

Weiterentwicklung des Fahrwegs für das Magnetbahnsystem Transrapid

Bereits zum fünften Mal war die Technische Universität Dresden am 29. September 2005 Veranstalter der Dresdner Fachtagung Transrapid. Über 250 Experten und Interessierte aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft diskutierten über zahlreiche Themenstellungen rund um das Magnetbahnsystem Transrapid. Im Mittelpunkt standen unter anderem die aktuellen Entwicklungen für künftige Projekte, technische Weiterentwicklungen, insbesondere zum Fahrweg, Fragen zur Sicherheit und Zulassung des Magnetbahnsystems in Deutschland sowie Aspekte der Wirtschaftlichkeit und des Betriebs. Der nachfolgende Beitrag berichtet über die Weiterentwicklung des Fahrwegs für das Magnetbahnsystem Transrapid.



Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Rainer Schach

Direktor des Instituts für Baubetriebswesen der Technischen Universität Dresden. –

E-Mail: Rainer.Schach@TU-Dresden.de



Dipl.-Ing.
René Naumann

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baubetriebswesen der Technischen Universität Dresden. –

E-Mail: rnj@rcs.urz.tu-dresden.de

Anschrift der Autoren:
Nürnberger Straße 31 A, D-01187 Dresden.

1 Einführung

Mobilität, Infrastruktur und adäquate Verkehrssysteme stellen Grundelemente für das Zusammenleben in unserer Gesellschaft, das Zusammenwirken in unserer Volkswirtschaft und für das Zusammenwachsen Europas und der Welt dar. Die Verkehrsinfrastruktur ist ein wichtiger Standortfaktor und Motor für eine leistungsfähige Wirtschaft zugleich. Die Verkehrspolitik strebt nach integrierten Verkehrskonzepten, in denen verschiedene Verkehrssysteme und Verkehrsträger optimal verknüpft sind. Hierfür stehen unterschiedliche Verkehrssysteme bereit, die für unterschiedliche Entfernungsbereiche in unterschiedlichem Maße geeignet sind. Über Nutzen und Realisierung entscheiden jedoch nicht nur verkehrliche und ökologische Gründe. Ebenso sollten wirtschaftliche, volkswirtschaftliche und industriepolitische Aspekte bei der Entscheidungsfindung mit einbezogen werden.

Das Magnetbahnsystem Transrapid weist im Entfernungsbereich zwischen ca. 150 und 700 Reisekilometern als Verkehrssystem für den spurgebundenen Personenfernverkehr Vorteile auf, die es als Alternative zum Pkw und zum Flugzeug besser als das Rad-Schiene-System qualifizieren [1]. Gleichzeitig bilden hochfrequentierte Punkt-zu-Punkt-Verbindungen wie Flughafenanbinder einen

interessanten Anwendungsbereich und versprechen weltweite Exportchancen. Vor diesem Hintergrund wurde zwischen Bund und Industrie ein Weiterentwicklungsprogramm vereinbart, das unter anderem die hierfür notwendigen technischen Voraussetzungen sicherstellen soll. Diese und weitere interessante und aktuelle Entwicklungen zum Magnetbahnsystem Transrapid waren Gegenstand der 5. Dresdner Fachtagung Transrapid. Einen Schwerpunkt bildeten die Vorträge zum Fahrweg des Magnet-

bahnsystems Transrapid [2]. In insgesamt zehn Fachvorträgen wurden Fragestellungen behandelt und Lösungen präsentiert, die die konstruktive Ausbildung, technische und wirtschaftliche Optimierungspotenziale sowie vorteilhafte Lösungen für den Betrieb betrafen. Wesentliche Inhalte werden nachfolgend vorgestellt.



Bild 1: Nordschleife Transrapid Versuchsanlage Emsland (TVE)

(Quelle: Transrapid International, Berlin)

2 Aufgaben der Planung für den Fahrweg des Transrapid

Die Entwicklung des Fahrwegs und von Fahrwegträgern begann in den 1970er Jahren mit Untersuchungen zuerst an Stahl- und später auch an Spannbetonfahrwegträgern. Diese erste Generation war die Grundlage für die Errichtung des Fahrwegs der Transrapid Versuchsanlage Emsland (TVE) (siehe Bild 1). Seit 1984 wurden eine Vielzahl von Fahrwegträgern unterschiedlicher Hersteller auf der TVE praktisch erprobt. Aus den Erkenntnissen konnten Weiterentwicklungen der Träger und der Ausrüstung vorangetrieben sowie Anforderungen spezifiziert werden.

Die neuesten Generationen von Fahrwegträgern erhielten vom Eisenbahn-Bundesamt (EBA) eine Zusicherung zur Typzulassung, nachdem Einbau, Inbetriebnahme, messtechnische Untersuchungen und die praktische Betriebserprobung vorausgegangen waren. Damit ist die Entwicklung der Fahrwegträger jedoch noch lange nicht abgeschlossen. Technische Weiterentwicklungen, betriebliche und kostenseitige Optimierungen verlangen an der Schnittstelle zwischen Fahrzeug, Antrieb und Leittechnik nach weiteren Aktivitäten. Das System-Engineering und die Aufgabe der Systemintegration hierfür wurde von der Transrapid International übernommen. *Dipl.-Ing. Gert Schwindt*, Transrapid International (TRI), sieht hierbei unter anderem folgende Schwerpunkte:

- ▷ Bewertung der Erfahrungen auf der TVE und aus dem Projekt Shanghai,
- ▷ Berücksichtigung geltender Vorschriften,
- ▷ Beurteilung ökologischer Aspekte wie Schall und Erschütterung,
- ▷ Erstellung von Anforderungen für das Fahren in Tunneln sowie
- ▷ Zusammenfassung der Anforderun-

gen der anderen Subsysteme an den Fahrweg.

Ziel dieser Bearbeitung ist die Erstellung und Fortschreibung von allgemeingültigen, systemtechnischen Anforderungen durch den Fachausschuss Fahrweg, die den allgemeinen Regeln der Technik entsprechen und unabhängig von der Bauart für die Realisierung künftiger Projekte zur Verfügung stehen. Im Zuge dieser Bearbeitung ist zu unterscheiden zwischen den Aufgaben, die durch das EBA durchgeführt werden und der Rolle des Systemingenieurs durch die TRI. Während sich das EBA auf die Betriebssicherheit und die Vermeidung von Gefährdungen konzentriert, bemüht sich der Systemingenieur um die Anforderungen an Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit sowie die Optimierung des Gesamtsystems.

3 Zur Bemessung des Magnetbahn-Fahrwegs

Das Befahren des Fahrwegs durch die Fahrzeuge führt zu Schwingungen sowohl der Fahrwegträger als auch des Fahrzeugs. Diese dynamischen Belastungen werden bei der Bemessung durch eine Vergrößerung der statisch ermittelten Durchbiegungen, Biegemomente und Querkräfte berücksichtigt. Die Bemessung der Fahrwegträger und die Nachweisführung erfolgt mit Schwingbeiwerten, mit denen die statischen Größen beaufschlagt werden. *Dr.-Ing. Stefan Lutzenberger* und *Dipl.-Ing. Jörg Lutzens*, Technische Universität München, haben für die Bestimmung der globalen Schwingbeiwerte ein Rechenmodell entwickelt und Simulationsrechnungen mit bewegten Lastbildern durchgeführt, um die für den rechnerischen Nachweis erforderlichen Größen (Durchbiegung, Querkraft, Biegemoment) zu ermitteln. Aus ihren Ergebnissen konnten

sie Schwingbeiwertdiagramme ableiten, die bei der Bemessung in vertikaler Richtung herangezogen werden können. Die Bemessungsdiagramme decken die ungünstigsten Lastfälle ab und sind gültig für Einfeldträger mit beliebigen Steifigkeiten, beliebigen Massen und für beliebige Fahrgeschwindigkeiten. Die Nachweisführung der Durchbiegung/Tragfähigkeit und der Werkstoffermüdung erfolgt anhand von zwei unterschiedlichen Schwingfaktoren.

