

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	1
1 GRUNDLAGEN.....	3
1.1 HISTORISCHES ZUM MAGNETISMUS.....	3
1.2 WAS IST EIGENTLICH MAGNETISMUS?	4
2 RADIALMOTOREN.....	5
2.1 ARTEN VON RADIALMOTOREN.....	5
2.2 GLEICHSTROMMOTOREN.....	5
2.2.1 <i>Aufbau</i>	5
2.2.2 <i>Funktionsweise von Gleichstrommotoren</i>	7
2.2.3 <i>Leistungen und Anwendungen</i>	8
2.3 WECHSELSTROMMOTOREN – DER UNIVERSALMOTOR.....	8
2.3.1 <i>Funktionsweise</i>	8
2.3.2 <i>Anwendungsgebiete</i>	9
2.4 DREHSTROMMOTOREN.....	9
2.4.1 <i>Prinzip von Asynchronmotoren</i>	10
2.4.2 <i>Anwendungsgebiete von Asynchronmotoren</i>	11
2.4.3 <i>Prinzip von Synchronmotoren</i>	11
2.4.4 <i>Anwendungsgebiete von Synchronmotoren</i>	12
3 LINEARMOTOREN	12
3.1 FUNKTIONSPRINZIP	12
3.2 VORTEILE VON LINEARMOTOREN.....	12

3.2 VORTEILE VON LINEARMOTOREN.....	13
3.3 EINSATZBEREICHE VON LINEARMOTOREN.....	13
3.4 LINEARMOTOREN - TASTEN UND MESSEN	13
3.5 DER X-Y-KREUZTISCH	14
4 PLANARMOTOREN	15
4.1 FUNKTIONSPRINZIP VON 3-KOORDINATEN-PLANARMOTOR.....	15
5 DER TRANSRAPID	16
5.1 TRAG- UND FÜHRSYSTEM.....	16
5.2 ANTRIEBSSYSTEM.....	17
5.3 FAHRWEG.....	18
5.4 FAHRZEUG.....	18
5.5 VERGLEICHE UND STATISTIKEN.....	19
QUELLENANGABEN	21
BILDERVERZEICHNIS	22
EIN WORT ZUM SCHLUSS	23

1 Grundlagen

1.1 Historisches zum Magnetismus

Die Entdeckung der Existenz von Magnetismus führt uns zurück bis ins Griechenland des fünften Jahrhunderts vor Christus. Der Name wird abgeleitet aus der griechischen Mythologie, wo zum einen der Fundort von magnetischem Eisenerz, die thessalische Stadt Magnesia, benannt wird, und zum anderen wird ein griechischer Schäfer namens Magnes erwähnt.

Später, im zweiten Jahrhundert nach Christus, wurde in China die Existenz von magnetischen Nadeln beschrieben. Es dauerte nicht mehr lang und die erste praktische Anwendung des Magnetismus fand sich in der Form von Kompassen wieder. Um allerdings große Fortschritte in der Magnettechnik zu vollziehen, musste erst die industrielle Herstellung von Magnetwerkstoffen möglich sein. Ein sehr wichtiges Ereignis war hierbei die Entdeckung der Beziehung zwischen Magnetismus und Elektrizität durch Hans Chr. Oersted im Jahre 1820. Sie bildet die Grundlage für die uns bekannten Anwendungsgebiete. Danach gelang es, erste Permanentmagnete (kohlenstoffhaltige Stähle) herzustellen, die ihre Anwendung vorrangig in der Elektrotechnik fanden. Sie wurden zum Beispiel in Dynamos oder Motoren eingebaut.

Bahnbrechende Erfolge erzielten 1932 Curie, Longerin und Weiss, als sie bei der Entwicklung neuer industriell nutzbarer Werkstoffe den Alnico-Magneten entdeckten. Dieser besteht aus den Elementen Nickel, Kobalt, Aluminium und Eisen und besitzt eine bedeutend gesteigerte Energiedichte und eine höhere magnetische Stabilität.

Seit den sechziger Jahren stellen Hartferrite im Hinblick auf gesteigerte Koerzitivfeldstärke und günstigere Materialpreise das Hauptvolumen eingesetzter Magnetwerkstoffe dar. Ab diesem Zeitpunkt verlief die weitere Entwicklung sehr schnell und das Leistungspotential verzehnfachte sich durch neue Werkstoffe auf Samarium-Kobalt- und Neodym-Eisen-Basis.

Die Ressourcen in der Entwicklung von Magnetwerkstoffen sind noch nicht ausgeschöpft und es werden noch viele Fortschritte erwartet.

1.2 Was ist eigentlich Magnetismus?

In der Physik wird zwischen vier Urkräften unterschieden, der Schwerkraft, der schwachen Kraft, der starken Kraft und der elektromagnetischen Kraft. Sie ist wird außerdem auch als lang reichweitige Kraft bezeichnet. Hierbei tauschen die Elektronen untereinander Informationen über ihren Ladungszustand aus. Dies geschieht über Botenteilchen, den so genannten virtuellen Photonen. Auf virtuelle Photonen möchte ich an dieser Stelle nicht tiefgründig eingehen, da dies schon Thema für eine komplette Belegarbeit ergeben würde. Nur soviel sei gesagt, dass sie im Gegensatz zu realen Photonen als quasifreie Teilchen nur für kurze Zeit, gegeben durch die Unschärferelation, existieren.

Für den Ferromagnetismus bei permanenterregten Magneten ist der Spin, die Eigenrotation, der Elektronen verantwortlich. In einem Permanentmagneten sind die Rotationsebenen der einzelnen Elektronen in eine Richtung fixiert. Die Stärke des nach außen hin wirkenden Magnetfeldes wird durch die Masse der atomaren Einzelmagnete bestimmt. Hieraus kann man erkennen, dass keine „Magnetkraft“ gespeichert oder erzeugt werden kann.

Ein besonders interessantes Phänomen kann man beobachten, wenn man einen Permanentmagneten in zwei Teile zerlegt. In diesem Fall entstehen zwei neue Magnete mit jeweils einem Nord- und Südpol. Dieses Spiel kann man eine Weile fortführen, bis wir den Magneten in nahezu unendlich viele kleine Magnete, den so genannten Elementarmagneten, zerlegt haben.

Natürlich können metallische Stoffe auch magnetisiert werden. Erreichen lässt sich das durch Anlegen eines externen Magnetfeldes, vorzugsweise durch eine Stromspule mit Fe-Metall-Joch. Im Gegensatz zu para- oder diamagnetischen Werkstoffen behalten ferromagnetische Materialien die während des Magnetisierens erzeugte Ausrichtung der Elektronen-Rotationsebenen größtenteils bei.

Den heutigen Materialforschern ist es durch intensive Arbeit gelungen, die Dichte und Stabilität der Orientierung der Einzelmagnete extrem zu steigern.

