



*Manfred RENTMEISTER, o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn., Jahrgang 1939, Vorstand des Institutes für Elektromagnetische Energieumwandlung an der Technischen Universität Graz, Studium der Elektrotechnik in Graz, Hochschulassistent, 1970 Promotion. Von 1970 bis 1976 Industrietätigkeit im Dynamowerk der Siemens AG Berlin, Leiter der Entwicklung elektrischer Triebfahrzeuge, Habilitation. 1976 Ernennung zum Ao. Univ.-Prof., 1987 Berufung zum Ordinarius.*

## Entwicklungsstand spurgebundener elektrischer Triebfahrzeuge

Das Verkehrsbedürfnis - neben anderen ein Maß für den Zivilisationsstand und Lebensstandard eines Landes - steigt mit der technischen Entwicklung und dem wirtschaftlichen Einsatz der Verkehrsmittel. Der Wunsch nach höheren Reisegeschwindigkeiten bei steigender Betriebssicherheit steht dabei meist im Vordergrund der Bestrebungen. Parallel dazu wird heute auf die Einhaltung von Umweltschutzbedingungen immer größerer Wert gelegt und darüber hinaus dürfen zumutbare Grenzen von Reise- bzw. Transportkosten nicht überschritten werden.

### 1. Einleitung

Die dargelegten Aussagen gelten grundsätzlich für sämtliche Verkehrsmittel, sollen jedoch in diesem Zusammenhang vor allem für die spurgebundenen, elektrischen Triebfahrzeuge näher betrachtet werden. Dazu ist es zunächst notwendig, den Begriff der Spurgebundenheit und die sich daraus ergebenden, bereits realisierten und in Zukunft noch zu realisierenden Verkehrsmittel näher zu erläutern. Unter „konventionellen“ spurgebundenen Triebfahrzeugen sollen hier jene verstanden werden, deren wesentlichste Aufgaben - nämlich das Tragen, Führen und Antreiben - durch das ebenso bekannte wie bewährte „Rad-Schiene-System“ bewerkstelligt werden. Hierbei sei in Erinnerung gerufen, daß hinsichtlich des Antriebselementes, dem elektrischen Antriebsmotor also, die Entwicklung vom Gleichstrom über den Wechselstrom zum sogenannten Mischstrommotor (Stichwort: Thyristorlokomotive) gegangen ist. Der diesen Antriebsvarianten gemeinsame kritische Punkt des Kommutators (früher: Kollektor) gehört zwar zu den am höchsten spezialisierten Bauteilen elektrischer Maschinen, ist jedoch heute am Ende seiner technischen Entwicklung

angelangt und legt damit auch den Abschluß in der Reihe der Kommutatormaschinen als Antriebsmotor elektrischer Triebfahrzeuge fest. In folgerichtiger Weise haben die Fortschritte bei der Entwicklung der Elemente der Leistungselektronik und deren Anwendung in der sog. Stromrichtertechnik dazu geführt, daß elektrische Maschinen auch ohne mechanischen Kommutator die Aufgaben drehzahlverstellbarer Antriebsmotoren übernehmen konnten. Auf dem Gebiet der elektrischen Traktion hat dies die nun bereits 30 Jahre andauernde Entwicklungs- und Erprobungsperiode der sog. „Drehstromtechnik“ bewirkt.

Das Prinzip dabei geht von der Speisung dreiphasiger Maschinen mit Spannung veränderlicher Größe und Frequenz aus, wobei als erschwerende Umstände die vorhandenen Energieübertragungsnetze in Form einphasiger Wechselspannungsquellen mit bestimmter, konstanter Frequenz (16 2/3, 25 oder 50 Hz) oder Gleichspannungsquellen angesehen werden müssen. Nichts desto trotz gibt es heute eine Reihe von Energieumwandlungssystemen, welche - am Triebfahrzeug mitgeführt - größere Leistungsfähigkeit er-

bringen, als es mit Hilfe der Kommutatormotoren möglich gewesen ist. Anfahrbeschleunigungen bis zur Grenze des angenehmen Empfindens (z.B. bei U-Bahnen), Anhängelasten bis zur Ausnutzbarkeit der Rechnung zwischen Rad und Schiene (z.B. 1000 t-Güterzüge) und Höchstgeschwindigkeiten über 400 km/h sind heute durchaus als Stand der technischen Entwicklung auf diesem Gebiet zu bezeichnen. Dennoch gibt es Überlegungen mit dem Ziel, etwa den Geschwindigkeitsbereich, der sich zwischen dem eines solchen Schienenfahrzeuges und dem eines Flugzeuges befindet, mit Hilfe eines spurgebundenen Triebfahrzeuges abzudecken. Diese Gedanken führen direkt in das Gebiet der „nicht konventionellen“ Antriebstechnik, bei der die vorhin genannten Aufgaben von Tragen, Führen und Antreiben durch rein magnetische Phänomene erfüllt werden. Dabei ist nicht nur der rotierende Antriebsmotor durch einen Linearmotor zu ersetzen, sondern das gesamte Triebfahrzeug völlig berührungslos fortzubewegen, das heißt entlang seines Weges in vertikaler und horizontaler Lage in „Schwebe“ zu halten.

