

# Versuchsstrecke und Antriebskonzept für die *Neue Bahntechnik Paderborn*

Horst Grotstollen, Andreas Pottharst, Hans Albert Richard, Manuela Sander, Paderborn

*An der Universität Paderborn wird ein neues Bahnsystem entwickelt, das für den Transport von Personen und Fracht autonome Einzelfahrzeuge verwendet. Die Fahrzeuge werden durch Linear-motoren angetrieben, deren Regelung eine umfangreiche Informations- und Kommunikationstechnik erfordert. Das Bahnsystem wird zur Zeit auf einer 530 m langen Versuchsstrecke erprobt.*

## **Test track and drive concept for Neue Bahntechnik Paderborn**

*The Paderborn University runs a project for the development of a new railway system which makes use of independent single vehicles for the transport of passengers and freight. The vehicles are driven by linear motors which require comprehensive information and communication equipment for control. The railway system is tested on a 530 m long test track at present.*

## **Circuit d'essai et concept de traction pour Neue Bahntechnik Paderborn**

*L'université de Paderborn met au point un nouveau système ferroviaire qui utilise des véhicules automoteurs pour le transport de voyageurs et de fret. Les véhicules sont actionnés par des moteurs linéaires dont la régulation demande une technologie poussée d'information et de communication. Ce système est actuellement à l'essai sur un circuit de 530 m de longueur.*

## 1 Einführung

Lange Beförderungszeiten sind einer der Gründe dafür, dass es nicht gelingt, mehr Verkehr von der Straße auf die Schiene zu verlagern. Selbst beim Personenfernverkehr wird nur eine mittlere Reisegeschwindigkeit von etwa 100 km/h erreicht, wenn nicht gerade eine Städteverbindung mit ausschließlich Hochgeschwindigkeitszügen vorliegt. Im Güterverkehr sinkt die Beförderungsgeschwindigkeit noch einmal drastisch aufgrund der Zeiten, die die Fracht beim Zusammenstellen und Auflösen der Güterzüge auf Rangierbahnhöfen verbringt.

Diesen Schwachpunkt des heutigen Bahnsystems eliminiert das Konzept *Neue Bahntechnik Paderborn*, das durch folgende Merkmale und Eigenschaften gekennzeichnet ist:

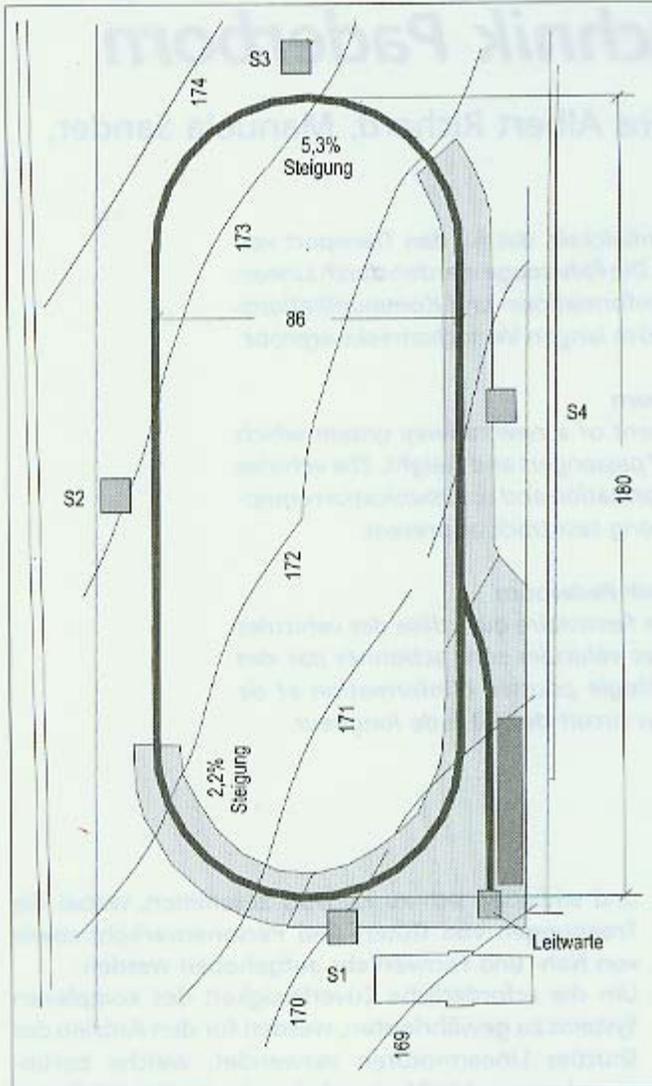
- An Stelle von Zügen werden für den Transport von Personen und Fracht autonome Einzelfahrzeuge verwendet. Diese als *Shuttles* bezeichneten Einheiten verkehren nicht nach einem Plan, sondern auf Anforderung und fahren im Prinzip ohne Zwischenhalt von der Start- zur Zielstation. Dadurch entfallen die Zeiten, die bisher im Personenverkehr für das Umsteigen und im Güterverkehr für das Zusammenstellen und Entflechten von Zügen benötigt werden. Somit ergeben sich auch ohne hohe Fahrgeschwindigkeiten kurze Beförderungszeiten.
- Auf stark befahrenen Strecken fahren alle Shuttles mit der gleichen Geschwindigkeit, beispielsweise 160 km/h,

