

ASYNCHRONER LINEARANTRIEB FÜR 2D-ANTRIEBS- AUFGABEN IN DER EBENE

H. Mosebach

1 AUFGABENSTELLUNG

Die Bewegung eines Fahrelementes in einer Ebene wird in der Technik auf verschiedene Weise gelöst. Aus der Fahrzeugtechnik sind rotatorische Antriebe mit Getriebe und lenkbaren Rädern weit verbreitet. Die zulässigen Fahrwege sind hier praktisch unbegrenzt groß. Bei eng begrenzten Bewegungen wie zum Beispiel bei Werkzeugmaschinentischen findet man dagegen Antriebe, bei denen die resultierende Bewegung auf 2 separate Koordinaten aufgeteilt ist (Kreuzschlitten mit x- und y-Linearantrieb in der Ausführung als Spindeltrieb oder als direkt wirkender elektrischer Linearmotor). Das Fahrelement ist dabei gefesselt.

Es sind eine Reihe von Antriebsproblemen vorstellbar, bei denen ein direkt angetriebenes ungefesselt Fahrelement Vorteile bietet und der gewünschte Bewegungsrahmen die Möglichkeiten einer Kreuzschlittenlösung weit übersteigt. Beispielhafte denkbare Anwendungen sind im weitesten Sinne Aufgaben des innerbetrieblichen Materialtransports, bei denen Güter auf aktiven Paletten entlang frei programmierbarer Wege in der Ebene transportiert werden können. Die Ebene ist als Sekundärteil eines Antriebssystems aufzufassen und bedarf zu diesem Zweck einer (möglichst einfachen) Ausrüstung. Die angestrebten Bewegungsformen mit 3 Freiheitsgraden können erreicht werden, wenn es nach **Bild 1** gelingt, Kräfte in den beiden Koordinatenrichtungen und ein Drehmoment um die Hochachse aufzubauen.

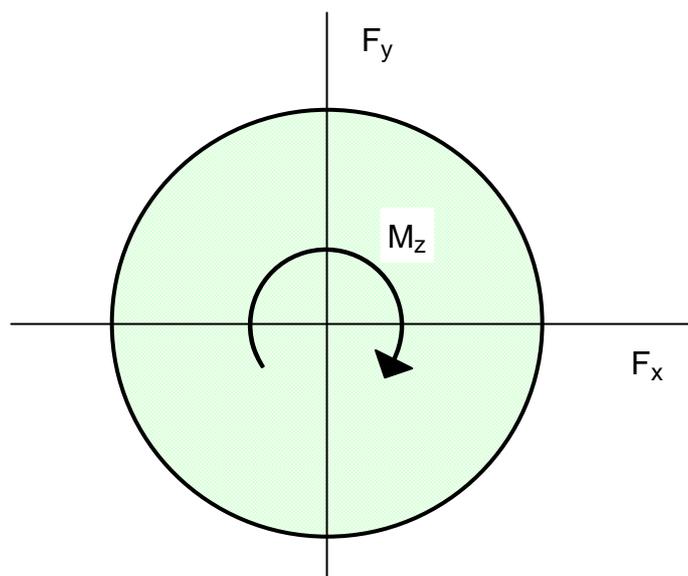


Bild 1: Erforderliche Kräfte und Drehmoment für Bewegungen in der Ebene

2 LÖSUNGSKONZEPT

Die hier untersuchte Gesamtsituation und das Lösungskonzept sind schematisch in **Bild 2** dargestellt.