Von den drei grundsätzlichen Möglichkeiten magnetische Kraftwirkungen aus-

zunützen scheidet hier die mit Hilfe permanenter Magneten aus, sodaß entweder das Prinzip des „elektromagnetischen“ oder jenes des „elektrodynamischen“ Tragens und Führens in Frage kommt. Eine ebenfalls nahezu 30-jährige Entwicklung auf diesen Gebieten (welche allerdings in der Mitte der 70er Jahre durch den ersten sog. Ölschock wesentlich erschüttert und auch gebremst worden ist), ermöglicht heute den Bau von Hochgeschwindigkeitsstrecken mit Linearmotorantrieb und magnetischem Schweben mit Geschwindigkeiten von 500 km/h.

Es sind nicht technische, sondern (verkehrs-)politische Entscheidungen dafür maßgebend, ob wir uns im dritten Jahrtausend mit solchen Verkehrsmitteln fortbewegen werden.

## 2. Konventionelle Technik

Wie bereits angedeutet, bedient sich die konventionelle Traktionstechnik des Rad-Schiene-Systems, welches lange Zeit von der Kommutatormaschine als Antriebsmotor beherrscht wurde. Bei der als Wechselstrommotor ausgeführten Maschine wird dabei die Erregerwicklung geschaltet, wodurch das bekannte Verhalten hinsichtlich Drehmoment und Drehzahl entsteht, welches in vereinfachter Form durch den Zusammenhang  $M$  proportional  $U/n^2$  ausgedrückt werden kann.

Im Bereich kleiner und mittlerer Drehzahlen wird dabei durch Spannungssteuerung erreicht, daß mit konstant bleibendem Drehmoment (und damit konstanter Zugkraft des Triebfahrzeuges) gefahren werden kann. Die Steuerung der Spannungshöhe erfolgt über bis zu 40 Stufen, welche durch entsprechende Wicklungsanzapfungen am Transformator realisiert werden. Erst im oberen Drehzahlbereich arbeitet der Antriebsmotor bei konstanter (voller) Spannung, wodurch ein mit dem Quadrat der Drehzahl abfallender Drehmomentverlauf in Kauf genommen werden muß. Infolge des zeitlich wechselnden Erregerflusses kommt es in dem durch die Bürsten des Kommutators kurzgeschlossenen Wicklungsteil der Ankerwicklung zu einer transformatorischen Spannung. Diese bedingt einen unerwünschten Kurzschlußstrom in diesem Wicklungsteil, der den Kommutierungsvorgang negativ beeinflusst und somit in Grenzen gehalten werden muß.

Die Folge davon sind Einschränkungen bei der Bemessung dieses Motors, wenn auf das Erreichen einer hohen Kommutatorlaufleistung (Anzahl der gefahre-

nen Kilometer zwischen zwei Nachbesserungen des Kommutators bis zu ca. 500.000 km) Wert gelegt wird.

Die Grenzen der Leistungsfähigkeit dieses klassischen Bahnmotors - diese Bezeichnung gebührt auch heute noch dem Kommutatormotor für einphasigen Wechselstrom - sind also einerseits durch die physikalischen Erscheinungen von der Stromwendenspannung während der Kommutierung, der Lamellenspannung als Gefahr gegenüber Rundfeuer und dem Wunsch nach einem guten Leistungsfaktor vorgegeben, liegen aber andererseits auch in den äußeren Bedingungen wie Einbauraum im Drehgestell und der als zulässig erachteten mechanischen Belastung einer angetriebenen Achse begründet [1].

Selbst durch äußerster Ausnützung sämtlicher Materialien in mechanischer, thermischer, elektrischer und magnetischer Hinsicht ist auch in Hinkunft mit keiner wesentlichen Steigerung der Grenzleistung solcher Antriebssysteme mehr zu rechnen. Die letzten Giganten dieser Technik sind in den 6-achsigen Lokomotiven 103 der Deutschen Bundesbahn (Abb. 1) sowie in der Re 6/6 der Schweizerischen Bundesbahn auch heute noch zu bewundern.