und schließen sich zu *Konvois* zusammen, wobei die Trennungen von Güter- und Personenverkehr sowie von Nah- und Fernverkehr aufgehoben werden.

- Um die erforderliche Zuverlässigkeit des komplexen Systems zu gewährleisten, werden für den Antrieb der Shuttles Lineararmotoren verwendet, welche berührungslos, verschleißfrei und ohne bewegliche Teile hohe Kräfte erzeugen können.
- Da konventionelle Weichen nicht so schnell reagieren können wie es beim Ausscheren eines Shuttles aus einem Konvoi nötig wäre, werden passive Weichen verwendet und die einachsigen Fahrwerke der Shuttles mit aktiver Lenkung ausgestattet.
- Die Fahrwerke sind mit einer hydraulischen Einrichtung ausgerüstet, durch die der Aufbau gefedert und bei Kurvenfahrt geneigt wird.

Um das Zusammenspiel aller Komponenten untersuchen zu können, die in einem Shuttle und beim Betrieb mehrerer Shuttles zusammenwirken, wurde an der Universität Paderborn eine Versuchsstrecke im Maßstab 1 : 2,5 errichtet (Bild 1). Die Strecke ist 530 m lang, hat Steigungen und enthält eine Weiche, um das Bilden und Auflösen von Konvois untersuchen zu können. Neben einer Leitwarte und einem Hauptverteiler sind an der Strecke vier Schwerpunktstationen angeordnet, in denen die Energieversorgung der Strecke untergebracht ist. Bild 2 zeigt einen Blick aus der Leitwarte auf den davor gelegenen Bahnsteig, die Weiche und eine Schwerpunktstation.

Auf der Strecke sollen bis zu drei Shuttles betrieben werden, die 3 m lang und 1,1 t schwer sind (Bild 3).



**Bild 1:** Lageplan der Versuchsstrecke.  
S 1 ... 4 Schwerpunktstation  
169 ... 174 Höhenlinien Gelände



**Bild 3:** Shuttle.

## 2 Linearmotor

### 2.1 Allgemeines

Um Konvois bilden, fahren und auflösen zu können, müssen mehrere Shuttles gleichzeitig auf demselben Streckenabschnitt mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten betrieben werden können. Dies ist mit dem beim *Transrapid* verwendeten Synchronmotor nicht möglich, wohl aber mit Asynchronmotoren, die in unterschiedlichen Bauformen ausgeführt werden können.

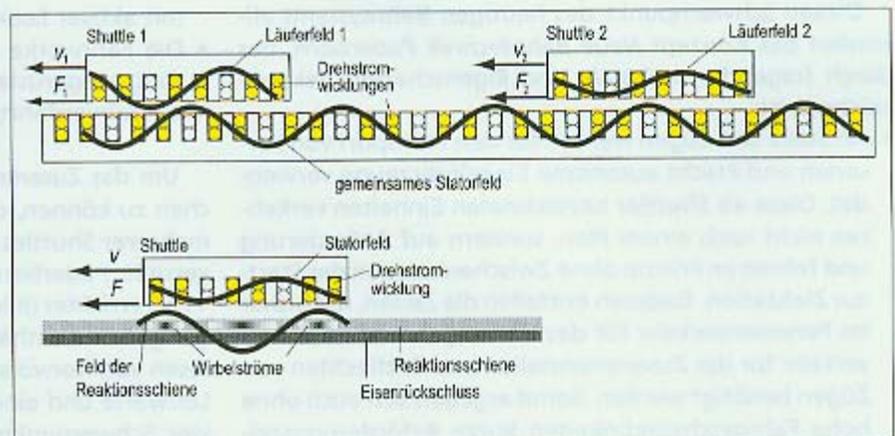
An der Versuchsstrecke werden zwei Varianten des Asynchron-Linearmotors erprobt (Bild 4), die fahrzeugseitig das gleiche Motorteil verwenden und sich streckenseitig durch jeweils eine besonders leistungsfähige und eine besonders preisgünstige Ausführung unterscheiden.

