlagen

- Industrielle und viele automobile Anwendungen verlangen eine größere Flexibilität bei Polmuster, Polzahl und Spurzahl, als In-Mold- oder Vorrichtungsmagnetisierung bieten können
- Losgrößen liegen typischerweise zwischen 1 und 250.000 Stück pro Jahr — diese Spannweite erfordert hochflexible Magnetisieranlagen
- Eine Magnetisieranlage besteht aus einer präzisen Bewegungsplattform, einem oder mehreren Magnetisierköpfen und der Rechnersteuerung



ELSOMAG® SL01 Rotorwriter

Tischgerät für Prototypen und Kleinserien — Magnetisieren und Messen in einem Gerät



RMP — Rundmagnetisieranlage

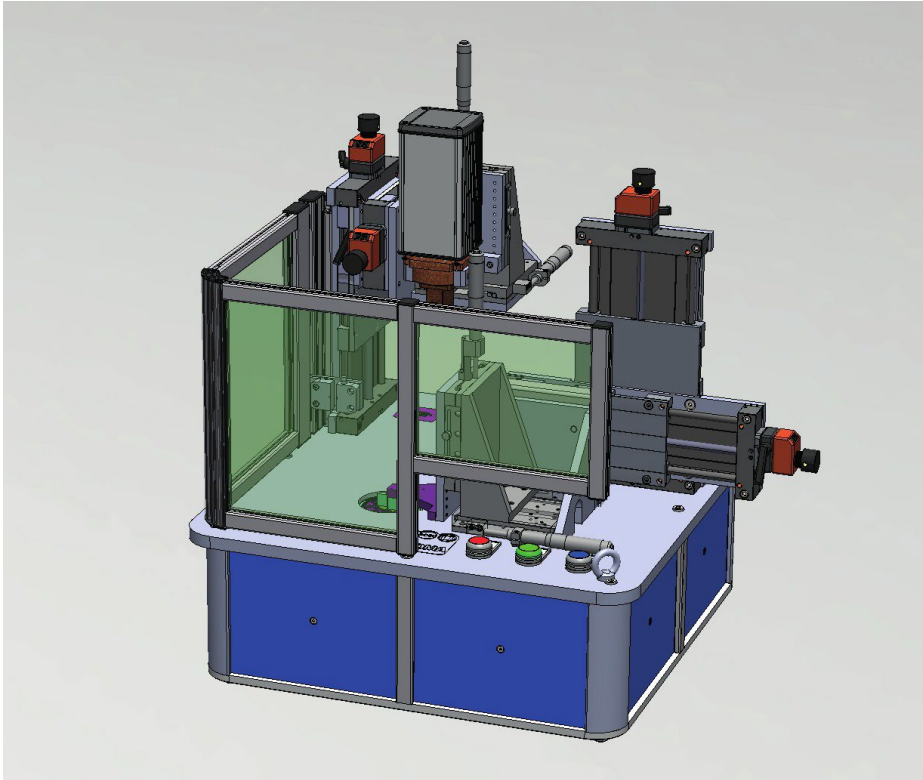
Polringe von 10 bis 250 mm Durchmesser, bis zu drei Spuren gleichzeitig



LMP — Linear-Magnetisieranlage

Durchgehende Maßverkörperungen bis 5 m Länge, bis zu drei Spuren

ELSOMAG® SL01 Rotorwriter — Aufbau



ELSOMAG® SL01 — Tischgerät zum Magnetisieren von Rotoren und Polringen mit integriertem ELSOPULS® IIMxk Impulskopf

Bildquellen: ELSOMA GmbH

ITK Precisioning GmbH · ELSOMA GmbH · Dr. Rolf Slatter

GERÄTETYP

ELSOMAG® SL01 — Rotations-Magnetisiergerät im Tischformat

KONSTRUKTIVE MERKMALE

- Tischgerät für Prototypen und Kleinserien — zugeschnitten auf Encoder-Ringmagnete in der Entwicklung
- Modularer, skalierbarer Aufbau für einen weiten Bereich an Durchmessern und Höhen sowie für mehrspurige Magnetisierung
- Integrierter ELSOPULS® IIMxk Impulskopf erreicht die erforderlichen Feldstärken von Ferrit bis NdFeB und SmCo
- Messen und Magnetisieren in einem Gerät — Polmuster schreiben und Qualität prüfen ohne Umrüsten
- CE-zertifiziert und einsatzbereit in Fertigungs- und Laborumgebungen