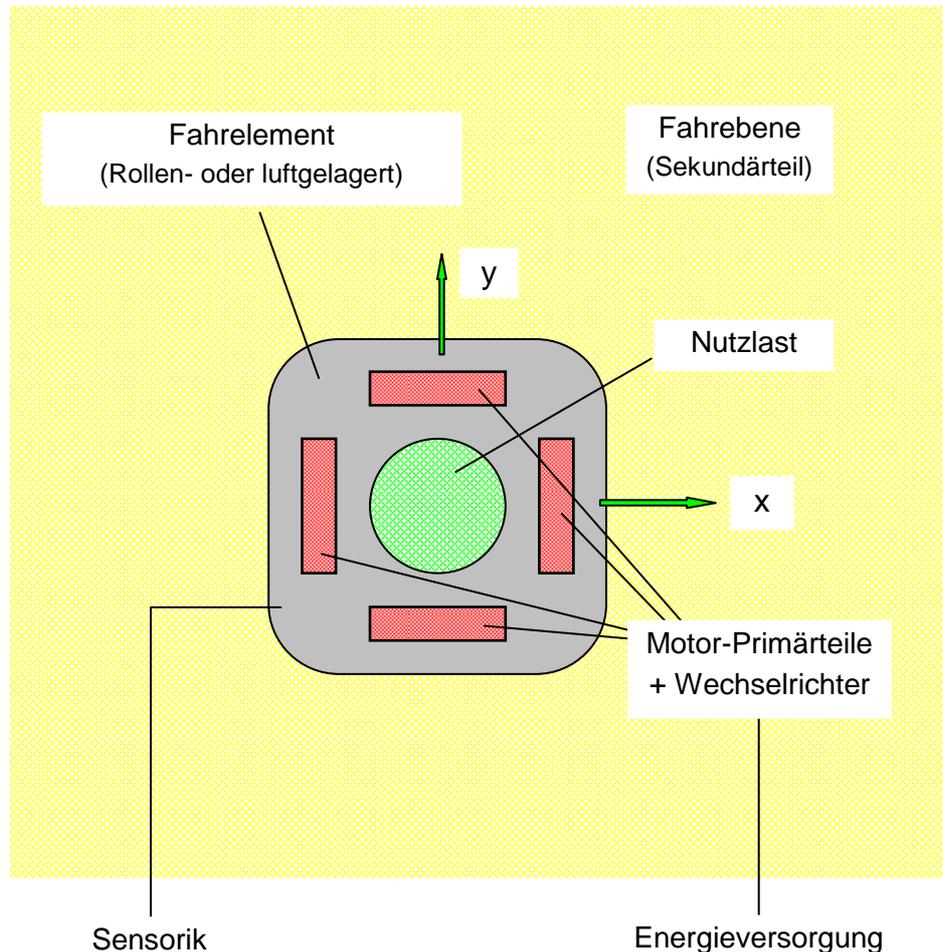


Bild 2: Konzept 2D-Motor

Das Bild stellt eine Draufsicht dar. Die den Sekundärteil des Antriebs bildende Fahrbene ist farblich markiert und besteht - zu dem asynchronen Antriebsprinzip passend - aus einer elektrisch leitfähigen Schicht auf einem ungeblechten, d. h. massiven Eisenrückschluss. Im Idealfall sind Leitschicht und Rückschluss vollkommen isotrop. Der Sekundärteil weist damit keinerlei Polausprägung auf und ist in der Lage, sich jeder durch Ströme in den Statoren erzeugten Polteilung anzupassen, so dass sowohl Geradeausfahrt als auch Schrägfahrt und Drehbewegungen möglich sind. Die Forderung nach isotropen Sekundärteileigenschaften kann mit synchronen Maschinenkonzepten mit ihrer beidseitigen periodischen Polausprägung grundsätzlich nicht erreicht werden, so dass weder Reluktanzmaschinen noch elektrisch bzw. permanentmagnetisch erregte Antriebe in Frage kommen.

Das die Nutzlast tragende Fahrelement ist mit 4 Statoren ausgestattet, die über Wechselrichter separat und mit variabler Frequenz angesteuert werden können. Die Statoren sind mit einer Drehstromwicklung versehen.

Die zur gewünschten Bewegungsform erforderlichen Kräfte bzw. Drehmomente werden durch geeignetes paarweises Ansteuern von je 2 Statormodulen erreicht. **Bild 3** veranschaulicht die Aktivierung für eine Kraftwirkung in reiner x-Richtung, **Bild 4** die entsprechenden Verhältnisse bei Fahrt in y-Richtung. Ein Drehmoment zur Einleitung einer Rotation wird durch paarweises gegenläufiges Ansteuern erzielt (**Bild 5**).

