



## **Verbrauch, Emissionen, Materialeinsatz und Kosten von Binnenschiffen, Flugzeugen und Schienenfahrzeugen**

**Dokumentation im Rahmen von**

**"renewbility - Stoffstromanalyse  
nachhaltige Mobilität im Kontext  
erneuerbarer Energien bis 2030"**

**Gefördert vom Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
Reaktorsicherheit**

**Wolfram Knörr und Frank Kutzner  
Heidelberg, 01.08.2008**

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Hintergrund</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Quantifizierungsmethode und Datenqualität</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Übrige Verkehrsmittel – Fahrzeugdefinition und -varianten, Verbrauchsminderungstechnologien, Kraftstoffverbrauch, Emissionen, Materialeinsatz, Zusatzkosten</b>	<b>4</b>
3.1	Fahrzeugdefinition und -varianten	4
3.2	Verbrauchsminderungstechnologien	8
3.3	Reduktionspotential der Fahrzeugvarianten	10
3.4	Kraftstoffverbrauch	11
3.5	Emissionen	12
3.6	Materialeinsatz	13
3.7	Zusatzkosten	15

# 1 Hintergrund

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „renewability“ soll basierend auf dem aktuellen internationalen Wissensstand eine öffentlich zugängliche Technologiedatenbasis für alle relevanten Verkehrsträger (Straße, Schiene, Wasser, Luft) und Antriebstechnologien jeweils für verschiedene Fahrzeugeffizienzstufen entwickelt werden. Dabei sollen sowohl die direkten Effekte (Kosten, Emissionen) als auch die indirekt über vor- und nachgelagerte Prozesse wie Herstellung bzw. Entsorgung entstehenden Umwelt- und Kostenwirkungen mit erfasst und bilanziert werden, d.h. der gesamte Lebenszyklus.

Die durch den Verkehr bedingten Stoffströme hängen wesentlich von den technischen und wirtschaftlichen Spezifikationen - Energieart und -verbrauch, Emissionen, Materialeinsatz und Kosten - der eingesetzten Verkehrsmittel ab. Eine angemessene Quantifizierung dieser Größen ist damit Voraussetzung für die belastbare Beantwortung der Fragestellungen des Projektes „renewability“.

In dieser Dokumentation werden für Schienenfahrzeuge, Binnenschiffe und Flugzeuge Technologien zur Verbrauchsreduktion einschließlich alternativer Antriebssysteme dargestellt, diskutiert und dokumentiert. Die Dokumentation bildet die Basis der renewability-Szenarienrechnungen für die sonstigen Verkehrsmittel (Bahn, Binnenschiff, Flugzeug).

Die hier behandelten Verkehrsmittel unterscheiden sich erheblich hinsichtlich ihrer Anteile an der Verkehrsleistung und den damit verbundenen Umwelteffekten wie der Verfügbarkeit und Qualität der für die Datengenerierung erforderlichen Informationen. In Kapitel 2 werden Vorgehen und Datenqualität im Vergleich zu anderen Ansätzen und wichtigen Quellen eingeordnet. In Kapitel 3 werden wesentliche Festlegungen zu Technik der Verkehrsmittel und Modellbildung beschrieben. Danach wird in jeweils eigenen Kapiteln (3.4 bis 3.7) die Quantifizierung von Verbrauch, Emissionen, Materialaufwand und Kosten der Verkehrsmittel Bahn, Binnenschiff und Flugzeug beschrieben; den Schwerpunkt bilden die Verbrauchsdaten.

## 2 Quantifizierungsmethode und Datenqualität

Die ideale Generierung der in dem Forschungsvorhaben „renewability“ benötigten Daten definiert technische Anforderungen wie Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit für verschiedene Fahrzeugkategorien, definiert Gewicht und Zusammensetzung der Fahrzeugbaugruppen (Motor in erster Näherung, Fahrwerk, Verkleidung, usw.), leitet daraus die Antriebspezifikationen (mit aktualisiertem Motor) ab und berechnet mit einem komplexen Modell auf der Basis von Motorkennfeldern Verbrauchsdaten und Emissionen in bestimmten Fahrzyklen. Im Idealfall werden alle Varianten so modelliert.

Es ist offensichtlich, dass dieses Vorgehen extrem aufwendig ist und damit in üblichen Projektdimensionen nur für eine sehr begrenzte Anzahl von Varianten, In- und Outputs usw. realisierbar ist. Die vorliegenden Studien und Berichte zu Effizienzsteigernden Technologien und alternativen Antrieben bei Bahn, Binnenschiff und Flugzeug liefern jedoch nur wenig differenzierte Daten zu Verbrauchsdaten, THG, toxischen Emissionen, Materialeinsatz oder

Kosten. Zusätzlich sind Zeitangaben zu Markteinführung oder -durchdringung kaum vorhanden. Daher werden für die genannten Fahrzeugkategorien alle Daten durch Schätzungen auf der Basis von Literaturwerten abgeleitet. Die Belastbarkeit der Daten im Sinne einer konsistenten Begründbarkeit ist damit sicher geringer als bei "ideal" generierten Daten. Die Unsicherheiten bei z.B. der detaillierten Definition von Motorkennfeldern, Wirkungsgraden einzelner Aggregate usw. ist aber keineswegs geringer als die Fehlermöglichkeiten bei Abschätzungen auf der Basis komplex modellierter und gemessener Primärdaten. (Anschaulich wird dies darin, dass CAD, thermodynamische und Verbrennungsmodelle usw. keine Prüfstände und diese wiederum keine Praxistests ersetzen.)

Damit ist weiter klar, dass das Vorgehen und die damit erhaltenen Daten grundsätzlich geeignet sind für die Bearbeitung der Projektfragestellungen (das konkrete Vorgehen und die konkreten Daten werden mit Experten diskutiert und ggf. modifiziert).

Wegen ihrer relativ geringen Anteile an der Fahrleistung können die Daten für Eisenbahn, Flugzeug und Binnenschiff trotz der gegenüber den Straßenverkehrsmitteln höheren Unsicherheiten als für die Bearbeitung der Projektfragestellungen geeignet betrachtet werden. Zudem wird die Datenqualität durch Einbindung von Experten gesteigert. Ergänzende Angaben zur Datenqualität befinden sich in den Kapiteln bzw. Abschnitten zur Quantifizierung von Verbrauch, Emissionen usw. der einzelnen Verkehrsmittel.

