



Verkehr und Umwelt

Wechselwirkungen Schweiz – Europa
Nationales Forschungsprogramm 41

Transport et Environnement

Interactions Suisse – Europe
Programme national de recherche 41

Transport and Environment

Interactions Switzerland – Europe
National Research Programme 41

Bericht F6 (Kurzfassung)

W. Ernst
J. Geisel
H. Graf
C. Leuenberger
D. Schöbi

Energie- und Umweltbilanz einer Eurometro

Das Nationale Forschungsprogramm "Verkehr und Umwelt - Wechselwirkungen Schweiz- Europa" (NFP 41) will eine Denkfabrik für eine nachhaltige Verkehrspolitik werden. Es sucht Lösungsbeiträge aus allen Fachdisziplinen zu einer effizienten und nachhaltigen Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse.

Das Forschungsprogramm wird im Auftrag des Bundesrates vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung durchgeführt. Es wurde 1996 lanciert und wird voraussichtlich bis zum Jahr 2000 dauern.

Programmleitung

Felix Walter

c/o ECOPLAN, Thunstrasse 22, 3005 Bern Tel: +41 - 31 - 356 61 61 Fax: +41 - 31 - 356 61 60

E-Mail walter@ecoplan.ch Internet: <http://www.snf.ch/nfp41>

Impressum

Autoren: ERNST Walter (w.ernst@bluewin.ch), GEISEL Jens, GRAF Hanspeter, LEUENBERGER Christian, SCHÖBI Daniel

Titel: Energie- und Umweltbilanz einer Eurometro

Reihe: Berichte des NFP 41 „Verkehr und Umwelt“, Bericht F6

Ort, Jahr: Bern, 2000

Herausgeber: Programmleitung NFP 41 (Nationales Forschungsprogramm „Verkehr und Umwelt, Wechselwirkungen Schweiz-Europa“)

Bezug: BBL/EDMZ, CH-3003 Bern; Fax +41 - 31 - 325 50 58; www.admin.ch/edmoz
Bestellnummer: 801.680.d

K - 1 Zielsetzung und Fragestellungen

„Eine integrierte, nachhaltige Gesamtverkehrspolitik der Zukunft braucht bei vielen Fragen noch weitere Entscheidungsgrundlagen, zu denen die Forschung ihren Beitrag leisten muss.“

Bundesrat Moritz Leuenberger im Porträt des NFP41

Dieser Forschungsbericht versucht eine Frage innerhalb einer integrierten, nachhaltigen Verkehrspolitik aufzugreifen, welche bisher meist nur am Rande diskutiert wird: den **Hochgeschwindigkeitsverkehr**.

Er versucht weiter erste Entscheidungsgrundlagen zu liefern, ob eine neue, innovative Technologie im Bereich Hochgeschwindigkeitsverkehr in Zukunft aus ökologischer und energetischer Sicht eine sinnvolle technische Alternative zum Fernverkehr, insbesondere zum rasch wachsenden Flugverkehr sein könnte.

K - 1.1 Wieso eine Eurometro?

Europa wächst immer enger zusammen, politisch und ökonomisch. Leistungsfähige Kommunikations-, Transport- und Mobilitäts-Infrastrukturen sind wichtige Elemente dieser Entwicklung. Doch wie gelingt es, diese Technologien so weiterzuentwickeln, dass sie ökologisch, gesellschaftlich und volkswirtschaftlich tragbar bleiben?

Der starke Zuwachs im Transport- und Mobilitätsbereich hat zu einer kritischen Zunahme der Umweltbelastung geführt, in den letzten 2 Jahrzehnten insbesondere auch durch den Flugverkehr. Fliegen ist vor allem im Kurzstreckenbereich in der Regel energie- und lärmintensiv. Nach neuen Forschungsergebnissen [IPCC 1999] löst der Abgasausstoss von Flugzeugen in grosser Höhe zudem wahrscheinlich einen überproportional hohen Treibhauseffekt aus.

Seit rund zwei Jahrzehnten engagieren sich Wissenschaftler und Ingenieure der **EPF Lausanne** unterstützt durch Fachleute anderer Forschungsinstitutionen und der Wirtschaft bei der Entwicklung eines neuen, umweltschonenden Hochgeschwindigkeits-Systems. Diese **Technologie** basiert auf einem unterirdischen Magnetbahnsystem in teilvakuumierten Tunnels. Sie könnte in absehbarer Zukunft als «Swissmetro», bzw. «Eurometro» weitgehend **ohne Lärm- und direkte Abgasimmissionen sowie ohne Beeinträchtigung von Siedlungen und Landschaft** Geschwindigkeiten von bis 300 bis 500km pro Stunde erreichen. Diese Geschwindigkeiten liegen am unteren Ende der Geschwindigkeiten des Kurzstrecken-Flugverkehrs.

Eine „Eurometro“ könnte so im Rahmen einer langfristigen, auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Verkehrspolitik insbesondere den in der Regel überdurchschnittlich energie- und lärmintensiven Kurzstreckenflugverkehr auf stark nachgefragten Strecken mit deutlich reduzierter Umweltbelastung ablösen. Aber auch im Vergleich mit anderen Fernverkehrsmitteln (Hochgeschwindigkeitsbahnen wie TGV/ICE und Transrapid sowie Automobile) sind in den Bereichen Energie, Lärm und Landschaft Verbesserungen im Sinne der Nachhaltigkeit möglich. Sie soll stufenweise aufgebaut und möglichst in die bestehenden und geplanten HGV-Netze integriert werden und wichtige wirtschaftliche Zentren (z. B. entlang der Achsen Rom-Frankfurt-London oder Madrid-Zürich-Wien) miteinander verbinden. Dieses Netz könnte auch die Schweiz, trotz schwierigen topografischen Bedingungen, in ein transeuropäisches HGV-Netz einbinden.

Zunächst soll jedoch der Frage nachgegangen werden, ob **der Hochgeschwindigkeitsverkehr, bzw. der innereuropäische Flugverkehr** überhaupt ein **relevanter Aspekt** innerhalb einer **auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Verkehrspolitik** ist und ob es sich daher lohnt, das energetische und umweltentlastende Potential einer Eurometro näher zu untersuchen.

K - 1.2 Flugverkehr - eine neue Herausforderung im Rahmen einer nachhaltigen Verkehrspolitik?

Eine nachhaltige Verkehrspolitik und damit verknüpft der **Klimaschutz** sind in den letzten Jahren und Jahrzehnten zu wichtigen Themen auf der nationalen und internationalen politischen Agenda geworden. Der internationale **Flugverkehr** ist jedoch sowohl im Kyoto-Protokoll wie auch im CO₂-Gesetz von den Reduktionsverpflichtungen **ausgenommen** worden.

Trotz der erfolgreichen Anstrengungen der Fliegerhersteller und Fluggesellschaften, die Umwelteffizienz zu verbessern ist zwischen 1989 bis 1999, der Treibstoffauschank und damit näherungsweise der Treibstoffverbrauch des Flugverkehrs in der Schweiz um fast 40% gestiegen; seit 1980 hat er sich sogar fast verdoppelt. Der Ausschank von Flugtreibstoff hat 1999 einen Anteil von rund einem Viertel des gesamten schweizerischen Treibstoffverbrauchs erreicht.

Angetrieben durch Faktoren wie der Liberalisierung des Flugverkehrs, der **Globalisierung** der Wirtschaft und der steigenden **Freizeitmobilität** dürfte die Nachfrage beim **Flugverkehr** auch in Zukunft stark zunehmen. Die Prognosen wichtiger Wirtschaftskreise, wie z.B. der Airbus Industrie, gehen für das nächste Jahrzehnt von **jährlichen Zuwachsraten von rund 5 Prozent** aus. Unter Berücksichtigung weiterer effizienzsteigernder Massnahmen dürfte **der Zuwachs des Treibstoffverbrauchs** auf der Basis der Airbus Prognose **rund 3-4 Prozent pro Jahr** betragen. Doch auch bei diesem, durch gezielte Anstrengungen reduzierten Wachstum des Kerosin-Verbrauchs könnten sich die **CO₂-Emissionen durch den Flugverkehr in rund 20 Jahren erneut verdoppeln**.