2 Radialmotoren

2.1 Arten von Radialmotoren

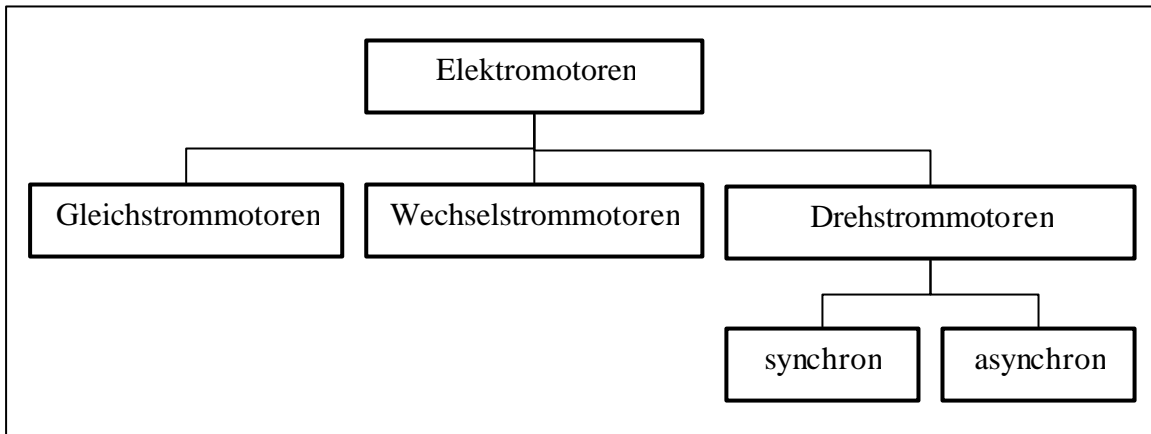


Bild 2-1: Klassifizierung von Elektromotoren

2.2 Gleichstrommotoren

2.2.1 Aufbau

Der Gleichstrommotor ist eine Außenpolmaschine, das heißt, dass sich im Erregerfeld des Hauptpols eine drehbar gelagerte Leiterschleife befindet. Im Wesentlichen besteht eine Gleichstrommaschine aus zwei Elementen, dem Stator und dem Rotor. Diese beinhalten weitere Teile, wie den Kommutator (Bild 2-2: blau/orange) und die Kohlebürsten (Bild 2-2: rot).

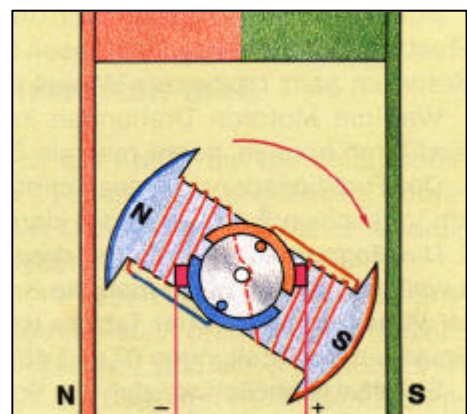


Bild 2-2: Vereinfachte Darstellung eines Gleichstrommotors

Der Stator, auch Ständer genannt, trägt die Hauptmagneten mit den Erregerwicklungen (Spulen). Diese sind nicht immer wichtig, denn wie man es im Bild 2-2 sehen kann, funktionieren Gleichstrommotoren auch mit Dauermagneten. Neben den Erregerwicklungen trägt er je nach Motortyp Kompensationswicklungen und Wendepolwicklungen. An ihm sind auch die Halterungen für Kohlebürsten befestigt, auf die nachher noch eingegangen wird. Der Ständer gewährt zudem den äußeren magnetischen Rückschluss der Hauptpole, bei dem die Feldlinien zum Ausgangspol

zurückgeleitet werden. Der Stator erfüllt auch einige mechanisch bedingte Aufgaben, wie zum Beispiel die Standfestigkeit des Motors oder den Schutz vor äußeren Einflüssen. Große Motoren können zum Transport an einem am Ständer angeschweißten Ring aus ihrer Verankerung gehoben werden.

Der Rotor, oder Anker, ist auf einer Stahlwelle aufgebracht. Er wird geblecht ausgeführt, das heißt er besteht aus einzelnen zusammengepressten Dynamoblechen. Diese Bleche sind auf je einer Seite isoliert und haben eine Blechdicke von zirka 0,5mm. Je nach Bauart des Ankers werden die Bleche in verschiedenen Formen gestanzt. Ein zusammengepresstes Blechpaket ergibt letztendlich einen Zylinder mit mehreren längsseitigen Einkerbungen die dann der Aufnahme der einzelnen Wicklungen dienen.

Die Anfänge und Enden der Ankerspulen sind an die Lamellen des Kommutators angeschlossen. Für die Stromzufuhr sind die Kohlebürsten zuständig. Sie gleiten auf dem Stromwender und ergeben somit einen Gleitkontakt. Kohle (oder Grafit) eignet sich nicht nur wegen der relativ guten Leitfähigkeit für diese Aufgabe, sondern wird auch gewählt, da sie auch die Funktion eines Schmiermittels übernimmt. Im Betrieb werden kleine Kohlepartikel abgeschliffen und sammeln sich auf der Kommutatoroberfläche als Gleitmittel an. Der Kommutator und die Bürsten bilden zusammen einen mechanischen Schalter oder Wechselrichter. Dieser sorgt für die Umkehr der Stromrichtung. Gefertigt wird er überwiegend aus einer Pressstoffmasse, in die keilförmige Kupfersegmente (Stège, Lamellen) eingelassen werden. Wie schon erwähnt, sind die Stromwenderlamellen elektrisch mit der Ankerwicklung verbunden. Hierbei wird das Ende der Wicklung immer an die gegenüberliegende Lamelle gelötet, an der sich schon der Anfang der Wicklung befindet. Der Stromwender ist notwendig, um das Weiterdrehen der Schleife zu gewährleisten. Im Moment des Durchganges des Kommutators durch den Totpunkt muss die Stromrichtung umgekehrt werden. Mit der Stromrichtung ändert sich auch die auf die Schleife wirksame Kraft, was auch eine Drehmomentumkehr zur Folge hat. Verständlich wird dies anhand der folgenden Erklärung der Funktionsweise von Gleichstrommotoren.

2.2.2 Funktionsweise von Gleichstrommotoren

Im Folgenden möchte ich nun die Funktionsweise eines Gleichstrommotors näher erläutern. Ich nutze hierzu die folgende Darstellung.

