

„Elektromagnetische Antriebssysteme mit rotierendem oder fortschreitendem Magnetfeld“

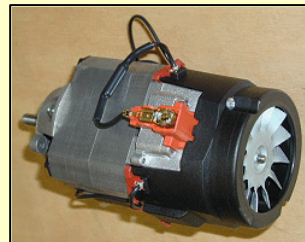
von

Daniel Kling
[MK00]



Elektromagnetische Antriebssysteme

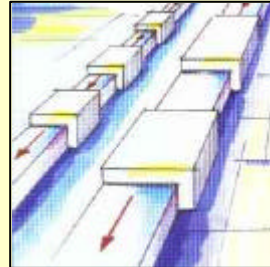
1. Radialmotoren
2. Linearmotoren
3. Planarmotoren
4. Der Transrapid





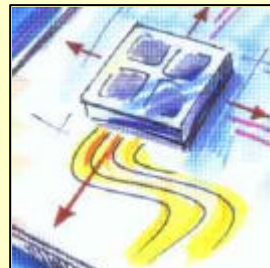
Elektromagnetische Antriebssysteme

1. Radialmotoren
2. Linearmotoren
3. Planarmotoren
4. Der Transrapid



Elektromagnetische Antriebssysteme

1. Radialmotoren
2. Linearmotoren
3. Planarmotoren
4. Der Transrapid





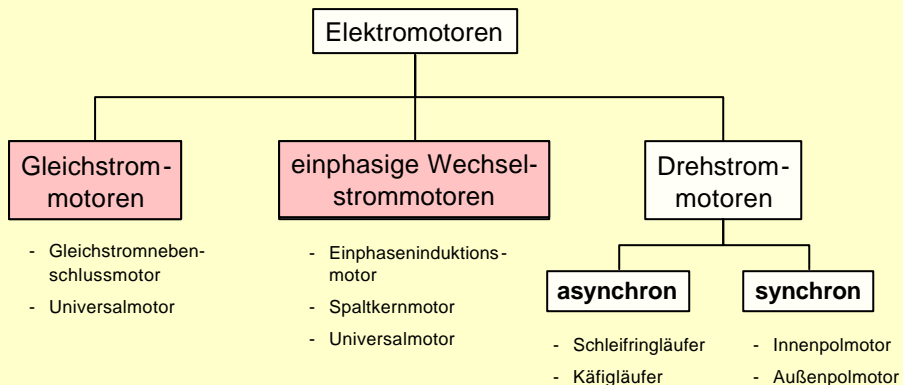
Elektromagnetische Antriebssysteme

1. Radialmotoren
2. Linearmotoren
3. Planarmotoren
4. Der Transrapid



Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Übersicht



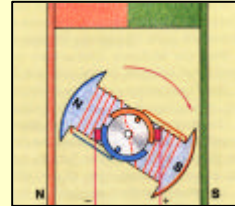


Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Gleichstrommotor

Aufbau

- drehbare Leiterschleife im Erregerfeld des Hauptpols
 - Hauptmagnet = Stator (Ständer)
 - Anker mit Leiterschleifen = Rotor
- Anfang und Ende der Ankerspulen an Stromwender angeschlossen (blau/orange)
- Stromzufuhr in Ankerwicklung mittels Kohlebürsten (rot)



© Daniel Kling | MK00

- Radialmotoren -

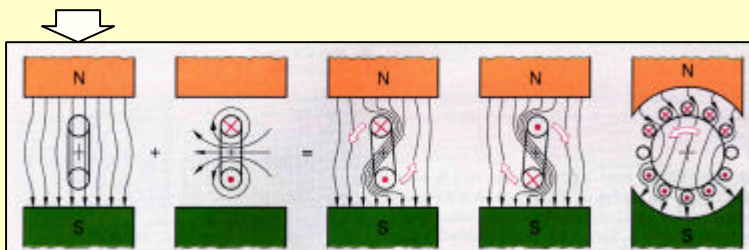


Elektromagnetische Antriebssysteme

Gleichstrommotor

Funktionsweise

- Anker parallel zu Feldlinien ausgerichtet
- Ankerwicklung = zwei Spulenhälften



© Daniel Kling | MK00

- Radialmotoren -

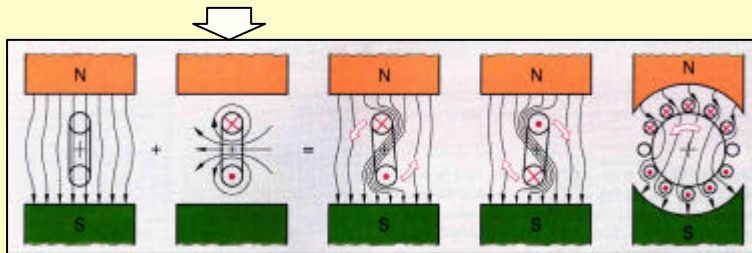


Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Gleichstrommotor

Funktionsweise

- jede stromdurchflossene Spule entwickelt eigenes Magnetfeld
→ Überlagerung des Erregerfeldes mit dem der beiden Spulenhälften
- entgegengesetzte Felder bei Spulenhälften