### **3 Übrige Verkehrsmittel – Fahrzeugdefinition und -varianten, Verbrauchsminderungstechnologien, Kraftstoffverbrauch, Emissionen, Materialeinsatz, Zusatzkosten**

#### **3.1 Fahrzeugdefinition und -varianten**

Die Ableitung zielführend verwendbarer Daten setzt eine Reihe von Auswahlentscheidungen und Definitionen voraus. Dazu gehören unter anderem die Liste der zu betrachtenden stofflichen In- und Outputs und die Bezugsjahre. Diese und weitere Parameter sind überwiegend für das Gesamtprojekt definiert worden und werden hier nicht weiter behandelt.

Eine besondere Rolle spielt die Fahrzeug- bzw. Flugzeugdefinition<sup>1</sup> (d.h. die Definition und Spezifikation der Gesamtheit aller zu modellierenden Fahrzeuge), da hiervon die konkreten Daten für alle betrachteten In- und Output-Gruppen direkt abhängen. Die Definition muss hinsichtlich Art, Umfang und Differenzierungstiefe einerseits zur Beantwortung der Fragestellungen des Projektes geeignet und andererseits im Projektrahmen mit Daten hinterlegbar sein.

---

<sup>1</sup> In dieser Dokumentation wird Fahrzeug gleichbedeutend für Schienenfahrzeug, Flugzeug und Binnenschiff benutzt.

Beiden Anforderungen gerecht wird ein Ansatz mit drei bzw. vier Auswahl- bzw. Definitionsebenen und die damit erhaltene Liste von Fahrzeugen. Bei den Ebenen handelt es sich um

- die Definition nach Beförderungszweck (außer bei Binnenschifffahrt)
- die Auswahl von Antriebsarten
- und/oder die Auswahl von Streckenrelation,
- die Bündelung von Verbrauchsminderungstechnologien in Varianten.

Sie werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

### **Beförderungszweck**

Werden die Verkehrsmittel nach ihrem Beförderungszweck klassifiziert, so ergeben sich für die Eisenbahn die Kategorien Personen- und Güterzug und für das Flugzeug Passagier- und Frachtflugzeug. Bei der Binnenschifffahrt wird kein Personenverkehr betrachtet, so dass für dieses Verkehrsmittel nur eine Kategorie nach Beförderungszweck zur Verfügung steht. Die Unterscheidungen erfolgten gemäß TREMOD, dem vom IFEU entwickelten offiziellen Instrument des UBA zur Berechnung von Energieverbrauch und Emissionen des Verkehrs in Deutschland [IFEU 2006a].

### **Antriebsarten**

Die Antriebsart ist hier definiert durch die Konversionstechnik und durch den Kraftstoff, soweit dadurch Fahrzeug- bzw. Flugzeugtechnik, Verbrauch oder Emissionen beeinflusst werden. Für Eisenbahnen kommt Elektro- oder Diesel-Traktion in Frage, während beim Flugzeug mit Kerosin und bei der Binnenschifffahrt mit Diesel jeweils nur eine Option zur Verfügung steht.

### **Streckenrelation**

Ebenfalls auf Basis von TREMOD werden die Verkehrsmittel nach der Streckenrelation definiert. Für Schienenfahrzeuge erfolgt eine Dreiteilung in Stadtbahn (Straßen-, Stadt- und U-Bahnen), Nahverkehr und Fernverkehr, für Flugzeuge wird zwischen Inlands- und grenzüberschreitenden Flügen (GrÜb) unterschieden, während bei der Binnenschifffahrt keine Klassifizierung stattfindet.

### **Fahrzeugvarianten**

Der Kernpunkt des renewbility-Projektes liegt in der Berechnung zukünftiger verkehrsbedingter Stoffströme in verschiedenen Szenarien sowie der Integration verkehrlicher Energiebedarfe in das gesamte Energiesystem. Diese Szenarien sind nur sinnvoll, wenn neben anderen Größen für relevante Fahrzeug- bzw. Antriebsarten zeitliche Entwicklungen ihrer "typischen" Spezifikationen und insbesondere darüber hinaus bestimmte Varianten abgebildet werden. Nachvollziehbar und konsistent sind diese Entwicklungen und Varianten vor allem, wenn sie über die Implementierung bestimmter Technologien und Technologiekombinationen abgeleitet werden. Dem Projektgegenstand entsprechend handelt es sich dabei einerseits um Technologien mit dem Zweck der Energieverbrauchsreduktion, andererseits um solche zum Einsatz erneuerbarer Energien im Verkehrssektor. Die Möglichkeiten für diese

technologiebezogene Datengenerierung sind für die einzelnen Verkehrsträger sehr unterschiedlich. Am günstigsten sind sie für Straßenverkehrsmittel. Für die übrigen Verkehrsmittel wird neben dem Basis-Szenario lediglich eine weitere Variante festgelegt:

**Basis-Szenario:** Diese Kategorie stellt das durchschnittliche, in einem bestimmten Jahr neu zugelassene Fahrzeug einer bestimmten Fahrzeugart dar. Außer für das Basisjahr 2005 werden die Fahrzeuge im Basis-Szenario durch die angenommenen Spezifikationen und *Marktdurchdringungen* (= Anteile an den Neuzulassungen) der angewendeten Technologien definiert. Ein Basis-Fahrzeug ist also z.B. zu x% ein Fahrzeug mit reduziertem Rollwiderstand bzw. besserem Auftrieb, zu y% mit gemindertem Luftwiderstand (Rest Normalbauweise) sowie zu z% mit innovativer oder alternativer Antriebstechnik ausgestattet (Rest konventioneller Antrieb). Diese Fahrzeuge haben damit keine realen Pendanten, sondern entsprechen dem (erwarteten) Durchschnitt. Sie bilden damit eine wesentliche Grundlage für das Basis-Szenario. Das Modell TREMOD liefert Werte zu Energieverbrauch und Schadstoffemissionen für den Flottendurchschnitt eines bestimmten Jahres. Da im Rahmen des renewbility-Projektes jedoch Fahrzeug-Neuzulassungen betrachtet werden, müssen die TREMOD-Werte angepasst werden, worauf in den einzelnen Unterkapiteln eingegangen wird.