Aufgrund der flexibleren Trassierung im Höhen- wie im Längsprofil werden beim Transrapid im Vergleich zu Rad-Schiene-Hochgeschwindigkeitsbahnen primär weniger Tunnelstrecken benötigt. Jedoch werden beim Transrapid Tunnel für Hochgeschwindigkeitsstrecken auch wegen anderer Randbedingungen geplant und ausgeführt. Sie führen zu einem verbesserten Schallschutz und sind aus Sicht der Stadtplanung wünschenswert. Auf die Reisenden, auf die Fahrzeuge sowie auf die Tunnel und deren Einbauten wirken jedoch bei hohen Geschwindigkeiten ungünstige dynamische Verhältnisse, z.B. in Form von höheren mechanischen Beanspruchungen, Druckströmungen, Luftschwankungen oder Lärmbelastigungen an den Tunnel-einfahrten. Außerdem ist mit höheren Energieverbräuchen zu rechnen. Diese Nachteile können und müssen durch geeignete bauliche Maßnahmen kompensiert werden. Hierfür sind im Vorfeld der Realisierung aerodynamische Untersuchungen unverzichtbar, da sich Korrekturen nach der Inbetriebnahme nur mit großem Aufwand vornehmen lassen.

Während beim Rad-Schiene-Hochgeschwindigkeitssystem mittlerweile für viele Problemstellungen bei Tunneln Erfahrungen und Anforderungen existieren, lagen für das Magnetbahnsystem Transrapid entsprechende Erkenntnisse bisher nur ansatzweise vor. Diese sind jedoch für das Magnetbahnprojekt München unverzichtbar, da hier drei Tunnel und zwei unterirdische Kopfbahnhöfe, wie in Bild 2 schematisch dargestellt, vorgesehen sind. Untersuchungen zu aerodynamischen Fragestellungen bei Tunneln und geschlossenen Stationen wurden von der HBI Haerter AG Bern vorgenommen, über die *Dr. Peter Reinke* am Beispiel des Transrapid-Projekts in München auf der Fachtagung berichtete.

Bei Magnetschwebbahnen treten im Vergleich zum Rad-Schiene-System im Allgemeinen extremere aerodynamische

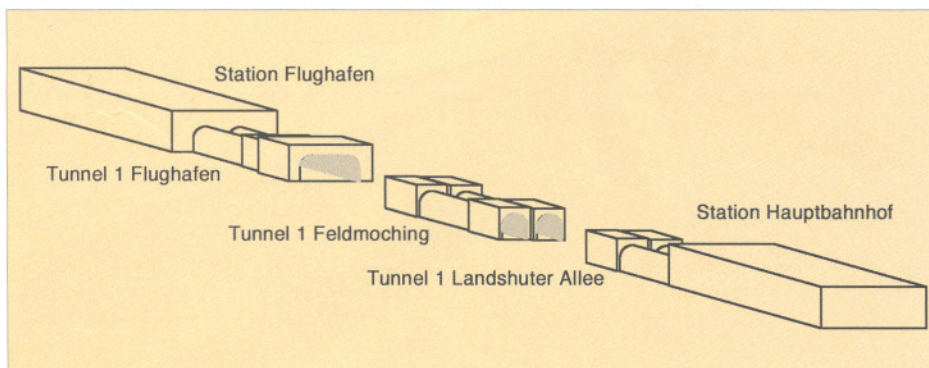


Bild 2: Schematische Darstellung der geschlossenen Streckenabschnitte des Magnetbahnsystems München
(Quelle: HBI Haerter AG, Bern)

Verhältnisse in Tunneln auf. Dies liegt darin begründet, dass für den Transrapid zum Beispiel wegen der fehlenden Stromabnehmer prinzipiell zwar kleinere Tunnelquerschnitte möglich sind. Sie führen jedoch zu einem geringeren freien Querschnitt und wirken sich auf den Druckkomfort, die Antriebsleistung, die Beanspruchungen der Fahrzeuge und die Einbauten in den Tunneln aus. Die sehr hohen Geschwindigkeiten von über 250 km/h verstärken diese Wirkungen. Hinzu kommt, dass größere Steigungen und Beschleunigungen extremere Druckschwankungen begünstigen und wenig dämpfende Materialien extreme Mikrodruckwellen bewirken.

Um Komfort, Sicherheit und Kosten zu optimieren, wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen. So wurden z. B. Druckkomfortkriterien aufgestellt, die für das Transrapid-Projekt München einzuhalten sind. Sie orientieren sich an den vom Internationalen Eisenbahnverband (UIC) für das Rad-Schiene-System definierten Werten und regeln für verschiedene Zeitintervalle die maximal akzeptablen Druckschwankungen. Da der Druckkomfort in den Fahrzeugen maßgeblich von der Dichtigkeit und Steifigkeit der Fahrzeughülle beeinflusst wird, wurden Untersuchungen zur Charakterisierung der Abdichtungsqualität des Fahrzeugs durchgeführt. Dabei wurde ein Druckdichtigkeitskoeffizient von $\tau = 15$ s zugrunde gelegt, der einer sehr guten Fahrzeugabdichtung entspricht.

Aus den aerodynamischen Berechnungen zu den Entwürfen für die Magnetbahn in München konnten verschiedene bauliche Maßnahmen zur Verbesserung der aerodynamischen Verhältnisse aufgezeigt und bewertet werden. Hierzu gehören z. B. die Anordnung von Druckentlastungsschächten sowie von Luftwechsel- oder Mikrodruckwellenschächten. Im Bereich der Tunnelportale kann durch Aufweitungen der Tunnelröhre oder gelochte Trennwände der sogenannte Portalknall vermieden werden. In der Summe führen die baulichen Maßnahmen zur Einhaltung aller aufgestellten Kriterien.

