

Der Transrapid



Anton Knöner - Universität Bielefeld

Inhalt

1. Motivation
2. Geschichte
3. Technik
 - a. Magnetisches Schweben
 - b. Fahrweg
4. Diskussion
 - a. Vor und Nachteile - Vgl. zum ICE
 - b. Kritisches Fazit
5. Streckenbeispiel: Hamburg ↔ Berlin
6. Gründe des Scheiterns
7. Realisierte Projekte und Zukunftsperspektive
8. Quellen

1. Motivation

- Kein Nobelpreis
- Ziel: Revolution in der Fortbewegung
 - Keine Verbesserung sondern völlige Neuentwicklung der Fortbewegung
- Schließen der Lücke zwischen Auto und Flugzeug
- Mittlerweile besonders interessant: Klimaneutrale Fortbewegung
- Ankündigung: Viele Unterthemen die wir “später ansprechen”

2. Geschichte

- Idee erstmals **1922** entwickelt
- Lange Zeit nicht Umsetzbar
 - zu **schwache Magnete**
 - zu **hohe Kosten**
 - zu **schlechte Software**
- **1934** erstes Patent

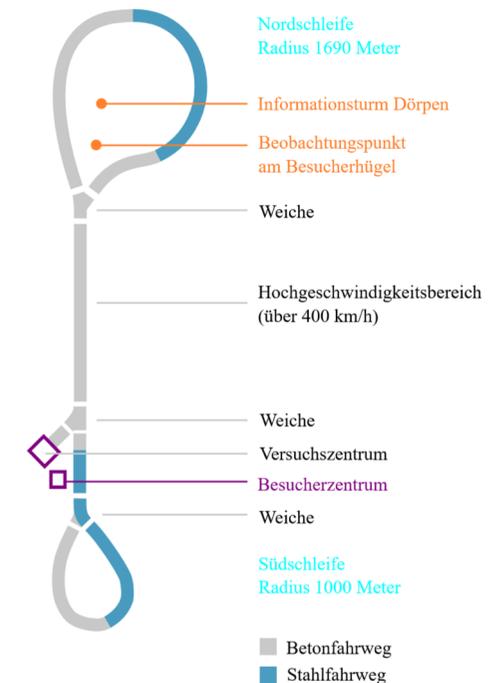
2. Geschichte

- Unterbrechung der Forschung durch 2. Weltkrieg
- **1969** Bundesamt für Verkehr gibt **Studie** für Hochleistungs-Schnellbahn in Auftrag
- **1971 erste Magnetschwebebahn** in Ottobrunn bei München mit **700 m** Teststrecke
 - Daten: **4 Sitzplätze | 5 Tonnen | 90km/h**

2. Entwicklung des Transrapids

- Testgebiet Emsland
 - Bau einer **31,5 km** langen Teststrecke
- Festlegung auf Schwebetypen **EMS**
- Geschwindigkeitsrekorde
 - 1984 302km/h ferngesteuert
 - 1987 412,6 km/h mit Passagieren
 - 1993 **450 km/h** im regelmäßigen Betrieb

Transrapid Versuchsanlage Emsland
Gesamtlänge der Teststrecke: 31,5 km



3. Technik - Magnetisches Schweben

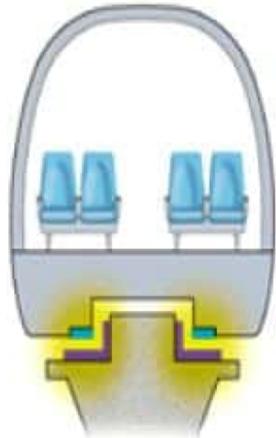
PMS - PermanentMagnetisches Schweben

- Vision: Schweben durch **Supraleitung**
- Vorteil:
 - Schweben im Stand
 - keine Elektronische Regelung nötig
- Nachteil:
 - Extrem **teuer**
 - Kühlung

3. Technik - Magnetisches Schweben

Levitation Techniques

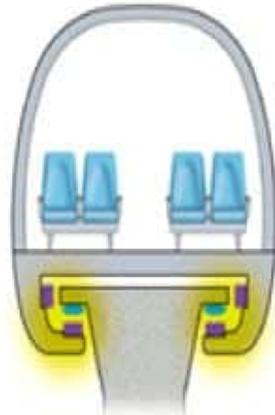
ELECTRODYNAMIC



Electromagnets on the guideway levitate the car.

