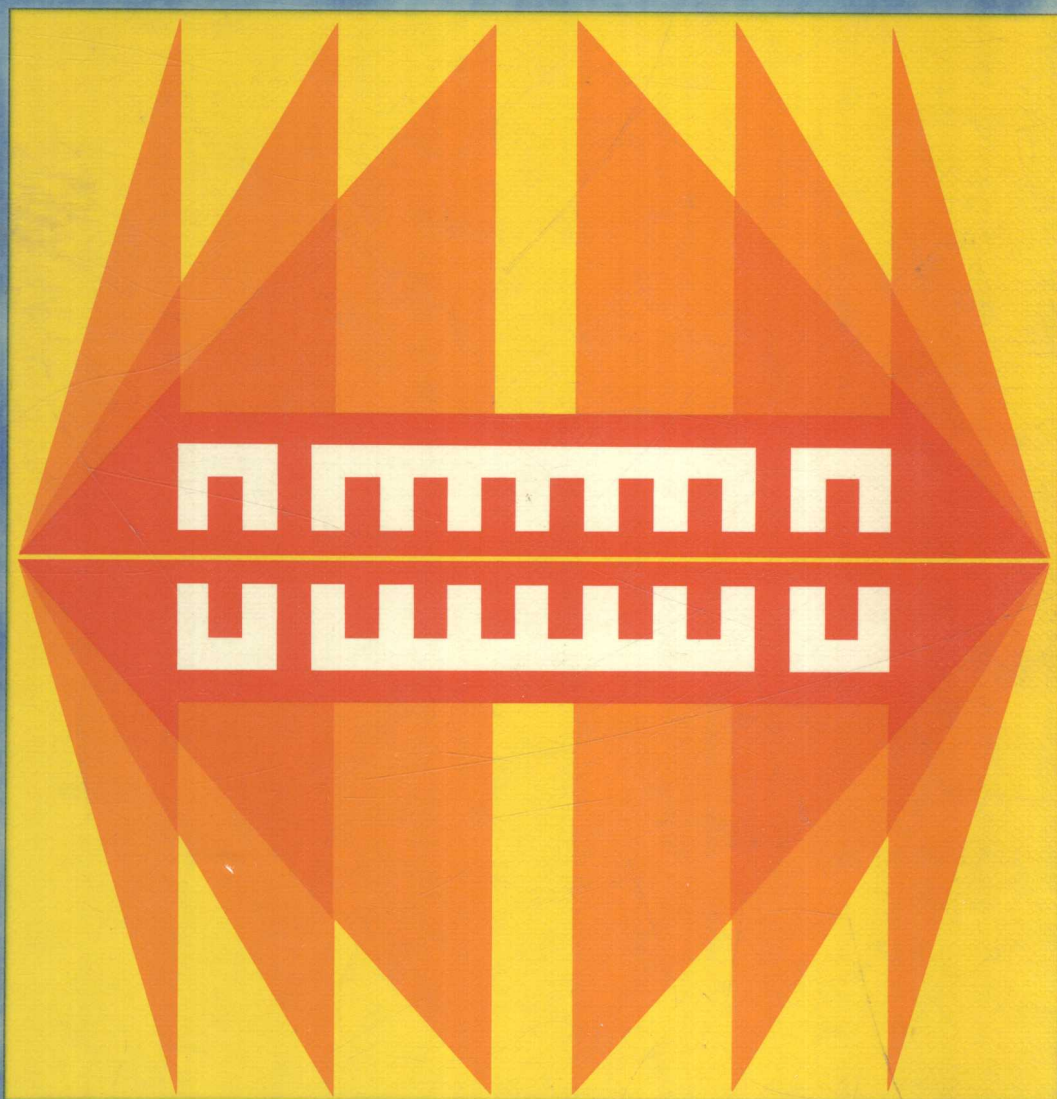


Gert Luda

Drehstrom- Asynchron- Linearantriebe



VOGEL-VERLAG

Gert Luda
Drehstrom-Asynchron-Linearantriebe

TM 343

L1

8263713

Ing. (grad.) Gert Luda

Drehstrom- Asynchron-Linearantriebe

Grundlagen und praktische Anwendungen
für industrielle Zwecke



E8263713



VOGEL-VERLAG

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Luda, Gert:

Drehstrom-Asynchron-Linearantriebe: Grundlagen u.
prakt. Anwendungen für industrielle Zwecke/Gert
Luda. – 1. Aufl. – Würzburg: Vogel, 1981.

ISBN 3-8023-0627-9

ISBN 3-8023-0627-9

1. Auflage. 1981

Vogel-Verlag

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem
anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert
oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt
oder verbreitet werden.

