

CARGOBEAMER AG

# CARGOBEAMER: NUTZEN FÜR UMWELT UND VOLKSWIRTSCHAFT

## WIRKUNG AUF ENERGIEVERBRAUCH, CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN UND EXTERNE KOSTEN

Schlussbericht  
Zürich, 6. August 2012

Daniel Sutter, Markus Maibach

2426A\_UMWELTNUTZEN\_EXTERNE\_KOSTEN\_CARGOBEAMER\_SCHLUSSBERICHT\_FINAL.DOCX



INFRAS

INFRAS

BINZSTRASSE 23  
POSTFACH  
CH-8045 ZÜRICH  
t +41 44 205 95 95  
f +41 44 205 95 99  
ZUERICH@INFRAS.CH

MÜHLEMATTSTRASSE 45  
CH-3007 BERN

WWW.INFRAS.CH

## INHALT

<b>1.</b>	<b>Ausgangslage und Ziel</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Vorgehen, Methodik</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>11</b>
3.1.	Energieverbrauch	11
3.2.	CO <sub>2</sub> -Emissionen	14
3.3.	Externe Kosten	16
3.4.	Kurze Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten	18
	<b>Literatur</b>	<b>20</b>

*Bemerkung:*

*Der Bericht ist in Schweizerdeutscher Schreibweise verfasst. Deshalb enthält er auch keine „ß“.*

## 1. AUSGANGSLAGE UND ZIEL

### Politisches Umfeld

Der europäische Güterverkehr wird heute zu einem überwiegenden Teil auf der Strasse abgewickelt. Der Schienengüterverkehr spielt eine eher untergeordnete Rolle. Aufgrund seiner hohen Energie- und Ressourceneffizienz hat der Schienengüterverkehr jedoch vor allem für mittlere und lange Distanzen aus ökologischer Sicht einen Vorteil gegenüber der Strasse.

Im Weissbuch der Europäischen Kommission zur Verkehrspolitik vom vergangenen Jahr (EC 2011) wird festgehalten, dass die Emissionen von Treibhausgasen aus dem Verkehr massiv gesenkt werden sollen<sup>1</sup>. Als eines der Mittel zur Erreichung dieses Zieles wird eine verstärkte Verlagerung des Güterverkehrs von der Strasse auf die Schiene bzw. das Wasser angestrebt. Im Weissbuch werden 10 Ziele für ein wettbewerbsorientiertes und ressourcenschonendes Verkehrssystem definiert. Das Ziel 3 setzt den Fokus konkret auf die Güterverlagerung vom Strassen- zum Schienen- und Schiffsverkehr:

*„30 % des Strassengüterverkehrs über 300 km sollten bis 2030 auf andere Verkehrsträger wie Eisenbahn- oder Schiffsverkehr verlagert werden, mehr als 50 % bis 2050, was durch effiziente und umweltfreundliche Güterverkehrskorridore erleichtert wird. Um dieses Ziel zu erreichen, muss auch eine geeignete Infrastruktur geschaffen werden.“ (EC 2010)*

Auch in Deutschland ist die Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene ein explizites Ziel der Bundesregierung. Im Aktionsplan Güterverkehr und Logistik des BMVBS werden als zentrale Massnahmen u.a. die Verbesserungen der Rahmenbedingungen für den Kombinierten Verkehr sowie die Förderung von Innovationen und Kapazitätssteigerungen im intermodalen Verkehr genannt (BMVBS 2010). Für den Kombinierten Verkehr wird folgendes Ziel definiert:

*„Durch die Stärkung des Kombinierten Verkehrs (KV) sollen die Kapazitätssteigerung des Gesamtsystems sowie die Entlastung der Straße und eine umweltfreundlichere Verkehrsabwicklung erreicht werden. Die KV-Förderung soll unter neuen Rahmenbedingungen effizient auf diese Ziele ausgerichtet werden.“ (BMVBS 2010)*

Basierend auf dem Aktionsplan hat das BMVBS das Fördersystem für den Kombinierten Verkehr in Deutschland neu konzipiert. Anfang 2012 ist dazu eine neue Richtlinie zur Förderung von Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs in Kraft getreten (BMVBS 2011). Damit werden der

<sup>1</sup> Konkretes Ziel: Senkung der Treibhausgasemissionen aus dem Verkehr bis 2050 um 60% gegenüber dem Niveau von 1990.

Bau, die flächenmässige Erweiterung und der Ausbau von öffentlich zugänglichen Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs durch Zuwendungen der öffentlichen Hand gefördert.

Bereits 2008 hat die Bundesregierung in ihrem Masterplan Güterverkehr und Logistik die Bedeutung von innovativen Umschlagssystemen im Kombinierten Verkehr speziell hervorgehoben. Gemäss diesem Masterplan können innovative Umschlagstechniken wie parallele horizontale Umschlagsmöglichkeiten Effizienzgewinne ermöglichen und sollten deshalb gefördert werden (Bundesregierung 2008).

Im alpenquerenden Verkehr wird die Verlagerung von der Strasse auf die Schiene schon seit einiger Zeit stark gefördert. So hat sich beispielsweise die Schweiz klare, quantitative Verlagerungsziele gesetzt, die sie insbesondere durch eine Stärkung des Kombinierten Verkehrs erreichen will (unbegleiteter Kombiniertes Verkehr (UKV) und Rollende Landstrasse).

CargoBeamer ist ein neues, innovatives, schienengebundenes Güterverkehrssystem für den unbegleiteten Transport (UKV) von allen Sattelaufliegern, Megatrailern, Tank- und Siloaufliegern. Mit Hilfe eines neuen Terminalsystems sowie entsprechend ausgestalteten Güterverkehrswaggons (bzw. Waggonaufsätzen) können alle Sattelaufleger – auch nicht kranbare – in etwa analog wie Güter-Container auf die Bahn verladen werden. Im Gegensatz zur Rollenden Landstrasse (bzw. Rollenden Autobahn) muss damit nicht der ganze LKW inkl. Führerkabine und Fahrer transportiert werden. Interessant ist das Verlade- und Transportsystem auch deshalb, weil der Verlad vom LKW auf den Waggon automatisch, kranlos und damit sehr schnell erfolgt.