**Variante 1:** Die Variante spiegelt ein prospektives Realfahrzeug wider, d.h. es ist mit bestimmten Technologien ausgestattet ohne Berücksichtigung ihrer möglichen Verbreitung (die in den Szenarien definiert wird). Die Variante ist notwendig, um das über den Trend hinaus Machbare und die damit verbundenen Kosten bei der Minimierung verkehrsbedingter Stoffströme unter verschiedenen Randbedingungen (z.B. rechtliche Regelungen, Energiepreise) zu bestimmen. Variante 1 beinhaltet die Kombination aller möglichen Verbrauchsminderungstechnologien und wurde für alle Definitions- bzw. Auswahlebenen, wie auch alle Bezugsjahre gebildet. In der folgenden Tabelle sind alle Definitions- und Auswahlebenen für die übrigen Verkehrsmittel dargestellt:

**Tabelle 1** Betrachtete Fahrzeugkategorien und -varianten

Fahrzeugkategorie	Antrieb	2005	2010		2020		2030	
		Basis	Basis-Szenario	Var. 1	Basis-Szenario	Var. 1	Basis-Szenario	Var. 1
SSU	Elektro	-	1	1	1	1	1	1
Personenzug_Nahverkehr	Diesel	-	1	1	1	1	1	1
Personenzug_Nahverkehr	Elektro	-	1	1	1	1	1	1
Personenzug_Fernverkehr	Diesel	-	1	1	1	1	1	1
Personenzug_Fernverkehr	Elektro	-	1	1	1	1	1	1
Güterzug	Diesel	-	1	1	1	1	1	1
Güterzug	Elektro	-	1	1	1	1	1	1
Passagierflugzeug_Inland	Kerosin	-	1	1	1	1	1	1
Passagierflugzeug_GrÜb	Kerosin	-	1	1	1	1	1	1
Frachtflugzeug_Inland	Kerosin	-	1	1	1	1	1	1
Frachtflugzeug_GrÜb	Kerosin	-	1	1	1	1	1	1
Binnenschiff	Diesel	-	1	1	1	1	1	1

Für die definierten Fahrzeugkategorien im Basisjahr 2005 müssen zusätzlich Leistungsmerkmale, wie Plätze bzw. maximale Nutzlast, Leergewicht, Auslastungsgrad, Lebensdauer und jährliche Fahrleistung angegeben werden (siehe Tabelle 2, S. 7). Mit Hilfe dieser Anga-

ben kann unter anderem der Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffemissionen je Fahrzeugkilometer angegeben werden, welche nur bezüglich der Verkehrsleistung in TREMOD vorliegen. Die Leistungsmerkmale basieren größtenteils auf /Ecoinvent 2004/ und eigenen Annahmen. Sie spiegeln in etwa die Fahrzeugkategorien in TREMOD wieder.

**Tabelle 2** Leistungsmerkmale von Neufahrzeugen der jeweiligen Fahrzeugkategorie in 2005

Fahrzeugkategorie	Antrieb	Leergewicht [t]	Kapazität [t bzw. Plätze]	Auslastungsgrad [%]	Fahrleistung [km/a]	Lebensdauer [a]
SSU	Elektro	55	249	45	50.000	30
Personenzug_Nahverkehr	Diesel	200	250	53	170.000	40
Personenzug_Nahverkehr	Elektro	200	250	53	170.000	40
Personenzug_Fernverkehr	Diesel	600	700	308	250.000	40
Personenzug_Fernverkehr	Elektro	400	500	220	500.000	40
Güterzug	Diesel	524	1160	434	50.000	25
Güterzug	Elektro	524	1160	434	50.000	25
Passagierflugzeug_Inland	Kerosin	61	150	104	2.235.000	25
Passagierflugzeug_GrÜb	Kerosin	240	380	281	2.235.000	25
Frachtflugzeug_Inland	Kerosin	61	20	12	2.235.000	25
Frachtflugzeug_GrÜb	Kerosin	240	80	54	2.235.000	25
Binnenschiff	Diesel	330	1350	675	30.000	47

Quelle: siehe Literaturverzeichnis, eigene Abschätzungen und Berechnungen [IFEU 2008]

Außer dem Leergewicht und dem Auslastungsgrad werden alle Angaben für die verschiedenen Zeiträume und Fahrzeugvarianten als konstant angenommen. Die Annahmen zur Gewichtsentwicklung sind im Kapitel zum Materialeinsatz beschrieben. Der Auslastungsgrad ist größtenteils TREMOD entnommen. Für Frachtflugzeuge wird ein Auslastungsgrad von 65% für alle Jahre und Fahrzeugvarianten basierend auf Zahlen aus /Lufthansa 2007/ angenommen. Die Annahmen zum Auslastungsgrad sind in der folgenden Tabelle abgebildet:

**Tabelle 3** Auslastungsgrade der Fahrzeugkategorien und -varianten

Fahrzeugkategorie	Antrieb	2005	2010	2020	2030
SSU	Elektro	18%	20%	20%	20%
Personenzug_Nahverkehr	Diesel	21%	22%	24%	24%
Personenzug_Nahverkehr	Elektro	21%	22%	24%	24%
Personenzug_Fernverkehr	Diesel	44%	46%	50%	50%
Personenzug_Fernverkehr	Elektro	44%	46%	50%	50%
Güterzug	Diesel	37%	37%	37%	37%
Güterzug	Elektro	37%	37%	37%	37%
Passagierflugzeug_Inland	Kerosin	69%	69%	69%	69%
Passagierflugzeug_GrÜb	Kerosin	74%	74%	74%	74%
Frachtflugzeug_Inland	Kerosin	62%	62%	62%	62%
Frachtflugzeug_GrÜb	Kerosin	67%	67%	67%	67%
Binnenschiff	Diesel	50%	50%	50%	50%

Quelle: siehe Literaturverzeichnis, eigene Abschätzungen und Berechnungen [IFEU 2008]

## 3.2 Verbrauchsminderungstechnologien

Zentraler Bestandteil des renewbility-Projektes ist die Abbildung des Kraftstoffverbrauches. Basis der Abschätzungen zum zukünftigen Energieeinsparpotentialen bildet die Analyse von möglichen Technologien in diesem Bereich. Die Fahrzeugvariante 1 setzt sich aus diesen Verbrauchsminderungstechnologien zusammen. Anschließend werden diese technischen Maßnahmen beschrieben. Es erfolgt dabei eine Einteilung in:

- Maßnahmen zur Reduktion des Luftwiderstandes
- Maßnahmen zur Reduktion des Rollwiderstandes bzw. zur Verbesserung des Auftriebes
- Maßnahmen zur Verbesserung der Antriebstechnik
- Alternative Antriebstechnik

### Reduktion des Luftwiderstandes

Hierunter fallen Verbesserungen bei der Aerodynamik. Bei den *Eisenbahnen* betrifft das im Allgemeinen Dach, Seitenverkleidung, Unterflurbereich und Wagenanordnung. Laut /UIC 2005/ können dadurch in Zukunft etwa 5% Energie bei Personenzügen eingespart werden. Bei Güterzügen hingegen werden Einsparungen von 10% allein durch optimierte Wagenanordnung angegeben.