Die Untersuchungen zum Flugverkehr zeigen weiter, dass bei diesem Wachstumsszenario praktisch die gesamte **Einsparwirkung** des CO₂-Gesetzes in den Bereichen Industrie, Haushalte und andere Verkehrsträger durch die zusätzlichen Emissionen des Flugverkehrs **kompensiert** würde. Aufgrund der Einschätzung von Fachexperten des IPCC und der EU-Kommission [EU 2000] muss davon ausgegangen werden, dass die heute **absehbaren technologischen und operativen Potentiale beim Flugverkehr nicht ausreichen** dürften, um eine weitere Zunahme des Treibstoffverbrauchs und damit von Treibhausgasen zu verhindern. Auch im Lärm- und Lufthygienebereich muss zumindest in der Umgebung der Flughäfen mit Zusatzbelastungen gerechnet werden.

Moderne Hochgeschwindigkeits-Bahnsysteme (wie TGV und ICE) haben bereits eine **wichtige Rolle als effiziente Alternative zum Kurzstreckenflugverkehr** bei Reisezeiten bis rund 3 Stunden, bzw. Reisedistanzen von etwa 300 bis 500 km übernommen. Das Umsteige- bzw. Umlagerungspotential innerhalb Europas durch den Ausbau des HGV-Eisenbahnnetzes ist jedoch beschränkt. Es wurde in einer COST-Studie für das Jahr 2015 nur auf ca. 15 bis 20% eingeschätzt. Zudem kann die Umlagerung auf oberirdische Eisenbahnsysteme zusätzliche Probleme im Bereich Lärm- und Landschaftsschutz verursachen.

Ein weiterer denkbarer politischer Lösungsansatz, die Reduktion der Lärm- und Klimagasemissionen über eine ausreichende Nachfrage- oder Leistungsreduktion durch gesetzliche Eingriffe beim Hochgeschwindigkeitsverkehr zu erreichen, erscheint aufgrund des heutigen politischen und wirtschaftlichen Umfelds eher fraglich. Daher sind die Prüfung und fundierte **Evaluation neuer innovativer Lösungsansätze notwendig** und wichtig.

K - 2 Fragestellungen und bisherige Untersuchungen

K - 2.1 Eurometro effizienter als Kurzstreckenflüge?

Im Rahmen dieser Studie sind vor allem folgende **Fragestellungen** näher untersucht worden:

- Kann auf der Basis der Swissmetro-Technologie eine europaweite Hochgeschwindigkeits-Bahn (Eurometro) verwirklicht werden? Wie kann diese die europäischen Hochgeschwindigkeitsverkehrssysteme ergänzen, damit sie den heutigen Hochgeschwindigkeitszügen und dem Flugverkehr energetisch und ökologisch überlegen ist?
- Welches sind die wichtigsten Einflussgrössen auf den Energie- und Ressourcenverbrauch sowie auf relevante Emissionen in die Umwelt?

Die ursprünglichen Fragen wurden aufgrund des Kenntnisstands bei der Projekteingabe im Frühjahr 1998 formuliert. Aufgrund des Erkenntnisgewinns während des Forschungsprojekts ergaben sich zum Teil deutliche Verschiebungen der Schwergewichte. Die Untersuchungen konzentrierten sich daher auf die

relevanten Aspekte im Zusammenhang mit der energetischen und ökologischen Effizienz einer Eurometro. Eine besondere Problematik zeigte sich im Zusammenhang mit der geplanten vertieften Abschätzung der Nachfrage und der damit verknüpften Untersuchung verschiedener Netzvarianten.

K - 2.2 Was wurde bisher untersucht?

Die vorliegende Studie und deren Resultate sind ein weiterer Schritt eines iterativen Forschungsprozesses der Entwicklung einer neuen Technologie für den Hochgeschwindigkeitsverkehr. In einer ersten Projektphase wurden aufbauend auf bestehenden Grundlagen der Hauptstudie zur Swissmetro und des Konzessionsgesuchs der Swissmetro SA verschiedene Studienarbeiten zur Energie- und Umwelteffizienz an der HTA Burgdorf durchgeführt. Die „Energiebilanz Eurometro“ [TROTTMANN ET AL. 1998] entwickelte ein Energiemodell für ein Eurometro-System an zwei Beispielstrecken auf der Basis der „Ökobilanz Swissmetro“ von MINGOT ET AL. [1997] sowie Arbeiten an der EPF Lausanne, insbesondere von RUDOLF [1997]. Die „Ökobilanz Eurometro. Vergleich Eurometro – Kurzstreckenflugzeug“ von LEUENBERGER ET AL. [1998] erarbeitete auf Basis der „Ökobilanz Swissmetro“ und der „Energiebilanz Eurometro“ die Ökoinventare verschiedener Betriebsvarianten und verglich diese mit mehreren Bewertungsmethoden.

In einer zweiten Projektphase wurde an der HTA Burgdorf eine Studie über eine mögliche „Energieversorgung für die Eurometro“ erstellt [KRÄUPL ET AL. 1999] und das Modell der „Energiebilanz Eurometro“ im Rahmen einer **Sensitivitätsanalyse** überprüft. Basierend auf diesen Untersuchungen sowie der erwähnten Grundlagen wurde an der HTA Biel/Bienne eine **Relevanzmatrix zu den ökologischen Nachhaltigkeitsfaktoren** des Eurometro-Systems ausgearbeitet [GEISEL 1999].

In Diskussionen wurden ein Teil der Grundlagendaten und gewisse Annahmen sowohl von den Forschenden selbst wie von Fachexperten in Frage gestellt. Daher ist in der letzten Projektphase mit Unterstützung der EPF Lausanne der Betriebenergieaufwand eines Eurometro-Systems auf der Basis des aktuellen Wissensstands neu berechnet worden. Auch diese neuen Daten beruhen jedoch zum Teil nur auf Modellsimulationen. Mit Hilfe einer neuen aerodynamischen Versuchsanlage „HISTAR“ dürfte sich die Qualität der Daten für die Berechnung der Betriebsenergie jedoch deutlich erhöhen. Trotz Unterstützung durch die EPF Lausanne war kein Zugang zu fundiert nachvollziehbaren Berechnungsgrundlagen für die Energie- und Ökobilanzierung von anderen aktuellen HGV-Systemen möglich. Auch neue Grundlagendaten der aktualisierten und überarbeiteten Ökobilanz Swissmetro der ETH Zürich standen bei Redaktionsschluss dieser Arbeit noch nicht zur Verfügung.

Es wurde versucht die Nachfrage für ein primär nachfragedefiniertes Eurometro-Netz in einer ersten vereinfachten Form mit neuen Ansätzen zu berechnen. Erste Ergebnisse konnten jedoch aufgrund des beschränkten Zeitrahmens nicht mit weiteren verfügbaren Datengrundlagen und Modellansätzen überprüft werden. Zudem ist das dafür neu definierte und untersuchte Netz nur bedingt deckungsgleich mit dem Netz, welches für die bisherigen Untersuchungen verwendet wurde. Die Nachfragedaten sind deshalb weiterhin als Grössenordnung zu betrachten und müssen im Rahmen weiterer Abklärungen verfeinert werden.

Aufgrund dieser Unsicherheiten und der begrenzten zeitlichen und personellen Ressourcen wurde daher in Absprache mit der NFP41-Programmleitung darauf verzichtet, eine aktualisierte Ökobilanz zu erstellen. Dies auch, weil bei der augenblicklichen Datenlage keine wesentliche Konsolidierung der Ergebnisse gegenüber der Ökobilanz von MINGOT ET AL. [1997] und LEUENBERGER ET AL. [1998] zu erwarten war. Hingegen wurden aktualisierte Werte für den Energieverbrauch und den Einfluss auf den Treibhauseffekt für die bisher untersuchte Strecke Rom-Frankfurt mit den neusten Datengrundlagen für zwei Nachfragevarianten am oberen und unteren Ende des in den bisherigen und neuen Untersuchungen erwarteten Nachfrageintervalls berechnet. Sie zeigen, dass trotz der aufgezeigten Unsicherheiten und den z.T. veränderten Grundlagendaten das **Ausmass** und die **Trends** der bisher ausgewiesenen **energetischen und ökologischen Effizienzgewinne weiterhin Gültigkeit** haben.