Der schwerwiegende Nachteil der transformatorischen Spannung des Wechselstrommotors ließ sich durch den Übergang auf den der Gleichstrommaschine ähnlichen Mischstrommotor einigermaßen beseitigen.

Dabei wird das zeitlich ziemlich konstante Erregerfeld durch die Verwendung eines Gleichrichters unmittelbar nach dem Eingangstransformator des Triebfahrzeuges erreicht. Die sonst sehr aufwendige Spannungssteuerung durch angezapfte Wicklungen an diesem Trans-

formator kann durch gesteuerte Gleichrichterelemente ersetzt werden. Abgesehen von dem zusätzlichen Aufwand an Stromrichtertechnik ist zu berücksichtigen, daß die durch eine einphasige Brückengleichrichtung gehaltene Spannung noch immer eine Welligkeit von etwa 48% aufweist.

Es ist daher zusätzlich eine beträchtliche Induktivität in den Maschinenkreis einzuschalten, um die Welligkeit des Ankerstromes zu verringern und damit die Vorteile des Mischstrommotors tatsächlich nutzen zu können. Durch optimale Anwendung der geschilderten Maßnahmen läßt sich die Leistungsfähigkeit eines Triebfahrzeuges mit Mischstrommotoren gegenüber einem entsprechenden mit Wechselstrommotoren um etwa 10 bis 15% erhöhen.

Das Ergebnis dieser Entwicklung sind die Thyristor-Triebfahrzeuge, welche z.B. in Österreich durch die bekannte Lokomotive der Reihe 1044 der ÖBB (Abb. 2) vertreten sind.

Thyristor-Triebfahrzeuge findet man heute praktisch auf allen elektrifizierten Strecken europäischer und außereuropäischer Netze mit einphasiger Spannungsversorgung, und zwar nicht allein in der Ausführung als Lokomotiven, sondern genauso gut als Triebzüge für Überlandstrecken, Schnell- und Stadtbahnen.

Dennoch war in einigen Ländern die „Thyristortechnik“ nur eine Übergangsentwicklung und wurde als solche kaum realisiert. Es begannen nämlich bereits in den 60er Jahren parallel dazu die konkreten Untersuchungen auf dem Gebiet der „Drehstromtechnik“ mit dem Ziel, die Kommutatormaschine durch die einfachere, wartungsfreundlichere und damit kostengünstigere Drehfeldmaschine zu ersetzen.



Abb. 1: 6-achsige Lokomotive der DB mit Wechselstrom-Fahrmotoren



Abb. 2: 4-achsige (Thyristor)-Lokomotive der ÖBB mit Mischstrom-Fahrmotoren

Es würde den Umfang dieses Beitrages bei weitem übersteigen, jetzt auf die unterschiedlichen Varianten der synchronen und asynchronen Lösungsvarianten einzugehen [2].

Festzuhalten bleibt die Tatsache, daß derzeit der asynchrone Fahrmotor mit Käfigläufer dominiert, welcher mit Hilfe eines relativ aufwendigen Energieumwandlungssystems mit dreiphasiger Spannung veränderlicher Größe und Frequenz gespeist wird.

Dieses besteht zunächst aus einem besonders gesteuerten Eingangsgleichrichter in Form eines sog. 4-Quadrantenstellers mit nachgeschaltetem Saugkreis für die nach dem Gleichrichtervorgang auftretende doppelte Netzfrequenz von  $33 \frac{1}{3}$  Hz. Damit wird einerseits erreicht, daß die in den Zwischenkreis eingespeiste Gleichspannung (etwa 3000 V) mit sehr geringer Welligkeit behaftet ist und andererseits dem einphasigen Energieversorgungsnetz nahezu keine Blindleistung entnommen wird, d.h. praktisch mit Leistungsfaktor  $\cos \varphi = 1$  gefahren werden kann. In dem Gleichspannungszwischenkreis sind Stützkondensatoren vorgesehen, welche als Energiespeicher dienen und trotz pulsierender Wirkleistungsentnahme aus dem Einphasennetz eine konstante Leistungsaufnahme der Drehstrommotoren ermöglichen. Die Drehzahlverstellung der Asynchronmotoren und damit die Geschwindigkeitsverstellung des Triebfahrzeuges erfolgt über die Frequenzänderung an den Pulswechselrichtern, die den Fahrmotoren vorgeschaltet sind. Eine Unterteilung in einzelne Baugruppen je nach Art und Leistungsfähigkeit des Fahrzeuges hat

sich als zweckmäßig erwiesen. So können beispielsweise die vier Motoren der einzelangetriebenen Achsen einer Lokomotive über sechs Wechselrichter gespeist werden, wobei je drei Wechselrichter zu einer Baugruppe zusammengefaßt sind, welche zu einem der zwei Drehgestelle gehören.

