

CO₂-Berechnung

Das Sonderheft zur Ermittlung von Treibhausgas-Emissionen in der Logistik

2011



20 LOGISTIKNETZWERKE

Briefe, Pakete oder Stückgut – Besonderheiten bei der Ermittlung von CO₂-Emissionen in logistischen Netzwerken

23 LAGER UND UMSCHLAG

Formeln und Daten zur Berechnung der Kohlendioxid-Emissionen von Logistikimmobilien. Wie der Einsatz von grünem Strom zu bewerten ist

So rechnen Sie richtig

Formeln – Datenquellen – Standards.
Ermittlung der Kohlendioxid-Emissionen
bei Transporten per LKW, Bahn, Schiff
und Flugzeug Seite 3





Andre Kranke
stellv. Chefredakteur

Eine ganz einfache Sache

Die Ermittlung von Kohlendioxid- und Treibhausgas-Emissionen in der Logistik ist eigentlich eine ganz einfache Sache. Dies ist der rote Faden der Serie „CO₂-Berechnung in der Logistik“, die von der VerkehrsRundschau Anfang 2011 in einer aktualisierten Version veröffentlicht und in diesem Spezial noch einmal zusammengefasst wurde.

Mit der Serie, die alle Verkehrsträger, Logistiknetzwerke und den Bereich Lager und Umschlag umfasst, geben wir Praktikern aus Transport, Spedition und Logistik eindeutige Empfehlungen an die Hand, wie sie Treibhausgas-Emissionen ermitteln können. Es finden sich einfach anwendbare Formeln und Daten, die es erlauben, recht genaue Berechnungen für die

Eindeutige Empfehlungen für Praktiker aus Transport, Spedition und Logistik

einzelnen Abschnitte der Logistikkette durchzuführen. Darüber hinaus vermittelt die Serie auch einen Einblick, wie komplex die Berechnungen in der Logistik sein können, je mehr Parameter berücksichtigt werden.

Die vorgestellten Berechnungsmethoden entsprechen grundsätzlich auch dem Entwurf der europäischen Norm zur Ermittlung von CO₂-Emissionen bei Transportdienstleistungen (prEN 16258:2011). Bei einzelnen Umrechnungsfaktoren und Allokationen finden sich jedoch Abweichungen.

Alle Geheimnisse und Details der Treibhausgas-Ermittlung in Transport und Lager lüftet dann die im Frühjahr 2011 kommende Neuerscheinung „CO₂-Berechnung in der Logistik“ aus der VerkehrsRundschau-Buchreihe. ■■■

verkehrsRUNDschau **SPEZIAL**

CO₂-Berechnung

3 LKW-Verkehre

Ermittlung der Kohlendioxid- und Treibhausgas-Emissionen bei Teil- und Komplettladungen

6 Schienengüterverkehr

Emissionen des Güterverkehrs mit Elektro- und Diesellokomotiven

9 Binnenschifffahrt

CO₂-Ausstoß bei Transporten per Binnenschiff

12 Seeschifffahrt

Methoden zur CO₂-Ermittlung bei Transporten per Seeschiff

16 Luftfracht

Treibhausgas-Emissionen bei Bellyladungen und Frachtfliegern

20 Paket- und Stückgutnetzwerke

Besonderheiten der CO₂-Ermittlung in logistischen Netzwerken

23 Lager und Umschlag

Ermittlung der Klimabilanz für Logistikimmobilien

IMPRESSUM

Verlag Heinrich Vogel
Springer Fachmedien München GmbH
Aschauer Straße 30
81549 München
Handelsregister: Amtsgericht München HRB 110956

Springer Fachmedien München GmbH ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media

Geschäftsführer
Joachim Krieger
Verlagsleitung Fachzeitschriften
Katrin Geißler-Schmidt
Chefredakteurin (V.i.S.d.P.)
Birgit Bauer
stellv. Chefredakteur
Andre Kranke

089 / 20 30 43 -25 21
089 / 20 30 43-21 31

Chef vom Dienst
Tobias Rauser (tr)
Grafik/Layout
Alexander Wallnöfer
Gesamtleitung Sales und Marketing
Jutta Rethmann (verantwortlich)
(jutta.rethmann@springer.com)
Leitung Sales Transport & Logistik
Matthias Pioro
(matthias.pioro@springer.com)
Anzeigenverkauf/Mediaberatung
Kerstin Schaubhut
(kerstin.schaubhut@springer.com)

089 / 20 30 43-22 03
089 / 20 30 43 -22 46
089 / 20 30 43-11 22
089 / 20 30 43-22 39

Nachdruck und Vervielfältigungen

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung des Verlages strafbar.

Manuskripte

Für mit Namen gekennzeichnete Beiträge ist der Autor verantwortlich. Der Verlag übernimmt keine Haftung für unverlangt eingesandte Manuskripte. Mit dem Autorenhonorar gehen die Verwertungs-, Nutzungs- und Vervielfältigungsrechte an den Verlag über, insbesondere auch für elektronische Medien (Internet, Datenbank, CD-ROM).





Jeder Transport hinterlässt einen Carbon-Footprint – also eine Kohlendioxid-Spur in der Atmosphäre

So ermitteln Sie den CO₂-Fußabdruck

Wie sich Kohlendioxid-Emissionen bei LKW-Teil- und Komplettladungen konkret berechnen lassen, zeigt der erste Teil der Serie **CO₂-Berechnung in der Logistik. Formeln, Beispielrechnungen und exklusives Datenmaterial.**

Vor eineinhalb Jahren hat die Verkehrsrundschau die Serie „CO₂-Berechnung in der Logistik“ veröffentlicht und damit erstmals umfassende Berechnungsmethoden und Datenquellen benannt. Mittlerweile ist diese Serie Basis vieler Berechnungen von Treibhausgasemissionen in der Logistik. So hat beispielsweise der Verband der Chemischen Industrie (VCI) im Sommer 2010 einen Leitfaden zur Berechnung von CO₂-Emissionen in der Logistik herausgebracht, deren Methoden auf der Verkehrsrundschau-Serie basieren. Aufgrund vie-

ler Leserfragen hat sich die Redaktion entschlossen, diese Serie komplett zu wiederholen. Die Berechnungsmethoden sind unverändert. Sie entsprechen auch den Grundsätzen des Entwurfs einer CEN-Norm zur CO₂-Berechnung beim Transport, der Mitte Februar veröffentlicht werden soll. Aktualisiert wurden hingegen einige Basisdaten wie Dieselverbräuche. Neu hinzugekommen sind auch erste Verbrauchswerte für Lang-LKW und Elektrofahrzeuge.

Simple Basisformel

Beim Lastkraftwagen lässt sich die

CO₂-Emission am einfachsten bei einer Komplettladung ermitteln (siehe Formel 1, Seite 5). Dafür benötigt man nur den Dieserverbrauch (pro 100 km) des LKW in Litern. Denn die Verbrennung von einem Liter reinem Diesel verursacht unabhängig von Motor, Fahrzeugtyp oder Schadstoff-

klasse 2,629 Kilogramm CO₂ (Tabelle Seite 5). Dieser nahezu konstante Wert berücksichtigt aber nur die direkte CO₂-Emission durch die Dieselverbrennung (auch als tank-to-wheel bezeichnet). In vielen Klimabilanzen wird aber auch die CO₂-Emission aufgeführt, die bei der Herstellung

SERIE CO₂-BERECHNUNG

Auf Wunsch vieler Leser haben wir die Serie „CO₂-Berechnung in der Logistik“ aus dem Jahr 2009 aktualisiert. Unterstützt wird dieses Spezial von DKV Euro Service.

■ VR 51-52: LKW-Verkehre

- VR 1: Schienengüterverkehr
- VR 2: Binnenschifffahrt
- VR 3: Seeschifffahrt
- VR 4: Luftfracht
- VR 5: Paket- und Stückgutnetzwerke
- VR 6: Lager und Umschlag

der Kraftstoffe entsteht. Will man diesen Prozess mitberücksichtigen, ist ein Umrechnungsfaktor von 3,138 kg CO₂ je Liter Diesel zu verwenden (well-to-wheel). Bei der Erstellung von Klimabilanzen im Auge zu behalten ist ebenfalls, ob nur die reine CO₂-Emission zu ermitteln ist, oder ob auch die Entstehung der sogenannten Kohlendioxid-Äquivalenten (CO₂e) eine Rolle spielen. Dieser Wert beinhaltet weitere klimafeindliche Gase wie Methan oder Lachgas, die insbesondere bei der Herstellung von Biodiesel entstehen. Der CO₂e-Wert zeigt damit die Treibhauswirksamkeit dieser Gase bezogen auf diejenige von Kohlendioxid auf (siehe Kasten unten).

Umrechnungsfaktoren

Ein Liter reiner Diesel verursacht Kohlendioxid-Äquivalente von etwa 2,665 kg (je nach Schadstoffklasse des Fahrzeugs). Berücksichtigt man auch hier zusätzlich noch den Herstellungsprozess, dann hinterlässt die Verbrennung von einem Liter Diesel etwa 3,174 Kilogramm CO₂e. Wieder andere Umrechnungsfaktoren sind zu beachten, wenn alternative Kraftstoffe wie Biodiesel, Biodieselbeimischungen oder Erdgas zum Einsatz kommen (siehe Tabelle Seite 5). Eine zusätzliche Berechnungskomponente kommt bei Lastwagen der Schadstoffklasse Euro 5 hinzu. Hier wird neben dem Diesel

bei der Schadstoffreinigung auch Harnstoff (Adblue) verbrannt. Hierbei wird aber nur ein sehr geringer Anteil CO₂ freigesetzt. Laut Herstellerangaben (Daimler, Iveco) beträgt die CO₂-Emission 238 Gramm je Liter Adblue (ohne Vorproduktion). Der Verbrauch von Adblue liegt derzeit bei rund drei Prozent des Dieselverbrauchs. Für die Vorproduktion von Adblue gibt die Fahr-

zeugindustrie an, dass der Harnstoff nahezu klimaneutral produziert werde, da bei der Herstellung Kohlendioxid aus der Luft gebunden werde.

CO₂-Emission bei LKW-Teilladungen

Alle diese Varianten zeigen, wie komplex die CO₂-Berechnung schon bei Komplettladungen werden kann. Noch komplizierter

GUT ZU WISSEN

CO₂ versus CO₂e – zwei ganz unterschiedliche Maßeinheiten

Der sogenannte Treibhauseffekt – und damit eine Beschleunigung der Erderwärmung – wird nicht nur durch die zusätzliche Freisetzung von Kohlendioxid (CO₂) vorangetrieben. Das Kyoto-Protokoll nennt sieben weitere Gase, die bei gleicher Menge sogar noch um ein Vielfaches (siehe Faktor) zum Treibhauseffekt beitragen. Dazu zählen unter anderem Methan (Faktor 25) und Distickstoffoxid/Lachgas (Faktor 298). Diese beiden Stoffe entstehen vor allem in der landwirtschaftlichen Produktion. Bei der Verbrennung von fossilem Diesel spielen diese Stoffe hingegen kaum eine Rolle. Um die CO₂-Emission aller Gase mit einem Wert quantifizieren zu können, fließt die Klimawirksamkeit der anderen Gase in den CO₂-Äquivalentwert (CO₂e) ein. Diese Äquivalent-Faktoren sind international festgelegt. Ein Kilogramm freigesetztes Methan wird demnach mit einem CO₂e-Wert von 25 Kilogramm bilanziert. Der CO₂e-Rucksack eines Produktes quantifiziert dann in Summe die Treibhauswirksamkeit aller Klimagase. ak

ENERGIEVERBRAUCH (EV) BEI LKW-TRANSPORTEN

LKW-Typ (nach zGG in Tonnen)	maximale Nutzlast (t)	Energieverbrauch (EV) in Liter Diesel je 100 km			
		EV _{voll} (Nutzlast = max) ¹		EV _{leer} (Nutzlast = 0) ²	
		Euro 3	Euro 5 ⁹	Euro 3	Euro 5 ⁹
Transporter/Vans					
2,1-Tonner (Van ⁴)	0,5	6,9	6,5	5,5	5,4
2,1-Tonner (Van CNG)	0,5	–	5,6 ³	–	4,6 ³
2,8-Tonner ⁶	0,8	8,9	8,5	7,1	7,5
3,5-Tonner ⁶	1,2	11,6	10,5	9,0	9,0
3,5-Tonner CNG ⁶	1,1	–	9,2 ³	–	7,2 ³
5,0-Tonner ⁶	2,5	12,3	12,0	9,5	9,5
LKW/Transporter + Anhänger					
2,8-Tonner (LKW)	2,5	12,1	11,8	9,7	9,5
3,5-Tonner (LKW)	3,2	13,9	12,8	10,8	10,0
5,0-Tonner (Transporter)	4,5	15,7	15,9	12,2	12,3
7,5-Tonner (LKW)	7,0	19,4	20,0	15,5	15,7
7,5-Tonner (Sattelkombi)	7,0	15,4	15,4 ⁵	12,0	12,0 ⁵
Solo-LKW					
3,5-Tonner	1,3	12,4	12,4 ⁵	9,7	9,7 ⁵
5,0-Tonner	2,4	12,3	12,3 ⁵	10,1	10,1 ⁵
7,5-Tonner	4,0	16,2	16,2 ⁵	13,0	13,0 ⁵
7,5-Tonner (vollelektrisch)	3,5	–	60,0 ⁷	–	40,0 ⁷
12-Tonner	6,5	19,6	19,6 ⁵	15,7	15,7 ⁵
18-Tonner (180-250 PS)	9,0	23,8	24,0	17,6	17,8
18-Tonner (bis 310 PS)	8,9	28,9	29,2	18,9	19,1
26-Tonner (Dreiachser)	17,0	30,3	30,3	19,7	19,7
Sattelzug-Kombination					
26-Tonner	15,0	27,1	27,1	19,0	19,0
32-Tonner	20,0	31,8	31,8	21,6	21,6
32-Tonner CNG (270 PS)	20,0	–	21,4 ³	–	14,8 ³
40-Tonner (bis 400 PS)	25,0	31,4	31,7	21,3	21,5
40-Tonner (410-460 PS)	25,0	32,5	32,6	22,0	22,0
40-Tonner (460-480 PS)	25,0	32,8	31,5	22,2	21,3
40-Tonner (500-600 PS)	24,0	34,5	32,8	23,4	22,2
40-Tonner (über 601 PS)	24,0	34,9	35,2	23,7	23,9
Lang-LKW (25,25 m, 40 t) ⁸	20,0	–	36,0	–	24,5
Lang-LKW (25,25 m, 50 t) ⁸	30,0	–	46,8	–	24,7
Lang-LKW (25,25 m, 60 t) ⁸	40,0	–	49,1	–	26,4