K - 3 Wichtigste Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

K - 3.1 Vergleich mit dem Flugverkehr und den HG-Bahnsystemen

Die nachfolgende Abbildung K-1 zeigt den Vergleich einer Eurometro mit dem Flugverkehr in Bezug auf den Energieverbrauch und den Treibhauseffekt auf einer angenommenen Pilotstrecke Frankfurt–Rom für zwei Nachfragevarianten aufgrund der im weiter unten im Text dargestellten Analysen und Erkenntnisse.

Die Grafik zeigt, dass aufgrund des heutigen Wissensstands ein bezüglich der Energieversorgung **ökologisch und energetisch optimiertes Hochgeschwindigkeitssystem** auf der Basis der Swissmetro-Technologie eine **Effizienzsteigerung um Faktor 5 bis 10 gegenüber dem heutigen Flugverkehr** ermöglichen dürfte. Dies gilt insbesondere im Vergleich zur eingezeichneten, um Faktor zwei erhöhten Treibhauswirkung: nach [IPCC 1999, S. 8,9] muss, je nach weiteren Erkenntnissen im Bereich der Klimaforschung eine erhöhte Wirkung bis Faktor 4 in Betracht gezogen werden.

Auch bei einer deutlichen Effizienzsteigerung des Flugverkehrs (Annahme in der Abbildung: Reduktion des durchschnittlichen Treibstoffverbrauchs neuer Flugzeuge des Jahres 2050 um 50% gegenüber heute [IPCC 1999, S. 224]) oder einer möglichen Erhöhung des Energiebedarfs einer Eurometro durch die dargestellten Unsicherheiten, dürften beträchtliche Effizienzgewinne zu erzielen sein.

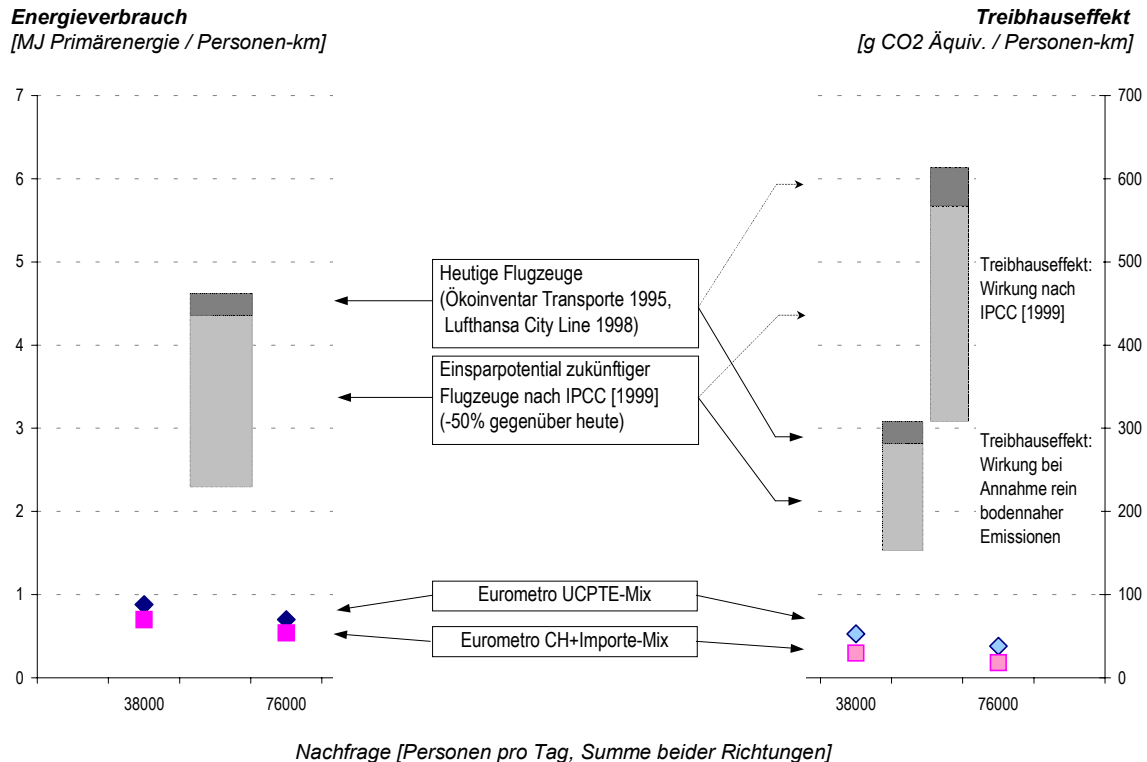


Fig. K - 1 Vergleich des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen bzw. dem potentiellen Treibhauseffekt eines Eurometro-Systems im erwarteten Bereich für 2 Nachfragewerte gegenüber dem Kurzstrecken-Flugverkehr, EIGENE BERECHNUNG: GRAUE ENERGIE: [LEUENBERGER ET AL. 1998], ELEKTRISCHE BETRIEBSENERGIE: CASSAT ET AL. [2000] UND LEUENBERGER [ANHANG B], weitere Quellen: INFRAS [1995], LUFTHANSA [1999].

Wie aus der nachfolgenden Abbildung K-2 ersichtlich ist, dürfte nebst der Passagier-Nachfrage vor allem **die Art der Energiegewinnung**, bzw. Stromproduktion **entscheidend** sein für den effektiven energetischen und ökologischen Effizienzgewinn gegenüber dem Flugverkehr.

Sie basiert auf den nachfolgenden rechnerischen Annahmen:

	Eurometro 76000 Passagiere pro Tag	Eurometro 38000 Passagiere pro Tag
Betriebsenergie elektrisch [MJ/Pkm]	0,185	0,21
Graue Primärenergie für den Bau [MJ/Pkm]	0,12	0,24
Gramm CO₂-Äquivalente pro Pkm	=0,12*90,6 + x*0,185	=0,24*90,6 + x*0,21
UCPTE-Mix im Jahr 1995	38,2	52,8
CH-Mix und Importe im Jahr 1995	18,2	30,0
Gas-Kombi-Turbine im Jahr 2020	30,9	44,4
CH-Wasserkraft im Jahr 2020	11,1	22,0

Tab. K - 1 CO₂-Äquivalent-Emissionen eines Eurometrosystems für zwei Nachfragewerte und Stromerzeugung mit verschiedenen Kraftwerkstypen; Emissionsfaktoren „x“ siehe untenstehende Tabelle; eigene Berechnung: Graue Energie: [Leuenberger et al. 1998], Elektrische Betriebsenergie: Cassat et al. [2000] und Leuenberger [Anhang B] und eigene Berechnung: nach: Mingot et al. [1997], PSI [2000]

Der Berechnung der CO₂-Äquivalent-Emissionen liegen folgende Emissionsfaktoren „x“ zugrunde:

Energie	Gramm CO ₂ -Äquiv. pro MJ Energie
Graue Primärenergie für den Bau	90,6
Elektrizität UCPTE-Mix im Jahr 1995[MINGOT ET AL. 1997]	148
Elektrizität CH-Mix und Importe im Jahr 1995[MINGOT ET AL. 1997]	39,5
Elektrizität Gas-Kombi-Turbine im Jahr 2020 [PSI 2000]	108,1
Elektrizität CH-Wasserkraft im Jahr 2020 [PSI 2000]	1,1

Tab. K - 2 Emissionsfaktoren verschiedener Herstellungsmixe für Elektrizität, nach: EIGENE BERECHNUNG, [MINGOT ET AL. 1997], [PSI 2000]

