ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of
ZBW
Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Gers, Volker; Hübner, Heinz; Otto, Peter; Stiller, Hartmut

Working Paper

Zur Ressourcenproduktivität von spurgeführten Hochgeschwindigkeitsverkehrssystemen: Ein Vergleich von ICE und Transrapid. Eine gemeinsame Studie des Lehrstuhls für Technikwirkungs- und Innovationsforschung der Universität GH Kassel und des Wuppertal-Instituts

Wuppertal Papers, No. 75

Provided in Cooperation with:
Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy

Suggested Citation: Gers, Volker; Hübner, Heinz; Otto, Peter; Stiller, Hartmut (1997) : Zur Ressourcenproduktivität von spurgeführten Hochgeschwindigkeitsverkehrssystemen: Ein Vergleich von ICE und Transrapid. Eine gemeinsame Studie des Lehrstuhls für Technikwirkungs- und Innovationsforschung der Universität GH Kassel und des Wuppertal-Instituts, Wuppertal Papers, No. 75, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal, https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:wup4-opus-5468

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/49125

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Wissenschaftszentrum
Nordrhein-Westfalen
Institut Arbeit
und Technik

Kulturwissenschaftliches
Institut
Wuppertal Institut für
Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Volker Gers
Heinz Hübner
Peter Otto
Hartmut Stiller

Zur Ressourcenproduktivität von spurgeführten Hochgeschwindikeitssystemen:

Ein Vergleich von ICE und Transrapid

**Eine gemeinsame Studie des Lehrstuhls
für Techikwirkungs- und Innovationsforschung
der Universität Gh Kassel
und des Wuppertal Instituts**

Wuppertal Papers

Nr. 75 · Juni 1997
ISSN 0949-5266

NRW.

Zur Ressourcenproduktivität von spurgeführten Hochgeschwindigkeitsverkehrssystemen:

Ein Vergleich von ICE und Transrapid

Volker Gers[1] - Heinz Hübner[2] - Peter Otto[3] - Hartmut Stiller[4]

Lehrstuhl für TechnikWirkungs- und Innovationsforschung, Universität Gh Kassel,
Nora-Platiel-Straße 4, 34127 Kassel, Tel. 0561-804-3056, Fax: 0561-804-3681

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal, Tel. 0202-2492-0, Fax: 0202-2492-108

-Kurzfassung-

Juni 1997

1. Einleitung

Kaum ein Thema in der Verkehrspolitik hat in den letzten Jahren solch kontroverse öffentliche Diskussionen hervorgerufen wie der geplante Bau einer Transrapidstrecke zwischen Hamburg und Berlin. Ökologischer Supergau und Milliardengrab orakeln die einen, unverzichtbare Investition für den Industriestandort Deutschland beschwören die anderen.

Der Lehrstuhl für TechnikWirkungs- und Innovationsforschung (TWI) der Universität Gh Kassel hat gemeinsam mit dem Wuppertal Institut die Ressourcenproduktivität des Transrapid und des ICE untersucht. Dabei wurden sowohl die beiden Technologien, so wie sie sich heute darstellen, als auch die konkret in Planung befindliche Transrapid-Strecke von Hamburg nach Berlin mit einem Anschluß Schwerins und eine fiktive, alternative ICE-Verbindung miteinander verglichen. Somit wurde in dieser Studie von der Prämisse ausgegangen, daß ein Bedarf für eine Hochgeschwindigkeitsverbindung zwischen Hamburg und Berlin besteht, mithin wurden **nicht** deren grundsätzliche Notwendigkeit sowie deren indirekte Wirkungen auf die Siedlungsstruktur und die Verkehrsnachfrage untersucht. Ausge-

---

[1] Dipl.-Kfm. Volker Gers, Wiss. Mitarbeiter und Dissertant am Lehrstuhl "TechnikWirkungs- und Innovationsforschung" (TWI) Universität Gh-Kassel

[2] Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. habil. Heinz Hübner, Vorstand des Lehrstuhls "TechnikWirkungs- und Innovationsforschung", Universität Gh-Kassel

[3] Stud. rer. ing. Peter Otto, Student im Fachbereich Elektrotechnik der Universität Gh-Kassel sowie Teilnehmer am interdisziplinären Ergänzungsstudium "Innovationsmanagement unter Berücksichtigung der Technik- und Produktfolgenabschätzung"

[4] Dipl.-Phys. Hartmut Stiller, Projektleiter Abteilung Stoffströme und Strukturwandel, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie

blendet - da nicht Gegenstand der Studie - wurden ebenso alle Fragen nach der wirtschaftlichen Tragfähigkeit der in Planung befindlichen Transrapid-Strecke wie auch der einer alternativen ICE-Hochgeschwindigkeitstrasse.

Ziel der Studie war es zu untersuchen, ob mit der innovativen Magnetschwebetechnik eine Steigerung der zentralen ökologischen Größe Ressourcenproduktivität erreicht werden kann, wie dies in "Faktor 4" von E.U.v. Weizsäcker bereits angedacht worden ist (Weizsäcker/ Lovins/Lovins, 1995). Eine solche Steigerung der Ressourcenproduktivität als wichtige Bedingung für eine zukunftsfähige Entwicklung wird bekanntlich vom Brundtland-Bericht der Vereinten Nationen gefordert (United Nations, 1987).

Für die Messung der Ressourcenproduktivität wird mit dem am Wuppertal Institut von F. Schmidt-Bleek entwickelten MIPS-Konzept ein Ansatz gewählt, der auf vereinfachte und anschauliche Weise die Umweltveränderungspotentiale von Produkten und Dienstleistungen abbildet (Schmidt-Bleek, 1994). Dieser erlaubt anhand des lebenszyklusweiten Ressourcenverbrauchs bezogen auf eine Dienstleistungseinheit, d.h. hier eine Fahrt von Hamburg nach Berlin, einen ersten ökologischen Vergleich verschiedener Alternativen. Die dazu notwendige Datengrundlage wurde vom TWI u.a. unter Rückgriff auf Angaben der Thyssen Transrapid System GmbH sowie der Deutschen Bahn AG für beide Verkehrssysteme eingehend recherchiert. Von großem Vorteil für die Durchführung dieser spezifischen ökologischen Analyse war, daß am TWI unabhängig von dieser Studie im Auftrag der Thyssen Transrapid System GmbH ein inzwischen abgeschlossenes Projekt durchgeführt wurde, welches sich mit den zu erwartenden regionalökonomischen und ökologischen Wirkungen der geplanten Magnetschnellbahn Transrapid beschäftigt (Hübner/Dunkel/Gers/Höft/Jahnes/Kleinkauf/ Schotter, 1997). Das Wuppertal Institut stellte für die Materialintensitätsanalyse seine methodischen Kenntnisse und seine Datenbank zur Verfügung. Sie enthält die bei der Gewinnung und Herstellung der verschiedenen Materialien anfallenden "ökologischen Rucksäcke".

