

## **Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben**

C. Welk, B. Gundelsweiler, W. Schinköthe (IKFF, Stuttgart)

Beitrag zur

**GMM–IMM–Fachtagung  
Innovative Klein– und Mikroantriebe  
Mainz 15./16. Mai 2001**

Veröffentlicht im GMM–Fachbericht 33:

**Innovative Klein– und Mikroantriebe 2001**  
Vorträge der GMM–IMM–Fachtagung  
vom 15. bis 16. Mai 2001 in Mainz

VDE Verlag, Bismarckstraße 33, 10625 Berlin  
ISBN 3–8007–2612–2  
ISSN 1432–3419

© 2001 VDE/VDI GMM

# Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben

Dipl.-Ing. C. Welk, Dipl.-Ing. B. Gundelsweiler, Prof. Dr.-Ing. W. Schinköthe  
Universität Stuttgart, Institut für Feinwerktechnik, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart, Deutschland

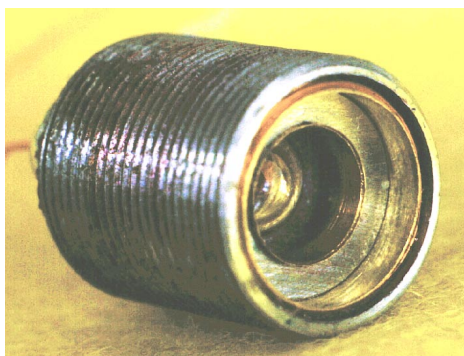
## Kurzfassung

Positioniersysteme mit elektrodynamischen Lineardirektantrieben erfordern zur Realisierung eines geschlossenen Regelkreises ein Wegmesssystem, wobei Kostenaufwand und Bauraum meist erheblich sind. In den Antrieb integrierte Messsysteme, die ohne zusätzliche Bauelemente auskommen, erschließen deshalb insbesondere in der Feinwerktechnik neue Anwendungsfelder. Aufgezeigt werden das Funktionsprinzip, zur Zeit erreichbare Systemeigenschaften sowie konstruktive Voraussetzungen, um diese Messmethodik in Linearantrieben verschiedener Bauart einzusetzen.

## 1 Einleitung

Für die Ausführung einer linearen Bewegung werden in Fein- und Mikrotechnik zunehmend elektrodynamische Lineardirektantriebe statt rotatorischer Antriebe mit Rotations-/Translationsumformern eingesetzt. Die Gründe hierfür sind unter anderem höhere Dynamik, einfacherer und damit kostengünstiger Aufbau, höheres Miniaturisierungspotenzial und bedingt durch den Wegfall des Getriebes, eine Steigerung der Stellgenauigkeit.

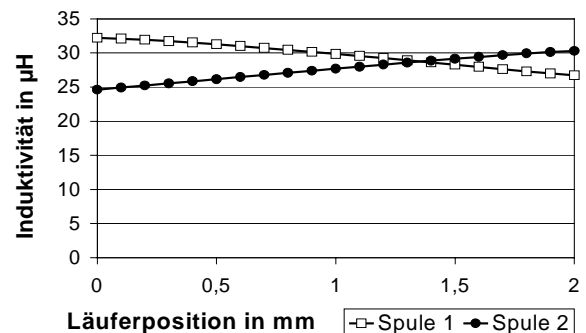
Diese Anforderungen und die Berücksichtigung von Umgebungsbedingungen führen zu Antriebseinheiten, deren Parameter genau aufeinander abgestimmt werden müssen, um die im jeweiligen Anwendungsfall gewünschten Eigenschaften zu erreichen. **Bild 1** zeigt beispielhaft einen solchen, für seinen Einsatz als Fokussierantrieb einer Endoskopoptik optimierten Aktor.



**Bild 1:** Fokussierantrieb für Endoskopoptik, Durchmesser 7 mm

Da solche Motoren keine interne Maßverkörperung besitzen, erfordern komplette Positioniersysteme ein zusätzliches externes Wegmesssystem, um einen geschlossenen Regelkreis zu realisieren. Durch entspre-

chend angepasste Motorkonstruktionen können aber die dem Motor inhärenten sensorischen Eigenschaften zur integrierten Wegmessung ausgenutzt werden.



**Bild 2:** Wegabhängigkeit der beiden Motorteilspulinduktivitäten des Fokussierantriebs

Am Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik (IKFF) der Universität Stuttgart wurde deshalb begonnen, durch duale Nutzung der Motorspulen sowohl als Antriebs-, als auch als Messwicklung ein wegproportionales Signal für die Läuferstellung in feinwerktechnischen Gleichstromlinearmotoren direkt abzuleiten und damit ein zusätzliches Wegmesssystem zu umgehen. Kerngedanke ist dabei, die Induktivitätsänderung in den Teilspulen des Motors bei Verschiebung des magnetbehafteten Läufers als wegproportionales Signal zu erfassen. Hervorzuheben ist dabei, dass dieses Messsystem motorseitig keine zusätzlichen Bauteile erfordert. Die Signalauswertung kann in die ohnehin vorhandene Ansteuerlektronik verlagert werden. **Bild 2** zeigt die Abhängigkeit der Motorteilspulinduktivitäten von der Läuferposition des Fokussierantriebs.