Bei *Flugzeugen* kann durch Furchen (Riblets) in der Außenhaut der Flugzeuge oder verlängerte Anbauten an den Flügeln (Winglets) nach /Stratus 2002/ und /CE 2002/ jeweils 2-4% Treibstoff in Abhängigkeit von der Reiseweite eingespart werden. Die Anbauten wirken sich allerdings negativ auf das Flugzeuggewicht aus. Zudem existieren keine Informationen in wie weit diese Maßnahmen bereits umgesetzt wurden. Eine weitere viel versprechende Maßnahme zur Reduktion des Energieverbrauchs ist die Ausstattung des Flugzeugs mit einer Laminarhaltung (turbulenzfreie Umströmung), was langfristig bis zu 20% Minderung ermöglichen soll /DLR 2007/. Andere Quellen geben Gesamtpotentiale für Maßnahmen zur Reduktion des Luftwiderstandes an. Demzufolge können durch Aerodynamik-Verbesserungen bis zu 20% Energie eingespart werden /Arthur 2000; MTU 2007a/.

### Reduktion des Rollwiderstands und Verbesserung des Auftriebes

Die Hauptmaßnahme zur Reduktion des Rollwiderstandes und Verbesserung des Auftriebes ist die Gewichtsreduktion. Im Bereich der *Eisenbahnen* können nach /UIC 2005/ und /IFEU 2006b/ Leichtbaumaßnahmen bei Personenzügen eine Reduktion des Energieverbrauchs von bis zu 10% bewirken. Auch zukünftig werden Maßnahmen in diesem Bereich weiter forciert /DB 2007/, was auf weitere Reduktionen bis 2030 schließen lässt.

Bei *Flugzeugen* können laut /GBD 2005; Arthur 2000; DLR 2007; IFEU 2006b/ durch verschiedene Leichtbaumaßnahmen bis zu 25% Verbrauchsminderung auf Basis von 2000 erreicht werden. Das Einsparpotential in der *Binnenschifffahrt* begründet sich nur auf wenige Technologien. So kann in Zukunft mittels Luftschmierung (Luftblasen unterhalb des Schiffes) eine Widerstandsreduktion erreicht werden, welche wiederum zu 20%-iger Verringerung des Treibstoffbedarfs führt /New Logistics 2007/.

## **Verbesserung der Antriebstechnik**

Bei Innovationen in diesem Bereich muss nach Antriebsart unterschieden werden. Für *Schienerfahrzeuge* mit Elektro-Traktion werden Verbesserungen bei Transformatoren, Motoren und Kondensatoren, sowie Energiespeichertechnik erwartet /UIC 2005/, wodurch Einsparungen von 5-10% zukünftig erreicht werden können. Für Züge mit Dieseltraktion kann hingegen eine Remotorisierung mit modernen Dieselmotoren 10% Verbrauchsminderung bewirken /UIC 2005/. Zusätzlich können Fahrassistenzsysteme bei beiden Traktionsarten Einsparungen von bis zu 10% bringen /Bombardier 2007; TMG 2007/. Neben punktuellen Maßnahmen können auch gänzlich neue Gesamtpakete im Bereich der Antriebs- und Fahrwerktechnik die Effizienz erhöhen. Beispielsweise gibt /Siemens 2007/ an, mit solch einem Paket (Syntegra) in Zukunft bis zu 20% Verbrauchsminderung erreichen zu können.

In der *Luftfahrttechnik* werden Potentiale für einzelne Entwicklungen, wie auch für die Gesamtheit aller Maßnahmen angegeben. Die konkreten technischen Maßnahmen umfassen das Installieren eines Wärmetauschers im Abgasstrahl von Flugzeugen /MTU 2002/, welcher zwischen 20 und 40% Energie einsparen kann, den Einsatz von Ultrahochbypass-Triebwerken /DLR 2007/ mit bis zu 16% Verbrauchsminderung, wie auch die Ausstattung der vorhandenen Flugzeuge mit modernen Triebwerken (Re-engining), was allerdings mit dem geringsten Einsparpotential veranschlagt wird.

*Binnenschiffe* besitzen auch in diesem Technologiefeld nur wenig Entwicklungspotential. Zu nennen sind der Ersatz von Propellern durch Propellerdüsen /VBD 2004/ und der Einsatz neuer Schiffsformen /New Logistics 2007/.

## **Alternative Kraftstoffe und Antriebe**

Für *Eisenbahnstrecken* mit Elektrotraktion konzentriert sich die Forschung auf Brennstoffzelle und Hybrid-Antrieb /UIC 2006/. Auf Nichtelektrifizierten Strecken sollen hingegen zukünftig Fahrzeuge mit Biodiesel oder Gasmotoren verkehren. In Dänemark wurde bereits ein Wasserstoff-Betriebener Zug getestet /HIRC 2006/. Detaillierte Informationen bezüglich Verbrauch, Material und Kosten konnten nicht aufgefunden werden. Zudem wird der Wasserstoff-Brennstoffzelle als Alternative vor allem zur Elektro-Traktion wenig Potential zugeschrieben /Kemp 2005/. Die Deutsche Bahn AG testet zur Zeit eine Gasbetriebene Lokomotive, weitere Informationen dazu und zu weiteren alternativen Antrieben liegen allerdings nicht vor, so dass diese Technologien nur qualitativ in die Abschätzung einfließen können.

Als alternativen Kraftstoff im *Flugzeugbau* wird die so genannte „Cryoplane-Technik“, ein Wasserstoff-Betriebenes Flugzeug angeführt. Wann diese Flugzeuge Marktreife erlangen, ist jedoch sehr unsicher. Zudem sind der spezifische Energieverbrauch und das Fluggewicht bei dieser Technologie höher, als bei konventionellen Antrieben mit Kerosin als Treibstoff /Airbus 2003/. Das Einsparvolumen beim Verbrauch durch die Gesamtheit aller Maßnahmen im Bereich Antriebstechnik (inklusive alternativer Kraftstoffe und Antriebe) wird in verschiedenen Studien mit 25-30% bis 2030 angegeben /MTU 2007a; MTU 2007b; Arthur 2000/.