© Daniel Kling | MK00

- Radialmotoren -

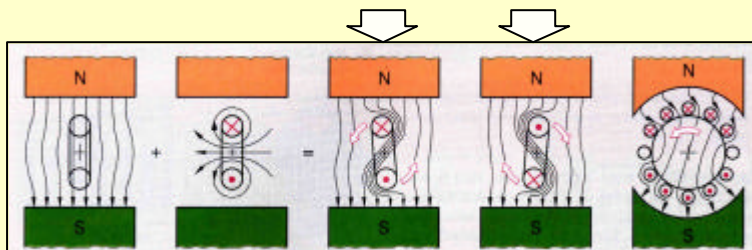


Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Gleichstrommotor

Funktionsweise

- untere Spulenhälfte, linke Seite:
 - gleiche Richtung der Feldlinien des Spulenfeldes und Erregerfeldes
 - Verdichtung der Feldlinien
→ verdichtete Feldlinien stoßen sich voneinander ab
→ Kraftwirkung in Richtung des verminderten Feldbereiches (weiße Pfeile)



© Daniel Kling | MK00

- Radialmotoren -

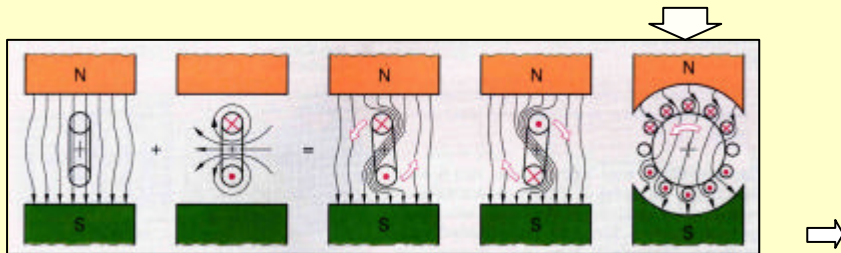


Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Gleichstrommotor

Funktionsweise

- Kraftwirkung auf einen Trommelanker (oft in Praxis eingesetzt)
- Anker besitzt mehrere Ankerwicklungen
→ Vergrößerung der Kraftwirkung auf Anker und des Drehmomentes



© Daniel Kling | MK00

- Radialmotoren -



Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Gleichstrommotor

Der Stator (Ständer)

- Halterung für erforderliche Wicklungen
 - Erregerwicklung, Kompensationswicklung, Wendepolwicklung
- Halterungen für Kohle- bzw. Grafitbürsten
- Gewährung des äußeren magnetischen Rückschlusses der Hauptpole
→ im Inneren befindet sich der drehbar gelagerte Anker
- magnetischer Rückschluss:
 - Rückleiten der Feldlinien an ihren Ausgangspol
- Schutz des Motors vor mechanischen Einwirkungen
- Gewährleistung von Standfestigkeit



© Daniel Kling | MK00

- Radialmotoren -



Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Gleichstrommotor

Der Anker (Rotor)

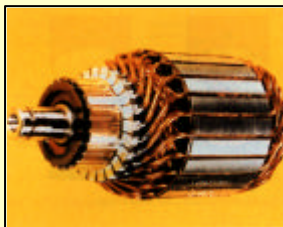
- besteht aus:
 - Welle (Stahl)
 - Blechpaket aus einzeln zusammengepressten Dynamoblechen
- Dynamobleche sind auf jeweils einer Seite isoliert
- Einkerbungen in Blechpaket (Nuten) dienen Aufnahme der Ankerwicklungen
- Blechpaket mit Wicklungen auf Welle mit Pressringen befestigt
- verschiedene Ankerarten (Namen durch Form):
 - Trommelanker
 - Doppel-T-Anker
 - Dreifach-T-Anker



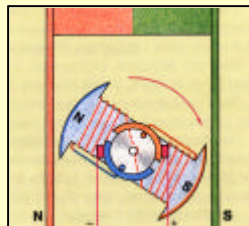
Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Gleichstrommotor

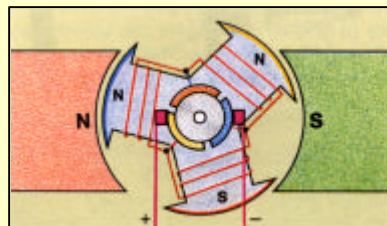
Einige Ankerbauformen



Trommelanker



Doppel-T-Anker



Dreifach-T-Anker





Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Gleichstrommotor

Der Stromwender (auch Kollektor, Kommutator)