Die Grenzen der Leistungsfähigkeit von Energieumwandlungssystemen am Triebfahrzeug liegen im Falle der Drehstromtechnik über jener der Ausführungen mit Kommutatormaschine. Insbesondere ist der Drehstrommotor bei gleicher Leistung wesentlich kleiner und leichter als der Gleich- oder Wechselstromkommutatormotor. Dieser Umstand wirkt sich günstig auf die Gestaltung des Drehgestelles aus, denn vor allem bei Triebfahrzeugen für höhere Geschwindigkeiten ist auf kleine unabgefederte Massen im Drehgestell beson-

derer Wert zu legen.

Die gesamte am Triebfahrzeug installierbare Leistung läßt sich jedoch nur um ein geringes Maß erhöhen, weil vor allem durch den großen volumsmäßigen Aufwand der Leistungselektronik (Gleichrichter, Wechselrichter) die Grenzen des am Wagenkasten zur Verfügung stehenden Einbauraumes bald erreicht sind [3].

Der entscheidende Vorteil der Drehstromtechnik liegt also nicht sosehr in der geringfügig erhöhten Gesamtleistungsfähigkeit, sondern - wie bereits erwähnt - in den leichteren Drehgestellen und in der Tatsache, daß diese Fahrzeuge im gesamten Drehzahlbereich der Motoren, d.h. im gesamten Geschwindigkeitsbereich des Triebfahrzeuges voll ausgenutzt werden können.

Stellvertretend für die vielen ausgeführten Beispiele elektrischer Triebfahrzeuge, welche mit asynchronen Fahrmotoren unter Anwendung dieser „Drehstromtechnik“ betrieben werden, sei die Abb. 3 des gegenwärtig sehr aktuellen Triebzuges ICE gezeigt [4].

Der Vollständigkeit halber muß darauf hingewiesen werden, daß dieses Antriebskonzept im Prinzip sowohl bei der dieselektrischen Traktion wie auch bei sogenannten Mehrsystem-Triebfahrzeugen (z.B. Brennerlokomotive 1822 der ÖBB für 16  $\frac{2}{3}$  Hz, 15 kV Wechselspannungsnetz in Österreich und dem 3 kV Gleichspannungsnetz in Italien) Verwendung findet [5].

Als Beispiel für die weniger bekannte Lösung innerhalb der „Drehstromtechnik“, nämlich der mit synchronen Fahrmotoren soll in diesem Zusammenhang die neueste Version des französischen Schnelltriebzuges TGV genannt werden.



Abb. 3: Intercity-Expres der DB, Triebfahrzeug mit asynchronen Fahrmotoren



### 3. Nichtkonventionelle Technik

Wie bereits erwähnt, soll darunter verstanden werden, daß spurgebundene Fahrzeuge mit hoher Geschwindigkeit angetrieben, getragen und geführt werden, ohne daß es dabei zu einer Berührung zwischen dem bewegten Triebfahrzeug und dem feststehenden Teil kommt.

Voraussetzung dafür sind Kraftwirkungen, welche bei den hier beschriebenen Konzepten auf die Erscheinungen im magnetischen Feld zurückzuführen sind (Kraftwirkungen infolge Düsen- oder Propellerantriebe bzw. Luftkissen und ähnliche sollen in diesem Beitrag nicht behandelt werden).

Zunächst sind die bei solchen Fahrzeugen - in der Literatur unter den Bezeichnungen „Linearmotorbetriebene Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge“, „Magnet-schwebbahnen“ und dergleichen zu finden - bestehende Aufgaben des Antriebes und des Schwebens (Tragen und Führen) voneinander zu trennen. Der berührungslose Antrieb ist in jedem Fall durch einen sogenannten Linearmotor zu bewerkstelligen. Darunter versteht man im Prinzip eine elektrische Maschine mit geradlinigen Abmessungen, bei der je ein Wicklungssystem auf dem

feststehenden bzw. dem beweglichen Teil untergebracht wird, wobei infolge der Speisung eines der beiden Wicklungssysteme Kräfte in Längs-, also Bewegungsrichtung auftreten. Hinsichtlich der Wirkungsweise kann man - wie bei den rotierenden elektrischen Maschinen - zwischen synchronen und asynchronen Linearmotoren unterscheiden. Hinsichtlich der Ausführung der beiden Wicklungssysteme, d.h. der Bauform, kennt man Linearmotoren, bei denen sich die gespeiste Wicklung am Fahrzeug befindet (Kurzstatorlinearmotoren) und solche, bei denen diese Wicklung den feststehenden Teil des Fahrzeuges (Langstatormotor) bildet [6].