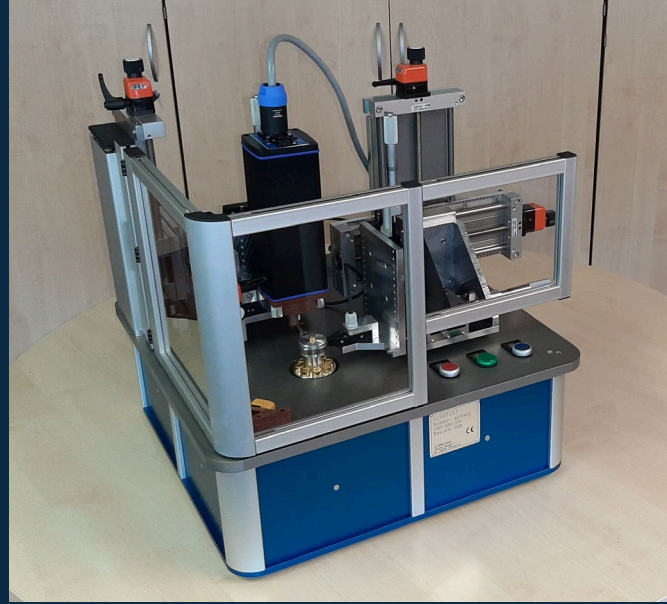
Magnetisieren und Messen in einem Gerät — ohne Umrüsten von der Codierung zur Qualitätsprüfung

ELSOMAG® SL01 Rotorwriter in der Praxis

Magnetisieren und Messen in einem Gerät — vom Entwicklungsmuster bis zur Kleinserie



Magnetring in der SL01 Messen und Magnetisieren



Laboranlage SL01



10 – 300 mm

Magnetdurchmesser

3 – 200 mm

Magnethöhe

Ferrit ... SmCo

Werkstoffbereich

Mehrspurig

codierte Spuren je Bauteil

Integriert

Magnetfeldmessung im Gerät

CE

zertifiziert und serienreif

Bildquellen: ELSOMA GmbH

RMP — Rundmagnetisieranlage

Vorrichtungsfreies Codieren von Polringen — entwickelt und gebaut bei ITK Precisioning



RMP — Anlage für die Serienfertigung, ausgestattet mit PolePrecisioner



Anordnung der Zustellachsen



Arbeitsraum der Maschine

WESENTLICHE MERKMALE

- Grundaufbau erweiterbar auf bis zu fünf Zustellachsen
- Kennzeichnen oder Lesen des QR-Codes, Rundlauf- und Planlaufmessung, Magnetisieren und Magnetfeldmessung in einem Durchlauf
- Bis zu drei Spuren gleichzeitig schreibbar
- Polringdurchmesser von 10 bis 250 mm
- Pollängen von 0,5 bis 5 mm
- Winkelwiederholgenauigkeit $< 5''$, Auflösung $< 0,5''$
- Rotatorischer Direktantrieb mit hochauflösendem Winkelmesssystem
- OPC-UA-Anbindung; kalibrierte Messmittel auf Anfrage
- Programmierung und Magnetisierung nach DIN SPEC 91411

LMP — Linear-Magnetisieranlage

Durchgehende Maßverkörperungen bis 5 m Länge — entwickelt und gebaut bei ITK Precisioning



LMP800 — 800 mm Schreiblänge, Granitbett auf verwindungssteifem Untergestell



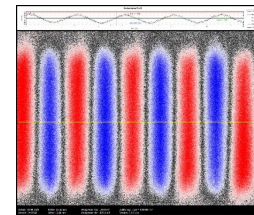
LMP5000 — 5000 mm Schreiblänge, im Fertigungsbereich bei ITK

Bildquellen: ITK Precisioning GmbH

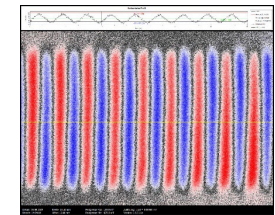
ITK Precisioning GmbH · ELSOMA GmbH · Dr. Rolf Slatter

WESENTLICHE MERKMALE

- Durchgehende Maßverkörperungen bis 5 m Länge
- Pollängen von 0,5 bis 5 mm, standardmäßig bis zu drei Spuren
- Wiederholgenauigkeit $< 1 \mu\text{m}$ nach ISO 230-2 (Maschine)
- Absolutgenauigkeit $< 3 \mu\text{m/m}$ nach ISO 230-2 (Maßstab)
- Referenzmessung über Laserinterferometer sichert die Genauigkeit über die gesamte Länge
- Lineardirektantriebe mit minimiertem Streufeld für die Hauptachsen
- Programmierung und Magnetisierung nach DIN SPEC 91411



1 mm Polteilung, 0,5 mm Arbeitsabstand



2 mm Polteilung, 1 mm Arbeitsabstand

Neue Marktanforderungen an Impulsmagnetisierköpfe

- Neue Werkstoffe mit höherer Koerzitivfeldstärke (SmFeN, NdFeB, SmCo) erfordern höhere Magnetisierfeldstärken H_{mag}
- Höhere Genauigkeit verlangt die Reduktion des Startpolfehlers bei Polringen; neue Absolutcodes wie PRBS erfordern bessere Programmierbarkeit
- Höhere Produktivität bedeutet höhere Schreibgeschwindigkeiten; zuverlässiger Dreischichtbetrieb erfordert interne Diagnose