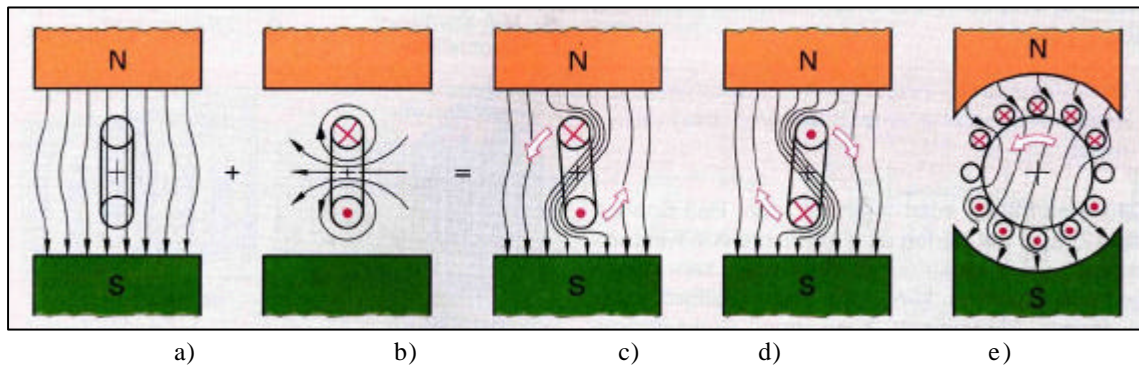


Bild 2-3: Funktionsweise eines Gleichstrommotors

Im Bild 2-3 a) ist der Anker parallel zu den Feldlinien des Dauermagneten ausgerichtet. Die Ankerwicklung setzt sich aus zwei Spulenhälften zusammen (Kreise am jeweiligen oberen oder unteren Ende des Ankers). Im Bild 2-3 b) betrachten wir die stromdurchflossene Spule. Hier können wir sehen, dass sich um die Leiter ein Magnetfeld mit entgegengesetztem Drehsinn ausgebildet hat. Dieses Feld überlagert sich nun mit dem Erregerfeld, wie in Bild 2-3 c) veranschaulicht ist. Betrachten wir die linke Seite der unteren Spulenhälfte. Hier lässt sich feststellen, dass es zu einer starken Verdichtung der Feldlinien kommt. Aus der Physik ist bekannt, dass zusammengedrückte Feldlinien die Eigenschaft haben, sich voneinander abzu stoßen. Es erfolgt demzufolge eine Kraftwirkung in Richtung des verminderten Feldbereiches (weiße Pfeile) und somit auch eine Drehbewegung der Leiterschleife. In Bild 2-3 d) wird das Ganze bei veränderter Stromrichtung in der Ankerwicklung betrachtet. Logischerweise dreht sich die Leiterschleife in diesem Fall in die andere Richtung. Bild 2-3 e) zeigt die Kraftwirkung auf einen herkömmlichen Trommelanker. Diesen findet man in vielen handelsüblichen Gleichstrommotoren wieder. Er weist nicht nur eine Ankerwicklung auf, sondern gleich mehrere. Somit vergrößert sich die abgegebene Kraftwirkung auf den Anker und es resultiert ein größeres Drehmoment.

2.2.3 Leistungen und Anwendungen

Der Vorteil von Gleichstrommotoren besteht eindeutig in der einfachen Drehzahl und Drehmomentänderung. Er wird deshalb in allen Größenordnungen gebaut. Je nach Anwendung werden Motoren mit Leistungen unter 1W bis hin zu Motoren mit 10kW (bei 1500V) hergestellt. Relativ weit verbreitet sind dauermagneterregte Motoren mit einer Leistung von zirka 100W. Sie finden Einsatz in der Automobilindustrie als Scheibenwischer-, Gebläse- und Stellmotoren oder in der Industrie in Werkzeugmaschinen, Förderanlagen und Walzstraßen.

2.3 Wechselstrommotoren – Der Universalmotor

Bei dem Gebiet der Wechselstrommotoren möchte ich mich nur auf den Universalmotor, beschränken. Da er durch seine Eigenschaft, wahlweise mit Gleich- oder mit Wechselstrom betrieben zu werden, meiner Meinung nach recht interessant erscheint.

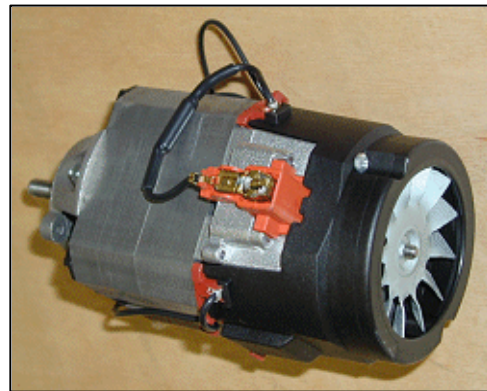


Bild 2-4: Universalmotor

Eigentlich ist der Universalmotor ein Gleichstromreihenschlussmotor. Um ihn mit Wechselspannung betreiben zu können muss der Stator geblecht ausgeführt sein, um Wirbelströme zu unterdrücken.

2.3.1 Funktionsweise

Bei einem Universalmotor sind die Erregerwicklung und die Ankerwicklung in Reihe geschaltet. Diese Reihenschaltung bewirkt, dass sich der Erregerfluss nicht konstant, sondern proportional zum Belastungsstrom verändert. Darum wird die Windungszahl bei dieser Art von Motoren auch relativ klein gehalten, während die Wicklungen einen großen Durchmesser besitzen.

Der Drehzahlabfall sowie auch der Fluss sind nicht konstant, diese beiden Größen sind abhängig vom an der Motorwelle angreifenden Lastmoment. Die Drehzahl des Motors nimmt bei Belastung stark ab. Diese Eigenschaft, auch „Nachgiebigkeit“ genannt, ist ein Vorteil von Universalmotoren, denn dem Netz wird für alle Drehzahlen eine nahezu konstante elektrische Leistung entnommen, was sich günstig auf den Netzbetrieb auswirkt. Die Richtung des aus dem Netz fließenden Stromes hat keinen Einfluss auf die Drehrichtung des Ankers, da sich im Wechselstrombetrieb die Stromrichtung gleichzeitig in Ständer und Läufer ändert. Eine Drehmomentumkehr kann man erreichen, in dem man in einer der Wicklungen eine Stromrichtungsumkehr vornimmt. Die Drehzahl ist über Vorwiderstände möglich.

Ein Nachteil von Universalmotoren ist, dass bei einer plötzlichen Abnahme der Belastung das Drehmoment stark ansteigt, man spricht auch vom „Durchgehen“ des Motors. Eine Gegenmaßnahme hierzu wäre zum Beispiel, dass man den Motor ausreichend dimensioniert, so dass er die höchste auftretende Drehzahl, welche durch den Widerstand der Wicklungen und die innere Reibung des Motors gegeben ist, aushält. Bei Motoren größerer Leistung wird dem „Durchgehen“ mittels Fliehkraftschaltern oder Nebenschlusswicklungen entgegengewirkt.

2.3.2 Anwendungsgebiete

Universalmotoren kommen in elektrischen Haushaltsgeräten, in elektrischen Werkzeugen aber auch in Spielzeuglokomotiven zum Einsatz.

