

KONSTRUKTION VON TUBULAREN LINEARMOTOREN

Q. Maurus

1 EINLEITUNG

Der Einsatz von elektrischen Hilfsaggregaten im Automobilbau steigt in den letzten Jahren kontinuierlich an. Unter anderem werden immer mehr Stellmotoren für die unterschiedlichsten Aufgaben benötigt. Durch die steigende Funktionalität im Automobil wie Kurvenlicht, Brake-by-Wire, Steer-by-Wire und Suspension-by-Wire werden an diese Motoren unterschiedliche Anforderungen bzgl. Leistung, Stellweg und Antriebskraft bzw. Drehmoment gestellt. Die nunmehr benötigten größeren Leistungen, der begrenzte Bauraum und die hohe Positioniergenauigkeit führen die bisher vorhandenen Konstruktionen an ihre Grenzen. Direktantriebe wie Linearmotoren können die erhöhten Anforderungen potenziell erfüllen und bieten zusätzlich aufgrund des nahezu verschleißfreien Betriebs eine hohe Ausfallsicherheit. Letzteres und die Rückspeisefähigkeit von elektromagnetischen Systemen sind Vorteile, die den Einsatz von tubularen Linearmotoren an Stelle von herkömmlichen hydraulischen oder pneumatischen Aktuatoren interessant machen. Dass ein tubularer Linearmotor nicht nur im Automobil- und Industriebereich zum Einsatz kommen kann, zeigt **Bild 1**. Hier wird der Motor in einer tragbaren Kühlbox als Kältemaschine verwendet.



Bild 1: Tragbare Kühlbox mit integriertem tubularen Linearmotor [1]

2 TECHNOLOGIE

Die tubulare Ausführung des Linearmotors wirft das Problem auf, dass sich der magnetische Fluss im Stator radial und parallel zur Mittenachse ausbreitet. Eine Realisierung des Eisenrückchlusses mit Blechpaketen, die miteinander formschlüssig verbunden werden müssen, gestaltet sich als kompliziert und in der Massenproduktion als unwirtschaftlich. Ein hoher Wirkungsgrad erfordert jedoch die Minimierung von Wirbelstromverlusten, weshalb das Soft Magnetic Composite (SMC) Material eine gute Alternative zum Elektroblech darstellt. Es handelt sich dabei um ein mit einer Kunststoffschicht ummanteltes Eisenpulver, das mit herkömmlicher Presstechnologie und mit einem anschließenden Sinterprozess seine endgültige Form erhält. Die magnetischen und mechanischen Eigenschaften des SMC-Materials lassen sich durch Zuschläge im Pulver bei entsprechender Anpassung des Sinterprozesses an die Bedürfnisse angleichen. Erreichbar sind zum Beispiel eine relative magnetische Permeabilität von bis zu 700 und eine Sättigungsflussdichte von 2,0 T bei einer mechanischen Festigkeit von 100 N/mm². Mit Hilfe des SMC-Materials und der Presstechnik lassen sich komplexe isotrope Strukturen herstellen und damit eine höhere funktionale Integrationsdichte realisieren. Weiterführende Informationen sind unter [2] erhältlich.

3 AUFBAU

Eine mögliche Variante des tubularen Linearmotors ist in [3] vorgestellt worden. **Bild 2** zeigt den Innenläufermotor, der einen Maximalhub von 114 mm besitzt und eine Maximalkraft von 450 N aufbringen kann.