MAGNETISIERFELDSTÄRKEN GÄNGIGER WERKSTOFFE

Werkstoff	Form	Sorte	H_{mag} (kA/m)
Sr-Hartferrit	gepresst	17/18 anisotrop	800
Sr-Hartferrit	gesintert	28/28 anisotrop	1.000
SmFeN	gepresst	82/75 anisotrop	1.900
NdFeB	gepresst	76/110 anisotrop	2.400
NdFeB	gesintert	300/125 anisotrop	2.400
SmCo ₅	gesintert	160/143 anisotrop	3.500
Sm ₂ Co ₁₇	gesintert	180/160 anisotrop	4.300

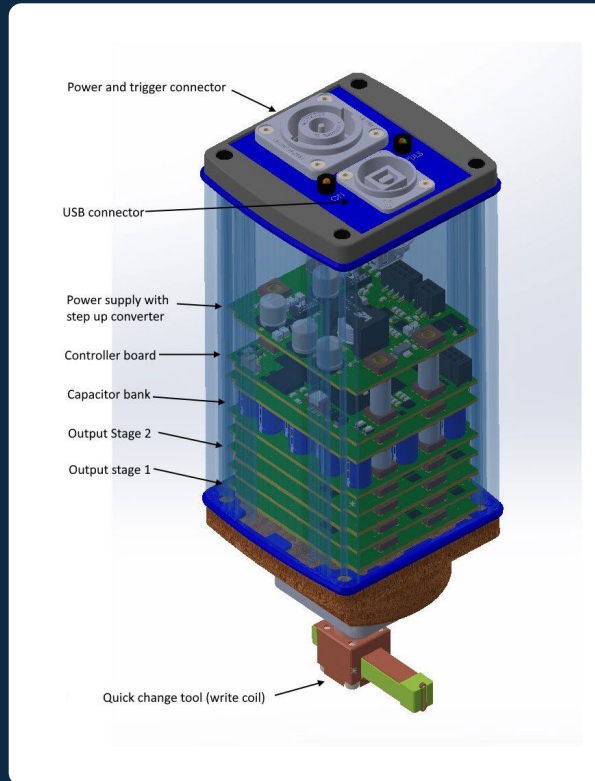
ZIELSPEZIFIKATION FÜR DEN NEUEN IMPULSKOPF

Merkmal	Bisherige Generation	Neue Generation
Magnetisierfeld	1.750 kA/m	3.500 kA/m
Schreibgeschwindigkeit	ca. 20 Hz	30 Hz (50 Hz)
Pollängen	0,5 bis 5 mm	0,5 bis 5 mm
Programmierbares Stromprofil	nein	ja
Interner Temperatursensor	nein	ja
Interne Diagnose	nein	ja

AUSLÖSER FÜR ELSOMA, EINEN INTELLIGENTEN IMPULSMAGNETISIERKOPF ZU ENTWICKELN

Alle H_{mag} -Angaben: Magnetfabrik Schramberg

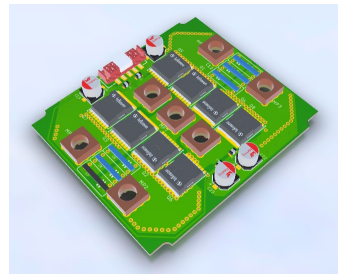
ELSOPULS® IIMxk — Impulsmagnetisierkopf



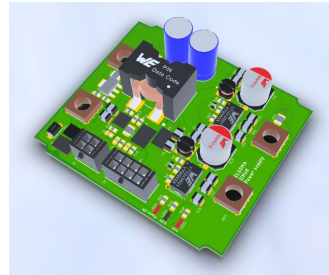
Innerer Aufbau — die Endstufen sitzen dicht an der Wechseleinheit, mit koaxialer Stromführung

Bildquellen: ELSOMA GmbH, iTK Precisioning GmbH

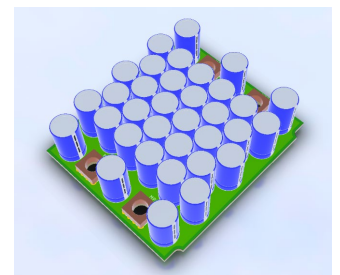
iTK Precisioning GmbH · ELSOMA GmbH · Dr. Rolf Slatter



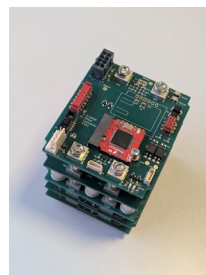
Leistungsplatine



Controllerplatine



Kondensatorplatine



Gestapelter Aufbau mit 32-Bit-Mikrocontroller

KONSTRUKTIONSMERKMALE

Eigener Controller

Der Kopf wird vom Anwender konfiguriert, nicht ab Werk fest verdrahtet

Kompakter Leistungspfad

Endstufen dicht an der Wechseleinheit, koaxiale Stromführung

Modularer Aufbau

Kondensator-, Leistungs- und Controllerplatine stapeln sich in einem Gehäuse

Schnellwechselwerkzeug

Wechseleinheiten für radiale und axiale Magnetisierung, 1 und 2 mm Pollänge (0.5 mm in Entwicklung)

Kühlkonzept

Kupferplatten führen die Wärme ab, ein geregelter Gegenimpuls begrenzt sie an der Quelle

Kompakte Hülle

Rund 90 × 90 mm im Querschnitt, etwa 330 mm hoch einschließlich Stecker

ELSOPULS® IIMxk — wesentliche Merkmale

Was der Kopf selbst leistet — was damit möglich wird, zeigt die nächste Folie

Stufenlose Stromvorgabe

Der Magnetisierstrom wird stufenlos von 50 bis 2000 A eingestellt — ein Kopf deckt alles ab, von der dünnen Ferritschicht bis zur voll gesättigten Maßverkörperung.