### 2.2 Doppelt gespeister Langstator-Asynchronmotor

Diese Motorvariante ist besonders leistungsfähig und flexibel, weil beide Motorteile mit mehrphasigen Wicklungen ausgestattet sind, die voneinander unabhängig ge-



**Bild 2:** Blick aus der Leitwarte auf Bahnsteig, Weiche und Schwerpunktstation 4.



**Bild 4:** Wirkungsprinzip Linearmotoren.  
oben Langstatormotor  
unten Kurzstatormotor

speist werden. Sie ist daher für Strecken geeignet, bei denen die Antriebe durch hohes Verkehrsaufkommen oder Steigungen besonders stark belastet werden. Außerdem bietet der doppelt gespeiste Motor nicht nur die auch beim Synchronmotor genutzte Möglichkeit, die Antriebsleistung über den streckenseitigen Motorteil aufzubringen, sondern gestattet darüber hinaus, die an Bord des Fahrzeugs benötigte Energie über den Linearmotor in das Bordnetz zu übertragen [1]. Die Versuchsstrecke ist deshalb weder mit Oberleitungen noch mit Stromschienen ausgestattet.

Die auf den Läufer und das Fahrzeug ausgeübte Kraft entsteht bei Drehfeld- und Wanderfeldmotoren durch das Zusammenwirken der Magnetfelder, die von Ständerstrom  $i_s = i_{sd} + j i_{sq}$  und Läuferstrom  $i_L = i_{Ld} + j i_{Lq}$  erzeugt werden, und hat die Größe

$$F_L = -3 \pi L_{SL} \operatorname{Im} \{ i_s i_L^* \} / 2 \tau_p, \quad (1)$$

wobei  $L_{SL}$  die Koppelinduktivität zwischen Ständer- und Läuferwicklung,  $i_L^*$  die konjugierte Größe  $i_L$  und  $\tau_p$  die Polteilung bedeuten. Diese Kraft ist zeitlich konstant, wenn Ständerstrom- und Läuferstromzeiger konstante Beträge und eine konstante Phasenverschiebung haben. Das ist der Fall, wenn Ständerfrequenz  $f_s$  und Läuferfrequenz  $f_L$  die Bedingung  $f_s = f_L + f_M$  erfüllen. Hierbei ist  $f_M$  die Frequenz, mit der das Fahrzeug die Polpaare des Stators durchläuft, und repräsentiert die Geschwindigkeit  $v_M$  des Fahrzeugs

$$v_M = 2 \tau_p f_M. \quad (2)$$

In Verbindung mit der Frequenzbedingung folgt daraus

$$v_M = 2 \tau_p (f_s - f_L). \quad (3)$$

Bei vorgegebener Ständerfrequenz  $f_s$  kann die Geschwindigkeit jedes Shuttles somit über seine Läuferfrequenz  $f_L$  individuell eingestellt werden.

Da beim Konvoibetrieb die Läufer mehrerer Shuttles mit demselben Statorfeld zusammen arbeiten, stellt der Statorstrom, der dieses Feld erzeugt, eine natürliche Bezugsgröße dar. Er wird unter Berücksichtigung der Belange aller Shuttles vorgegeben, und sein Raumzeiger  $i_s$  bildet bei der Modellierung und Regelung der Linearmotoren die Bezugsachse eines für alle Shuttles gemeinsamen Koordinatensystems. Der Ständerstromzeiger hat folglich keine q-Komponente, das heißt es ist  $i_{sd} = i_s$  und  $i_{sq} = 0$ . Für die Kraft, die auf den Läufer eines Shuttles ausgeübt wird, folgt aus (1)

$$F_L = -3 \pi L_{SL} i_s i_{Lq} / 2 \tau_p. \quad (4)$$

Da das Produkt  $i_s \cdot i_{Lq}$  bei festliegenden Motorparametern durch die Kraftanforderung bestimmt wird, verbleiben für die Einstellung des Arbeitspunktes drei Freiheitsgrade:

- Die d-Komponente des Läuferstromes, die nicht zur Kraftbildung beiträgt, wird zur Minimierung der Verluste auf den Wert  $i_{Ld} = 0$  geregelt.
- Das Verhältnis  $i_s / i_{Lq}$  der Kraft bildenden Stromkomponenten wird zur Optimierung des Arbeitspunktes

verwendet, wobei unterschiedliche Optimierungsziele verfolgt werden können.