¹ Ergebnisse LKW-Tests der VerkehrsRundschau 1999 bis 2010; in allen Fahrzeugkategorien wird versucht, die Teststrecke auf den realen Einsatz der Fahrzeuge abzustimmen (Fernverkehr mit überwiegender BAB-Anteil, Vans mit entsprechend hohem Stadtanteil, etc.). Die Fahrgeschwindigkeiten betragen bei den LKW 85 km/h auf der Autobahn und 65 km/h auf der Landstraße (+ 5 km/h Schwungspitzen bergab). Bei Transportern beträgt die Fahrgeschwindigkeit 130 km/h auf der Autobahn, 100 km/h Landstraße, 50 km/h Stadt. Die LKW-Aufbauten und -Aufleger haben Planen oder Koffer

² Schätzungen basierend auf LKW-Tests der VerkehrsRundschau 1999 bis 2010 ³ Verbrauch in kg CNG ⁴ z.B. Caddy Maxi ⁵ Euro 4 ⁶ z.B. Mercedes Sprinter

⁷ Kilowattstunden Strom pro 100 km, vollelektrisches UPS-Auslieferungsfahrzeug (P80-E). Daten laut UPS, kein Test durch VerkehrsRundschau ⁸ Verbrauchswerte auf Basis von VR-Testfahrten, jedoch nicht im normierten Testzyklus der VerkehrsRundschau ⁹ Adblue-Verbrauch bei Euro-5-Fahrzeugen beträgt im Durchschnitt 2-5 Prozent vom Dieselverbrauch; CO₂-Emission je Liter Adblue: 238 g CO₂ pro 100 km Abkürzungen: zGG = zulässiges Gesamtgewicht; t = Tonnen; m = Meter; km = Kilometer

Quelle: VerkehrsRundschau

wird die CO₂-Ermittlung dann bei Teillaadungen. Mit einer einfachen Formel (siehe Formel 2, Kasten Seite 5) lässt sich zwar der Energieverbrauch (meist Dieserverbrauch) des Fahrzeugs für die transportierte Ladungsmenge recht schnell ermitteln, sodass dieser dann mit der Formel 1 in CO₂- oder CO₂e-Werte umgerechnet werden kann. Jedoch benötigt man hierfür Kenntnisse über die Verbrauchswerte des LKW im voll beladenen und leeren Zustand.

Diese Werte liegen nicht immer vor. Auf Basis langjähriger LKW-Tests der VerkehrsRundschau haben wir die umfassende Aufstellung mit realen Verbrauchswerten für verschiedene Fahrzeugtypen aktualisiert und erweitert (siehe Tabelle Seite 4). Mit diesen Werten lassen sich die CO₂-Emissionen von Teilladungsverkehren auf Basis aktueller, unabhängig erhobener Daten ermitteln. Noch besser ist es aber natürlich, selbst den Verbrauch für die einzelnen Transporte und Relationen beim eingesetzten Fahrzeug zu erfassen. In vielen Veröffentlichungen und auch

Entscheidend für die CO₂-Emissionen je tkm ist die Gewichtsauslastung des LKW

manchmal in Klimabilanzen werden statt konkreten Praxismessdaten auch theoretische Verbrauchs- und CO₂-Werte aus Labortests verwendet. Weit verbreitet und allgemein anerkannt ist hier das „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA)“. Diese Datenbank wurde im Auftrag der Umweltbehörden aus Deutschland, Österreich und der Schweiz erstellt. Die HBEFA-Werte werden alle drei bis sechs Jahre aktualisiert – das letzte Update (HBEFA 3.1) wurde im Januar 2010 veröffentlicht. Die Nutzung der Datenbank (www.hbefa.net) ist kostenpflichtig. CO₂-Berechnungstools wie Ecotransit oder Map&Guide greifen auf diese Daten zurück.

Oftmals wollen Verloader aber nicht die Kohlendioxid-Emission für einen einzelnen Transport ermitteln. Sie benötigen für ihre Klimabilanz Werte für das komplette Sendungsvolumen eines Jahres. Hier bietet es sich an, mit Durchschnittswerten für die ganze Fahrzeugflotte zu arbeiten. So gibt zum Beispiel DB Schenker für einen 40-Tonner im Fernverkehr einen durchschnittlichen Emissionswert von 83 Gramm CO₂ je Kilometer und transportierter Tonne (tkm) an. Im Einzelfall können diese Durchschnittswerte aber deutlich höher oder niedriger sein. Denn neben dem Kraftstoffverbrauch ist vor allem die Gewichtsauslastung der Lastkraftwagen

BERECHNUNG VON CO₂-EMISSIONEN

Formel 1:

$$\text{CO}_2\text{-Emission}_{\text{NL-ist}} = \text{EV}_{\text{NL-ist}} \cdot \text{CO}_2\text{-Faktor} \quad \left[\frac{\text{kg CO}_2}{100 \text{ km}} \right]$$

Formel 2:

$$\text{Energieverbrauch}_{\text{NL-ist}} = \text{EV}_{\text{leer}} + (\text{EV}_{\text{voll}} - \text{EV}_{\text{leer}}) \cdot \frac{\text{NL}_{\text{ist}}}{\text{NL}_{\text{max}}} \quad \left[\frac{\text{Liter Kraftstoff}}{100 \text{ km}} \right]$$

EV = Energieverbrauch; NL = Nutzlast; NL_{ist} = tatsächliche LKW-Zuladung in Tonnen (t); NL_{max} = maximale Nutzlast in Tonnen (t)

von entscheidender Bedeutung (siehe Beispielrechnungen Kasten unten).

von entscheidender Bedeutung (siehe Beispielrechnungen Kasten unten).

Andre Kranker

KOHLENDIOXID-UMRECHNUNGSFAKTOREN FÜR KRAFTSTOFFE¹

	CO ₂ -Faktor ⁵	CO ₂ -Faktor ⁵ mit Vorproduktion	CO ₂ e-Faktor ^{3,5}	CO ₂ e-Faktor ^{3,5} mit Vorproduktion
Diesel	2,629 kg/l	3,138 kg/l	2,665 kg/l	3,174 kg/l
Diesel (mit Bio)⁴	2,621 kg/l	3,034 kg/l	2,657 kg/l	3,069 kg/l
Biodiesel⁶	2,501 kg/l	1,728 kg/l	2,533 kg/l	1,760 kg/l
Benzin	2,362 kg/l	2,764 kg/l	2,379 kg/l	2,781 kg/l
CNG²	2,540 kg/kg	3,171 kg/kg	2,597 kg/kg	3,229 kg/kg

¹ Die Werte in der Tabelle geben an, wie viel Kilogramm CO₂ bei der Verbrennung von einem Liter Kraftstoff freigesetzt werden ² Für 1 Kilogramm Erdgas (CNG)

³ CO₂e steht für Kohlendioxid-Äquivalent, bei diesen Werten kann es je nach Motortyp leichte Abweichungen geben ⁴ Diesel mit Beimischung von 7 Prozent Biodiesel

⁵ Der CO₂-Anteil im Kraftstoff hängt immer von der Dichte und Zusammensetzung (Verhältnis von C- zu H- zu O-Atomen) ab. Deshalb existieren in der Literatur leicht unterschiedliche Umrechnungswerte, die sich aber nur in der zweiten und dritten Nachkommastelle unterscheiden (z.B. bei Diesel 2,6xx). Bei CNG kann es noch größere Abweichungen geben ⁶ Bei Biodiesel ist in der Vorproduktion gleichzeitig der Bonus des Verbrennens von biogenem CO₂ mit eingerechnet

Quelle: Deutsche BP/Concave/VerkehrsRundschau

CO₂-EMISSIONEN BEI LKW-TEILLADUNGEN

Beispielrechnung 1 (sehr schlecht ausgelasteter Sattelzug):

CO₂-Emission für Transport von sieben Paletten à 500 kg von Bremerhaven Containerterminal nach München Messegelände. Fahrzeug: Sattelzug (400 PS), 40 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht, 25.000 kg maximale Nutzlast, Euro 3, EV_{voll} = 31,4 Liter Diesel; EV_{leer} = 21,3 Liter, CO₂-Faktor = 2,629 kg/l, Entfernung: 819 km (laut Google-Maps); Ladungsgewicht: 7 mal 500 kg = 3500 kg

$$\text{(Formel 2): } \text{EV}_{\text{für 3500 kg Ladung}} = 21,3 + (31,4 - 21,3) \cdot \frac{3500}{25.000} = 22,71 \frac{\text{l}}{100 \text{ km}}$$

$$\text{(Formel 1): } \text{CO}_2\text{-Emission} = 22,71 \cdot 2,629 = 59,70 \frac{\text{kg CO}_2}{100 \text{ km}} = 0,5970 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}}$$

Das Multiplizieren der 0,5970 mit den 819 km ergibt dann eine CO₂-Emission von 488,94 kg. Das entspricht 171 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (0,5970 geteilt durch 3,5 t mal 1000)

Beispielrechnung 2 (gut ausgelasteter Sattelzug):

CO₂-Emission für Transport von sieben Paletten à 500 kg von Bremerhaven Containerterminal nach München Messegelände. Fahrzeug: Sattelzug (400 PS), 40 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht, 25.000 kg maximale Nutzlast, Euro 3. In dem LKW befinden sich neben den Paletten weitere 11.500 kg Ladung. EV_{voll} = 31,4 Liter Diesel; EV_{leer} = 21,3 Liter Diesel; Entfernung: 819 km (laut Google-Maps); Ladungsgewicht: Ladung A = 7 mal 500 kg = 3500 kg; Ladung B = 11.500 kg; Gesamt = 15.000 kg

$$\text{(Formel 2): } \text{EV}_{\text{für 15.000 kg Ladung}} = 21,3 + (31,4 - 21,3) \cdot \frac{15.000}{25.000} = 27,36 \frac{\text{l}}{100 \text{ km}}$$

$$\text{(Formel 1): } \text{CO}_2\text{-Emission} = 27,36 \cdot 2,629 = 71,93 \frac{\text{kg CO}_2}{100 \text{ km}} = 0,7193 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}}$$

$$\text{CO}_2\text{-Emission}_{\text{für 3500 kg Ladung}} = \frac{0,7193 \cdot 3500}{15.000} = 0,1678 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}}$$

Das Multiplizieren der 0,7193 mit den 819 km ergibt eine CO₂-Emission von 589,11 kg für die Gesamtladung von 15 t. Für die sieben Paletten beträgt der CO₂-Fußabdruck 137,43 kg (0,1678 mal 819 km). Das ergibt 48 g/tkm (0,1678 geteilt durch 3,5 t mal 1000)

Besonderheiten des Bahntransports

Kohlendioxid-Berechnungen für den Schienengüterverkehr sind einfach durchführbar, sofern die richtigen Basisdaten genutzt und Besonderheiten beachtet werden. Teil 2 der Serie zur CO₂-Berechnung mit aktualisierten Daten.

Die Berechnung der Kohlendioxid-Emissionen sowohl bei Diesel- als auch Elektrogüterzügen kann mittels einer einfachen Formel erfolgen. Diese erfordert eigentlich nur die Kenntnis des spezifischen Energieverbrauchs und des CO₂-Umrechnungsfaktors (siehe Formel Seite 8).

Bevor das Rechnen beginnt, ist aber zu klären, ob eine Diesel- oder E-Traktion stattfindet. In Deutschland und Westeuropa

werden die meisten Güterzüge von Elektrolokomotiven gezogen. Diese verursachen hierzulande 30 Prozent weniger CO₂ als Diesellokomotiven und sind deshalb grundsätzlich klimafreundlicher.

Marktführer Deutsche Bahn setzt nach eigenen Angaben bei etwa 96 Prozent aller Gütereisenbahntransporte auf den Elektroantrieb. Bei anderen Anbietern kommt es aber durchaus vor, dass auch bei längeren, elektrifizierten Strecken Diesellokomotiven die Traktion übernehmen. Wer also CO₂-

Elektrotraktionen verursachen 30 Prozent weniger CO₂ als Dieselt Güterzüge

arm transportieren möchte, sollte an dieser Stelle ganz genau hinschauen, wie der Bahndienstleister die Waggon bewegt.

Bei der CO₂-Berechnung ist außerdem zu beachten, dass Elektroantriebe keine direkten Kohlendioxid-Emissionen verursachen. Das klimaschädliche Gas entsteht nur bei der Stromproduktion. Aus diesem Grund sind bei CO₂-Vergleichen zwischen Elektro- und Kraftstoffantrieben unbedingt die Emissionen der Vorproduktion fossiler Kraftstoffe (well-to-tank) mit einzuberechnen. Denn dies beeinflusst zum Beispiel beim Diesel die Höhe der CO₂-Emissionen entscheidend (siehe Beispielrechnung 1 und 2, Seite 8).

Beim reinen Dieselmotorkraftstoff (inklusive Vorproduktion) ist wie beim LKW der nahezu

SERIE CO₂-BERECHNUNG

Auf Wunsch vieler Leser haben wir die Serie „CO₂-Berechnung in der Logistik“ aus dem Jahr 2009 aktualisiert. Unterstützt wird dieses Spezial von DKV Euro Service.

- VR 51-52: LKW-Verkehre
- **VR 1: Schienengüterverkehr**
- VR 2: Binnenschifffahrt
- VR 3: Seeschifffahrt
- VR 4: Luftfracht
- VR 5: Paket- und Stückgutnetzwerke
- VR 6: Lager und Umschlag

Der CO₂-Fußabdruck der Bahn kann sehr gering ausfallen, aber nur beim richtigen Strommix



konstante Umrechnungsfaktor von 3,772 Gramm CO₂ je verbrauchtes Gramm Diesel (siehe Kasten rechts) zu verwenden. Die zweite Komponente der Formel – der spezifische Energieverbrauch für Güterzüge – ergibt sich aus Berechnungen des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) für unterschiedliche Beispielgüterzugarten, Ladungsarten und Topografien in Europa (siehe Tabelle Seite 8). So verbraucht ein Güterzug mit 1000 Tonnen Gesamtgewicht bei einer durchschnittlichen Beladung mit mittelschweren (normalen) Gütern in einem hügeligen Gelände wie Mittel- und Süddeutschland 9,7 Gramm Diesel pro transportierter Tonne Nutzlast und Kilometer (tkm). Daraus ergibt sich gemäß Berechnungsformel eine CO₂-Emission von 36,6 g/tkm (siehe Beispielrechnung 2).