Programmierbares Stromprofil

Impulslängen zwischen 1 und 10 μ s bei 20 ns Auflösung. Das Profil läuft in vier Phasen, jede eine Schaltfolge der MOSFET-H-Brücke.

Wechselbare Werkzeuge

Schnellwechseleinheiten decken alle gängigen Pollängen von 1 bis 5 mm ab, radial und axial. Eine 0,5-mm-Einheit ist geplant.

Präzises Triggern

USB im Einrichtbetrieb, Optokoppler mit TTL oder RS485 in der Fertigung. Minimaler Jitter und kohärentes Timing, nahezu ohne Phasenfehler im Dauerschreiben.

Integrierte Messung und Diagnose

Interne Temperatur- und Stromsensoren, LCD-Statusanzeige und Diagnosesoftware; Abschaltung bei Überstrom oder Übertemperatur programmierbar.

TECHNISCHE DATEN

Maximaler Impulsstrom

2000 A (IIM4k: 4000 A)

Magnetisierfeld, 1 mm Pol

1750 kA/m (IIM4k: 3500 kA/m)

Impulsdauer

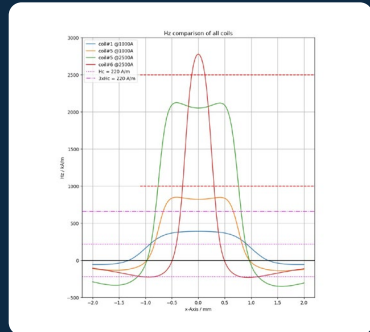
1 – 10 μ s, Auflösung 20 ns

Schreibfrequenz

30 Hz max., 50 Hz in Entwicklung

ELSOPULS® IIMxk — was damit möglich wird

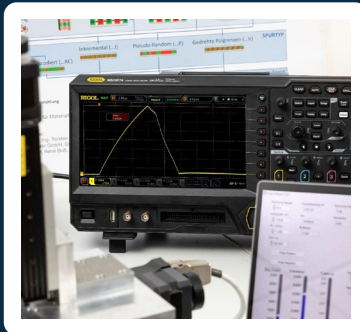
Sechs Dinge, die ein Encoder- oder Magnethersteller vorher nicht tun konnte



1

SE-Hartmagnetische Werkstoffe

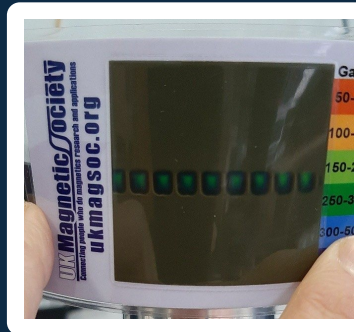
Optimierte Spulengeometrie und Leistungselektronik erreichen die Feldstärken, um NdFeB und SmCo zu codieren, nicht nur Ferrit.



2

Programmierbares Stromprofil

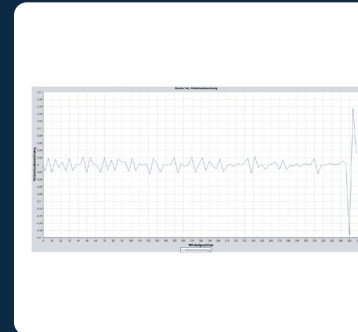
Vier frei programmierbare Phasen mit 20 ns Auflösung liefern die Freiheitsgrade, um Maßstabsfehler zu korrigieren.



3

Variable Pollängen

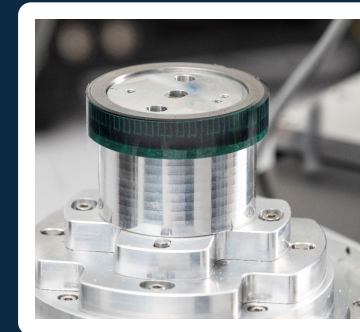
Pollängen von 1 bis 5 mm. Breite Pole entstehen durch Aneinanderreihen einzelner Pole, ohne Werkzeugwechsel.



4

Kein Startpolfehler

Das programmierbare Profil senkt den Startpolfehler am Polring von rund 0,2° auf 0,04° (Praxisbeispiel).



5

Pseudorandomcodes

Scharf definierte Polübergänge erlauben PRBS-Spuren als Alternative zum Nonius — echte Absolutmessung beim Einschalten.