EDS

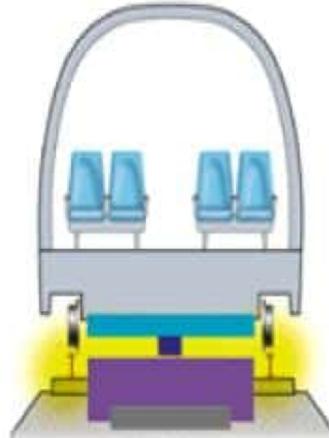
ELECTROMAGNETIC



Electromagnets on the cars lift the cars.

EMS

INDUCTRACK



Permanent magnets levitate over passive coils.

PMS

EDS =

ElektroDynamisches
Schweben

EMS =

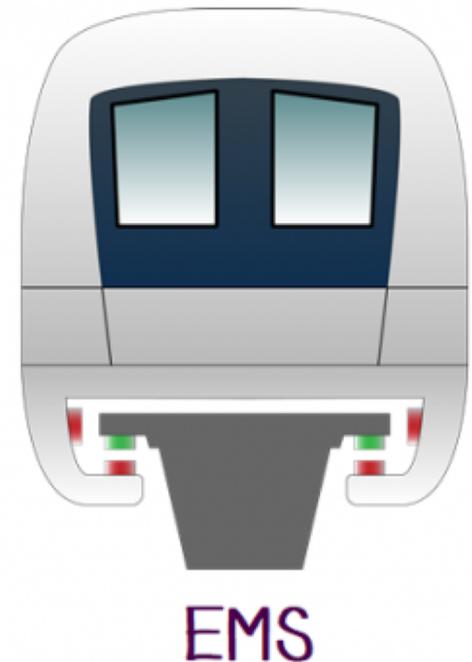
ElektroMagnetisches
Schweben

3. Technik - Magnetisches Schweben

- Einigung auf Beschränkung der Forschung: Nur **EMS**
 - Vielversprechende Ergebnisse (1971 Ottobrunn)
 - Kosten - kein Geld für andere Schwebetypen

3. Technik - EMS

- Einteilung in **Trag** und **Führ**-Magnete (rot)
- **Tragmagnete** ziehen das Fahrzeug von unten an den Fahrweg → “Schweben”
- **Führmagnete** (deutlich schwächer) halten das Fahrzeug in der Spur
- Magnete sind **10mm** vom Fahrweg entfernt
- Transrapid schwebt **15cm** über der Trasse



Vorteile EMS

- offensichtlich keine Reibung durch Rad/Schiene
- Beschleunigung (mehr dazu bei 3. b) Fahrweg)
- hohe Kurvengeschwindigkeiten durch Führungsmagnete
- 10% Längsneigung vgl. 4% ICE
 - Kein biegen der Gleise
- kein Entgleisen
- sehr leise
- kann mit Grüner Energie betrieben werden

Nachteile

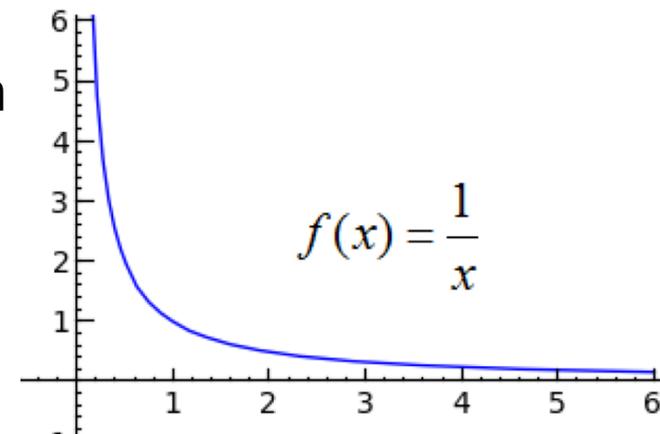
- Benötigt elektronische Schweberegulung
- Schweben im Stand verbraucht Energie
 - Gibt aber Standstützen
- Fahren bis 100km/h braucht Energie von Bord
 - danach Induktionsstrom aus dem Fahrweg
 - typisch Batterie: schwer, teuer und umweltschädlich
- Konsequenz: Weniger geeignet für den Nah- und Stadt-Verkehr
- Fahrweg ist Verhältnismäßig teuer (mehr in Kap. 4 & 6)

