



Veröffentlichungen am IKFF



Elektrodynamische Direktantriebe mit integriertem Wegmeßsystem

R.Hartramph, W. Schinköthe (IKFF), C. Welk (IKFF)

Beitrag zu

**44. Internationales
Wissenschaftliches Kolloquium**

20. - 23. September 1999
Ilmenau

© 1999 Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik

R. Hartrampf / W. Schinköthe / C. Welk

Elektrodynamische Direktantriebe mit integriertem Wegmeßsystem

1 Einleitung

Spezielle Konstruktionen von permanentmagnetisch erregten elektrodynamischen Direktantrieben ermöglichen das direkte Ableiten eines Wegsignals für die Läuferposition ohne zusätzliche Meßeinrichtungen. Das Prinzip und geeignete Motorbauformen werden nachfolgend vorgestellt.

2 Motorkonzept

Der grundlegende Motorenaufbau für die hier beschriebenen Direktantriebe basiert auf dem Prinzip bewegter Permanentmagnetsysteme als Läufer. Das elektrodynamische Antriebsprinzip selbst ist hinlänglich bekannt. Der Aufbau und die duale Nutzung der Antriebsspulen zur Krafterzeugung und gleichzeitig als Wegmeßsystem stellen dagegen eine Innovation bei den Lineardirektantrieben dar, die deren Einsatzbereich erweitern kann und damit ein enormes Entwicklungspotential beinhaltet. Vom Aufbau als Hohlläuferantrieb [1], über Bauformen ähnlich einem Pneumatikzylinder bis zu dem ungewöhnlichen Aufbau eines Dreh-Schub-Direktantriebes lassen sich viele weitere anwendungsspezifische Anordnungen realisieren. Allen Aufbauten gleich ist das Prinzip des bewegten Magneten, welches für die integrierte Wegsignalerzeugung notwendig ist. In der Abbildung 1 ist ein Prinzipaufbau dargestellt, der als Läufer einen hochpermeablen Kern mit aufgetragenen radial magnetisierten Permanentmagneten besitzt. Dieser Aufbau erweist sich als optimal zur Erzeugung einer maximalen Induktion im Arbeitsluftspalt. Bei der Auslegung derartiger Aufbauten muß bei der Dimensionierung der Magnetlänge auf die maximalen Induktionen im Kern geachtet werden, um nicht zu hohe magnetische Verluste zu bekommen.

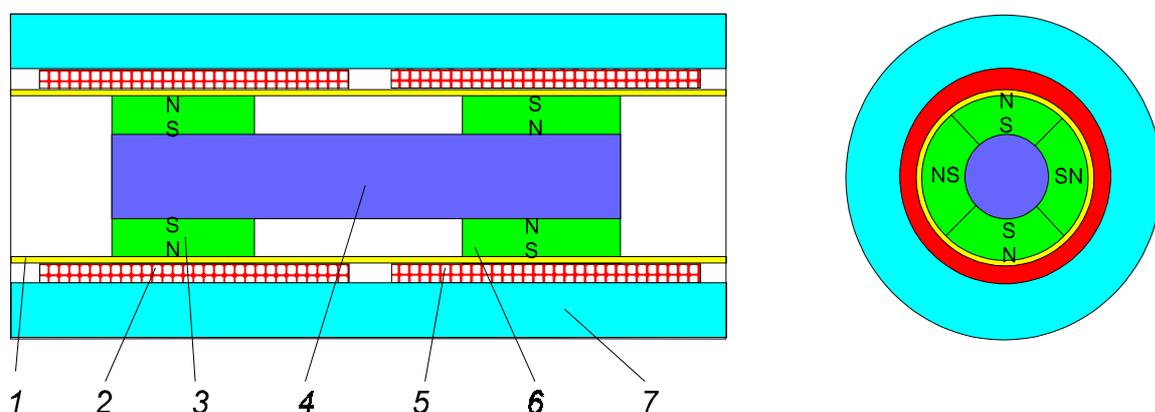


Abb. 1: Prinzipaufbau. 1 Lagerhülse, 2 Antriebsspule, 3 Permanentmagnet, 4 Eisenkern, 5 Antriebsspule, 6 Permanentmagnet, 7 Eisenrückschluß

3 Integriertes Wegmeßverfahren

Elektrodynamische Antriebsprinzipien benötigen für den positionsgeregelten Betrieb immer ein Wegmeßsystem, um die Istposition des Läufers zu bestimmen. Allgemein wird dazu eine separate Meßanordnung genutzt. Bei der hier vorgestellten Lösung ist eine interne Wegsignalerzeugung möglich.