6

Interne Diagnose

Temperatur- und Stromsensoren mit LCD-Statusanzeige erkennen Probleme früh und öffnen den Weg zum adaptiven Betrieb.

Ein intelligenter Kopf schreibt nicht nur schneller — er schreibt Muster, die vorher nicht verfügbar waren.

Bildquellen: ELSOMA GmbH

Zusammenfassung und Ausblick

MARKT UND ANFORDERUNGEN

- Die Anwendungsfelder magnetischer Sensorik wachsen weiter
- Längen- und Winkelmesssysteme benötigen magnetische Maßverkörperungen
- Es gibt alternative Verfahren zu deren Magnetisierung, der Trend geht klar zum vorrichtungsfreien Codieren
- Neue Marktanforderungen treiben die Entwicklung verbesserter Impulsmagnetisierköpfe

GEMEINSAMES ANGEBOT VON ITK UND ELSOMA

- Anlagen für Prototyp, Kleinserie und Großserie aus einer Hand
- Magnetisierköpfe, Anlagentechnik und Messtechnik aufeinander abgestimmt
- Begleitung von der Simulation über die Codierung bis zur Serienprüfung

AUSBLICK

- Der intelligente Impulskopf schreibt nicht nur schneller, sondern erschließt Polmuster, die vorher nicht herstellbar waren
- Höhere Magnetisierfelder öffnen den Weg zu Werkstoffen mit hoher Koerzitivfeldstärke — und zu Kleinmotorrotoren
- Die Variante IIM4k liefert bis 4000 A und 3500 kA/m bei 1 mm Pollänge
- Adaptives Magnetisieren auf Basis der internen Sensorik ist der nächste Entwicklungsschritt: Der Kopf führt sein Stromprofil während des Codierens selbst nach
- Ziel bleibt die durchgängige Kette von der Feldsimulation bis zur dokumentierten Serienprüfung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Fragen und Anregungen sind jederzeit willkommen.

REFERENT

Dr. Rolf Slatter

Inhaber · ITK Precisioning GmbH und ELSOMA GmbH

rolf.slatter@elsoma.de

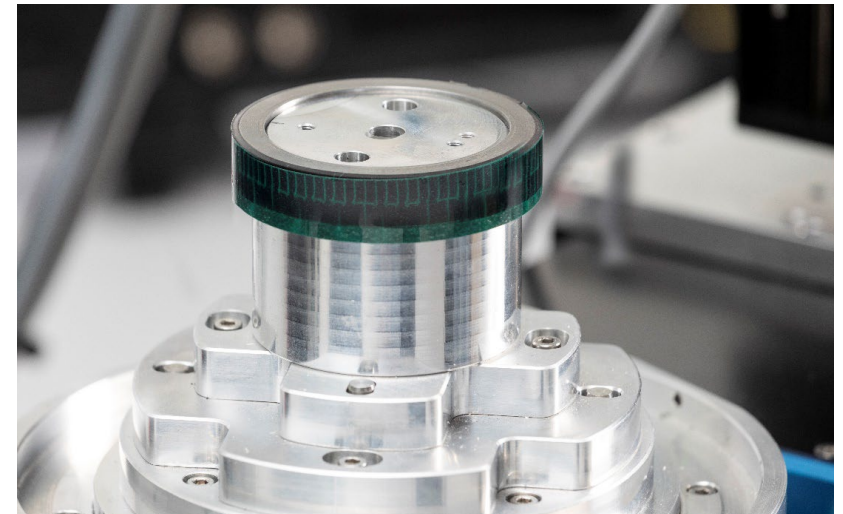
DIE UNTERNEHMEN

ITK Precisioning GmbH

Am Römerlager 5
35633 Lahnau
www.itknet.de

ELSOMA GmbH

Kurzer Morgen 7
58239 Schwerte
www.elsoma.de



Polring auf einer Rundmagnetisieranlage von ITK

Backupfolien

Vertiefung zu den sechs Punkten von „was damit möglich wird“ — für die Diskussion, nicht für den Vortragsablauf.

- 1 Hartmagnetische Werkstoffe — höhere Feldstärken (zwei Folien)
- 2 Programmierbares Stromprofil
- 3 Variable Pollängen
- 4 Kein Startpolfehler
- 5 Pseudorandomcodes (PRBS)
- 6 Höhere Schreibfrequenzen

Backup 1 — höhere Feldstärken

Für hartmagnetische Werkstoffe — Optimierung von Spulengeometrie, Leistungselektronik und symmetrischem Aufbau

3.500 kA/m

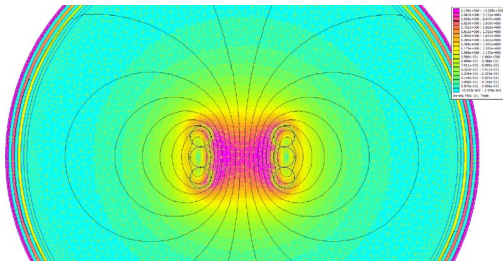
Magnetisierfeldstärke bei 1 mm Pollänge
(optimierte Spule)