Elektronische Schweberegulung

- Abstandssensor misst dauerhaft den Abstand: Magnet - Fahrweg
- Das elektronisch geregelte Schweben braucht viel Präzision
 - Einsteigen der Fahrgäste
 - Aufladen an Gütern
 - Steigungsänderung des Fahrweges
- Tragmagnete müssen stärker gehalten
 - Möglichst schnelles Detektieren der Abstandsänderung
 - sonst umso stärkeres Nachjustieren

Stärke eines Magnetfeldes

- fällt mit $1/x$
- Trag- und Führungsmagnete nur bei 10mm Abstand zum Fahrweg im Gleichgewicht
- Es folgt Neuberechnung des benötigten Magnetfeldes



Berechnung

- Wie schnell war der Abfall
- Wie weit war der Abfall
 - ⇒ Abfallgeschwindigkeit
- Wie weit fällt der Zug noch bis zur Nachjustierung

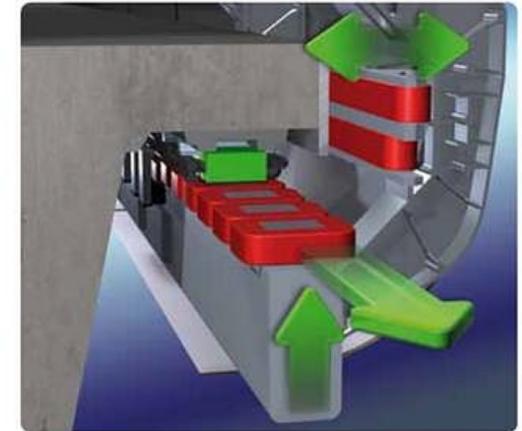
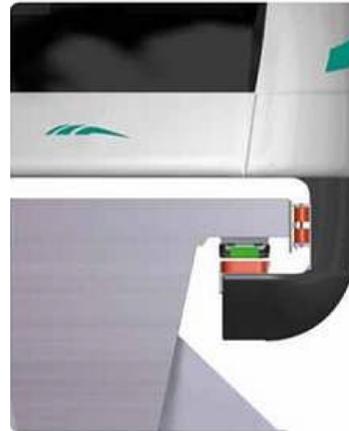
⇒ Wie stark muss das Magnetfeld sein