Printed in Germany

Copyright 1981 by Vogel-Verlag, Würzburg

Herstellung: VOGEL-DRUCK WÜRZBURG

Vorwort

Die *Asynchronmaschine* ist die am stärksten verbreitete elektrische Maschine. Dabei handelt es sich jedoch in den meisten Fällen um das in sich geschlossene System einer kompakten rotierenden Maschine. Die *direkt linear wirkende Asynchronmaschine* ist dagegen ein offenes System. Daraus ergibt sich die notwendige Berücksichtigung spezieller konstruktiver und elektrischer Eigenschaften.

Das Primärteil ist als integrierter Bestandteil der gesamten Maschinenkonstruktion zu berücksichtigen. Das Sekundärteil konstruiert und fertigt der Anwender überwiegend selbst.

Hier sind Besonderheiten an der Nahtstelle zwischen dem konstruktiven Anteil vom Zulieferer und Anwender zu klären. Viele Fragen seitens der Anwender zwingen den Zulieferer zu einer beratungsintensiven Vorgehensweise.

Bei der Bearbeitung des Stoffes ist der Verfasser dem Verlangen der Praxis gefolgt und hat in erster Linie die aktuellen Fragen und Probleme bei der Anwendungstechnik behandelt. Auch die zuvor herausgestellten Theorien und Grundlagen sind bereits auf die speziellen Belange bei der Anwendung des *Asynchronlinearmotors* ausgerichtet.

Neuere Entwicklungen sind zusammen mit aktuellen Einsatzfällen im vorliegenden Werk gesammelt. Es gibt damit den heutigen Stand unserer Kenntnis über die praktische Verwendbarkeit des Asynchronlinearmotors wieder.

Auch die langjährigen, eigenen praktischen Erfahrungen des Verfassers in der Anwendungstechnik der Asynchronlinearmotoren sind hier berücksichtigt.

Dieses Buch soll dem in der Praxis tätigen Ingenieur und Techniker eine Hilfe beim Planen, Entwerfen und Beurteilen der linearen Antriebstechnik sein. Das Buch wendet sich an *Ingenieure und Techniker aller Industriezweige* in Entwicklung, Konstruktion, Versuch, Arbeitsvorbereitung und Fertigung.

Speziell wird der *Konstrukteur im allgemeinen Maschinenbau* und im Sonder- und Spezialmaschinenbau angesprochen. Die Systemtechniker für die Ausarbeitung komplexer Gesamtanlagen und die Studenten der Elektrotechnik und des Maschinenbaus dürften Unterstützung bei ihren anwendungstechnischen Entwürfen finden.

Vorausgesetzt werden beim Leser ein *gutes technisches Allgemeinwissen*, konstruktives Mitdenken, Freude beim Betreten von Neuland und teilweise empirische Vorgehensweise bei der Verbesserung vorhandener Antriebstechniken.

Der Leser erhält ein *räumliches und konstruktives Vorstellungsvermögen* hinsichtlich des zu *integrierenden Linearantriebes*. Falsche Denkansätze und Prinzip-

fehler werden durch ausreichende Abhandlung der wichtigsten physikalischen und theoretischen Grundlagen vermieden. Dadurch ergibt sich eine Zeitersparnis beim Angehen neuer Konstruktionslösungen.

Aus den beschriebenen Antriebsfällen können Lösungen für die eigenen Antriebsprobleme abgeleitet werden. Auch die Grenzen der Anwendungsmöglichkeiten werden erkannt.

Eine Vielzahl von Anregungen ermöglicht im schulischen Bereich oder innerhalb Entwicklungs- und Versuchsabteilungen interessante Testreihen. Daraus entstehen dann wiederum neue Wissensgebiete, die sich in gesonderter Fachliteratur zur Veröffentlichung anbieten.

Unter weitgehendem Verzicht auf schwierige mathematische Abhandlungen wird in beschreibender Form mit Hilfe von Skizzen, Zeichnungen, Bildern und Tabellen eine *Linearantrieb-Systemtechnik* entwickelt.

Unterschiedliches Anbringen einzelner Linearmotoren mit zugeordneten Steuerungen und Regelungen schaffen ein vorteilhaftes Gesamtsystem.

Der Konstrukteur erhält für seine Aufgabenstellung eine funktionell und wirtschaftlich verbesserte Antriebsalternative.

Auch hinsichtlich der vom Anwender zu beschaffenden Zusatzkomponenten werden praxisgerechte und erprobte Hinweise gegeben.

Die folgerichtige Abhandlung des Stoffes in den 3 Kapiteln *Theoretische Grundlagen, Praktische Anwendung und Anwendungsbeispiele* ergibt sich zwangsläufig. Das Verständnis für die neuen Stoffgebiete leitet sich aus dem zuvor Erlernten ab.

In allen Prinzipskizzen, Zeichnungen und Darstellungen mit Linearantrieben dient die Farbe Rot als Hervorhebungsmittel für die bewegten Konstruktionselemente.