- Die Geschwindigkeit des Wanderfeldes dient dazu, den Energiefluss im Linearmotor zu steuern.

Die der Läuferwicklung über den Luftspalt zugeführte Leistung  $P_L$  wird durch die auf den Läufer wirkende Antriebskraft  $F_L$  und die Geschwindigkeit  $v_{FL}$  des Wanderfeldes relativ zum Läufer bestimmt. Berücksichtigt man die in der Läuferwicklung auftretende Verlustleistung, dann folgt für die in das Bordnetz übertragene Leistung  $P_B$  unter der Voraussetzung sinusförmiger Läuferströme mit dem Effektivwert  $I_L$

$$P_B = P_L - 3 R_L I_L^2 = F_L v_{FL} - 3 R_L I_L^2. \quad (5)$$

Die in das Bordnetz übertragene Leistung kann somit über die Schlupfgeschwindigkeit  $v_{FL}$  gesteuert werden, die entsprechend Gleichung (2) der Läuferfrequenz proportional ist. Die Leistung ist positiv, wenn der Linearmotor beim Antreiben untersynchron, beim Bremsen übersynchron betrieben wird.

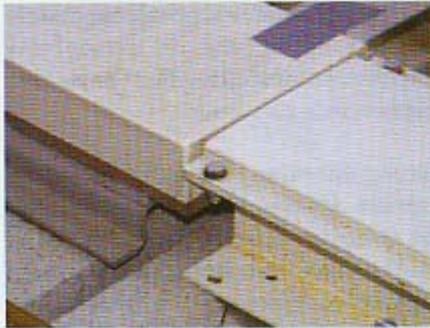
### 2.3 Kurzstator-Asynchronmotor

Da der fahrzeugseitige Motorteil eine Wanderfeldwicklung besitzt, kann er als Stator eines Asynchronmotors in Kurzstator-Bauweise dienen, bei dem sich streckenseitig an Stelle des Langstators eine passive Reaktionsschiene befindet. Diese Ausführung des im Gleis verlegten Motorteils ist besonders preisgünstig und kann auf Strecken genutzt werden, auf denen der Motor nur geringeren Anforderungen genügen muss. An der Versuchsstrecke sind Reaktionsschienen im Weichenbereich und auf der Geraden vor der Garage installiert.

Da der Linearmotor mit Reaktionsschiene nur über den fahrzeugseitigen Motorteil beeinflusst werden kann, sind einige der beim doppelt gespeisten Motor vorhandenen Freiheitsgrade nicht mehr verfügbar. So wird beispielsweise eine antreibende Kraft nur im untersynchronen Betrieb erzeugt, bei der sich das Wanderfeld in entgegengesetzter Richtung bewegt wie das Fahrzeug. Soll die Bildung der Kraft verlustoptimal erfolgen, dann muss in der Reaktionsschiene die dem Kippunkt des Kurzstatormotors entsprechende Frequenz  $f_{kipp}$  vorliegen. Bei positiver Antriebskraft bewegt sich dann das Wanderfeld relativ zur Reaktionsschiene mit der Geschwindigkeit

$$v_{FR} = -2 \tau_p f_{kipp}. \quad (6)$$

Ein Nachteil des Kurzstatormotors ist, dass die vom Shuttle insgesamt benötigte Leistung, also auch die Antriebsleistung, auf dem Fahrzeug bereit zu stellen ist. Das Bordnetz muss daher entweder über einen hinreichend großen Energiespeicher verfügen oder über Stromschienen mit Energie versorgt werden. Weil die Kurzstatorabschnitte an der Versuchsstrecke relativ kurz sind, konnte auf Stromschienen verzichtet werden.



**Bild 5:** Stoßstelle von Langstator (links) und Kurzstator-Reaktionsschiene (rechts). Oben rechts Referenzmarke für Wegmessung