Das System kann alternativ oder als Übergangslösung auch ohne spezielle Terminals betrieben werden, sondern auch ohne jede Ergänzung auf existierenden, klassischen Terminals des Kombinierten Verkehrs. Damit ist sichergestellt, dass das System CargoBeamer keine Insellösung ist.

Die Firma CargoBeamer möchte mit ihrem neuen Transportsystem einen Beitrag zur Verlagerung des Langdistanzgüterverkehrs auf die Schiene leisten. Weil nicht kranbare Standard-Sattelaufleger heute in Deutschland mehr als die Hälfte aller LKW-Transportleistung erbringen (Destatis, Kraftfahrt-Bundesamt), besteht hier ein besonders hohes Verlagerungspotenzial.

### **Ziel der Studie**

Der Schienengüterverkehr hat bezüglich Energieeffizienz und CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Strassengüterverkehr deutliche Vorteile. Eine Verlagerung des Güterverkehrs von der Strasse auf

die Schiene mit einem Güterverkehrssystem wie CargoBeamer führt damit zu einer Reduktion des Energieverbrauchs und schädlicher Emissionen.

Ziel der vorliegenden Kurzstudie ist es, die Wirkung der Verlagerung von LKW auf KV-Züge des Typs CargoBeamer zu ermitteln. Im Zentrum stehen dabei die Wirkungen auf

- › Energieverbrauch,
- › CO<sub>2</sub>-Emissionen und
- › externe Kosten durch Umweltschäden inkl. Lärmkosten<sup>2</sup> und Unfälle<sup>3</sup>.

Schliesslich wird der volkswirtschaftliche Nutzen durch die Reduktion externer Kosten den Investitionskosten für ein neues KV-Terminalsystem gegenübergestellt.

<sup>2</sup> Bemerkung: CargoBeamer-Güterwagen sind mit Kunststoff-Bremssohlen (K-Sohlen) ausgerüstet, was zu einer signifikanten Verringerung der Lärmemissionen führt.

<sup>3</sup> Nicht Teil dieser Studie ist die Berechnung von Staukosten bzw. einer allfälligen Reduktion von Staukosten durch die Verlagerung von Gütern von der Strasse auf die Schiene.

## 2. VORGEHEN, METHODIK

Die Wirkungsabschätzung der Verkehrsverlagerung von der Strasse auf die Schiene wird für zwei beispielhafte Güterverkehrsrelationen durchgeführt:

- a. Rostock – München: innerdeutsche Nord-Süd-Verbindung zwischen Rostock Seehafen Nord und München Riem
- b. Hagen – Gallarate (I): alpenquerende Transitroute von Hagen-Vorhalle über die Schweiz nach Gallarate (nahe Mailand)

Die Wirkungen auf Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen und externe Kosten werden jeweils pro Fahrt eines KV-Ganzzuges des Typs CargoBeamer sowie für alle CargoBeamer-Züge auf einer Relation während eines gesamten Betriebsjahres berechnet. Darüber hinaus werden teilweise auch die Effekte pro Zug-km ausgewiesen.

Die folgenden beiden Tabellen zeigen die wichtigsten Inputgrößen und Annahmen für die Berechnungen:

<b>INPUTGRÖSSEN GEWICHT</b>	
<b>Inputgrößen Schiene (KV)</b>	
Mittleres Beladungsgewicht (ohne Auflieger; netto-netto)	20 t*
Sattelaufliiegergewicht leer	5 t
Mittlere Nutzlast Komb. Verkehr (Aufliegergewicht inkl. Beladung; netto)	25 t
Leergewicht Waggon CargoBeamer	28.8 t
Mittleres Gesamtgewicht eines beladenen Waggons (brutto)	53.8 t
Gewicht Güterlok	100 t
Länge eines CargoBeamer KV-Zuges	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Ganzzug: idealerweise 36 Waggons</li> <li>› bei Beschränkung Zuglänge o. nicht voller Auslastung auch kürzer: 32, 24 oder 18 Waggons</li> </ul>
Leerfahrtenanteil	15% (Sensitivitäten: 10%, 20%)
Nettotonnen/Bruttotonnen Ganzzug	<ul style="list-style-type: none"> <li>pro Waggon: 0.46</li> <li>gesamter Zug: 0.41</li> </ul>
<b>Inputgrößen Strasse (LKW)</b>	
Mittleres Beladungsgewicht (ohne Auflieger; netto-netto)	20 t*
Sattelaufliiegergewicht leer	5 t
Mittlere Aufliegergewicht (inkl. Beladung; netto)	25 t
Mittleres Gesamtgewicht LKW (Auflieger und LKW)	32 t
Leerfahrtenanteil	15% (Sensitivitäten: 10%, 20%)

**Tabelle 1** Quelle: Angaben CargoBeamer AG; IFEU et al. 2011; Kranke, Schmied, Schön 2011; IFEU 2011a; IFEU 2011b; Tuchschild, Halder 2010, sowie eigene Annahmen.

\* Im Rahmen von Sensitivitätsrechnungen wird der Wert für andere Beladungsgewichte zwischen 10 t, 15 t und 25 t variiert.