- Fertigung überwiegend aus Pressstoff
- in Pressstoffmasse sind keilförmige Kupfersegmente eingelassen (auch Stege oder Lamellen genannt)
- Trennung der Kupfersegmente durch Isolierschicht (0,5-1mm stark)
- durch Löten oder Punktschweißen sind Stromwenderlamellen mit Ankerwicklung verbunden
- Anfang einer Wicklung an bestimmte Lamelle gelötet, Ende einer Wicklung genau an gegenüberliegendes Segment

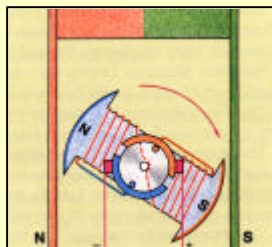


Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Gleichstrommotor

Der Stromwender (auch Kollektor, Kommutator)

- Kohle- bzw. Grafitbürsten gleiten auf Stromwender
- Zweck des Stromwenders:
 - Umkehren der Stromrichtung im Moment des Durchganges vom Kommutator durch den Totpunkt (Ermöglichung des Weiterdrehens der Schleife durch Änderung der Kraft)





Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Gleichstrommotor

Leistung und Anwendungen

- sehr einfache Drehzahl- und Drehmomentregulierung
- Einsatz in:
 - Feinwerktechnik (unter 1W Leistung)
 - Großmaschinen (z.B. bei 1500V = 10.000kW)
(Werkzeugmaschinen, Förderanlagen, Walzstraßen)
 - verstärkter Einsatz im Bereich der Kfz-Elektrik (daueromagneteregt bis ca. 100W)
(Scheibenwischer-, Gebläse-, Stellmotoren)

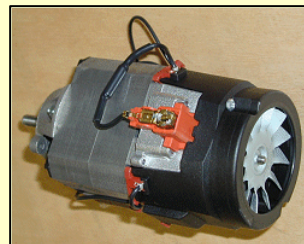


Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Wechselstrommotor

Universalmotor

- Gleichstromreihenschlussmotor
- kann mit Gleich- oder Wechselstrom betrieben werden
- geringes Leistungsgewicht
- robustes Durchzugsvermögen
- Anwendungsbeispiele:
 - Haushaltsgeräte
 - elektrische Werkzeuge
 - Elektrolokomotiven



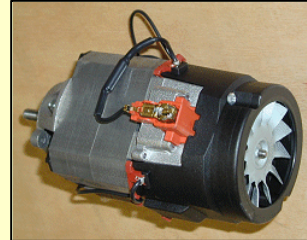


Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Wechselstrommotor

Technische Daten eines Universalmotors

<u>Anschluss</u>	230V/50Hz/5A
<u>Drehzahl</u>	18.000 1/min (elektronisch regelbar)
<u>Drehrichtung</u>	Linkslauf
<u>mech. Abmessungen</u>	Durchmesser : 95x120mm Länge : 185mm
<u>Antriebswelle</u>	Durchmesser : 8mm Länge : 25mm



Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Wechselstrommotor

Funktionsweise des Universalmotors

- magnetischer Kreis wird „geblecht“ ausgeführt
→ Unterdrücken von Wirbelströmen
- Drehzahlabfall n und Flussdichte F sind nicht konstant
- Drehzahl nimmt bei Belastung stark ab
→ „Nachgiebigkeit“
 - günstig für Netzbetrieb
- Richtung des fließenden Stromes hat keinen Einfluss auf Drehrichtung des Läufers



Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Wechselstrommotor

Funktionsweise des Universalmotors

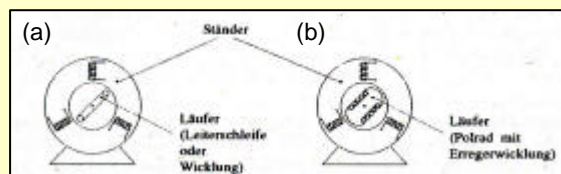
- Nachteil:
 - bei plötzlicher Verringerung der Belastung steigt Drehmoment stark an
→ „Durchgehen“ des Motors
- Gegenmaßnahme:
 - bei niedrigen Leistungen:
Konstruktion so, dass höchstmögliche Drehzahl ausgehalten wird
 - bei höheren Leistungen:
Fliehkraftschalter oder zusätzliche Nebenschlusswicklung



Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Drehstrommotor

- Aufbau und Wirkungsweise basieren auf Drehfeld
- Drehfeld wird von dreiphasigem Wechselstrom (=Drehstrom) gespeist
- Wicklungen des Drehfeldes stets im Ständer des Motors
- zwei verschiedene Möglichkeiten, um Läufer anzutreiben:
 - Drehfeld induziert im Läufer eine Spannung
→ Drehstromasynchronmotor (a)
 - Drehfeld tritt in Wechselwirkung mit Magnetfeld des Läufers
→ Drehstromsynchronmotor (b)





Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Asynchronmotoren

Prinzip eines Asynchronmotors

- bei Anschluss an Drehstromnetz bildet sich im Läuferaum ein Drehfeld mit Drehzahl n_s aus
 - Leiterschleife im Einschaltmoment noch still ($n=0$)
 - in Schleife wird Spannung induziert, die starken Strom erzeugt
 - Ursache ist Relativgeschwindigkeit zwischen Drehfeld und Läufer
 - Feld des Läuferstroms will Induktionsursache entgegenwirken
 - Bewegung des Läufers mit Drehzahl n in Richtung Drehfeld
 - Schlupfdrehzahl $s = n_s - n$ wird kleiner, erreicht aber nie Null
- Die Drehzahl des Drehfeldes ist immer größer als Läuferdrehzahl !



Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Synchronmotoren

Prinzip eines Synchronmotors

- ähnlich Asynchronmotor
 - Wechselwirkung zwischen Feldern des induzierten Läuferstromes und des Ständerstromes
- Läuferfeld muss nicht durch Induktion hergestellt werden
- Läufer ist bereits als Magnet ausgebildet
- Magnet des Läufers stellt folgt Richtung des erzeugten Drehfeldvektors (ähnlich Kompassnadel)
 - Rotation
- keine Drehzahldifferenz





Elektromagnetische Antriebssysteme

Radialmotoren - Synchronmotoren

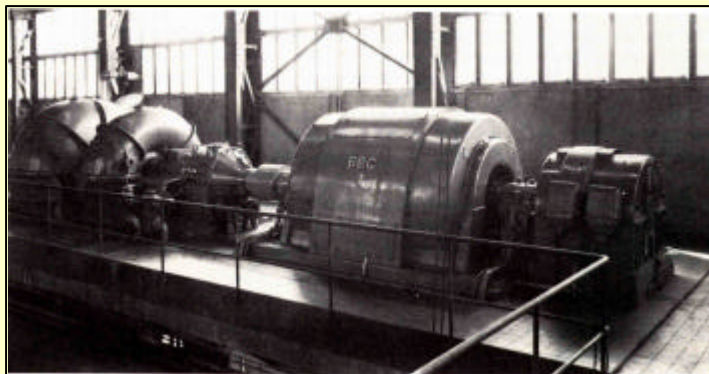
Prinzip eines Synchronmotors

- wichtigster Synchronmotor ist Innenpolmotor
- Läufer = Polrad
- bei sehr kleinen Maschinen ist Polrad ein Dauermagnet
- bei größeren Motoren ist Polrad mit Gleichstrom gespeister Elektromagnet
- wegen genauer Synchronität Anwendung in kleineren Leistungsbereichen (Uhrenantriebe)
- Synchronmotor kann nicht selbst anlaufen
 - wird durch Anlaufhilfe auf Nenndrehzahl gebracht



Elektromagnetische Antriebssysteme

Synchronmotoren



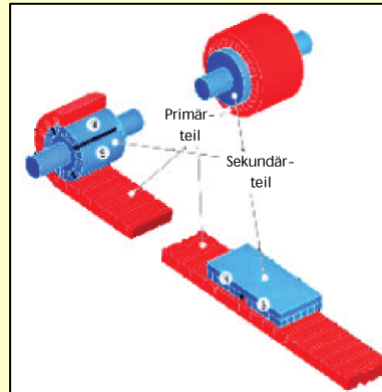
Rechts: Anlaufmotor
Mitte: Asynchronmotor





Elektromagnetische Antriebssysteme

Linearmotoren



© Daniel Kling | MK00

- Linearmotoren -



Elektromagnetische Antriebssysteme

Linearmotoren



© Daniel Kling | MK00

- Linearmotoren -

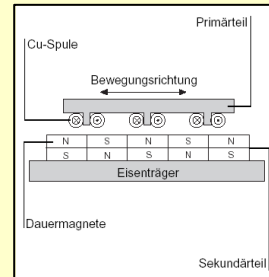
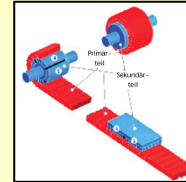


Elektromagnetische Antriebssysteme

Linearmotoren

Funktionsprinzip von Linearmotoren

- Funktion entspricht in gleicher Weise einem AC-Motor
- aus Wechselwirkung einer stromdurchflossenen, dreiphasigen Motorwicklung mit Permanentmagnetfeld resultiert Kraft → lineare Bewegung (elektromagnetisches Wanderfeld)
- Motorwicklung im beweglichen Schlitten
- Schiene mit wechsellagig angeordneten Dauermagneten ist Sekundärteil
- Ermittlung der Position durch magnetisches Messsystem
- durch Veränderung von Phase und Amplitude wird Antriebskraft beeinflusst