## 2.4 Übergang zwischen Langstator- und Kurzstatorabschnitten

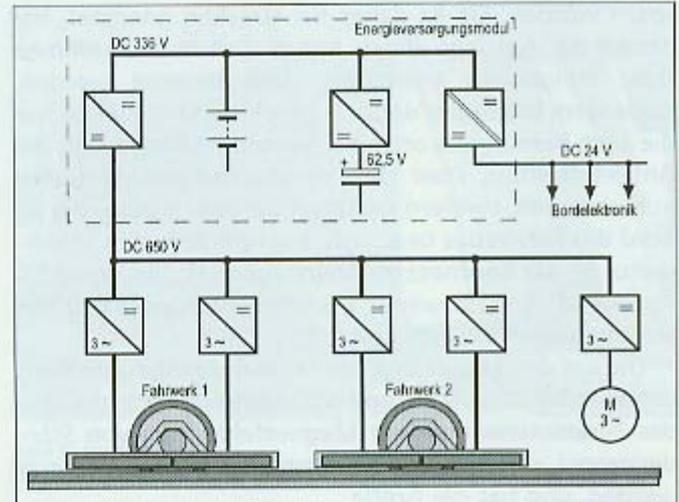
Beim Wechsel eines Shuttles zwischen unterschiedlich ausgeführten Streckenabschnitten steht dem fahrzeugseitigen Motorteil, das auch weiterhin als Läufer bezeichnet werden soll, vorübergehend teilweise ein Langstator und teilweise eine Reaktionsschiene gegenüber (Bild 5). In dieser Situation dürfen die im Kurzstator- und im Langstatorbereich erzeugten Kräfte nicht gegensinnig wirken. Die Speisefrequenz des Langstators wird deshalb entsprechend den Belangen des Kurzstatormotors eingestellt, sobald und solange die Übergangssituation vorliegt.

## 3 Energieversorgung

### 3.1 Speisung des Langstators

Wie beim *Transrapid* ist der Langstator an der Versuchsstrecke in Abschnitte unterteilt, die nur dann gespeist werden, wenn sich ein Shuttle darauf befindet. Die Speisung erfolgt allerdings nicht über ein Umrichterpaar in Verbindung mit Schützen, sondern durch Einzelstromrichter, die den Statorabschnitten fest zugeordnet und fest mit diesen verbunden sind. Diese Lösung hat sich als kostengünstiger erwiesen, weil im anderen Fall der beim *Transrapid* erforderliche Aufwand an Stromrichtern, Motorkabeln und Schalteinrichtungen für jedes autark fahrende Shuttle erforderlich gewesen wäre.

Damit sich der für die Energieübertragung auf das Fahrzeug erforderliche untersynchrone Betrieb einstellt, muss die Statorfrequenz  $f_s$  über den der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_M$  entsprechenden Wert  $f_M$  angehoben werden. Dadurch ergibt sich ein deutlich erhöhter Spannungsbedarf, der eine entsprechend höhere Bemessungsleistung der Wechselrichter bedingt. Ob der durch die Nutzung des Linearmotors für die Energieübertragung benötigte Mehraufwand gerechtfertigt ist, wird eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ergeben. Diese wird im Zusammenhang mit der Optimierung des technischen Systems und unter Berücksichtigung der gesamten streckenseitigen Infrastruktur durchgeführt.



**Bild 6:** Shuttle-Bordnetz.

### 3.2 Bordnetz

Die fahrzeugseitigen Motorwicklungen und der Motor für das Hydraulikaggregat werden über Wechselrichter aus einem Gleichspannungs-Zwischenkreis versorgt (Bild 6).

Die Versorgungszuverlässigkeit wird von einer Batterie gewährleistet, die über einen Gleichstromsteller an den Zwischenkreis angekoppelt ist. Dieser Energiespeicher wird im Langstatorbetrieb über die Motorwicklungen geladen und hat im Kurzstatorbetrieb auch die Antriebsleistung zu liefern. Um die beim Beschleunigen und Bremsen auftretenden Leistungsspitzen für die Energiespeicherung nutzen zu können, ist vorgesehen, das bisher nur mit einer Batterie realisierte Energieversorgungsmodul um leistungsstarke Doppelschichtkondensatoren zu erweitern. Deren Spannungsniveau wird an das der Batterie durch einen weiteren Gleichstromsteller angepasst, der auch den Energiefluss zwischen diesen beiden Speichern steuert.

Die Versorgungsspannung für die Bordelektronik des Shuttles wird mit einem Gleichstromsteller erzeugt, der an die Batterieschiene angeschlossen ist.

## 4 Regel- und Kommunikationseinrichtungen

### 4.1 Leitwarte

Der Versuchsbetrieb wird von einer Leitwarte aus von einem Rechner gesteuert und überwacht, der über Funkstrecken mit den Rechnern auf den Shuttles und an der Strecke korrespondiert (Bild 7). Von dieser Leitwarte aus werden über ein Wireless-LAN die externen Rechner sowie die zugehörige Prototyping-Hardware gestartet und die generierten Fahrbefehle für Shuttles und Konvois gesendet. In umgekehrter Richtung werden für die Überwachung und Fehlererkennung wichtige Parameter empfangen. Die hier skizzierte Kommunikationsstruktur [2] bildet die Basis für eine autonome Fahrzeugregelung