<b>INPUTGRÖSSEN BEISPIELRELATIONEN</b>	
<b>Relation A: Rostock – München</b>	
KV-CargoBeamer Terminals: von/nach	› Rostock Seehafen Nord › München Riem
Anzahl Ganzzüge pro Tag	› 12 Züge je Richtung (d.h. 12 Abfahrten pro Terminal) › total: 24 Züge
Anzahl Betriebstage	260
Distanz Schiene	923 km
Mittlere zusätzl. LKW-Distanz für Vor-/Nachlauf	Rostock: 0 km (vom Hafen) München: 50 km (Annahme, Grossregion München)
Distanz Strasse	790 km
<b>Relation B: Hagen – Gallarate (I)</b>	
KV-CargoBeamer Terminals: von/nach	› Hagen-Vorhalle › Gallarate (nahe Mailand)
Anzahl Ganzzüge pro Tag	› 12 Züge je Richtung (d.h. 12 Abfahrten pro Terminal) › total: 24 Züge
Anzahl Betriebstage	260
Distanz Schiene	944 km
Mittlere zusätzl. LKW-Distanz für Vor-/Nachlauf	Hagen: 75 km (Mittelwert für Radius 150km in NRW) Gallarate: 10 km (sehr gering, da in Fahrtrichtung Mailand)
Distanz Strasse	865 km

**Tabelle 2** Quelle: Angaben CargoBeamer AG sowie eigene Annahmen.

### Energieverbrauch

Die Berechnung des Energieverbrauchs des Schienen- und Strassengüterverkehrs basiert hauptsächlich auf den Empfehlungen im Fachbuch „CO<sub>2</sub>-Berechnung in der Logistik“ (Kranke, Schmied, Schön 2011) sowie dem Methodenbericht des Werkzeugs EcoTransIT (IFEU et al. 2011). Im Wesentlichen werden dort Vorgaben zur Berechnung des Energieverbrauchs von Güterzügen in Abhängigkeit des Gesamtgewichts (Brutto-Tonnen) sowie der Topographie (flach, hügelig, bergig) gemacht. Beim Strassenverkehr werden Angaben zum Treibstoffverbrauch von LKW in Abhängigkeit des Ladegewichts vorgegeben.

Für die Berechnungen werden zudem folgende Annahmen getroffen:

- › Antrieb Schiene: elektrisch
- › Antrieb LKW: Kraftstoff Diesel, Emissionsklasse Euro V
- › Topographie (gemäss Empfehlung IFEU et al. 2011):
  - › Relation A (Rostock - München): hügelig
  - › Relation B (Hagen – Gallarate): bergig

Die Berechnungen des Energieverbrauchs enthalten nur den direkten Energieverbrauch beim Betrieb, nicht aber den Energieverbrauch für die Bereitstellung von Kraftstoffen, Fahrzeugen und Infrastruktur. Diese Effekte werden bei den externen Kosten berücksichtigt.

Die folgenden Tabellen zeigen die für die Berechnung verwendeten Energieverbrauchsdaten:

<b>ENERGIEVERBRAUCH SCHIENE: PRO BRUTTO-TKM (GESAMTGEWICHT)</b>					
Energieverbrauch, in kWh pro Btkm		Länge KV-Zug (Anzahl Waggons)			
		36 Waggons	32 Waggons	24 Waggons	18 Waggons
<b>Hügelig</b>					
Beladungsgewicht pro Waggon, netto- netto (in t)	10 t	12.3	13.1	15.5	18.2
	15 t	11.6	12.4	14.7	17.2
	20 t	11.0	11.8	14.0	16.4
	25 t	10.5	11.3	13.3	15.7
<b>Bergig</b>					
Beladungsgewicht pro Waggon, netto- netto (in t)	10 t	13.5	14.4	17.0	20.0
	15 t	12.8	13.7	16.1	19.0
	20 t	12.1	13.0	15.3	18.1
	25 t	11.6	12.4	14.7	17.3

**Tabelle 3** Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Kranke, Schmied, Schön 2011 und IFEU et al. 2011. Annahme: Leerfahrtenanteil von 15%.

<b>ENERGIEVERBRAUCH SCHIENE: PRO NETTO-TKM (LADUNG &amp; AUFLIEGER)</b>					
Energieverbrauch, in Wh pro Ntkm (Ladung & Auflieger)		Länge KV-Zug (Anzahl Waggons)			
		36 Waggons	32 Waggons	24 Waggons	18 Waggons
<b>Hügelig</b>					
Beladungsgewicht pro Waggon, netto- netto (in t)	10 t	41.0	44.2	53.3	64.4
	15 t	32.2	34.8	41.9	50.6
	20 t	26.8	28.9	34.9	42.1
	25 t	23.2	25.0	30.1	36.2
<b>Bergig</b>					
Beladungsgewicht pro Waggon, netto- netto (in t)	10 t	45.1	48.6	58.6	70.9
	15 t	35.5	38.3	46.1	55.7
	20 t	29.5	31.8	38.3	46.3
	25 t	25.5	27.5	33.1	39.9

**Tabelle 4** Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Kranke, Schmied, Schön 2011 und IFEU et al. 2011. Annahme: Leerfahrtenanteil von 15%.



<b>ENERGIEVERBRAUCH SCHIENE: PRO FAHRZEUG-KM (ZUG-KM)</b>					
Energieverbrauch, in kWh pro Fzkm		Länge KV-Zug (Anzahl Waggons)			
		36 Waggons	32 Waggons	24 Waggons	18 Waggons
<b>Hügelig</b>					
Beladungsgewicht pro Waggon, netto- netto (in t)	10 t	19.9	19.1	17.3	15.7
	15 t	20.6	19.8	17.8	16.2
	20 t	21.3	20.4	18.4	16.7
	25 t	21.9	21.0	18.9	17.1
<b>Bergig</b>					
Beladungsgewicht pro Waggon, netto- netto (in t)	10 t	21.9	21.0	19.0	17.2
	15 t	22.7	21.7	19.6	17.8
	20 t	23.4	22.4	20.2	18.3
	25 t	24.1	23.1	20.8	18.8

**Tabelle 5** Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Kranke, Schmied, Schön 2011 und IFEU et al. 2011. Annahme: Leerfahrtenanteil von 15%.

