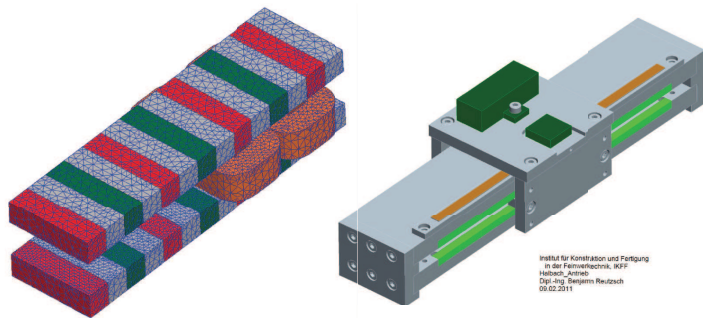


## Rückschlussfreier eisenloser Lineardirektantrieb mit statorseitigen Halbach-Arrays

### 1. Einleitung

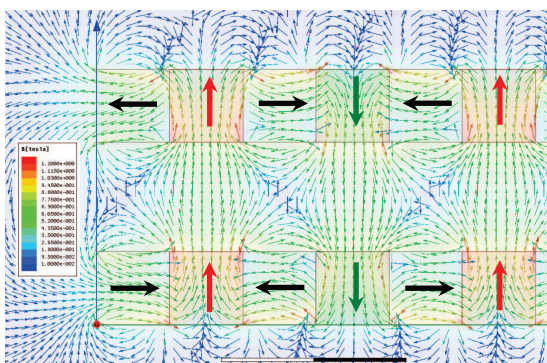
Synchrone Lineardirektantriebe werden in zahlreichen industriellen Anwendung eingesetzt. Gängige Bauformen umfassen Läufer mit bewegten Spulen, ferromagnetischem Rückschluss und alternierender Polarisation der Statormagnete.

Die vorliegende Entwicklung stellt einen eisenlosen Lineardirektantrieb vor, dessen felderzeugende Statormagnete in der speziellen Polarisationsanordnung eines Halbach-Arrays ausgeführt sind. Dadurch ist es möglich, auf jegliches flussführendes Material zu verzichten was eine kompakte Bauweise begünstigt. Darüber hinaus werden mit dieser Konfiguration bei gleichem Magnet- und Spulenvolumen sowie gleicher eingebrachter elektrischer Leistung bis zu 22% höhere Vorschubkräfte, eine geringere Kraftwelligkeit, sowie eine verbesserte Energieeffizienz erreicht.



### 2. Halbach-Arrays

Ein Halbach-Array bezeichnet eine spezielle Konfiguration der Polarisationsrichtung von Permanentmagneten. Dabei werden die Polarisierungen der Einzelkomponenten jeweils um 90° versetzt, was zu einer Verstärkung der magnetischen Flussdichte auf einer Seite führt. Die untere Abbildung zeigt, dass ober- und unterhalb der beiden Halbach-Arrays die magnetische Induktion sehr gering ist.

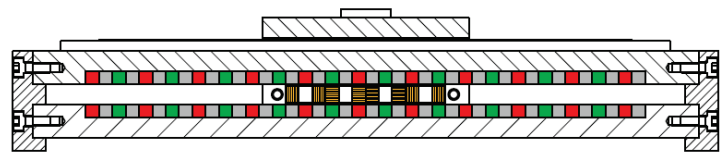


**Abbildung:**  
Magnetische  
Flussdichte der  
Halbach Arrays

Damit wird fast der gesamte magnetische Fluss im Luftspalt konzentriert, wo letztlich auch die Erzeugung der Vorschubkraft durch die stromdurchflossenen Spulen stattfindet.

### 3. Konstruktiver Aufbau

Der konstruktive Aufbau ist in folgender Abbildung dargestellt. Der Stator besteht aus 2 x 42 quaderförmigen NeFeB-Magneten mit quadratischem Querschnitt (4 x 4 x 15mm), die als zwei Halbach-Arrays in einer Aluminiummatrix eingeklebt sind.