Beide Institute wollen mit dieser Studie und ihren teilweise überraschenden Ergebnissen dazu beitragen, die aufgeheizte öffentliche Diskussion wieder ein Stück weit zu versachlichen, und aufzeigen, welche Chancen durch den Einsatz innovativer Technologien für eine ökologischere Verkehrspolitik bestehen. Dabei sollen auch die grundsätzlichen Anwendungsperspektiven beider Technologien in Weltgegenden mit unterentwickeltem Bahnnetz eingeschlossen werden.

2. Messung der Ressourcenproduktivität

2.1. Das MIPS-Konzept

Der Materialinput pro Service Einheit (MIPS) umfaßt die gesamten stofflichen Inputs zur Erstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung und ist ein Maß für die ökologischen Veränderungspotentiale durch die anthropogene Entnahme von Stoffen beim Konsum von Gütern (Schmidt-Bleek, 1994). MIPS ist damit ein Indikator für die Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen. Er gliedert sich in die Kategorien abiotische Rohmaterialien, biotische Rohmaterialien, mechanische Bodenbewegungen in der Land- und Forstwirtschaft, Wasser und Luft. Für Transportleistungen sind lediglich die erste sowie die letzten beiden Kategorien von Interesse. In der Kategorie abiotische Rohmaterialien werden alle erstmaligen anthropogenen Massenbewegungen bei der Entnahme und Förderung von Rohstoffen, sei es als Erze, fossile Brennstoffe oder Mineralien, Abraum sowie Erdbewegungen bei der Erstellung von Bauwerken gezählt. Unter die Kategorie Wasser fallen alle vom Menschen entnommenen oder absichtlich umgeleiteten Wassermengen. So sind im Transportsektor insbesondere die von versiegelten Infrastrukturen abgeleiteten Niederschlagswässer sowie bei der Energie- und Stromerzeugung eingesetzten Kühlwässer von Bedeutung. Da die Kategorie Luft im MIPS-Indikator im wesentlichen durch den bei der Verbrennung umgesetzten Sauerstoff bestimmt wird, ist hiermit zugleich das Kohlendioxid als klimarelevantes Spurengas in den Indikator integriert [5].

Wie bei jeder Ökobilanz wird auch in einer Materialintensitätsanalyse (MAIA) der komplette Lebenszyklus eines Produktes bzw. der für die Bereitstellung einer Dienstleistung erforderlichen Güter untersucht. Dies umfaßt bei Transportsystemen neben der Betriebsphase der Fahrzeuge auch die Erstellung der notwendigen Infrastruktur und die Produktion der Fahrzeuge sowie die jeweils notwendigen Unterhaltsleistungen. Dabei werden nur die Inputs näher analysiert, eine systematische Untersuchung aller verschiedener Outputs ist hingegen **nicht** Bestandteil einer Materialintensitätsanalyse.

Die konzeptionelle Beschränkung auf Inputparameter bedeutet nicht, daß nicht auch die mit Transporten verbundenen ökotoxisch wirkenden Emissionen deutlich vermindert werden müssen. Eine am Vorsorgeprinzip orientierte Umweltpolitik darf jedoch nicht erst das Eintreten von Umweltschäden abwarten, sondern muß von vorneherein durch Reduktion der

[5] Kategorisierung ausführlich in: Schmidt-Bleek (Hrsg.), 1996.

möglichen Belastungen die Wahrscheinlichkeit unerwünschter anthropogener Umweltveränderungen vermindern. Darüber hinaus trägt der auf die Analyse von Produkten und Dienstleistungen zugeschnittene MIPS-Indikator dem Umstand Rechnung, daß lokale Wirkungen von Stoffen, die auf ungewöhnlichen Konzentrationen beruhen, im Rahmen einer lebenszyklusweiten Produktbetrachtung ohnehin nicht sinnvoll aggregiert werden können.

Jede Materialintensitätsanalyse erfordert die Festlegung einer quantifizierbaren Dienstleistungseinheit, um eine Zurechnung der ermittelten Stoffströme vornehmen zu können. Dies bedeutet, daß mit der Festlegung auf eine Service-Einheit andere Aspekte, wie z.B. die Geschwindigkeit von Transporten, welche ebenfalls erheblichen Einfluß auf die Materialintensität haben, lediglich über die Auswahl der miteinander zu vergleichenden Produkte oder Dienstleistungen einbezogen werden können.

Mit der Wahl der Nutzungsdauer wird bei langlebigen Gütern die Zahl der in die Berechnung eingehenden Dienstleistungseinheiten festgelegt. Generell ist jede Bilanzierung von Anlagen, die zwar heute und in der Vergangenheit genutzt wurden, die aber auch in nicht genau vorhersehbarer Intensität und Dauer in der Zukunft genutzt werden, notwendigerweise mit einigen Annahmen verbunden, was zu Unsicherheiten in den Resultaten führt, die sich durch eine geeignete Methodik aber reduzieren lassen (vgl. Stiller, 1996).

Im Unterschied zur Analyse bereits realisierter Systeme, bei der die ökologischen Ineffizienzen während der Nutzungsphase voll erfaßt werden können, werden hier Technologien und konkrete Planungsentwürfe miteinander verglichen. Dazu werden für die Technologien die prognostizierten Nutzungsintensitäten angesetzt. Für die Planungsentwürfe werden nur die entscheidungsrelevanten Inputs berücksichtigt[6].

2.2. Ökologische Rucksäcke

Für eine Bestimmung der lebenszyklusweiten Materialintensität eines Gutes muß der Ressourcenverbrauch, der während seiner Herstellung, Nutzung und Entsorgung entsteht, bis hin zur Gewinnung und Produktion der im einzelnen benötigten Rohstoffe und Ressourcen zurückverfolgt werden. Der sich dabei ergebende Materialaufwand wird als der "ökologische Rucksack" eines Werkstoffs, Produkts oder einer Dienstleistung bezeichnet.

[6]Dies bedeutet konkret, daß der Aufwand für bereits bestehende Infrastruktur nicht mit in die Berechnungen eingeht. In diesem Fall werden lediglich zu erwartende zukünftige Instandsetzungsaufwendugen berücksichtigt.

So werden für die Herstellung einer Tonne Stahl in Deutschland im Durchschnitt 6,4 Tonnen an abiotischen Rohmaterialien, 47 Tonnen Wasser und 1,2 Tonnen Luft eingesetzt (Merten/Liedtke/Schmidt-Bleek, 1995). Dabei gelten diese Werte streng genommen nur für in Deutschland hergestellte Materialien. In einer vernetzten Weltwirtschaft ist ein exaktes Zurückverfolgen jedes einzelnen Inputs für die Produktion eines Bauteils oder Werkstoffs aber praktisch unmöglich. Deshalb wird hier näherungsweise mit den ökologischen Rucksäcken für Deutschland gerechnet, auch wenn eigentlich für importierte Produkte der spezifische Ressourcenverbrauch und der Energieeinsatz im jeweiligen Produktionsland analysiert werden müßten.