<b>ENERGIEVERBRAUCH STRASSE: PRO FAHRZEUG-KM</b>					
Energieverbrauch LKW		hügelig		bergig	
		Dieserverbrauch g/Fzkm	Energieverbrauch kWh/Fzkm	Dieserverbrauch g/Fzkm	Energieverbrauch kWh/Fzkm
Beladungsgewicht pro LKW, netto- netto (in t)	10 t	238	2.8	261	3.1
	15 t	256	3.1	282	3.4
	20 t	275	3.3	303	3.6
	25 t	294	3.5	323	3.9

**Tabelle 6** Quelle: eigene Berechnungen basierend auf IFEU et al. 2011, INFRAS 2010 und Kranke, Schmied, Schön 2011. Annahme: Leerfahrtenanteil von 15%.

## CO<sub>2</sub>-Emissionen

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen infolge des Strom- bzw. Dieserverbrauchs werden die in der Tabelle 7 gezeigten Emissionsfaktoren verwendet. Dabei werden nicht nur die Emissionen beim Betrieb ausgewiesen (die wären nämlich bei der Schiene null), sondern auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Produktion und dem Transport der Energieträger Strom und Diesel.

<b>CO<sub>2</sub>-EMISSIONSFAKTOREN</b>		
Kenngrösse	Wert	Quelle
<b>Emissionsfaktor Schiene:</b> Stromproduktion, Bahnstrommix Deutschland	<b>527 g CO<sub>2</sub>/kWh</b>	IFEU et al. 2011
<b>Emissionsfaktor Strasse:</b> - direkte Emissionen Dieselerbrennung (Betrieb) - Vorprozesse (Dieselproduktion & Transport) - Emissionsfaktor total:	265.0 g CO <sub>2</sub> /kWh 39.4 g CO <sub>2</sub> /kWh <b>304.3 g CO<sub>2</sub>/kWh</b>	INFRAS 2010 IFEU et al. 2011

**Tabelle 7**

### Externe Kosten

Die Berechnung der externen Kosten basiert auf der aktuellen Studie des Internationalen Eisenbahnverbandes (UIC), in der für alle europäischen Länder die externen Kosten des Verkehrs differenziert nach Verkehrsträger berechnet wurden (CE, INFRAS, ISI 2011). Für diese Studie wurden folgende Kostensätze für Deutschland verwendet:

<b>EXTERNE KOSTEN: DURCHSCHNITTSKOSTEN DEUTSCHLAND</b>		
<b>Kostenkategorie</b>	<b>Externe Kosten, in EUR/1'000 tkm</b>	
	<b>LKW, Diesel</b>	<b>Schienengüterverkehr, elektrisch</b>
Unfälle	10.9	0.1
Luftverschmutzung	8.5	0.9
Klimawandel (CO <sub>2</sub> -Emissionen direkt)	9.4	0.0
Lärm	0.7	1.2
Vor- und nachgelagerte Prozesse (indirekte CO <sub>2</sub> - und Luftschadstoffemissionen)	3.4	3.8
Schäden an Natur- und Landschaft	0.4	0.0
Biodiversitätsverluste	0.8	0.0
Boden- und Wasserverschmutzung	0.9	0.4
Weitere Kosten in städtischen Räumen	0.4	0.2
<b>Total Umwelt- und Unfallkosten</b>	<b>35.4</b>	<b>6.7</b>

**Tabelle 8** Quelle: CE, INFRAS, ISI 2011. Daten für das Jahr 2008. Die Klimakosten basieren auf dem Szenario ‚hoch‘.

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1. ENERGIEVERBRAUCH

##### Schiene

Die Tabelle 9 zeigt den Energieverbrauch eines CargoBeamer-Ganzzuges pro Fahrt für die zwei ausgewählten Relationen. Nebst dem Energieverbrauch durch die Fahrt des Güterzuges selbst führt der Verlad von der Strasse auf die Schiene teilweise auch zu zusätzlichen LKW-Kilometern im Vor- und Nachlauf eines KV-Terminals, weil gewisse Umwege nötig sind. Dieser zusätzliche LKW Vor-/Nachlauf muss ebenfalls dem Schienenverkehr zugerechnet werden. In der Tabelle 9 sind sowohl der Energieverbrauch der Zugfahrt selbst, als auch der Verbrauch der gesamten Fahrt inkl. des zusätzlichen LKW Vor- und Nachlaufs dargestellt.

Der Verbrauch pro Fahrt ist bei längeren Zügen mit mehr Waggons insgesamt natürlich höher. In voller Länge hat ein CargoBeamer-Ganzzug 36 Waggons. Auf der Strecke Rostock-München beträgt der Energieverbrauch inkl. Vor- und Nachlauf gut 25 MWh. Zwischen Hagen und Gallarate (I) ist der Energieverbrauch mit 32 MWh etwas höher, v.a. aufgrund der stärkeren Höhendifferenzen sowie dem etwas grösseren LKW-Vorlauf. Bei Einschränkungen der Zuglänge auf einzelnen Strecken ist es jedoch auch möglich, dass ein Ganzzug nur 32 Waggons lang sein kann. Es ist auch denkbar und realistisch, dass im Laufe eines Jahres einzelne die Nachfrage zu gewissen Zeiten etwas geringer ist und ein Zug nur 24 oder 18 Waggons enthält.