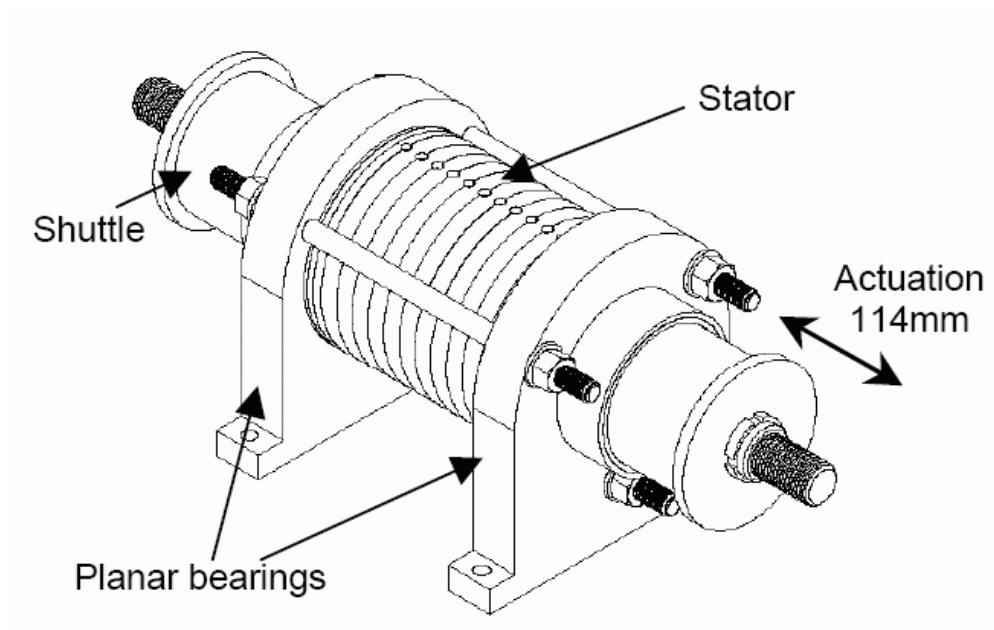


Bild 2: Aufbau eines tubularen Linearmotors [3]

3.1 Stator

Die höheren Anforderungen bzgl. Kraft, Hub und Kraftdichte an den zu entwickelnden Aktuator führen zu größeren Durchmessern des tubularen Linearmotors, was wiederum höhere Presskräfte bei der Herstellung der Statorelemente erfordert. Grenzen, die durch die Festigkeit des Werkzeugs auf der einen und die Maximalkraft der Presse auf der anderen Seite gegeben sind, werden hier schnell erreicht. Um diesem Problem entgegenzuwirken, können die Statorelemente segmentiert und anschließend bandagiert werden. Die Untersuchung verschiedener Ausführungen durch analytische Berechnungen und FEM-Simulationen zeigt, dass ein kompakter Aufbau mit einer Permanentmagnet-erregten Synchronmaschine mit Innenstator erreicht werden kann. Die schlechtere Kühsituation bei dieser Anordnung kann mit Hilfe von Luftzirkulation im Inneren voraussichtlich kompensiert werden. Eine Segmentierung der Statorelemente kann durch diesen Aufbau nicht vermieden werden. Durch einen modularen Aufbau des Stators mit formschlüssigen Steckverbindungen kann jedoch auf die Bandagierung verzichtet werden.

3.2 Translator

Die vorteilhafte Verkleinerung der Statorelemente durch die Innenstatoranordnung bewirkt eine Vergrößerung des Translators. Während dabei das ansteigende Gewicht noch unkritisch ist, treten Restriktionen bei der Herstellung der Permanentmagnetringe auf. Die aus NdFeB bestehenden Magnete können entweder durch Pressen oder Drahterodieren hergestellt werden. Ersteres ist für die Serienproduktion besser geeignet, wobei der große Durchmesser im Verhältnis zur Breite das Pressen eines ganzen Rings verhindert. Weiterhin ist die Richtung der Magnetisierung problematisch. Radiales Aufmagnetisieren bietet bislang kein Magnethersteller in Deutschland an. Alternativ kann eine quasiradiale Magnetisierung durch feine Segmentierung des Magnetringes erreicht werden. Die Ringsegmente werden diametral magnetisiert (vgl. **Bild 3**) und anschließend zu einem vollständigen Ring verklebt.