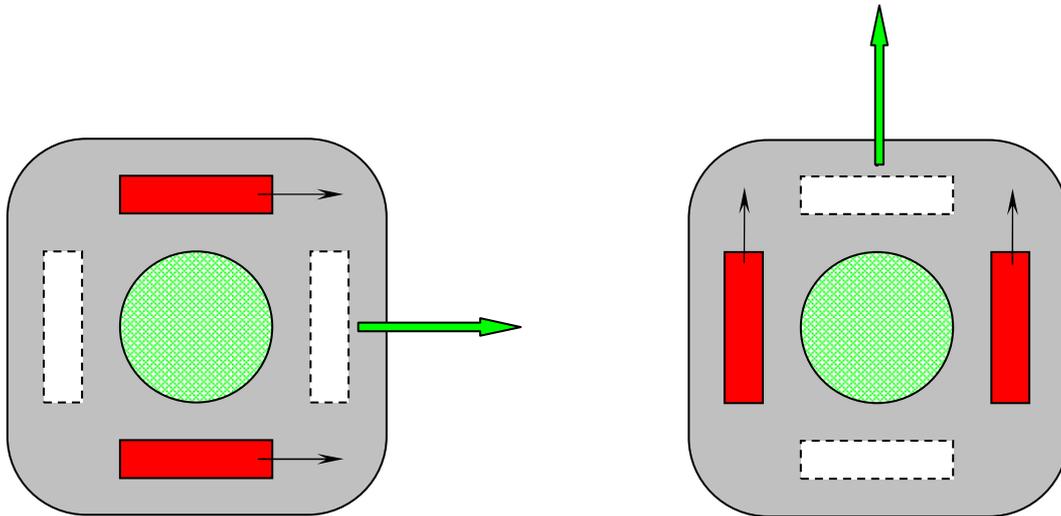


Bild 3: Translation in x-Richtung

Bild 4: Translation in y-Richtung

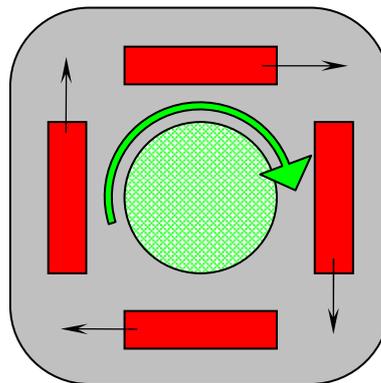


Bild 5: Rotation

Im Gegensatz zur Synchronmaschine entstehen im Sekundärteil einer Asynchronmaschine Schlupf- und Endeffektverluste. Diese können in häufig befahrenen besonders kritischen Bereichen über in das Rückschlussjoch integrierte Kühlkanäle abgeführt werden (**Bild 6**).

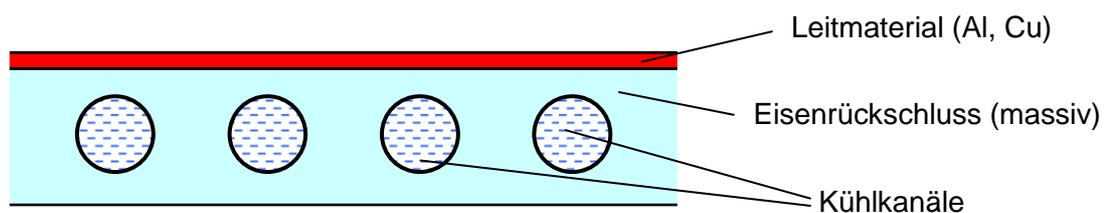


Bild 6: A S M – Sekundärteil mit Kühlkanälen

3 PROBLEMKREISE

Vor der Realisierung eines 2D-Antriebes nach dem beschriebenen Konzept ist die Untersuchung verschiedener Problemkreise erforderlich. Sie beziehen sich auf die Folgen der bei rotierenden Maschinen nicht vorhandenen Quergeschwindigkeit senkrecht zum Dreh- bzw. Wanderfeld, auf die geeignete Ausführung des Sekundärteils und auf die regelungstechnischen Eigenschaften. Dazu kommen Fragen der Sensorik und der Energieversorgung.

Im Allgemeinen muss davon ausgegangen werden, dass die Vektoren Motorschub und Geschwindigkeit nur ausnahmsweise parallel verlaufen und meistens einen bestimmten Winkel einschließen dürften (**Bild 7**). Der in **Bild 7** gezeichnete Geschwindigkeitsvektor \vec{v} stellt die Relativgeschwindigkeit des Sekundärteils gegenüber dem Stator dar.