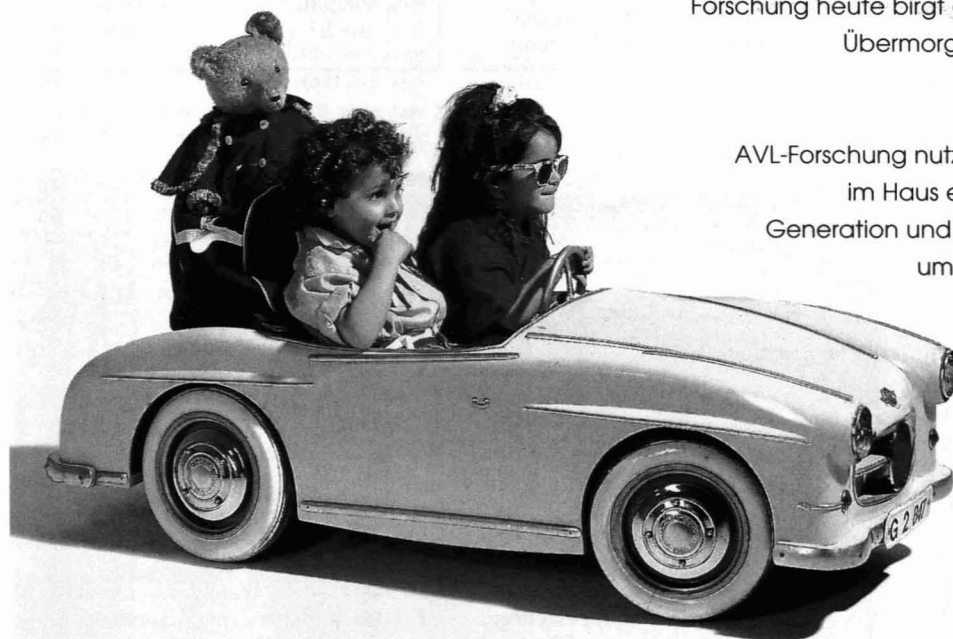
Allein daraus läßt sich bereits eine Reihe von Möglichkeiten hinsichtlich der Ausführbarkeit solcher Motoren erkennen. Erweitert wird diese Zahl durch die Wahl, den „Motor“ auf einer oder auf beiden Seiten der „Schiene“ ausführen zu können, die Wicklungen in magnetisch gut leitendem Eisen oder in Materialien mit Permeabilität wie Luft unterzubringen, und schließlich - zumindest bei der synchronen Variante - das Prinzip der „Wechsel-pol-“ oder jenes der „Gleichpolsynchronmaschine“ in Anwendung zu bringen.

Nachfolgende Übersichtstabelle (Tab. 1) stellt den Versuch dar, die genannten Möglichkeiten geordnet gegenüberzustellen, wobei die Trennung nach synchroner und asynchroner Wirkungsweise gewählt wurde.

Selbstverständlich wird es im Rahmen dieses Beitrages nicht möglich sein, die Entwicklung der Linearmotoren innerhalb der letzten drei Jahrzehnte einigermaßen klar darzustellen, zumal parallel dazu noch die Forschung und Erprobung jener Komponenten betrieben wurde, welche die Aufgaben des Tragens und Führens übernehmen müssen. Es wurde bereits erwähnt, daß dafür Erscheinungen im Magnetfeld ausgenützt werden, welche in einfachster Form als

- anziehende Kräfte zwischen elektromagnetischen Spulen und ferromagnetischen Materialien auftreten und in diesem Zusammenhang als „elektromagnetische Anziehungskräfte“ zwischen bewegten und feststehenden Teilen des Linearmotors wirken oder als
- abstoßende Kräfte zwischen Spulen, deren magnetische Felder bei großen Geschwindigkeiten in der Nähe von elektrisch leitfähigen Materialien schnelle zeitliche Änderungen erfah-

## Unterwegs in die Zukunft



Forschung heute birgt die Entwicklungen von morgen.  
Übermorgen werden sie genutzt werden.

Von unseren Kindern.

AVL-Forschung nutzt heute modernste Werkzeuge,  
im Haus entwickelte Meßtechnik jüngster  
Generation und die Erfahrung von Jahrzehnten,  
um den Grundstein für das Ziel von  
übermorgen zu legen:  
Motoren und Fahrzeuge,  
die leise sind,  
sauber und sparsam.

Für unsere Kinder.

**AVL**  
AVL LIST GmbH



ren und hier in Form „elektrodynamischer Abstoßkräfte“ im Prinzip dieselben Aufgaben erfüllen können.

Auf die wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Kraftwirkungen hinsichtlich ihrer praktischen Ausnützung zum Tragen und Führen linearmotorbetriebener Fahrzeuge sei kurz hingewiesen.