Bei den Anwendungserläuterungen wird auf die dabei genutzten physikalischen Eigenschaften und prinzipiellen Vorteile hingewiesen. Diese unumstrittenen physikalischen Zusammenhänge zeigen damit die *Leitlinie für die Ausarbeitung von Antriebslösungen* mit Asynchronlinearmotoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Theoretische Grundlagen des Asynchron-Linear-motors	13
1.1	Allgemeines	13
1.2	Prinzipieller Aufbau vom Linear-motor	14
1.2.1	Linear-motor als Induktorkamm	14
1.2.2	Linear-motor als Polysolenoid	19
1.3	Physikalische Grundlagen des Linear-motors	20
1.3.1	Feldkurve	20
1.3.2	Aufbau vom Sekundärteil	22
1.3.3	Kennlinie und Ersatzschaltbild	24
1.3.4	Gütefaktor	24
1.3.5	Kenngößen für einen Linear-motor	26
1.3.6	Schaltung mehrerer Primärteile	26
1.4	Vor- und Nachteile des Linear-motors hinsichtlich seiner Herstellung und Anwendung als Antriebselement	27
1.4.1	Fertigung des Linear-motors	27
1.4.1.1	Linear-motor mit kammartigem Primärteil	27
1.4.1.2	Linear-motor als Polysolenoid	28
1.4.2	Einsatzmöglichkeiten des Linear-motors als Antriebselement	30
1.4.2.1	Bahnantrieb	30
1.4.2.2	Kranfahrantrieb	32
1.4.2.3	Antriebe für mechanische Verschiebungen	33
1.5	Einige Untersuchungen an Linear-motoren	34
1.5.1	Linear-motor mit kammförmigem Primärteil	34
1.5.1.1	Fahrantrieb auf einem Stahlträger	34
1.5.1.2	Fahrantrieb auf einem Stahlträger mit Kupferbelag	36
1.5.1.3	Linear-motor mit zwei kammartigen Primärteilen	36
1.5.1.4	Kraftwirkung auf Sekundärschienen aus Kupfer	38
1.5.1.5	Kraftwirkung auf Sekundärschienen aus Aluminium	38
1.5.1.6	Kraftwirkung auf Sekundärschienen aus Messing	38
1.5.2	Linear-motor als Polysolenoid	38
1.5.2.1	Kraftwirkung auf eine Stahlwelle als Sekundärteil in Abhängigkeit von verschiedenen Betriebsarten	39
1.5.2.2	Kraftwirkung auf eine Stahlwelle mit aufgezogenem Kupferrohr in Abhängigkeit von verschiedenen Betriebsarten	39

1.5.2.3	Kraftwirkung auf eine Stahlwelle mit und ohne Kupferrohr bei Einphasenbetrieb des Linearmotors in Steinmetzschtaltung ..	40
1.5.2.4	Kraftwirkung bei abnehmender Erregerspulenanzahl	40
1.6	Berechnungsgrundlagen und Auslegungskriterien für Linearmotoren	41
1.6.1	Allgemeines zu den Dimensionierungsrichtlinien	41
1.6.2	Synchrongeschwindigkeit	42
1.6.3	Nutoptimierung	47
1.6.4	Läuferoptimierung bzw. Optimierung vom Sekundärteil	48
1.6.5	Verändern der wesentlichen Parameter im Arbeitsluftspalt und die damit erzielte Wirkung	53
1.6.6	Einige Kennlinien und Kriterien zur Erleichterung der ersten Vorabbestimmung wichtiger Grundsatzgrößen wie z.B. Wirkungsgrad, Überlastfaktor, mechanischer Luftspalt, Sekundärschenendicke, Verhältnis Schubkraft zur Scheinleistungsaufnahme, Reaktions-schienenüberstand und Mindestabmessungen vom Linearmotor	56
1.7	Kennlinien, Diagramme und Daten von Linearmotoren	65
1.7.1	Schubkraftverlauf in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit	65
1.7.2	Querkraftverlauf in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit	65
1.7.3	Geschwindigkeitsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit	70
1.7.4	Beschleunigungsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit	70
1.7.5	Wegverlauf in Abhängigkeit von der Zeit	71
1.7.6	Vergleiche von Linearmotoren mit verschiedenen Synchron-geschwindigkeiten	73
1.7.7	Vergleiche zum rotierenden Drehstrom-Asynchronmotor	77
1.8	Bauformen und konstruktive Anordnungen von Linearmotoren	80
1.8.1	Allgemeiner Überblick zu den Anordnungsmöglichkeiten	80
1.8.2	Grundbauform mit Primärteil als Einfachinduktorkamm	80
1.8.3	Grundbauform mit Primärteil als Doppelinduktorkamm	87
1.8.4	Grundbauform mit Primärteil als Gehäusekonstruktion	87
1.8.5	Grundbauform als Polysolenoid	94
1.8.6	Sonderbauformen für Sondereinsatzfälle	98
1.9	Elektrische Steuerung und Regelung von Linearmotoren	104
1.9.1	Allgemeines	104
1.9.2	Geschwindigkeitsregelung über variable Spannung am Primärteil und konstanter Frequenz	108
1.9.3	Geschwindigkeitsregelung über variable Spannung und Frequenz am Primärteil	112
1.9.4	Indirekte Geschwindigkeitsverstellung und -regelung durch Zuord-nung von Wirbelstrombremsen. Aufbau, Funktion und Kennlinien der Wirbelstrombremsen	117
1.9.5	Funktion und Aufbau vom Linear-Tachogenerator	129
1.10	Betriebsverhalten und Bauvorschriften von Linearmotoren	132
1.11	Vorteilhafte Nutzung der physikalischen Eigenschaften	137