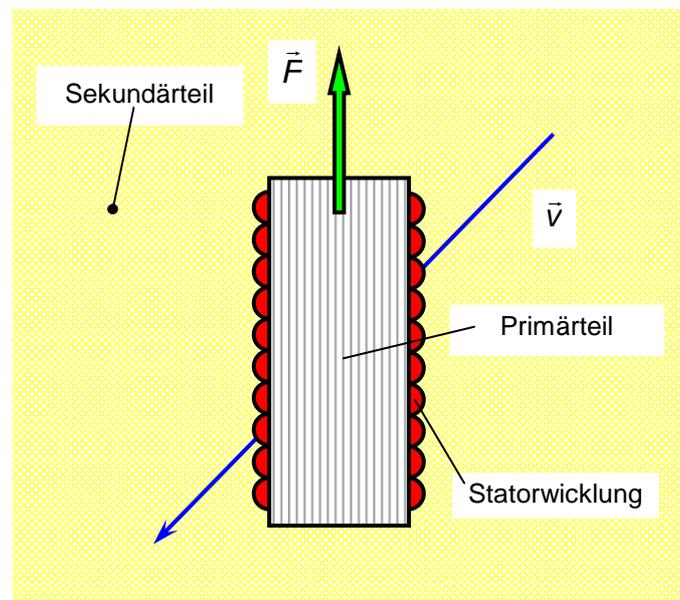


Bild 7: Kraft- und Geschwindigkeitsvektor

Die Quergeschwindigkeitskomponente einer Asynchronmaschine mit flächigem Sekundärteil beeinflusst die Feldverteilung im Aktivspalt und bewirkt analog zum Längsendeffekt einen zusätzlichen Querendeffekt und damit eine Kopplung zwischen den Kraftkomponenten und der Geschwindigkeit. Es handelt sich um ein 3D-Feldproblem, das bisher noch nicht abschließend untersucht worden ist.

Im Zusammenhang mit der Ausführung des Sekundärteils stellt sich die Frage nach der zweckmäßigen Aufteilung der Gesamtfläche auf Teilflächen, deren elektrischer Verbindung, Befestigung und thermischen Anbindung. Weitere Überlegungen betreffen die Gewährleistung der Planheit auch bei Erwärmung, die Dehnfugen und die Ermittlung der hieraus eventuell resultierenden Kraftschwankungen.

Bezüglich der regelungstechnischen Eigenschaften besteht wie bei allen anderen Asynchronantrieben das Problem der starken Temperaturabhängigkeit des Sekundärteilwiderstandes. Dazu gesellen sich Änderungen der Regelstreckenparameter, wenn ein Einfedern unter der variablen Normalkraft eintritt und der Luftspalt sich damit ändert. Schließlich ist die Verkopplung zwischen $F_x - F_y - \varphi$ als Folge der Quergeschwindigkeit v_{quer} zu nennen.

4 MOTORENTWURF

Zur Veranschaulichung soll ein spezieller Motorentwurf beschrieben werden. Das Auslegungsbeispiel bezieht sich auf eine Anwendung mit Nutzlasten von ca. 5 ... 20 to, so dass erhebliche Abmessungen und Leistungen zu erwarten sind. Der Entwurf wurde mit einem 2-dimensionalen analytischen Feldberechnungsmodell durchgeführt, wobei End- und Quereffekte sowie Eisenverluste vernachlässigt wurden. Die relative Permeabilität des Eisens wurde $\rightarrow \infty$, die elektrische Leitfähigkeit des Eisenrückschlusses im Translator zu Null angenommen. Ausgewählte Daten des Entwurfs sind in **Tabelle 1** zusammengefasst. An Stelle einer Leistung ist eine Vortriebskraftdichte (kN/m^2) angegeben.

Tabelle 1: Asynchroner Linearmotor für 2D-Antrieb

Größe	Zahlenwert / Beschreibung
Auslegungsgeschwindigkeit	5 m/s
Strangzahl	3
Polteilung	150 mm
Luftspalt ("clearance")	2 mm
Leitmaterial und -dicke Sekundärteil	E-Kupfer, 4 mm
Statorwicklung	Drehstrom, abgestuft, geseht
Frequenz im Bemessungspunkt	ca. 19 Hz
Grundwelle des Strombelags	800 A/cm (GW-Amplitude)
Translatorfrequenz im Kippunkt ^{*)}	ca. 2 Hz
Vortriebskraftdichte ^{**)}	ca. 16 kN/m^2
Luftspaltflussdichte ^{**)}	ca. 0,6 T
Wirkungsgrad ^{**)}	ca. 75 %

^{*)} bei konstantem Statorstrom

^{**)} bei konstantem Statorstrom und optimaler Translatorfrequenz

Die Geometrie des Motors ist durch den maßstäblichen Längsschnitt nach **Bild 8** beschrieben. **Bild 9** zeigt die Kraftdichte für variable Statorfrequenz über der Geschwindigkeit.