2.4 Drehstrommotoren

Der Aufbau und die Wirkungsweise von Drehstrommotoren basieren auf einem Drehfeld. Ein Drehfeld wird durch einen dreiphasigen Wechselstrom, bzw. einen Drehstrom. Die Wicklungen, in denen das Drehfeld erzeugt wird, befinden sich im Stator. Man unterscheidet zwischen zwei verschiedenen Möglichkeiten, den Anker anzutreiben. Zum einen kann das Drehfeld eine Spannung im Läufer induzieren, man spricht dann von so genannten Drehstromasynchronmotoren (Bild 2-5 links), und zum anderen kann das Drehfeld direkt in Wechselwir-

kung mit dem Magnetfeld des Läufers treten, man spricht dann von Drehstromsynchronmotoren (Bild 2-5 rechts).

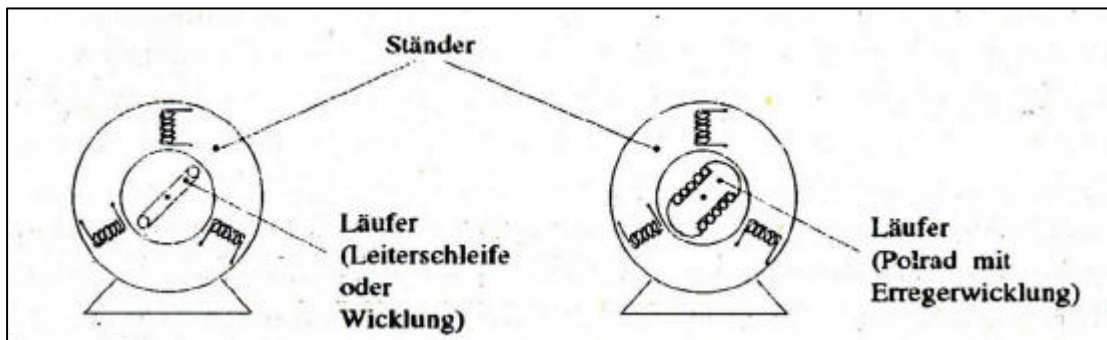


Bild 2-5: Asynchron- und Synchronmotor

2.4.1 Prinzip von Asynchronmotoren

Beim Anschluss an das Drehstromnetz bildet sich im dem Raum, wo sich der Läufer befindet, augenblicklich ein Drehfeld mit der Drehzahl n_s aus. Die Leiterschleife steht im Einschaltmoment noch still ($n=0$). Nun wird in der Schleife eine Spannung induziert, die einen starken Strom erzeugt. Die Ursache für diese Induktion ist der Drehzahlunterschied (Relativgeschwindigkeit) zwischen Drehfeld und Läufer. Das Feld des Läuferstromes ist beim Zusammenwirken mit dem Drehfeld allerdings bestrebt, der Induktionsursache entgegenzuwirken, Dies geschieht durch die Bewegung des Läufers mit einer Drehzahl n in Richtung des Drehfeldes. Den Drehzahlunterschied zwischen Läufer und Drehfeld ist niemals Null. Man bezeichnet ihn auch als Schlupfdrehzahl Δn .

Der Schlupf erreicht deshalb nie den Wert Null, weil sich dann der den Läufer durchsetzende Fluss wegen der gleichen Rotationsgeschwindigkeit von Drehfeld und Läufer nicht mehr ändern würde. Somit würde kein Strom mehr induziert und es gäbe keine Kraftwirkung mehr im Drehfeld. Man kann also abschließend sagen, dass die Drehzahl des Drehfeldes bei Asynchronmaschinen immer größer ist, als die Läuferdrehzahl. Davon leitet sich auch der Name „Asynchronmotor“ ab.

2.4.2 Anwendungsgebiete von Asynchronmotoren

Kleine Asynchronmotoren, unter 1kW Leistung, werden in großer Stückzahl produziert und finden ihren Einsatz in Haushalt und Gewerbe. Asynchronmotoren von mittlerer Leistung werden als Käfigläufermotoren in Dreiphasensystemen in der Industrie eingesetzt. Ihre Grenzleistung steigt in etwa proportional mit der Polzahl. Die größten Motoren dieser Art werden mit 3,6-10kV betrieben und sind zum Beispiel in Kraftwerken oder Turboverdichtern in Strahlwerken zu finden.

2.4.3 Prinzip von Synchronmotoren

Der Synchronmotor arbeitet ähnlich wie der Asynchronmotor nach dem Prinzip der Wechselwirkung zwischen den Feldern des induzierten Läuferstromes und des Ständerstromes. Der einzige Unterschied besteht darin, dass das Läuferfeld nicht erst durch Induktion hergestellt werden muss, da es schon als Magnet vorhanden ist. Entweder ist im Anker ein Permanentmagnet oder, bei größeren Motoren, ein mit Gleichstrom gespeister Elektromotor vorhanden.

Im Betrieb stellt sich der Läufer entsprechend der Richtung des erzeugten Drehfeldvektors ein, vergleichbar mit einer Kompassnadel, die sich nach dem Magnetfeld der Erde ausrichtet. Somit wird der Läufer in Rotation versetzt. Eine Drehzahldiffe-

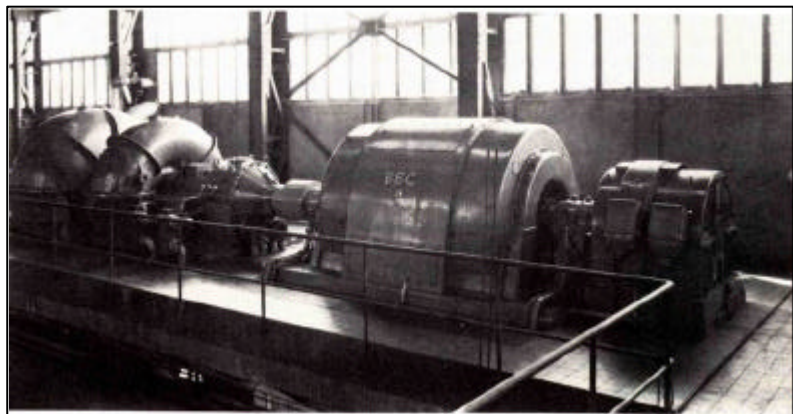


Bild 2-6: Synchronmotor mit Anlaufhilfe

renz gibt es nicht, da der Läufer dem erzeugten Drehfeld exakt folgt und somit ist auch der Name „Synchronmotor“ erklärt. Synchronmotoren sind nicht in der Lage, von selbst anzulaufen. In Bild 2-6 ist ein Synchronmotor zu sehen, der von einem Gleichstrommotor (rechts) angelassen wird. Letzterer wird bei der erreichten Nenndrehzahl abgeschaltet.

2.4.4 Anwendungsgebiete von Synchronmotoren

Wegen der genauen Synchronität ist der Motor gerade in Anwendungen mit kleinen Leistungsbereichen, wie zum Beispiel Uhrenantrieben, sehr oft vertreten. Aber auch in der Industrie, wie zum Beispiel in Zementmühlen, Förderanlagen und Walzgerüsten sind sie oft anzufinden. Hier sind Motoren mit einer Spitzenleistung von bis zu 30MW vertreten. Im mittleren Leistungsbereich sind Synchronantriebe selten.