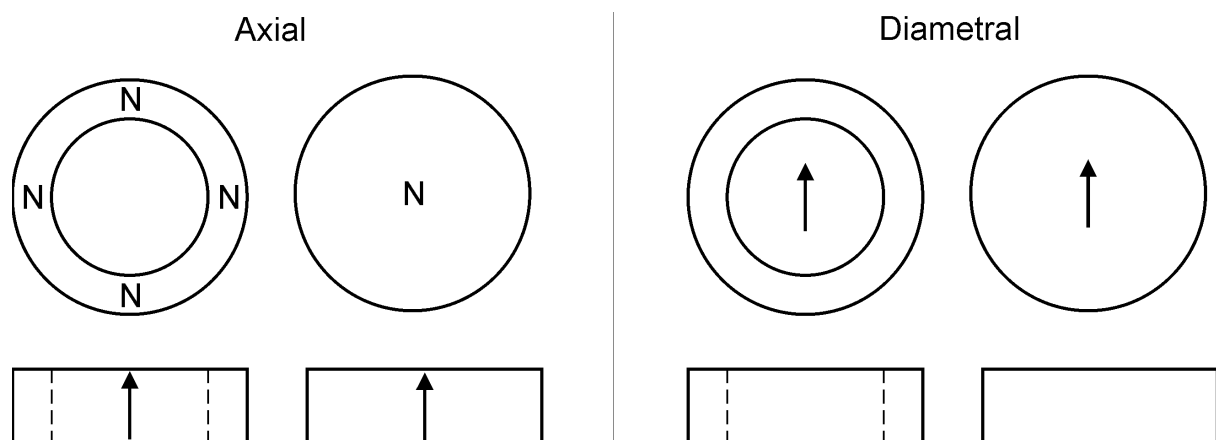


Bild 3: Magnetisierungsarten axial, diametral an den Beispielen Ring und Scheibe [4]

Mit in axialer Richtung magnetisierten Ringen lassen sich Sammleranordnungen wie in [3] realisieren. Das Verhältnis Breite zu Durchmesser wird dadurch nicht verbessert, so dass eine Segmentierung weiterhin notwendig ist. Gegenüber der Sammleranordnung kann bei der Anordnung mit radialen Magnetringen der Krafttrippl durch verschiedene Maßnahmen beeinflusst werden.

3.3 Sensorik

Die geforderte Positioniergenauigkeit erfordert einen Pollagesensor mit hoher Auflösung und sehr hoher Wiederholgenauigkeit. Die tubulare Bauform schränkt die Auswahl der Sensoren aufgrund der schwierigen Integration ein. Außerdem muss der Sensor störfest gegen magnetische Felder, Schockbelastungen und Vibrationen sein.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Dieser Bericht zeigt, dass die Realisierung von tubularen Linearmotoren durch die Verwendung von SMC-Material möglich ist. Die durch die Presstechnologie herstellbaren komplexeren Formen und das magnetisch isotrope Verhalten ermöglichen neue konstruktive Lösungen. Aufgrund des Fortschritts in der Fertigung von Magneten werden Ringe mit radialer Magnetisierung in Zukunft verfügbar sein, wodurch sich der Aufbau dieser Motoren vereinfachen wird. Für die Pollageerfassung existieren Sensoren auf dem Markt, die die hohen Anforderungen erfüllen können.

Ein tubularer Linearmotor wird momentan am IMAB gefertigt und im kommenden Jahr in Betrieb genommen. Anschließend kann geprüft werden, ob die Neukonstruktion die an sie gestellten hohen Anforderungen erfüllt.

LITERATUR

- [1] L.-O. Pennander, G. Nord, K. Maezawa, M. Saito, D. Berchowitz: *Design of Soft Magnetic Composite Components for Tubular Linear Motors*, 2006 Motor and Drive Systems Conference, Miami, 16.02.2006
- [2] *The latest development in soft magnetic composite technology*, Reports of Höganäs, Sweden, 1997–2005, verfügbar unter <http://www.hoganas.com>
- [3] N. Schofield, A. Canova, M. Ottella: *A tubular linear actuator for steer-by-wire applications*, Proceedings of the 4th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications, LDIA2003, Birmingham, 8.-10.09.2003
- [4] *Kurzeinführung in den Magnetismus – Magnetisierungsarten*, verfügbar unter <http://www.magnetfabrik.de/pro-main.htm>