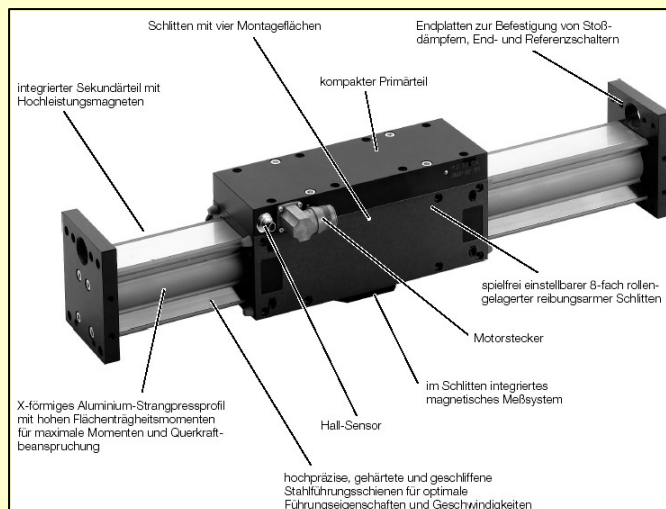
© Daniel Kling | MK00

- Linearmotoren -



Elektromagnetische Antriebssysteme

Linearmotoren



© Daniel Kling | MK00

- Linearmotoren -



Elektromagnetische Antriebssysteme

Linearmotoren

Vorteile von Linearmotoren

- Vorteile gegenüber Rotationsmotoren
 - hohe Standzeit und Zuverlässigkeit
 - hohe Positioniergenauigkeit ohne Überschwingen
 - direkter Kraftaufbau
 - wartungsfreier und spielfreier Antrieb
 - hohe statische und dynamische Laststeifigkeit



Elektromagnetische Antriebssysteme

Linearmotoren

Technische Daten eines Linearmotors Typ LD400 PL

- Linearmotor für Vertikalbetrieb
- Schlitten oder Profil verfahrbar
- pneumatische Haltebremse

<u>Antriebskraft</u>	bis 1200 N
<u>Beschleunigung</u>	bis 70 m/s ²
<u>Wiederholgenauigkeit</u>	< 0,01 mm
<u>Nutzlasten</u>	bis 30 kg
<u>Hublänge</u>	bis 1000 mm





Elektromagnetische Antriebssysteme

Linearmotoren

Einsatzbereiche von Linearmotoren

- Handhabungs - und Montagetechnik
- Mess- und Prüftechnik
- Bauteilmarkierung und Identifikation
- Verpackungsmaschinenteknik
- Bauteilmontage und Endprüfung in der Mikroelektronik
- Medizintechnik



Elektromagnetische Antriebssysteme

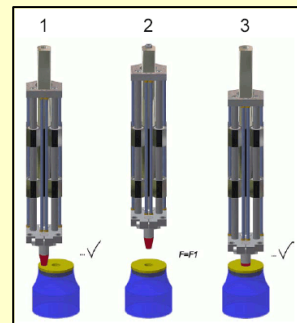
Linearmotoren

Tasten und Messen

- Kombination mit Pneumatik
→ Einsatz als Tast- oder Fühlelement

Beispiel - Verschließen von Flaschen

1. Prüfen, ob Verschluss auf Flasche vorhanden
2. Einpressen des Deckels mit vordefinierter Kraft
3. Abfrage der erreichten Endlage zur Qualitätskontrolle



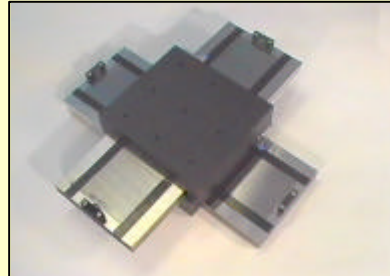


Elektromagnetische Antriebssysteme

Linearmotoren

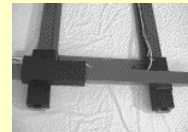
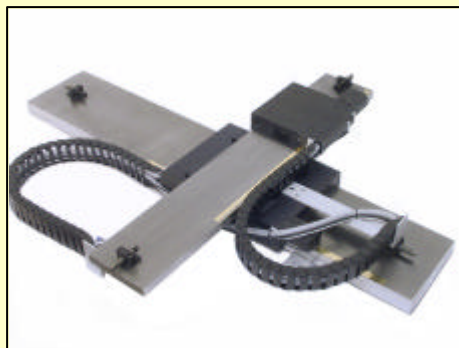
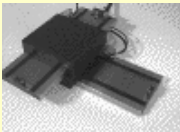
X-Y-Kreuztisch