Den ökologischen Rucksack des in Deutschland produzierten Stroms hat Manstein analysiert (Manstein, 1996). Demnach ist jede aus dem öffentlichen Netz entnommene MWh mit durchschnittlich 4,6 t abiotischen Rohmaterialien, 83 t Wasser und 0,6 t Luftverbrauch verbunden. Braunkohle erweist sich dabei als ressourcenintensivster Energieträger, während Erdgas und die erneuerbaren Energieträger im allgemeinen relativ wenige Ressourcen benötigen. Da ein Teil des Stroms der Deutschen Bahn AG in speziellen Kraftwerksblöcken der öffentlichen Versorgung erzeugt wird[7], muß in diesem Fall der spezifische Brennstoffmix in die Bilanz eingerechnet werden. Dieser Strom wird - bedingt durch einen anderen Energiemix ohne Braunkohle und mit einem höheren Wasserkraftanteil - wesentlich weniger materialintensiv hergestellt als Strom aus dem öffentlichen Netz (54% weniger abiotische Rohmaterialien, 22% weniger Luft, allerdings 13% mehr Wasser). Methodisch korrekt ist es, dem ICE anteilig - den für ihn unter dem Blickwinkel der Materialintensität vorteilhaften - Strom zuzurechnen. Dagegen muß für den Transrapid mit den Werten der öffentlichen Stromversorger bilanziert werden.

3. Daten zum Material- und Energiebedarf des ICE

3.1. Fahrweg

Der Bau von Hochgeschwindigkeitsstrecken für den ICE ist mit massiven Eingriffen in die Natur und großen Stoffströmen verbunden, selbst wenn bei der Verbindung Hamburg-Berlin eine vergleichsweise flache Topographie vorliegt.

[7]Rund 64% des Fahrstroms der DB AG 1994.

Für die Berechnung der Materialintensität des ICE-Fahrweges diente der Regelquerschnitt des 8,5 km langen Planungsabschnittes 1.1 der Neubaustrecke Erfurt-Leipzig/ Halle (flache Topographie). Dessen typischer Aufbau besteht aus dem Unterbau für die Trassierung sowie dem Oberbau, der aus Frostschutzschicht mit Geotextil, Planumsschutzschicht sowie Gleiskörper besteht. Neben dem Regelquerschnitt des ICE-Fahrweges wurden für die Infrastruktur Weichen und Weichenheizungen, Oberleitungsanlagen, Unterwerke, Betriebsleittechnik und Kommunikationssysteme, aber auch Kreuzungsbauwerke, wie Straßen- und Schienenverkehrsüberführungen, ergänzend berücksichtigt. Tab. 3.1. vermittelt einen Überblick über den Materialaufwand für einen Kilometer ICE-Trasse.

Material		**t oder m^3 je Dkm**
Erdbewegungen	m^3	181.962
Schotter	m^3	25.539
Beton	t	2.388
Stahl	t	2.100
Bitumen	m^3	1.979
Geotextil	m^2	12.024

Tab. 3.1: Materialzusammensetzung des ICE-Fahrweges pro Doppelkilometer (Dkm) Fahrweg

Quelle: eigene Berechnungen

Für die Trassierung wurde analog dem Transrapid eine Nutzungsdauer von 80 Jahren unterstellt. Für Schienen ist eine Erneuerung alle 25 Jahre angenommen worden. Ebenso wird das Schotterbett mit den Betonschwellen in regelmäßigen Abständen überprüft und an kritischen Stellen aufgefüllt und wieder verfestigt (vgl. Fendrich/Junkermann, 1991, S. 362).

3.2. Fahrzeug

Für die Bestimmung der Materialintensität des Fahrzeuges konnte für die Mittelwagen auf ein Konzept zur Massenreduzierung zurückgegriffen werden (Hertel/Köhler/Gerken, 1992, S.375). Mit einem Gesamtgewicht von fast 800.000 kg gilt der ICE 1 mit 12 Mittelwagen im Vergleich zum französischen Hochgeschwindigkeitszug TGV als äußerst schwer. Die Gründe sind beim Mittelwagen zum Teil auf die Druckertüchtigung zurückzuführen, welche eine Veränderung des Innenraumdrucks bei Tunnelbegegnungen verhindern soll, zum Teil auf die aufwendige Innenausstattung der ICE-Mittelwagen.

Für die Bestimmung der Materialintensität des Triebkopfes wurde eine detaillierte Arbeit der ETH Zürich über die Materialzusammensetzung der Lok 2000 zur Hilfe genommen

(Elsener/Strub, 1993; S. 34, S. 87-88). Da die Triebköpfe 19,5 % des Fahrzeuggesamtgewichts ausmachen, sind die Fehler, die sich aus der Näherung ergeben, vertretbar. Mit durchschnittlich insgesamt über 388 t ist der Eigengewichtsanteil von Stahl beim Fahrzeug nach wie vor am größten und weist auf die Ursprünge der „Eisenbahn“ hin.

Der ICE 1 ist, was die Lebensdauer betrifft, für höchste Beanspruchungen durch Witterung, dynamische Belastungen während der Fahrt und den ständig wechselnden Fahrgästen ausgelegt. Nach der wirtschaftlichen Abschreibungszeit von 15 Jahren (entspricht etwa 7,5 Mio. Zugkm) steht das Fahrzeug vor der ersten Großrevision. Nach Aussagen von Experten der Instandhaltung kann von einer Lebensdauer von 30-35 Jahren ausgegangen werden (Jansen/Rohne, 1996).

3.3. Betrieb

Für die Bestimmung des Energieverbrauchs des ICE 1 dienten Langzeitmessungen auf der Schnellfahrstrecke Hannover-Würzburg am Fahrzeug, aus denen ein Verbrauchswert von 39,8 Wh/Sitzplatzkm für einen 13-Wagen-ICE resultiert (vgl. Becker et al., 1995, S. B 86). Die gemessenen Energieverbrauchswerte lagen deutlich unter den simulierten Berechnungen der Regierungskommission Bundesbahn (vgl. Regierungskommission Bundesbahn 1991, S. 52-54).

Bei einer Geschwindigkeit von 300 km/h beträgt der Sekundärenergieverbrauch für einen ICE 3, welcher auf der Neubaustrecke Köln-Rhein/ Main im Jahr 2000 verkehren soll, voraussichtlich 58,9 Wh/Sitzplatzkm (Jänsch, 1990, S. 311)[8]. Als Umwandlungswirkungsgrad[9] vom Fahrzeug (Stromabnehmer) zum Kraftwerk wurden für den Bahnstromanteil 86 % eingerechnet.