Es existieren zwei verschiedene Konzepte zur Erzeugung eines Wegsignals aus den Spannungsabfällen über den Teilspulen eines entsprechenden Motors, die

Nutzung eines analogen Stellgliedes mit überlagerter Messwechselspannung sowie die Nutzung eines pulsweitenmodulierten, getakteten Stellgliedes ohne zusätzliche Messwechselspannung.

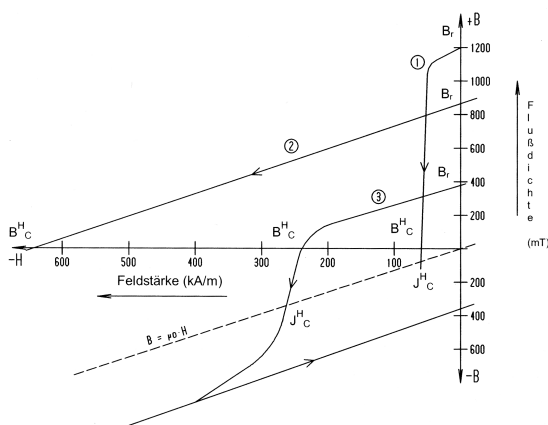
Analoge Stellglieder werden vorzugsweise für kurzhubige, homopolare Motoren kleiner Leistung eingesetzt. Getaktete Stellglieder kommen in der Regel in aufwändigeren, heteropolaren und elektronisch kommutierten Antrieben zur Anwendung und eignen sich auch für höhere Leistungen.

## 2 Motor- und Messprinzip

Die vorgestellten Motorprinzipien stellen elektrodynamische Lineardirektantriebe mit bewegten Permanentmagnetläufern und feststehenden Spulensystemen dar. Diese Motorbauarten eignen sich insbesondere durch die entfallende Anschlusskabelmitführung des Spulensystems und den damit bedingten Standzeitproblemen für feinwerktechnische Antriebe im Kraftbereich bis 100 N.

### 2.1 Anforderungen an den Motoraufbau (Läufer- und Spulensystem)

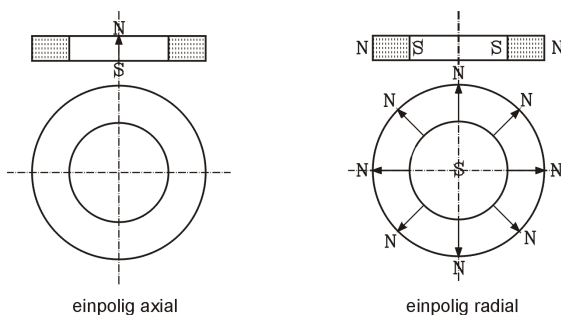
Das zur Positionsauswertung eingesetzte Prinzip basiert auf der Funktion eines Differentialdrosselwegaufnehmers. Die Induktivität einer Teilschleife sollte sich möglichst stark erhöhen, bzw. im gleichen Maß die Induktivität der anderen Teilschleife vermindern. Eine Induktivitätsänderung kann dabei durch das Einschleichen bzw. Ausfahren eines hochpermeablen Materials in das Spulensystem erfolgen. Bei der Verwendung von Permanentmagnetläufern besitzen diese jedoch nur eine geringe Permeabilität des Magnetmaterials und eine dadurch bedingte geringe Induktivitätsänderung.



**Bild 3:** Entmagnetisierungskennlinie [1], 1 AlNiCo, 2 Seltene-Erden, 3 Ferrite

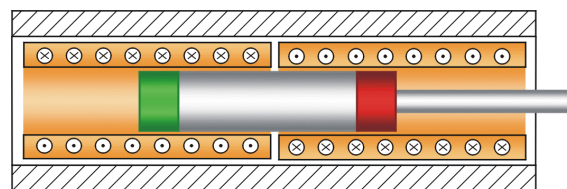
Die typischen Entmagnetisierungskennlinien der Magnetwerkstoffe sind in **Bild 3** dargestellt. Die Permeabilität  $\mu = \mu_0 \mu_p$  ist dabei das Verhältnis der magnetischen Induktion  $B$  zum magnetischen Feld  $H$ . Die typischen permanenten Permeabilitäten der Magnetwerkstoffe betragen allerdings nur  $\mu_p = 1,05 \dots 1,1$  für die Ferrite,  $\mu_p = 5 \dots 7,5$  für AlNiCo und  $\mu_p = 1,02 \dots 1,1$  für die Seltene-Erden. Zusätzliche hochpermeable magnetische Flussführungen, welche in die Läuferkonstruktion integriert sind, können hier Abhilfe schaffen.