<b>ENERGIEVERBRAUCH SCHIENE: PRO FAHRT EINES GANZZUGES (MWh)</b>				
Energieverbrauch pro Zugfahrt, in MWh	Zuglänge: Anzahl Waggons			
	36	32	24	18
<b>A. Rostock – München</b>				
Ohne Vor-/Nachlauf	19.6	18.8	17.0	15.4
Inkl. zusätzl. LKW Vor-/Nachlauf	25.5	24.1	20.9	18.3
<b>B. Hagen – Gallarate</b>				
Ohne Vor-/Nachlauf	22.1	21.2	19.1	17.3
Inkl. zusätzl. LKW Vor-/Nachlauf	32.1	30.1	25.8	22.3

**Tabelle 9** Annahmen: Beladungsgewicht 20 t; Leerfahrtenanteil: 15%.

##### Strasse

Für den Transport der Gütermenge, die äquivalent zu einem CargoBeamer-Ganzzug ist, müssen 36 LKW (oder aber 32, 24 oder 18 LKW) eingesetzt werden. Der dafür nötige Energieaufwand ist

in der folgenden Tabelle 10 für die beiden ausgewählten Relationen dargestellt. Für 36 LKW – dem Äquivalent eines maximalen CargoBeamer-Zuges – beträgt der Energieverbrauch auf der Strecke zwischen Rostock und München etwa 93 MWh. Von Hagen nach Gallarate (I) beträgt der Energieverbrauch 112 MWh.

<b>ENERGIEVERBRAUCH STRASSE: PRO FAHRT ALLER LKW ALS ZUGÄQUIVALENT (MWh)</b>				
Energieverbrauch der LKW als „Zugäquivalent“, in MWh	Anzahl LKW (entspricht Ganzzug-Äquivalent)			
	36	32	24	18
<b>A. Rostock – München</b>	93.4	83.0	62.3	46.7
<b>B. Hagen – Gallarate</b>	112.5	100.0	75.0	56.2

**Tabelle 10** Annahmen: Beladungsgewicht 20 t; Leerfahrtenanteil: 15%.

### **Einsparung Verlagerung Strasse → Schiene**

Schliesslich interessiert natürlich die eingesparte Energiemenge bei der Verlagerung der Güter von der Strasse auf die Schiene. Pro Zugkilometer und ohne Berücksichtigung des Vor-/Nachlaufes beträgt die relative Energieeinsparung rund 82%. Die gesamte Energieeinsparung auf den beiden Relationen ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Dabei ist der zusätzlich nötige LKW-Vorlauf beim Kombinierten Verkehr mitgerechnet. Angegeben sind einerseits die Einsparung pro Fahrt eines KV-Ganzzuges und andererseits die Energieeinsparungen während eines ganzen Jahres (24 Ganzzüge pro Relation, d.h. 12 Züge pro Richtung; 260 Betriebstage).

<b>ENERGIEEINSPARUNG VERLAGERUNG STRASSE – SCHIENE (KV)</b>				
Energieeinsparung , in MWh	Zuglänge: Anzahl Waggons			
	36	32	24	18
<b>A. Rostock – München</b>				
Pro Fahrt, in MWh	67.9	59.0	41.3	28.4
Pro Jahr für 1 Zug/Tag, in MWh	17'600	15'300	10'700	7'400
Pro Jahr für 24 Züge/Tag*, in MWh	423'400	367'900	257'900	177'000
<b>B. Hagen – Gallarate</b>				
Pro Fahrt, in MWh	80.4	69.9	49.2	33.9
Pro Jahr für 1 Zug/Tag, in MWh	20'900	18'200	12'800	8'800
Pro Jahr für 24 Züge/Tag*, in MWh	501'500	436'100	306'900	211'700

**Tabelle 11** Annahmen: inkl. Vorlauf; Beladungsgewicht 20 t; Leerfahrtenanteil: 15%. \* 12 Züge pro Richtung und Tag während eines Jahres (260 Betriebstage).

Bei einem Zug von 36 Waggons beträgt die Einsparung auf der Strecke Rostock-München knapp 68 MWh pro Fahrt, was einer **Reduktion von 73%** entspricht. Zwischen Hagen und Gallarate beträgt die Energieeinsparung über 80 MWh bzw. **71%**.

Mit dem Betrieb eines Zuges pro Tag kann jährlich die Energiemenge von 17'600 MWh zwischen Rostock und München bzw. 20'900 MWh auf der Strecke Hagen-Gallarate eingespart werden.

Durch den Betrieb von täglich 24 CargoBeamer Ganzzügen auf den ausgewiesenen Relationen kann pro Jahr eine Energiemenge von bis zu 400 bis 500 GWh eingespart werden. Die eingesparte Energiemenge entspricht in etwa dem jährlichen Strombedarf von 110'000 bis 140'000 Haushalten in Deutschland. Geht man davon aus, dass nicht alle Züge mit der maximalen Anzahl Waggons ausgestattet sein werden, sondern z.B. im Mittel 24-32 Waggons haben, beträgt die Einsparung immer noch 250 bis 430 GWh pro Jahr.

Die folgende Tabelle zeigt im Sinne einer *Sensitivitätsrechnung* die Energieeinsparung bei einem anderen Leerfahrtenanteil bzw. unterschiedlichem Beladungsgewicht. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass der Leerfahrtenanteil nur einen geringen Einfluss auf die gesamte Energieeinsparung hat, vor allem weil er sowohl die Strasse als auch die Schiene betrifft. Viel relevanter für das Ergebnis ist dafür das mittlere Beladungsgewicht. Bei einem durchschnittlichen Beladungsgewicht von lediglich 10 Tonnen ist die Energieeinsparung bei der Verlagerung auf die Schiene rund 8% tiefer als bei 20 t Beladung. Bei einer mittleren Beladung von 25 Tonnen dagegen ist die Einsparung fast 9% höher als bei 20t.