[8]Korrigiert man den von Vieregg/Rössler in der Studie für den BUND angesetzte Sekundärenergieverbrauch für den ICE 3 bei 300 km/h auf ICE-Bestuhlung, so liegt dieser rund 7% niedriger. Für einen fairen Vergleich dürfen jedoch keine Langzüge mit dort angesetzten14 Mittelwagen und noch in Entwicklung befindlicher Neigetechnik angesetzt werden.
Den anderen Extremwert (20% höher) bildet eine Energieangabe für den ICE 1 der Thyssen Transrapid System GmbH, der ein energetisch ungünstiger Kurzzug zugrunde liegt. Da mittlerweile der etwas leichtere und damit energetisch bessere ICE 2 eingeführt wird, würde ein Vergleich mit dieser Energieangabe den ICE unangemessen benachteiligen.
[9] Der Gesamtwirkungsgrad setzt sich zusammen aus dem Wirkungsgrad der Fahrleitung, des Umformers, der Freileitung und der Umspannwerke.

4. Daten zum Material- und Energiebedarf des Transrapid

4.1. Fahrweg

Die Hauptbestandteile des Fahrweges der MSB Transrapid sind Beton und Stahl. Ferner müssen die für den Bau notwendigen Erdbewegungen Eingang in die Analyse finden. Tab. 4.1 gibt einen Überblick über die Art und die Menge der bei einem Bau einer Transrapidstrecke gemäß Planfall 8 b im gegenwärtig durchgeführten Raumordnungsverfahren mit Bedarfshaltepunkten in Hamburg-Moorfleet, Schwerin-Holthusen und Berlin-Spandau eingesetzten Materialien, gemittelt über verschiedenen Formen der Trasse. Vorgesehen ist, den Fahrweg rund 139 km aufgeständert, 148,5 km ebenerdig, 0,25 km im Tunnel und daneben noch über 4,7 km Brücken zu führen[10]. Für die Antriebskomponente, dem Langstatormotor, sind 400 t Elektroblech für die Statorpakete und ca. 20 t Aluminium für die Kabelwicklung ebenso wie insgesamt 440 t Flachstahl für die Seitenführungsschienen und die Gleitleisten berücksichtigt worden.

	Materialeinsatz der MSB Berlin-Hamburg (Planfall 8 b)	
Materialart	**Materialeinsatz pro Kilometer Doppelspur (Durchschnitt)**	**Materialeinsatz Trasse B-HH insgesamt**
Erdbewegungen	43.584 m^3	12.748.300 m^3
Schotter	63 m^3	18.400 m^3
Kies	4.346 m^3	1.271.200 m^3
Beton	4.653 m^3	1.361.000 m^3
Stahl	1.796 t	525.300 t
Aluminium	20 t	5.850 t

Tab. 4.1: Materialeinsatzes zur Errichtung des Fahrwegs der Magnetschwebebahn Berlin-Hamburg (gemäß Planfall 8 b,
Quelle: eigene Zusammenstellung nach IFB/eigene Berechnung, vgl. Arenales et al., 1993, S. 75 ff.)

Von der sonstigen Infrastruktur wurden 110-kV Stichleitungen, Unterwerke, Weichen, Schaltstellen, Funkmasten und die Streckenkabel berücksichtigt. Der Materialeinsatz für die Streckenkabel mit 500 mm^2 Querschnitt beträgt i. d. R. pro Dkm Fahrweg 16,2 t Aluminium, in Beschleunigungsabschnitten dagegen 24,3 t/Dkm.

[10] Der Anteil von Beton- und Stahlfahrwegträgern bei aufgeständerter Bauweise ist bislang nicht abschließend festgelegt worden. Zur Berechnung wurde daher ein Verhältnis von 2:1 unterstellt, was der späteren Aufteilung näherungsweise entsprechen sollte.

Erkenntnisse über den Verschleiß der MSB im regulären Einsatz liegen nicht vor. Die Nutzungsdauer der Fahrwegträgerunterbauten wurde mit 80 Jahren angesetzt, wie es gleichermaßen auch bei Straßen- oder Eisenbahnbauten üblich ist (vgl. Gelles et al. 1994, S. 7).

4.2. Fahrzeug

Die Fahrzeuge der MSB bestehen aus zwei Bugsektionen und einer zu variierenden Anzahl Mittelsektionen. Da sich Bug- und Mittelsektionen nur geringfügig unterscheiden, wurde die Untersuchung auf die Mittelsektionen beschränkt. Für die Bug- und Mittelsektion wird ein Zielgewicht von ca. 46-47 t angestrebt. Gegenwärtig beträgt das Gesamtgewicht der analysierten Mittelsektionen noch 49,13 t. Hiervon konnten 42,5 t bestimmt bzw. abgeschätzt werden, entsprechend einem Bestimmungsgrad von 86,5 %. Dieser bestimmte Materialanteil wurde auf das Gesamtgewicht der Mittelsektionen hochgerechnet. Bezüglich der Nutzungszeit der Fahrzeuge der MSB kann wie bei Fahrzeugen des Rad-/Schienesystems von rund 30 Jahren ausgegangen werden (vgl. Lübke, 1991, S. 43).

4.3. Betrieb

Der für die MIPS-Analyse relevante Verbrauch der MSB Transrapid pro Personenkilometer (Pkm) wird durch die Determinanten Auslastungsgrad, Bestuhlungsdichte und Betriebsgeschwindigkeit bestimmt. Bei TGV-Bestuhlung, 60% Auslastung und 6 Sektionen ist nach Angaben der Thyssen Transrapid System GmbH mit folgenden Sekundärenergieverbrauchswerten zu rechnen[11]:

Fahrgeschwindigkeit in km/h	(Sekundär-) Energieverbrauch pro Sitzplatzkilometer in Wh	(Sekundär-) Energieverbrauch pro Personenkilometer in Wh	Benzinäquivalent pro 100 Personenkilometer in Liter
250	27	45	1,50
300	33	55	1,83
400	48	80	2,66
450	57	95	3,16

[11]Für den Technologievergleich wurde hingegen eine dem ICE analoge Bestuhlungsdichte mit entsprechend höheren Energieverbräuchen pro Sitzplatz-km gewählt.

Tab. 4.3: Fahrenergieverbrauch des Transrapid unter der Annahme einer hohen Auslastung und Bestuhlung nach TGV/ Shinkansen-Standard (vgl. Thyssen Henschel Magnetfahrtechnik, 1996, S. 16f.)