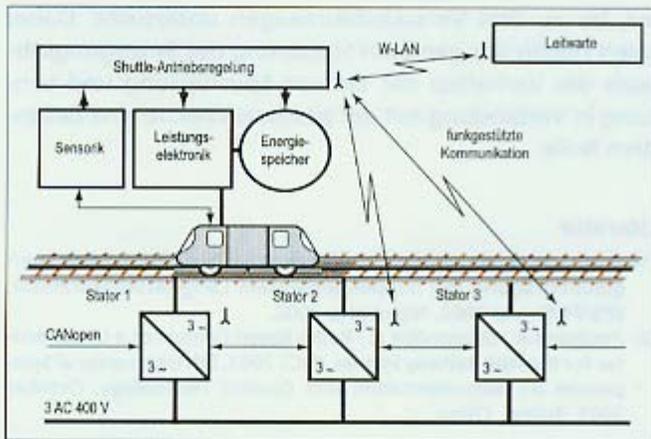


Bild 7: Kommunikationsstruktur auf Langstatorabschnitt.

und ermöglicht Untersuchungen zur Optimierung eines automatisierten fahrerlosen Betriebs.

## 4.2 Antriebsregelung

Die eigentliche Antriebsregelung erfolgt auf den Shuttles, wobei in kaskadierten Schleifen der Strom  $i_L$  des fahrzeugseitigen Motorteils, die Kraft  $F_M$  und die Geschwindigkeit  $v_M$  geregelt werden. Bei Konvoibetrieb kommt eine weitere Regelschleife hinzu, in der die Fahrzeugposition  $x_M$  geregelt wird (Bild 8).

Auf Abschnitten mit Langstator werden durch die shuttleseitige Antriebsregelung unter Berücksichtigung der in das Bordnetz einzuspeisenden Leistung  $P_B$  die Sollwerte für Betrag  $i_{S\text{Soll}}$  und Frequenz  $f_{S\text{Soll}}$  des Statorstromes festgelegt. Diese Informationen werden über serielle Schnittstellen und bidirektionale Funkstrecken, die im 2,4-MHz-Band arbeiten, zu dem streckenseitigen Stromrichter übertragen, der für die Speisung des vom Shuttle oder Konvoi gerade beanspruchten Statorabschnittes zu-

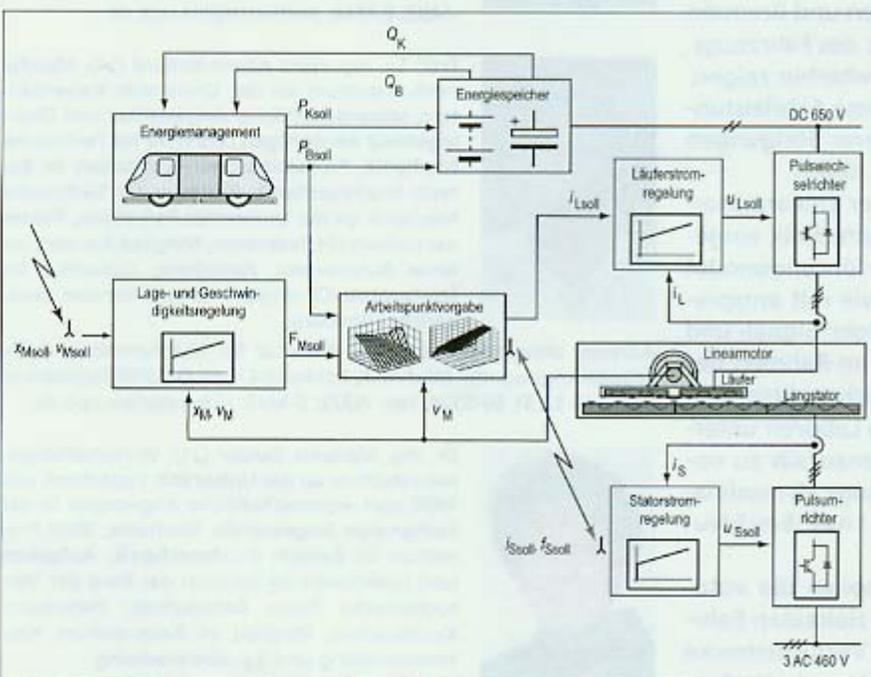


Bild 8: Struktur der Antriebsregelung.

ständig ist. Um den ruckfreien Übergang eines Shuttles oder Konvois von einem Statorabschnitt auf den nächsten zu gewährleisten, werden die sich ablösenden und vorübergehend gleichzeitig aktiven Stromrichter über einen CANopen-Feldbus synchronisiert.