Bei axial magnetisierten Permanentmagneten können dann zusätzliche Polschuhe zur Flussführung und Formung eingesetzt werden. Eine andere Bauform mit radial bzw. diametral magnetisierten Magnetschalen kann durch einen massiven Kern, welcher den magnetischen Fluss leitet, aufgewertet werden. Die möglichen auftretenden Sättigungerscheinungen sind in der Dimensionierungsphase zu überprüfen und durch entsprechende Materialquerschnitte und Materialauswahl zu minimieren, um den magnetischen Kreis nicht zu schwächen. Die beiden genutzten unterschiedlichen Magnetisierungsarten sind in **Bild 4** dargestellt.



**Bild 4:** Magnetisierungsarten

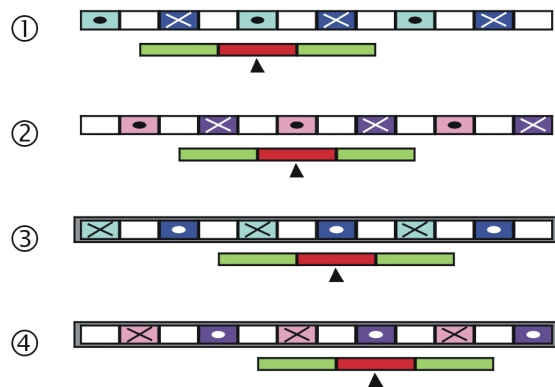
Bei Motoren nach **Bild 1** kommt eine axiale Magnetisierung zum Einsatz, bei Motoren mit innenliegendem massiven Kern eine radiale Magnetisierung, wobei jedoch einzelne Magnetsegmente genutzt werden. Die im feststehenden Stator befindlichen Spulensysteme können ein- oder mehrphasig ausgeführt werden. Das Aufbauprinzip eines einsträngigen Antriebes zeigt **Bild 5**.



**Bild 5:** Einsträngiges Antriebsprinzip

Diese Motorbauform ist durch einen einfachen Aufbau gekennzeichnet, mit dem kurzhubige, schnelle Antriebe realisiert werden können.

Bei den mehrsträngigen Antriebssystemen, die durch eine elektronische Kommutierung über große Wege verfahren können, gestaltet sich das Funktionsprinzip nach **Bild 6**. Die Darstellung zeigt eine Hälfte des rotationssymmetrischen Aufbaus.

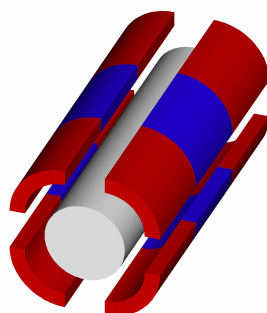


**Bild 6:** Zweisträngiges Antriebsprinzip

Am Beispiel eines zweisträngigen Spulensystems zeigen die Schritte 1 ... 4 schematisch das Zuschalten und Umpolen der einzelnen Spulenstränge und die Bewegung des Läufers. Die Kraftanteile der beiden Einzelstränge überlagern sich und es ergibt sich ein resultierender Gesamtkraftverlauf, der mit einer Restwelligkeit behaftet ist.

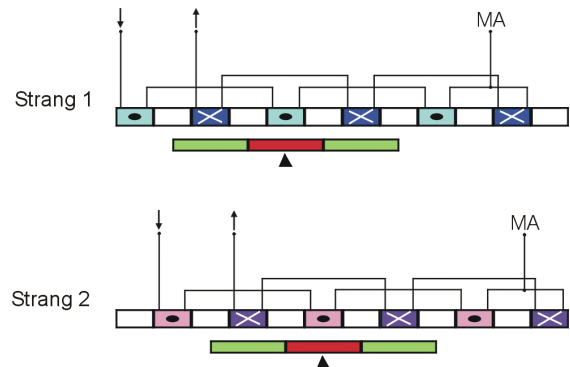
Die Anforderungen der integrierten Wegmessung an diesen Motoraufbau beziehen sich auf die Länge des Läufers und die Ausführung bzw. Verschaltung des Spulensystems.

Ein Läufer-systemausschnitt mit wechselfolig diametral magnetisierten Schalenmagneten und hochpermeablem Flussführungskern ist in **Bild 7** dargestellt. Die Länge des Läufers muss so abgestimmt werden, dass beim Durchfahren des Spulensystems immer aus einer Teilspule herausgefahren und in die andere Teilspule hineingefahren wird.