4 Aktuelle Entwicklungen zu den Fahrwegträgern

4.1 Der ideale Fahrwegträger für die Magnetbahn Transrapid

Dr.-Ing. Siegfried Droese von der Technischen Universität Braunschweig ging

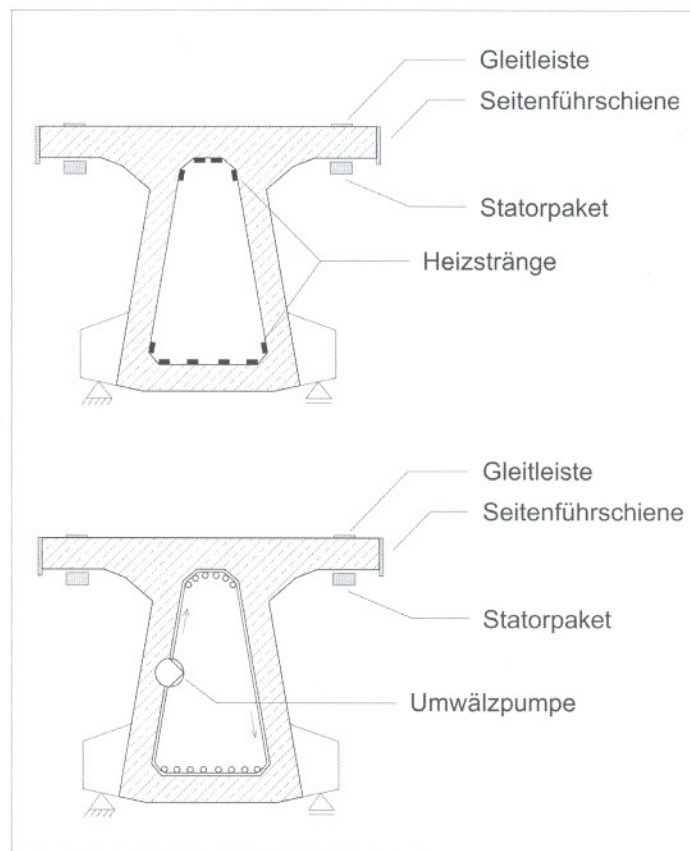


Bild 3: Möglichkeiten zur Temperaturverteilung im Trägerquerschnitt

(Quelle: Universität Braunschweig)

der Frage nach, wie der ideale Fahrwegträger für das Magnetbahnsystem Transrapid beschaffen sein müsste. Er unterbreitete Vorschläge, wie der Fahrweg technisch verbessert, wirtschaftlicher ausgeführt und betrieben werden könnte. Nach seiner Auffassung existieren insbesondere bei folgenden Teilaspekten Verbesserungsmöglichkeiten beim Fahrweg:

▷ *Trägerverformungen infolge des Temperaturgradienten:* Durch Temperaturdifferenzen zwischen den Ober- und Unterseiten entstehen in Längsrichtung Aufwölbungen und Durchbiegungen der Fahrwegträger. Ziel sollte die Verwendung gekoppelter, nach Traglast und Steifigkeit bemessener Einfeldträger sein, die durch unterstützende Maßnahmen beständiger werden. Wünschenswert wären Stähle mit geringen Temperatur-Ausdehnungskoeffizienten (Chrom-Nickel-Stähle – Invarstahl), mit denen die Temperatureufwölbung nur 1/8 der eines Trägers mit Baustahl betragen würde. Die höheren Kosten für die Chrom-Nickel-Stähle könnten dann den entfallenden Kosten für Korrosionsschutz und weniger Ausfallzeiten gegenübergestellt werden. Weitere Möglichkeiten zur Verbesserung der Temperaturgradienten sind

durch aktive Systeme denkbar, wie dies in Form von temperaturgesteuerten Spannvorrichtungen, im Trägerinnern angeordnete Heiz-/Kühlstränge oder durch Heiz-/Kühlkreisläufe mit/ohne Umwälzpumpen denkbar ist (siehe Bild 3). Die höheren Kosten für die aktiven Systeme wären dann wiederum den eingesparten Kosten für Beton und Stahl gegenüberzustellen.

▷ *Änderungen der Einwirkungen des Tragführsystems:* Die sich bisher durch das Ausgleiten des Fahrzeugs auf Kufen auf der Fahrwegoberseite ergebenden Kosten können erheblich verringert werden, wenn das Fahrzeug nur im Stand absetzt. Darüber hinaus stellen die über die Fahrzeuglänge ungünstig verteilten Lasten und die aus Zwang resultierenden Einwirkungen, z. B. infolge von Kräften beim Fahren in engen Kurven und ungleich verteilte Kräfte auf Statorpakete und Seitenführschiene, sowie die notwendigen Bemessungen für Sonderlastfälle wünschenswerte Verbesserungspotenziale dar.

▷ *Versätze und Neigungsänderungen in den Funktionsebenen:* Die Zusammensetzung des Fahrwegs aus Einzelträgern führt zu Versätzen (seitlich, horizontal) und Winkeländerungen an den Trägerstößen und der Fahrwegausrüstung (Seitenführschiene,

Gleitleisten, etc.). Um die sehr geringen zulässigen Toleranzen einzuhalten, ist der Aufwand für Herstellung und Instandhaltung hoch. Wünschenswert sind konstruktive Führungen an den Träger- und Ausrüstungsstößen, z. B. in Form von biegesteifen Längsführungen, die Versätze und Winkeländerungen verhindern. Die konstruktive Ausbildung ist eine technische Herausforderung, die jedoch erhebliche Vorteile schaffen kann.

- ▷ **Ausbildung der Funktionsebenen:** Verbesserungen sind hier für die Gleitleisten, die Seitenführschienen und die Statorpaketaufhängungen vorstellbar und wünschenswert.
- ▷ **Aktivierung ungenutzter Bemessungsreserven:** Ziel sollte es sein, die tatsächlich vorhandene Steifigkeit der Unterbauten messtechnisch nachzuweisen, um die Bemessungswerte vermindern zu können. Außerdem sollte nachgewiesen werden, dass das Fahrzeug auch mit einem „weicheren“ Fahrweg auskommt. Überlegenswert ist darüber hinaus, wie auftretende Längskräfte über Lagerreibung oder Längskraftkopplung abschnittsweise in den Fahrweg eingeleitet werden können.
- ▷ **Lager:** Lager für die Fahrwegkonstruktion sind kostenintensiv bezüglich ihrer Investitionen und der Instandhaltungsaufwendungen. Die Wirtschaftlichkeit ließe sich verbessern, wenn auf Lager weitgehend verzichtet werden könnte, indem Rahmenkonstruktionen entwickelt werden, die nur am Anschluss der Funktionsebenenträger nachjustiert werden müssen.
- ▷ **Gestaltung:** Die Gestaltung des Fahrwegs sollte das optische Erscheinungsbild stärker als bisher berücksichtigen,

indem gestaltete oder farbige Oberflächen ausgebildet und Alterungserscheinungen einbezogen werden.

Die Verwirklichung dieser Vorschläge könnte einen deutlichen Schritt hin zu einem idealen Fahrweg bedeuten. Dieser wäre dann nicht nur technisch und wirtschaftlich günstiger bei Herstellung und Betrieb. Er könnte ebenso erhebliche Kosteneinsparungen für künftige Anwendungsstrecken bringen, da der Fahrweg das teuerste Subsystem ist.

4.2 MSB-Fahrweg-2010

Mit dem Weiterentwicklungsprogramm (WEP) des BMVBS soll das Magnetschwebbahnsystem als Premium-Produkt für schnelle Punkt-zu-Punkt-Verbindungen weiterentwickelt und wirtschaftlicher werden. Im Rahmen des Teilprojekts WEP P20 soll in der Phase II – Entwicklung und Konstruktion – ein kostengünstiger Träger für den ebenerdigen Fahrweg vom Typ III entwickelt werden, ein Prototypträger auf der TVE eingebaut und im Fahrbetrieb erprobt sowie beim Eisenbahn-Bundesamt (EBA) eine Typzulassung bewirkt werden.