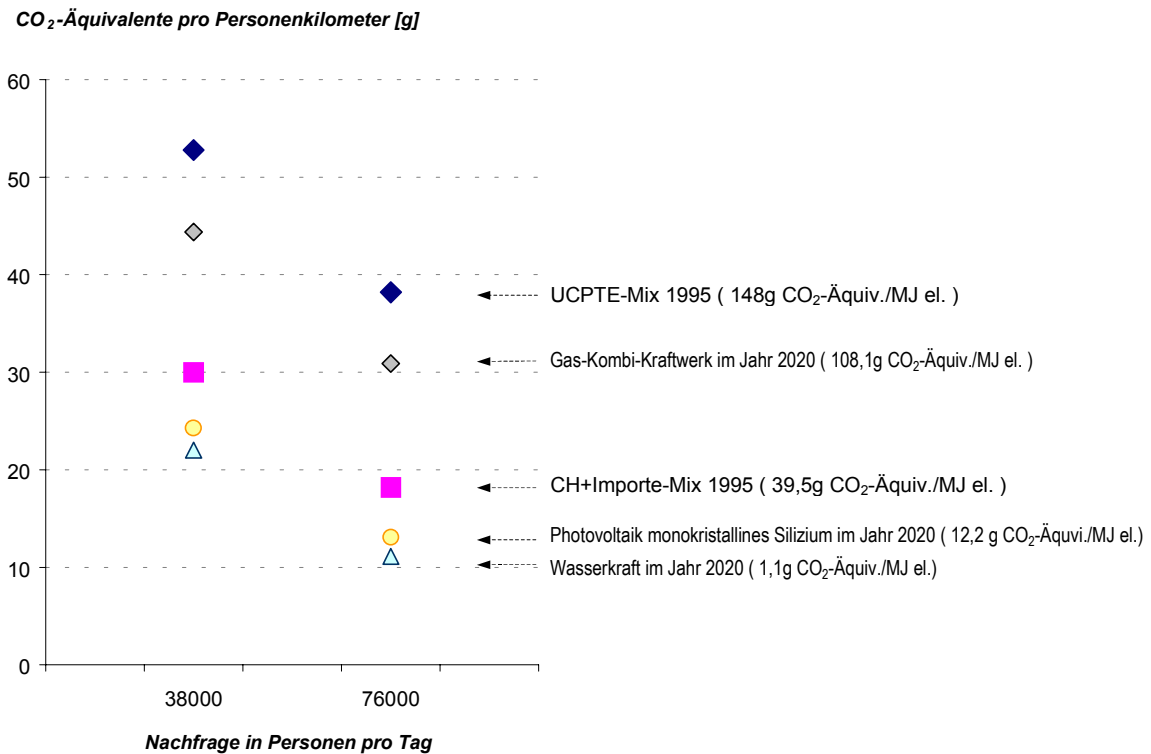


Fig. K - 2 CO₂-Äquivalent-Emissionen eines Eurometrosystems für zwei Nachfragewerte und Stromerzeugung mit verschiedenen Kraftwerkstypen, EIGENE BERECHNUNG: GRAUE ENERGIE: [LEUENBERGER ET AL. 1998], ELEKTRISCHE BETRIEBSENERGIE: CASSAT ET AL. [2000] UND LEUENBERGER [ANHANG B]; PSI [2000]

Die direkte Versorgungsmöglichkeit mit umweltschonend hergestellter Elektrizität ist damit neben der energieeffizienten unterirdischen Führung im Teilvakuum ein weiterer entscheidender technischer Vorteil einer Eurometro, bzw. aller elektrifizierten Bahnsysteme. Wie in Abschnitt K - 3.2.4 näher erläutert, sollte es aufgrund des sehr geringen elektrischen Energiebedarfs für den Betrieb von nur rund 0,2 MJ pro Pkm (Personenkilometer) möglich sein, auf einem freien Europäischen Strommarkt möglichst umweltschonend gewonnene elektrische Energie einzukaufen.

Beim Flugverkehr scheinen gemäss IPCC [1999, S.10] „keine praktikablen Alternativen zu kerosinbasierten Treibstoffen für kommerzielle Flugzeuge für mehrere Jahrzehnte zu bestehen“. Selbst beim Einsatz von Treibstoffen auf der Basis erneuerbarer Energien dürfte zudem der Gesamtwirkungsgrad deutlich tiefer bleiben. Auch muss bei Flugzeugen der Treibstoff als wesentlicher Anteil des Abfluggewichts mittransportiert werden.

Im Rahmen der **weiterlaufenden Forschungsanstrengungen** sollen diese **Resultate** aufgrund neuer Erkenntnisse und weiterer Untersuchungen kontinuierlich **besser abgesichert** werden. Verschiedene Unsicherheitsfaktoren bei der Berechnung des Energiebedarfs für den Fahrzeugantrieb sollten zum Beispiel durch die anlaufenden **empirischen Untersuchungen** der EPF Lausanne in absehbarer Zeit verringert werden können. Die neue **Testanlage „HISTAR“** soll im Jahr 2001 erste empirisch ermittelte Daten zur Validierung und Verbesserung der bisherigen Simulationsmodelle liefern.

Der **Vergleich zu oberirdischen Hochgeschwindigkeits-Bahnsystemen** konnte aufgrund mangelnder fundierter Grundlagendaten **nur ansatzweise** durchgeführt werden. Auch in der „Mobilitätsbilanz für Personen und Güter“ [DEUTSCHE BAHN 1999, S.29] wird auf dieses Problem hingewiesen: „eine wissenschaftlich fundierte Bilanz der durch Verkehrswege verursachten Umwelteinwirkungen in Deutschland liegt bisher nicht vor“. Dennoch kann aufgrund der bisherigen Untersuchungen aufgezeigt werden, dass im Bereich der **Betriebsenergie** gegenüber den oberirdischen HG-Bahnsystemen ein **Effizienzgewinn von ca. Faktor 2** und mehr möglich sein sollte.

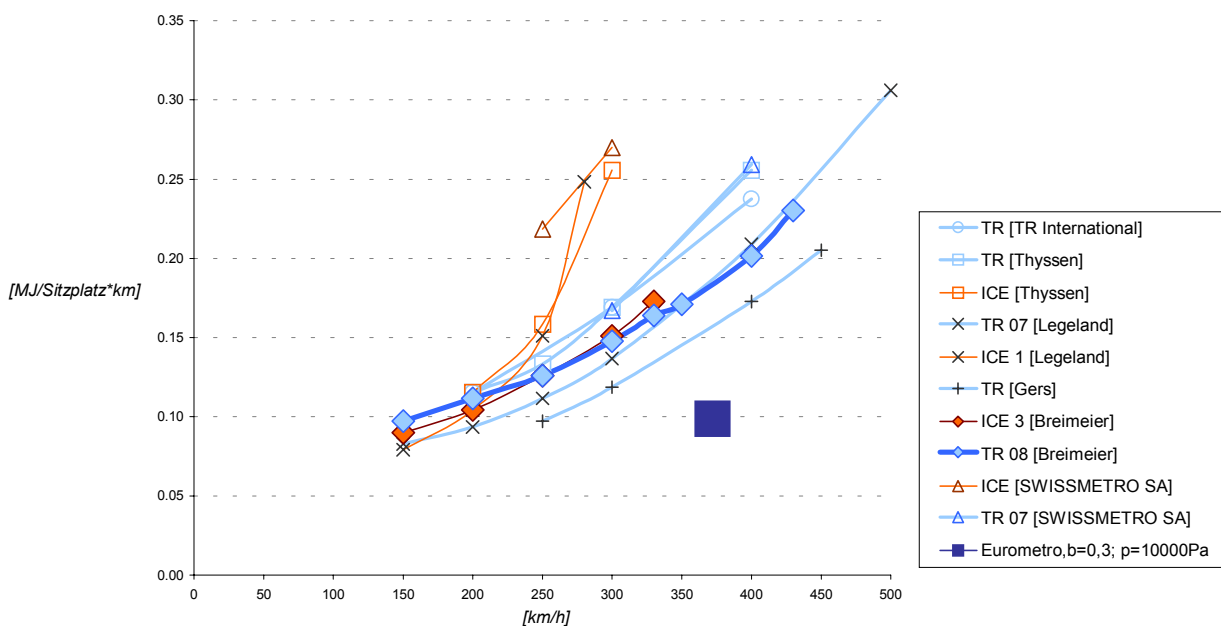


Fig. K - 3 Sekundärer (elektrischer Betriebs-) Energieverbrauch verschiedener Hochgeschwindigkeitsverkehrsmittel in MJ pro Sitzplatzkilometer, d.h. einer normierten Auslastung von 100%, in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, nach: TRANSPRAPID INTERNATIONAL [2000] THYSSSEN [2000], LEGELAND [1998], GERS [1997, S. 9], BREIMEIER [1998], CASSAT ET AL. [2000] UND LEUENBERGER [ANHANG B]

Beim Aufwand an indirekter, „Grauer“ Energie zeigte sich, dass moderne Hochgeschwindigkeits-Bahnen in topographisch schwierigem Gelände oder dichtbesiedelten Gebieten neben Tunneln viele energie- und ressourcenaufwendige Kunstbauten wie Brücken oder Dämme aufweisen. Durch den geringeren Tunneldurchmesser der Eurometro-Technologie dürfte sich im Geschwindigkeitsbereich von 400km/h das notwendige **Ausbruchvolumen eines Tunnelabschnitts um rund Faktor 3 bis 4** gegenüber HGV-Bahnen **reduzieren**. Mit zunehmender topographischer Schwierigkeit und Besiedlungsdichte des

Geländes dürfte daher der graue Energie- sowie der Bau- und Kostenaufwand einer Eurometro nicht mehr wesentlich über dem oberirdischer System liegen oder sogar gleich sein. Detaillierte Informationen sind in Kap. K - 3.2.5 enthalten.