**Bild 7:** Darstellung des Magnetsystems

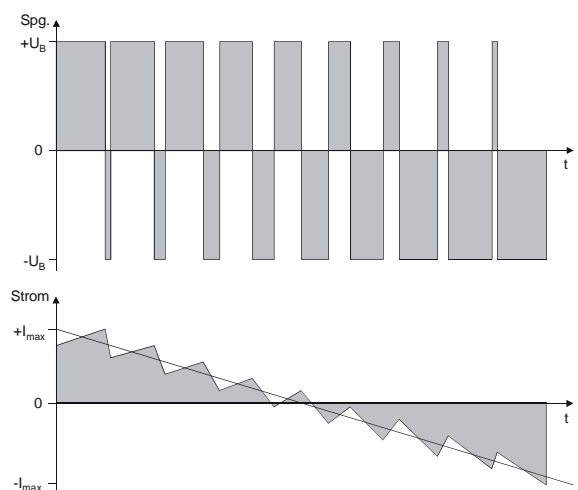
Diese beiden Teilspulen müssen in getrennten Halbsträngen des gleichen Stranges liegen. Dies wird durch eine ungeradzahlige Magnetanzahl und eine geradzahlige Spulenzahl jedes Teilstranges im Gesamtstrang erreicht. Die Teilstränge sind mit einer Mittelanzapfung zu Verschalten, wodurch sich eine gleiche Wickelrichtung der Einzelspulen ergibt. Die Verschaltung des zweisträngigen Spulensystems mit Mittelanzapfung zeigt **Bild 8**.



**Bild 8:** Spulensystem mit Mittenanzapfung

## 2.2 Motoransteuerung

Üblich und allgemein bekannt sind zwei Methoden, um Motoren der obigen Bauart mit Strom zu beaufschlagen: Es sind dies zum einen das Einspeisen eines reinen Gleichstroms, dessen Betrag und Vorzeichen mit guter Näherung in einer linearen Beziehung zur erzielbaren Läuferkraft steht.



**Bild 9:** Pulsweitenmodulation

Zum anderen kann ein im zeitlichen Mittel konstanter, einstellbarer Stromfluss durch eine sogenannte Pulsweitenmodulation erzielt werden, **Bild 9**.

In schneller Folge wird der Motor dabei wechselweise an positive bzw. negative Versorgungsspannung gelegt. Über die Steuerung dieser Schaltzeiten kann bei ausreichend hoher Ansteuerfrequenz ein quasikontinuierlicher Motorstrom eingestellt werden.

Die analoge Ansteuerung lässt sich sehr einfach realisieren, hat aber den Nachteil, dass in der Leistungselektronik recht hohe Verlustleistungen anfallen. Die getaktete Variante vermeidet dieses Problem weitgehend und kommt deshalb vorzugsweise bei leistungsstärkeren Antrieben zum Einsatz.

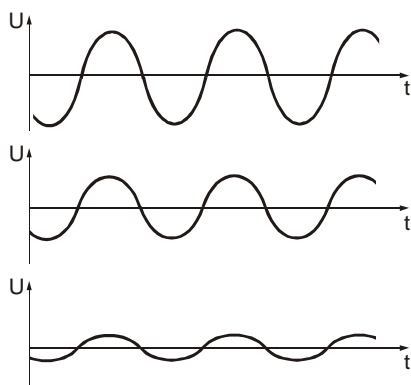
### 2.3 Integrierte Wegmessung bei analoger Ansteuerung

Das Prinzip der integrierten Wegmessung beruht beim analogen Stellglied auf einer Wechselspannung, die der eigentlichen, zur Krafterzeugung notwendigen, Motorspannung überlagert ist. Wie von der Differentialdrossel her bekannt, lässt sich mit Hilfe dieses Wechselanteils eine Änderung des Induktivitätsverhältnisses beider Motorteilspulen messen.

Die Frequenz der Messwechselspannung wird so hoch gewählt, dass der Motor ihr mechanisch nicht folgen kann und keine akustischen Auswirkungen auftreten, üblicherweise 20kHz.

Zur Wegmessung werden die mit dem Läuferweg veränderlichen Induktivitäten der beiden Antriebsteilspulen L1 und L2 ausgewertet. Es entsteht ein komplexer Spannungsteiler, dessen beide komplexen Widerstände sich mit dem Läuferweg ändern.

Betrachtet man den Wechselspannungsanteil am Mittenabgriff der Motorspulen, so zeigt sich eine Abhängigkeit der Signalamplitude von der Läuferstellung, **Bild 10**.

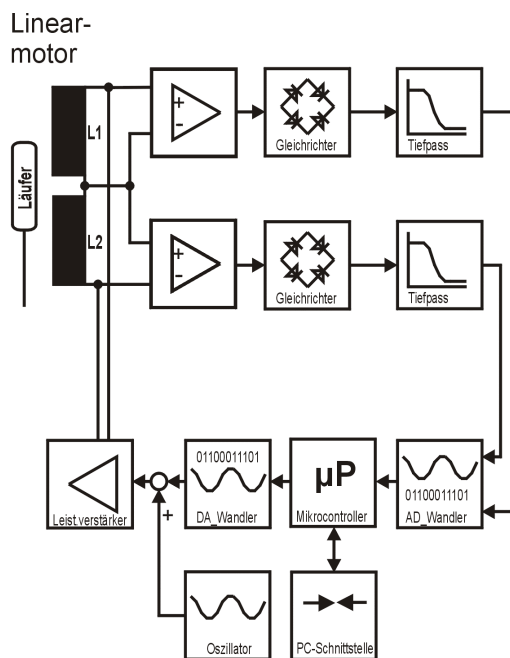


**Bild 10:** Wechselspannungssignale am Mittenabgriff bei 3 verschiedenen Läuferpositionen

Mit der in **Bild 11** gezeigten Elektronik kann diese ausgewertet und einem Mikrocontroller zugeführt werden, der dann mit geeigneten Algorithmen die Re-

gelung übernimmt und die Leistungsendstufe in geeigneter Weise ansteuert.