### 3.3 Reduktionspotential der Fahrzeugvarianten

Die Minderungsraten für den Kraftstoffverbrauch des Basis-Szenario spiegeln das Basis-Szenario in TREMOD wider (Tabelle 4). Die Minderungsraten für Fahrzeuge der Variante 1 werden durch Auswahl der Technologien bzw. Maßnahmen zur Verbrauchsminderung und deren Kombination gebildet. Bei der Auswahl und Kombination von Minderungstechnologien sind folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Marktreife spätestens bis etwa 2027/28 (andernfalls bis 2030 zahlenmäßig irrelevant)
- Abgrenzbarkeit gegenüber anderen Maßnahmen (Vermeidung von Doppelzählungen und Auslassungen)
- Datenverfügbarkeit (ausreichend für zumindest näherungsweise Abschätzungen)

In der Praxis erweist sich dies als problematisch, da die Datenlage durch große Inhomogenitäten und Lücken charakterisiert ist. Der Zeitpunkt der Marktreife und vor allem die anschließende Geschwindigkeit der Marktdurchdringung sind schwer abzuschätzen. Die Abgrenzung gegen andere Maßnahmen ist für bestimmte Fahrzeugkomponenten möglich, ebenfalls für physikalische Kategorien wie Roll- und Luftwiderstand. Es stellt sich allerdings die Frage, welche Maßnahmenbündel auf der Skala von "inkompatibel" über "möglich, aber nur bedingt sinnvoll" bis "nur zusammen sinnvoll" wo angesiedelt sind. Die vorliegende Literatur lässt darauf u. E. kaum eindeutige Antworten zu. Selbst wenn dies zu klären wäre, könnten die einzelnen Anteile einer größeren Anzahl von motorischen Maßnahmen kaum realistisch abgeschätzt werden. Deshalb wird aus den einzelnen Maßnahmen das Reduktionspotential der oben diskutierten Fahrzeugvariante 1 grob abgeschätzt. Für Züge und Flugzeuge wird eine zusätzliche Minderung um 20% (Binnenschiff 5%) gegenüber dem Basis-Szenario bis 2030 angenommen. Die angenommenen Minderungsraten sind im Folgenden abgebildet:

**Tabelle 4** Minderungsraten bei Energieverbrauch (bzgl. Neuzulassungen 2005)

Fahrzeugkategorie	Antrieb	2005	2010		2020		2030	
		Basis	Basis-szenario	Var. 1	Basis-szenario	Var. 1	Basis-szenario	Var. 1
SSU	Elektro	-	-2%	-4%	-10%	-18%	-20%	-36%
Personenzug_Nahverkehr	Diesel	-	-2%	-4%	-10%	-18%	-20%	-36%
Personenzug_Nahverkehr	Elektro	-	-2%	-4%	-10%	-18%	-20%	-36%
Personenzug_Fernverkehr	Diesel	-	-2%	-4%	-10%	-18%	-20%	-36%
Personenzug_Fernverkehr	Elektro	-	-2%	-4%	-10%	-18%	-20%	-36%
Güterzug	Diesel	-	-2%	-4%	-10%	-18%	-20%	-36%
Güterzug	Elektro	-	-2%	-4%	-10%	-18%	-20%	-36%
Passagierflugzeug_Inland	Kerosin	-	-5%	-8%	-14%	-24%	-22%	-38%
Passagierflugzeug_GrÜb	Kerosin	-	-3%	-7%	-9%	-18%	-16%	-33%
Frachtflugzeug_Inland	Kerosin	-	-7%	-12%	-17%	-27%	-25%	-40%
Frachtflugzeug_GrÜb	Kerosin	-	-3%	-7%	-9%	-18%	-16%	-33%
Binnenschiff	Diesel	-	-4%	-4%	-4%	-5%	-4%	-8,8%

Quelle: siehe Literaturverzeichnis, eigene Abschätzungen und Berechnungen

[IFEU 2008]

### 3.4 Kraftstoffverbrauch

Da sich die Angaben zum Kraftstoffverbrauch in TREMOD auf den Flottendurchschnitt beziehen, müssen die Werte für das Basisjahr 2005 angepasst werden, um den Technologiestand der Neuzulassungen dieses Jahres abbilden zu können. Da uns keine differenzierten Bestandsdaten für die übrigen Verkehrsträger vorliegen, wird vereinfacht angenommen, dass Neufahrzeuge in 2005 keinen geringeren Verbrauch als der Flottendurchschnitt aufweisen, so dass die Zahlen aus TREMOD übernommen werden.

Der Kraftstoffverbrauch ist durch die unmittelbar verknüpften Betriebskosten, Ressourceninanspruchnahme und verbrauchsabhängigen Emissionen eine Schlüsselgröße der Bewertung von Verkehrssystemen. Daraus resultiert auch eine bessere Datenlage als für andere In- und Outputs. Aus beiden Gründen bildet die Quantifizierung des Verbrauchs auch den Schwerpunkt dieses Berichts. Die Quantifizierung des Verbrauchs der im renewbility-Projekt angenommenen Eisenbahnen, Flugzeuge und Binnenschiffe umfasst einschließlich der bereits oben diskutierten bzw. andernorts erfolgten Festlegungen folgende Schritte:

- Definition von Beförderungszweck, Antriebsart und Streckenrelation, siehe Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.
- Bestimmung des mittleren Kraftstoffverbrauchs der Fahrzeuge im Basisjahr 2005, differenziert nach den oben beschriebenen Merkmalen. Die Daten werden dem vom IFEU entwickelten UBA-offiziellen Datenbanksystem zur Berechnung verkehrsbedingter Energieverbrauchswerte und Emissionen TREMOD entnommen [IFEU 2006a] und angepasst (für Neufahrzeuge). Definition der Fahrzeuge mit Maximaler Platzanzahl und Auslastungsgrad und anschließende Berechnung des Energieverbrauchs (Tabelle 2).
- Ableitung der Verbrauchswerte für die Fahrzeugvarianten auf Basis der festgelegten Minderungsraten (siehe vorheriges Kapitel)

Die Zahlen zum Kraftstoffverbrauch sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

**Tabelle 5** Kraftstoffverbrauch nach Fahrzeugkategorie und Fahrzeugvariante [MJ/km]

Fahrzeugkategorie	Einheit	Antrieb	2005	2010		2020		2030	
			Basis	Basis-szenario	Var. 1	Basis-szenario	Var. 1	Basis-szenario	Var. 1
SSU	[MJ/km]	Elektro	20,62	20,20	19,87	18,56	16,91	16,49	13,20
Personenzug_Nahverkehr	[MJ/km]	Diesel	58,08	56,92	55,99	52,27	47,62	46,46	37,17
Personenzug_Nahverkehr	[MJ/km]	Elektro	28,14	27,58	27,13	25,33	23,08	22,51	18,01
Personenzug_Fernverkehr	[MJ/km]	Diesel	301,65	295,62	290,79	271,48	247,35	241,32	193,06
Personenzug_Fernverkehr	[MJ/km]	Elektro	62,18	60,94	59,94	55,96	50,99	49,75	39,80
Güterzug	[MJ/km]	Diesel	175,04	171,54	168,74	157,53	143,53	140,03	112,02
Güterzug	[MJ/km]	Elektro	59,47	58,28	57,33	53,52	48,76	47,57	38,06
Passagierflugzeug_Inland	[MJ/km]	Kerosin	239,57	228,17	220,26	205,91	182,56	185,97	148,77
Passagierflugzeug_GrÜb	[MJ/km]	Kerosin	448,35	432,72	416,50	408,74	367,63	375,91	300,73
Frachtflugzeug_Inland	[MJ/km]	Kerosin	215,63	200,17	190,83	179,78	158,14	161,98	129,58
Frachtflugzeug_GrÜb	[MJ/km]	Kerosin	519,85	501,76	482,79	474,63	427,20	436,61	349,29
Binnenschiff	[MJ/km]	Diesel	287,08	275,48	275,60	275,48	273,30	275,48	261,71
Quelle: siehe Literaturverzeichnis, eigene Abschätzungen und Berechnungen								[IFEU 2008]	