Die Kraftregelung erfolgt auf dem Fahrzeug durch Vorgabe des Läuferstrom-Sollwerts  $i_{L\text{Soll}}$ . Um diesen im Langstatorbetrieb verlustoptimal generieren zu können, muss die augenblickliche Position des Wanderfeldes und des Statorstrom-Raumzeigers, an dem sich das verwendete Koordinatensystem orientiert, auf dem Fahrzeug bekannt sein. Unter Verwendung des zu den Statorn gesendeten Frequenzsollwerts wird deshalb die Drehbewegung des Raumzeigers auf dem Fahrzeug nachgebildet, wobei die durch die Funkstrecke verursachte Signallaufzeit berücksichtigt wird.

Auf Streckenabschnitten mit Reaktionsschiene können Kraft und Fluss nach dem bewährten Prinzip der *feldorientierten Regelung* geregelt werden. Als Alternative wird eine direkte Regelung von Kraft und Fluss nach dem Sliding-Mode-Verfahren untersucht. Wie Vorversuche an einem Prüfstand bestätigt haben, ist dieses Verfahren erheblich robuster gegenüber Parameteränderungen, wie sie beispielsweise bei Unterbrechungen der Reaktionsschiene im Weichenbereich auftreten.

## 5 Oberbau der Versuchsstrecke

Die Versuchsstrecke im Maßstab 1 : 2,5 besteht aus einem Rundkurs aus Geraden und Gleisbögen sowie einer Bahnhofs- und Weichensituation (Bild 1). Die Gleisbögen haben 40 m Radius, wobei der Übergang zu den Geraden in Form von Klothoiden realisiert wurde. Die Spurweite beträgt 600 mm, als Schienenprofil wurde S 14 verwendet. Die Steigungen erreichen maximal 5,3 %. Um den

Versuchsbetrieb unter realen Bedingungen durchführen zu können, wurde die Strecke teils als Schottergleis und teils als Stahlkonstruktion aus Rahmen-, Längs- und Querträgern mit Betonschwellenplatten errichtet. Dieser Unterschied ist auch schon in Bild 2 zu erkennen.

Bild 9 zeigt ein geschottertes Teilstück der Versuchsstrecke mit zwischen den Schienen befestigtem Langstator-Linearmotor und einem Motorkabel. Ein bis 2,5 m hoch aufgeständertes Bogenstück der Versuchsstrecke ist in Bild 10 zu sehen. Schienen und Langstatorelemente sind hier mittels einer Halfenschiene und entsprechenden Klemmen auf den Schwellenplatten befestigt. Diese sind auf der Stahlkonstruktion mit Elastomer-Gleitlagern verschieblich, um die Temperaturexpansion des verschweißten Schienenstranges zu

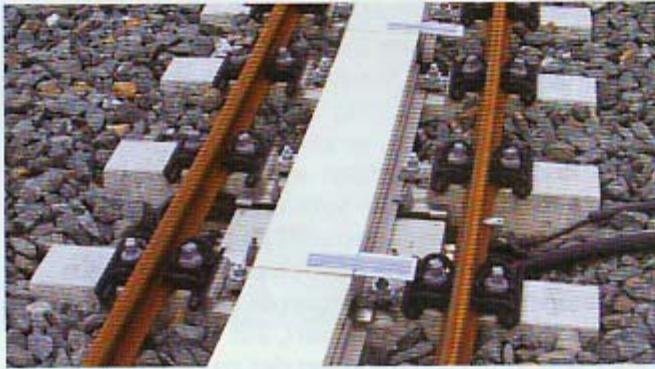


Bild 9: Gleisabschnitt im Schotter mit Langstator.



Bild 10: Aufgeständerter Gleisabschnitt mit Langstator.

gewährleisten. Die in regelmäßigem Abstand angebrachten Referenzmarken dienen zur Kontrolle und Korrektur der Wegmessung aus den Radumdrehungen.

## 6 Versuchsprogramm

Um das Gesamtsystem untersuchen zu können, werden zahlreiche Versuche durchgeführt. Dazu gehört vor allem die Erprobung der dem Linearmotor zukommenden Aufgaben. Hierzu zählt neben dem Antreiben und Bremsen die Energieübertragung in das Bordnetz des Fahrzeugs. Die Fahrten auf der Teststrecke sollen weiterhin zeigen, dass die Linearmotortechnik auch extreme Fahrleistungen erlaubt wie das Überwinden größerer Steigungen als bei der herkömmlichen Bahntechnik üblich.