- Kombination aus Standardlinearmotoren mit U-Läufern
- je Länger der Y-Fahrweg, desto breiter wird X-Stator gewählt
- bei X-Fahrweg keine Einschränkungen
- Verwendung rostfreier Staturen
- besondere Merkmale:
 - extreme Genauigkeit
 - Hohe Dynamik
 - Kompaktheit



Elektromagnetische Antriebssysteme

Linearmotoren



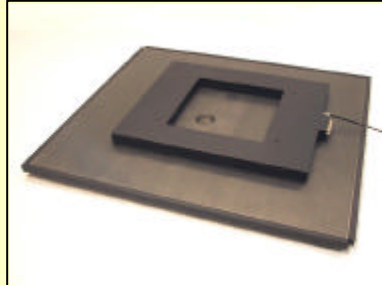


Elektromagnetische Antriebssysteme

Planarmotoren

Allgemeines

- Funktionsprinzip gleich wie bei Linear-motoren
- einziger Unterschied:
 - Läuferelemente in X- und andere in Y-Richtung angeordnet
- offenes Loch in Mitte, z.B. für Mikroskop-tische mit Durchlicht

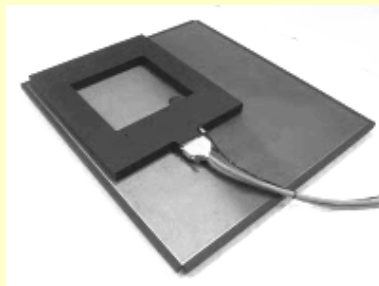


Elektromagnetische Antriebssysteme

Planarmotoren

Allgemeines

- Funktionsprinzip gleich wie bei Linear-motoren
- einziger Unterschied:
 - Läuferelemente in X- und andere in Y-Richtung angeordnet
- offenes Loch in Mitte, z.B. für Mikroskop-tische mit Durchlicht



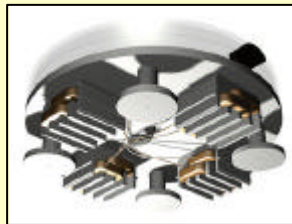


Elektromagnetische Antriebssysteme

Planarmotoren

Funktionsprinzip des 3-Koordinaten-Planarmotors

- Bewegung in 3 Koordinaten ohne mech Bewegungswandler
 - X- und Y-Richtung und Drehung um eigene Achse (ϕ)
- Unterseite des Motorkopfes
 - vier orthogonal angeordnete Induktoren und Luftlager



Elektromagnetische Antriebssysteme

Planarmotoren

Funktionsprinzip des 3-Koordinaten-Planarmotors

- Induktoren sind geblecht, besitzen zwei Stränge
- Grundplatte aus magnetisch leitfähigem Stahl mit Kupferauflage
- Induktor erzeugt magnetisches Wanderfeld
- induzierte Spannungen in Kupferauflage und resultierende Ströme ergeben Vorschubkräfte
- Grundplatte homogen ausgeführt → in jeder Lage gleiche Vorschubkräfte