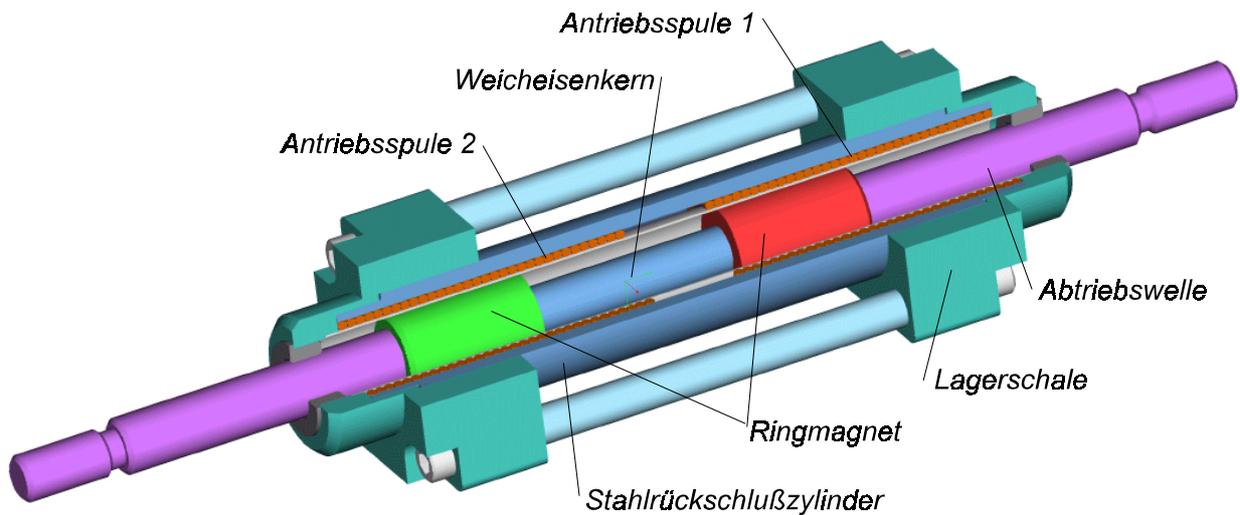


Abb. 2: Elektrodynamischer Lineardirektantrieb mit integriertem Wegmeßsystem in der Bauform eines Pneumatikzylinders