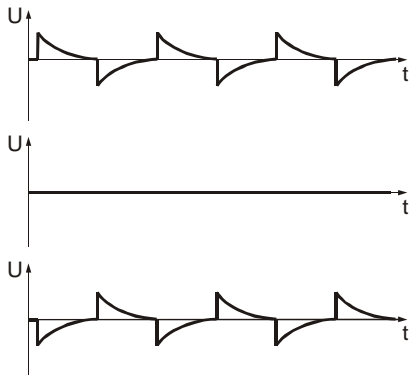
Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass der Einsatz eines Controllers optional ist. Für Einfachsysteme kann die Elektronik auch ohne Digitalteil rein analog aufgebaut werden, wie dies bereits bei einigen Projekten, siehe etwa Bild 1, gezeigt wurde.



**Bild 11:** Blockschaltbild

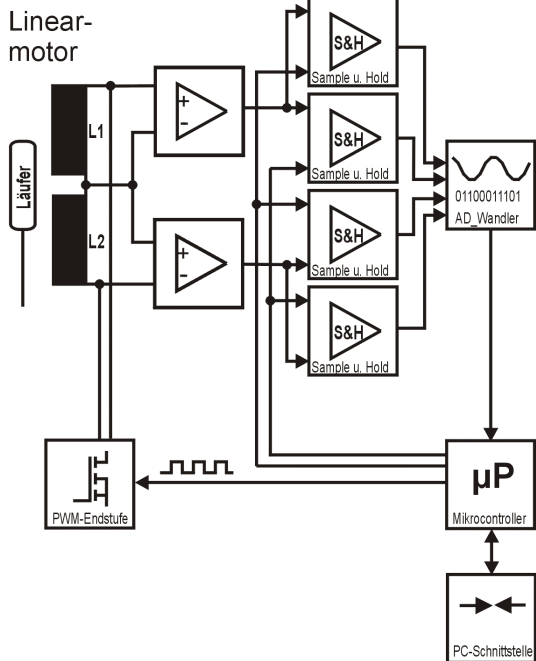
### 2.4 Integrierte Wegmessung bei getakteter Ansteuerung

Wird der Antrieb mittels einer pulswidenmodulierten Spannung betrieben, so ist kein zusätzliches Messsignal erforderlich, um eine Läuferpositionsbestimmung durchzuführen. Der prinzipielle Motoraufbau ist mit dem analoger Ansteuerung identisch und somit ergeben sich auch gleiche elektrische Ersatzschaltbilder. Damit steht wieder ein komplexer Spannungsteiler zur Verfügung, der von den beiden Antriebsspulen gebildet wird. Nur bei Läufermittelstellung sind die beiden Teilinduktivitäten gleich groß und es ergibt sich am Mittenabgriff ein Wechselspannungsanteil von Null. Bei jeder anderen Läuferstellung ergibt sich ein Wechselsignal, aus dessen Verlauf sich die aktuelle Position ableiten lässt, **Bild 12**. Dazu wird der Spannungsverlauf zwischen den Flankenwechseln analysiert, in dem zu zwei verschiedenen Zeitpunkten Sample&Hold-Glieder die am Mittenabgriff anliegende Spannung abtasten, siehe **Bild 13**. Über einen Analog-Digital-Wandler können diese Werte dann in



**Bild 12:** Wechselspannungssignale am Mittenabgriff bei 3 verschiedenen Läuferpositionen

einen Mikrocontroller eingelesen werden, der daraus die Steigung der abgetasteten Funktion errechnet.



**Bild 13:** Blockschaltbild

Mittles weiterer Algorithmen kann dann die aktuelle Läuferposition errechnet werden. Durch geeignete Programmierung lassen sich noch verschiedene Fehlereinflüsse eliminieren, Motorkennlinien linearisieren oder Regelvorschriften realisieren. Ebenso ist eine Rechner- oder Feldbusanbindung möglich.

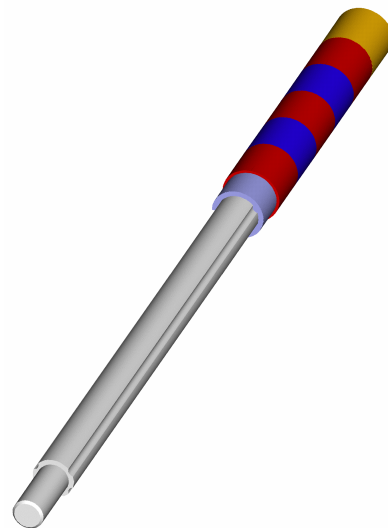
## 2.5 Integrierte Wegmessung in mehrsträngigen Antrieben

Grundsätzlich lassen sich auch in kommutierten mehrsträngigen Antrieben Läuferpositionsmessungen mit beiden Stellgliedkonzepten verwirklichen, wenngleich hier sicherlich Pulssteller zu bevorzugen sind. Die erforderliche Kommutierung wirft zwar zusätzliche Probleme bei der Signalauswertung auf, diese lassen sich aber beherrschen.