K - 3.2 Wichtigste Einflussfaktoren der Energie- und Umweltbilanz

Nachfolgend sind die wichtigsten Erkenntnisse der bisherigen Untersuchungen, insbesondere aus der Analyse der Einflussfaktoren im Rahmen der Sensitivitätsanalyse der Energie- und Umweltbilanz zusammengefasst.

K - 3.2.1 Nachfrage, Netz und Ausbau- Varianten

Die Untersuchungen in diesem Bereich erwiesen sich als sehr aufwendig und komplex. Sie zeigten, dass im europaweiten Bereich und beim Hochgeschwindigkeitsverkehr im Sinne der angewandten Forschung noch kaum direkt einsetzbare Datengrundlagen und Berechnungsmodelle bestehen. Zudem ist bei den heute verfügbaren Simulationsmodellen auf europäischer Ebene die Nachfrage eines neuen Verkehrsträgers nicht abbildbar. Es gelang jedoch in der Schlussphase einen weiteren Projektassistenten zu gewinnen, der im Rahmen einer Dissertation zum Hochgeschwindigkeitsverkehr an der TU Wien (Prof. Knoflacher) vertiefte Untersuchungen auf der Basis der bestehenden z.T. widersprüchlichen Grundlagen einleitete. Diese Studien sollen u.a. fundierte Grundlagen über die **heutige Nachfrage**, die zukünftigen **Nachfragepotentiale** sowie die entsprechenden Auswirkungen auf die Nachfrage bei verschiedenen Netz- und Ausbauvarianten liefern.

Durch die in der Schlussphase in Angriff genommenen Arbeiten konnten für die zukünftigen Untersuchungen wichtige Erkenntnisse im Bereich der Datengrundlagen und den Einsatz verschiedener Modellansätze gewonnen werden. Trotz Unterstützung von Verkehrsexperten aus dem NFP41-Programm führten die bisher durchgeführten Arbeiten im Rahmen dieses Projekts erst zu groben Simulationsergebnissen. Diese gilt es in weiteren Untersuchungen anhand besserer Angaben über die tatsächlichen Verkehrsströme zu validieren. Die im bisherigen Resultate erster, **stark vereinfachter Modellrechnungen** zeigen z.B. geringere Nachfragewerte als sie aufgrund vertiefter Untersuchungen im Rahmen des NFP41-Projekts F1: „Nachfrageabschätzung für Swissmetro“ [Abay, 1999] ermittelt wurden.

Die bisherigen Abklärungen und Untersuchungen (Stand Ende Juli 2000) zeigen:

- Die heute verfügbaren Datengrundlagen über den grenzüberschreitenden Verkehr in Europa sind sehr heterogen mit partiellen Abweichungen von über Faktor 2. Es besteht keine einheitliche Methodik der Datenerhebung (Normierung) auf europäischer oder globaler Ebene.
- Die Prognosen über das zu erwartende Verkehrswachstum, die Entwicklung der Reisekosten und die Umlagerungswirkungen zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern sowie den induzierten Neuverkehr, weitergeführt bis ins Jahr 2020, sind mit grossen Unsicherheiten behaftet.
- Nebst wichtigen technischen Aspekten wie Netzausbau, Integration ins bestehende Netz, Reisegeschwindigkeit und Reisekomfort dürften auch nicht-technische Faktoren wie die wirtschaftliche Entwicklung, politische Entscheidungen (z.B. bezüglich des Klima- und Lärmschutzes) und die Berücksichtigung der sogenannten „externen Kosten“ eine hohe Relevanz erreichen.
- die bisher eher konservative Abschätzung der Nachfrage ergab, dass die durchschnittlichen Werte zumindest die untere Grenze der in der Energiebilanz angenommenen Nachfrageabschätzung erreichen dürften.

K - 3.2.2 Geschwindigkeit

Die mittlere Reisegeschwindigkeit dürfte aufgrund verschiedener Untersuchungen im Rahmen der COST 318 Studie ein **entscheidender Faktor bezüglich der „Umsteige-Reichweite“** einer Eurometro sein, d.h. der maximalen Distanz, bei der Reisende bereit sind, vom Flugzeug auf eine neue Hochgeschwindigkeitsbahn umzusteigen.

Reise- und Spitzengeschwindigkeit sind jedoch gleichzeitig bestimmende Faktoren für den **Betriebsenergieverbrauch** und die **notwendige Antriebsleistung** des Systems sowie auf Grund des Einflusses auf die Fahrzeit auch des Energiebedarfs für das Schweben und Führen der Fahrzeuge.

Der Antriebsenergiebedarf ist indirekt mit der Geschwindigkeit verknüpft über Faktoren, wie freier Tunnelraum, bzw. Tunneldurchmesser, Anzahl der Querverbindungen, Tunnel- und Fahrzeugoberfläche oder Fahrzeugform. Dies gilt auch für den Energiebedarf für das Führen und Schweben, der proportional

zur Betriebszeit der Fahrzeuge ist. Die Betriebszeit wird ausser durch die Geschwindigkeit auch durch den Abstand der Stationen sowie die Aufenthaltsdauer in den Stationen beeinflusst.

Wie eingangs dargestellt bestehen in diesen Bereichen zurzeit noch verschiedene Unsicherheiten, welche für den Antriebsenergiebedarf erst durch die geplanten HISTAR-Versuche empirisch fundiert untersucht und bestimmt werden können.

K - 3.2.3 Tunneldurchmesser

Der Tunneldurchmesser hat direkt und indirekt wesentlichen Einfluss auf die Energie- und Ökobilanz: Grössere Tunneldurchmesser erhöhen die **Graue Energie** und den Ressourcenbedarf für die Tunnelinfrastruktur. Sie verringern jedoch den **Versperrungsfaktor β** und haben so einen geringeren Luftwiderstand der Fahrzeuge und damit auch einen geringeren **Antriebsenergiebedarf** zur Folge.

Für die Eurometro-Beispielstrecke Rom-Frankfurt zeigte die Sensitivitätsanalyse, dass die Summe des Energiebedarfs für Bau und Betrieb des Systems ihren kleinsten Wert beim grössten untersuchten Tunneldurchmesser hat. Die wesentlichen Gründe hierfür sind:

- Veränderungen des Versperrungsfaktors β gehen (gemäss bisheriger Berechnungsmodelle) mit der dritten Potenz in den Energiebedarf für den Antrieb eines Eurometro- bzw. SWISSMETRO-Fahrzeugs ein.
- Der Energieaufwand für den Tunnelbau bei größeren oder kleineren Durchmessern hingegen verändert sich wesentlich weniger steil. Verteilt auf die Lebensdauer ist sein Beitrag zum jährlichen Energiebedarf zudem deutlich geringer als der Energiebedarf für den Betrieb der Eurometrostrecke. Auch die Gesamtkosten für ein System mit grösseren Tunneldurchmessern dürften sich unter Berücksichtigung der externen Kosten in der selben Grössenordnung bewegen oder allenfalls sogar geringer ausfallen.

K - 3.2.4 Erzeugung der elektrischen Betriebs-Energie

Die bisherigen Arbeiten zeigen, dass die Erzeugungsart der Betriebsenergie einer SWISSMETRO/Eurometro einen sehr starken Einfluss auf die Ökobilanz bzw. die Umweltauswirkungen durch den Bau und Betrieb dieses Verkehrsmittels hat.