Frankreich und Norwegen im Vorteil

Eine Elektrotraktion würde unter gleichen Grundannahmen in Deutschland nur 22,5 g/tkm CO₂ verursachen (siehe Beispielrechnung 3). Für diese Berechnung muss gemäß der Berechnungsformel der spezifische Energieverbrauch von 42,7 Wattstunden (Wh)

Entscheidend für die CO₂-Emission ist der Bahnstrommix des jeweiligen Landes

pro Tonnenkilometer (siehe Tabelle Seite 8) mit dem CO₂-Umrechnungsfaktor für deutschen Bahnstrom von 0,527 Gramm/Wattstunden (siehe Tabelle Seite 8) multipliziert werden. Ganz entscheidend für die Höhe des Umrechnungsfaktors und damit für die CO₂-Emission ist an dieser Stelle der Strommix in den verschiedenen Ländern.

In Frankreich beispielsweise ist der CO₂-Umrechnungsfaktor nur knapp ein Zehntel so hoch wie in Deutschland. Denn hier wird der Strom zu 85 Prozent aus Kernenergie erzeugt. In Deutschland hingegen wird der Bahnstrom ähnlich dem deutschen Gesamtstrommix zu rund 45 Prozent aus der Kohleverbrennung hergestellt.

In Norwegen wiederum, wo zu fast 100 Prozent Strom aus Wasserkraft generiert wird, beträgt der Umrechnungsfaktor mit 0,006 g/Wh sogar nur ein Hundertstel des deutschen Wertes. Der Beispielzug würde in

UMRECHNUNGEN

Wer CO₂-Berechnungen durchführt, sollte immer auf die verwendeten Einheiten achten. So werden zum Beispiel die CO₂-Umrechnungsfaktoren für fossile Kraftstoffe insbesondere für Berechnungen im Straßenverkehr gerne in Kilogramm CO₂ je Liter Kraftstoff (kg/l) angegeben (siehe Teil 1 der Serie CO₂-Berechnung, Tabelle Seite 5). Bei Schiffen, Flugzeugen und Eisenbahnen hingegen wird in der Regel ein Umrechnungsfaktor in der Einheit Gramm CO₂ je Gramm Kraftstoff (g/g) verwendet. Die Umrechnung zwischen diesen beiden Einheiten erfolgt über die Dichte des Kraftstoffes. So entspricht beispielsweise der Diesel-Umrechnungsfaktor von 3,772 g/g einem Wert von 3,138 kg/l. Die Umrechnung der Einheiten g/g in kg/l erfolgt durch Multiplikation der 3,772 g/g mit der Dieseldichte von 0,832. Der Ecotransit nutzt mit 3,649 g/g einen leicht abweichenden Umrechnungswert. In manchen Berechnungen wird anstatt der Kraftstoffmenge in Litern oder Kilogramm der Energiegehalt in Mega-Joule (MJ) verwendet. Auch hierzu existieren Umrechnungswerte. Ein Liter Diesel hat zum Beispiel einen Energiegehalt von 42,96 MJ. ak



CO₂- Berechnung in der Logistik

Das Buch zum
CEN-Normentwurf!

Immer mehr Unternehmen erwarten von ihren Dienstleistern die Angabe einer CO₂-Bilanz – dieses Buch zeigt Ihnen, wie es geht.

CO₂-Berechnung in der Logistik | Hardcover | 240 Seiten
Bestell-Nr. 24095 | Einführungspreis: nur € 48,00* statt € 55,00
* Einführungspreis gilt bis einschließlich 30.4.2011.
Preis zzgl. MwSt. und Versand.

VERLÄNGERT BIS
ENDE APRIL

Mit zahlreichen Beispielen zur Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs einzelner Ladungsträger. Die Autoren Andre Kranke (stv. Chefredakteur Verkehrs-Rundschau), Martin Schmied (Öko-Institut) und Andrea Schön vermitteln ihr Wissen zum Thema Emissionsberechnung kompetent und leicht verständlich.

Bestellfax: 089 / 20 30 43 - 2100
Service Hotline: 089 / 20 30 43 - 1600
eShop: www.heinrich-vogel-shop.de

VOGEL
VERKEHRSSYSTEME

SPEZIFISCHER ENERGIEVERBRAUCH GÜTERZÜGE IN EUROPA

Güterzug-Arten/ Topografie ³ (Gesamtgewicht, Länge ¹ , Ladungsarten ²)	Flachland		Hügelig		Bergig	
	Elektro (Wh/tkm)	Diesel (g/tkm)	Elektro (Wh/tkm)	Diesel (g/tkm)	Elektro (Wh/tkm)	Diesel (g/tkm)
Kurzzug (500 t, 300 m) 						
Bulk	40,2	9,1	50,3	11,4	60,4	13,7
Normal	48,3	11,0	60,4	13,7	72,4	16,4
Volumen	60,4	13,7	75,5	17,1	90,6	20,5
Mittlerer Zug (1000 t, 500 m) 						
Bulk	28,5	6,5	35,6	8,1	42,7	9,7
Normal	34,2	7,7	42,7	9,7	51,2	11,6
Volumen	42,7	9,7	53,4	12,1	64,0	14,5
Langzug (1500 t, 700 m) 						
Bulk	23,2	5,3	29,0	6,6	34,9	7,9
Normal	27,9	6,3	34,9	7,9	41,8	9,5
Volumen	34,9	7,9	43,6	9,9	52,3	11,9

¹Zuglängen sind Zirkel-Angaben ²Bulk = Schüttgüter wie Erze, Kies (Auslastung des Brutto-Zuggesamtwichtes: 60 Prozent); Normal = Konsumgüter wie weiße Ware oder durchschnittliche Container (Auslastung: 50 Prozent); Volumen = volumige Güter, die vergleichsweise leicht sind wie Karosserieteile, Möbel (Auslastung: 40 Prozent) ³Topografie: Flachland = Dänemark, Niederlande, Schweden; Bergig = Österreich, Schweiz; Hügelig = Deutschland, Norwegen und viele andere europäische Länder; Wh = Wattstunden; tkm = Tonnenkilometer

CO₂-FAKTOR BAHNSTROM

Land	CO ₂ g/Wh
Deutschland	0,527
Italien	0,464
Frankreich	0,073
Norwegen	0,006
Polen	1,018
Österreich	0,112
Schweiz	0,005
Niederlande	0,483
Großbritannien	0,586
Spanien	0,399
Belgien	0,381
Tschechien	0,657
Schweden	0,004
Dänemark	0,390
Ungarn	0,589

Basisjahr 2007/8, Daten ändern sich jährlich, werden in Ecotransit nicht ständig angeglichen. Deutsche-Bahn-Wert 2008: 0,615 g/Wh., CO₂-Wert bei DB-Bahnstrom zirka 7 Prozent höher als CO₂-Wert

Quelle: Verkehrsrundschau 2009

Quelle: Ecotransit 2010/Verkehrsrundschau

Norwegen statt 22,5 g/tkm nur 0,26 g/tkm CO₂ verursachen. Das käme einem „klimaneutralen“ Transport schon sehr nahe. Ganz frei von Treibhausgasemissionen kann aber auch eine E-Traktion nicht sein, da

traktion zurückgelegt werden müssen. Der Ecotransit ist damit wohl die beste Datenquelle zur Ermittlung der tatsächlichen Bahnkilometer im europäischen Eisenbahnnetzwerk und auch ein sehr gutes Tool

zur Berechnung von CO₂-Emissionen im Eisenbahngüterverkehr. ■■■

Andre Kranke

CO₂-BERECHNUNGSFORMEL

Formel 1:

$$\text{CO}_2\text{-Emission} = \text{EV}_{\text{spez}} \cdot \text{CO}_2\text{-Faktor} \left[\frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}} \right]$$
 EV_{spez} = Spezifischer Energieverbrauch

auch bei der Nutzung von regenerativem Strom wie Wasserkraft Emissionen für Bau und Betrieb des Kraftwerks anzurechnen sind.

Berechnungstool Ecotransit

Die Deutsche Bahn, andere europäische Bahnen und auch Anbieter wie Kombiverkehr setzen bei der Berechnung der CO₂-Emissionen auf das in sechs Sprachen vom IFEU entwickelte Online-Tool Ecotransit (www.ecotransit.de). Die kostenlos verfügbare Berechnungshilfe nutzt dabei die beschriebenen Basisannahmen. Sehr hilfreich ist dieses Tool auch für die Ermittlung der tatsächlich zurückgelegten Bahnkilometer. In dem System ist das Schienengüternetz hinterlegt. Die Datenausgabe differenziert dabei auch nach Streckenanteilen, die mangels Elektrifizierung per Diesel-

CO₂-EMISSIONEN BEI BAHNTRANSPORTEN
Beispielrechnung 1 (Dieseltraktion ohne Kraftstoffvorproduktion, tank-to-wheel):

CO₂-Emission für Transport von 3,5 t Frachtgut von Bremerhaven Containerterminal nach München Messegelände/Feldmoching. Fahrzeug: Mittlerer Zug, EV_{spez}= 9,7 g/tkm (Diesel)
 CO₂-Faktor = 3,160 g/g (CO₂/Diesel)*; Entfernung: 802 km (laut Ecotransit);

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 9,7 \cdot 3,160 = 30,7 \frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}}$$

Das Multiplizieren der 30,7 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (tkm) mit den 802 km und den 3,5 t ergibt dann eine CO₂-Emission für den Transport von 86,17 kg

Beispielrechnung 2 (Dieseltraktion mit Kraftstoffvorproduktion, well-to-wheel):

CO₂-Emission für Transport von 3,5 t Frachtgut von Bremerhaven Containerterminal nach München Messegelände/Feldmoching. Fahrzeug: Mittlerer Zug, EV_{spez}= 9,7 g/tkm (Diesel)
 CO₂-Faktor = 3,772 g/g (CO₂/Diesel); Entfernung: 802 km (laut Ecotransit);

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 9,7 \cdot 3,772 = 36,6 \frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}}$$

Das Multiplizieren der 36,6 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (tkm) mit den 802 km und den 3,5 t ergibt dann eine CO₂-Emission für den Transport von 102,74 kg

Beispielrechnung 3 (Elektrotraktion, well-to-wheel):

CO₂-Emission für Transport von 3,5 t Frachtgut von Bremerhaven Containerterminal nach München Messegelände/Feldmoching. Fahrzeug: Mittlerer Zug, EV_{spez}= 42,7 Wh/tkm;
 CO₂-Faktor = 0,527 g/Wh (Bahnstrommix Deutschland); Entfernung: 802 km (laut Ecotransit);

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 42,7 \cdot 0,527 = 22,5 \frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}}$$

Das Multiplizieren der 22,5 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (tkm) mit den 802 km und den 3,5 t ergibt dann eine CO₂-Emission für den Transport von 63,16 kg

* entspricht 2,629 kg pro Liter aus Tabelle Seite 38, Teil 1 der Serie CO₂-Berechnung in VR 51-52 2010 (Umrechnung der Einheiten g/g in kg/l durch Multiplikation von 3,160 g/g mit Dieseldichte von 0,832)

Leicht verbesserte CO₂-Datenlage

Trotz mangelhafter Basisdaten lassen sich realistische Kohlendioxid-Emissionen in der **Binnenschifffahrt** ermitteln. Was beim Rechnen zu beachten ist und wo sich die Datenlage verbessert hat, zeigt Teil 3 der Serie **CO₂-Berechnung**.

Die Berechnung der Kohlendioxid-Emissionen von Gütertransporten in der Binnenschifffahrt ist prinzipiell ganz einfach – dennoch gehört sie in der Praxis wohl mit zu den kompliziertesten CO₂-Kalkulationen aller Verkehrsträger.

Leicht ist die Berechnung eigentlich, weil auch in der Binnenschifffahrt das Grundprinzip gilt: CO₂-Emission gleich „spezifischer Energieverbrauch mal CO₂-Umrechnungsfaktor“ (siehe Formel 1, Seite 10). Der Umrechnungsfaktor von 3,772 Gramm CO₂ je Gramm Diesel (g/g)* ist schon aus den ersten beiden Teilen der Serie bekannt. Er entspricht dem Wert, der auch beim LKW und bei Diesellokomotiven zum Einsatz kommt. Dieser Umrechnungsfaktor berücksichtigt auch die CO₂-

Emissionen, die bei der Kraftstoffvorproduktion anfallen (well-to-wheel). Diese müssen insbesondere bei Vergleichen mit Elektro-Traktionen im Bahnverkehr berücksichtigt werden (siehe Serie Teil 2). Es existieren aber auch Umrechnungsfaktoren für Diesel ohne die Berücksichtigung dieser Vorproduktion (tank-to-wheel) und ebenso für die CO₂-Äquivalente (siehe Seite 5).

Energieverbrauch schwer bestimmbar

Deutlich schwerer hingegen ist es, den zweiten Teil der CO₂-Berechnungsformel mit realen Werten zum Leben zu erwecken. Der spezifische Energieverbrauch eines Binnenschiffes bezogen auf das transportierte Gütergewicht und die Entfernung (Gramm Diesel je Tonnenkilometer) kann

Binnenschiff: eine der kompliziertesten CO₂-Kalkulationen in der Transportlogistik



SERIE CO₂-BERECHNUNG

Auf Wunsch vieler Leser haben wir die Serie „CO₂-Berechnung in der Logistik“ aus dem Jahr 2009 aktualisiert. Unterstützt wird dieses Spezial von DKV Euro Service.

- VR 51-52: LKW-Verkehre
- VR 1: Schienengüterverkehr
- **VR 2: Binnenschifffahrt**
- VR 3: Seeschifffahrt
- VR 4: Luftfracht
- VR 5: Paket- und Stückgutnetzwerke
- VR 6: Lager und Umschlag

*) entspricht 3,138 kg pro Liter aus Tabelle Seite 38, Teil 1 der Serie CO₂-Berechnung in VR 51-52 (Umrechnung der Einheiten g/g in kg/l durch Multiplikation von 3,772 g/g mit Dieseldichte von 0,832). Die Deutsche Bahn (3,541 g/g), Planco (3,553 g/g) und Ecotransit (3,649 g/g) verwenden leicht abweichende Umrechnungswerte

auf den deutschen Binnenwasserstraßen sehr unterschiedliche Dimensionen annehmen. Deshalb ist dringend davon abzuraten, mit allgemeinen Durchschnittswerten zu arbeiten. Und seien es auch der oft zitierte Tremod-Wert von 10 Gramm Diesel je transportierter Frachttonne und Kilometer (g/tkm) oder der aktuellere Planco-Wert von 4,7 g/tkm. Wer mit diesen Werten CO₂-Emissionen auf einzelnen Transportrelationen berechnen will, kann nur zu völlig falschen Ergebnissen kommen. Denn der Energieeinsatz in der Binnenschifffahrt wird von mehreren Faktoren stark beeinflusst.