1.12	Allgemeingültige Hinweise zur Antriebsberechnung von Linearantrieben mit Formelsammlung	139
1.12.1	Allgemeines	139
1.12.2	Kraft, Arbeit und Leistung	140
1.12.2.1	Mechanische Kraft und Gewicht	140
1.12.2.2	Mechanische Arbeit und Drehmoment	141
1.12.2.3	Mechanische Leistung	141
1.12.3	Betriebsdiagramme für lineare Bewegungsabläufe	142
1.12.4	Der freie Fall	147
1.12.5	Kinetische Energie	147
1.12.6	Gleitende und rollende Reibung	148
1.12.7	Fahrantriebe	148
1.12.8	Die thermische Effektivbeanspruchung von Linearmotoren	150
1.12.9	Formelsammlung	155
1.13	Berechnungsbeispiele	160
1.13.1	Berechnung der Betriebsgeschwindigkeit eines Linearantriebes ..	160
1.13.2	Berechnung vom stationären Leistungsbedarf eines Fahrtriebes	163
1.13.3	Rechenbeispiel Fahrtrieb	164
1.13.4	Beschleunigungsantrieb mit einem Linearmotor mit einer Synchrongeschwindigkeit von 3 m/s	172
1.13.5	Beschleunigungsantrieb mit einem Linearmotor mit einer Synchrongeschwindigkeit von 12 m/s	173
1.13.6	Polysolenoid als Abschieber an einem Förderband	173
1.13.7	Polysolenoid als Antrieb für eine Übernahmeverrichtung	175
2	Praktische Anwendung	179
2.1	Denkanstöße aus der Praxis führen zum Linearmotor	179
2.2	Ablösung anderer Antriebs Elemente oder deren Ergänzung	182
2.3	Neue, zusätzliche Antriebsmöglichkeiten	192
2.4	Kleine Systemtechnik mit Linearmotoren	193
2.4.1	Grundsätzliche Ausführungs- und Anordnungsmöglichkeiten ..	193
2.4.2	Gesamtbetrachtung einzelner Systeme mit zugehöriger Steuer- und Regelungstechnik	203
2.5	Der «integrierte Antrieb»	211
2.6	Konstruktive und mechanische Besonderheiten	213
2.7	Elektrische Merkmale und Besonderheiten	221
2.8	Projektierungshinweise	224
2.8.1	Allgemein wichtige Projektierungsdaten	224
2.8.2	Spezielle Projektierungsvorgänge	234
2.8.3	Grenzen der Projektierungs- und Anwendungsmöglichkeiten	236
2.8.4	Linearmotor bei niedrigen Verstellgeschwindigkeiten und großen Schubkräften	238
2.9	Mischtechnik, Systemoptimierung mit anderen Zusatzkomponenten	241

2.10	Alternativentwürfe	243
2.11	Betrachtung vom Gesamtsystem	244
2.12	Kriterien beim Prototypenbau	246
2.13	Schwerpunkte bei der Nullserienerprobung	252
2.14	Verbesserungen am Serienprodukt	253
2.15	Betriebskosten	254
2.16	Wartung	256
2.17	Patentsituation	257
3	Anwendungsbeispiele	259
3.1	Rückblick auf die eingebauten physikalischen Vorteile	259
3.2	Anwendungen der Bauart Polysolenoid	259
3.2.1	Polysolenoid als Antrieb für Bunkerklappenbetätigung	259
3.2.2	Polysolenoid als Luftklappenantrieb	260
3.2.3	Polysolenoid als Verriegelungsantrieb	261
3.2.4	Polysolenoid als Weichenstellantrieb	261
3.2.5	Polysolenoid als Türverriegelung	261
3.2.6	Polysolenoid als Antrieb für eine Etikettiereinrichtung	263
3.2.7	Polysolenoid als Fadenabweiser	263
3.2.8	Polysolenoid als Rückstelleinrichtung	263
3.2.9	Polysolenoid als Fließbandabweiser	264
3.2.10	Polysolenoid als Antrieb für einen Hochfrequenz-Erdungs- schalter	267
3.2.11	Polysolenoid als Steuerorgan für eine Ablaufbremse	269
3.2.12	Polysolenoid als Antrieb für Hebebühnenverriegelungen	269
3.2.13	Polysolenoid als Meßsondenantrieb im Druckkesselbau	271
3.2.14	Polysolenoid als «Fühler» im Regalförderzeug	271
3.2.15	Polysolenoid als Andrückstempel	278
3.2.16	Polysolenoid als Stempelantrieb	278
3.2.17	Polysolenoid als Schneidantrieb	278
3.2.18	Polysolenoid als «Fühler» für Meßzwecke	279
3.2.19	Polysolenoid als Rakelantrieb	280
3.2.20	Polysolenoid als Hilfsantrieb für eine Tennisballschlagmaschine	281
3.3	Anwendungen der Bauart Induktorkamm	281
3.3.1	Spritzpistolenantrieb gemäß Antriebsvariante 24 vom Abschnitt 2.4.1	281
3.3.2	Dauerreversierantriebe	295
3.3.3	Antriebe für Kantensteuerungen	295
3.3.4	Fahrschrankanlagen	296
3.3.5	Stoßprüfmaschinen	297
3.3.6	Versetzeinrichtungen	297
3.3.7	Lineares Antriebssystem für automatische Schneid-, Trenn- und Spalteinrichtungen	299
3.3.8	Schutzschirmantriebe mit Linearmotor	300