<b>ENERGIEEINSPARUNG VERLAGERUNG STRASSE – SCHIENE (KV):</b>					
<b>SENSITIVITÄTSRECHNUNG FÜR ZUG MIT 36 WAGGONS</b>					
<b>Energieeinsparung pro Zugfahrt, in MWh</b>		<b>Leerfahrtenanteil</b>			
		<b>0%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>
<b>A. Rostock – München</b>					
Beladungsgewicht pro Waggon, netto-netto (in t)	10 t	59.0	57.8	57.2	56.5
	15 t	65.3	63.4	62.5	61.5
	20 t	71.7	69.1	67.9	66.6
	25 t	78.0	74.9	73.3	71.7
<b>B. Hagen – Gallarate</b>					
Beladungsgewicht pro Waggon, netto-netto (in t)	10 t	70.0	68.5	67.8	67.0
	15 t	77.4	75.2	74.0	72.9
	20 t	84.8	81.9	80.4	78.9
	25 t	92.3	88.6	86.7	84.8

**Tabelle 12** Daten für einen Ganzzug mit 36 Waggons.

## 3.2. CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN

### Schiene

Beim Schienengütertransport fallen bei der Stromproduktion Treibhausgasemissionen an. Bei einem Ganzzug von 36 Waggons à 20 Tonnen Beladung betragen die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen 11.2 kg CO<sub>2</sub> pro Zug-km. In der Tabelle 13 sind die Treibhausgasemissionen einer Ganzzugfahrt in Abhängigkeit der Anzahl Waggons dargestellt. Bei einem Ganzzug maximaler Länge betragen die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf der Strecke Rostock-München 12 Tonnen, und zwischen Hagen und Gallarate 15 Tonnen.

<b>CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN SCHIENE: PRO FAHRT EINES GANZZUGES (t CO<sub>2</sub>)</b>				
CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Zugfahrt, in t CO <sub>2</sub>	Zuglänge: Anzahl Waggons			
	36	32	24	18
A. Rostock – München	12.1	11.5	10.2	9.0
B. Hagen – Gallarate	14.7	13.9	12.1	10.6

Tabelle 13 Annahmen: Beladungsgewicht 20 t; Leerfahrtenanteil: 15%; Daten inkl. LKW Vor-/Nachlauf.

### Strasse

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Strassengüterverkehr sind höher als auf der Schiene. Bei einer Beladung von 20 t betragen die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen 1.0 kg CO<sub>2</sub> pro LKW-km. Die folgende Tabelle zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen aller LKW-Fahrten, die äquivalent zu einem Ganzzug benötigt werden.

<b>CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN STRASSE: PRO FAHRT ALLER LKW ALS ZUGÄQUIVALENT (t CO<sub>2</sub>)</b>				
CO <sub>2</sub> -Emissionen der LKW als „Zugäquivalent“, in t CO <sub>2</sub>	Zuglänge: Anzahl Waggons			
	36	32	24	18
A. Rostock – München	28.4	25.3	18.9	14.2
B. Hagen – Gallarate	34.2	30.4	22.8	17.1

Tabelle 14 Annahmen: Beladungsgewicht 20 t; Leerfahrtenanteil: 15%.

### Einsparung Verlagerung Strasse → Schiene

Die folgende Tabelle zeigt schliesslich die Menge an CO<sub>2</sub>-Emissionen, die dank der Verlagerung der Güter von der Strasse auf die Schiene reduziert werden kann. Pro Zugkilometer und ohne Berücksichtigung des Vor-/Nachlaufes beträgt die relative Einsparung an CO<sub>2</sub>-Emissionen 69%.

In der Tabelle 15 ist beim Kombinierten Verkehr auch der zusätzlich nötige LKW-Vorlauf mitgerechnet. Angegeben sind einerseits die Einsparung pro Fahrt eines KV-Ganzzuges und andererseits die CO<sub>2</sub>-Reduktion während eines ganzen Jahres (24 Ganzzüge pro Relation, d.h. 12 Züge pro Richtung; 260 Betriebstage).

<b>EINSPARUNG VON CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN DURCH VERLAGERUNG STRASSE – SCHIENE (KV)</b>				
Einsparung von CO <sub>2</sub> -Emissionen, in t CO <sub>2</sub>	Zuglänge: Anzahl Waggons			
	36	32	24	18
<b>A. Rostock – München</b>				
Pro Fahrt, in t CO <sub>2</sub>	16.3	13.8	8.8	5.2
Pro Jahr für 1 Zug/Tag, in t CO <sub>2</sub>	4'200	3'600	2'300	1'400
Pro Jahr für 24 Züge/Tag*, in t CO <sub>2</sub>	101'600	85'800	54'900	32'500
<b>B. Hagen – Gallarate</b>				
Pro Fahrt, in t CO <sub>2</sub>	19.5	16.6	10.7	6.5
Pro Jahr für 1 Zug/Tag, in t CO <sub>2</sub>	5'100	4'300	2'800	1'700
Pro Jahr für 24 Züge/Tag*, in t CO <sub>2</sub>	121'900	103'300	66'900	40'400

**Tabelle 15** Annahmen: inkl. Vorlauf; Beladungsgewicht 20 t; Leerfahrtenanteil: 15%. \* 12 Züge pro Richtung und Tag während eines Jahres (260 Betriebstage).

Pro Jahr können durch den Betrieb von täglich 24 CargoBeamer Ganzzügen mit 36 Waggons auf den ausgewiesenen Relationen 100'000 bis 120'000 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden<sup>4</sup>, was einer CO<sub>2</sub>-Reduktion von 58% entspricht. Pro Zug entspricht dies einer jährlichen Einsparung von 4'200 t CO<sub>2</sub> zwischen Rostock und München bzw. 5'100 t CO<sub>2</sub> auf der Strecke Hagen-Gallarate.

Sind nicht alle Waggons mit der maximalen Anzahl Waggons ausgestattet, sondern nur 24 bis 32 Waggons, beträgt die CO<sub>2</sub>-Reduktion zwischen 55'000 t und 100'000 t pro Jahr bzw. um die 50%.

<sup>4</sup> Dies entspricht der Einsparung beim Einsatz von 24 Zügen pro Betriebstag.