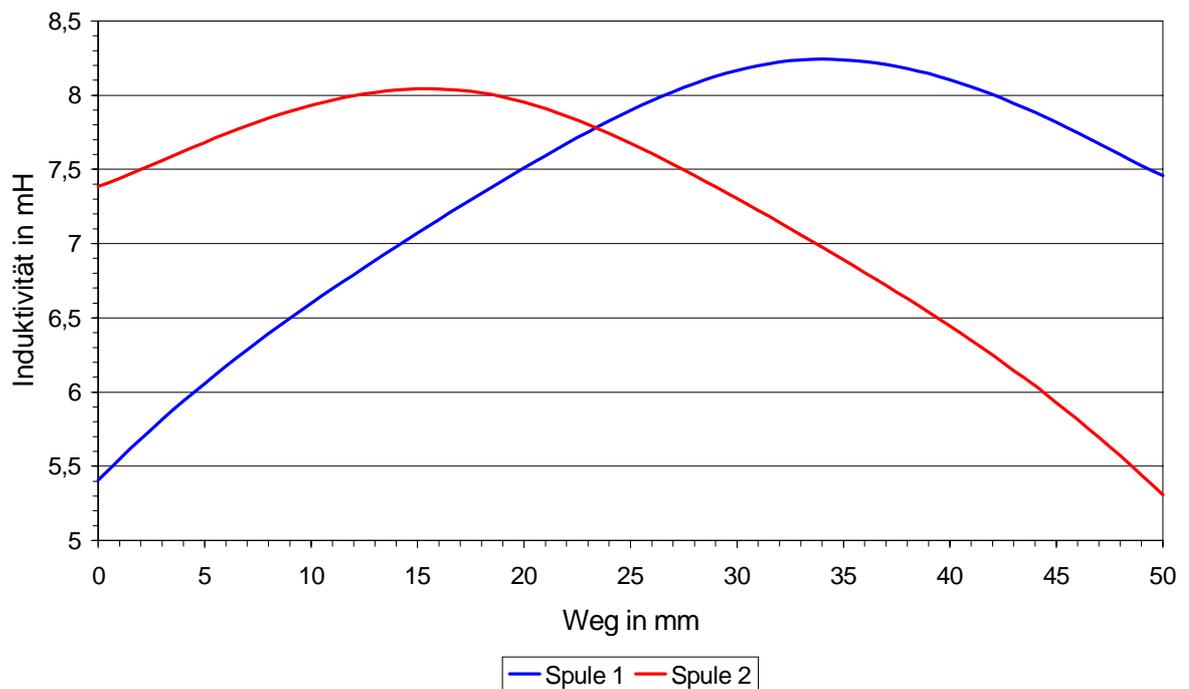


Abb. 3: Induktivitätsverlauf

Die Motorenkonstruktion, die beispielhaft in der Abbildung 2 zu sehen ist, wurde so ausgelegt, daß sich die Impedanzen im Spulensystem proportional zur Position des Läufers verhalten und deshalb zur Wegmessung herangezogen werden können. Nach einem zum Patent angemeldeten Verfahren ist es möglich, den Motor über einen pulsweitenmodulierten Servoverstärker anzusteuern und dann über eine Abtastung der Spannungsflanken an den Antriebsspulen eine Positionsermittlung durchzuführen.

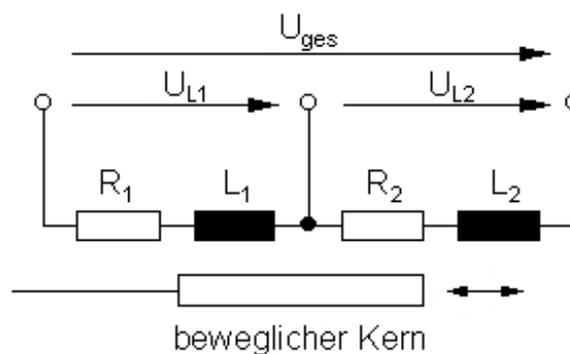


Abb. 4: Prinzipschaltbild

Um das Meßprinzip näher zu erläutern, soll die elektrische Ersatzschaltung des Motors, die in Abbildung 4 dargestellt ist, näher betrachtet werden.

Wie bereits erwähnt, wird der Motor mit einer rechteckförmigen Spannung aus einem pulsweitenmodulierten Servoverstärker angesteuert. Die Rechteckspannung entspricht der Eingangsspannung U_{ges} des Motors. Die RL-Kombination der Serienschaltung der beiden Teilspulensysteme des Motors wirkt wie ein Wechselspannungsteiler. Mit einer vereinfachten Betrachtung des Verhaltens dieser Anordnung über die Differentialgleichungen zu den Ausgleichsvorgängen bei Aufprägung einer Sprungfunktion als Näherung zum rechteckförmigen Spannungsverlauf läßt sich die Funktionsweise gut beschreiben. Die Differentialgleichung

$$U_{ges}(t) = L_1 \frac{di(t)}{dt} + L_2 \frac{di(t)}{dt} + 2R i(t) \quad \text{mit } R_1 = R_2 = R \quad (3.1)$$

läßt sich unter vereinfachten Bedingungen mit einer Sprungfunktion lösen und ergibt die folgenden Gleichungen:

$$U_{L1}(t) = \frac{U_{ges}}{2} \left(1 + \frac{L_1 - L_2}{L_1 + L_2} e^{-\frac{2R}{L_1 + L_2} t} \right) \quad (3.2)$$

$$U_{L2}(t) = \frac{U_{ges}}{2} \left(1 - \frac{L_1 - L_2}{L_1 + L_2} e^{-\frac{2R}{L_1 + L_2} t} \right)$$

Betrachtet man die Gleichungen näher, erkennt man eine induktivitätsabhängige e-Funktion in den Teilspannungsgrößen über den Teilspulen. Benutzt man in einer Beispielkonfiguration reale Kennwerte für die veränderlichen Induktivitäten und Widerstände und trägt die Funktionen in ein Diagramm ein, so erhält man eine Kurvenschar wie sie in Abbildung 5 dargestellt ist.

Mit dem Parameter x wurde das Einschubverhältnis des Eisenkerns in eine der Teilspulen deutlich gemacht. Aus dem Diagramm wird die Wegabhängigkeit der Kurvensteigungen kurz nach dem Flankenwechsel deutlich, der zu einer absoluten Wegerfassung ausgenutzt werden kann. Hierfür wurde eine elektronische Schaltung entwickelt, deren Blockschaubild in Abbildung 6 dargestellt ist.