Elektromagnetische Anziehungskräfte sind nicht an die Bewegung gebunden, wirken demnach auch im Stillstand des Fahrzeuges. Sie erlauben bei vertretbarem Spulenaufwand lediglich relativ kleine Luftspalte in der Größenordnung von 10 bis 30 mm; ein Umstand, der wiederum große Genauigkeit bei der Erstellung des Fahrweges bedingt und bei großen Geschwindigkeiten einen erheblichen Einsatz von regelungstechnischen Maßnahmen erfordert.

Elektrodynamische Abstoßkräfte können größere Luftspalte überbrücken, insbesondere dann, wenn die Magnetfelder mit Hilfe supraleitender Spulen erzeugt werden. Luftspalte in der Größenordnung von 100 mm und mehr sind dann durchaus tragbar. Nachteilig wirkt sich natürlich aus, daß diese elektrodynamischen Kräfte erst oberhalb einer bestimmten Geschwindigkeit des Triebfahrzeuges (etwa 100 km/h) ausreichend wirken, sodaß für den Betrieb bei kleinen Geschwindigkeiten zusätzlich mechanische Stützräder erforderlich sind [7].

Die Entwicklung der Linearmotor-Technik zum Betrieb von Hochgeschwindigkeitsbahnen kann kurzgefaßt in zwei grundlegend verschiedene Abschnitte gegliedert werden.

Der Beginn sämtlicher Vorhaben war naturgemäß von der Vorstellung geprägt, den infolge der einzuspeisenden Wicklung aufwendigeren Teil in das Fahrzeug zu setzen, d.h. die Bauform des Kurzstator-Linearmotors zu realisieren. Beide elektrischen Funktionsprinzipien (synchroner und asynchroner Linearmotor) wurden gleichermaßen untersucht, labormäßig erprobt und haben auch zu konkreten Versuchsstrecken geführt. Der Wunsch nach Geschwindigkeiten im Bereich von etwa 500 km/h verbunden mit der Vorstellung von vergleichbaren Passagierzahlen anderer Verkehrsmittel führte rasch zum Ergebnis, elektrische Leistungen in der Größenordnung von 10 bis 20 MW am Fahrzeug installieren und mit Hilfe bekannter Verfahren (Fahrleitung oder Stromschiene) übertragen zu müssen.

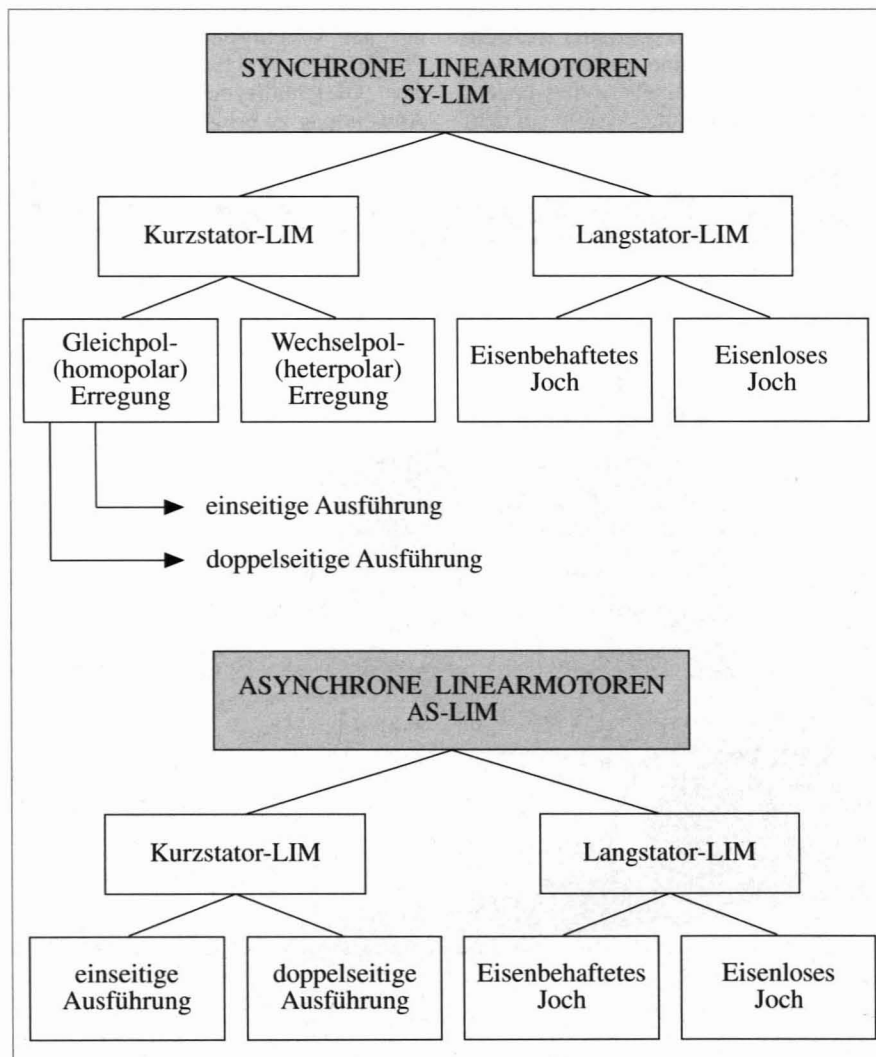
Bevor noch alle damit im Zusammenhang stehenden Probleme gelöst werden konnten, begann bereits die Dis-