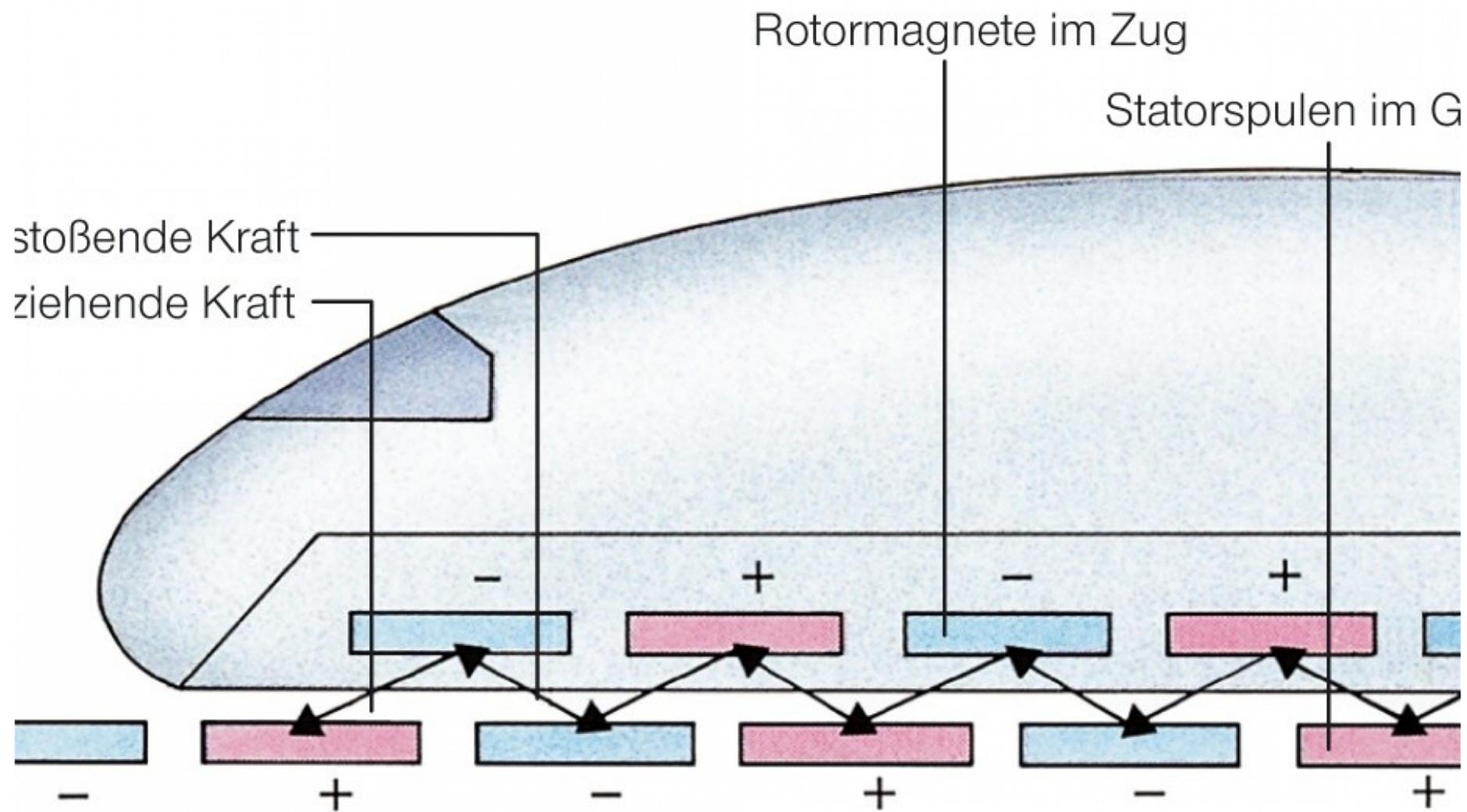
⇒ Wie stark muss der Stromfluss in den Magnetspulen sein