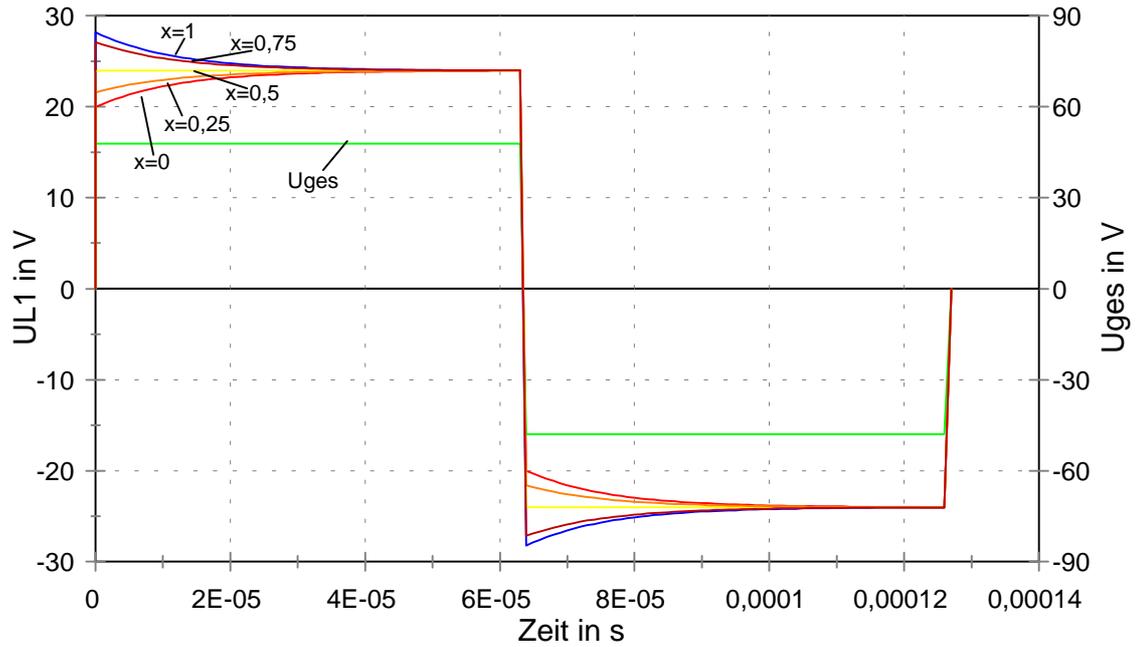


Abb. 5: Kurvenverlauf der Spulenspannungen über eine Taktperiode, Einschaltverhältnis 50%