Allein die Breite und Tiefe der Wasserstraße und damit der Abstand zwischen Bordwand und Flusssohle beeinflussen den Dieserverbrauch massiv. Erhöht sich beispielsweise die Wassertiefe von vier auf fünf Meter, so reduziert sich bei 16 Stundenkilometern Fahrgeschwindigkeit des Schiffes der Energieeinsatz um etwa die Hälfte. Und Abstandsänderungen von einem Meter und mehr sind bei unterschiedlichen Beladungszuständen sowie je nach Wasserstraße bei den regelmäßigen Niedrig- und Hochwasserzeiten keine Seltenheit. Ähn-

Erhöht sich die Wassertiefe von 4 auf 5 Meter, so reduziert sich der Energieeinsatz um die Hälfte

CO₂-BERECHNUNGSFORMEL

Formel 1:

$$\text{CO}_2\text{-Emission} = \text{EV}_{\text{spez}} \cdot \text{CO}_2\text{-Faktor} \left[\frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}} \right]$$

EV_{spez} = Spezifischer Energieverbrauch

lich deutliche Unterschiede in der Höhe des Energieeinsatzes ergeben sich durch die sehr unterschiedlichen Schiffsgrößen. So kann der Dieserverbrauch und damit auch der CO₂-Ausstoß für ein Europaschiff (85 Meter Länge) je transportierter Frachttonne und Kilometer (tkm) dreimal so hoch wie der Energieeinsatz und die Treibhausgasemissionen der Jowi-Klasse mit 135 Metern Länge sein (siehe Beispielrechnungen Seite 11).

Einigermäßen genau lassen sich die CO₂-Emissionen in der Binnenschifffahrt deshalb nur bestimmen, wenn Energieverbrauchsdaten für einzelne Wasserstraßen

und der eingesetzte Schiffstyp vorliegen. Hier beginnt das Problem. Umfassende Daten sind in dieser Qualität derzeit nicht öffentlich zugänglich. Nach Angaben von Planco Consulting liegen solche Informationen aber im Bundesverkehrsministerium vor. Im Rahmen einer Wegekostenrechnung für die Bundesverkehrswegeplanung hat das Essener Beratungshaus diese Daten für das Ministerium erhoben – diese detaillierten Werte sind aber für einzelne CO₂-Berechnungen noch nicht aufbereitet.

Ecotransit mit neuen Möglichkeiten

Das öffentlich zugängliche CO₂-Berechnungstool Ecotransit (www.ecotransit.de) des Heidelberger Instituts für Energie- und Umweltforschung (IFEU) hat im vergangenen Jahr seine Berechnungsmethode für die Binnenschifffahrt erneuert. In der neuen Version des Internetrechners kann der User seit Mai 2010 zwischen zwei Schiffstypen wählen. Diese hängen mit den Wasserstraßenklassen zusammen. Ecotransit erlaubt die Unterscheidung zwischen Schiffen/Wasserstraßen der Klasse IV (Europaschiff) sowie der Klasse V und größer. Wasserstraßen kleiner Klasse IV werden bei

DER BESTE KLICK FÜR DIE AUS- UND WEITERBILDUNG: DER SEMINARFINDER AUF EU-BKF.DE. HIER FINDEN SIE KOSTENLOS FÜR JEDEN FAHRER DIE RICHTIGE SCHULUNG. EINFACH REINKLICKEN UND SICH ÜBERZEUGEN.



SCHON GETESTET? DER GRATIS-SEMINARFINDER AUF EU-BKF.DE

Mit dem praktischen Seminarfinder können Unternehmen ab sofort entspannter ans Ziel. Denn mithilfe des kostenlosen Recherchebots für Aus- und Weiterbildungs-kurse finden Sie Seminare, die genau auf Ihre Mitarbeiter zugeschnitten sind. Weitere Infos erhalten Sie noch unter eu-bkf.de



Ecotransit nicht berücksichtigt. Damit ist die Genauigkeit der Ecotransit-Daten im Vergleich zur Vorgängerversion des Tools zwar gestiegen, die hohe Komplexität der Binnenschifffahrt wird aber dennoch nur bedingt abgebildet. Unbedingt zu beachten bei der Nutzung des Ecotransit ist, dass nicht zwischen Berg- und Talfahrt unterschieden wird (siehe Kasten unten „Grundsatzfrage“).

Die neue Ecotransit-Version bietet aber auf jeden Fall eine absolute Besonderheit: Das Tool erlaubt nun auch CO₂-Ermittlungen für wichtige Binnenwasserstraßen außerhalb Europas. So können beispielsweise Berechnungen für Wasserstraßentransporte in den USA, Brasilien, China oder Russland durchgeführt werden.

Praxisdaten von Contargo

Pionierarbeit hat auch der Container-Verkehrsorganisator Contargo geleistet. Auf Basis von Verbrauchsmessungen innerhalb der eigenen Schiffsflotte hat das Duisburger Unternehmen schon vor drei Jahren ein Berechnungstool entwickelt. Die Software zeigt im Rahmen des Tarifwerkes CO₂-Verbräuche für Binnenschiffsverkehre an. Exklusiv für die VerkehrsRundschau hat Contargo für gängige Container-Schiffsklassen spezifische Energieverbräuche zusammengestellt. Damit liegen Praxiswerte

ENERGIEVERBRAUCH CONTAINER-BINNENSCHIFF³

Schiffstyp ¹ /Fahrtgebiet ²	Diesel (g/tkm)	Bergfahrt	Talfahrt	Kanalfahrt
Europaschiff 		16,8	8,3	11,8
Großmotorschiff 		7,5	3,9	4,6
Jowi-Klasse 		5,2	2,7	–

1) Europaschiff (85 m Länge, 9,5 m Breite, maximale Kapazität 90 TEU, 1300 Tonnen); Großmotorschiff (110 m Länge, 11,40 m Breite, maximale Kapazität 208 TEU, 2300 Tonnen); Jowi-Klasse (135 m Länge, 17,2 m Breite, maximale Kapazität 500 TEU, 5200 Tonnen)
2) Fahrtgebiet Berg/Tal auf dem Rhein; Kanalgebiet Frankreich
3) Spezifischer Energieverbrauch bei durchschnittlicher Containerbeladung und durchschnittlicher Schiffsauslastung, Messung Werte Contargo-Flotte

Quelle: Contargo/VerkehrsRundschau

für drei Schiffsklassen vor, die außerdem zwischen Berg-, Tal- und Kanalfahrt unterscheiden (siehe Tabelle oben). Denn die Strömung einer Wasserstraße ist ein weiterer entscheidender Einflussfaktor bei der Ermittlung des Energieeinsatzes in der Binnenschifffahrt. Ein Binnenschiff der Jowi-Klasse, das auf dem Rhein verkehrt, verursacht beispielsweise gegen die Flußströmung (Bergfahrt) gemäß Formel 1 einen CO₂-Ausstoß im Containerverkehr von 19,6 g/tkm. Fährt dasselbe Schiff mit gleicher Ladung und Geschwindigkeit den Rhein stromabwärts, so beträgt die Kohlendioxid-Emission nur 10,18 g/tkm – das ist fast die Hälfte weniger. Die Contargo-Werte basieren natürlich auch auf mehreren Basisannahmen. Sie spiegeln aber reale

Werte für die definierten Fahrgebiete und Schiffsgrößen wider. Die Contargo-Daten stellen damit eine sehr gute Basis für Linienerkehre im Containerbinnenschiffsverkehr dar. Für andere Verkehre mit Schüttgütern oder Flüssigkeiten sollte der spezifische Energieverbrauch am besten fallbezogen beim Reeder angefragt werden und dann per Berechnungsformel in die entsprechende CO₂-Emission umgerechnet werden.

Als Basis für die Kilometerermittlung im Wasserstraßennetz bietet sich zum einen der Ecotransit an. Am weitesten verbreitet ist aber der Weska Europäischer Schiffsfahrts- und Hafenkalendar. ■■■

Andre Kranke

GRUNDSATZFRAGE

Wer Kohlendioxid-Emissionen in der Binnenschifffahrt berechnen will, muss zuvor eine Grundsatzfrage beantworten: Ist bei der Berechnung der gesamte Rundlauf des Schiffes (zum Beispiel Rotterdam–Basel–Rotterdam) zu berücksichtigen, oder wird nur die wirklich gefahrene Strecke herangezogen? Je nachdem, welcher Ansatz gewählt wird, beträgt beispielsweise die CO₂-Emission (Jowi-Klasse, Rhein) 10,18 (Talfahrt), 19,6 (Bergfahrt) oder 14,89 (Rundlauf) Gramm je Tonnenkilometer. Wer sich für die Einberechnung des gesamten Rundlaufes entscheidet, arbeitet mit einem Wert, der die höheren Emissionen bei der Bergfahrt mit den niedrigeren Werten der Talfahrt mittelt. Dieser Ansatz wird vom Ecotransit-Rechner verfolgt und findet sich auch im Entwurf der neuen europäischen Norm zur CO₂-Berechnung beim Transport (siehe VR 50/2010, Seite 20). Diese Art der Berechnung wird derzeit aber nicht von allen Unternehmen gewählt. Der Verband der chemischen Industrie (VCI) beispielsweise hat in seinem Leitfaden zur CO₂-Berechnung für die Binnenschifffahrt zwei Werte (Berg- und Talfahrt) herausgegeben. ak

CO₂-EMISSIONEN IN DER BINNENSCHIFFFAHRT

Beispielrechnung 1 (Europaschiff):

CO₂-Emission für Transport eines 20-Fuß-Containers von Rotterdam nach Basel. Fahrzeug: Europaschiff, EV_{spez} = 16,8 g/tkm (Diesel), CO₂-Faktor = 3,772 g/g (CO₂/Diesel); Entfernung: 834 km (laut Weska); Ladungsgewicht: 10 Tonnen

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 16,8 \cdot 3,772 \text{ g} = \mathbf{63,4 \frac{g \text{ CO}_2}{\text{tkm}}}$$

Das Multiplizieren der 63,4 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (tkm) mit den 834 km und den 10 t ergibt dann eine CO₂-Emission für den Transport des Containers von 528,76 kg.

Beispielrechnung 2 (Großmotorschiff):

CO₂-Emission für Transport eines 20-Fuß-Containers von Rotterdam nach Basel. Fahrzeug: Großmotorschiff, EV_{spez} = 7,5 g/tkm (Diesel), CO₂-Faktor = 3,772 g/g (CO₂/Diesel); Entfernung: 834 km (laut Weska); Ladungsgewicht: 10 Tonnen

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 7,5 \cdot 3,772 = \mathbf{28,3 \frac{g \text{ CO}_2}{\text{tkm}}}$$

Das Multiplizieren der 28,3 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (tkm) mit den 834 km und den 10 t ergibt dann eine CO₂-Emission für den Transport des Containers von 236,02 kg.

Beispielrechnung 3 (Jowi-Klasse):

CO₂-Emission für Transport eines 20-Fuß-Containers von Rotterdam nach Basel. Fahrzeug: Binnenschiff Jowi-Klasse, EV_{spez} = 5,2 g/tkm (Diesel), CO₂-Faktor = 3,772 g/g (CO₂/Diesel); Entfernung: 834 km (laut Weska); Ladungsgewicht: 10 Tonnen

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 5,2 \cdot 3,772 = \mathbf{19,6 \frac{g \text{ CO}_2}{\text{tkm}}}$$

Das Multiplizieren der 19,6 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (tkm) mit den 834 km und den 10 t ergibt dann eine CO₂-Emission für den Transport des Containers von 163,46 kg.

Der Fußabdruck eines Seetransportes

Der vierte Teil der Serie **CO₂-Berechnung** in der Logistik beleuchtet die Besonderheiten der **Seeschifffahrt**. Für das größte Transportmittel der Welt existieren seit Kurzem auch neue kostenlose Internet-Berechnungstools.

Die Kohlendioxidemissionen von Seeschiffen lassen sich prinzipiell nach demselben Grundprinzip wie bei allen anderen Verkehrsträgern (siehe Teile 1 bis 3 der VerkehrsRundschau-Serie) berechnen: CO₂-Umrechnungsfaktor mal spezifischer Energieverbrauch ergibt die Kohlendioxidemission (siehe Formel 1, Seite 15).

Die Höhe des CO₂-Umrechnungsfaktors wird dabei durch die Art des eingesetzten Kraftstoffes bestimmt. Die meisten Seeschiffe verbrennen klassisches Schweröl. In der Küstenschifffahrt wird manchmal auch Dieselöl (MDO) genutzt (siehe Tabelle Seite 14 unten).

Der zweite Teil der Berechnungsformel – der Energieverbrauch – ist schwerer zu bestimmen. Ein Seeschiff ist ein komplexes Transportsystem, dessen Energieverbrauch von verschiedenen Parametern abhängt. Die International Maritime Organization (IMO) hat im Jahr 2008 erstmals umfassende Daten zum Energieverbrauch von Seeschiffen aller Art erheben lassen. Diese Daten bilden die Basis, für unterschiedliche Schiffstypen spezifische

Energieverbräuche beispielhaft angeben zu können (siehe Tabelle Seite 14). Aber auch diese Werte sind nur Durchschnittswerte je Schiffsklasse. Ganz exakte CO₂-Berechnungen für einen Transport lassen sich letztendlich nur anstellen, wenn das eingesetzte Schiff mit seinem konkreten Energieverbrauch bekannt ist.

Bei den allermeisten Berechnungen ist dies aber nicht der Fall, da die Reeder selten ihren Kunden solche Daten zur Verfügung stellen. Denn manche Informationen, die den Energieeinsatz eines Seeschiffes massiv bestimmen, sehen die Schiffseigner als Betriebsgeheimnis. So zum Beispiel die Auslastung der Ladekapazitäten. Die IMO hat für die internationale Containerschifffahrt eine durch-



Je größer das Containerschiff, desto besser die CO₂-Bilanz – sofern die Auslastung stimmt

SERIE CO₂-BERECHNUNG

Auf Wunsch vieler Leser haben wir die Serie „CO₂-Berechnung in der Logistik“ aus dem Jahr 2009 aktualisiert. Unterstützt wird dieses Spezial von DKV Euro Service.

- VR 51-52: LKW-Verkehre
- VR 1: Schienengüterverkehr
- VR 2: Binnenschifffahrt
- **VR 3: Seeschifffahrt**
- VR 4: Luftfracht
- VR 5: Paket- und Stückgutnetzwerke
- VR 6: Lager und Umschlag

schnittliche Auslastung von 70 Prozent ermittelt. Je nach Relation finden sich in der Praxis hier aber natürlich Unterschiede.