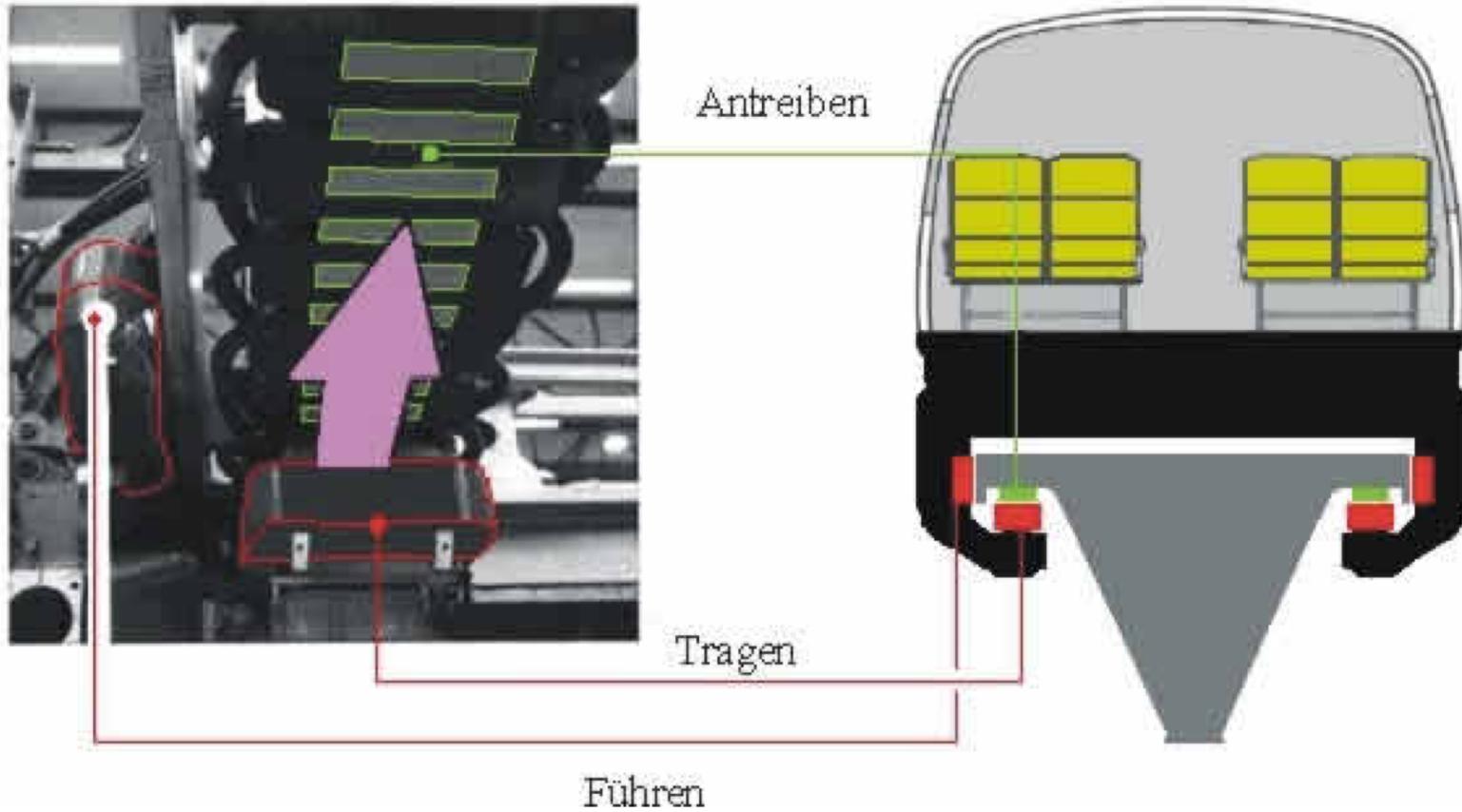
(Mittlerweile kein Problem mehr für Computer)

Fahrweg

- Fahrbahntrasse
- Kann Aufgeständert werden
- Wird in Sektionen eingeschalt
- Enthält Magnetspulen
 - magnetisches Wanderfeld \Rightarrow zieht den Transrapid mit sich
- Enthält linearen langstator Motor
 - Wie ein Drehstrommotor
 - lineare Bewegung, statt Rotation







Vorteile am Fahrweg

- Einfach zu Bauen
- Keine Beeinträchtigung der Umgebung (vgl. Autobahn / Zugstrecke)
- Zusatz-Schienen möglich → “Bivalenter Fahrweg”
- Hohe Steigungen / Schräglagen
 - ⇒ Weniger Brücken und Tunnel
- Beschleunigung auf $\sim 0,1G$
 - Allein aus Komfortgründen
- Linear Motoren ⇒ Katapultstart: Achterbahn, Flugzeugträger

Ausschnitt aus einem Werbefilm

- Dieser Zeigt die Funktionsweise des EMS-Systems
 - 1:50min - 4:00min EMS

<https://youtu.be/PK8iAuUrz7w?t=108>

- Die Weiche
 - 6:00min -6:25min

<https://youtu.be/PK8iAuUrz7w?t=360>





4. Diskussion — Vergleich zum ICE

Fahrdaten	Transrapid - TR07 1984		ICE	
Höchstgeschwindigkeit im Fahrbetrieb	500 km/h		330km/h (ICE 3) Neuer ICE 4 — 200-250km/h	
im Regelbetrieb	450 km/h		180-200 km/h	
Beschleunigung 0-100	34 s	500 m	48 s	672 m
0-200	62 s	1,7 km	0,4 m/s ²	sonst k.A.
0-300	98 s 0,86 m/s ²	4,3 km	ca. 360 s 0,12 m/s ²	31km (theoretisch nur 18 km)
0-400	157 s	10km	k.A.	k.A.
0-500	266 s	23km	k.A.	k.A.