5. Berechnung der Materialintensität der beiden Verkehrssysteme

Wie bei jedem Vergleich von Produkten und Dienstleistungen müssen auch für einen Vergleich der beiden spurgeführten Hochgeschwindigkeitsverkehrssysteme verschiedene Annahmen getroffen werden, die teilweise erheblichen Einfluß auf die Ergebnisse haben. Deshalb wurden in der vorliegenden Studie verschiedene Szenarien bezüglich der Dimensionierung und Nutzung der beiden Systeme entwickelt. Ziel der Szenarien ist es letztendlich, eine Systemauslegung mit einer möglichst hohen Ressourcenproduktivität, d.h. einer möglichst geringen Materialintensität pro Serviceeinheit zu erreichen. Dabei lassen sich zwei Arten von Szenarien unterscheiden:

1. Bei reinen Technologieszenarien werden so weit wie möglich gleiche Randbedingungen für beide Systeme angesetzt. Solche Technologieszenarien werden hier für die drei Geschwindigkeiten 250 km/h, 300 km/h und 400 km/h (nur Transrapid) vorgestellt, bei denen heutige und zukünftige Rad-Schiene-Technologie sowie Magnetschwebetechnik betrieben werden können und die den Einfluß der Geschwindigkeit auf die Materialintensität aufzeigen.[12] Es werden alle über den angesetzten Nutzungszeitraum auftretenden Stoffströme bilanziert.

2. In den Realszenarien werden verschiedene Optionen für die konkret in Planung befindliche Transrapid-Strecke zwischen Hamburg und Berlin sowie für eine fiktive, alternative ICE-Hochgeschwindigkeitsverbindung miteinander verglichen. Neben verschiedenen Geschwindigkeiten für den Transrapid mit 430km/h (ursprüngliche Planung), 400 km/h (aktuelle Planung) und 350 km/h ("ökologisches Augenmaß") werden für den ICE bei zukünftigen 300 km/h die Bestuhlung und der Strombezug variiert. Im Unterschied zu den Technologieszenarien sind in den Realszenarien analog einer Investitionsrechnung nur die langfristigen entscheidungsrelevanten Stoffströme zu berücksichtigen.

5.1. Festlegung der Randbedingungen und Annahmen

[12] In allen drei Fällen wird von keiner Änderung im Verkehrsvolumen auf der Strecke ausgegangen, obwohl die Reisegeschwindigkeit potentiell Auswirkungen auf die Fahrgastzahlen haben kann.

Für die Auswahl aussagekräftiger bzw. realistischer Szenarien ist die Kenntnis der entscheidenen Einflußgrößen auf die Materialintensität von Infrastruktur, Fahrzeugen und Betrieb wichtig. Folgende Einflußgrößen sind dabei besonders von Bedeutung:

- **Dienstleistungseinheit**: Fundamentaler Zweck von Verkehrssystemen ist die Entfernungsüberwindung, weswegen für die Technologieszenarien als zu normierende Größe ein Personenkilometer (Pkm) gewählt wird, für die Realszenarien hingegen eine Fahrt von Hamburg nach Berlin. Damit wird das Nutzenbündel der Dienstleistung "Fahrt mit dem Transrapid bzw. ICE" jedoch nur teilweise beschrieben, da Annehmlichkeiten wie Fahrkomfort durch große Beinfreiheit oder Zugrestaurant, Taktfrequenz und damit mögliche Wartezeit ebenfalls dazugehören. Wesentlicher weiterer Parameter ist aber die Fahrzeit und damit die Geschwindigkeit, die deshalb variiert werden muß[13].

- **Fahrweg inkl. sonst. Infrastruktur:** Die Länge des Fahrweges bei mehreren möglichen Alternativen hat Einfluß auf die Materialintensität der Infrastruktur. Hier werden für die Realszenarien die in Planung befindliche Transrapid-Strecke Hamburg-Berlin über Schwerin (292 km) und für den ICE eine alternative Strecke über Uelzen/Stendal (284 km) untersucht[14]. Diese verschiedentlich von Umweltverbänden als Alternative ins Spiel gebrachte Strecke hätte den großen Vorteil, daß bis auf einen 95 km langen Lückenschluß zwischen Uelzen und Stendal keine Hochgeschwindigkeitstrasse neu zu erstellen wäre, da der Abschnitt Stendal-Berlin bereits für die Ost-West-Verbindung Hannover-Berlin gebaut wird und das Teilstück Hamburg-Uelzen bereits Geschwindigkeiten von bis zu 230 km erlaubt[15]. Hier müssen somit für die bestehenden bzw. in Bau befindlichen Teilstücke lediglich die Instandhaltungsaufwendungen berücksichtigt werden.

- **Zugkonfiguration:** Bei hohen Geschwindigkeiten steigt der Einfluß des Luftwiderstandes auf den Energieverbrauch. Dieser hängt insbesondere von der Frontsektion ab, während

[13]Neben der Höchstgeschwindigkeit wird die effektive Fahrzeit für die Entfernungsüberwindung vom Ort A zum Ort B häufig in wesentlich größerem Maße durch die Länge der Bahnhofsaufenthalte z.B. für Anschlußzüge oder langsames Ein- und Aussteigen, lange Einfahrten in Bahnhöfe mit deutlich reduzierter Geschwindigkeit und - hier ausgeblendet, da kaum zu pauschalisieren aber nicht zu vergessen - den Zu- und Abgang vom Bahnhof vom Ausgangsort bzw. bis zum letztendlichen Zielort bestimmt. Fahrzeitgewinne durch höhere Spitzengeschwindigkeiten sind deshalb immer vor dem Hintergrund dieser weiteren Einflußgrößen zu bewerten.

[14]Eine parallele ICE-Neubaustrecke über Schwerin wurde ebenfalls betrachtet, hier der Kürze wegen jedoch nicht näher dargestellt. Die Materialintensitätsanalyse ergibt deutliche Vorteile für den Transrapid (vgl. Tab. 5.2., Szenario e).

[15]Dabei wurde unterstellt, daß die Kapazität der im Mischverkehr betriebenen Strecke Hamburg-Hannover für diese zusätzliche Nutzung ausreicht, etliches spricht jedoch auch für eine Erweiterung um zwei zusätzliche Gleise in diesem fiktiven Fall.

die Zahl der Wagen bzw. Sektionen einen eher bescheidenen Einfluß ausübt. Deswegen wurde die Kapazität der beiden Systeme annähernd gleich gewählt.

- **Bestuhlung/Ausstattung:** Je höher die Zahl der Sitzplätze pro Traktion bzw. Wagen, desto niedriger der Energieverbrauch pro Sitzplatz. Für den Technologievergleich wurde deshalb eine einheitliche ICE-Bestuhlung gewählt. Dagegen wurden in den Realszenarien für den Transrapid bei TGV-Bestuhlung ohne Bordrestaurant lediglich 6 Sektionen mit 696 Sitzplätzen angesetzt. Insgesamt kann somit eine etwa 30% bessere Platzausnutzung erreicht werden als im ICE.