An dieser Stelle darf erwähnt werden, dass der Transrapid aufgeständert und ebenerdig geführt werden kann. Welche Lage letztendlich in einer speziellen Entwurfsituation gewählt wird und als optimal anzusehen ist, hängt von vielen Faktoren ab. Ein ebenerdiger Fahrweg führt zur Zerschneidung der Landschaft und dürfte daher bevorzugt bei paralleler Trassenführung zu bereits bestehenden Verkehrsstrassen (Autobahnen, Eisenbahn) gewählt werden. Außerdem

wird er in städtischen Lagen bevorzugt, wenn zum Beispiel sehr hohe Ansprüche an den Schallschutz zu verwirklichen sind. Der aufgeständerte Fahrweg zeichnet sich besonders durch den geringen Flächenverbrauch, geringe Eingriffe in die Landschaft und hohe Flexibilität in der Trassierung aus. So können zum Beispiel bestehende Wege und Straßen problemlos gequert werden.

Dr.-Ing. Hubert Bachmann, Ed. Züblin AG Stuttgart, Dr.-Ing. Ingo Spohr, Zerner, Köpper & Partner Köln, und Dipl.-Ing. Erich Rauschnig, Spiekermann Ingenieurgesellschaft Stuttgart, stellen die aktuellen Entwicklungen des ebenerdigen MSB-Fahrwegs-2010 vor. Beim Gesamtsystem des MSB-Fahrweg-2010 handelt es sich, wie in Bild 4 dargestellt, um einen durchgehenden Fahrwegbalken aus Ort beton und auf Stahl lagern aufmontierten Fertigteilplatten. Das Prinzip ähnelt dem der Festen Fahrbahn des Rad-Schiene-Systems. Die Montage des MSB-Fahrwegs-2010 beginnt mit der Herstellung des Ort betonbalkens. Dann werden die Lagerplatten eingemessen, justiert und vergossen. Im Anschluss erfolgt das Aufsetzen der Stahl lagern und die Montage der Fahrwegplatten.

Die Fahrwegplatten übernehmen die Funktion der Gleitebene für die Fahrzeuge und sind Träger der fahrwegseitigen Ausrüstungen. Die Fahrwegplatten haben standardisierte Abmessungen von 6,192 x 2,80m und werden als Betonfertigteilvollplatten mit 25cm Dicke hergestellt. Die relativ geringen Abmessungen ermöglichen eine nahezu zwangungsfreie Lagerung auf Stahl lagern. Um den hohen Toleranzanforderungen an die Funktionsebenen gerecht zu werden, werden acht unterschiedlich gefräste Plattentypen hergestellt. Die Befestigung der Statorpakete und Seitenführschienen erfolgt an passgenauen, kombinierten Verankerungen, die in den Beton eingelassen sind.

Die Fahrwegplatten werden auf dem Fahrwegbalken mit sechs starren Lagern aus nicht komprimierbarem Stahl gelagert. Davon nehmen ein längsfestes und zwei querfeste Lager die Horizontalkräfte auf. Darüber hinaus erfolgt an den einzelnen Lagerpunkten über Ankerplatten im Fahrwegbalken und den Fahrwegplatten eine Verankerung mit Schrauben. Die Austauschbarkeit von Schrauben, Lagern und Fahrwegplatten bleibt dabei gewährleistet.

Der Fahrwegbalken nimmt die Belas-

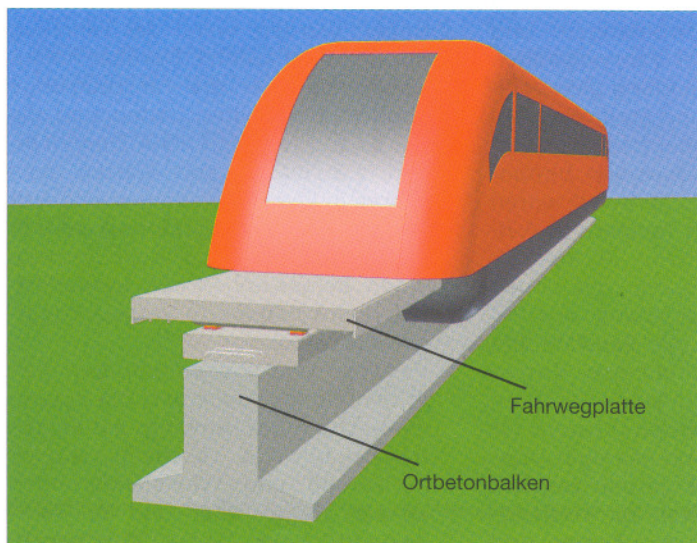


Bild 4: Trägerquerschnitt des MSB-Fahrweg-2010

(Quelle Ed. Züblin AG, Stuttgart)

tungen aus den Fahrwegplatten auf und überträgt diese in die Flach- oder Tiefgründung. Er wird entsprechend der Raumkurve fugenlos als durchlaufender Ort betonträger mit bauüblichen Toleranzen hergestellt und kann auch kleinere Überführungen und Durchlässe überbrücken. Zwangsbeanspruchungen infolge von Schwind-, Kriech- und Temperaturbeanspruchungen werden konstruktiv durch entsprechende Bewehrung und Rissbreiten kontrolliert, so dass kaum Verformungen auftreten.

Vom MSB-Fahrweg-2010 verspricht sich die Ed. Züblin AG durch seine einfache Konstruktion einen dauerhaften und kostengünstigen Fahrweg. In Verbindung mit den entwickelten Produktions- und Montageverfahren soll damit eine Anwendung bei künftigen Anwendungsstrecken sicherstellt werden.

4.3 MSB-Fahrwegträger Typ II

Im Rahmen des WEP P20 – Modifizierung und Kostenoptimierung von Fahrwegträgern – wird von der Bietergemeinschaft mittelständischer Unternehmen (BGmU) ein Fahrwegträger vom Typ II für die aufgeständerte und ebenerdige Bauweise entwickelt. Dieser soll kostengünstig sein, auf der TVE eingebaut und erprobt werden sowie eine Typzulassung vom Eisenbahn-Bundesamt erhalten.

Wie *Dipl.-Ing. Helmut Wolf*, Schmitt Stumpf Frühauf und Partner München, berichtete, beinhaltet das Konzept eine Art Baukastensystem, das zum einen eine sichere und dauerhafte Tragwirkung über den gesamten Lebenszyklus und zum anderen eine genaue Abbildung der Raumkurve gewährleisten soll. Das Baukastensystem besteht aus abgestimmten Einzelkomponenten, die in Stapelbauweise zusammengesetzt werden. Das Prinzip ist in Bild 5 dargestellt. Dabei erfolgt eine Trennung in ein Primärtragwerk, das durch einen Fahrweglängsträger (FWLT) ausgebildet wird, und in eine Fahrwegebene, die die Funktionsebenen bereitstellt. Während bei den Fahrweglängsträgern die statisch-dynamische Festigkeit und Tragfunktion im Vordergrund steht, sind bei der Fahrwegebene die Maßhaltigkeit und Toleranzgrenzen entwicklungsbestimmend. Das bedeutet, dass durch die Trennung von Tragwerk und Fahrwegebene letztlich die extrem hohen Genauigkeitsanforderungen an die Funktionsebenen vom Tragwerk ferngehalten werden können.