### 3.3. EXTERNE KOSTEN

#### Umwelt- und Unfallkosten Schiene und Strasse

Die durch einen Ganzzug von 36 Waggons verursachten Umwelt- und Unfallkosten betragen für auf der Relation Rostock-München 6'300 EUR und von Hagen nach Gallarate 7'400 EUR. Wird die gleiche Transportmenge auf der Strasse mit LKW transportiert, sind die Kosten erheblich höher: Zwischen Rostock und München betragen die externen Kosten gut 22'000 EUR, auf der Strecke Hagen-Gallarate gut 24'000 EUR.

<b>EXTERNE KOSTEN: PRO FAHRT EINES GANZZUGES (EUR)</b>				
Kosten pro Zugfahrt (bzw. Zug-Äquivalente LKW-Menge), in EUR	Zuglänge: Anzahl Waggons			
	36	32	24	18
<b>Schiene</b>				
A. Rostock – München	6'300	5'600	4'200	3'100
B. Hagen – Gallarate	7'400	6'600	4'900	3'700
<b>Strasse</b>				
A. Rostock – München	22'100	19'700	14'800	11'100
B. Hagen – Gallarate	24'200	21'600	16'200	12'100

**Tabelle 16** Annahmen: Beladungsgewicht 20 t; Leerfahrtenanteil: 15%; Daten Schiene inkl. LKW Vor-/Nachlauf.

#### Einsparung Verlagerung Strasse → Schiene

Durch die Verlagerung der Güter von der Strasse auf die Schiene mit Hilfe von KV-Ganzzügen des Typs CargoBeamer werden also nicht nur der Energieverbrauch sowie der Ausstoss von CO<sub>2</sub> reduziert, sondern auch Umwelt- und Unfallkosten vermindert.

Pro Zugkilometer und ohne Berücksichtigung des Vor-/Nachlaufes können die externen Kosten dank der Verlagerung um 81% reduziert werden. Die folgende Tabelle 17 zeigt die Einsparung externer Kosten für die beiden Relationen Rostock-München und Hagen-Gallarate: Pro Fahrt werden bei einem KV-Ganzzug von 36 Waggons durch die Verlagerung auf die Schiene auf diesen beiden Routen 16'000 bis 17'000 EUR eingespart. Wird ein Ganzzug während eines Jahres betrieben, können damit Umwelt- und Unfallkosten von *4.1 Mio. EUR (Rostock-München) bzw. 4.4 Mio. EUR (Hagen-Gallarate) eingespart* werden. Werden auf den beiden Beispielrelationen CargoBeamer-Ganzzüge betrieben (24 pro Tag, je 12 in beide Richtungen), können bei maximaler Zuglänge von 36 Waggons rund 100 Mio. EUR pro Jahr eingespart werden.



Geht man davon aus, dass nicht alle Züge mit der maximalen Anzahl Waggons ausgestattet sein werden, sondern z.B. im Mittel 24-32 Waggons haben, beträgt die Einsparung immer noch 66-88 Mio. EUR pro Jahr (Rostock-München) bzw. 70-94 Mio. EUR (Hagen-Gallarate).

<b>EINSPARUNG EXTERNER KOSTEN DURCH VERLAGERUNG STRASSE – SCHIENE (KV)</b>				
Einsparung externer Kosten, in EUR bzw. Mio. EUR	Zuglänge: Anzahl Waggons			
	36	32	24	18
<b>A. Rostock – München</b>				
Pro Fahrt, in EUR	15'900	14'100	10'600	7'900
Pro Jahr für 1 Zug/Tag, in Mio. EUR	4.1	3.7	2.7	2.1
Pro Jahr für 24 Züge/Tag*, in Mio. EUR	99.0	88.0	66.0	49.5
<b>B. Hagen – Gallarate</b>				
Pro Fahrt, in EUR	16'900	15'000	11'200	8'400
Pro Jahr für 1 Zug/Tag, in Mio. EUR	4.4	3.9	2.9	2.2
Pro Jahr für 24 Züge/Tag*, in Mio. EUR	105.3	93.6	70.2	52.6

**Tabelle 17** Annahmen: inkl. Vorlauf; Beladungsgewicht 20 t; Leerfahrtenanteil: 15%. \* 12 Züge pro Richtung und Tag während eines Jahres (260 Betriebstage).

In der folgenden Tabelle 18 sind die Resultate einiger *Sensitivitätsrechnungen* dargestellt. Dabei werden die eingesparten externen Kosten bei einem unterschiedlichem Beladungsgewicht ausgewiesen. Bei einem durchschnittlichen Beladungsgewicht von nur 10 t können durch die Verlagerung auf die Schiene rund 39% weniger externe Kosten eingespart werden als bei 20 t. Bei einer mittleren Beladung von 25 t dagegen ist die Einsparung fast 20% höher als bei 20t.

<b>EINSPARUNG EXTERNER KOSTEN DURCH VERLAGERUNG STRASSE – SCHIENE (KV): SENSITIVITÄTSRECHNUNG</b>					
Einsparung externer Kosten, in Mio. EUR		Zuglänge: Anzahl Waggons			
		36	32	24	18
<b>A. Rostock – München</b>					
Beladungsgewicht pro Waggon, netto- netto (in t)	10 t	60.7	54.0	40.5	30.4
	15 t	79.9	71.0	53.2	39.9
	20 t	99.0	88.0	66.0	49.5
	25 t	118.1	105.0	78.7	59.0
<b>B. Hagen – Gallarate</b>					
Beladungsgewicht pro Waggon, netto- netto (in t)	10 t	64.6	57.4	43.1	32.3
	15 t	84.9	75.5	56.6	42.5
	20 t	105.3	93.6	70.2	52.6
	25 t	125.6	111.7	83.7	62.8