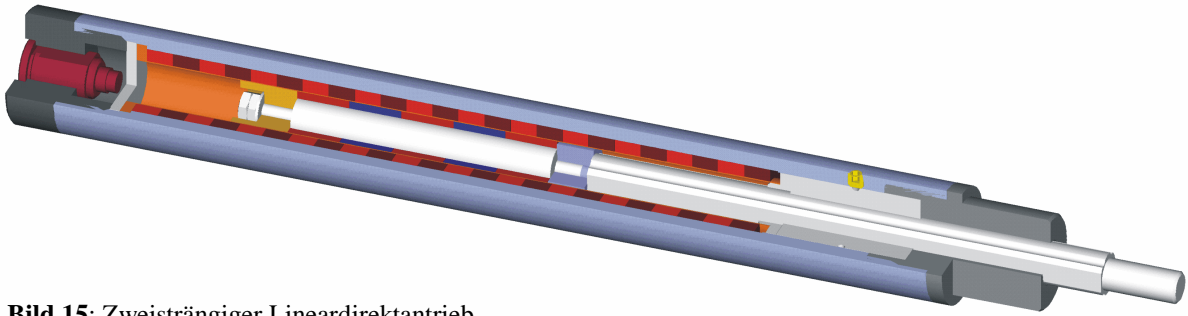
Ein mehrsträngiges System kann man sich gedanklich aus mehreren, hintereinander angeordneten, einsträngigen Systemen zusammengesetzt vorstellen. Damit wird auch klar, dass sich für jeden Teilabschnitt ein Wegsignal ergibt, sich diese Wegsignale jedoch entsprechend der Anzahl der hintereinander angeordneten Systeme wiederholen. Damit steht eine analoginkrementale Positionsinformation zur Verfügung. Aus diesem Grund muss vom Motor bei Betriebsbeginn einmal eine bekannte Referenzposition angefahren werden, wie dies auch bei anderen inkremental arbeitenden Messsystemen üblich ist.

Die Darstellung eines zweisträngigen Lineardirektantriebes zeigt **Bild 15**. Der Motor besteht aus dem Läufersystem, Spulensystem, Führungssystem, Stator und Abschlussdeckeln. Die Hauptabmessungen betragen für den Motordurchmesser 22 mm und die Motorlänge 201 mm. Der Hub des Antriebes beträgt 46,5 mm.

Das Läufersystem ist in **Bild 14** dargestellt. Es baut sich aus fünf wechselfolig diametral magnetisierten Magnetringen auf, die jeweils aus acht Segmentmagneten bestehen. Als Magnetwerkstoff ist NdFeB eingesetzt worden. Als innere Flussführung dient ein hochpermeabler Kern aus Vacoflux 50.

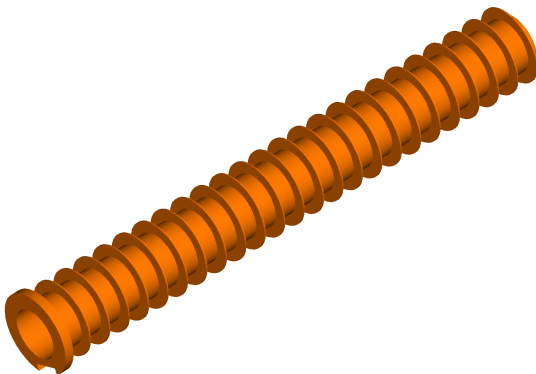


**Bild 14:** Läuferaufbau



**Bild 15:** Zweisträngiger Lineardirektantrieb

Die Führung des Läufers erfolgt durch eine Nutwelle mit Kugelumlauführung, wodurch eine zusätzliche Verdrehsicherung entsteht. Zur Abstützung des Magnetsystems im Motorinneren dient eine Gleitführung. Das zweisträngige Spulensystem ist auf einen Wickelkörper in Form einer Hülse mit Kammern gewickelt, **Bild 16**. Durch die exakte geometrische Lage der einzelnen Kammern sind die Kommutierungspunkte genau definiert.



**Bild 16:** Wickelkörper in Kammerbauform

Die bei dieser Motorbauform möglichen auftretenden Sättigungserscheinungen sind mittels einer FEM-Analyse optimiert worden.

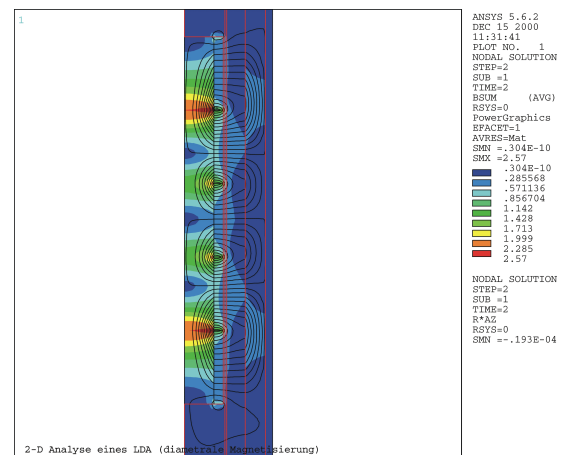
In **Bild 17** sind dazu die Verläufe der magnetischen Flussdichte und überlagerten Feldlinien dargestellt.