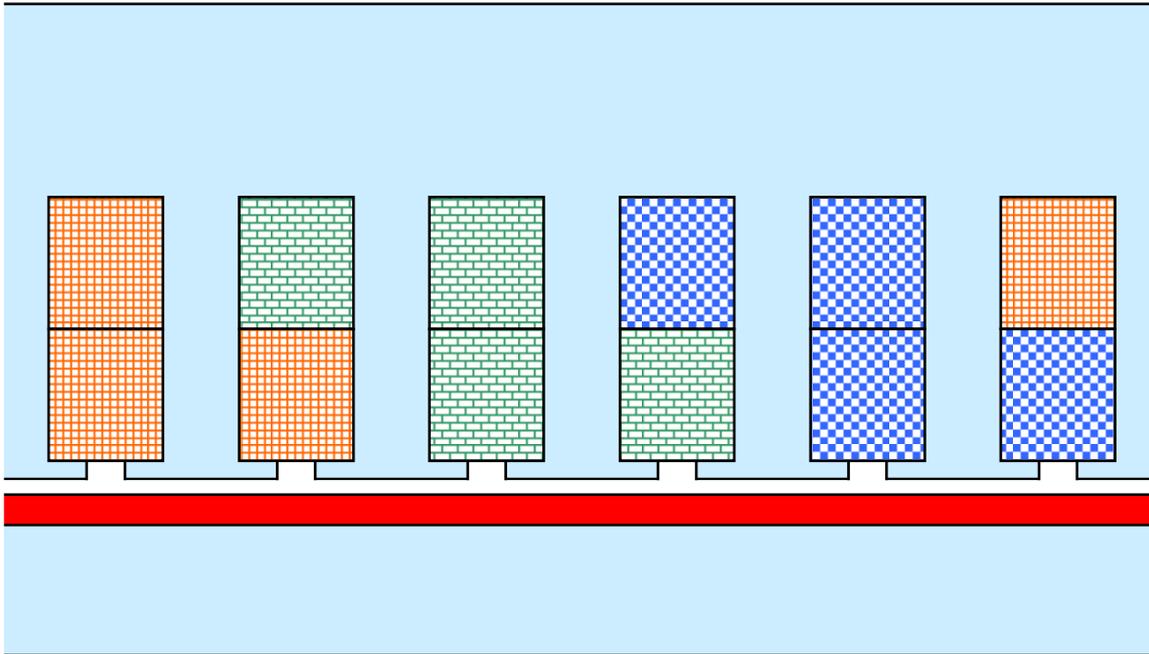


Bild 8: A S M – Linearmotor Längsschnitt (M 1:1)
(Zweischichtwicklung mit $q = 2$ und $W/\tau = 5/6$)

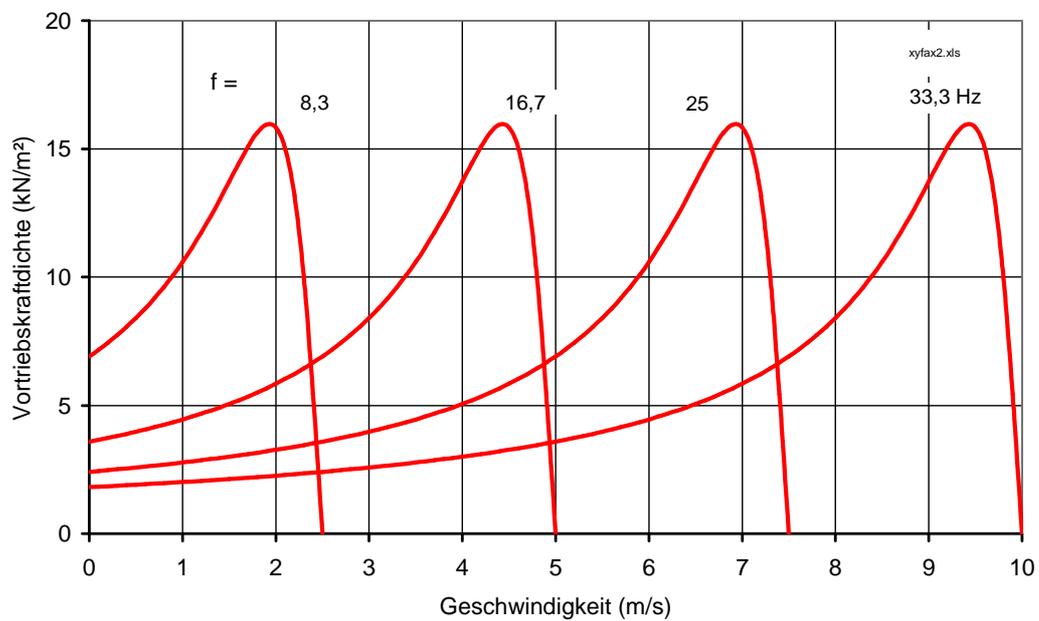


Bild 9: Vortriebskraftdichte bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Frequenzen
(Statorstrom konstant)