Die Versuchsfahrzeuge sind neben der Linearmotortechnik mit der bereits in der Automobiltechnik eingesetzten Feder-Neigetechnik, einem Spurführungsmodul mit Losrädern und aktiver Lenkung sowie mit entsprechender Sensorik und einer leistungsfähigen Signal- und Informationsverarbeitung ausgestattet. Im Rahmen des Versuchsprogramms ist das Zusammenwirken dieser Systemkomponenten, die separat bereits in Laboren untersucht wurden, zu erproben und gegebenenfalls zu optimieren. Dabei sollen die Versuchsfahrzeuge als maximale Geschwindigkeit 10 m/s mit maximal 1 m/s<sup>2</sup> Beschleunigung erreichen.

Aus energetischen Gesichtspunkten sollen die autonom fahrenden Shuttles während ihres zielreinen Fahrbetriebs als Konvois verkehren. Auf der Versuchsstrecke wird nun sowohl das Zusammenführen als auch das Ausfädeln einzelner Shuttles aus einem Konvoi bestehend

aus bis zu drei Versuchsfahrzeugen untersucht. Dabei spielt neben der genauen Steuerung des Bewegungsablaufs das Verhalten der aktiven Spurführung und Lenkung in Verbindung mit der passiven Weiche eine besondere Rolle.

### Literatur

- [1] Pottharst, A.; Grotstollen, H.: Konzept zur berührungslosen Energieübertragung mit doppeltgespeistem Langstatorlinearmotor. SPS/IPC/Drives 2002, Nürnberg, 2002.
- [2] Pottharst, A.; Grotstollen, H.: Radio Based Control of a Linear Motor for the NBP Railway System. ISICT 2003, 5th International Symposium on Instrumentation and Control Technology, October 2003, Beijing, China.



Prof. Dr.-Ing. Horst Grotstollen (65), Studium Elektrotechnik an der Staatlichen Ingenieurschule Duisburg und der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen; ab 1965 Tätigkeit im Forschungsinstitut und im Bereich Industrieraüstungen bei AEG, 1972 Promotion an der Technischen Universität (TU) Berlin; ab 1973 Oberingenieur und Habilitation an der Universität Erlangen-Nürnberg; von 1981 bis 2003 Professor für Leistungselektronik und elektrische Antriebstechnik an der Universität Paderborn, Mitglied Konsortium *Neue Bahntechnik Paderborn*.

Adresse: Universität Paderborn, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Fachgruppe Leistungselektronik und elektrische Antriebstechnik, Pohlweg 47-49, D-33098 Paderborn; Fon: +49 5251 60-2206, Fax: -3443; E-Mail: grotstollen@lea.upb.de



Dipl.-Ing. Andreas Pottharst (30), Studium Elektrotechnik an der Universität Paderborn, seit 2000 dort wissenschaftlicher Angestellter in der Fachgruppe Leistungselektronik und elektrische Antriebstechnik, Tätigkeitsfelder im Rahmen des Baus der Versuchsstrecke *Neue Bahntechnik Paderborn*: Betriebsleittechnik, Energieversorgung, elektrisches Shuttle-Bordnetz, Mitglied im Bauausschuss.

Adresse: wie oben; Fon: +49 5251 60-54 82, Fax: -5483; E-Mail: pottharst@lea.upb.de



Prof. Dr.-Ing. Hans Albert Richard (54), Maschinenbaustudium an der Universität Kaiserslautern, wissenschaftlicher Angestellter und Oberingenieur am dortigen Lehrstuhl für Technische Mechanik, Promotion und Habilitation im Bereich Bruchmechanik; Professor für Technische Mechanik an der Universität Paderborn, Rektor der Universität Paderborn, Mitglied Konsortium *Neue Bahntechnik Paderborn*; Gutachter im Strafprozess *ICE-Unglück Eschede* vor dem Landgericht Lüneburg.

Adresse: Universität Paderborn, Fakultät für Maschinenbau, Fachgruppe Angewandte Mechanik, Pohlweg 47-49, D-33098 Paderborn; Fon: +49 52 51 60-5324, Fax: -5322; E-Mail: richard@fam.upb.de



Dr.-Ing. Manuela Sander (29), Wirtschaftsingenieurstudium an der Universität Paderborn, seit 1999 dort wissenschaftliche Angestellte in der Fachgruppe Angewandte Mechanik, 2003 Promotion im Bereich Bruchmechanik; Aufgaben und Funktionen im Rahmen des Baus der Versuchsstrecke *Neue Bahntechnik Paderborn*: Konstruktion, Mitglied im Bauausschuss, Kostencontrolling und Bauüberwachung.

Adresse: wie oben; Fon: +49 52 51 60-5325, Fax: -5322; E-Mail: sander@fam.upb.de