### 3.5 Emissionen

Als nicht direkt verbrauchsabhängige Schadstoffe werden NO<sub>x</sub>, Partikel, CO, NMVOC und Methan erfasst. Die Emissionsfaktoren werden wie TREMOD [IFEU 2006a] entnommen bzw. auf TREMOD-Faktoren basierend abgeleitet (die verbrauchsabhängigen werden aus dem Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch berechnet). Die Emissionsfaktoren spiegeln die gültige Rechtslage. Die Angaben zur Auslastung (Tabelle 2) bilden die Basis für die Ermittlung der spezifischen Emissionen (bzgl. Fahrleistung) aus den TREMOD-Faktoren. Im Gegensatz zum Kraftstoffverbrauch erfolgt für die Emissionen eine Anpassung der TREMOD-Werte für das Basisjahr, um Neuzulassungen abbilden zu können. Für Schienenfahrzeug-Neuzulassungen werden 10% geringere NO<sub>x</sub>- und 30% geringe PM-Emissionen im Jahr 2005 gegenüber dem Flottendurchschnitt angenommen. Bei Binnenschiffen und Flugzeugen erfolgt keine Anpassung.

Die Minderungsraten für Schadstoffemissionen im Basis-Szenario sind TREMOD entnommen. In Tabelle 6 sind die Emissionsfaktoren verschiedener Schadstoffe für das Basis-Szenario im Jahr 2030 den Referenz-Werten von 2005 gegenübergestellt.

**Tabelle 6** Emissionsfaktoren ausgewählter Fahrzeugvarianten (Vorläufige Werte) [g/km]

Schadstoff: Bezugsjahr: Fahrzeugvariante:	Antrieb	NO <sub>x</sub>		Part		NMHC		CH <sub>4</sub>	
		2005 Basis	2030 Basis- szenario	2005 Basis	2030 Basis- szenario	2005 Basis	2030 Basis- szenario	2005 Basis	2030 Basis- szenario
SSU	Elektro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Personenzug_Nahverkehr	Diesel	58,12	26,99	0,63	0,34	2,79	1,81	0,07	0,04
Personenzug_Nahverkehr	Elektro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Personenzug_Fernverkehr	Diesel	301,86	211,76	3,30	2,24	14,47	9,45	0,36	0,23
Personenzug_Fernverkehr	Elektro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Güterzug	Diesel	197,82	118,06	4,66	1,03	22,03	6,67	0,54	0,16
Güterzug	Elektro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Passagierflugzeug_Inland	Kerosin	78,00	51,90	0,22	0,09	8,97	6,05	0,22	0,13
Passagierflugzeug_GrÜb	Kerosin	145,97	104,91	0,42	0,17	16,79	12,24	0,42	0,26
Frachtflugzeug_Inland	Kerosin	70,21	45,20	0,20	0,08	8,07	5,27	0,20	0,11
Frachtflugzeug_GrÜb	Kerosin	169,25	121,84	0,48	0,20	19,46	14,22	0,48	0,30
Binnenschiff	Diesel	400,95	269,32	12,29	10,61	27,72	26,60	0,68	0,65

Quelle: siehe Literaturverzeichnis, eigene Abschätzungen und Berechnungen

[IFEU 2008]

Für die Fahrzeugvariante 1 wurde die Entwicklung der Emissionen an das Basis-Szenario angelehnt. Für die Jahre 2020 und 2030 wurden die gleichen Minderungsfaktoren (gegenüber 2005) angesetzt. Die Minderungsfaktoren der Fahrzeugvariante 1 sind in Tabelle 7 dargestellt.

**Tabelle 7** Minderungsfaktoren für Emission der Fahrzeugvariante 1 gegenüber Neuzulassungen 2005

Schadstoff: Bezugsjahr:	Antrieb	NOx		Part		NMHC		CH4	
		2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
SSU	Elektro								
Personenzug_Nahverkehr	Diesel	-50%	-70%	0%	-80%	-15%	-20%	-15%	-20%
Personenzug_Nahverkehr	Elektro								
Personenzug_Fernverkehr	Diesel	-50%	-70%	0%	-80%	-15%	-20%	-15%	-20%
Personenzug_Fernverkehr	Elektro								
Güterzug	Diesel	-30%	-65%	-42%	-92%	-65%	-65%	-65%	-65%
Güterzug	Elektro								
Passagierflugzeug_Inland	Kerosin	-10%	-20%	-20%	-60%	-15%	-15%	-15%	-25%
Passagierflugzeug_GrÜb	Kerosin	-10%	-20%	-20%	-60%	-15%	-15%	-15%	-25%
Frachtflugzeug_Inland	Kerosin	-10%	-20%	-20%	-60%	-15%	-15%	-15%	-25%
Frachtflugzeug_GrÜb	Kerosin	-10%	-20%	-20%	-60%	-15%	-15%	-15%	-25%
Binnenschiff	Diesel	-30%	-30%	-10%	-10%	0%	0%	0%	0%

Quelle: siehe Literaturverzeichnis, eigene Abschätzungen und Berechnungen [IFEU 2008]

### 3.6 Materialeinsatz

Der Materialeinsatz kann bedingt durch die Projektlimitierungen und die Datenlage nur näherungsweise abgeschätzt werden. /Ecoinvent 2004/ enthält die nötigen Daten zum Materialeinsatz für verschiedene Verkehrsmittel. Aus der Zusammenstellung der vorliegenden Daten werden Materialanteile für das Zulassungsjahr 2005 abgeschätzt und mit den angesetzten Fahrzeugmassen (Tabelle 2) verknüpft. Die Zuordnung zwischen den Fahrzeugkategorien in /Ecoinvent 2004/ und den renewbility-Fahrzeugkategorien ist in Tabelle 8 abgebildet.