60 mT

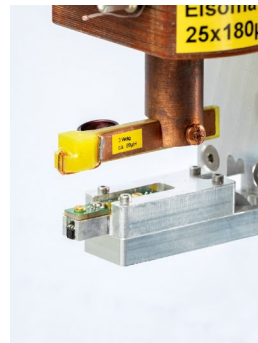
Streufeldstärke bei 5 mm Polteilung,
elastomergebundener Ferritring

> 50 Hz

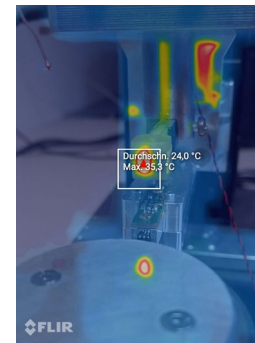
Schreibfrequenz ohne nennenswerte
Erwärmung



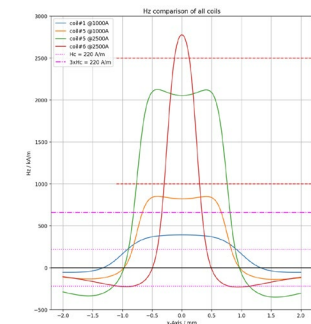
Simulation des Magnetisierfeldes der Luftspule



Detailansicht von Schreibspule und Hall-Sensor



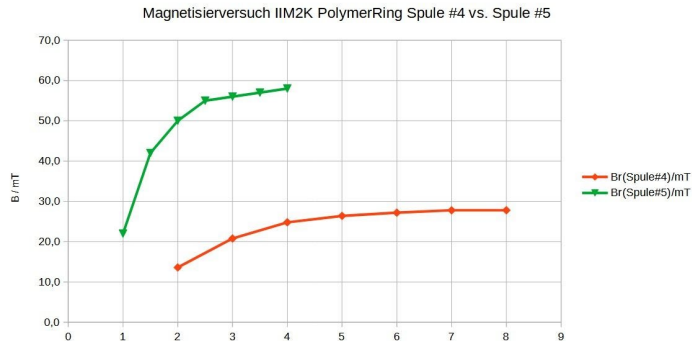
Thermografie: minimaler Temperaturanstieg im Dauerbetrieb



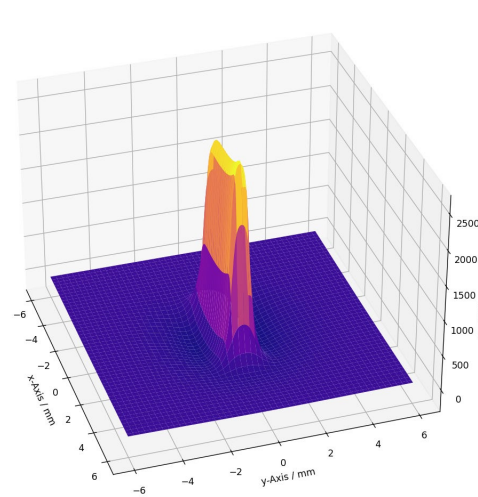
Magnetisierfeldstärke für verschiedene Spulenauslegungen

Backup 1b — höhere Streufeldstärke

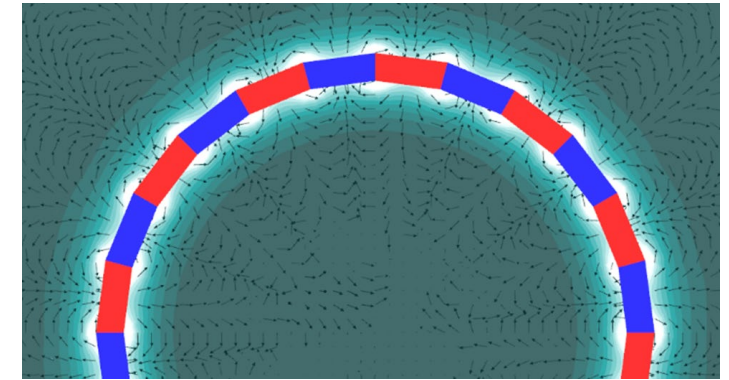
Bei matrixgebundenen Hartferriten bringt die höhere Magnetisierfeldstärke den größten Gewinn



Sättigungsversuch am elastomergebundenen Ferritring
— Streufeld von 30 mT auf 60 mT gesteigert



3D-Magnetfeldprofil eines codierten Polrings



Simulierte Feldverteilung im Polring

- Die höhere Magnetisierfeldstärke bringt vor allem bei schwer magnetisierbaren, matrixgebundenen Hartferriten einen deutlichen Gewinn
- Die Streufeldstärke elastomergebundener Polringe steigt von rund 30 mT auf 60 mT bei 2 mm Polteilung
- Ein höheres Streufeld erlaubt größere Arbeitsabstände und damit robustere Sensorsysteme