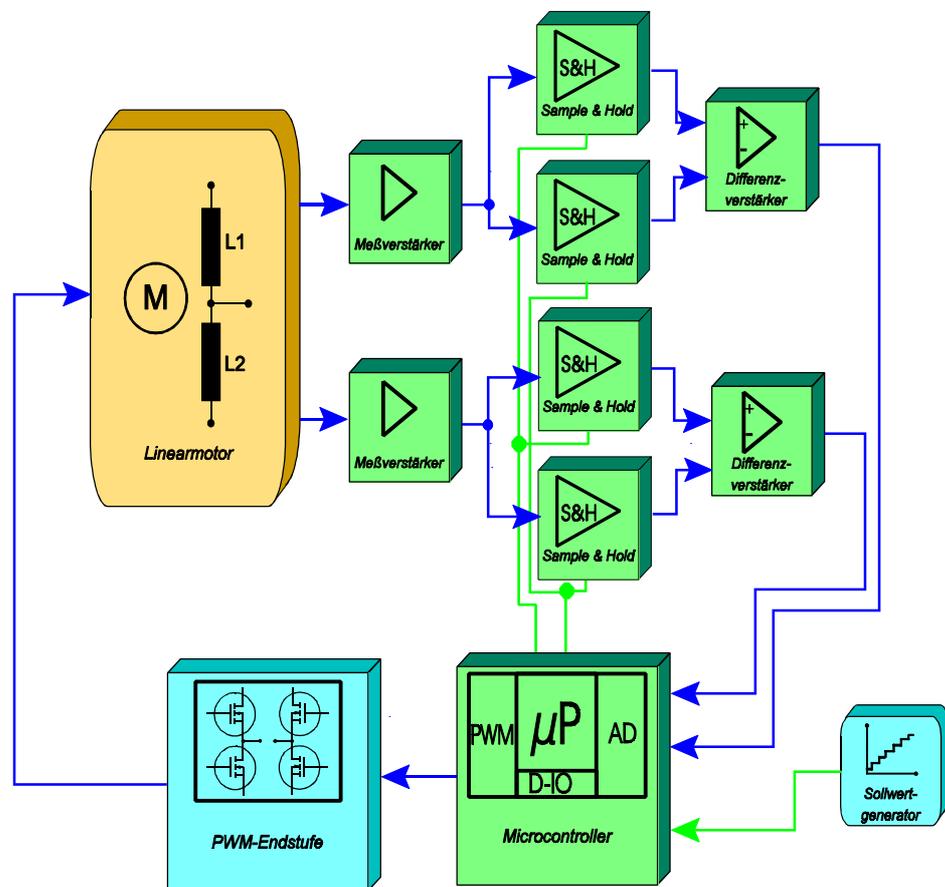


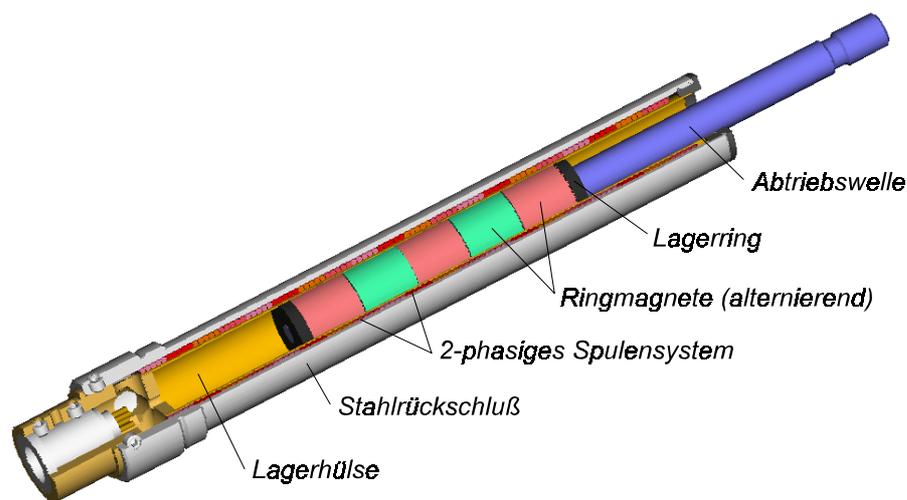
Abb. 6: Blockbild der elektronischen Ansteuer- und Meßschaltung

Zur elektronischen Ermittlung der Steigung hat sich eine digitale Zwei-Punkt-Differenzierung als günstigste Lösung herausgestellt, da analoge Differenzierer instabil sind und eine Linearisierung der Steigung zwischen beiden Abtastzeitpunkten zugelassen werden kann. Das beschriebene Meßprinzip hat sich bewährt und läßt sich auch in mehrphasigen Antriebslösungen größerer Leistungen einsetzen. Beispielhaft sei hier auf einen zweiphasigen Antrieb in Abbildung 7 hingewiesen, der für einen industriellen Schlittenantrieb bestimmt ist.

Durch die hier vorgenommene Kaskadierung des Magnetsystems und die mehrphasige Spulenanordnung lassen sich beträchtliche Antriebskraftsteigerungen und große Positionierwege unter Nutzung einer elektronischen Kommutierung erreichen.

4 Ergebnisse und Ausblick

Wie die bisherigen Untersuchungen zeigten, können mit den hier beschriebenen integrierten Wegmeßsystemen Auflösungen bis in den 1/10 mm Bereich erreicht werden. In derzeit laufenden Forschungsarbeiten werden die Einflüsse von elektrischem Strom,



die Rückwirkungen durch Bewegungsinduktionen und thermische Einflüsse auf das Meßsystem untersucht, um über geeignete Kompensationsfunktionen höhere Auflösungen bis in den 1/100 mm Bereich zu erreichen.

Als besonders interessant hat sich der elektronisch kommutierte mehrphasige Antrieb (Abbildung 7) trotz des höheren Aufwandes für die Ansteuerelektronik erwiesen, da mit ihm relativ große Kräfte

Abb. 7: Zweiphasiger elektronisch kommutierter Lineardirektantrieb mit integriertem Wegmeßsystem, $\varnothing 16\text{mm}$, Hub 50mm

auf kleinem Bauraum erzielt werden können. Der sehr einfache Aufbau läßt eine kostengünstige Herstellung erwarten, so daß er in recht unterschiedlichen Applikationen Anwendung finden kann.