Bei den Fahrweglängsträgern handelt es sich um vorgefertigte, einzellige Spannbeton-Hohlkastenträger mit Stützweiten von 12,40m. Abhängig vom Trassierungsradius werden Einfeld- und Zweifeldträger verwendet. Die Konstruktionshöhe beträgt jeweils 1,00 m. Für die Auflagerung werden längsfeste, querfeste und allseits bewegliche Elastomerlager angeordnet. Die Fahrwegebene wird, analog zu den Schwellen beim Rad-Schiene-System, aus immer gleichen, industriell gefertigten Querträgern (QT) sowie beidseitig angeordneten Systemkomponententrägern (SKT) für die Funktionsebenen hergestellt. Querträger und Systemkomponententräger werden hierfür zu Verlegeeinheiten zusammengestellt und durch Ort beton monolithisch mit den Fahrweglängsträgern zu einem Komplettfahrweg verbunden. Bei den Querträgern und Systemkomponententrägern handelt es sich um industriell vorgefertigte Bauteile, die, verbunden zu Verlegeeinheiten, auf den Fahrweglängsträgern durch vertikale und horizontale Spindeln entsprechend der Raumkurve ein-

DAS BRANCHENEREIGNIS DES JAHRES

Railway Technology · Interiors
Infrastructure · Public Transport
Transport IT · Services · Tunnel Construction

in



InnoTrans 2006

Internationale Fachmesse
für Verkehrstechnik
Innovative Komponenten · Fahrzeuge · Systeme

Mit Gleisgeländeausstellung und Convention
Messe Gelände Berlin
www.innotrans.de



 Messe Berlin

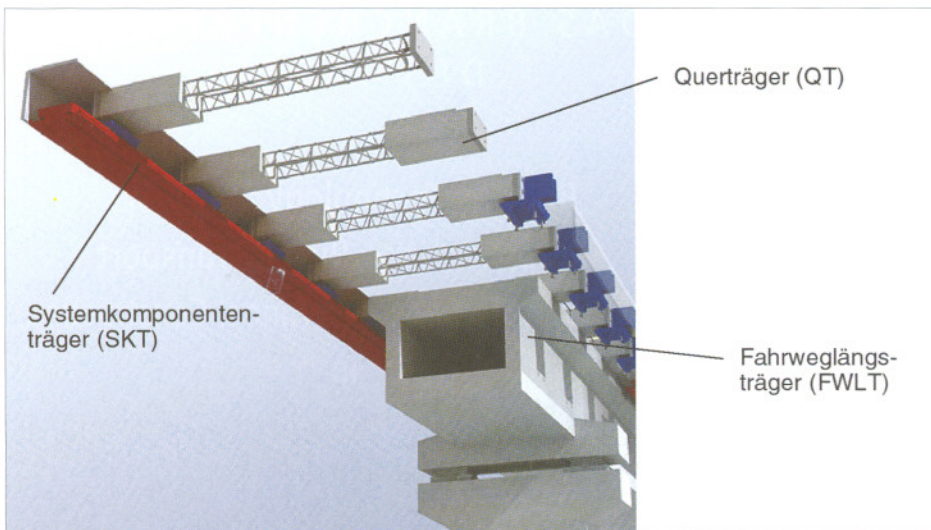


Bild 5: Baukastensystem des MSB-Fahrwegträgers der BGmU

(Quelle: Schmitt Stumpf Frühauf und Partner, München)

gemessen und montiert werden. Damit lassen sich Bautoleranzen und Imperfektionen ausgleichen. Die Höhen- und Lagejustierung soll dabei mittels vollmechanisierten hydraulischen Verlegegeräten erfolgen.

Von der BGmU werden für das Baukastensystem prinzipielle Vorteile angeführt, die zum einen in der Trennung der Primärtragwirkung von den Führungsfunktionen für die Fahrzeuge bestehen. Zum anderen können die Vorteile industrieller Fertigung in den Herstellungsprozess des Gesamtfahrwegs einbezogen werden.

4.4 MSB-Fahrweg System Bögl

Unabhängig vom Weiterentwicklungsprogramm des Bundes wird die Entwick-

lung des ebenerdigen Fahrwegs auch von der Firmengruppe Max Bögl vorangetrieben. Die ursprüngliche Fahrwegtechnologie des Hybrid-Fahrwegträgers für den Fahrweg der Anwendungstrecke in Shanghai wurde der chinesischen Seite durch Lizenzvergaben zur Verfügung gestellt. Parallel wurde auch die Weiterentwicklung der hybriden Fahrwegträger begleitet. Das Prinzip der hybriden Bauweise besteht im Wesentlichen darin, Funktionsebenen aus Stahl an robusten Fertigteilspannbetontägern anzubringen. Als Verbindungsstück zwischen Betontäger und Stahlträger fungiert dabei ein in den Betontäger eingelassenes und gebohrtes Modul aus Gussstahl.

Aus den praktischen Erfahrungen in Shanghai und den Erfahrungswerten bei der Entwicklung und Herstellung

der Festen Fahrbahn (FF-Bögl) konnten Erkenntnisse für weitere Entwicklungen der hybriden Fahrwegbauweise abgeleitet werden, die für zukünftige Strecken zu noch wirtschaftlicheren Fahrwegen führen. *Dipl.-Ing. Stefan Bögl*, Firmengruppe Max Bögl Neumarkt/Oberpfalz, berichtete über den neuen ebenerdigen Fahrweg des Systems Bögl. Die Fahrwegträger konnten wie in Bild 6 dargestellt im Juli 2005 auf der TVE eingebaut und in Betrieb genommen werden.

Die Veränderungen des Fahrwegs gegenüber Shanghai bestehen unter anderem in folgenden Punkten:

- ▷ **Reduzierung der Regelfeldweiten:** Für den ebenerdigen Fahrweg beträgt die Regelfeldweite nunmehr 9,30 m. Der Fahrwegträger stellt sich als vorgespannte π -Platte dar, die als Fertigteil in festen Schalungen mit Übermaß im Kragarmbereich hergestellt und nachträglich mechanisch nachbearbeitet wird.
- ▷ **Modifikation der Funktionsebenen:** Für die Konsolen und Funktionsebenenträger aus Stahl konnten Einsparungen und eine Reduzierung der Befestigungsmittel erreicht werden. Bereiche die für den Betrieb des Transrapid nicht aus Stahl sein müssen, wurden durch Beton ersetzt. Die Gleitebene entlang der Ränder auf der Oberseite der Fahrwegträger wird nunmehr aus beschichtetem Beton ausgeführt. Weitere Verbesserungen wurden für die Befestigung der Seitenführschiene und Statorpakete vorgenommen. Die mechanische Bearbeitung der Gleitebene, der Anlagflächen für die Seitenführschiene und der Statorpakete erfolgt durch computergesteuerte Schleifmaschinen entsprechend der Trassegeometrie.
- ▷ **Lagerungs- und Gründungskonzept:** In Abhängigkeit vom anstehenden Baugrund werden setzungsarme Flach- oder Tiefgründungen ausgeführt. Die Auflager der Träger sind keilförmige, standardisierte Betonfertigteile mit integrierten Lagerplatten. Die Fahrwegträger werden mittels einfach gebauter Elastomerlager mit diesen Auflagerkeilen verbunden. Eine Nachjustierung oder der Austausch von Lagern ist möglich.
- ▷ **Montage und Justierung:** Die Fahrwegträger werden bereits werkseitig mit den Auflagerkeilen verbunden, so dass keine Spezialfahrzeuge für den Transport zum Einbauort nötig sind. Der Einbau und das Justieren erfolgt