Kernfrage Kapazitätsauslastung

Der Logistikdienstleister DB Schenker rechnet deshalb in seinen Umweltbilanzen je nach Handelsroute mit Auslastungen von 55 bis 85 Prozent. So sind die Containerschiffe von Südostasien nach Europa in der Regel sehr gut ausgelastet, während in der Gegenrichtung viele leere Containerstellplätze zu beobachten sind, was deutlich schlechtere Auslastungen zur Folge hat. Überhaupt nicht repräsentativ dürften die Auslastungswerte sein, die im Wirtschaftskrisenjahr 2009 im Seeverkehr erreicht wurden.

Bei der Ermittlung der Auslastung spielt auch das angenommene Ladungsgewicht eine Rolle. Die IMO rechnet mit einem durchschnittlichen Ladungsgewicht eines 20-Fuß-Containers von sieben Tonnen. DB Schenker hingegen arbeitet mit zehn Tonnen je TEU. Wer CO₂-Berechnungen vergleicht, sollte auf diesen Punkt unbe-

BEISPIEL-ENTFERNUNGEN¹

Hamburg–Shanghai	10.778 NM
Hamburg–Shanghai ²	14.096 NM
Hamburg–Los Angeles ³	8.005 NM
Hamburg–Los Angeles ⁴	13.072 NM
Hamburg–Kapstadt	6.416 NM

¹Direktverbindungen Hafen zu Hafen ohne Rundläufe

²Via Kap der Guten Hoffnung ³Via Panama ⁴Via Kap Hoorn

NM = Nautische Meile oder Seemeile; 1 NM = 1,852 Kilometer

Quelle: Kühne+Nagel

dingt achten. Grundsätzlich gilt: Je mehr Masse je Schiffsvolumen befördert werden kann, desto niedriger der spezifische Energieverbrauch je transportierter Tonne Ladung. Aus diesem Grund weisen Bulk-schiffe mit sehr kompakten Schüttgutladungen wie Kohle oder Getreide einen viel geringeren spezifischen Energieverbrauch (0,8 Gramm Schweröl je transportierten

Je länger und breiter ein Schiff, desto mehr Masse kann es pro Energieeinsatz transportieren

Kilometer und Tonne Ladung, g/tkm) als beispielsweise RoRo-Schiffe auf. Bei Autofahren wird relativ viel Luft mittransportiert, was zu deutlich höheren spezifischen Energieverbräuchen führt (19,4 g/tkm).

Außerdem gilt: Je länger und breiter ein Schiff, desto mehr Masse kann es je eingesetzter Energiemenge transportieren. So benötigt ein Containerschiff mit 999 TEU Ladekapazität mit 11,7 g Schweröl je tkm dreimal so viel Energie je transportierter Ladungstonne wie ein Containerriesen mit 8000 TEU Ladekapazität, der durchschnittlich mit einem Schwerölverbrauch von 4,0 g/tkm auskommt.

Diese großen energieeffizienten Schiffe werden fast immer auf den bedeutenden internationalen Handelsrouten wie von Asien nach Europa eingesetzt. Auf Nebenstrecken wie von Europa nach Südamerika hingegen verkehren aufgrund des geringeren Ladungsaufkommens eher kleinere Schiffseinheiten. Dadurch ergeben sich bei genauen Berechnungen geringere CO₂-Emissionen bei Transporten auf den Haupttrouten gegenüber Verkehren auf den Nebenstrecken. Diese Besonderheit

DIE SCHNELLSTE VERBINDUNG ZUR WELT DER LOGISTIK

MEHR

FACHINFORMATIONEN
HINTERGRUNDWISSEN
RECHERCHEVORTEILE



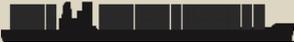
DER KOSTENLOSE NEWSLETTER DER VERKEHRSRUNDSCHAU

Der Online-Newsletter der VerkehrsRundschau informiert Sie werktäglich über die wichtigsten Ereignisse der Transport- und Logistikbranche – kostenlos, topaktuell und übersichtlich!

Jetzt die schnellste Verbindung zur Welt der Logistik herstellen unter www.verkehrsrundschau.de



ENERGIEVERBRAUCH (EV) BEI SEESCHIFFSTRANSPORTEN

Schiffstyp Größenklasse ¹	maximale Nutzlast ³ TSD t	Energieverbrauch (EV) Schweröl ² in g/tkm	
		Normale Fahrtgeschwindigkeit ⁴	Reduzierte Fahrtgeschwindigkeit ⁵
Containerschiff⁶ 			
bis 999 TEU	3,5	11,7 (bei 17,0 kn)	7,4 (bei 13,5 kn)
1000 bis 1999 TEU	7,0	10,3 (bei 19,0 kn)	6,4 (bei 15,0 kn)
2000 bis 2999 TEU ⁶	16,8	6,4 (bei 20,9 kn)	4,0 (bei 16,5 kn)
3000 bis 4999 TEU	28,8	5,3 (bei 23,3 kn)	3,3 (bei 18,5 kn)
5000 bis 7999 TEU ⁶	40,4	5,3 (bei 25,3 kn)	3,3 (bei 20,0 kn)
8000 TEU und mehr	68,6	4,0 (bei 25,1 kn)	2,5 (bei 20,0 kn)
Autotransporter⁷ 			
bis 3999 ceu	2,8	18,5 (bei 17,7 kn)	11,6 (bei 14,0 kn)
4000 ceu und mehr	7,9	10,3 (bei 19,4 kn)	6,6 (bei 15,5 kn)
RoRo-Schiff⁸ 			
bis 1999 lm	1,4	19,4 (bei 13,2 kn)	12,3 (bei 10,5 kn)
2000 lm und mehr	5,2	15,9 (bei 19,4 kn)	10,1 (bei 15,5 kn)
Bulk-Frachter⁹ 			
bis 9999 dwt	2,4	9,4 (bei 11,0 kn)	6,3 (bei 9,0 kn)
10.000 bis 34.999 dwt	26,0	2,5 (bei 14,3 kn)	1,6 (bei 11,5 kn)
35.000 bis 59.999 dwt	45,0	1,8 (bei 14,4 kn)	1,1 (bei 11,5 kn)
60.000 bis 99.999 dwt	74,0	1,3 (bei 14,4 kn)	0,8 (bei 11,5 kn)
100.000 bis 199.000 dwt	163,0	1,0 (bei 14,4 kn)	0,6 (bei 11,5 kn)
200.000 dwt und mehr	227,0	0,8 (bei 14,4 kn)	0,5 (bei 11,5 kn)
Chemietanker¹⁰ 			
bis 4999 dwt	1,8	7,1 (bei 14,5 kn)	4,5 (bei 11,5 kn)
5000 bis 9999 dwt	7,0	4,8 (bei 14,5 kn)	3,0 (bei 11,5 kn)
10.000 bis 19.999 dwt	15,0	3,5 (bei 14,5 kn)	2,2 (bei 11,5 kn)
20.000 dwt und mehr	32,2	2,7 (bei 14,7 kn)	1,7 (bei 11,5 kn)

1) ausgewählte Schiffsklassen aus der IMO-Studie; 2) Im Shortsea-Bereich wird statt Schweröl oft auch Dieselöl verwendet; 3) Durchschnittliche maximale Nutzlast der jeweiligen Schiffsklasse in tausend Tonnen; 4) Normale durchschnittliche Service-Geschwindigkeit je Schiffsklasse laut IMO; 5) Beispiel für Reduzierung der Fahrtgeschwindigkeit von rund 20 Prozent gemäß Formel 2; 6) bei durchschnittlicher Kapazitätsauslastung von 70 Prozent und durchschnittlichem Containerladungs-gewicht von 7 Tonnen; 7) Bei durchschnittlicher Kapazitätsauslastung von 70 Prozent und 1,5 t je Fahrzeug; 8) durchschnittliche Kapazitätsauslastung 70 Prozent und 2 t je Längeneinheit; 9) durchschnittliche Kapazitätsauslastung 50 bis 60 Prozent; 10) durchschnittliche Kapazitätsauslastung 64 Prozent
t = Tonnen, TSD = Tausend; dwt = dead weight tonnage = Tragfähigkeit des Schiffes in Tonnen auch tdw abgekürzt; ceu = Car Equivalent Unit, Auto-Stellplätze; TEU = Twenty Foot Equivalent Unit, Maßeinheit im Containerverkehr bezogen auf einen Container mit 20 Fuß Länge; lm = Längeneinheit, kn = Knoten, 1 kn = 1,852 km/h

Quelle: IMO/Verkehrsrundschau

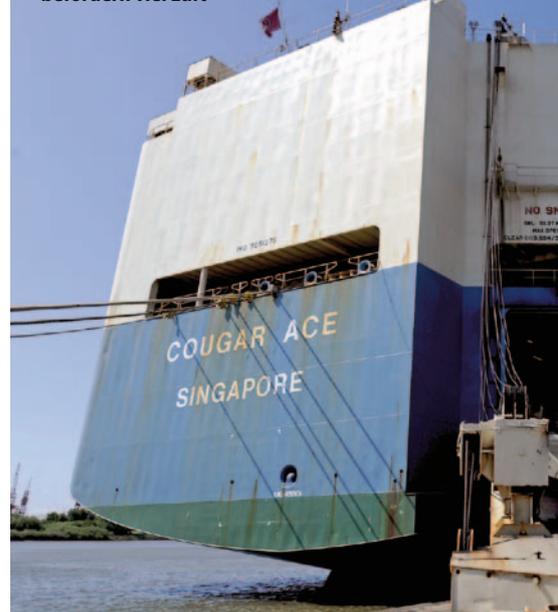
KOHLENDIOXID-UMRECHNUNGSFAKTOREN FÜR KRAFTSTOFFE¹

	CO ₂ -Faktor	CO ₂ -Faktor mit Vorproduktion	CO ₂ e-Faktor ²	CO ₂ e-Faktor ² mit Vorproduktion
Schweröl (HFO)³	3,114 g/g	3,493 g/g	3,146 g/g	3,572 g/g
Dieselöl (MDO)⁴	3,206 g/g	3,642 g/g	3,238 g/g ⁶	3,678 g/g ⁶
Erdgas (LNG)⁵	2,931 g/g	-	-	-

1) Die Werte in der Tabelle geben an, wie viel Gramm CO₂ bei der Verbrennung von einem Gramm Kraftstoff freigesetzt werden; 2) CO₂e steht für Kohlendioxid-Äquivalent, bei diesen Werten kann es je nach Maschinentyp leichte Abweichungen geben; 3) Schweröl wird in der Regel von den meisten Schiffen im Übersee-Schiffsverkehr genutzt; 4) Dieselöl kommt zum Teil in der Küstenschifffahrt und Short-Sea-Verkehren zum Einsatz; 5) LNG (Erdgas) könnte im Bereich der Küstenschifffahrt in Zukunft eine stärkere Rolle spielen; 6) Zirkula-Werte

Quelle: IMO, Ecoinvent, Verkehrsrundschau

Autotransporter
befördern viel Luft



beachtet bisher kaum ein Unternehmen. Nur die im Mai 2010 online gegangene Version des CO₂-Rechners Ecotransit World, der unter anderem auch von DB Schenker unterstützt wird, kalkuliert dieses Detail mit ein. Das kostenlos zugängliche Softwaretool berücksichtigt auch den gesamten Rundlauf eines Schiffes. Schlechtere Aus-

Energieverbrauch erhöht sich mit jedem zusätzlichen Knoten Geschwindigkeit exponentiell

lastungen zum Beispiel im Containerverkehr auf der Route Europa-Fernost werden mit den besseren Auslastungen im Verkehr von Fernost nach Europa verrechnet.

Andere frei verfügbare Internetrechner arbeiten hingegen gern mit einer hundertprozentigen Auslastung der verfügbaren Ladekapazitäten, was natürlich nicht der Realität entspricht. Dadurch ergeben sich natürlich deutlich geringere CO₂-Emissionen (siehe Kasten Seite 15 Rechner-Vergleich).

Eine entscheidende Rolle für die Berechnung des Energieverbrauches spielt auch die Geschwindigkeit des Schiffes. Bei größeren Schiffen erhöht sich nämlich der Energieverbrauch mit jedem zusätzlichen Knoten Geschwindigkeit exponentiell. Der tägliche Schwerölverbrauch eines größeren Containerschiffes reduziert sich bei einer Geschwindigkeitsreduzierung von



dtp/David Hecker

25 auf 20 Knoten um über 40 Prozent. Manche vergessen bei diesen Kalkulationen aber zu berücksichtigen, dass das langsamere Schiff pro Tag zwar weniger Energie benötigt, jedoch auch länger unterwegs ist und damit ein paar Tage mehr Treibstoff verbraucht. In Summe ist der Energiespareffekt dadurch etwas kleiner. Wie sich der spezi-

BERECHNUNG VON CO₂-EMISSIONEN

Formel 1:

$$\text{CO}_2\text{-Emission} = \text{EV} \cdot \text{CO}_2\text{-Faktor} \left[\frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}} \right]$$

Formel 2:

$$\text{Energieverbrauch}_{\text{red}} = \text{EV}_{\text{nor}} \cdot \left(\frac{V_{\text{red}}}{V_{\text{nor}}} \right)^2 \left[\frac{\text{g Kraftstoff}}{\text{tkm}} \right]$$

EV = Energieverbrauch; EV_{nor} = Energieverbrauch bei normaler Fahrgeschwindigkeit in g/tkm; EV_{red} = Energieverbrauch bei reduzierter Fahrgeschwindigkeit in g/tkm; V_{nor} = Normale Fahrgeschwindigkeit; V_{red} = Reduzierte Fahrgeschwindigkeit.
 Formel 2 ist eine Vereinfachung der komplexen Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Kraftstoffverbrauch bei Seeschiffen, sie ist abgeleitet von dem so genannten „3. Potenz-Gesetz“

Quelle: VerkehrsRundschau

fische Energieverbrauch je Tonnenkilometer für unterschiedliche Geschwindigkeiten näherungsweise berechnen lässt, zeigen Formel 2 und die Beispielrechnungen (siehe Kasten Seite 15).

Problem Entfernungsbestimmung

Wer genaue CO₂-Werte für eine Schiffsroute bestimmen will, benötigt auch die zurückgelegte Entfernung des Schiffes beziehungsweise der Ladung mit dem Schiff. Hier lassen sich zum einen natürlich Direktentfernungen zwischen zwei Häfen verwenden (siehe Tabelle Seite 13). Solche Entfernungswerte liefert auch das kostenlose Internettool www.distances.com. Da die Schiffe der Reeder aber mehrere Häfen pro Region anlaufen, ergeben sich natürlich Umwege und damit zusätzliche

Seemeilen. Diese Umwege sind aber schwer nachvollziehbar, da auch Reeder kaum Auskunft darüber geben (können). Zusätzliche Seemeilen ergeben sich auch durch Wetterereignisse oder Engpässe (Kanäle etc.), die nicht von jedem Schiffstyp befahren werden können.