3 Linearmotoren

3.1 Funktionsprinzip

Die Funktion eines Linearmotors entspricht in gleicherweise der eines Drehstrommotors. Die aus der Wechselwirkung einer stromdurchflossenen, dreiphasigen Spule und einem Permanentmagnetfeld resultierende Kraft erzeugt eine lineare Bewegung. Es entsteht ein elektromagnetisches Wanderfeld. Die Motorwicklung von Linearmotoren befindet sich im beweglichen Schlitten. Die Schiene mit wechsellagig angeordneten Magneten ist der Sekundärteil.

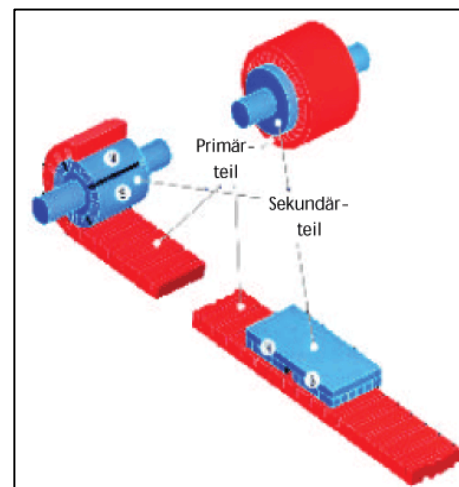


Bild 3-1: Vom Radial- zum Linearmotor

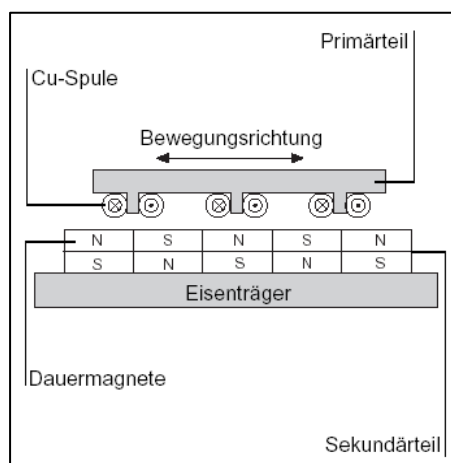


Bild 3-2: Funktionsprinzip des Linearantriebes

Durch ein magnetisches Messsystem kann die Position des Läufers ermittelt werden. Eine Veränderung der Phase und Amplitude beeinflusst die Bewegungsrichtung und Antriebskraft.

3.2 Vorteile von Linearmotoren

Durch Wegfall von mechanischen Elementen, wie zum Beispiel dem Getriebe, der Kupplung und der Zahnriemen gibt es beim Linearmotor keine mechanischen Elements. Das verleiht ihm viele Vorteile gegenüber Radialmotoren. Zum einen besitzen Lineardirektantriebe eine sehr hohe Standzeit und Zuverlässigkeit. Sie besitzen eine sehr hohe Positioniergenauigkeit ohne dass ein Überschwingen auftritt. Der Kraftaufbau geschieht direkt. Das Antriebssystem ist wartungsfrei, da keine Reibung entsteht. Des Weiteren haben Linearantriebe eine hohe statische und dynamische Laststeifigkeit. Diese ganzen Vorteile erlauben die Konzipierung von außergewöhnlich kompakten und kostengünstigen Antriebskonzepten.

3.3 Einsatzbereiche von Linearmotoren

Linearmotoren finden wegen ihrer Flexibilität in der Anwendung und Konstruktion in den verschiedensten Bereichen ihre Aufgaben. Unter anderem in der Handhabungs- und Montagetechnik, der Mess- und Prüftechnik, in der Bauteilmarkierung und Identifikation, in der Verpackungsmaschinentechnik, in der Bauteilmontage und Endprüfung in der Mikroelektronik und last but not least in der Medizintechnik.

3.4 Linearmotoren - Tasten und Messen

Die eingebaute Sensorik bei Linearmotoren erlaubt es ihnen, auch als Tast- oder Fühlelemente eingesetzt zu werden. Somit entfallen zusätzliche Abstandssensoren und Lichtschranken. Eine Auswertung der vom Antrieb gelieferten Kraft- und Wegeinformationen ersetzt eine Kontrolle mit Bildverarbeitungssystemen oder dient generell der Qualitätssicherung. Als Beispiel möchte ich ein System zum Verschließen von Flaschen erwähnen. Was üblicherweise in von einigen einzelnen Maschinen erledigt wurde, wird nun von einem Linearmotor mit eingebauter Sensorik gemeistert.

Als erstes wird geprüft, ob der Verschluss und Deckel auf der Flasche vorhanden ist (1). Dann wird der Deckel mittels einer vorher definierten Kraft auf in die Flasche gepresst bis das Linear-motorelement blockiert (2). Zum Schluss wird die erreichte Endlage zur Kontrolle abgefragt (3).

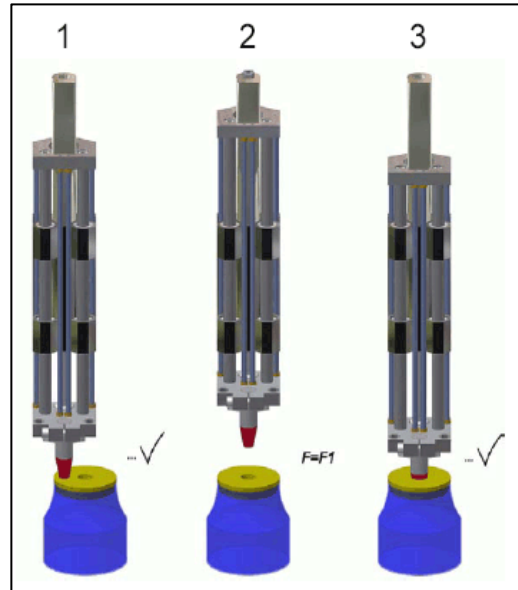


Bild 3-3: Verschließen einer Flasche

3.5 Der X-Y-Kreuztisch

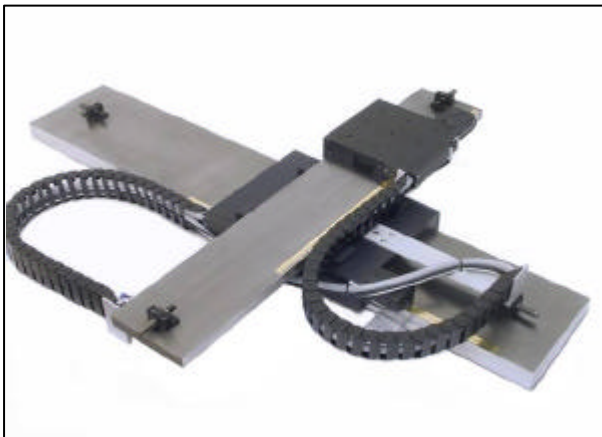


Bild 3-4: X-Y-Kreuztisch

Der X-Y-Kreuztisch ist eine Kombination aus zwei orthogonal angeordneten Standardlineararmotoren mit U-Profil-Läufern. Hierbei ist zu beachten, dass, je länger der Fahrweg, auch der X-Stator breiter dimensioniert werden muss, da auf ihn die Gewichtskraft des Y-Stators lastet. Um diesem bereits ein wenig entgegenzuwirken, wird das Gewicht des Profils des Y-Weges durch Ausfräsen von nicht benötigtem Material um bis zu 50% gesenkt.