3.3.9	Scheibenläuferantrieb für Werbezwecke	303
3.3.10	Automatische Tafellegevorrichtung.....	303
3.3.11	Schweißzangenbewegung an Folienschweißmaschine	303
3.3.12	Antrieb für größere Folienschweißmaschine	304
3.3.13	Drehtischantrieb mit berührungsloser Festhaltung	307
3.3.14	Torschranke mit Einfachkammtrieb	309
3.3.15	Schüttelrutschenschwenkantrieb mit Doppelkamm-LIM	309
3.3.16	Kabelwagenantrieb mit Einfachinduktorkämmen	310
3.3.17	Kabeltrommelantrieb durch Linearmotoren	312
3.3.18	Ziehantrieb mit Linearmotor in der Schlauchproduktion.....	312
3.3.19	Weichenantrieb mit Einfachinduktorkamm	315
3.3.20	Senkrecht arbeitender Spritzpistolenantrieb	315
3.3.21	Stereoröntgenapparat mit Linearantrieb	316
3.3.22	Ablängeeinrichtung mit Linearmotor	319
3.3.23	Schützenantrieb mit Linearmotoren an Webmaschinen	319
3.3.24	Drehbühnen- und Karussellantrieb mit Einfachkämmen.....	321
3.3.25	Hilfsantrieb in der medizinischen Technik.....	322
3.3.26	Siebdruckautomat mit Linearantrieb	325
3.3.27	Querschneider mit Linearantrieb	325
3.3.28	Automatisches Palettenfördersystem mit Linearantrieb	328
3.3.29	Glasschneidemaschine mit Linearantrieb	329
3.3.30	Quer- und Längsteilanlage mit Linearantrieb.....	330
3.3.31	Fahrtrieb für Röntgenanlage.....	331
3.3.32	Pressenantrieb an Verpackungsmaschine	331
3.3.33	Rakelantrieb an größerer Siebdruckmaschine	331
3.3.34	Bäckereimaschine mit Linearantrieb	333
3.3.35	Schwere Gießereimaschine mit Linearantrieb	337
3.3.36	Automatische Pack- und Entladestation mit Linearantrieb	340
3.3.37	Ziehantrieb mit Linearmotor am Aluminium-Extruder	340
3.3.38	Rohrpostweichenantrieb mit Linearmotor	342
3.3.39	Transfertaktstraße mit Linearantrieben	343
3.3.40	Greifersystem mit Linearmotor	347
3.3.41	Antrieb einer Schaumstoffspaltmaschine	348
3.3.42	Teppichschneidemaschine mit «Katapultantrieb»	351
3.3.43	Palettentransportanlage mit Linearmotoren	355
3.3.44	Hängebahnantrieb mit Linearmotoren als «asbz-Bahn»	362
3.3.45	Nahverkehrssystem Kabinentaxi mit Linearantrieb	369
3.3.46	Türantriebe mit Linearmotoren	374
3.3.47	Pressenbeschickungs- und Entnahmewagen mit Linearantrieb ..	389
3.3.48	Hängebahnantrieb mit Linearmotor im innerbetrieblichen Bereich	402
3.3.49	Saugwagenantriebe und sonstige Fahrtriebe mit Linearmotoren	409
3.3.50	Schweißmaschinenbeschickung und Shuttleantriebe	420
3.3.51	Platinenbeschicker mit «Katapultantrieb»	423