**Tabelle 8** Zuordnung der Fahrzeugkategorien für die Bestimmung des Materialeinsatzes

Ecoinvent		renewbility
Straßenbahn	->	SSU
Regionalzug	->	Personenzug-Nahverkehr
Fernzug	->	Personenzug-Fernverkehr
Lokomotive (RE 460) + 20 Güterwagen	->	Güterzug
Flugzeug-Kurz/Mittelstrecke	->	Passagierflugzeug-Inland, Frachtflugzeug-GrÜb
Flugzeug-Langstrecke	->	Passagierflugzeug-GrÜb, Frachtflugzeug-GrÜb

Für die einzelnen Technologien zur Verbrauchsreduktion sowie alternative Antriebstechniken werden ebenfalls Massen und Zusammensetzungen abgeschätzt und zu den Basismassen addiert. Angesichts der Unsicherheiten des Verfahrens werden nicht alle Technologien mit Massenänderungen verbunden. Ferner wird in der Regel nicht zwingend nach Antriebsarten unterschieden. Aus den vorliegenden Informationen zu Verbrauchsminderungstechnologien wird für das Basis-Szenario eine Abnahme des Fahrzeuggewichts um 10% im Jahr 2030 gegenüber 2005 angesetzt, während in der Fahrzeugvariante 1 20%Gewichtsreduktion angenommen wird. Aus diesen Annahmen und den Ecoinvent-Daten ergeben sich die in Tabelle 9 dargestellten Materialmengen.

**Tabelle 9** Materialeinsatz ausgewählter Fahrzeugvarianten [kg]

Fahrzeugvariante	Insgesamt	Stahl, Eisen	Aluminium	Blei	Kupfer	Kunststoffe	Glas, Mineralf., Keram., Zement	Holz
SSU_Elektrisch_Zug_2005_Basis	55.000	45.416	1.599	174	3.971	1.773	2.067	0
SSU_Elektrisch_Zug_2030_Basisszenario	49.500	40.875	1.439	157	3.573	1.596	1.860	0
Personenzug_Nahverkehr_Elektrisch_Zug_2005_Basis	200.000	146.869	12.883	1.868	9.018	18.397	9.315	1.649
Personenzug_Nahverkehr_Elektrisch_Zug_2030_Basisszenario	180.000	132.182	11.595	1.681	8.116	16.558	8.383	1.484
Personenzug_Nahverkehr_Diesel_Zug_2005_Basis	200.000	146.869	12.883	1.868	9.018	18.397	9.315	1.649
Personenzug_Nahverkehr_Diesel_Zug_2030_Basisszenario	180.000	132.182	11.595	1.681	8.116	16.558	8.383	1.484
Personenzug_Fernverkehr_Elektrisch_Zug_2005_Basis	400.000	194.224	54.152	0	20.698	100.842	30.084	0
Personenzug_Fernverkehr_Elektrisch_Zug_2030_Basisszenario	360.000	174.801	48.736	0	18.628	90.758	27.076	0
Personenzug_Fernverkehr_Diesel_Zug_2005_Basis	600.000	291.336	81.227	0	31.047	151.264	45.126	0
Personenzug_Fernverkehr_Diesel_Zug_2030_Basisszenario	540.000	262.202	73.105	0	27.942	136.137	40.614	0
Güterzug_Diesel_Zug_2005_Basis	524.000	455.525	26.383	287	7.435	13.812	863	19.695
Güterzug_Diesel_Zug_2030_Basisszenario	471.600	409.973	23.744	258	6.692	12.431	777	17.725
Güterzug_Elektrisch_Zug_2005_Basis	524.000	455.525	26.383	287	7.435	13.812	863	19.695
Güterzug_Elektrisch_Zug_2030_Basisszenario	471.600	409.973	23.744	258	6.692	12.431	777	17.725
Passagierflugzeug_Inland_Kerosin_2005_Basis	61.000	0	54.900	0	0	6.100	0	0
Passagierflugzeug_Inland_Kerosin_2030_Basisszenario	54.900	0	49.410	0	0	5.490	0	0
Passagierflugzeug_GrÜb_Kerosin_2005_Basis	240.000	0	216.000	0	0	24.000	0	0
Passagierflugzeug_GrÜb_Kerosin_2030_Basisszenario	216.000	0	194.400	0	0	21.600	0	0
Frachtflugzeug_Inland_Kerosin_2005_Basis	61.000	0	54.900	0	0	6.100	0	0
Frachtflugzeug_Inland_Kerosin_2030_Basisszenario	54.900	0	49.410	0	0	5.490	0	0
Frachtflugzeug_GrÜb_Kerosin_2005_Basis	240.000	0	216.000	0	0	24.000	0	0
Frachtflugzeug_GrÜb_Kerosin_2030_Basisszenario	216.000	0	194.400	0	0	21.600	0	0
Binnenschiff_Diesel_2005_Basis	330.000	314.281	173	0	2.420	4.834	5.180	3.113
Binnenschiff_Diesel_2030_Basisszenario	297.000	282.853	155	0	2.178	4.350	4.662	2.801

Quelle: siehe Literaturverzeichnis, eigene Abschätzungen und Berechnungen

[IFEU 2008]

### 3.7 Zusatzkosten

Die Abschätzung zukünftiger Kosten von Technologien zur Verbrauchsreduktion ist mit Unsicherheiten belastet, die deutlich größer sind als die der Abschätzung der übrigen Größen. Vereinfacht ist dies darin begründet, dass Kosten stärker von nur sehr grob abschätzbaren Einflüssen abhängen und wenig bekannt sind. In renewbility werden für die verschiedenen Bezugsjahre direkte Abschätzungen der zusätzlichen Kosten ohne Rückgriff auf Lernkurven vorgenommen. Ausgewiesen werden die Kosten, die dem Fahrzeugbesteller entsehen (Neuwert). Basis der Abschätzung bildet die Literatur, aus der auch die Verbrauchsminde- rungspotenziale abgeleitet werden und eigene Annahmen. In Tabelle 10 sind die angenom- menen Anteile der Kosten am Neuwert der Fahrzeuge dargestellt.

**Tabelle 10** Anteil der Zusatzkosten am Neuwert des Fahrzeugs

	2010	2020	2030
Basisszenario	2,5%	5,0%	10,0%
Variante 1	5,0%	10,0%	20,0%
Quelle: eigene Abschätzungen			[IFEU 2008]

Die Angaben zu den Zusatzkosten sind nur als vorläufige Schätzung anzusehen und werden noch mit Experten besprochen. Der Neuwert der Fahrzeuge wird für alle Bezugsjahre gleich gesetzt. Aus diesen Annahmen ergeben sich die in Tabelle 11 dargestellten Zusatzkosten für Neuzulassungen der jeweiligen Bezugsjahre.