kussion über die Funktionsumkehr von Primär- und Sekundärteil eines Linearmotors und die Untersuchung verschiedener Varianten der vorhin schon erwähnten Langstator-Linearmotoren.

Mitten in diese - wohl intensivste Forschungs- und Entwicklungsperiode auf dem Gebiet elektrischer Triebfahrzeuge sowohl in Europa wie auch in Japan fiel die erste große Ölkrise der frühen 70er Jahre und führte binnen kurzer Zeit zur drastischen Reduzierung von damals bereits fix geplanten und genehmigten Forschungsvorhaben in Form konkreter Versuchsfahrzeuge und -strecken. Das einzig derzeit in Europa existierende und in praktischer Erprobung stehende Projekt einer modernen Hochgeschwindigkeitsstrecke mit Linearmotorantrieb und magnetischen Trag- und Führungssystemen ist der sogenannte „TRANSRAPID“.

Dazu wurde im Nordwesten der Bundesrepublik Deutschland im Emsland eine 31 km lange Versuchsstrecke

gebaut, welche aus einem etwa 10 km langen geraden Teil besteht, der im Norden und Süden durch je einen kreisförmigen Bogen von ca. 3 bzw. 2 km Durchmesser abgeschlossen ist. Das Versuchsfahrzeug - der letzte Entwicklungsstand trägt die Bezeichnung TRANSRAPID 07 - besteht aus einem eisenbehafteten Langstator-Linearmotor nach dem synchronen Prinzip. Am Fahrzeug sind dabei die mit Gleichstrom gespeisten Erregermagnete angeordnet, ebenso wie die Magnete des Trag- und Führungssystems, was besagt, daß das Fahrzeug nach dem elektromagnetischen Prinzip in horizontaler und vertikaler „Schwebe“ gehalten wird. Der Fahrweg selbst enthält die gespeiste Primärwicklung des synchronen Linearmotors; es handelt sich dabei um eine dreiphasige Wicklungsanordnung einfachster Ausführung, welche in einem vorgefertigten Blechpaket untergebracht ist. Diese entlang der gesamten Strecke verlegte Wicklung ist elektrisch in einzelne Teilabschnitte unterteilt, wobei jedes die-



Tab. 1: Gegenüberstellung von Linearmotoren

ser Teilstücke über einen eigenen Wechselrichter mit Spannung veränderlicher Frequenz versorgt werden kann. Über die Vorgabe der Frequenz ergibt sich zwangsläufig auch die Fortbewegungsgeschwindigkeit des magnetischen Wanderfeldes und dadurch die im festen Zusammenhang damit stehende Geschwindigkeit des Fahrzeuges. Ein überaus kompliziertes und aufwendiges Regelungssystem hält die Abstände in horizontaler und vertikaler Richtung zwischen Fahrzeug und Fahrweg in Grenzen zwischen 10 bis 20 mm. Der eigentliche Fahrweg muß nicht am Boden verlegt werden, sondern kann sich ebensogut auf Stahl- oder Betonständern in beliebigem Abstand zur Erde befinden. Das hat den Vorteil, daß beispielsweise ländliche Gebiete durch diese Bauweise nicht voneinander getrennt werden [8].

Seit dem Jahre 1982 werden an der beschriebenen Versuchsanlage immer wieder Meßfahrten durchgeführt, um die einzelnen Komponenten auf ihre Betriebstauglichkeit zu prüfen. Geräusch-, Schwingungs- und andere Untersuchungen bei Geschwindigkeiten von 500 km/h gehören dabei genauso zum Versuchsprogramm wie das Verhalten beim Überfahren der sogenannten Biegeweichen.

Seit einigen Jahren steht die Anlage darüber hinaus auch in- und ausländischen Besuchern für Probefahrten zur Verfügung.