Beim X-Fahrweg gibt es hinsichtlich des Fahrweges keine Einschränkungen. Der X-Y-Kreuztisch trägt natürlich auch die Vorteile der Lineararmotoren in sich, nämlich die extreme Genauigkeit, die hohe Dynamik und die Kompaktheit.

4 Planarmotoren

Das Funktionsprinzip der Planarmotoren ist exakt das gleiche wie bei den Linearmotoren. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Läuferelemente in X- und in Y-Richtung angeordnet sind.

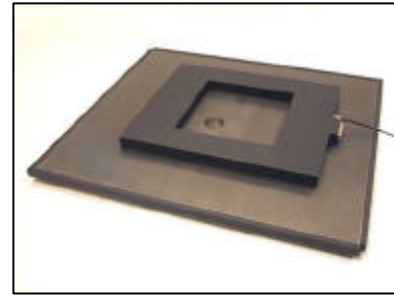


Bild 4-1: Planarmotor

4.1 Funktionsprinzip von 3-Koordinaten-Planarmotor

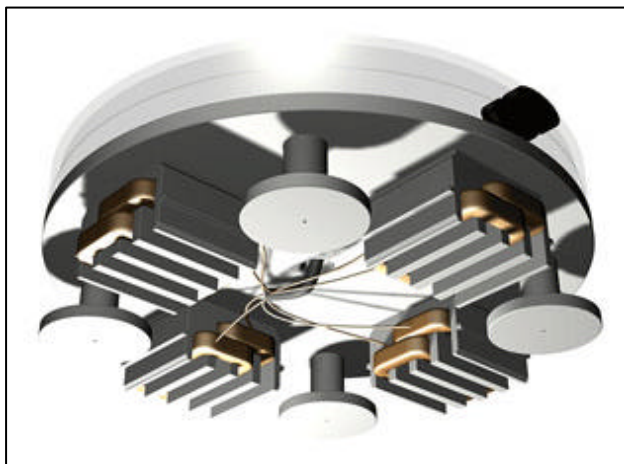


Bild 4-2: 3-Koordinaten-Planarmotor

Die Besonderheit dieses Planarmotors ist, dass sich nicht nur in die X- und Y-Richtung bewegen kann, sondern zusätzlich kann er sich noch um die eigene Achse drehen (phi-Koordinate). Das alles geschieht natürlich ohne mechanische Bewegungswandler. Dies wird durch vier, an der Unterseite des Motorkopfes, angeordnete Induktoren und Luflager

erreicht.

Die Induktoren sind geblecht ausgeführt und besitzen zwei Stränge. Die mit zwei phasenverschobenen Strömen angesteuerten Induktoren erzeugen ein magnetisches Wanderfeld. Die Grundplatte, auf der sich der Motorkopf bewegt, ist aus magnetisch leitfähigem Stahl. Die induzierte Spannung und die daraus resultierenden Ströme ergeben Vorschubkräfte. Da die Grundplatte homogen ausgeführt ist, herrschen unabhängig von der Position immer die gleichen Vorschubkräfte. Auf einer Grundplatte können mehrere Motorelemente gleichzeitig und unabhängig voneinander agieren.



Bild 4-3: Motorkopf

Anwendung findet der 3-Koordinaten Planarmotor in der Leiterplattenbestückung oder auf Fertigungsstraßen in der Autoindustrie.

5 Der Transrapid

Der große Unterschied zu bisherigen Eisenbahnen besteht darin, dass der Transrapid (Bild 5-1) schwebt, anstatt zu rollen. Er besitzt keine Räder und somit auch keine Achsen und Getriebe. Anstelle von Rad und Schiene benötigt er ein Trag-, Führ- und Antriebssystem. Außerdem benötigt er keine Oberleitungen. Im Moment gilt er, trotz seiner hohen Fahrgeschwindigkeit von maximal 500km/h, als sicherstes Verkehrsmittel, da die Schiene umgriffen.



Bild 5-1: Der deutsche Transrapid

5.1 Trag- und Führsystem

Das Trag- und Führsystem der Magnetschwebbahn arbeitet nach dem Prinzip des elektromagnetischen Schwebens (Bild 5-2). Es beruht auf der Wechselwirkung zwischen den am Fahrzeug einzeln angeordneten, elektronisch geregelten Elektromagneten und den ferromagnetischen Reaktionsschienen, die beidseitig unterhalb des Fahrweges installiert sind.

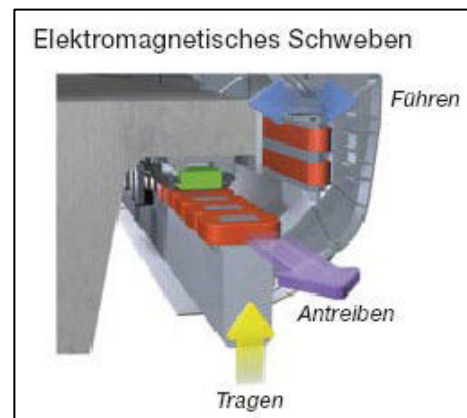


Bild 5-2: elektromagnetisches Schweben

Die Tragsmagnete ziehen das Fahrzeug von unten heran. Der Abstand zwischen Schiene und Fahrzeugboden beträgt 15cm, damit kleine Hindernisse, wie Schnee oder Steine, die Fahrt des

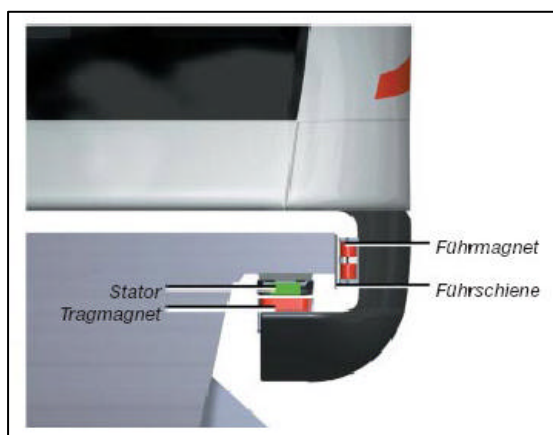


Bild 5-3: Trag- und Führsystem

Zuges nicht beeinträchtigen können. Die Führungsmagnete halten den TR seitlich in der Spur, wobei die mittlere Luftspaltlänge ca. 10mm beträgt. Realisiert wird dies über ein hochzuverlässiges und redundant ausgelegtes elektronisches Regelsystem. Trag- und Führungsmagnete sind über die gesamte Fahrzeuglänge angebracht.