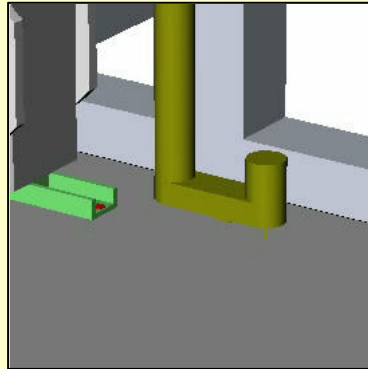




Elektromagnetische Antriebssysteme

Planarmotoren

Anwendung - Leiterplattenbestückung



© Daniel Kling | MK00

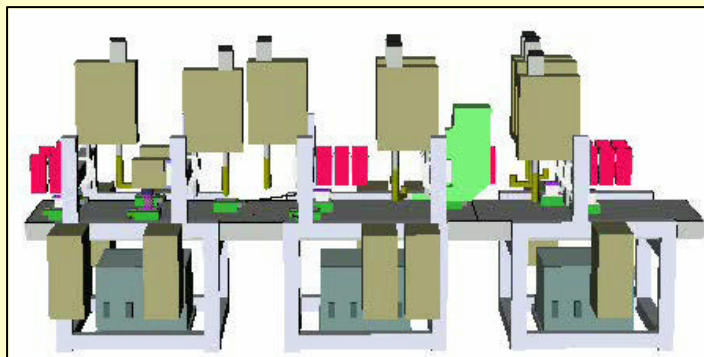
- Planarmotoren -



Elektromagnetische Antriebssysteme

Planarmotoren

Anwendung - Fertigungsstraße



© Daniel Kling | MK00

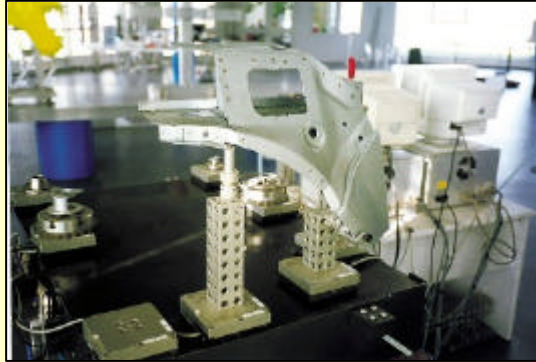
- Planarmotoren -



Elektromagnetische Antriebssysteme

Planarmotoren

Anwendung - Autoindustrie



© Daniel Kling | MK00

- Planarmotoren -



Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid



© Daniel Kling | MK00

- Der Transrapid -

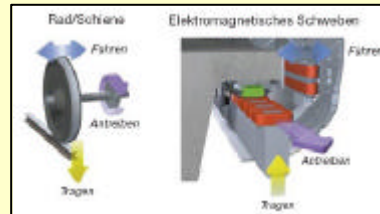


Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Allgemein

- schwebt, anstatt zu rollen
- besitzt keine Räder, Achsen, Getriebe
- benötigt keine Oberleitung
- anstelle Rad und Schiene elektromagnetisches Trag-, Führ- und Antriebssystem
- Geschwindigkeiten bis 500km/h
- sicherstes Verkehrsmittel, da Schiene umgriffen wird

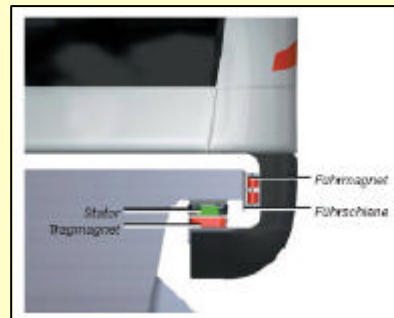


Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Trag- und Führsystem

- wichtige Elemente:
 - im Fahrzeug einzeln angeordnete elektronisch geregelte Elektromagnete
 - ferromagnetische Reaktionsschiene
- Tragmagnete ziehen Fahrzeug von unten heran
- Führungsmagnete halten es seitlich in Spur
- Abstand zwischen Führungsmagnet und Führungsschiene 10mm (elektronisch geregelt)
- Fahrwegtisch und Fahrzeugunterseite 15cm Abstand



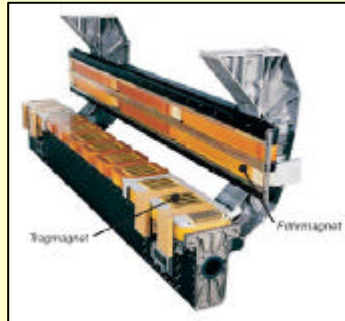


Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Trag- und Führsystem

- wichtige Elemente:
 - im Fahrzeug einzeln angeordnete elektronisch geregelte Elektromagnete
 - ferromagnetische Reaktionsschiene
- Tragmagnete ziehen Fahrzeug von unten heran
- Führungsmagnete halten es seitlich in Spur
- Abstand zwischen Führungsmagnet und Führungsschiene 10mm (elektronisch geregelt)
- Fahrwegtisch und Fahrzeugunterseite 15cm Abstand

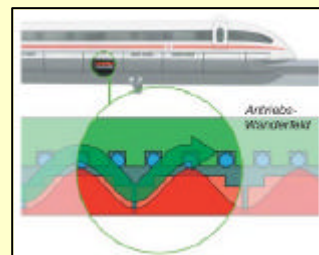


Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Antriebssystem

- Antrieb (und Bremse) ist ein synchroner Langstator-Linearmotor
- Fortbewegung mittels elektromagnetischem Wanderfeld
- stufenlose Geschwindigkeitsänderung durch Frequenzänderung des Drehstromes
- bremsen durch Änderung der Krafrichtung (Motor → Generator, Bremsenergie wird Netz wieder zugeführt)



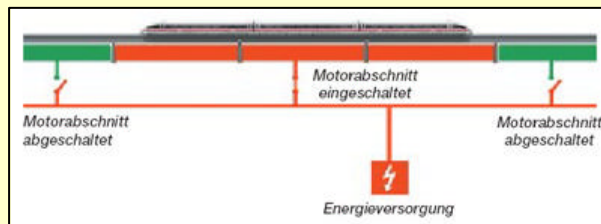


Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Antriebssystem

- Fahrweg unterteilt in einzelne Schaltabschnitte
- nur dort mit Energie versorgt, wo sich Fahrzeug befindet
- Abstand und Leistung der Unterwerke je nach Anforderung
 - hohe Leistung bei Steigungen, Beschleunigungs- und Bremsabschnitten