Bild 6: Einbau des Prototyps für den Fahrwegträger System Bögl

(Quelle: Firmengruppe Max Bögl)

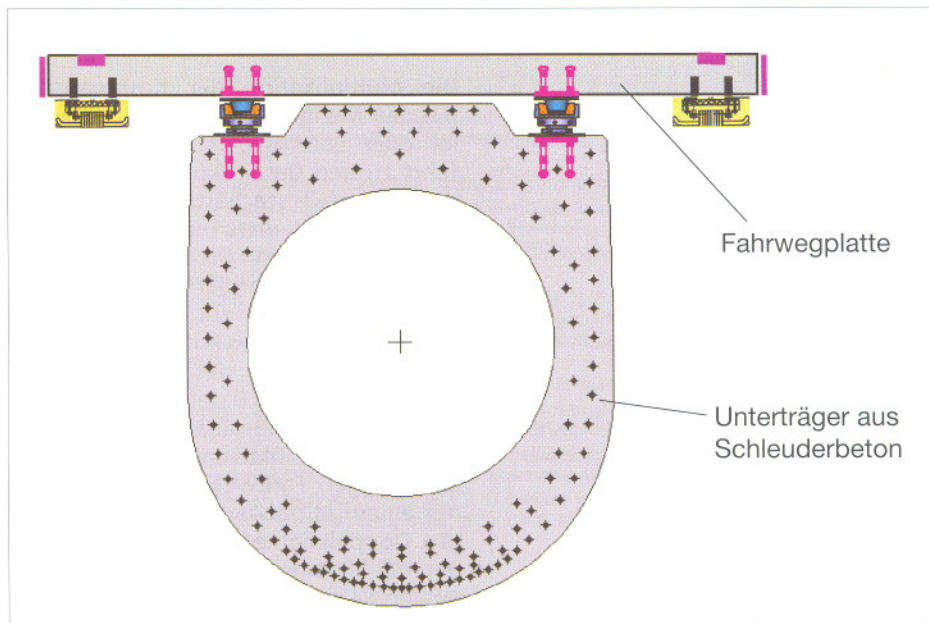


Bild 7: Querschnitt des modularen Fahrwegträgers aus Schleuderbeton

(Quelle: Prof. Herrmann Flessner)

mit speziellen Hydraulik-Hebemaschinen. Der Spalt zwischen Fundament und Auflagern kann dann vergossen werden. In dieser Vergussebene sind nachträgliche Setzungskorrekturen oder Nachjustierungen möglich.

▷ *Weitere Neuerungen und Verbesserungen:* Die Fertigteilträger werden mit selbstverdichtendem Beton in Spezialschalungen hergestellt. Dies wirkt sich positiv auf Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit aus. Zudem konnte durch schalltechnische Untersuchungen herausgefunden werden, dass die geschlossene Trägeroberseite und die Ausrundung an den Unterseiten der Kragarme die Schallemissionen verringern. Die geschlossene Trägeroberseite ist auch für den Winterbetrieb günstig.

Das Unternehmen Max Bögl ist davon überzeugt, dass die neuen Entwicklungen und gesammelten Erfahrungen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Magnetbahnsystems Transrapid beitragen werden. Zum Baubeginn der Magnetbahn in München soll ein genehmigungsreifer Fahrweg vorliegen.

4.5 Modularer Fahrwegträger aus Schleuderbeton

Prof. Dr.-Ing. Herrmann Flessner, Emeritus der Universität Hamburg, befasste sich mit zukunftsweisenden Entwicklungen für den Fahrweg und stellte die neuesten Entwicklungen für einen modularen Fahrwegträger aus Schleuderbeton vor. Das patentierte Trägersystem Flessner/Pfleiderer verspricht durch sein

geringeres Gewicht Kosteneinsparungen und Optimierungspotenziale für Transport und Logistik.

Der vorrangig für die aufgeständerte Bauweise gedachte modulare Träger besteht aus einem geschleuderten Unterträger, auf den standardisierte Fahrwegplatten aus Stahl oder Stahlbeton aufgesetzt werden. Der modulare Fahrwegträger ist in Bild 7 dargestellt. Die Lagerung erfolgt mittels passgenauer Zwischenlager. Verwindungen lassen sich über bewegliche Lager nachjustieren. Zwängungen, die bei der getrennten Herstellung von Trägern und Platten bei unterschiedlichen Temperaturen entstehen, sollen durch selbstzentrierende Elastomer-Topflager, die vertikal bewegungssteif sind aber horizontale Bewegungen zulassen, ausgeglichen werden. Durch die Verwendung von hochfesten (C 80/95) oder ultrahochfesten (C 145/160) Betonen in Verbindung mit leistungsfähigen Spannstahl-Litzen oder Glasfaserbewehrungen lassen sich bei Trägerhöhen ab ca. 2 m hohe Tragfähigkeiten erreichen und die zulässigen, extrem niedrigen Durchbiegungen beherrschen. Eine Verringerung der Trägerhöhen kann darüber hinaus erreicht werden, indem ein „Hängewerk“ aus ummantelten Spannstählen oder kunststoffumhüllten Glasfasern in den Schleuderbetonträger eingebaut wird.

5 Betrachtungen zu den Investitionskosten für den Fahrweg des Transrapid

Bei der Entscheidung für oder gegen

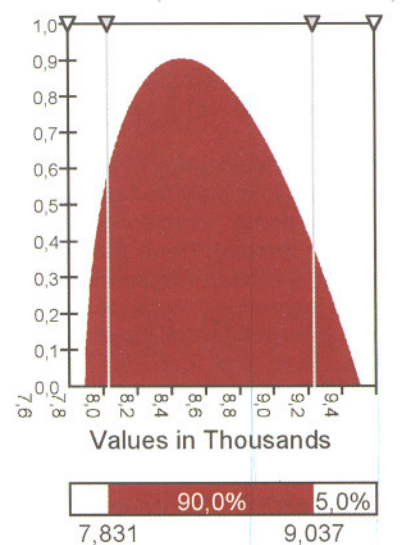
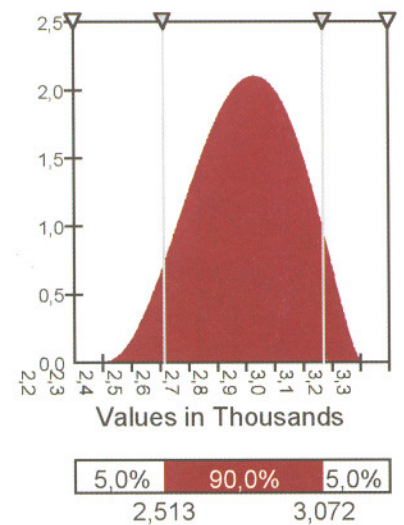