Der Einsatz von Hochenergiemagnetwerkstoffen verursacht im Läuferkern sehr hohe magnetische Flussdichten. Diese Sättigungserscheinungen sind durch entsprechende Wahl der Magnetlänge mit Werkstoff- bzw. Materialquerschnittsauswahl zu minimieren, um keine hohen magnetischen Potentialverluste zu erhalten.

Als Flussführungswerkstoff im Kern ist deshalb der hochpermeable Sonderwerkstoff Vacoflux 50 eingesetzt worden, der eine Sättigungsinduktion von bis zu 2,3 Tesla erreicht.

Die erzielbare Dauervorschubkraft des Antriebes beträgt 7 N. Durch den fertigungstechnisch günstig ge-

stalteten Aufbau, der sich nur auf wenige Einzelteile beschränkt, entstehen kompakte Antriebseinheiten, die leicht montiert werden können.



**Bild 17:** FEM-Analyse (Stromdichte 15 A/mm<sup>2</sup>)

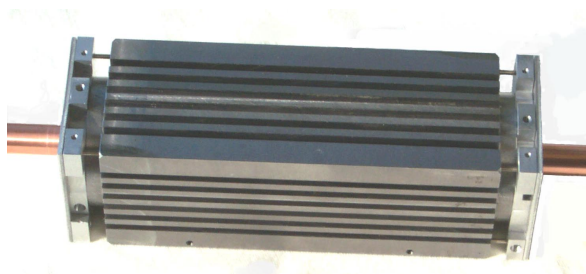
Ferner sind durch den modularen Aufbau Systeme in verschiedenen Durchmesser- und Verfahrensbereichen möglich. Antriebsvarianten für den Kraftbereich bis 100 N wurden ebenso realisiert.

### 3 Integrierte Wegmessung in anderen Motorkonzepten

Für Sonderlösungen bietet es sich an, integrierte Wegmessung auch in anderen Antriebskonzepten einzusetzen:

Asynchronlineardirektantriebe ermöglichen zum Beispiel extrem lange Verfährwege bei minimalen Motor-kosten, da hier keine Magnete benötigt werden und der einfachst aufgebaute Läufer beliebig lang gestaltet werden kann. Am IKFF ist ein Konzept entwickelt worden, um auch hier eine integrierte Wegmessung zu ermöglichen. Bei geringerem Kraftbedarf oder kurzer Einschalt-dauer können somit preisgünstige Antriebs-

systeme realisiert werden, die zum Beispiel in Handling- und Transportsystemen oder der Textil- und Verpackungsindustrie zum Einsatz kommen. **Bild 18** zeigt das Labormuster eines solchen, rotationsymmetrischen, dreiphasigen Asynchronmotors. Die Einführung einer integrierten Wegerfassung ist hier zur Zeit Gegenstand der Forschung.



**Bild 18:** Asynchronlineardirektantrieb

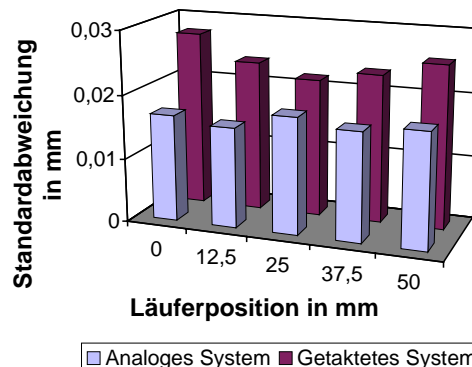
Spezielle Induktionsmotoren lassen sich für Sonderanwendungen einsetzen, wenn geringe Massen an festgelegten Punkten mit extremen Beschleunigungen beaufschlagt werden sollen. Hier sind allerdings Sonderkonstruktionen für den jeweiligen Einsatzfall notwendig, diese können dann aber durch den ebenfalls magnetlosen und einfachen Aufbau inklusive integrierter Wegmessung wirtschaftlich sehr interessant sein. Ein derartiges System befindet sich zur Zeit im Aufbau, um den Funktionsnachweis zu erbringen.

Drehschubmotoren vereinen das Prinzip von mehrsträngigem Lineardirektantrieb mit einem elektronisch kommutierten rotatorischen Elektromotor, so dass der Läufer sowohl eine Dreh- als auch eine lineare Bewegung, auch gleichzeitig, ausführen kann. Die Baumaße sind dabei erheblich kleiner als bei einer getrennten Realisierung beider Freiheitsgrade mittels je eines eigenen Aktors. Zudem kann durch die integrierte Wegmessung der Linearbewegung wieder ein Messsystem entfallen, was zusätzlich Raum und Kosten spart. Wenn auch die Motorkräfte im Vergleich zu einem reinen Linear- oder rotatorischen Antrieb bei gleicher Baugröße deutlich geringer ausfallen, könnten damit zahlreiche Anwendungsgebiete erschlossen werden, zum Beispiel Pick&Place-Aufgaben, Roboter-, Handling- oder Montagetechnik.