Die neue Version des Ecotransit berücksichtigt zum Teil diese Aspekte bei der Entfernungsberechnung. Das Softwaretool zeigt die gewählt Route auch auf einer Google-Maps-Karte an, sodass der Weg nachvollzogen werden kann. Wer nicht den Ecotransit zur Entfernungsbestimmung nutzen will, kann ansonsten die Internetrechner der Reedereien OOCL und Hanjin Shipping (siehe Kasten Seite 43) verwenden. ■■■

Andre Kranke

RECHNER-VERGLEICH

Im Jahr 2010 gingen mehrere kostenlose Internettools zur Berechnung von CO₂-Emissionen in der Seeschifffahrt online. Das umfassendste Werkzeug ist der Ecotransit World (www.ecotransit.org). Neu auch die Reeder-Rechner der koreanischen Hanjin Shipping (www.hanjin.com) und der Hongkonger OOCL (www.oocl.com). Für die selbe Route kommen die Rechner jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen. So verursacht der Seetransport eines 20' Containers (10,5 Tonnen Ladungsgewicht) von Hamburg nach Shanghai laut Hanjin und OOCL etwa 1500 kg CO₂. Der Ecotransit hingegen setzt für denselben Transport 2852 kg CO₂ an. Dieser hohe Unterschied ergibt sich vor allem durch die unterschiedlich gewählten Kapazitätsauslastungen. Während Ecotransit 67 Prozent annimmt, arbeiten die Reeder mit 100 Prozent Kapazitätsauslastung. Auf Basis der VerkehrsRundschau-Energieverbrauchsdaten (70 Prozent Auslastung) ergibt sich eine Emission für diese Strecke je nach Schiffstyp und Geschwindigkeit von 2000 (8000-TEU-Schiff) bis 3000 kg CO₂ (3000 bis 4999 TEU). Dieses Beispiel zeigt, wie stark die Ergebnisse von den gewählten Parametern abhängen. ak

CO₂-EMISSIONEN IN DER SEESCHIFFFAHRT

Beispielrechnung 1 (Containerschiff 3000 bis 4999 TEU):

CO₂-Emission für Transport eines 20-Fuß-Containers von Shanghai nach Hamburg: Fahrzeug: Containerschiff (3000 bis 4999 TEU), Durchschnittsgeschwindigkeit V_{red} = 22 Knoten; EV_{nor} = 5,3 g/tkm (Schweröl, bei Normalgeschwindigkeit von 23,3 Knoten); CO₂-Faktor = 3,114 g/g (CO₂/Schweröl); Entfernung: 10.778 Seemeilen (1 Seemeile = 1,852 km) ; Ladungsgewicht: 7 Tonnen

(Formel 2):
$$\text{EV}_{\text{red}} = 5,3 \cdot \left(\frac{22}{23,3} \right)^2 = 4,7 \frac{\text{g Schweröl}}{\text{tkm}}$$

(Formel 1):
$$\text{CO}_2\text{-Emission} = 4,7 \cdot 3,114 = 14,6 \frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}}$$

Das Multiplizieren der 14,6 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (tkm) mit den 19.961 km und den 7 t ergibt dann eine CO₂-Emission für den Transport des Containers von Shanghai nach Hamburg bei 22 Knoten Durchschnittsgeschwindigkeit von 2040,0 kg.

Beispielrechnung 2 (Containerschiff 8000 und mehr TEU):

CO₂-Emission für Transport eines 20-Fuß-Containers von Shanghai nach Hamburg: Fahrzeug: Containerschiff (8000 TEU), Durchschnittsgeschwindigkeit V_{red} = 22 Knoten; EV_{nor} = 4,0 g/tkm (Schweröl, bei Normalgeschwindigkeit von 25,1 Knoten); CO₂-Faktor = 3,114 g/g (CO₂/Schweröl); Entfernung: 10.778 Seemeilen (1 Seemeile = 1,852 km) ; Ladungsgewicht: 7 Tonnen

(Formel 2):
$$\text{EV}_{\text{red}} = 4,0 \cdot \left(\frac{22}{25,1} \right)^2 = 3,1 \frac{\text{g Schweröl}}{\text{tkm}}$$

(Formel 1):
$$\text{CO}_2\text{-Emission} = 3,1 \cdot 3,114 = 9,7 \frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}}$$

Das Multiplizieren der 9,7 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (tkm) mit den 19.961 km und den 7 t ergibt dann eine CO₂-Emission für den Transport des Containers von Shanghai nach Hamburg bei 22 Knoten Durchschnittsgeschwindigkeit von 1355,4 kg.

Die Eigenheiten des Luftverkehrs

Die Ermittlung der Kohlendioxidemissionen im Flugverkehr unterliegt vielen Besonderheiten. Der fünfte Teil der **Serie CO₂-Berechnung** zeigt, was bei der **Luftfracht** alles zu beachten ist, und liefert exklusive Basisdaten.

Das aus dieser Serie bekannte Grundgesetz zur Berechnung von Kohlendioxidemissionen hat auch in der Luftfahrt seine Berechtigung: CO₂-Emission gleich CO₂-Umrechnungsfaktor mal Energieeinsatz (siehe Seite 19, Formel 1). Jedoch sind bei der Luftfahrt und damit auch bei der Luftfracht einige Besonderheiten zu beachten, die bei den anderen

Verkehrsträgern keine Rolle spielen. Für den ersten Teil der Formel existiert ein klarer Umrechnungsfaktor für die direkten CO₂-Emissionen des derzeitigen Hauptkraftstoffes in der Fliegerei – dem Kerosin. Ein Gramm dieses Flugbenzins verbrennt zu 3,157 Gramm CO₂. Bekannt ist auch der Umrechnungsfaktor, wenn die CO₂-Emissionen der Kraftstoffproduktion mit berücksichtigt werden sollen (siehe Seite 18, Tabelle unten).

Deutlich schwieriger wird eine klare Quantifizierung der Kohlendioxid-Äquivalente – also der weiteren Treibhausgase, die bei der Verbrennung von Kerosin entstehen. Die reine Menge der im Kyoto-Protokoll definierten Treibhausgase ist zwar sowohl bei den Direktmissionen als auch bei Berücksichtigung der Kerosinherstellung be-

kannt und nicht signifikant höher als bei anderen Kraftstoffen auf Rohöl-Basis (siehe Seite 18, Tabelle unten).

Zusätzlicher Treibhauseffekt

Jedoch haben Wissenschaftler herausgefunden, dass der Ausstoß von Stickoxiden durch die Triebwerke in den höheren Luftschichten der Atmosphäre zu einem deutlich größeren Treibhauseffekt führt. Die Stickoxide beispielsweise sorgen für das Entstehen von mehr Ozon in diesen Luftschichten, was wiederum die Erwärmung der Erdoberfläche weiter beschleunigt. Noch klimawirksamer beurteilen die Forscher die Kondensstreifen, die Flugzeuge mit Strahlenantrieb hinterlassen. Durch die feinen Wasserteilchen entstehen sogenannte Zirruswolken, die einen noch höheren

Ein Großteil der Luftfracht wird im Unterdeck der Passagierflugzeuge als Belly-Fracht befördert



SERIE CO₂-BERECHNUNG

Auf Wunsch vieler Leser haben wir die Serie „CO₂-Berechnung in der Logistik“ aus dem Jahr 2009 aktualisiert. Unterstützt wird dieses Spezial von DKV Euro Service.

- VR 51-52: LKW-Verkehre
- VR 1: Schienengüterverkehr
- VR 2: Binnenschifffahrt
- VR 3: Seeschifffahrt
- **VR 4: Luftfracht**
- VR 5: Paket- und Stückgutnetzwerke
- VR 6: Lager und Umschlag

Treibhauseffekt haben können als der reine CO₂-Ausstoß. Die genaue Quantifizierung dieser Effekte ist laut des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) derzeit kaum möglich. Die Wissenschaftsgemeinde taxiert den Gesamtklimaeffekt von Flugzeugen deshalb recht unterschiedlich. Es finden sich Werte, die vom 1,2- bis 5-Fachen der CO₂-Direktemission ausgehen. Dieser Faktor wird international auch als Radiative Forcing Index (RFI) bezeichnet. Da der Effekt ab einer Flughöhe von etwa 9000 Metern auftritt, rechnet der CO₂-Rechner Ecotransit (www.ecotransit.de) ab dieser Höhe mit einem RFI-Faktor von 3. Aus diesem Ansatz leitet Ecotransit verschiedene RFI-Faktoren ab, die von der Flugstrecke abhängen. Denn es dauert ja etwas, bis ein Flugzeug die Flughöhe von 9000 Metern erreicht hat. Es gilt: Je länger die Flugentfernung, desto höher der RFI-Faktor. Bis 500 Kilometer Flugstrecke verwendet der kostenlose Internetrechner einen RFI-Faktor von 1. Das heißt, kein zusätzlicher Treibhauseffekt. Bei 1000 Flugkilometern liegt der RFI-Wert bei 2,18, bei 2000 km bei 2,52 und bei 10.000 km bei 2,87. Da aber auch diese Werte auf Schätz-

BEISPIEL-ENTFERNUNGEN¹

Frankfurt/Main–Amsterdam	366 km
Frankfurt/Main–London	655 km
Frankfurt/Main–Moskau	2055 km
Frankfurt/Main–Dubai	4850 km
Frankfurt/Main–New York	6205 km
Frankfurt/Main–Johannesburg	8658 km
Frankfurt/Main–Shanghai	8848 km
Frankfurt/Main–Hongkong	9307 km
Frankfurt/Main–Los Angeles	9343 km

1) Direktverbindungen nach Großkreisenentfernung (GCD) aufgrund von Umwegen durch Wetter oder Verkehr berechnet die ICAO Zuschläge zu den GCD-Entfernungen: plus 50 km (bei Entfernungen bis 5499 km); plus 100 km (bei 550 bis 5499 km); plus 125 km (bei über 5500 km)

Quelle: <http://gc.kls2.com>, ICAO, Verkehrsrundschau

zungen basieren, lehnen die meisten Fluggesellschaften eine Einbeziehung des RFI-Faktors ab. So auch die Deutsche Lufthansa, die in ihren Umweltberichten ausschließlich die CO₂-Direktemission (tank-to-wheel) dokumentiert. Auch der in der EU vorgeschriebene Emissionshandel im Flugverkehr betrachtet nur die reinen CO₂-Emissionen – ohne RFI-Faktor und auch ohne die Emissionen der Kraftstoffherstellung (well-to-tank). Beim Ecotransit kann

Der Energieeinsatz je Tonnenkilometer sinkt, je weiter das Flugzeug fliegt

die Berücksichtigung des RFI-Wertes deshalb auch optional gewählt werden. Bei jeder CO₂-Kalkulation sollte deshalb angegeben werden, ob mit oder ohne diesen Faktor gerechnet worden ist, da dieser das Ergebnis massiv beeinflusst.

Energieverbrauch nicht konstant

Für den zweiten Teil der CO₂-Berechnungsformel ist die Kenntnis des Energieverbrauchs des Flugzeuges je Ladungstonne und Kilometer (tkm) vonnöten. Auch an diesem Punkt finden sich in der Luftfracht Besonderheiten, die andere Verkehrsträger nicht vorweisen. Der Energieverbrauch des Flugzeuges ist nämlich nicht konstant. Ein Flugzeug benötigt extrem viel Energie während der Start- und Landephase. Diese Besonderheit führt dazu, dass der Energieeinsatz je Tonnenkilometer sinkt, je weiter das Flugzeug fliegt. Der Transport einer Belly-Luftfracht auf der

Ihr treuer Begleiter in ganz Europa



Neuer Umschlag

Menge Stückpreis
1 € 8,90
ab 10 € 8,01
ab 20 € 7,57
ab 50 € 7,12
(zzgl. MwSt. + Versand)

Bestellen Sie jetzt!
Tel: 089/ 20 30 43 -1600
Fax: 089/ 20 30 43 -2100
www.heinrich-vogel-shop.de



Berufskraftfahrer unterwegs 2011

Unterwegs Nützliches

- Kalender 2011 mit Fahrverboten in Europa
- Aktualisierte Länderinformationen für Europa (inkl. Fahrzeugabmessungen, Achslasten, Gewichte, Besonderheiten)
- Übersicht Autobahnbaustellen und Autohöfe

NEU 2011

- **Jährliches UPDATE zu Kernthemen der Branche:** Kompakt auf je 2 Seiten sind die wichtigsten Änderungen des vergangenen Jahres zusammengefasst: z.B. zum „Nachweis berücksichtigungsfreie Tage“, zur „12 Tage-Regelung“ oder zu Antirutschmatten »Hilfreich für die jährliche Unterweisung!«
- Neue Nachweiskarte für den Führerschein mit Schlüsselzahl „95“

Notfalls Hilfreiches

- Verhalten bei einem Unfall/ Erste Hilfe
- Notrufnummern und Pannendienste im In- und Ausland

Berufskraftfahrer unterwegs 2011
Taschenbuch, 240 Seiten, Bestell-Nr. 26032

ENERGIEVERBRAUCH PASSAGIER- UND FRACHTFLUGZEUGE

Flugzeugtyp	Kerosinverbrauch in g/tkm je Flugkilometer-Klasse ³								
	463 km	926 km	1389 km	1852 km	2778 km	5556 km	6482 km	9260 km	10.186 km
Belly-Fracht¹									
Airbus A310	438,2	336,6	302,7	285,8	272,2	268,6	271,0	-	-
Airbus A320	449,0	329,1	282,0	270,9	249,7	-	-	-	-
Airbus A330	625,0	459,2	403,7	376,4	351,6	338,0	337,4	-	-
Airbus A340	518,3	387,8	344,7	324,6	306,8	298,0	299,6	309,4	314,1
Boeing 727-200	698,4	526,4	464,6	440,4	419,9	-	-	-	-
Boeing 737-100	673,0	502,6	445,0	417,4	392,1	-	-	-	-
Boeing 737-400	419,0	333,7	305,5	291,1	282,9	-	-	-	-
Boeing 747-100-300	694,2	527,2	471,6	443,7	419,7	408,8	410,1	430,0	436,8
Boeing 747-400	587,3	434,6	383,6	358,2	334,1	321,9	323,7	335,9	340,6
Boeing 767 300 ER	532,7	401,2	357,4	335,5	317,7	308,4	311,4	323,0	-
Boeing 757	459,9	341,9	302,3	282,9	266,3	-	-	-	-
Boeing 777	622,1	447,9	389,9	361,8	332,8	317,9	317,7	325,7	329,9
Frachtflugzeuge²									
Airbus A330	304,1	223,4	196,4	183,1	171,1	164,4	164,2	-	-
Boeing 727-200	541,9	408,5	360,5	341,7	325,8	-	-	-	-
Boeing 737-100	532,9	398,0	352,3	330,5	310,4	-	-	-	-
Boeing 747-100-300	309,6	235,1	210,3	197,9	187,2	182,3	182,9	191,8	194,8
Boeing 747-400	243,3	180,0	158,9	148,4	138,4	133,3	134,1	139,1	141,1
Boeing 757	390,4	290,2	256,6	240,1	226,0	-	-	-	-

1) Ladefaktor 80 Prozent; 2) Ladefaktor 65 Prozent; 3) Berechnungen für Beispielfertfernungen, krumme Werte aufgrund der Umrechnung von Nautischen Meilen tkm = Transportierte Frachtonne und Kilometer, Allokation für Bellyfracht: Pro Passagier 100 kg, je Sitz 50 kg.