3.3.52	Schrumpffolienverpackungsmaschine mit Linearantrieb	424
3.3.53	Strickmaschinenantrieb	425
3.3.54	Schienenbergbahn mit Linearantrieb	425
3.3.55	Schwenkantrieb mit Linearmotor	425
3.3.56	Übersetzer mit Linearantrieb	426
3.3.57	Querschneider am Kalander	426
3.3.58	Querschneider in der Reifenindustrie	427
3.3.59	Linearantrieb für optische Leseeinrichtung	427
3.4	Anwendungen der Bauart Induktorkamm im Verbund mit konventionellen Antrieben	429
3.4.1	Schaltgetriebe-Drehantrieb mit Linearscheibenläufermotor	429
3.4.2	Palettenwechselwagen mit Linear- und Käfigläuferantrieb	430
3.4.3	Blechstapler mit Linearmotoren-Hilfsantrieb	432
3.5	Sonderanwendungen mit Spezial-Linearantrieben	438
3.5.1	Magnetschwebefahrzeug mit Einfachinduktorkamm	438
3.5.2	Crashtest-Anlage mit Linearantrieb	438
3.5.3	Berührungslose Schub- und Zugkraftübertragung auf Aluminium-Folien im Walzmaschinenbau	441
3.5.4	Linearmotor als Bandzuführung an einer Stanz- und Ziehpresse	449
3.5.5	Berührungsloser Transport von leichten Aluminiumteilen	454
3.5.6	Transport von Aluminiumdosen und Verpackungen	454
3.5.7	Reinigen von Glasschrott vor dem Einschmelzen	455
3.5.8	Miniaturpolysolenoid in der Textilmaschinenbranche	456
3.5.9	Experimentier- und Testanlagen für Ingenieur-Schulen und Institute	457
3.5.10	Linearscheibenläufermotor als Antrieb für einen System-Lager in der Textilmaschinen-Industrie	464
3.6	Entwicklungstendenzen und zukünftige Realisierungsmöglichkeiten	479
4	Anhang	481
4.1	Zusammenfassung der einzelnen Kapitel	481
4.1.1	Zusammenfassung zum Kapitel 1	481
4.1.2	Zusammenfassung zum Kapitel 2	481
4.1.3	Zusammenfassung zum Kapitel 3	482
4.2	Tabellen zur Projektierung mit Daten und Maße	483
4.3	Alphabetisches Verzeichnis der verwendeten Größen und gebräuchlichen Maßeinheiten	521
4.3.1	Größen, dargestellt durch lateinische Buchstaben	521
4.3.2	Größen, dargestellt durch griechische Buchstaben	526
4.4	Literaturverzeichnis und Bildnachweise	528/530
4.5	Stichwortverzeichnis	531

1 Theoretische Grundlagen des Asynchron-Linearmotors

1.1 Allgemeines

In den Abschnitten 1.1 bis 1.5 wird zwar mit den theoretischen Grundlagen des Linearmotors begonnen, gleichzeitig erhält der Leser jedoch auch einen Überblick über die Gesamtproblematik.

In beschreibender Form, ohne viel Zwang zu mathematischen Übungen, dafür aber mit praxisnahen *Testaufbauten* und Versuchsergebnissen soll schnell der Wunsch nach genauerer Kenntnis der technischen Zusammenhänge gesteigert werden.

Viele Zeichnungen und Skizzen erleichtern das Verständnis von teilweise etwas komplexen Systemen und mechanischen Aufbauten.

In Tabellen wird Ursache und Wirkung nebeneinander dargestellt, wenn Veränderungen am Sekundärteil, am Arbeitsluftspalt, an der Höhe der Speisespannung oder an der aktiven Länge vom Primärteil vorgenommen werden.

Diese Wirkungen interessieren den Anwender besonders, da er häufig zur Übernahme fester Parameter, wie z.B. eine bestimmte Luftspaltgröße, gezwungen wird.

Der Anwender möchte möglichst schnell wissen, wie sich eine Veränderung dieser Größen hinsichtlich Schubkraft, Motorbaugröße, Gewicht und Preis auswirkt.

Eine einfache und pauschale Beantwortung dieser drängenden Fragen ist nicht möglich.

Trotzdem wird im folgenden Kapitel bereits ein gewisses Gespür für das technisch Mögliche gegeben. Der Leser wird nicht nur auf klare Erkenntnisse nach Durcharbeitung des gesamten Stoffes am Ende des vorliegenden Buches verwiesen.

Zumindest tendenziell werden durch *Versuchsreihen* die wichtigsten Wirkungen beim Linearmotor erkannt.

Die genauen Untersuchungen und Erklärungen über die physikalischen Zusammenhänge folgen dann später im Abschnitt 1.6. Damit sind die unumstößlichen Gesetzmäßigkeiten für den Aufbau und die Funktion des Linearmotors dargelegt.

Eine sachlich fundierte Begründung für technisch und wirtschaftlich interessante Anwendungen, aber auch für die Grenzen der Einsatzmöglichkeiten kann daraus leicht abgeleitet werden.