Über eine spezielle Konstruktion mit einem kombinierten Spulensystem läßt sich der beschriebene mehrphasige Antrieb auch zu einem Dreh-Schub-Motor mit bewegtem Magnetsystem aufbauen, dessen Translationsbewegung mit einem integrierten Wegmeßsystem erfaßbar ist. Die Rotationsbewegung kann derzeit allerdings nur in einem Schritt- oder Synchronbetrieb mit elektronischer Kommutierung erfolgen, da noch kein ausreichend genaues statisches integrierbares Positionsmeßverfahren für die Rotation

existiert. In Abbildung 8 ist ein Prototyp für einen Dreh-Schub-Motor zusehen, der auf einem Linearantrieb basiert.

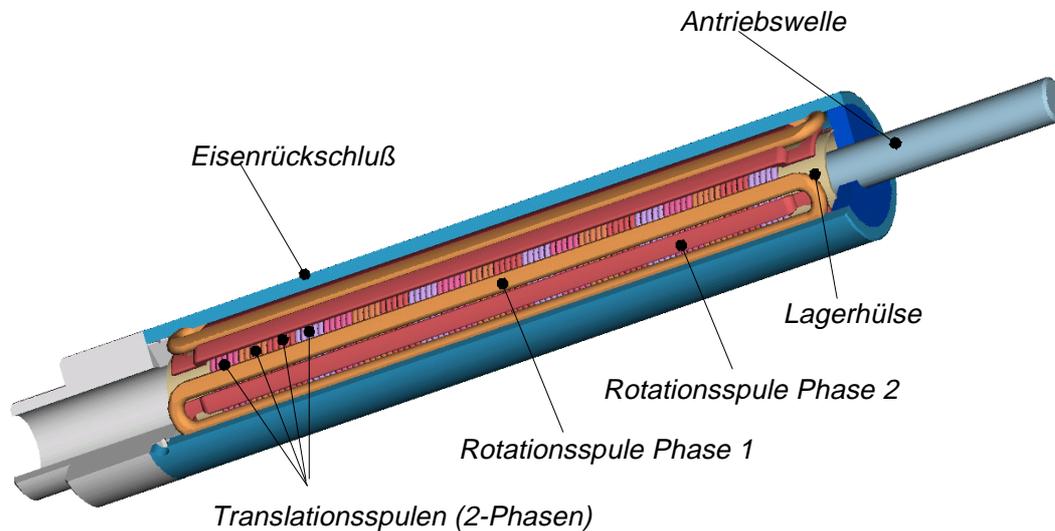


Abb. 8: Dreh-Schub-Motor

Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Hartrampf, R.: Elektrodynamische Lineardirektantriebe mit integriertem Wegmeßsystem DRIVES 97 8. Int. Fachmesse und Kongreß für speicherprogrammierbare Steuerungen, Industrie-PCs und Elektrische Antriebstechnik Nürnberg, 25-27.11.1997, Tagungsband S.316 ff.
- [2] Hartrampf, R.; Schinköthe, W.: Miniaturlinearantriebe mit integriertem Wegmeßsystem F&M Feinwerktechnik, Mikrotechnik, Mikroelektronik 104 (1997) 9, S. 634 ff.
- [3] Voss, M.; Schinköthe, W.: Miniaturisierte Linearantriebe - Konstruktive Gestaltung, FEM-Berechnung, Anwendung. Tagung Innovative Kleinantriebe, Mainz 9./10.05.1996, VDI-Berichte 1269, S. 105-119.
- [4] Hartrampf, R.; Schinköthe, W.: Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung Patentanmeldung : OS DE 197 48 647 A1, 1997
- [5] Hartrampf, R.; Voss, M.; Schinköthe, W.: Gleichstromlinearmotor mit integriertem Wegmeßsystem Gebrauchsmuster DE 297 05 315.9, 1997

Autorenangaben:

Dipl.-Ing. Ralf Hartrampf
Festo AG & Co., Jakobstraße 33
73726 Esslingen
Tel.: 0711/347-3490
Fax.: 0711/347-3415
e-mail: HPH@festo.de

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe; Dipl.-Ing. Christian Welk
Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Pfaffenwaldring 9
70550 Stuttgart
Tel.: 0711/685-6402
Fax.: 0711/685-6356
e-mail: schinkoethe@ikff.uni-stuttgart.de ; e-mail: welk@ikff.uni-stuttgart.de

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