Sie zeigen, dass beim **Einsatz von umweltfreundlichen Energien**, z.B. in Form von Wasserkraft, im Vergleich zum europäischen Durchschnittswert die Umweltbelastungen in fast allen Wirkungskategorien deutlich zurückgehen.

Für die Beschaffung von umweltfreundlich erzeugter elektrischer Energie für ein Eurometro-System sind unseres Erachtens grundsätzlich zwei Varianten denkbar:

1. Die Betriebsgesellschaft der Eurometro kauft auf dem freien Strommarkt gezielt umwelt- und ressourcenschonend erzeugte Energie ein. Die hierfür erforderlichen Energiemengen sollten auf dem europäischen Markt zur Verfügung stehen, da ein Eurometro-System selbst bei einem weiteren Ausbau nur einen Anteil im Promillebereich am europäischen Energieverbrauch haben dürfte.
2. Die Betriebsgesellschaft der Eurometro baut neben den Magnetbahnanlagen selbst auch Anlagen zur Erzeugung von umwelt- und ressourcenschonender elektrischer Energie auf.

Beide Varianten hätten neben den direkten positiven Auswirkungen auf die energetische und ökologische Effizienz eines Eurometro-Systems auch positive Effekte auf den Elektrizitätserzeugungsmix des europäischen Marktes.

K - 3.2.5 Unter- oder oberirdische Linienführung

Für einen detaillierten Vergleich des Energie- und Ressourcenverbrauchs eines Eurometro-Systems mit modernen Hochgeschwindigkeitszügen fehlen bis heute insbesondere im Bereich des indirekten, „grauen“ Energieverbrauchs fundierte Daten. Die bisherigen Untersuchungen weisen darauf hin, dass oberirdisch geführte Magnetbahnsysteme wie der deutsche Transrapid oder japanische MAGLEV bei einem angestrebten Geschwindigkeitsniveau im Bereich von über 400 km/h vermutlich vergleichbar maximale Steigungsraten von etwa 40‰ aufweisen würden. Dies entspricht den Raten der heute im Bau- oder Betrieb befindlichen Neubaustrecken der Eisenbahnen und der MAGLEV-Teststrecke. Beim Bau der Trassées für Magnetschnellbahnen dürften die notwendigen Geländebewegungen, Brücken- und Tunnelbauten deshalb ein vergleichbares Ausmass erreichen wie bei entsprechenden Neubaustrecken für moderne Bahnsysteme wie TGV oder ICE. Dies gilt sowohl für Streckenabschnitte in topographisch anspruchsvollem Terrain als auch in dicht besiedelten Gebieten. Diese Annahme wird bestätigt durch die

Teststrecke der MAGLEV-Technologie in Japan: Sie liegt in dichtbesiedeltem, stark reliefiertem Gebiet und verläuft zu einem großen Teil in Tunneln.

Im Vergleich zu den lichten Querschnittsflächen bestehender HGV-Tunnelstrecken hat ein **Eurometro-System** bei geplanten Fahrgeschwindigkeiten im Bereich von 400 km/h **deutlich geringere Querschnittsflächen der Tunnel** als oberirdische HGV-Systeme ohne Teilvakuum. Die **Aushubmengen** für ein Eurometro-System dürften sich pro Längeneinheit um rund **Faktor 3 bis 4** gegenüber der Menge für die notwendigen **Tunnels** eines **oberirdischen HGV-Systems reduzieren**. Liegt der Tunnelanteil einer HGV, bzw. Transrapidstrecke in einem Bereich von über 30%, so dürfte der bauliche Aufwand eines Eurometro- und eines oberirdischen HGV-Systems in derselben Größenordnung liegen. Dies dürfte vor allem gelten, wenn beim oberirdischen HGV-System über längere Abschnitte weitere Kunstbauten wie Brücken und Dämme notwendig sind.

K - 3.2.6 Gewicht der Fahrzeuge

Das Fahrzeuggewicht, bzw. -masse hat neben den aerodynamischen Parametern ebenfalls einen Einfluss auf den Energie- und insbesondere den Leistungsbedarf eines Eurometro-Systems: Folgende Größen nehmen proportional zur Fahrzeugmasse zu:

- die kinetische Energie der Fahrzeuge. Sie kann beim Abbremsen vor Stationen nur zum Teil ins Netz zurückgespielen werden.
- Die Energie für das Schweben und die Führung des Fahrzeugs
- Die erforderliche Energie und Fahrzeugleistung für die Beschleunigung des Fahrzeugs

Die Annahme eines Fahrzeugleergewichtes von 150kg pro Sitzplatz durch die SWISSMETRO SA scheint aus heutiger Sicht eher optimistisch, da die heutigen Magnetschnellbahn-Systeme aus Deutschland und Japan rund 3 bis 4 mal höhere Leergewichte pro Sitzplatz aufweisen. Vergleicht man die Annahmen der SWISSMETRO SA hingegen mit den Sitzplatz-Leergewichten moderner Flugzeuge, so liegen diese mit 225 bis 300 kg nur noch 1,5 bis 2 mal über dem von ihr angestrebten Wert von 150 kg.

Es scheint aber sinnvoll abzuklären, ob ein Eurometro-System mit deutlich längeren Reisezeiten im Vergleich zur Swissmetro nicht über einen höheren Komfortstandard verfügen müsste, z.B. mit Restaurant und Arbeitsabteilen. Entsprechende Anpassungen würden das durchschnittliche Sitzplatz-Leergewicht vermutlich erhöhen.

Weiter sollten Möglichkeiten untersucht werden, den Energiebedarf für das Führen und Schweben, der unter anderem direkt proportional vom Gewicht abhängig ist, zu verringern. Nach den aktuellen Simulationen an der EPF Lausanne zum Luftwiderstand von Eurometrofahrzeugen ist der Anteil des **Energiebedarfs für das Führen und Schweben ähnlich groß** oder sogar größer als **der Bedarf für den Antrieb** der Fahrzeuge. Ein Ansatz zur Verringerung dieses Bedarfs könnte der Einsatz von Permanentmagneten sein, die es erlauben könnten, den Anteil von Elektromagneten für das Schweben und Führen zu verringern.

K - 3.2.7 Teilvakuum

Nach den bisherigen Quellen [SWISSMETRO, 1997-C3, S. 10] verhält sich der Luftwiderstand von SWISSMETRO/Eurometrofahrzeugen direkt proportional zum Druckniveau bei konstantem Versperrungsfaktor und Geschwindigkeit in den Tunneln. Die Energieberechnungen von CASSAT [1997] basieren auf einem Wert von 10'000 Pa. Eine Verringerung auf das angestrebte Niveau des Konzessionsgesuchs von 8'000 Pa würde den Luftwiderstand und die für dessen Überwindung notwendige Antriebsenergie entsprechend um ca. 20% vermindern.

Die Annahme eines Druckniveaus von 5'000 Pa durch TROTTMANN ET AL. [1998] aufgrund energetischer Überlegungen ist jedoch beim heutigen Stand der Sicherheitsanalyse und -technik nicht zulässig, da zum Schutz der Passagiere ein Druckniveau von mindestens 8'000 Pa eingehalten werden muss. Um dieses oder ein noch tieferes Druckniveau zu erreichen und damit den Energiebedarf weiter zu senken, müssten deshalb allenfalls neue Sicherheitskonzepte untersucht werden. Hierbei wären allerdings auch negative Einflüsse wie eine möglicherweise zu verstärkende Fahrzeugkonstruktion und ein höherer Energieaufwand der Vakuumpumpen mit einzubeziehen.

K - 3.2.8 Fahrzeuglänge

Die ersten Untersuchungen von RUDOLF [1997] zum Einfluss der Fahrzeuglänge auf den Luftwiderstand zeigten eine leicht unterproportionale Zunahme des Energieverbrauchs mit der Fahrzeuglänge.

Entsprechend wurden für ein Eurometrysystem längere Zugseinheiten gewählt, um den spezifischen Energiebedarf pro Sitzplatz, bzw. Passagier zu senken.