Backup 2 — programmierbares Impulsstromprofil

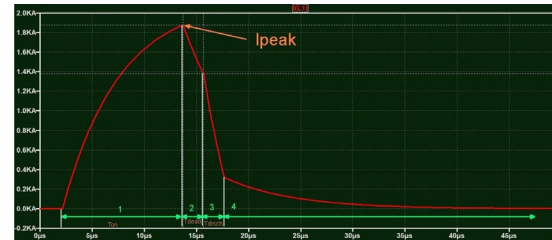
Vier Phasen, Gesamtimpulsdauer 1,25 bis 18 μs , Zeitauflösung 20,83 ns

FUNKTIONSWEISE

- Das Stromprofil ist in vier Phasen unterteilt; jede Phase entspricht einer anderen Schaltfolge der MOSFET-H-Brücke
- Gesamtimpulsdauer von 1,25 bis 18 μs , typischerweise unter 10 μs
- Zeitauflösung 20,83 ns
- Der Verlauf ist frei programmierbar und wird im internen EEPROM abgelegt

NUTZEN

- Anpassung an Werkstoff, Pollänge und Schichtdicke ohne mechanische Änderung
- Gezielte Korrektur systematischer Abweichungen im Polmuster



Das Impulsstromprofil ist in vier Phasen unterteilt



Typische Impulsstromprofile am Oszilloskop

Backup 3 — variable Pollängen ohne Werkzeugwechsel

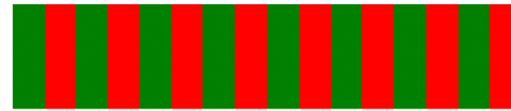
Pollängen von 1 bis 5 mm mit derselben Wechseleinheit — breite Pole entstehen durch Aneinanderreihen einzelner Pole

WARUM DAS VORHER NICHT GING

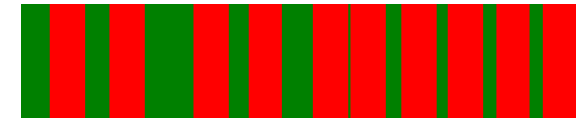
- Vorrichtungen und Werkzeuge legen Pollänge und Polzahl konstruktiv fest
- Ein Wechsel der Pollänge bedeutete dort eine neue Vorrichtung
- Auch beim Codieren war die Pollänge bisher an die Spulengeometrie gebunden

WAS DER ELSOPULS® IIMXK ÄNDERT

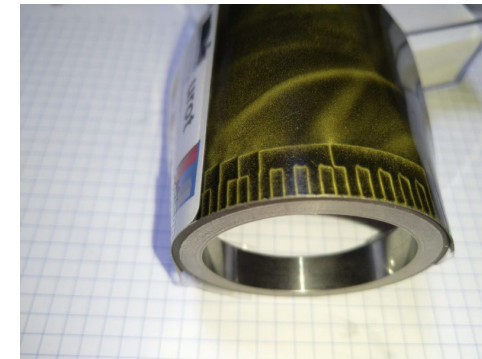
- Pollängen von 1 bis 5 mm mit derselben Wechseleinheit
- Breite Pole entstehen durch Aneinanderreihen einzelner Pole
- Voraussetzung für Nonius- und PRBS-Spuren mit ungleichen Pollängen



Gleichmäßige Pollänge — inkrementelle Spur



Variable Pollängen — Absolutspur



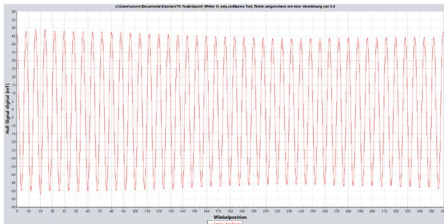
Elastomergebundener Ferritring mit 5-mm-Polen, sichtbar gemacht mit magnetischer Betrachterfolie

Backup 4 — Vermeidung des Startpolfehlers

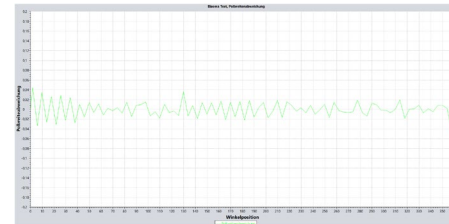
Beim Codieren eines Polrings trifft der letzte Pol auf den ersten — das programmierbare Stromprofil minimiert den Fehler

Vorher

Deutlicher Startpolfehler von $0,2^\circ$



Magnetisches Flussdichteprofil (mT)

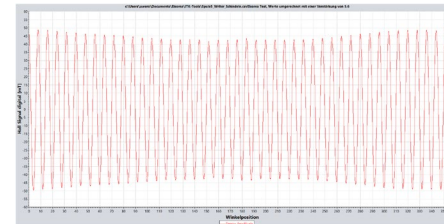


Pollagenabweichung (°)

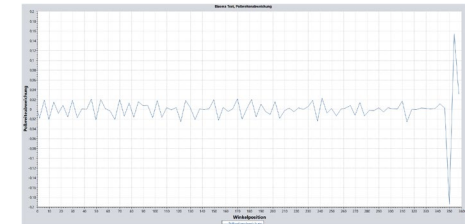
$0,20^\circ$

Nachher

Minimaler Startpolfehler von $0,04^\circ$



Magnetisches Flussdichteprofil (mT)