## 4 Ergebnisse und Ausblick

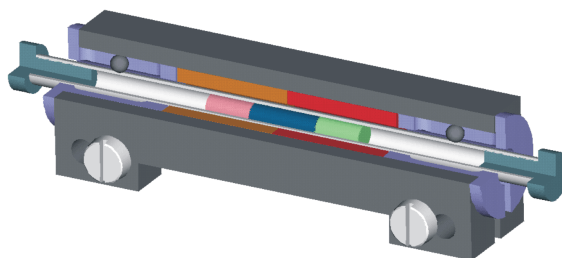
Wie dargelegt wurde, existiert für elektrodynamische Lineardirektantriebe mit bewegten Magneten bei Beachtung einiger Randbedingungen ein kostengünstiges, einfaches und bauraumsparendes Konzept zur Positionsmessung. **Bild 19** zeigt am Beispiel eines ho-

mopolaren Motors mit 50 mm Hub das Auflösungsvermögen beider Messsysteme. Für eine Vielzahl von Anwendungen sind die erreichten Werte bereits ausreichend. Werden an die Messgenauigkeit besondere Anforderungen gestellt, so lassen sich die Antriebe auch noch weiter optimieren. Dies kann dann



**Bild 19:** Messsystemauflösung; homopolarer Antrieb

allerdings bei anderen Motoreigenschaften zu Einbußen führen, so zum Beispiel bei der Linearität der Kraft-Weg-Kennlinie. **Bild 20** zeigt einen so optimierten einsträngigen Miniaturmotor mit den Maßen 40 mm × 8,5 mm × 11 mm und 5 mm Hub. Die Wegerfassung wird durch hochpermeables Kernmaterial, die Anordnung der Magnete sowie Spulen großer Induktivität erleichtert.



**Bild 20:** Für die integrierte Wegmessung optimierter Miniaturmotor, Baulänge 40mm

Die Praxistauglichkeit wurde inzwischen durch mehrere Applikationen und Prototypen bewiesen. Gegenstand aktueller Entwicklungsarbeit ist die Ausweitung der Messmethode auf möglichst kostengünstige Lineardirektantriebe, andere elektrodynamische Lineardirektantriebe wie zum Beispiel Asynchronmotoren sowie eine Steigerung der Messgenauigkeit.



## 5 Literatur

- [1] Dr. E. Steingroever, Dr. G. Roos: Magnetisieren, Entmagnetisieren und Kalibrieren von Permanent - Magnetsystemen, Magnet-Physik GmbH Köln, 1997.
- [2] Hartrampf, R.; Schinköthe, W.; Welk, Ch.: Elektrodynamische Lineardirektantriebe mit integriertem Wegmeßsystem. 41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 1999, Ilmenau 20. – 23.09.1999, Reihe 6 Mechatronik, Tagungsband S 63-68.
- [3] Hartrampf, R.: Integrierte Wegmessung in feinerwerktechnischen elektrodynamischen Lineardirektantrieben. Eingereichte Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, 2001.
- [4] Schinköthe, W.; Voss, M.; Irion, K.: Endoskop. Patentanmeldung, OS DE 196 18 355.
- [5] Schinköthe, W.; Voss, M.; Hartrampf, R.: Gleichstromlinearmotor mit integriertem Wegmeßsystem. Gebrauchsmuster DE 297 05 315.9, 25.
- [6] Hartrampf, R.; Schinköthe, W.: Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung. Patentanmeldung, OS 197 48 647 A1.
- [7] Hartrampf, R.; Schinköthe, W.: Electromagnetic drive system with integrated path signal generation. US-Patent US 6 037 739, 14.03.2000.
- [8] Schinköthe, W.; Welk, C.: Verfahren zur integrierten Wegsignalerzeugung in Asynchronlinearmotoren. Patentanmeldung, Aktenzeichen 100 25 885.9, 25.05.00.
- [9] Schinköthe, W.; Welk, C.: Verfahren zur integrierten Wegsignalerzeugung in Induktionsmotoren nach Elihu Thomson. Patentanmeldung, Aktenzeichen 100 36260.5, 26.07.00.

**Neue Telefon- und Telefaxnummer:**

**Telefon: +49 (0)711 685 – 6 6402**

**Telefax: +49 (0)711 685 – 6 6356**

**Neue E-Mail-Adressen:**

**ikff@ikff.uni-stuttgart.de**

**linearantriebe@ikff.uni-stuttgart.de**

**piezoantriebe@ikff.uni-stuttgart.de**

**spritzguss@ikff.uni-stuttgart.de**

**zuverlaessigkeit@ikff.uni-stuttgart.de**