Neue Simulationsergebnisse der EPF Lausanne mit einem aktuellen Simulationsmodell zu Beginn des Jahres 2000 zeigen nun jedoch einen eher linearen Zusammenhang zwischen Fahrzeuglänge und Höhe des Luftwiderstands. Diese Ergebnisse zeigen erneut die Bedeutung der empirischen aerodynamischen Versuche mit der HISTAR-Anlage für die Konsolidierung und Validierung der aerodynamischen Referenzwerte wie auch der optimalen technischen Auslegung eines Eurometrysystems.

K - 3.2.9 Betrieb Infrastruktur

Nach den bislang berechneten Energie- und Ökobilanzen macht der Betrieb der Infrastruktur etwa ein Viertel des gesamten jährlichen Energiebedarfs für den Gesamtbetrieb aus.

Für ein Eurometro-System wären vermutlich gegenüber der SWISSMETRO-Pilotstrecke niedrigere Werte zu erwarten.

- Die Abstände zwischen den Stationen sind zwei bis dreimal so hoch wie bei der SWISSMETRO-Pilotstrecke, d.h. der Anteil des Betriebsenergieverbrauchs der Stationen pro gefahrenen Streckenkilometer ist geringer.
- Die mittlere Reisedistanz der Eurometro-Passagiere ist ebenfalls deutlich höher, da ein Großteil der Passagiere mehr als eine Teilstrecke zwischen zwei Stationen fahren wird. Trotz des wesentlich höheren Passagieraufkommens dürften daher die Fahrstuhlbewegungen pro Station, die nach MINGOT ET AL. [1997, S. 77] knapp 80% des Betriebsenergiebedarfs der Infrastruktur ausmachen, in der selben Größenordnung liegen, da an den Zwischenhalten nur ein teilweiser Passagierwechsel stattfindet.
- Bei der SWISSMETRO-Pilotstrecke findet bei jedem Stationshalt ein kompletter Passagierwechsel sowie eine Rotation des Fahrzeugs in die zweite Tunnelröhre statt. Dies ist bei einem Eurometro-System nur an den jeweiligen Endstationen der Fall.

Da beim momentanen Planungsstand noch keine genaueren Angaben über die Reisedistanz der Passagiere bzw. die Umsteigerate pro Station zur Verfügung stehen, konnten diese Faktoren bis heute noch nicht genauer definiert werden. Bei einer Neuberechnung der Energiebilanz sollten deshalb klare Netz- und Betriebsvarianten mit der entsprechenden Anzahl von Stationen definiert werden. Ebenso gilt es, die Energieverbrauchswerte im Infrastrukturbereich zu überprüfen, da sich in der Literatur z.T. deutlich unterschiedliche Angaben zum Energieaufwand für den Bau und Betrieb der Infrastruktur finden.

K - 3.2.10 Geologie

Beim Bau eines Eurometro-Netzes müssten Tunnel in Gebieten mit vorherrschenden Festgesteinen, z.B. der Molasse, wie auch mit Lockergesteinen gebaut werden, z.B. im Gebiet des Limmat- und Aaretals aber auch im Bereich der Po-Ebene oder des Oberrheingraben zwischen Basel und Frankfurt.

Die Abschätzungen von MINGOT ET AL. [1997] über den Bohr-Energieaufwand für verschiedene geologische Gesteinsformationen zeigen, dass der Energiebedarf für den Bohrvorgang in Lockergesteinen zwar um ca. 60% gegenüber dem Bedarf in den festen Molassegesteinen zunimmt, der Gesamtenergiebedarf für den Tunnelbau aber nur um ca. 6% ansteigt. Der Anteil des Tunnelbaus wiederum beträgt gemäss [MINGOT ET AL. 1997, S. 63,91 ; TROTTMAN ET AL. 1998, S. 46ca.] nur rund 10% (Swissmetro) bzw. 13% (Eurometro) des Gesamtenergieverbrauchs. Folglich dürfte sich der Gesamtenergieaufwand eines Eurometro-Systems selbst bei einer vollständigen Streckenführung in Lockergesteinen nur um ein bis zwei Prozent erhöhen.

Dies deutet auf eine relativ geringe Sensitivität der Art der zu durchtunnelnden Gesteine auf den Gesamtenergieverbrauch hin. Dennoch sollten genauere und breitere Untersuchungen zum Energie- und Ressourcenverbrauch für den Tunnelbau mit verschiedenen Techniken und Ausgangsgesteinen durchgeführt werden. Insbesondere sollten auch potentielle, neue energiearme und kostengünstige Alternativlösungen gesucht und evaluiert werden.

K - 3.2.11 Aushubverwertung

Der Transport und die Deponierung des Tunnelausbruchmaterials haben nach den bisherigen Untersuchungen auf den Gesamtenergieverbrauch nur einen untergeordneten Einfluss. Wichtig ist jedoch statt einer «Aushubentsorgung» eine «Aushubverwertung» sicherzustellen. Erste Abklärungen für Verwertungsmöglichkeiten von Gesteinen der schweizerischen Molasse zeigen, dass insbesondere durch

die Verwertung von Ausbruchmaterial in der Zementindustrie und bei der Betonherstellung andere natürliche Rohstoffe substituiert sowie Deponieraum eingespart werden könnten.

K - 3.2.12 Tunnelverkleidung

In der Ökobilanz SWISSMETRO von MINGOT ET AL. [1997, S.44/45 UND 65FF] sind Angaben über die Art und Menge der verwendeten Materialien zur Sicherung, Abdichtung und Innenverkleidung der Tunnelgewölbe aufgeführt. Bereits in dieser Arbeit werden erste Variationsmöglichkeiten für die Wahl der Materialien zur Tunnelverkleidung diskutiert. Weitere Möglichkeiten zur Verringerung des Energie- und Ressourcenbedarfs sowie der Umweltbelastungen könnten sich durch die Verwendung neuartiger Betontypen sowie Armierungs- und Zuschlagsstoffen eröffnen, z.B. Armierungselementen aus kohlefaserverstärkten Kunststoffen.

K - 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

K - 4.1 Erkenntnisse

Die vorliegende Arbeit hat folgende wesentliche oder neue Erkenntnisse gebracht:

- ❑ Der Energiebedarf, die entsprechenden Treibhausgasemissionen und die dadurch ausgelöste Klimawirkung von Hochgeschwindigkeitstransportsystemen wird in Zukunft einen zunehmenden Stellenwert einnehmen. Der Optimierung des Energieverbrauchs und der entsprechenden Energieerzeugung werden damit eine wachsende Bedeutung zukommen.
- ❑ Der Primärenergieverbrauch und das globale Erwärmungspotential einer Eurometro, d.h. eines Hochgeschwindigkeits-Transportsystems im Teilvakuum mit magnetischer Antriebskraft dürfte pro Personenkilometer im Distanzbereich von rund 300 bis 1000 km deutlich tiefer liegen als bei anderen Transportsystemen.
- ❑ Da der Betrieb einer Eurometro weitgehend mit elektrischer Energie erfolgt, ist die Art, bzw. Technologie der Elektrizitätserzeugung ein wesentlicher Einflussfaktor in Bezug auf die Klima- und Umwelteffizienz. Ihr sollte daher bei der weiteren Optimierung des Gesamtsystem entsprechende Beachtung geschenkt werden.
- ❑ Der Energieaufwand, die potentielle Klimawirkung und die generelle Umweltbelastung durch den Bau der Tunnels und anderen Infrastrukturanlagen sind ebenfalls relevant. Die Treibhausgas-Emissionen für den Bau der Infrastruktur können z. B. eine ähnliche Größenordnung erreichen wie diejenigen für den Betrieb über die angenommene rund hundertjährige Nutzungsdauer. Fragen der Bautechnologie und der Art der Energieversorgung und -produktion für den Bauvorgang sollten deshalb in weiteren Untersuchungen mehr Beachtung geschenkt werden.
- ❑ Der spezifische Anteil der investierten Grauen Energie und indirekten Umweltbelastung pro Personenkilometer ist stark von der Nachfrage und deren Entwicklung über die geplante Nutzungsdauer abhängig. Weitere Untersuchungen zur Nachfrage solcher Transportsysteme müssen daher ein Schwerpunkt diesbezüglicher zukünftiger Forschungsarbeiten sein.
- ❑ Die Nachfrageprognosen müssen neben den generellen Verkehrswachstumsraten auch weitere wichtige Faktoren, wie die Umlagerungseffekte von anderen Hochgeschwindigkeitssystemen und aus langsameren Transportsystemen (Strasse, klassischer Schienenverkehr), den induzierten Neuverkehr sowie die potentiellen Raumeffekte berücksichtigen.
- ❑ Eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Nachfrage von Hochgeschwindigkeits-Transportsystemen spielen die Fahrtkosten, die Reisegeschwindigkeiten und die Integration ins bestehende Netz. Mit letzteren verbunden sind die Reisezeiten von Tür zu Tür, das Komfortniveau und weitere Faktoren wie z.B. die Entwicklung der Raumordnung und gesellschaftliche Trends.
- ❑ Es müssen weitere flankierende Lenkungsmassnahmen neben der Internalisierung externer Kosten im Verkehrsbereich entwickelt und geprüft werden, um den gewünschten Umsteigeeffekt auf ein neues energieeffizientes und umweltschonenderes Transportsystem zu erzielen sowie den induzierten Neuverkehr auf einem ökologisch vertretbaren Niveau zu begrenzen.
- ❑ Wirtschaftliche und finanzielle Aspekte des Baus und Betriebs einer Eurometro beeinflussen die Nachhaltigkeit eines Hochgeschwindigkeitssystems ebenfalls stark. Sie wurden in den bisherigen Untersuchungen nur ansatzweise betrachtet und müssen deshalb neue Schwerpunkte zukünftiger Forschungen bilden.