- **Passagierleistungen:** Die Anzahl der beförderten Personen pro Jahr hat direkte Rückwirkungen auf die Materialintensität der Infrastruktur und die Zahl der notwendigen Fahrzeuge. Generell gilt: Je besser ausgelastet eine Trasse ist, desto kleiner ist die spezifische Materialintensität pro Fahrt.
  Für die Transrapid-Verbindung wird mittlerweile offiziell von einer Verkehrsleistung von 2,6 -3,5 Mrd. Pkm bei erheblichem Pendleranteil ausgegangen. Hier wird eine Zahl von 3,05 Mrd. Pkm bei einer Fahrzeit von 60 min zwischen Hamburg und Berlin angenommen, für das Szenario mit rund 70 min Fahrzeit 2,6 Mrd. Pkm. Für die ICE-Verbindung über Stendal wurde für das fiktiv neu zu bauende Teilstück ein Verkehrsvolumen von 6,5 Mio. Passagieren geschätzt[16].

- **Auslastung:** Die Auslastung der Züge hat direkten Einfluß auf die Materialintensität des Betriebs. Hier wird in allen Szenarien von einer durchschnittlichen Auslastung der Fahrzeuge von 60% ausgegangen[17], was deutlich über der derzeitigen ICE-Auslastung mit knapp über 50%, aber unterhalb der der Lufthansa mit 65% mit variabler Flottengröße im innerdeutschen Flugverkehr liegt.

- **Mischverkehr:** Wird zusätzlich Güterverkehr (tkm/a) im Nachtsprung auf ICE-Trassen befördert, so führt dies zu einer Erhöhung der Serviceleistung des Fahrweges. Dies ist potentiell ein erheblicher Vorteil für das Rad-Schiene-System. Da die DB AG in jüngster

[16]Die hier zugrunde gelegten Verkehrsströme sind natürlich angreifbar, da es keine verläßliche Angaben über die Zukunft geben kann. Sie erscheinen jedoch in den Proportionen untereinander plausibel. Kleinere Verkehrsmengen hätten zur Folge, daß der Beitrag des Ressourcenverbrauchs durch den Fahrweg höher liegen würde. Obwohl dies für beide Verkehrssysteme gilt, führen niedrigere Absolutwerte für die Transrapidtrasse dazu, daß bei geringerem Passagieraufkommen sich der Materialinput pro Service Einheit für den ICE stärker erhöhen würde als für den Transrapid.
[17]Es gibt kein überzeugendes Argument, warum mit einem ICE bei adäquaten Zugkonfigurationen und Taktzeiten nicht gleiche Auslastungen erreicht werden können wie mit dem Transrapid, so daß für die Bahn ebenfalls optimistisch von einer 60% Auslastung ausgegangen wird.

Zeit jedoch erklärt hat, zukünftig Hochgeschwindigkeitsnetz und Frachtverkehr trennen zu wollen, wird Mischverkehr in dieser Studie nicht weiter berücksichtigt.

- **Endenergiebezug**: Je nachdem, ob die elektrische Energie aus dem öffentlichen Netz oder aus der Eigenerzeugung der DB AG bereitgestellt wird, ergeben sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Materialintensität des Betriebs. In den Realszenarien wird dem ICE der in speziellen Bahnstromblöcken der öffentlichen Versorger erzeugte, wesentlich weniger materialintensive Bahnstrom anteilig zugerechnet (vgl. Kap. 2.2.). Dagegen muß für den Transrapid mit den Werten der öffentlichen Stromversorger bilanziert werden. Bei einem allgemeinen Systemvergleich der beiden Verkehrssysteme dürfen derartige Unterschiede in der Bereitstellung der notwendigen Endenergie keine Rolle spielen. Deshalb wurde in diesem Fall für beide Systeme ein Strombezug aus dem öffentlichen Netz gewählt.

5.2. Ergebnisse

1. Im Technologievergleich der beiden spurgeführten Verkehrssysteme schneidet der Transrapid bei **gleicher** Geschwindigkeit, gleichem Verkehrsvolumen und neu zu erschaffender Infrastruktur in allen Kategorien deutlich besser ab als der ICE. Dabei wird der Systemvorteil mit zunehmender Geschwindigkeit für beide Systeme größer[18].

2. Hochgeschwindigkeitsverkehr ist generell sehr ressourcenintensiv, dies gilt für beide Verkehrssysteme. Sowohl beim ICE als auch beim Transrapid steigt der Stromverbrauch und in Konsequenz die Materialintensität überproportional mit wachsender Geschwindigkeit. So steigt der Stromverbrauch des ICE bei einer Geschwindigkeitssteigerung von 230 km/h auf 300 km/h bzw. des Transrapids von 300 auf 400 km/h jeweils um rund 50%. Wird der Transrapid mit 400 km/h und mehr betrieben, so ist seine Ressourceneffizienz generell nicht mehr besser als die eines ICE bei 300 km/h.

3. Ein erheblicher Teil der abiotischen Ressourcen wird für die Infrastuktur gebraucht. Hier zeigt sich, daß eine Beschränkung der Analyse auf die Betriebsphase zu kurz greifen würde. Vielmehr wird der Landschaftsverbrauch durch die Infrastruktur integrativ durch das MIPS-Konzept abgebildet. Dabei erweist sich die Infrastruktur des Transrapid als wesentlich ressourcenschonender als die des ICE, bedingt durch die bessere Anpassungs-

[18]Die Vorteile des Transrapid basieren sowohl auf seinem vergleichsweise niedrigeren spezifischen Stromverbrauch durch sein deutlich niedrigeres Fahrzeuggewicht pro Sitzplatz, seiner besseren Aerodynamik als auch auf seinem wesentlich weniger ressourcenintensiven Fahrweg.

fähigkeit seines Fahrweges an die Landschaft durch die überwiegende Stelzenbauweise sowie durch kleinere Kurvenradien und besseres Steigevermögen[19]. Der ICE kann dann "mithalten", wenn er den Vorteil eines in vielen Fällen bereits bestehenden Netzes nutzen kann.

4. In allen betrachteten Fällen ist der Ressourcenaufwand der Fahrzeugherstellung vergleichsweise gering (<1%). Hier wirkt sich die Tatsache aus, daß im Unterschied zu Automobilen für die hier bilanzierten Fahrzeuge von einer Lebensfahrleistung von mehreren Mio. km auszugehen ist, so daß der spezifische Aufwand pro Pkm klein ist.

5. Würde statt einer Transrapid-Trasse Hamburg-Schwerin-Berlin die Lücke zwischen der bestehenden ICE-Strecke Hamburg-Uelzen-Hannover und der Neubaustrecke Hannover-Stendal-Berlin geschlossen, so würde die Nutzung weitgehend bestehender Infrastruktur und der auf einem Drittel der Strecke bedingt durch eine Höchstgeschwindigkeit von lediglich 230 km/h deutlich verminderte Energieverbrauch für den ICE dazu führen, daß in diesem Fall der ICE besser abschneidet als der derzeit geplante Transrapidbetrieb mit Geschwindigkeiten von 400 km/h. So würde der Verbrauch an Luft (CO_2) um rund 16%, der von abiotischen Materialien um 12 % sinken.