**Tabelle 11** Fahrzeugbezogene Zusatzkosten (Schätzung) der Varianten

Fahrzeugkategorie	Antrieb	2010		2020		2030	
		Basissze- nario	Var. 1	Basissze- nario	Var. 1	Basissze- nario	Var. 1
SSU	Elektro	75.000	150.000	150.000	300.000	300.000	600.000
Personenzug_Nahverkehr	Diesel	75.000	150.000	150.000	300.000	300.000	600.000
Personenzug_Nahverkehr	Elektro	125.000	250.000	250.000	500.000	500.000	1.000.000
Personenzug_Fernverkehr	Diesel	375.000	750.000	750.000	1.500.000	1.500.000	3.000.000
Personenzug_Fernverkehr	Elektro	450.000	900.000	900.000	1.800.000	1.800.000	3.600.000
Güterzug	Diesel	137.500	275.000	275.000	550.000	550.000	1.100.000
Güterzug	Elektro	137.500	275.000	275.000	550.000	550.000	1.100.000
Passagierflugzeug_Inland	Kerosin	2.500.000	5.000.000	5.000.000	10.000.000	10.000.000	20.000.000
Passagierflugzeug_GrÜb	Kerosin	5.000.000	10.000.000	10.000.000	20.000.000	20.000.000	40.000.000
Frachtflugzeug_Inland	Kerosin	1.250.000	2.500.000	2.500.000	5.000.000	5.000.000	10.000.000
Frachtflugzeug_GrÜb	Kerosin	2.500.000	5.000.000	5.000.000	10.000.000	10.000.000	20.000.000
Binnenschiff	Diesel	50.000	100.000	100.000	200.000	200.000	400.000
Quelle: [VBD 2004], [Bahnplan 2008], [Initiative Bahn NRW 2007], eigene Annahmen							[IFEU 2008]

## Literatur

- [Airbus 2003] Westenberger, A.: Cryoplane – Hydrogen Aircraft, H2 Expo at Hamburg, 11. Oktober 2003
- [Arthur 2000] Arthur D Little: Study into the Potential Impact of Changes in Technology on the Development of Air Transport in the UK, Cambridge 2000
- [Bahnplan 2008] Bahnplan.de – Onlinesimulation für Bahnbetrieb, Online im Internet: <[www.bahnplan.de/cms/fahrzeug.php](http://www.bahnplan.de/cms/fahrzeug.php)>
- [Bombardier 2007] Öhrn, P.: Eco design of rolling stock, 3<sup>rd</sup> UIC Energy Efficiency Conference, September 2007
- [CE 2002] CE: External costs of aviation – Main report. CE Solution for environment, economy and technology, Delft
- [DB AG 2007] Deutsche Bahn AG: Innovationsprogramm Bahn. Interne Präsentation, Berlin 2007
- [DLR 2007] DLR: Klimawirkungen des Verkehrs, Köln, September 2007
- [Ecoinvent 2004] Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Life Cycle Inventories of Transport Services, ecoinvent report No. 14, ecoinvent v1.1, Dübendorf 2004
- [GBD 2007] Greener by Design: Mitigating the Environmental Impact of Aviation - Opportunities and Priorities, London, Juli 2005
- [HIRC 2006] Hydrogen Innovation & Research Centre Denmark: The Hydrogen Train, Ringkjøbing County 2006
- [IFEU 2006a] Knoerr, W. et al.: Fortschreibung Daten- und Rechenmodell: Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1960 – 2030. TREMOD (Transport Emission Modell). Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Heidelberg 2006
- [IFEU 2006b] Helms, H., Lambrecht, U.: The Potential Contribution of Light-Weighting to Reduce Transport Energy Consumption. In Int J LCA 2006 (OnlineFirst)
- [Initiative Bahn NRW 2007] Ministerium für Bauen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen: Initiative Bahn NRW – Branchennews, Online im Internet: <[www.initiativebahn.nrw.de/cms/front\\_content.php?idcat=9](http://www.initiativebahn.nrw.de/cms/front_content.php?idcat=9)>
- [Kemp 2007] Kemp, R.: Hydrogen offers no alternative to main line electrification, Railway Gazette International, 2005, Nr. 8, S. 493-395
- [Lufthansa 2007] Lufthansa: Balance – Das Wichtigste zum Thema Nachhaltigkeit bei Lufthansa, Ausgabe 2007, Online im Internet: <[konzern.lufthansa.com/de/downloads/presse/downloads/publikationen/lh\\_nachhaltigkeitsbericht\\_2007.pdf](http://konzern.lufthansa.com/de/downloads/presse/downloads/publikationen/lh_nachhaltigkeitsbericht_2007.pdf)>
- [MTU 2002] Scheugenpflug, H. et al.: Erfüllung zukünftiger Umweltaforderungen durch den Einsatz eines Wärmeaustauschtriebwerkes; München 2002
- [MTU 2007a] Bauhaus Luftfahrt e. V.: Beitrag zur MTU-Pressekonferenz, München, 18. Juli 2007
- [MTU 2007b] Martens, R.: Das Technologieprogramm CLAIRE der MTU Aero Engines, Pressegespräche am 18. Juli 2007
- [New Logistics 2007] New Logistics: Stellungnahme zum Artikel „Der FUTURA CARRIER – Flop oder Top“ im Magazin Binnenschifffahrt Ausgabe Nr. 4/2007/April von Herrn Dipl.-

Ing. Volker Renner; Online im Internet: <[www.new-logistics.de/new-logistics/pdf/stellungnahme\\_futura\\_carrier.pdf](http://www.new-logistics.de/new-logistics/pdf/stellungnahme_futura_carrier.pdf)>

[Siemens 2007] Siemens InnovationNews: Revolutionärer Zusantrieb spart Energie und Platz, Reference Number: IN 2007.12.1d, München 2007

[Stratus 2002] Stratus Consulting: Controlling Carbon Dioxide Emissions from the Aviation Sector. Prepared for the Federal Environmental Agency (UBA) of Germany, prepared by Henderson, J./Ries, H., Boulder

[TMG 2007] Wardrop, A.: Freightmiser – Improving fuel efficiency on long haul freight trains with driver advice system, 3<sup>rd</sup> UIC Energy Efficiency Conference, September 2007

[UIC 2005] Internationaler Eisenbahnverband: Database for energy efficiency technologies and related projects for railways. Internet: <[www.railway-energy.org](http://www.railway-energy.org)>

[UIC 2006] Nutzung neuer Energien im Eisenbahnsektor, Bibliografie, Paris 2006

[VBD 2004] Europäisches Entwicklungszentrum für Binnen- und Küstenschifffahrt: Technische und wirtschaftliche Konzepte für Flussangepasste Binnenschiffe, Duisburg, Juli 2004