⇒Daher in Deutschland nur 5 Strecken mit mehr als 270 km/h

Anton Knöner - Universität Bielefeld

4. Diskussion — Vergleich zum ICE

Kurvendaten	Transrapid	ICE
Schräglagen	10%	4%
Kurvenradius bei 200 km/h	1000 m begrenzt durch Komfort	2000 m
300 km/h	1937 m	4085 m
400 km/h	3415 m	6734 m (rechnerisch)
500 km/h	5382 m	10536 m (rechnerisch)

4. Diskussion — Vergleich zum ICE

Energieverbrauch	Transrapid	ICE
Wh/Person-km 200km/h	24 Wh	32 Wh
300 km/h	43 Wh	71 Wh
400 km/h	62 Wh	255 Wh

- Wh/Personen-km ist sehr nützliche Einheit zur Betrachtung der Wirtschaftlichkeit
- Transrapid braucht bei gleicher Geschwindigkeit bis zu 40% weniger Energie
- Energieverbrauch bei Betriebsgeschwindigkeit ähnlich

4. Diskussion — Vergleich zum ICE

Fahrzeug	Schallpegel (dB/A)	Geschwindigkeit (km/h)	Abstand (m)
Transrapid	79 76 81 78	200 200 300 400	25 50 50 200
Schnellzug	92	300	50
Auto	66	100	25
LKW	83	80	25
Regionalbahn	83	120	50
Flugzeug	85	~ 350 km/h	200

⇒Kein klirrender Lärm über Schienen — keine Vibrationen

Anton Knöner - Universität Bielefeld

4. Diskussion — Vergleich zum ICE

	Transrapid	ICE
Sitzplätze	1172 Sitzplätze auf 10 Wagen Keine Triebwagen nötig	900+ Sitzplätze auf 13 Wagen davon 2 Triebwagen
Flächenverbrauch für 1m Doppelspur	12 qm — Bodennah 2 qm — Aufgestellt	14 qm
Güterverkehr	14t — Bugsektion 17t — Mittelsektion gesamt — 198t	nur Personenverkehr
Baukosten: HH→B	17 Mio/km	17 Mio/km
Verschleißteile	kaum Verschleißteile	Schienen, Räder, Antriebswellen, Bremsen, etc.

4. Diskussion — Investitionen

Während des Baus der Teststrecke stiegen die Kosten um erst 5,5% ,dann 76%
⇒ Niemand wollte größer Investieren

Gesamt	1,2 Mrd. DM
Davon Firmen-Investition	100 Mio. DM
Thyssen Krupp	51 Mio. DM (0,1% des Jahresumsatzes)

Was hat man dafür bekommen?

- 31,5 km Teststrecke (38 Mio/km)
- 22 Jahre Forschung, Betrieb, Wartung

Kritisches Fazit

- Transrapid erfüllt seinen Zweck als Hochleistungs-Schnellbahn
- Geringfügig teurer als der ICE (daher Transrapid Zuschlag)
 - Schwer fest zu machen, da jede Strecke individuell geplant wird (Landerwerb, Brücken, Tunnel, Straßenübergänge, etc...)
- Transrapid > ICE
- ICE 4 darf sein volles Potential nicht entfalten (zu hohe Kosten)
- Fehlende Umsetzung \Rightarrow holt Mrd.-Kosten auch nicht wieder rein
 - Schlechter Ruf, unrealistisches Wiederaufleben

Streckenbeispiel: Hamburg ↔ Berlin

- ca. 300 km lange Strecke
 - davon über die Hälfte ebenerdig
- 17 Mio. DM/km
- Fahrzeit 52 Minuten

<u>Aktuell:</u>	Auto	3 h 5 min
<hr/>	ICE	1 h 44 min
	Flugzeug	50 min

Gründe des Scheiterns

- Niemand wollte zahlen
 - 1970 - 2008 "Weiterentwicklung-Programm" - 800 Mio. €
 - 2009 Zusatzförderung 6 Mio. €
 - beteiligte Unternehmen sollten bis zu 100 Mio. zurückzahlen
- Streckenbau zu teuer und riskant
 - ICE kann auf normale Bahnschienen zurückgreifen
 - 87,5% des Bahnnetzes ist Eigentum der DB