1.2 Prinzipieller Aufbau vom Linearmotor

1.2.1 Linearmotor als Induktorkamm

Die Begriffe Kamm, *Induktorkamm*, Induktor, Einfachinduktorkamm, Doppelinduktorkamm, Ständer, Stator, Erregerkamm sorgen manchmal beim Einstieg in das Schrifttum über Linearmotoren für etwas Verwirrung.

Deshalb soll hier erklärt werden, daß es sich dabei immer nur um das «*Primärteil*» handelt, welches vom Netz mit der zugehörigen Spannung und Frequenz gespeist wird.

Einige der zuvor genannten Bezeichnungen bieten sich manchmal aus funktionellen oder baulichen Gründen als plastische Beschreibungsform an. Dennoch wird hier überwiegend vom Primärteil die Rede sein, damit die Menge der neu aufzunehmenden Ausdrücke möglichst klein bleibt.

Die gleiche Einschränkung für die Vielzahl von Ausdrucksmöglichkeiten soll für den zweiten Teil eines Linearmotors erfolgen.

Hier gibt es Bezeichnungen wie Rotor, Läufer, Anker, elektrisch leitender Werkstoff, Medium oder Element, *Konduktor*, Sekundärschiene und Schubstange.

Zusammenfassend wird hier der Ausdruck «*Sekundärteil*» gewählt.

Das Primärteil und das Sekundärteil vom Linearmotor sind also die wesentlichen Bestandteile, die sich beim Antrieb relativ zueinander bewegen.

Der Linearmotor (manchmal auch mit LIM oder LM bezeichnet) kann als eine spezielle Form des Induktionsmotors mit Kurzschlußläufer aufgefaßt werden. Stellt man sich den Ständer (Primärteil) einer Asynchronmaschine vor, der in radialer Richtung aufgeschnitten und in einer Ebene ausgebreitet wird, so erhält man die einfachste Form des Linearmotors. Es ist ein Blechgebilde, das die Form eines Kammes hat. Daher stammen auch die Ausdrücke *Kamm*, Induktorkamm oder Erregerkamm.

Einige Bilder sollen diesen gedanklichen Vorgang etwas verdeutlichen.

In Bild 1.2.1 und 1.2.2 ist zu erkennen, wie durch das radiale Aufschneiden der Asynchronmaschine und das anschließende Ausbreiten in eine Ebene die flache Form des Linearmotors hergeleitet wird.

Der Ständer oder Stator der rotierenden Asynchronmaschine wird zum Primärteil der linearen Asynchronmaschine.

Gleichzeitig verwandelt sich der Läufer oder Rotor der rotierenden Asynchronmaschine in das Sekundärteil der linearen Asynchronmaschine.

Der *Umwandlungsvorgang* kann auch nach Bild 1.2.3 gedanklich erfolgen. Hier wird durch eine Presse die Umwandlung der rotationssymmetrischen Motorenteile in flach gestreckte Motorenteile angedeutet.

In Bild 1.2.4 erkennt man den Übergang vom Rotationsmotor zum Linearmotor mit ausgebildeter Käfigwicklung im Sekundärteil. Dagegen zeigt Bild 1.2.5 den gleichen Übergang, jedoch mit dem am häufigsten vorkommenden flach ausgebildeten Sekundärteil ohne Nuten und ohne eingelegter sekundärer Käfigwick-

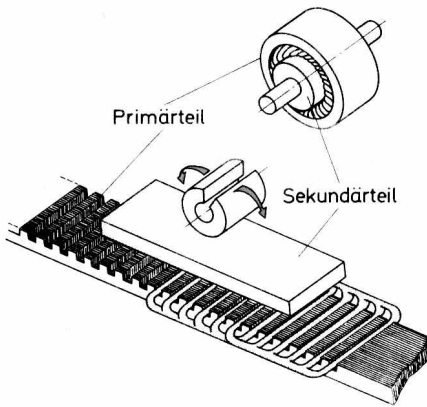


Bild 1.2.1 Ableitung vom Linear-Asynchronmotor aus der rotierenden Asynchronmaschine. Aufschneiden in radialer Richtung und Ausbreiten in eine Ebene

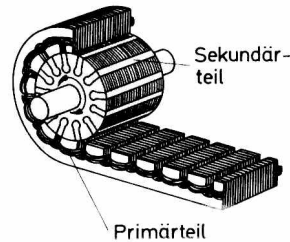


Bild 1.2.2 Umwandlung vom Käfigläufermotor in einen Linear-Asynchronmotor durch radiales Aufschneiden und Abwickeln (Aufrollen) in eine Ebene

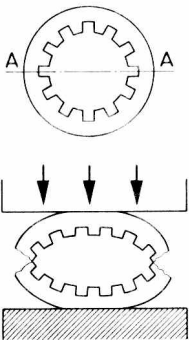


Bild 1.2.3 Gedankliche Möglichkeit der Motoren-umwandlung durch Einwirkung einer Presse. Aus dem Ständer des Käfigläufers entstehen zwei flache, sich gegenüberstehende Primärteile vom Linear-Asynchronmotor in Doppelkamm-Bauweise