Technologieszenarien: Ergebnisse der MIPS-Analyse

Technologieszenario (Tz)		Subsystem	abiotische Rohmat. g/ Pkm	Wasser g/Pkm	Luft g/Pkm
	Transrapid	Infrastruktur	109	391	4
	ICE	Infrastruktur	380	904	3,5
	Transrapid	Fahrzeug	2	17	0,2
	ICE	Fahrzeug	4	26	0,3
TZ1	Transrapid	total	355	4947	35,3
250km/h	ICE	total	696	6704	43,9
	TR 250 / ICE 250		*51%*	*74%*	*80%*
TZ2	Transrapid	total	429	6323	45
300km/h	ICE	total	784	8510	69,6

[19]Allerdings besteht für die Bahn prinzipiell die Möglichkeit, die Infrastruktur auch für den Gütertransport zu nutzen, während der Transrapid - abgesehen von leichten Gütern analog der Luftfracht - für den reinen Personenverkehr konzipiert ist. Die Deutsche Bahn AG sieht jedoch für den Hochgeschwindigkeitsverkehr eine Trennung von Güter- und Personenverkehr vor, so daß der hier gewählte Ansatz die zukünftige Ressourcenintensität realitätsnah abbildet.

	TR 300 / ICE 300		*51%*	*67%*	*71%*
TZ3	Transrapid	total	585	9211	64,9
400km/h	*TR 400 / ICE 300*		*69%*	*97%*	*103%*

Tab. 5.1: Ergebnisse der MIPS-Analyse für die Technologieszenarien

Realszenarien: Ergebnisse der MIPS-Analyse					
			abiotische Rohmat. kg/ Fahrt	**Wasser kg/Fahrt**	**Luft kg/Fahrt**
a1	Transrapid	430 km/h, ICE-Bestuhlung	202	3186	22,4
a2	Transrapid	430 km/h, TGV-Bestuhlung	153	2288	16,2
b	Transrapid	400 km/h, TGV-Bestuhlung	141	2067	14,7
c	Transrapid	350 km/h, TGV-Bestuhlung	127	1757	12,5
d1	ICE	230/300 km/h, via Uelzen	127	2625	12,6
d2	ICE	TGV-Bestuhlung,öffentl. Strommix	169	2023	13,0
e	ICE	300 km/h, via Schwerin	224	3090	15,1

Tab. 5.2.: Materialintensität einer Fahrt von Hamburg nach Berlin für die verschiedenen Realszenarien

Realszenarien: Relativer Vergleich der Ergebnisse				
		abiotische Rohmat.	**Wasser**	**Luft**
a1:c	Transrapid 430 (ICE-Bestuhlung)/ Transrapid 350	1,59	1,81	1,79
a2:c	Transrapid430 / Transrapid 350	1,20	1,30	1,29
b:d1	Transrapid400/ ICE via Uelzen	1,12	0,79	1,16
c:d1	Transrapid 350/ ICE- via Uelzen	1,00	0,67	0,99
c:d2	TR 350/ ICE via Uelzen, öff.Strommix,TGV-Best.	0,75	0,87	0,97

Tab. 5.3.: Relativer Vergleich der Ergebnisse für die verschienden Realszenarien

6. Verzichtete man beim Transrapid auf die politische Vorgabe von einer Stunde Reisezeit von Hamburg nach Berlin und reduzierte man die geplante Höchstgeschwindigkeit von 400 km/h auf nicht mehr als 350 km/h - was die Reisezeit um nicht einmal 10 Minuten

erhöhen würde -[20], so erreichte der Transrapid trotz des Anschlusses von Schwerin eine etwas niedrigere Materialintensität als die beste Variante für den ICE via Uelzen. Der Nutzen der Transrapidverbindung läge dann nicht zuletzt auch im Anschluß von Schwerin.

7. Beim ICE bietet die wenig platzsparende, eher großzügige Innnenraumgestaltung einigen Spielraum für eine Verbesserung der Ressourcenproduktivität, insbesondere in der Kategorie Luft. Zugleich profitiert der ICE vom im Vergleich zum öffentlichen Netz deutlich weniger ressourcenaufwendigen Bahnstrom. Ein Angleichen dieser beiden Parameter würde zu deutlicheren Vorteilen für den Transrapid führen, insbesondere beim Verbrauch an abiotischen Rohmaterialien.

8. Bei der sehr auf die Spitzengeschwindigkeit konzentrierten Diskussion bleiben etliche weitere relevante Aspekte außer Betracht. So sind für die Fahrzeit auch das deutlich höhere Beschleunigungsvermögen des Transrapid und - bedingt durch die bei "niedrigeren" Geschwindigkeiten geringeren Schallemissionen - höheren Fahrgeschwindigkeiten durch dicht besiedelte Gebiete nicht zu vergessende Parameter. Noch wichtiger erscheint jedoch eine Optimierung der vor- und nachgelagerten Wege sowie der Zu- und Abgangszeiten in den Bahnhöfen. Sollten infolge Reservierungspflicht ähnlich wie beim Euro-Star "check-in-Zeiten" von 15 Minuten erforderlich sein, oder lange Wege auf den Bahnhöfen sowie eine schlechte Anbindung an den regionalen und lokalen öffentlichen Nahverkehr bestehen, so lägen dort im Hinblick auf eine Optimierung der gesamten Transportkette die wesentlich weniger spektakulären, aber ökologisch wie zeitökonomisch lohnenderen Einsparpotentiale.

6. Schlußfolgerungen

In der vorliegenden Studie wurde die Ressourcenproduktivität der beiden spurgeführten Hochgeschwindigkeitssysteme ICE und Transrapid miteinander verglichen. Dabei wurde sowohl ein Technologievergleich vorgenommen als auch die Materialintensität einer Fahrt von Hamburg nach Berlin untersucht.

Der Technologievergleich zeigt deutlich, daß der Transrapid prinzipiell bei identischer Geschwindigkeit weniger Ressourcen verbraucht als ein ICE. Wird er mit Geschwindigkeiten

[20]Linear gerechnet müßte sich bei einer Reduktion der Geschwindigkeit von 400 km/h auf 350 km/h (minus 12,5%) die Fahrzeit von 60 min auf ca. 68 min (plus 13%) erhöhen. Bezieht man Haltepunkte mit ein, so dürfte sich die reale Fahrzeit sogar um etwas weniger als 8 min verlängern.

deutlich unter 400 km/h betrieben, so wäre sein Einsatz unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenproduktivität dem ICE ökologisch vorzuziehen, was besonders im Hinblick auf den Bau von neuen Personenverkehrsverbindungen in Weltgegenden mit unterentwickeltem Bahnnetz von Relevanz ist.