**Tabelle 18** Daten für ein Ganzzug mit 36 Waggons.

Da für Ganzzüge über ein ganzes Jahr ein mittleres Beladungsgewicht von 20 Tonnen pro Waggon und eine durchschnittliche Zuglänge von rund 30 Waggons realistisch ist, kann folgender Schluss gezogen werden: Bei der Einrichtung neuer CargoBeamer-Terminals und dem Betrieb von täglich 24 KV-Ganzzügen auf Relationen wie Rostock-München oder Hagen-Gallarate können *pro Jahr rund 70 bis 100 Mio. EUR Umwelt- und Unfallkosten eingespart* werden. Oder in anderen Worten: **Der volkswirtschaftliche Nutzen durch die Reduktion externer Kosten beträgt beim Betrieb von täglich 24 Ganzzügen rund 70 bis 100 Mio. EUR pro Jahr. Pro Zug entspricht der volkswirtschaftliche Nutzen 2.75 bis 4.4 Mio. CHF pro Jahr.**

### 3.4. KURZE GEGENÜBERSTELLUNG VON NUTZEN UND KOSTEN

Zum Schluss wird der volkswirtschaftliche Nutzen in der Form von eingesparten externen Effekten den Kosten für Investitionen für Bau und Inbetriebnahme von CargoBeamer-Terminals und Waggons gegenüber gestellt. Die folgende Tabelle zeigt die notwendigen Investitionskosten.

<b>NOTWENDIGE INVESTITIONEN FÜR BETRIEB EINER CARGOBEAMER-STRECKE</b>	
<b>Investitionskosten CargoBeamer-Terminals:</b>	
Kosten pro Modul	660'000 EUR
Kosten für 2 Terminals (z.B. Rostock und München) à je 36 Module (für Züge mit 36 Waggons)	47.5 Mio. EUR
<b>Investitionskosten CargoBeamer-Waggons:</b>	
Kosten pro Waggon	160'000 EUR
Kosten für 24 Züge à je 36 Waggons	138.2 Mio. EUR
Zudem: 72 zusätzl. Waggonaufsätze à 20'000 EUR	1.4 Mio. EUR
<b>Totalkosten</b>	
Gesamte Investitionskosten	<b>187.2 Mio. EUR</b>
Jährliche Abschreibungskosten bei Lebensdauer von 20 Jahren	<b>9.4 Mio. EUR</b>

Tabelle 19 Quelle: CargoBeamer AG

Ohne Berücksichtigung der Betriebskosten betragen die jährlichen Kosten für die CargoBeamer-Infrastruktur plus Rollmaterial **knapp 10 Mio. EUR**. Dem gegenüber stehen **eingesparte Umwelt- und Unfallkosten, die mit 70 bis 100 Mio. EUR pro Jahr rund 7 bis 11 Mal höher** liegen. Der Nutzen der Güterverkehrsverlagerung auf die Schiene ist für die Volkswirtschaft also erheblich. Selbst beim (aus betriebswirtschaftlicher Sicht kaum realistischen) absoluten Minimalszenario gemäss Tabelle 18 liegen die eingesparten externen Kosten mit gut 30 Mio. EUR pro Jahr über dreimal höher als die jährlichen Abschreibungskosten für die Investitionen.

Es muss allerdings betont werden, dass dies nur ein erster Vergleich von Nutzen in der Form eingesparter externen Kosten und den Investitionskosten ist, nicht aber eine umfassende Nutzen-Kosten-Analyse. Dazu müssten auch weitere Nutzen- und Kostenelemente berücksichtigt werden, u.a. beispielsweise die Kosten für den Betrieb der KV-Züge.

## LITERATUR

- BMVBS 2010:** Aktionsplan Güterverkehr und Logistik – Logistikinitiative für Deutschland; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS); Berlin 2010.
- BMVBS 2011:** Richtlinie (Verwaltungsvorschrift) zur Förderung von Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs nichtbundeseigener Unternehmen; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS); Berlin 2011.
- Bundesregierung 2008:** Masterplan Güterverkehr und Logistik; Die Bundesregierung vertreten durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS); Berlin 2008.
- CE, INFRAS, ISI 2011:** External Costs of Transport in Europe – Update Study for 2008; CE Delft, INFRAS und Fraunhofer ISI im Auftrag der International Union of Railways (UIC); Delft, Zürich, Karlsruhe 2011.
- EC 2011:** Weissbuch: Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem; Europäische Kommission; KOM(2011) 144; Brüssel 2011.
- IFEU, SGVK 2001:** Vergleichende Analyse von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Strassengüterverkehr und Kombinierten Verkehr Strasse/Schiene; IFEU, SGVK im Auftrag von International Road Transport Union (IRU) und Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL); Heidelberg, Berlin 2001.
- IFEU et al. 2011:** Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports (EcoTransIT) - Methodology and Data Update; IFEU, Öko-Institut, IVE / RMCON; Berlin, Hannover, Heidelberg 2011.
- IFEU 2011a:** UmweltMobilCheck – Wissenschaftlicher Grundbericht; IFEU im Auftrag der Deutschen Bahn AG; Heidelberg 2011.
- IFEU 2011b:** Aktualisierung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030" (TREMOM, Version 5.2) für die Emissionsberichtserstattung 2012 (Berichtsperiode 1990-2010); IFEU im Auftrag des Umweltbundesamtes; Heidelberg 2011.
- INFRAS 2010:** Handbuch Emissionsfaktoren im Strassenverkehr (HBEFA); aufdatierte Version 3.1; INFRAS im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern 2010.
- Kranke, Schmied, Schön 2011:** CO<sub>2</sub>-Berechnung in der Logistik – Datenquellen, Formeln, Standards; A. Kranke, M. Schmied, A. D. Schön; Verlag Heinrich Vogel; München 2011.

**SRU 2012:** Umweltgutachten 2012 – Verantwortung in einer begrenzten Welt; Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU); Berlin 2012.

**Tuchschnid, Halder 2010:** mobitool – Grundlagenbericht (Hintergrund, Methodik & Emissionsfaktoren); M. Tuchschnid und M. Halder im Auftrag von SBB, Swisscom, BKW und ÖBU; Zürich, Bern 2010.