Bild 8: Kostenverteilungen für die Fahrwegträger für den ebenerdigen und aufgeständerten Fahrweg (ohne Statorpakete)

ein Verkehrssystem übt bekanntlich die Wirtschaftlichkeit einen entscheidenden Einfluss auf die Realisierung aus. Die Verwendung und Zuweisung öffentlicher Haushaltsmittel hat prinzipiell nach dem Wirtschaftlichkeitsgebot zu erfolgen. Mit den bekannten Nutzen-Kosten-Betrachtungen, wie z.B. der Nutzen-Kosten-Analyse der Bundesverkehrswegeplanung, kann die Effizienz der eingesetzten Mittel beurteilt werden. Insbesondere für die Beurteilung der Investitionen für das Magnetbahnsystem Transrapid greifen diese Betrachtungen jedoch zu kurz, da in die formalisierten Bewertungsverfahren vorrangig verkehrliche, betriebswirtschaftliche und ökologische Kriterien einbezogen werden. In die Entscheidungen für neuartige Verkehrssysteme, wie z.B. den

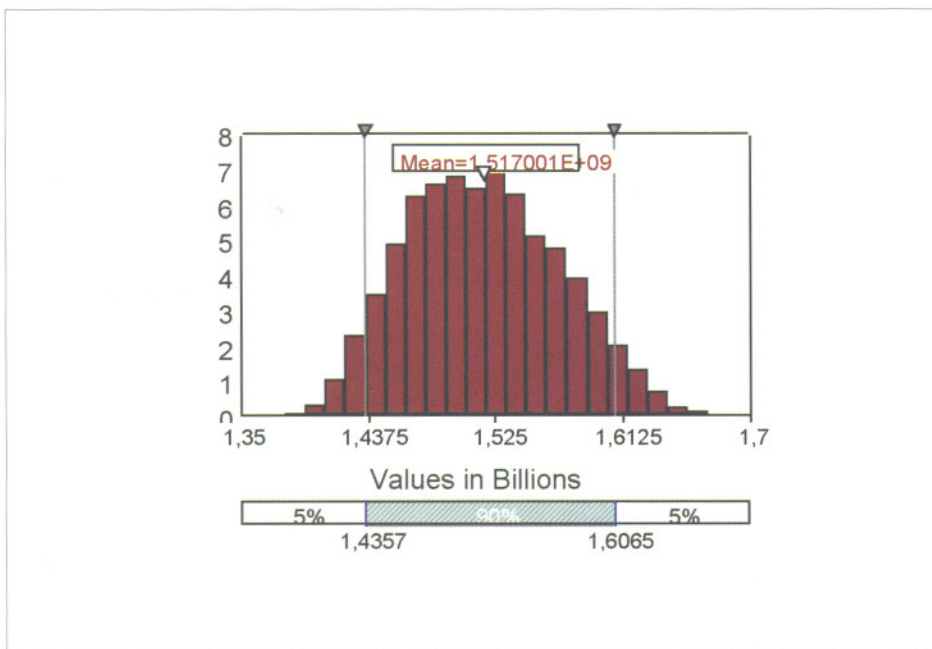


Bild 9: Gesamtkostenverteilung für den ebenerdigen Fahrweg (Werte für 100 km Strecke (ohne Betriebstechnik))

Transrapid, müssen jedoch ebenso verkehrspolitische, volkswirtschaftliche und industriepolitische Nutzenanteile mit einbezogen werden. Denn für die Beurteilung der Förderwürdigkeit derartiger Verkehrssysteme und Projekte sind z.B. auch die internationalen Exportchancen relevant.

Wie Prof. Herbert Baum, Universität zu Köln, feststellt, ist aber gerade die Anwendung des Transrapid in Deutschland eine notwendige Voraussetzung um vorhandene Exportchancen auch tatsächlich nutzen zu können, da Vorbehalte gegenüber der neuen Technologie abgebaut und die technische Weiterentwicklung sichergestellt werden müssen.

Zentraler Bestandteil von Nutzen-Kosten-Betrachtungen bildet im Allgemeinen die Ermittlung von Investitions- und Betriebskosten, die als betriebswirtschaftliche Kriterien in eine Beurteilung einbezogen werden. Hierbei treten jedoch häufig Schwierigkeiten auf, da zum einen die Quantifizierung und monetäre Bewertung Probleme bereitet und zum anderen erhebliche Unsicherheiten bezüglich der Kosten- und Mengenansätze bestehen. Traditionell werden deterministische Ansätze verwendet. Diese deterministische Vorgehensweise ist einfach anzuwenden, unterstellt für die Gesamtkosten jedoch eine Sicherheit, die faktisch nicht gegeben ist. Einerseits schwanken die Kostenansätze projektspezifisch und sind von bekannten Abrechnungen auf neue

Projekte nur in begrenztem Maße übertragbar. Andererseits stehen die auszuführenden Mengen z.B. für die Fundamente häufig erst nach der Ausführung fest. Die Anwendung der deterministischen Vorgehensweise ist deshalb problematisch. Die Risiken von Kostenüberschreitungen werden nur indirekt, z.B. durch Sensitivitätsanalysen oder Extremwertbetrachtungen, sichtbar.

Um Unsicherheiten bei Investitions- und Betriebskostenermittlungen besser einzu-herziehen, können stochastische Ansätze herangezogen werden. Am Institut für Baubetriebswesen der TU Dresden wurde in grundlegenden Forschungsarbeiten eine Methode für stochastische Kostenermittlungen entwickelt. Bei dieser Methode werden statt der üblichen Kostenansätze Kostenverteilungen verwendet, die Aussagen über die Wahrscheinlichkeit von Kostenansätzen repräsentieren. Ein Kostenansatz k_i ist dann nicht mehr nur eine Kennzahl, sondern eine Funktion $k_i(x)$ mit Aussagen darüber, in welcher Bandbreite sich die Kennzahl für eine Kostenart bewegt und mit welcher Wahrscheinlichkeit diese eine gewisse Größe annimmt. Solange keine große Zahl von abgerechneten, gleichartigen Projekten vorliegt, können die Verteilungen nur von Experten festgelegt werden. In Bild 8 sind beispielhaft Kostenverteilungen dargestellt, wie sie für die Fahrwegträger (ohne Statorpakete) des ebenerdigen und des aufgeständerten Fahrwegs herangezogen werden können.

Die Multiplikation der Kostenansätze mit den Mengenansätzen in Monte-Carlo- oder Latin-Hypercube-Simulationen führt zu den Gesamtkosten $K_{ges}(x)$, die dann ebenfalls stochastisch verteilt sind. Somit ist nicht mehr nur eine Aussage über die absolute Größe der Gesamtkosten möglich, sondern es sind zusätzlich Informationen zur Bandbreite der zu erwartenden Gesamtkosten und der Wahrscheinlichkeit des Eintretens verfügbar. Die in Bild 9 dargestellte Verteilung der Baukosten (ohne Betriebstechnik) für einen fiktiven, 100 km langen, ebenerdigen Fahrweg führt zu Kosten mit einem Mittelwert von 15,17 Mio. € pro Doppelkilometer (Dkm). Dabei liegen mit 90%iger Wahrscheinlichkeit die Kosten zwischen 14,36 Mio. €/Dkm und 16,07 €/Dkm.