Im Luftspalt werden läuferseitig vier Kupferspulen als zweiphasige synchrone Vorschubeinheit bestromt. Die Spulenschenkel und das Wickelfenster haben die identischen Abmessungen der Statormagnete von 4mm. Ein inkrementales optisches Wegmesssystem mit 2µm Auflösung erfasst die Motorposition und gewährleistet die Kommutierung und eine exakte Positionierung der Antriebsspulen. Eine Gleitführung sorgt für die entsprechende Reduktion auf einen Freiheitsgrad in Vorschubrichtung.

**Tabelle 1:** Technische Daten des Halbach-Antriebs

Vorschubkraft	$F_v = 13 \text{ N}$
Leistung	$P = 50 \text{ W}$
Verfahrweg	$x = 120 \text{ mm}$
Geschwindigkeit	$v = 2 \text{ m/s (max.)}$
Motorkonstante	$k_M = 4,4 \text{ N/A}$
Ansteuerung	PWM Frequenz: 30 kHz, Abtastfrequenz der Regelung: 10 kHz

### 4. Zusammenfassung

Der vorgestellte Halbach Antrieb kommt ohne ferromagnetisches Material zur Flussführung aus und ermöglicht damit kompakte Bauweisen. Weitere Vorteile gegenüber herkömmlichen Anordnungen sind die höheren Flussdichten im Luftspalt, damit bis zu 22% höhere Vorschubkräfte sowie eine bessere Energieeffizienz bei gleichem Magnet- und Spulenvolumen. Durch die eisenlose Ausführung des Läufers weist der Antrieb nahezu keine Rastkräfte, Hysterese- und Wirbelstromverluste auf, was dieses Konzept für hochdynamische Anwendungen qualifiziert.

### Kontakt:

Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik (IKFF)

Dipl.-Ing. Benjamin Reutzsch  
Tel: +49 (0)711 685-66116

reutzsch@ikff.uni-stuttgart.de

**Dipl.-Ing. Benjamin Reutzsch, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe**

Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik

### **Rückschlussfreier eisenloser Lineardirektantrieb mit statorseitigen Halbach-Arrays**

---

Der vorgestellte Halbach Antrieb ist gemäß seinem prinzipiellen Aufbau ein eisenloser synchroner Lineardirektantrieb.

Der konstruktive Aufbau des Antriebs lässt sich folgendermaßen beschreiben: Der Stator besteht aus 2x42 quaderförmigen NeFeB-Magneten mit quadratischem Querschnitt (4 x 4 x 15mm), die als Halbach-Arrays in zwei Aluminiummatrizen eingeklebt sind. Zwischen diesen beiden Halbach-Arrays wird unter Vernachlässigung von Streu- und Randeffekten nahezu der gesamte magnetische Fluss konzentriert. In diesem Luftspalt werden daher läuferseitig vier Kupferspulen als zweiphasige synchrone Vorschubeinheit angesteuert. Die Spulenschenkel und das Wickelfenster haben die identische Länge der Statormagnete von 4mm. Ein inkrementales optisches Wegmesssystem mit 2 µm Auflösung erfasst die Motorposition und gewährleistet in Kombination mit einer kaskadierten Regelkreisstruktur die Kommutierung und eine exakte Positionierung der Antriebsspulen. Eine Gleitführung sorgt für die entsprechende Reduktion auf einen Freiheitsgrad in Vorschubrichtung.

Die Besonderheit dieses Antriebs besteht in der statorseitigen Anordnung der felderzeugenden NeFeB-Magnete. Diese sind als sogenannte Halbach-Arrays ausgeführt, die den magnetischen Fluss auf eine Seite hin verstärken. Durch diese Anordnung ist es möglich einen Antrieb konstruktiv zu entwickeln, welcher ohne ferromagnetisches Material zur Flussführung auskommt und damit kompakte Bauweisen ermöglicht. Weitere Vorteile gegenüber herkömmlichen Anordnungen sind die höheren Flussdichten im Luftspalt, damit bis zu 22% größere Vorschubkräfte sowie eine bessere Energieeffizienz bei gleichem Magnet- und Spulenvolumen. Durch die eisenlose Ausführung des Läufers weist der Antrieb nahezu keine Rastkräfte, Hysterese- und Wirbelstromverluste auf, was dieses Konzept für hochdynamische Anwendungen qualifiziert.