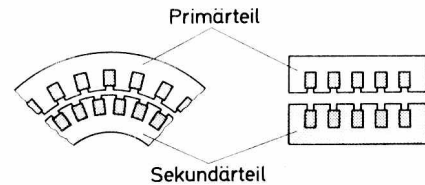


Bild 1.2.4 Der Weg zum Linear-Asynchronmotor durch Umwandlung der rotationssymmetrischen Teile vom Käfigläufer in flache Primär- und Sekundärteile vom Linear-Asynchronmotor. Hierbei ist die mögliche aber selten praktizierte Bauform eines Sekundärteils mit Nuten und eingelegter Käfigwicklung dargestellt

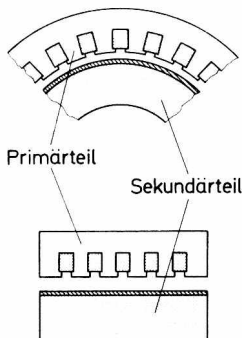


Bild 1.2.5 Umwandlung wie in Bild 1.2.4. Hierbei erscheint die wirtschaftliche und praxiserprobte Form des Sekundärteils vom Linear-Asynchronmotor als Masivschiene

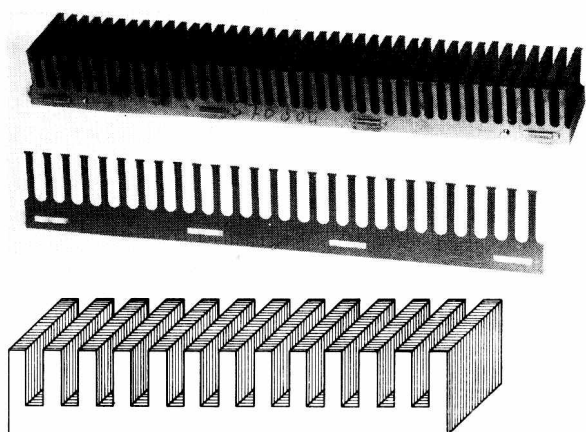


Bild 1.2.6 Induktorkamm als geschichtetes Blechpaket vom Primärteil eines Linear motors. Die einzelnen gestanzten, kammartigen Bleche werden mit durchgezogenen Laschen zusammengehalten und vernietet

lung. Bild 1.2.6 zeigt noch einmal das einfache kammförmig ausgebildete Grundelement vom Primärteil des Asynchron-Linear motors.

Wird in diesen flachen Primärteil eine 3phasige Wicklung eingelegt und mit Drehstrom gespeist, so entsteht ein elektromagnetisches Feld.

Die Amplitude dieses Feldes bewegt sich längs der *Polfläche* vom Primärteil mit der Geschwindigkeit $v_{\text{syn}} = 2 \tau_p f$. Genauere Erläuterungen über die Entstehung und die Größenordnung dieser Synchrongeschwindigkeit v_{syn} werden im Abschnitt 1.6.2 gegeben. Da es sich hier um ein translatorisch bewegtes Feld handelt, spricht man von einem *Wanderfeld*; im Gegensatz zum rotatorisch bewegten Feld, dem *Drehfeld* bei der Rotationsmaschine.

Um ein starkes magnetisches Feld aufzubauen, muß ein *magnetischer Rückschluß* für den Fluß Φ vorhanden sein (bei der rotierenden Induktionsmaschine das Läuferisen).

Dem Primärteil wird deshalb ein ferromagnetisches Material gegenübergestellt. Am zweckmäßigsten nimmt man dazu ein zweites Primärteil, das ebenfalls eine Wicklung trägt, so daß die erforderliche Durchflutung Θ des gesamten magnetischen Kreises von beiden Primärteilen aufgebracht wird.

Im Bild 1.2.7 sind die beiden gegenüberliegenden Primärteile dargestellt. Gemeinsam erzeugen diese das Wanderfeld mit der durch Pfeile angedeuteten Bewegungsrichtung.

Um eine elektromagnetische Wirkung zu erzielen, muß in den Luftspalt zwischen den beiden Primärteilen ein elektrisch leitender Werkstoff (z.B. Kupfer, Aluminium oder Messing) gebracht werden. Dieser kann als induziertes Sekundärteil einer Drehfeldmaschine betrachtet werden.

Das Wanderfeld vom Primärteil durchsetzt dieses Sekundärteil und induziert darin eine Spannung.

Bedingt durch diese Spannung fließt im Sekundärteil ein *Wirbelstrom*, dessen magnetisches Feld, mit dem Wanderfeld vom Primärteil verkettet, eine linearwirkende Kraft ausübt.