6 Ausblick

Forschung und Weiterentwicklung der Magnetschwebetechnik in Deutschland sind auch künftig unverzichtbar, um das Know-how zu stärken und nachhaltig in Deutschland zu sichern. Das Weiterentwicklungsprogramm des Bundes für das Magnetbahnsystem Transrapid und darin formulierte technische Weiterentwicklung zu einem Premium-Produkt für schnelle Punkt-zu-Punkt-Verbindungen sowie betriebliche und wirtschaftliche Optimierungen weisen in die richtige Richtung. Gleichwohl bleibt eine erste Anwendungstrecke in Deutschland unverzichtbar, um das notwendige Vertrauen bei internationalen Interessenten zu stärken und die Exportchancen des Transrapid langfristig zu erschließen. Es bleibt zu hoffen, dass im Jahr 2006 das Planfeststellungsverfahren für die Magnetbahn in München positiv abgeschlossen wird und der Startschuss für den Baubeginn fällt. Dies wäre nicht nur ein positives Zeichen für die Zukunftsfähigkeit unseres Landes sondern ebenso ein klares Signal für andere Staaten in Europa und der Welt, die an der zukunftsweisenden Transrapid-Technologie interessiert sind.

Über positive Entwicklungen zum Magnetbahnsystem Transrapid kann hoffentlich im Rahmen der 19. Internationalen Konferenz über Magnetschwebesysteme und Linearantriebe – MAGLEV 2006 – berichtet werden, welche vom 13. bis 15. September 2006 in Dresden stattfindet und in die die 6. Dresdner Fachtagung Transrapid dann eingebunden ist (www.maglev2006.de).

Schrifttum

- [1] Schach, R.; Jehle P.; Naumann R.: Transrapid und Rad-Schiene-Hochgeschwindigkeitsbahn – Ein gesamtheitlicher Systemvergleich. Springer Verlag Berlin Heidelberg 2005.
- [2] Schach, R. (Hrsg.): Tagungsband, 5. Dresdner Fachtagung Transrapid, 2005. Der vorliegende Artikel basiert zum Teil auf den Fachvorträgen und Fachbeiträgen zur 5. Dresdner Fachtagung Transrapid folgender Personen:
Dipl.-Ing. Stefan Bögl (Referent), Dipl.-Ing. Walter Antlauf (Fachbeitrag), Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG Neumarkt
Dr.-Ing. Hubert Bachmann, Ed. Züblin AG Abteilung Zentrale Technik Stuttgart; Dr.-Ing. Ingo Spohr, Zerna, Köpper & Partner, Ingenieurgesellschaft für Bautechnik, NL Köln; Dipl.-Ing. Erich Rauschnig, Spiekermann Ingenieurgesellschaft mbH Stuttgart
Prof. Dr. Herbert Baum, Universität zu Köln, Institut für Verkehrswissenschaft
Dr.-Ing. Siegfried Droese, Dipl.-Ing. Dirk Sperling, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. Herrmann Flessner, Emeritus der Universität Hamburg, Berater der Ingenieur für Angewandte Informatik in Naturwissenschaft und Technik
Dr.-Ing. Stefan Lutzenberger, Technische Universität München Lehrstuhl für Baumechanik, Dipl.-Ing. Jörg Lutzens, Technische Universität München Lehrstuhl für Stahlbau
Dr. Peter Reinke, HBI Haerter AG Bern
Dipl.-Ing. Gert Schwindt, Transrapid International Berlin
Dipl.-Ing. Helmut Wolf, Schmitt Stumpf Frühauf und Partner München
Die ausführlichen Beiträge der genannten Autoren und weitere Beiträge können dem Tagungsband zur 5. Dresdner Fachtagung Transrapid entnommen werden. Dieser kann am Institut für Baubetriebswesen der TU Dresden bezogen werden (Tel. 0351/463 342 42). Außerdem stehen die gesamten Vorträge im Internet unter www.hochleistungsbahnen.tu-dresden.de zum Download zur Verfügung.

Résumé

Further development of the guideway for the Transrapid maglev system

The regular technical conferences on Transrapid have already become something of a tradition at the Dresden University of Technology, and the fifth of the series was organized on 29 September 2005. It was attended by more than 250 experts and interested individuals from the fields of politics, business and academia, who discussed numerous topics centred on the Transrapid maglev system. The event's main themes included current developments for future projects, further technological advances (especially regarding the guideway), questions of safety and approvals/authorizations for the maglev system in Germany as well as economic and operational aspects. This article focuses specifically on the further development of Transrapid's guideway.

Récapitulation

Evolution de la voie pour le système de train à sustentation magnétique

Pour la cinquième fois, l'université technique de Dresde a organisé, le 29 septembre 2005, la journée d'étude Transrapid. Plus de 250 experts et personnes intéressées des milieux politiques, économiques et scientifiques ont discuté de nombreux thèmes relatifs au système de train à sustentation magnétique Transrapid. Parmi les points principaux l'on peut citer les développements actuels pour des projets futurs, des évolutions techniques concernant notamment la voie, des questions sur la sécurité et l'homologation du système de train à sustentation magnétique en Allemagne ainsi que des aspects de la rentabilité et de l'exploitation. Le présent article rend compte de l'évolution de la voie pour le système de train à sustentation magnétique Transrapid.

Resumen

Perfeccionamiento del trayecto ferroviario para el sistema de vía magnética Transrapid

El 29 de septiembre de 2005, la Universidad Politécnica de Dresden organizó por quinta vez Transrapid, congreso especializado de dicha ciudad. Más de 250 expertos y personas interesadas de la Política, Economía y Ciencia discutieron sobre numerosos temas relacionados con el sistema de vía magnética Transrapid. El punto central incluía entre otros los desarrollos actuales para futuros proyectos, perfeccionamientos técnicos, especialmente para el trayecto ferroviario, preguntas sobre la seguridad y autorización del sistema de vía magnética en Alemania, así como aspectos de rentabilidad y servicio. El artículo siguiente informa sobre el perfeccionamiento del trayecto ferroviario para el sistema de vía magnética Transrapid.

 **REHAU**[®]

Unlimited Polymer Solutions



RAUDRIL RAIL PP: RUNDUM BELASTBAR.

Das Sickerleitungs- und Schachtsystem RAUDRIL Rail PP für die Entwässerung im Gleis- und Tunnelbau bietet maximale Sicherheit im Untergrund:

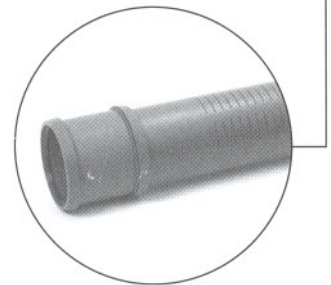
- Höchste Widerstandskraft gegenüber Verkehrslasten sowie äußerer Druck- und Schlagbeanspruchung
- Unempfindlich durch hohe Schlagzähigkeit und Steifigkeit selbst bei rauen Baustellenbedingungen und unter 0 °C
- RAUSISTO Innenfläche zur Verhinderung hartnäckiger Ablagerungen
- Hochdruckspülbar bis 340 bar gemäß DIN V 19517

Besuchen Sie uns auf der iaf:

Halle Süd,
Stand 2/210

REHAU AG + Co
Ytterbium 846
91058 Erlangen
Tel.: 09131 925572
Fax: 09131 925620

www.rehau.de



Bau
Automotive
Industrie