Quelle: Corinair, ICAO, VerkehrsRundschau



kurzen Strecke von Frankfurt am Main nach London ist damit je Tonnenkilometer deutlich energie- und damit auch CO₂-intensiver (1372,03 g CO₂/tkm) als beispielsweise der gleiche Lufttransport von Frankfurt nach Shanghai mit 1060,44 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (siehe Seite 19, Beispielrechnung 1 und 2). Deshalb ist bei der Ermittlung des Energieaufwandes in der Luftfracht neben dem Flugzeugtyp auch immer der

Zu berücksichtigen ist ein km-Zuschlag zu den reinen Großkreis-Entfernungen

Entfernungsbereich zu berücksichtigen. Die Internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO hat im Jahr 2009 erstmals Energieverbräuche für verschiedene Entfernungsklassen veröffentlicht (siehe Tabelle oben). Neben den Entfernungsklassen unterscheidet die ICAO auch zwischen verschiedenen Flugzeugtypen. Grundsätzlich gilt auch in der Luftfracht: Je mehr Zuladung ein Flugzeug transportieren kann, desto geringer die CO₂-Emission pro Tonnenkilometer. Vorausgesetzt die Flugzeugtriebwerke sind auf einem ähnlichen Stand der Technik und das Fluggerät wird unter ähnlichen Bedingungen geflogen. Denn es gilt auch: Je älter ein Flugzeug und je schlechter der Wartungs- und Betriebszustand, desto höher der Energieverbrauch.

Bei reinen Frachtflugzeugen ist die CO₂-Emission relativ leicht zu berechnen. Der Energieverbrauch des Flugzeuges ist einfach

auf die transportierte Menge Güter umzulegen. Die Rechenergebnisse zeigen, dass reine Frachtflieger aufgrund ihrer besseren Gesamtauslastung in der Regel deutlich energie- und CO₂-effizienter Ladungen transportieren können als Passagierflugzeuge (siehe Seite 19, Beispiel 2 und 3).

Besonderheit Belly-Fracht

Deutlich schwieriger ist bei der Belly-Fracht die Ermittlung des Energieverbrauchs. Denn es existieren unterschiedliche Auffassungen darüber, welcher Kerosinanteil den Ladungen im Unterdeck und den Passagieren im Oberdeck der Flugzeuge zuzurechnen ist. Durchsetzen wird sich aber wohl der im Emissionshandel festgeschriebene Wert von 100 kg je Passagier und Fluggepäck. Diese Festlegung führt gegenüber anderen Allokationsansätzen zu etwas niedrigeren Werten im Passagierbereich und zu höheren Werten für die Fracht.

Sowohl bei Frachtflugzeugen als auch bei Belly-Fracht in Passagierflugzeugen spielt außerdem die Auslastung der Ladekapazitäten ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Ermittlung des spezifischen Energiever-

CO₂-UMRECHNUNG

Kohlendioxid-Umrechnungsfaktor in Gramm CO₂ pro Gramm Kerosin (g/g)¹

CO ₂ -Faktor	3,157 g/g
CO ₂ -Faktor mit Vorproduktion ²	3,593 g/g
CO ₂ e-Faktor ³	3,201 g/g
CO ₂ e-Faktor mit Vorproduktion	3,647 g/g

1) Die Werte in der Tabelle geben an, wie viel Gramm CO₂ bei der Verbrennung von einem Gramm Kerosin freigesetzt werden; 2) mit „Vorproduktion“ schließt die CO₂-Emission bei der Herstellung des Kraftstoffes mit ein; 3) CO₂e steht für Kohlendioxid-Äquivalent. Neben den im Kyoto-Protokoll beschriebenen Treibhausgasen, die mit dem CO₂e-Wert beschrieben werden, haben die Emissionen der Flugzeug-Strahlentriebe eine erhöhte Klimawirksamkeit, da die Gase und Partikel in den oberen Luftschichten freigesetzt werden. Hier kann ein durchschnittlicher RPF-Faktor von 2,7 verwendet werden

Quelle: IFEU, Ecoinvent, VerkehrsRundschau

Luftfracht, die mit reinen Frachtflugzeugen befördert wird, hinterlässt einen ganz anderen CO₂-Fußabdruck als Belly-Transporte



Lufthansa/Berthold Lütjes

BERECHNUNG VON CO₂-EMISSIONEN

Formel 1:

$$\text{CO}_2\text{-Emission} = \text{EV} \cdot \text{CO}_2\text{-Faktor} \left[\frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}} \right]$$

EV = Energieverbrauch; tkm = Tonnenkilometer; g = Gramm; CO₂ = Kohlendioxid

Quelle: Verkehrsrundschau

brauchs. Die ICAO-Daten gehen von einem durchschnittlichen Ladefaktor von 65 Prozent (Frachtflieger) beziehungsweise 80 Prozent (Belly) aus. Jedoch können diese Werte von Fluggesellschaft zu Fluggesellschaft, von Route zu Route und auch von Wirtschaftsjahr zu Wirtschaftsjahr variieren. Der Ecotransit-Rechner nutzt Werte zwischen 55 und 65 Prozent – der Beladungsgrad kann aber auch frei gewählt werden.

Aufpassen müssen Spediteure und Verloader bei der CO₂-Berechnung in der Luftfracht auch bei der Entfernungsermittlung. Das Flugzeug hat gegenüber anderen Verkehrsträgern den Vorteil, dass es grundsätzlich den direkten Weg zwischen Start- und Zielort nehmen kann. Dieser direkte Weg lässt sich über die Großkreisentfernungsmethode (Great-Circle-Distance) ermitteln. Hilfe bieten hier kostenlose Softwaretools im Internet (zum Beispiel <http://gc.kls2.com>). Aufgrund des erhöhten Flugverkehrs oder schlechten Wetterbedingungen sind die Piloten in der Regel aber gezwungen, Umwege zu fliegen. Deshalb liegen die tatsächlich

zurückgelegten Flugkilometer höher als der theoretische GCD-Wert. Die ICAO hat deshalb Aufschläge von 50 bis 125 km je nach Entfernungsklassen definiert (siehe Fußnote Tabelle Seite 17). Die Vorschriften des EU-Emissionshandels schreiben vor, auf den GCD-Wert 95 km aufzuschlagen. Der Ecotransit-Rechner unterscheidet zwischen Flugstrecken bis 185 km – hier beträgt der Zuschlag 60 km. Ab dem 185. km berechnet Ecotransit einen weiteren Zuschlag von vier Prozent der GCD-Entfernung.

Einige Airlines wie die Lufthansa veröffentlichen auch Emissionswerte. So beträgt die durchschnittliche CO₂-Emission der MD11-Frachterflotte der Lufthansa Cargo 536 g/tkm (im Jahr 2008). Da aber die Hälfte des Frachtaufkommens des Kranich-Konzerns im Unterdeck der Passagierflieger transportiert wird, gibt die Lufthansa auch einen Durchschnittswert für die Belly-Fracht an. Dieser lag im Jahr 2008 bei 952 g/tkm. ■■■

Andre Kranke

CO₂-RECHNER IM INTERNET

Mittlerweile existiert auch eine Reihe von Internetrechnern zur Ermittlung der CO₂-Emissionen in der Luftfahrt. Die meisten befassen sich aber nur mit der Passage. Im Bereich der Fracht liefert die detailliertesten Werte die im Mai 2010 veröffentlichte neue Version des kostenlos nutzbaren Ecotransit (www.ecotransit.org). Dieser bietet die meisten Berechnungsoptionen und ist methodisch sehr ausgereift. Die Methodik wurde vom Öko-Institut entwickelt. Der Rechner wird unter anderem von DB Schenker eingesetzt. Mit Vorsicht zu genießen ist das Angebot des Frachtfliegers Cargolux (www.cargolux.com). Denn das Tool des Luxemburger Unternehmens arbeitet im Hintergrund immer mit dem gleichen Durchschnittswert von etwa 522 g/tkm – unabhängig davon, ob die B747-400F von Luxemburg nach London oder nach Shanghai fliegt. Besser ist die Lösung der skandinavischen Airline SAS (<http://sasems.port.se/>). Hier werden die unterschiedlichen Entfernungen und Flugzeugtypen berücksichtigt. Es fehlt jedoch eine transparente Dokumentation, auf welcher Datenbasis die Ergebnisse zustande kommen. ak

CO₂-EMISSIONEN IN DER LUFTFRACHT

Beispielrechnung 1 (Passagierflugzeug mit Belly-Fracht, Frankfurt-London):

CO₂-Emission für Transport von 7 Tonnen Luftfracht (B 747-400) vom Flughafen Frankfurt am Main nach Airport London. EV = 434,6 g/tkm (Kerosin, bei Entfernungsklasse 926 km); CO₂-Faktor = 3,157 g/g (CO₂/Kerosin); Entfernung: 755 km (GCD-Entfernung 655 km + ICAO-Zuschlag 100 km);

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 434,6 \cdot 3,157 = \mathbf{1372,03} \frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}}$$

Das Multiplizieren der 1372,03 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (tkm) mit den 755 km und den 7 t ergibt eine CO₂-Emission für den Lufttransport von 7,25 Tonnen.

Beispielrechnung 2 (Passagierflugzeug mit Belly-Fracht, Frankfurt-Shanghai):

CO₂-Emission für Transport von 7 Tonnen Luftfracht (B 747-400) vom Flughafen Frankfurt am Main nach Airport Shanghai. EV = 335,9 g/tkm (Kerosin, bei Entfernungsklasse 9260 km); CO₂-Faktor = 3,157 g/g (CO₂/Kerosin); Entfernung: 8.973 km (GCD-Entfernung 8848 km + ICAO-Zuschlag 125 km);

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 335,9 \cdot 3,157 = \mathbf{1060,44} \frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}}$$

Das Multiplizieren der 1060,44 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (tkm) mit den 8973 km und den 7 t ergibt eine CO₂-Emission für den Lufttransport von 66,61 Tonnen.

Beispielrechnung 3 (Reines Frachtflugzeug, Frankfurt-Shanghai):

CO₂-Emission für Transport von 7 Tonnen Luftfracht (B 747-400) vom Flughafen Frankfurt am Main nach Airport Shanghai. EV = 139,1 g/tkm (Kerosin, bei Entfernungsklasse 9260 km); CO₂-Faktor = 3,157 g/g (CO₂/Kerosin); Entfernung: 8973 km (GCD-Entfernung 8848 km + ICAO-Zuschlag 125 km);

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 139,1 \cdot 3,157 = \mathbf{439,14} \frac{\text{g CO}_2}{\text{tkm}}$$

Das Multiplizieren der 439,14 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (tkm) mit den 8973 km und den 7 t ergibt dann eine CO₂-Emission für den Lufttransport von 27,58 Tonnen.

Eigenheiten logistischer Netzwerke

Die Kohlendioxid-Ermittlung in Logistiknetzwerken ist komplex. Das zeigt sich am Beispiel der **Paket- und Stückgutnetzwerke**. Abhilfe könnte eine aktuelle CEN-Norm schaffen.

SERIE CO₂-BERECHNUNG

Auf Wunsch vieler Leser haben wir die Serie „CO₂-Berechnung in der Logistik“ aus dem Jahr 2009 aktualisiert. Unterstützt wird dieses Spezial von DKV Euro Service.

- VR 51-52: LKW-Verkehre
- VR 1: Schienengüterverkehr
- VR 2: Binnenschifffahrt
- VR 3: Seeschifffahrt
- VR 4: Luftfracht
- **VR 5: Paket- und Stückgutnetzwerke**
- VR 6: Lager und Umschlag

Logistiknetzwerke weisen gegenüber Einzelfahrten zwei Besonderheiten auf: Standardisierte Sendungseinheiten wie Briefe, Pakete oder Paletten können nahezu jederzeit in das Transportsystem eingespeist werden. Und: Die Beförderung der Sendung erfolgt zu definierten Laufzeiten direkt bis zum Empfänger in die verschiedensten Regionen eines Landes oder sogar eines Kontinents.

Um diese Leistung erbringen zu können, kombinieren die Netzanbieter unterschiedliche Logistiksysteme miteinander. Dazu gehören zum Beispiel Sammel- und Verteilerverkehre mit kleineren Fahrzeugen, Hauptläufe mit größeren Fahrzeugen sowie Umschlag- und Sortierprozesse über Lagerstandorte.

Für die Kohlendioxid-Berechnung von Netzwerken bedeutet dies, die Emissionen der eingesetzten Transport- und Umschlagmittel zu addieren. Dies erfolgt in der Regel auf Basis eines Geschäfts- oder Kalenderjahres. Durch die Division dieser Summe mit der im Jahr transportierten Anzahl der Sendungseinheiten lässt sich damit schnell ein Durchschnittswert für die Netzwerknutzung ermitteln (siehe Formel 1, Seite 22).

Auf Basis dieser Rechnung beträgt die CO₂-Emission für das Verschicken eines Paketes innerhalb Deutschlands mit der Deutschen Post 510 Gramm. Verlager, die diesen Wert in ihre Klimabilanz einfließen lassen, verursachen demnach aber für den Versand eines zehn Kilogramm schweren Pakets von Hamburg nach Köln ebenso



Der Transport von Briefen, Paketen und Stückgut erfolgt meistens über standardisierte Logistiknetzwerke, die einen speziellen CO₂-Footprint aufweisen

viele Emissionen wie für eine 1-kg-Sendung von Hamburg nach Bremen. Dies wirkt auf den ersten Blick ungerecht, wird von vielen Umweltinstituten jedoch anerkannt, da dadurch alle Nutzer nicht nur die CO₂-Emissionen der direkten Beförderung, sondern auch die Emissionen des ständig verfügbaren Leistungsangebots des Netzwerkes tragen. Außerdem spielen im Paketbereich die unterschiedlichen Gewichte keine so entscheidende Rolle, da sie sich in einem sehr engen Rahmen bis maximal 31,5 Kilogramm bewegen.