Gründe des Scheiterns — Unfall 2006

- 22. September 2006
- 23 Todesopfer, darunter Besucher und Mitarbeiter
- Werkzeugwagen auf Strecke zurückgelassen
- Betätigung der Notbremse — 25m vor Aufprall

Folge:

- Einstellung der Forschung
- Ende des Transrapids in Deutschland

Realisierte Projekte

- Shanghai ↔ Flughafen Pudong
- **TSB** - Transport **S**ystem **B**ögl
- Maglev - **M**agnetic **L**evitation **T**rain
 - Shinkansen L0

Shanghai zum Flughafen Pudong

Strecke: - **30 km**

- Transrapid 08
- Topspeed 501km/h

Fahrzeit: - **7 Minuten** - Ursprünglich **4,5 min**

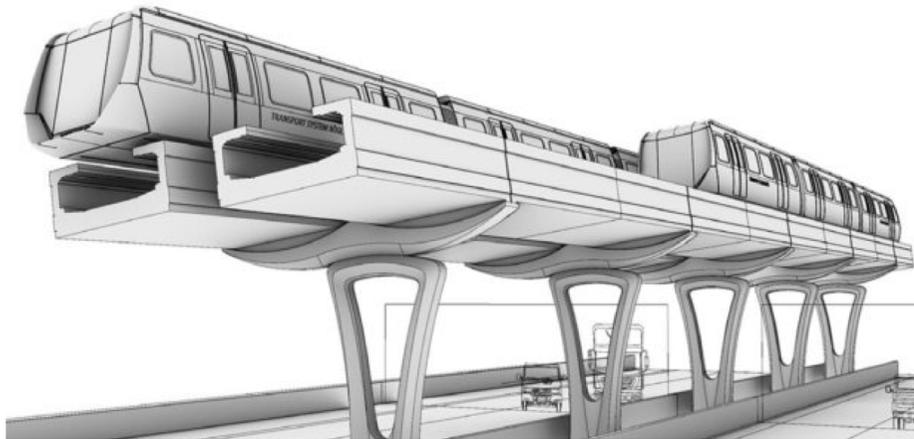
- Zu Stoßzeiten auf **430 km/h** sonst **300 km/h** gedrosselt

Kosten: - **1Mrd. €** (33 Mio. /km)

- 2,5x so teuer wie Bus
- umgerechnet 4,80 €

TSB - Transport System Bögl

- Firmengruppe Max Bögl (Hersteller des Transrapidfahrwegs)
- EMS Magnetschwebebahn für Nah- und Stadtverkehr
- kurzstator Linearmotor mit kombinierten Trag und Führungsmagneten
- Strecken bis 50km bei 150 km/h



Anton Knöner - Universität Bielefeld

Shinkansen L0

- Basiert auf **EDS**
- Rekordgeschwindigkeit **603 km/h**
 - schnellster Zug der Welt
- Verbesserte Aerodynamik
- linearer langstator Motor

<https://youtu.be/SIzOFZug8C8>



Anton Knöner - Universität Bielefeld

“Geplante Projekte”

- 170km Erweiterung der Shanghai ↔ Pudong Strecke
- 2007 Machbarkeitsstudie für 800 km Strecke im Iran
- 2008 Machbarkeitsstudie für 150 km Strecke in Katar
- 2009 Anfrage auf 180 km Strecke Abu Dhabi ↔ Dubai
 - verworfen da DB Schnellzug
- 2020 1000 km Strecke mit 600km/h Guangzhou ↔ Wuhan

Quellen

Literatur:

Transrapid in der Diskussion

Die Genese der Magnetbahn Transrapid

Die Magnetschwebebahn Transrapid - Bau eines Modells

Hochgeschwindigkeitsverkehr durch Transrapid

Möglichkeiten und Grenzen der Durchsetzung neuer Verkehrstechnologien

Hochgeschwindigkeit Durch Magnetfelder

Die Magnetschwebebahn Transrapid - Technik, Funktionsweise und Probleme

Quellen

Internetquellen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Transrapid>

<https://www.internationales-verkehrswesen.de>

<https://transportsystemboegl.com/>

<http://www.vr-transport.de/transrapid-wirtschaft/n004t.html>

<https://magnetbahn.org>