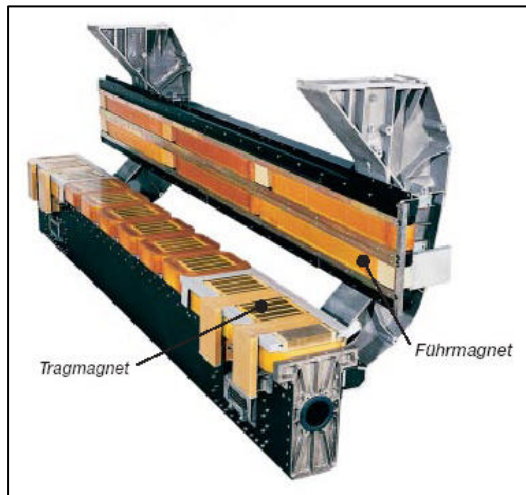


Bild 5-4: Trag- und Führmodul

Das Trag- und Führ- und Antriebssystem ist modular aufgebaut. Es wurde ausgerüstet mit einem automatischen Diagnosesystem, was ihm eine hohe Ausfalltoleranz verleiht. Der Ausfall von einzelnen Komponenten führt also nicht zu Störungen des Betriebes.

5.2 Antriebssystem

Angetrieben und gebremst wird der Transrapid berührungsfrei mittels eines Langstator-Lineararmotors. Das resultierende magnetische Wanderfeld, wie wir es von Lineararmotoren her kennen, bewegt den Zug. Durch die Frequenzänderung des Drehstromes kann eine stufenlose Geschwindigkeitsänderung erreicht werden. Das Bremsen verläuft ebenfalls, wie schon erwähnt, berührungslos. Hier wird die Krafrichtung umgekehrt, so dass der Motor zum Generator wird und mittels Wirbelströmen den Zug bremst. Der nun im Generator entstandene „Reststrom“ wird dem Netz wieder zugeführt.

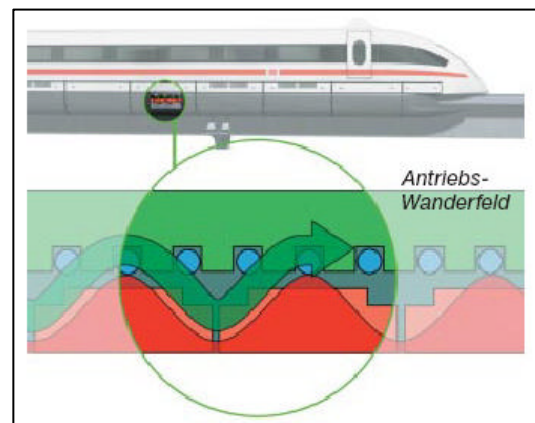


Bild 5-5: Antriebsprinzip

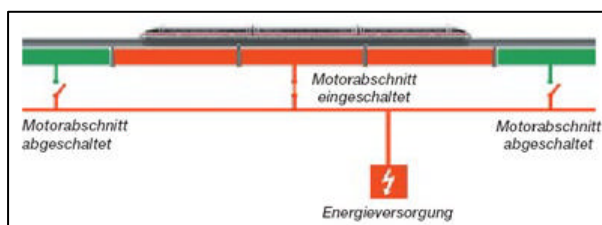


Bild 5-7: Fahrwegabschnitte

Der Fahrweg ist unterteilt in einzelne Schaltabschnitte, die nur dort mit Energie versorgt werden, wo sich auch der TR befindet. Der Abstand und die Leistung wird je nach Anforderungen an die Strecke ausgewählt. Bei Steigungen, Beschleunigungs-

oder Bremsabschnitten wird der Fahrweg für hohe Leistungen ausgelegt. Während bei Strecken mit gleich bleibender Geschwindigkeit wenig Leistung benötigt wird.

Gespeist wird der TR über im Trag- und Führsystem integrierte Lineargeneratoren. Hier werden auch die Bordbatterien aufgeladen, die es dem Zug im Fehlerfall ermöglichen noch eine Stunde im Schwebezustand zu verweilen. In dieser Zeit kann er in den nächsten Bahnhof oder auf spezielle Parkpositionen, die auf längeren Strecken eingerichtet wurden, einfahren.

5.3 Fahrweg

Der Transrapid schwebt auf einem so genannten Doppelspurfahrweg, der entweder zu ebener Erde oder auf schlanken Stützen geführt wird. Die Schienen sind aus Stahl oder Beton gefertigt und haben eine Länge von maximal 61m. Der Spurwechsel geschieht über Stahlbiegeweichen. Je nach befahrener Geschwindigkeit beträgt die Länge der weichen 80 bis 150m. In der Geradeaus-Stellung können sie mit Maximalgeschwindigkeit befahren werden.



Bild 5-8: Arten von Fahrwegen

5.4 Fahrzeug

Ein Transrapid-Fahrzeug besteht aus mindestens zwei Sektionen. Je nach Verkehrssituation können bis zu 10 Sektionen (zwei Bug- und acht Mittelsektionen) verwendet werden. Jede Sektion bietet Platz für zirka 90 Insassen. Neben dem Personentransport ist auch Gütertransport möglich, wobei jede Sektion eine Nutzlast von 15t transportieren kann. Da sich der Antrieb im Fahrweg befindet und somit auf jede Sektion wirkt, wird das Beschleunigungsvermögen des Transrapids nicht durch die Fahrzeuglänge oder das Eigengewicht beeinträchtigt.