Ebenfalls seit Jahren warten Techniker und Ingenieure der eigens dafür ins Leben gerufenen Betriebsgesellschaft auf die verkehrspolitische Entscheidung dieses Verkehrssystem auf einer der vielen geplanten und im Konzept ausgearbeiteten Strecken in der Bundesrepublik

Deutschland auch kommerziell verwirklichen zu können.

Von dem in Japan existierenden Projekt einer Magnetschwebbahn weiß man, daß ein synchroner Langstator-Linear-motor ein Versuchsfahrzeug antreibt, welches mit Hilfe des elektrodynamischen Prinzips berührungslos getragen wird. Die starken Magnetfelder werden dabei mit Hilfe supraleitender Spulen erzeugt, was einerseits einen gewaltigen Aufwand der Kühleinrichtungen mit sich bringt und andererseits bis heute noch ungelöste Probleme mit den Restfeldern in der unmittelbaren Umgebung des Fahrzeuges bestehen läßt.

#### Literatur:

- [1] RENTMEISTER, M.: Grenzen der Leistungsfähigkeit elektrischer Triebfahrzeuge; Elektrische Bahnen, 1978
- [2] KOCHER, E.: Technische Aspekte der elektrischen Traktion; Elektrische Bahnen, 1987
- [3] RENTMEISTER, M.; WEIß, H.: Denkanstöße zum Problembereich der möglichen Begrenzung der Leistungsfähigkeit elektrischer Triebfahrzeuge durch Energiewandlungssysteme; Elektrische Bahnen, 1984
- [4] HARTMANN, B.: Neue Technik für die Intercity-Express Triebfahrzeuge; ZEV-Glaser's Annalen, 1990
- [5] JAHN, P.; LEICHTFRIED, H.: Traktionsausrüstung der ÖBB-Zweissystemlokomotive Reihe 1822; ABB-Zeitschrift 1992
- [6] RENTMEISTER, M.: Asynchronous and Synchronous Linear Motors of short Primary Construction; Electrical Machines and Electromechanics, 1979
- [7] WINKLE, G.: Forschungs- und Entwicklungsstand der elektromagnetischen Schwebetechnik in der BRD; ETZ-A, 1975
- [8] Neue Verkehrstechnologien - Magnetfahrtechnik; Sonderdruck aus ETZ, 1987



# Generalist

## Logistik und Produktion

sucht neue berufliche Herausforderung (vorzugsweise im Großraum Graz).

Absolvent der TU-Graz, 9 Jahre umfangreiche Praxiserfahrung durch die Leitung zahlreicher Innovationsprojekte zur Verbesserung von Abläufen und Organisation von Logistik- und Technologieentwicklung bei einem deutschen Automobilhersteller.

Zuschriften bitte unter

### WIV - Generalist

z. Hd. Fr. Ursula Zmölnig

TU-Graz, Kopernikusgasse 24

A-8010 Graz, Tel.: 81 73 07

Hinweise werden selbstverständlich von uns vertraulich behandelt.

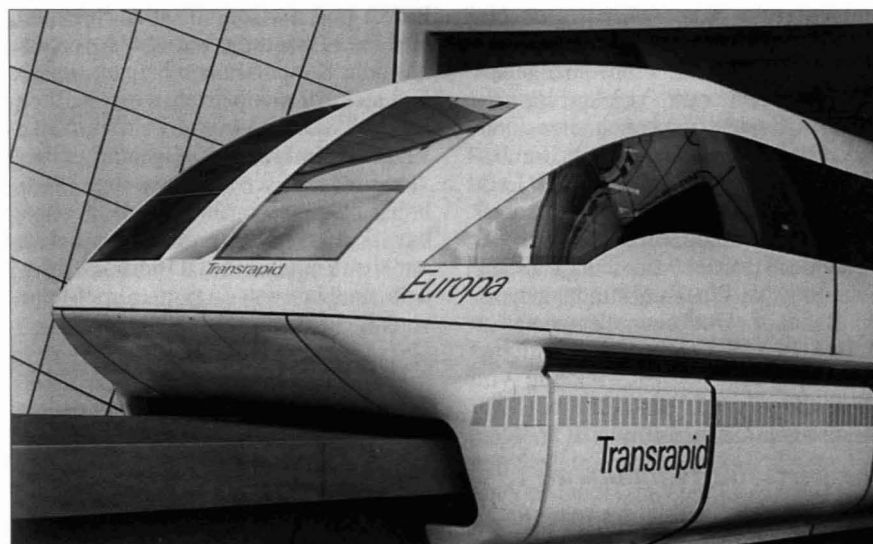


Abb. 4: TRANSRAPID, Versuchsstrecke und -fahrzeug mit synchronem Langstator-Linear-motor