K - 4.2 Ausblick: Beitrag zur Nachhaltigkeit im Verkehr durch neue Technologie?

Wie einleitend aufgezeigt dürfte das Potential etablierter technischer und politischer Massnahmen im Bereich des Hochgeschwindigkeitsverkehrs allein nicht ausreichen, um die angestrebten Ziele des Klima- und Umweltschutzes zu erreichen. Daher erscheinen die **Prüfung und fundierte Evaluation neuer innovativer Lösungsansätze notwendig**.

Diese Studie möchte dazu einen konstruktiven Beitrag leisten, indem sie einen neuartigen potentiellen Lösungsansatz analysiert: den Aufbau eines «Eurometro-Systems» als möglicher **Alternative zum Kurzstreckenflugverkehr** und anderer Verkehrsmittel im Distanzbereich bis rund 1000 km. Durch die unterirdische Linienführung und energieeffiziente Technologie dürfte gegenüber den heute eingesetzten Verkehrsmitteln ein deutlicher Gewinn in den Bereichen Energieverbrauch wie auch Klima-, Lärm- und Landschaftsschutz erzielbar sein.

Der **stufenweise Aufbau** eines Eurometronetzes zwischen den wichtigen europäischen Siedlungszentren könnte damit zu einer Art «Backbone» eines energie- und umwelteffizienten und damit langfristig zukunftsfähigen Hochgeschwindigkeitsverkehrs-Systems in Europa werden. Mit ihm könnte in absehbarer Zukunft ein System mit modernster Technologie zur Verfügung stehen, mit dem zum Flugverkehr vergleichbaren Geschwindigkeiten und Reisezeiten. Es würde **mit hoher Effizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit** im Reisebereich bis rund 1000 km deutliche Fortschritte in den Bereichen **Ökologie und Effizienz** und dennoch **kurze Reisezeiten** ermöglichen. Es könnte so eine „**technologische Lücke**“ **zwischen** dem zum Teil in der Geschwindigkeit und Linienführung durch verschiedene Faktoren eingeschränkten **oberirdischen** nationalen und internationalen **Eisenbahnverkehr** und dem **intra- und interkontinentalen Flugverkehr schliessen**.

Literatur

- ABAY, G. [1999]: F1 Nachfrageabschätzung für Swissmetro. in: Berichte des NFP41 «Verkehr und Umwelt», Bericht F1. EDMZ Nr. 801.607.d. Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.
- BREIMEIER R. [1998]: in: Eisenbahn-Revue, Heft 10/1998
- CASSAT A. [1997]: Demande de Concession: Electromécanique, Section 17, Bilan Énergétique, Rapport Niveau 3 – Bilan énergétique combiné. EPFL 1.0078/1.4000/b. EPF Lausanne, DE-LEME-A.Cassat, V_3. EPF Lausanne. (Confidentiel)
- CASSAT A. UND BOURQUIN V. [2000]: Aerodynamic drag force. Excel-Tabelle mit ergänzenden Simulationen zu Cassat [2000b]. EPF Lausanne, EPFL-DGM-IMHEF. Mai 2000.
- DEUTSCHE BAHN [1999]: Mobilitäts-Bilanz für Personen und Güter. Die Verkehrssysteme Deutschlands im Vergleich. Broschüre und CD-ROM. Stand September 1999, Version 1.1. Deutsche Bahn AG Berlin.
- EU-COMMISSION [2000A]: Communication on civil aviation and the environment. Supplement to transport europe – February 2000. European Information Service, Bureau de dépôt Bruxelles X.
- EU-COMMISSION [2000B]: Taxation of aircraft fuel. Supplement to transport europe – March 2000. European Information Service, Bureau de dépôt Bruxelles X.
- GEISEL J. [1999]: Ökologische Nachhaltigkeitsfaktoren von Hochgeschwindigkeitsverkehrssystemen am Beispiel der Eurometro. Diplomarbeit Nachdiplomstudium Umwelt, HTA Biel/Bienne. Berner Fachhochschule, HTA Biel/Bienne.
- GERS V., HÜBNER H., PETER O. UND STILLER H. [1997]: Zur Ressourcenproduktivität von spurgeführten Hochgeschwindigkeitsverkehrssystemen: Ein Vergleich von ICE und Transrapid (Kurzfassung). Wuppertal Papers Nr. 75. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. D-Wuppertal.
- IPCC [1999]: Aviation and the global atmosphere. Cambridge University Press. UK-Cambridge. Summary for policy makers: www.ipcc.ch
- KRÄUPL S. UND LEUENBERGER C. [1999]: Energieversorgung für die Eurometro. Diplomarbeit im Nachdiplomstudium Energietechnik, HTA Burgdorf. Berner Fachhochschule, HTA Burgdorf.
- LEGELAND C. [1998]: www.physik.uni-bielefeld.de/~clegelan/transrapid/energie.html
- LEUENBERGER C., MOMBELLI T. UND SAVODELLI P. [1998]: Ökobilanz – Vergleich Eurometro-Kurzstreckenflugzeug. Semesterarbeit Nachdiplomstudium Energietechnik, HTA Burgdorf. Berner Fachhochschule, HTA Burgdorf.
- LEUENBERGER [ANHANG B]: IN: ERNST W. ET AL. [2000]: Energie- und Umweltbilanz einer Eurometro. Bericht F6 des NFP 41. Eidgenössische Druck- und Materialzentrale. Bern.
- LUFTHANSA [1999]: Umweltbericht Balance 1998/99. Hrsg.: Deutsche Lufthansa AG. Frankfurt am Main.
- INFRAS [1995]: Ökoinventar Transporte. SPP Umwelt Projekt 5. Infras. Zürich.
- MINGOT S. UND BAUMGARTNER T. [1997]: Ökobilanz SWISSMETRO – LCA für ökologische Optimierung & Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln mit Vertiefung Untertagebau. Institut für Energietechnik, Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt, ETH-Zentrum UNL. ESU-Reihe Nr. 3/97. ETH Zürich.
- PSI (PAUL SCHERRER INSTITUT) [2000]: Gabe Project: www.psi.ch/gabe, LCA-based Inventories
- RUDOLF A. [1997]: Aerodynamic reference values for the Swissmetro system. EPF Lausanne. EPFL 1.0087/1.6210/b. Confidentiel.
- SWISSMETRO [1997-C1 BIS C10]: Demande de Concession Tronçon Pilote Genève-Lausanne: Cahiers 1 bis 10. SWISSMETRO SA, Genève. (Confidentiel)
- THYSSEN [2000]: www.maglev.com
- TRANSRAPID INTERNATIONAL [2000]: www.transrapid-international.de/htmls/umentxt.html
- TROTTMANN B., KRONENBERG S. UND BALMER M. [1998]: Energiebilanz Eurometro – Energetische Untersuchung und Energiebilanzierung. Diplomarbeit Nachdiplomstudium Energietechnik, Ingenieurschule Burgdorf. Ingenieurschule Burgdorf.