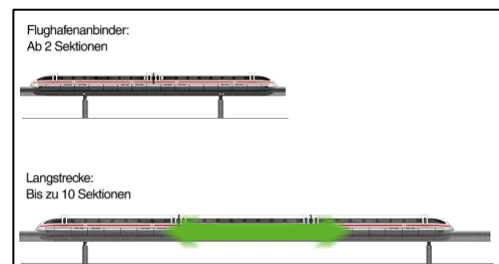


Bild 5-9: Erweiterbarkeit durch Fahrzeugsektionen

5.5 Vergleiche und Statistiken

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

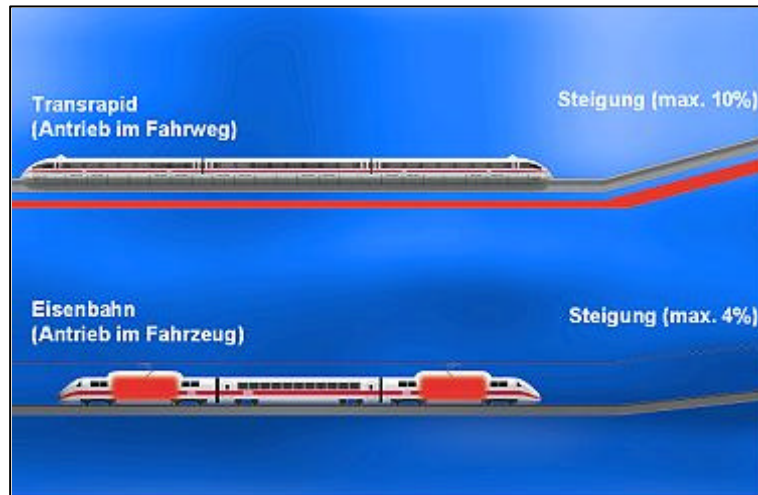


Bild 5-10: Bewältigen von Steigungen

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

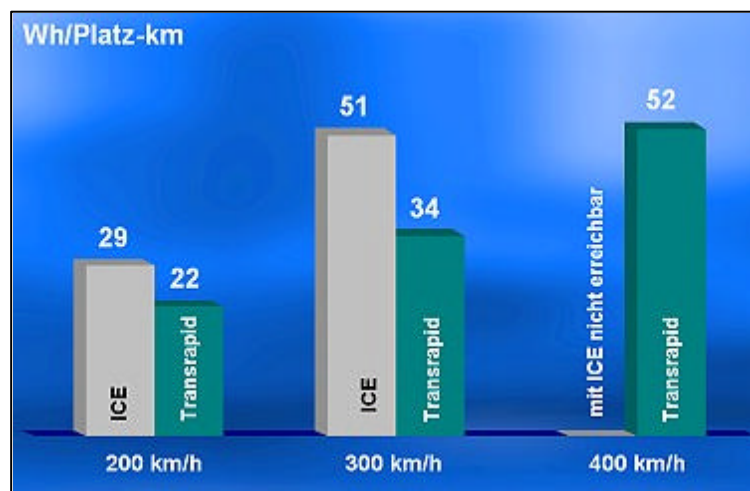


Bild 5-11: Energieverbrauch

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.

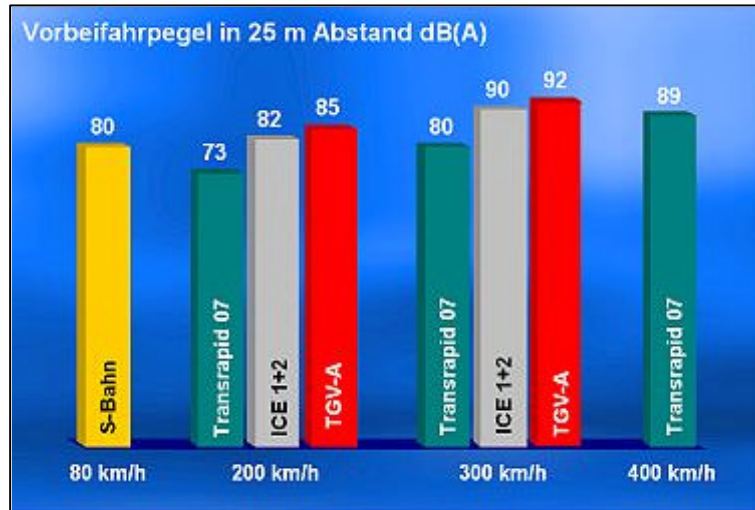


Bild 5-12: Schallentwicklung

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

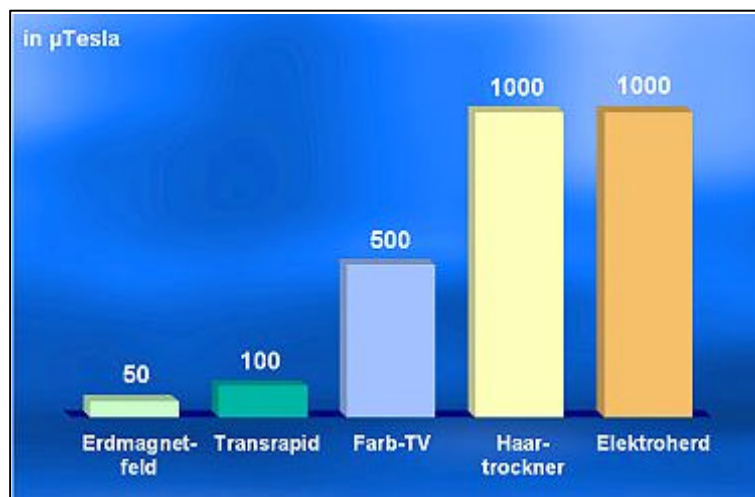


Bild 5-13: magnetische Feldwirkung

Quellenangaben

1. Kapitel: <http://www.magnete-welter.de>
<http://www.uni-muenchen.de>
2. Kapitel: <http://freeweb.dnet.it/motor>
<http://www.elektromotoren.de>
3. Kapitel: <http://www.direktantrieb.de>
<http://www.direktantriebe.de>
4. Kapitel: <http://www.et.fh-jena.de>
<http://www.direktantriebe.de>
5. Kapitel: <http://www.transrapid.de>

Bilderverzeichnis

http://freeweb.dnet.it/motor :	Bild 2-2, 2-3, 2-5, 2-6
http://www.elektromotoren.de :	Bild 2-4
http://www.baumueller.de :	Bild 3-1
http://www.direktantrieb.de :	Bild 3-2, 3-3
http://www.direktantriebe.de :	Bild 3-4, 4-1
http://www.et.fh-jena.de :	Bild 4-2, 4-3
http://www.transrapid.de :	Bild 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5, 5-7, 5-8, 5-9, 5-10, 5-11, 5-12, 5-13

Ein Wort zum Schluss

Nachdem ich das Thema gezogen habe, war ich der Annahme, dass ich dazu nichts Vernünftiges recherchieren könnte. Nach und nach fand ich bei der Recherche immer mehr Quellen, die mir sehr interessante Berichte lieferten. Auch mein privates Interesse wurde geweckt, und so entwickelte sich Stück für Stück dieser Vortrag. Leider gestaltete sich die Recherche nicht immer als leicht. Die Patentrecherche lieferte nicht die gewollten Ergebnisse und Literatur zu Linearmotoren war auch kaum zu finden. In meinen Augen war also die einzige Alternative das Internet, in dem ich schon jahrelang erfolgreiche Recherchen durchgeführt habe und das mich auch diesmal nicht enttäuscht hat. Außerdem zeigten sich auch zwei Firmen sehr kooperativ und sandten mir auf Anfrage Informationsmaterial zu. Das war zum einen die Firma „Schürfeld - Montageautomation“ und zum anderen die Firma „PASIM - Direktantriebe GmbH“. Leider waren nicht alle angesprochenen Unternehmen so kooperativ.

Abschließend kann ich sagen, dass ich viele Erfahrungen gesammelt habe und das damit errungene Wissen auch sicherlich in meiner beruflichen Zukunft weiterverwenden kann und werde.

10.02.2003 - Daniel Kling [MKT00]