© Daniel Kling | MK00

- Der Transrapid -

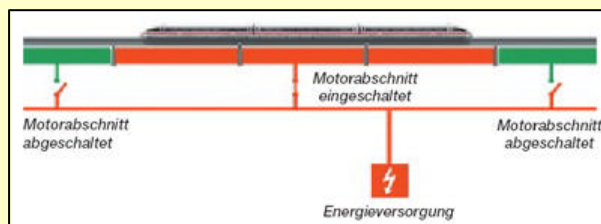


Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Antriebssystem

- Speisung Trag- und Führsystem über in Tragsmagneten integrierte Linear-generatoren
- bei Stromausfall noch 1h Schwebезustand durch Bordbatterien
- Bordbatterien werden während Fahrt geladen



© Daniel Kling | MK00

- Der Transrapid -

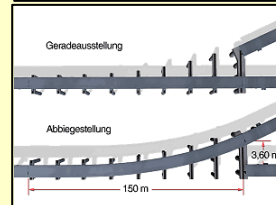


Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Fahrweg

- TR schwebt auf Doppelspurfahrweg
- zu ebener Erde oder auf schlanken Stützen geführt
- bis zu 61m lange Träger aus Stahl oder Beton
- Spurwechsel über Stahlbiegeweichen
 - 80m für Geschwindigkeiten bis 100km/h
 - 150m für Geschwindigkeiten bis 200km/h



© Daniel Kling | MK00

- Der Transrapid -

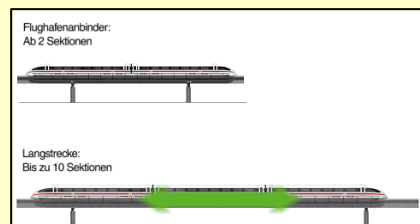


Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Fahrzeug

- ein Fahrzeug hat mindestens zwei Sektionen (jeweils ca. 90 Sitzplätze)
- je nach Verkehrssituation max. 10 Sektionen (zwei Bug- und 8 Mittel-Sektionen)
- auch Frachttransport möglich
- je Gütersektion 15t Nutzlast
- Beschleunigungsvermögen wird nicht beeinflusst, da Antrieb auf jede Sektion wirkt



© Daniel Kling | MK00

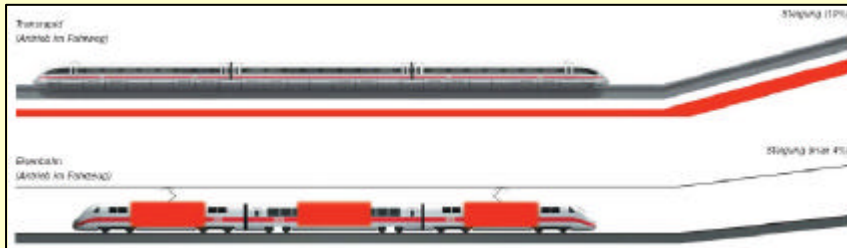
- Der Transrapid -



Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Vergleiche und Statistiken



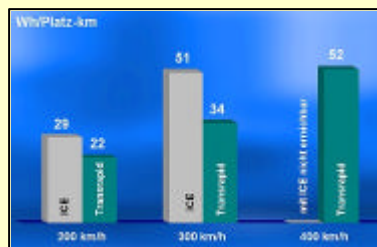
Strecken mit bis zu 10% Steigung sind für den Transrapid kein Problem.



Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Vergleiche und Statistiken



Bei gleichem Energieeinsatz liegt die Leistung eines Transrapid wesentlich höher als die einer normalen Hochgeschwindigkeitseisenbahn.

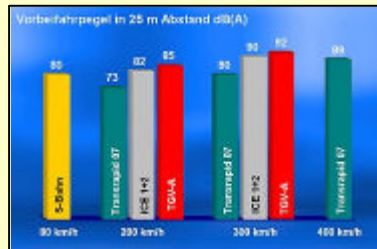




Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Vergleiche und Statistiken



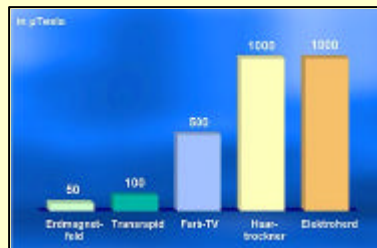
Bei Geschwindigkeiten um 200km/h ist der Transrapid kaum zu hören, da keine Roll- und Antriebsgeräusche entstehen. Bei 400km/h ist er nicht lauter als eine wesentlich langsamere Eisenbahn.



Elektromagnetische Antriebssysteme

Anwendung für Linearantrieb - Der Transrapid

Vergleiche und Statistiken



Die magnetische Feldwirkung ist vergleichbar mit dem natürlichen Magnetfeld der Erde.



**Vielen Dank
für die Aufmerksamkeit ...**