Pollagenabweichung (°)

$0,04^\circ$

Backup 5 — Pseudorandomcodes (PRBS)

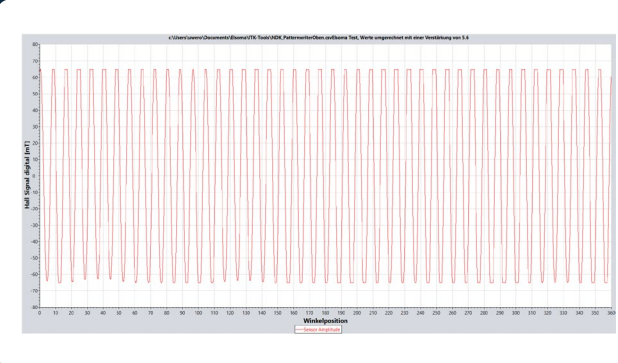
Programmierbarkeit und scharf definierte Polübergänge machen Polmuster möglich, die bisher nicht schreibbar waren

- PRBS — Pseudorandom Binary Sequence — als Alternative zum Nonius-Polmuster
- Ermöglicht echte Absolutmessung beim Einschalten („true power-on“) für Winkel- und Längenmesssysteme
- Nur eine zusätzliche Spur erforderlich statt zweier Spuren mit eng tolerierten Pollängen
- Voraussetzung ist eine frei programmierbare, variable Pollänge bei gleichbleibend scharfen Polübergängen
- Der Impulskopf schreibt Inkremental- und Absolutspur in einem Arbeitsgang

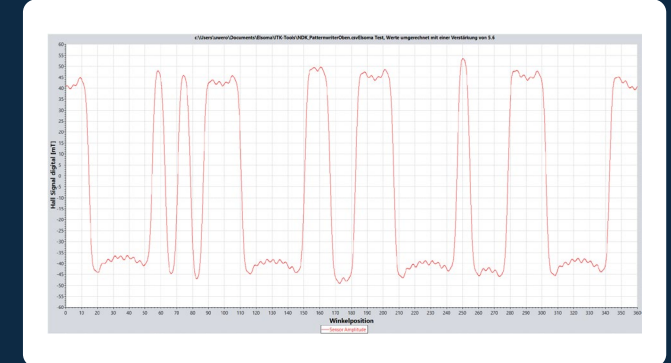
Ergebnis: echte Absolutmessung beim Einschalten — ohne Referenzfahrt und mit nur einer zusätzlichen Spur

Bildquellen: ELSOMA GmbH

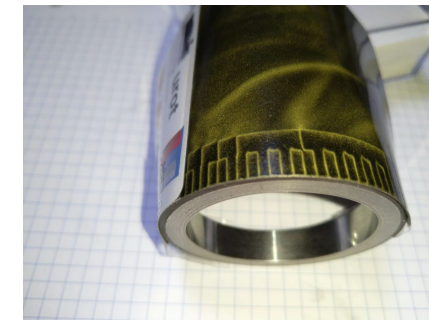
ITK Precisioning GmbH · ELSOMA GmbH · Dr. Rolf Slatter



Inkrementalspur — gleichmäßiges Flussdichteprofil



Absolutspur mit PRBS-Codierung — variable Pollängen



Elastomergebundener Ferritring mit Inkremental- und PRBS-Spur, sichtbar gemacht mit magnetischer Betrachterfolie

Backup 6 — höhere Schreibfrequenzen

Die Schreibfrequenz bestimmt die Taktzeit — begrenzend wirkt die Wärme, nicht die Elektronik

30 Hz

Schreibfrequenz nach Datenblatt, bei maximaler Feldstärke

50 Hz

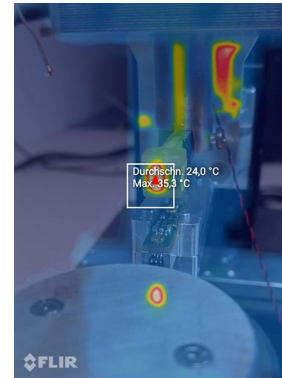
in Entwicklung — Ziel der laufenden Ausbaustufe

32 Hz

induktiver Kopf bei Hmax, zum Vergleich

WAS DIE FREQUENZ BEGRENZT

- Jeder Impuls bringt Wärme in Spule und Endstufe ein — die Taktrate ist thermisch begrenzt, nicht elektronisch
- Kupferplatten führen die Wärme ab; ein geregelter Gegenimpuls begrenzt sie bereits an der Quelle
- Der interne Temperatursensor erlaubt den Betrieb nahe an der Grenze statt mit pauschalem Sicherheitsabstand
- Ergebnis: höhere Taktrate ohne nennenswerte Erwärmung im Dauerbetrieb



Thermografie: minimaler Temperaturanstieg im Dauerbetrieb



Schreibspule mit Kupferplatten zur Wärmeabfuhr