Was die Verbindung Hamburg Berlin betrifft, so muß an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen werden, daß in dieser Studie weder der generelle Bedarf einer zusätzlichen Hochgeschwindigkeitsverbindung zwischen beiden Metropolen - nicht zuletzt vor dem Hintergrund einer gerade für 3,5 Mrd. DM renovierten IC-Strecke - noch deren Wirtschaftlichkeit untersucht worden sind.

Entschließt man sich aber für den Bau einer spurgeführten Hochgeschwindigkeitsverbindung zwischen Hamburg und Berlin, so zeigen die Ergebnisse, daß bei einem leichten Abrücken von der politischen Vorgabe von einer Fahrzeit von genau einer Stunde hin zu Höchstgeschwindigkeiten von nicht mehr als 350 km/h, eine Fahrt mit dem Transrapid weniger Ressourcen verbrauchen würde als eine Fahrt mit einem ICE, selbst wenn dieser zu zweidritteln bestehende bzw. andere in Bau befindliche Hochgeschwindigkeitstrassen nutzen würde.

Dies bedeutet, daß mit dem Bau einer Transrapidstrecke von Hamburg nach Berlin nicht - wie vielfach behauptet - automatisch ein ökologischer Supergau verbunden sein muß, die gegenwärtige Planung aus ökologischer Sicht jedoch auch noch einiges an ökologischem Optimierungspotential offen läßt. Schließlich legen die Ergebnisse nahe, den zum Betrieb des Transrapid wie auch des ICE benötigten Strom langfristig auf wesentlich ökologischere Art und Weise zu produzieren, um so die Ressourcenproduktivität bei beiden Systemen weiter zu steigern.

7. Literatur:

Elsener, J., Strub, P.: Material und Energiebilanz für den Güterverkehr - Teil Infrastruktur und Fahrzeugpark, Semesterarbeit an der ETH-Zürich, Insitut für Energietechnik, Zürich 1993.

Fendrich, L., Junkermann, N.: Anlagen des Oberbaues und deren Instandhaltung auf Neubaustrecken, in: ETR, 40 (1991) Heft 5/6, S. 359 – 366.

Gelles, M., Hornig, A., Schwindt, G.: Transrapid Anwendungsfahrweg, Teil I: Fahrweganforderungen, in: Bundesministerium für Forschung und Technologie (Hrsg.): Statusseminar Schnellbahnen, Magnetbahn und Rad/Schiene-Technik, Darmstadt 1994, Kap. 17, S. 2 - 24.

Gers, V.: Möglichkeiten und Grenzen der Implementierung von Ansätzen und Konzepten der Wirkungsforschung in unternehmerische Entscheidungsprozesse, Diss., Universität-Gh Kassel, Kassel 1997 (in Vorbereitung).

Hertel, S., Köhler, W., Gerken, T.: Konzept zur Massenreduzierung beim Mittelwagen des IC-Express, in: ETR, 41 (1992) Heft 6, S. 375-382.

Hübner, H., Dunkel, T., Gers, V., Höft, J., Jahnes, S., Kleinkauf, U., Schotter, A.: Transrapid zwischen Ökonomie und Ökologie, Eine Technikwirkungsanalyse alternativer Hochgeschwindigkeitsverkehrssysteme, Wiesbaden 1997 (in Druck).

Hübner, H., Jahnes, S.: Perspektiven und Lösungsansätze für ein ökologie-orientiertes Wirtschaften (II), in: WISU, 21 (1992) Heft 8/9, S. 653 – 657.

Hübner, H, Simon-Hübner, D.: Ökologische Qualität von Produkten, Ein Leitfaden für Unternehmen, hrsg. v. Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, Wiesbaden 1991 – zu beziehen über TWI, Universität-Gh Kassel.

Arenales, H., Benedickt, C., Hilliges, D., Kraetzchmer, D., Rampelmann, R.: Reduzierung der Umwelteffekte in der Bauphase eines neuen Bahnsystems, IFB-Bericht-Nr.: 93/603800/202, im Auftrag der Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie, Forschungsvorhaben 109 06 007, Berlin 1993.

Jänsch, E.: Energieverbrauch und klimarelevante Emissionen im Personenfernverkehr, in: eb, 88 (1990) Heft 8, S. 307 – 315.

Jansen, H., Rohne, S.: Expertengespräch im ICE-Bahnbetriebswerk Hamburg-Eidelstedt, Hamburg, 07.08.1996.

Lübke, D.: Das System des ICE, in: Rahn, T./Hochbruck, H./Müller, F. W. (Hrsg.): ICE - Zug der Zukunft, Darmstadt 1991, S. 35 - 45.

Magnetschnellbahn-Planungsgesellschaft mbH: Magnetschnellbahn Berlin-Hamburg, Erläuterungsbericht, Schwerin 1996.

Manstein, C.: Das Elektrizitätsmodul im MIPS-Konzept, Materialintensitätsanalyse der bundesdeutschen Stromversorgung (Öffentliches Netz) im Jahr 1991, Wuppertal Papers Nr. 51, Wuppertal 1996.

Merten, T., Liedtke, C., Schmidt-Bleek, F.: Materialintensitätsanalysen von Grund-, Werk- und Baustoffen (1), Die Werkstoffe Beton und Stahl, Materialintensitäten von Freileitungsmasten, Wuppertal Papers Nr. 27, Wuppertal 1995.

Becker, U., Matthes, U., Rommerskirchen, S., Schulz, J., Vrtic, M. : Bedeutung und Umweltwirkungen von Schienen- und Luftverkehr in Deutschland, Prognos AG Basel 1995.

Regierungskommission Bundesbahn: Bericht der Regierungskommission Bundesbahn, Bonn 1991.

Schmidt-Bleek, F.: Wieviel Umwelt braucht der Mensch?, MIPS – Das Maß für ökologisches Wirtschaften, Berlin 1994.

Schmidt-Bleek, F. (Hrsg.): MAIA Einführung in die Materialintensitätsanalyse nach dem MIPS Konzept, Wuppertal 1996.

Stiller, H.: Materialintensitätsanalysen von Transporten - Neue Prioritäten für Instrumente ?, in J. Köhn, M.J. Welfens, Neue Ansätze in der Umweltökonomie, Marburg 1996, S. 253-284.

Thyssen Henschel Magnetfahrtechnik: Diskussionvorlage, technische Aspekte des Transrapid, aktueller Systemdatenvergleich 4195, o. O. 1995.

Thyssen Henschel Magnetfahrtechnik: Magnetschnellbahn Berlin - Hamburg, Umweltdaten, o. O. 1996.

United Nations: Commission for Sustainable Development, 1987.

Weizsäcker, E.U. von, Lovins, A., Lovins, H.: Faktor 4, Doppelter Wohlstand - halbierter Naturverbrauch, München 1995.