Differenzierte Durchschnittswerte

Da bei Stückgut die Gewichte viel stärker variieren (bis 2,5 t), differenziert DB Schenker seine CO₂-Netzwerkwerte etwas stärker. Deutschlands größter Stückgutdienstleister ermittelt durchschnittliche CO₂-Emissionen auf Basis von Tonnenkilometern – und das separat für die Vor-, Nach- und Hauptläufe sowie für Lager und Umschlag (siehe Tabelle Seite 22 oben). Außerdem berücksichtigt die Bahn-Tochter die regionalen Unterschiede. Für jedes europäische Land wurden eigene Emissionswerte ermittelt. So

Ein CO₂-Vergleich zwischen den Betreibern der Netzwerke ist derzeit kaum möglich

kann der Transport einer 500 Kilogramm schweren Palette je nach Land ganz unterschiedliche CO₂-Emissionen hervorgerufen (siehe Beispielrechnung 1 bis 3, Seite 34).

Derzeit nicht möglich ist der direkte Vergleich der CO₂-Emissionen unterschiedlicher Netzwerkanbieter. Zum einen variieren die angebotenen logistischen Leistungen (zum Beispiel Laufzeiten) stark voneinander. Noch entscheidender ist aber die Tatsache, dass bisher kein Standard zur Messung der CO₂-Emissionen in Logistiknetzwerken existierte. Jeder Netzbetreiber misst etwas anders. Einziger Grundstandard ist bisher das international verwendete Greenhouse Protocol (GHP), das die Messgrenzen der CO₂-Bilanzierung in drei Gruppen definiert: Der sogenannte „Scope 1“ umfasst dabei alle Emissionen, die direkt von einem Unternehmen verursacht werden – zum Beispiel

der Dieselverbrauch der Fahrzeuge. In den Scope 2 fallen die Emissionen der Stromherstellung und mit Scope 3 werden alle Emissionen berücksichtigt, die bei der Erbringung von Dienstleistungen durch Dritte auftreten – zum Beispiel der CO₂-Ausstoß durch LKW-Subunternehmer oder Luft- oder Seefrachtcarrier.

Aber schon an dieser Stelle fangen die Unterschiede an. DB Schenker zählt die LKW-Subunternehmer zum Scope 1, da diese in der Regel keine eigene Klimabilanz erstellen (die Grundidee der GHP-Scopes ist nämlich, dass jeder CO₂-Ausstoß nur einmal in einer Klimabilanz auftaucht). Die Deutsche Post hingegen erfasst die Subunternehmen gemäß GHP mit Scope 3. CO₂-Experten empfehlen deshalb Verladern, bei Logistikdienstleistern immer den Scope 1 bis einschließlich 3 abzufragen. Nur dann sind alle Emissionen erfasst.

Unterschiedlich berücksichtigt werden von den Netzbetreibern auch die sogenannten Schlechtauslastungen der LKW-Subunternehmer. Während die Hauptfahrt des LKW-Unternehmers meist hohe gewichtsmäßige Auslastungen der

Aber sicher: bei uns nur mit Schein!

Die **Gabelstapler-Ausbildung**
mit den Medien von Vogel.

- 1 Gabelstapler sicher fahren – Lehrbuch**
Nach dem Musterlehrplan der Berufsgenossenschaft. DIN A5 | Bestell-Nr. 23260
€ 10,90 (zzgl. MwSt.) | ab 5 Stk.: € 9,59
ab 10 Stk.: € 8,18 | ab 50 Stk.: € 7,74
- 2 Gabelstapler sicher fahren – CD-ROM**
Schulungspräsentation mit ca. 80 PowerPoint-Folien.
Bestell-Nr. 33260 | € 69,00 (zzgl. MwSt.)
- 3 Gabelstapler sicher fahren – Plakat**
Für den Aushang im Aufenthaltsraum.
DIN A1 | Bestell-Nr. 16348
€ 15,90 (zzgl. MwSt.) | ab 10 Stk.: € 14,31
ab 20 Stk.: € 13,20 | ab 50 Stk.: € 11,93
- 4 Fahreranweisung Gabelstapler**
Die wichtigsten Infos auf 8 Seiten.
Mit abziehbare Fahrerbestätigung.
DIN A4 | Bestell-Nr. 13971 | € 2,95
(zzgl. MwSt., Mindestabnahme 10 Stk.)
ab 20 Stk.: € 2,66 | ab 50 Stk.: € 2,51
ab 100 Stk.: € 2,21
- 5 Fahrerausweis Gabelstapler**
Zur Bescheinigung von Ausbildung, Unterweisung und Beauftragung.
7,4 x 10,4 cm | Bestell-Nr. 16260 | € 0,95
(zzgl. MwSt., Mindestabnahme 10 Stk.)
ab 20 Stk.: € 0,76 | ab 50 Stk.: € 0,71
ab 100 Stk.: € 0,67



Bestellen Sie jetzt!

Bestellfax: 089/203043-2100
www.heinrich-vogel-shop.de

CO₂-EMISSIONEN IN LOGISTIKNETZWERKEN

Netzwerkart	CO ₂ -Emission
Brief (innerhalb Deutschlands)¹	30 Gramm je Brief
Paket (innerhalb Deutschlands)¹	510 Gramm je Paket
Paket (von Deutschland nach EU)²	1600 Gramm je Paket
Stückgut Vorlauf/Nachlauf (in Deutschland)³	157 Gramm je Tonnenkilometer
Stückgut Hauptlauf (in Deutschland)³	88 Gramm je Tonnenkilometer

1) Durchschnittliche CO₂-Emission für Sendungen innerhalb des nationalen Deutsche-Post-Netzwerkes (LKW-Transporte und stationäre Sortier- und Umschlaganlagen 2008); 2) Durchschnittliche CO₂-Emission für Geschäftskunden-Sendungen aus Deutschland in EU-Länder mit DHL; 3) Durchschnittliche CO₂-Direktemissionen im DB-Schenker-Netzwerk 2008 (LKW-Transporte, inkl. Leerfahrten) Quelle: VerkehrsRundschau

Transportkapazität vorweist, kann es bei den Rückfahrten deutlich schlechter aussehen. Während einige Netzwerkbetreiber auch für die Subunternehmer die Auslastungsgrade des Gesamtnetzwerkes ansetzen, berücksichtigen andere wiederum bei den beauftragten LKW-Transporteuren nur die guten Auslastungsgrade der Hauptfahrt.

Wer CO₂-Kennzahlen unterschiedlicher Netzwerkbetreiber nebeneinanderstellt, muss außerdem hinterfragen, ob die Emissionen der Kraftstoffproduktion (auch als „well-to-tank“ bezeichnet) mit eingeflossen sind. Die Deutsche Post berücksichtigt dies dem GHP folgend nicht. Einige Umweltexperten empfehlen hingegen schon, diese Emissionen der Vorproduk-

Unterschiede in Klimabilanzen: Dieselemissionen mit und ohne Vorproduktion

tion mitzuberechnen, da ansonsten ein Vergleich von zum Beispiel Dieselmotoren mit Biodiesel-, Erdgas- oder Elektroantrieben nicht möglich sei. DB Schenker teilt seinen Kunden immer beide Werte mit. Ebenso ermittelt die Bahn-Tochter für ihr Stückgutnetzwerk auch immer die CO₂-Äquivalente (siehe Teil 1 der Serie). Die Berücksichtigung dieser CO₂e-Emissionen schlägt beim Straßentransport zwar meistens nur mit zwei Prozent zu Buche. Bei zum Beispiel Kühllägern haben

die Äquivalente hingegen ganz andere Auswirkungen. Durch den technisch normalen Verlust von Kühlmitteln werden Kohlenwasserstoffe freigesetzt, die den Wert der verursachten CO₂-Äquivalente in der Klimabilanz ordentlich nach oben treiben.

Wichtiger Tipp für die Klimabilanz

Wer sich in diesen Tagen daranmacht, CO₂-Emissionen für sein Netzwerk zu ermitteln, sollte immer die ungünstigere Annahme für die Ermittlung seiner Emissionswerte berücksichtigen. Das empfehlen erfahrene CO₂-Experten. Denn: Derzeit läuft auf europäischer Ebene ein CO₂-Normungsprozess für Transportdienstleistungen. Mit diesem könnten Treibhausgasberechnungen von Logistikdienstleistungen künftig vergleichbar werden (siehe Kasten CEN-Norm).

Wer für seine Klimabilanz heute noch die etwas ungünstigeren Annahmen verwendet, kann mit etwas Glück nach Einführung der Norm die Werte seiner Klimabilanz auf einen Schlag verbessern – je nachdem, welche Vorgaben die Norm macht. Auf jeden Fall muss er nicht auf einmal höhere CO₂-Emissionen rechtfertigen. ■■■

Andre Kranke

CEN-NORM

Der CEN-Standard „Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit Transportdienstleistungen“ (CEN/TC 320/WG 10) ist eine europäische Norm (derzeit Entwurf-Status) zur Ermittlung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen (THG) für Güter- und Personentransporte. Die Norm bietet ein standardisiertes Verfahren zur Berechnung und Kennzeichnung des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen von Transporten und Transportketten. Verwendung finden soll die Norm bei Transportunternehmen (LKW-Fuhrparkbetreiber, Reedereien und Fluggesellschaften), bei Speditionen- und Logistikunternehmen sowie bei der verladenden Wirtschaft. Hinzu kommen entsprechende Zielgruppen im Bereich der Personenbeförderung. Die CEN-Norm regelt allgemein, mit welchen Basisformeln Energieverbrauch und THG-Emissionen zu ermitteln, welche Emissionen zu berücksichtigen (Berechnungsgrenzen) und in welcher Form die Berechnungsergebnisse darzustellen sind. Die Norm betrachtet nur die reinen Transportprozesse. Lager- und Umschlagvorgänge werden hingegen erst einmal nicht definiert. Der erste Entwurf der CEN-Norm soll im Februar 2011 veröffentlicht werden. ak

BERECHNUNG VON CO₂-EMISSIONEN

Formel 1:
 CO₂-Netzwerkwert = $\frac{\Sigma \text{CO}_2\text{-Emissionen}}{\text{Anzahl Sendungseinheiten}} \left[\frac{\text{g CO}_2}{\text{Einheit}} \right]$

Sendungseinheiten zum Beispiel Brief, Paket oder Palette; Summen jeweils pro Jahr

Quelle: VerkehrsRundschau

CO₂-EMISSIONEN IN STÜCKGUTNETZWERKEN
Beispielrechnung 1: Italien-England

Transport im DB-Schenker-Landverkehrsnetz: Palette (500 kg, 1890 km) von Mailand (Italien) via Paris und Eurotunnel nach Northampton (England). Emissionen insgesamt: 86 kg CO₂ (nur direkter Verkehr, Scope 1) und 105 kg CO₂ (inklusive Kraftstoffgewinnung, Scope 1 bis 3). Daraus ergibt sich laut DB Schenker ein Wert von 81 Gramm CO₂ je Tonnenkilometer (Scope 1) und 94 g CO₂ pro tkm (Scope 1 bis 3). Bei jeder Teilstrecke wurden länderspezifische Emissionsfaktoren berücksichtigt – je nach Flotten- und Cargo-Mix, Gewichtsauslastung sowie je nach Hauptlauf oder Verteilerverkehr. Alle Leerfahrtenanteile im DB-Schenker-Netz wurden ebenfalls berücksichtigt.

Beispielrechnung 2: Norwegen-Schweden

Transport im DB-Schenker-Landverkehrsnetz: Palette (500 kg, 1050 km) von Bergen (Norwegen) nach Halmstad (Schweden). Emissionen: 35 kg CO₂ (Scope 1) und 40 kg CO₂ (Scope 1 bis 3). Für die genannte Strecke ergibt sich laut DB Schenker ein spezifischer Emissionswert von 66 g CO₂ je tkm (Scope 1) beziehungsweise 76 g CO₂ je tkm (Scope 1 bis 3). Die Verkehre im skandinavischen LKW-Transportnetzwerk sind grundsätzlich emissionsärmer, da Lastwagen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 60 Tonnen eingesetzt werden können. Außerdem ist der Auslastungsgrad in Nordeuropa laut DB Schenker mit bis zu 80 Prozent Gewichtsauslastung höher.

Beispielrechnung 3: Außereuropäisch

Transport im DB-Schenker-Landverkehrsnetz außerhalb Europas (zum Beispiel Argentinien, China, Indien, Südafrika, Thailand und USA). Die 500-kg-Palette würde in diesen Ländern auf vergleichbaren Strecken zwischen 75 und 90 g CO₂ je tkm emittieren (Scope 1).

Emissionen von Immobilien

Die Ermittlung von Kohlendioxid-Emissionen in **Lager- und Umschlaganlagen** erscheint auf den ersten Blick recht einfach. Kompliziert wird es mit der **CO₂-Berechnung** aber spätestens beim Einsatz von grünem Strom.

Für jede Immobilie muss der Stromverbrauch individuell ermittelt werden

Die Ermittlung der Kohlendioxid-Emissionen für den Bereich Lager und Umschlag ist im Vergleich zu den Verkehrsträgern relativ einfach, da die Energieverbräuche nicht so sehr von Kapazitätsauslastungen, Gewichten, Entfernungen, Fahrwegen und Fahrzeugtypen abhängen. Stationäre Anlagen haben abhängig von der Nutzungsdauer recht konstante Energieverbräuche.

Da aber jede Lageranlage anders beschaffen ist, ist die Nutzung von durchschnittlichen Energieverbräuchen aus der Literatur nicht sinnvoll. So kann ein Logistikzentrum sowohl eine halbe Million als auch drei Millionen Kilowattstunden Strom im Jahr ver-

brauchen. Letztendlich hängt der jeweilige Energieverbrauch maßgeblich von der Anlagengröße, dem Automatisierungsgrad, der Wärmedämmung und der Energieeffizienz der eingesetzten Technik ab.

Um die CO₂-Emission einer Lager- und Umschlaganlage ermitteln zu können, müssen Energieverbräuche vor Ort gemessen werden. Der jährliche Stromverbrauch findet sich meistens in den Abrechnungen der Stromversorger. Schwieriger wird es, wenn nur ein Stromzähler für mehrere Gebäude und Anlagen im Einsatz ist. Dann muss separat gemessen und auf den Jahresverbrauch hochgerechnet werden. Solche Erhebungen können spezielle Dienstleister

SERIE CO₂-BERECHNUNG

Auf Wunsch vieler Leser haben wir die Serie „CO₂-Berechnung in der Logistik“ aus dem Jahr 2009 aktualisiert. Unterstützt wird dieses Spezial von DKV Euro Service.

- VR 51-52: LKW-Verkehre
- VR 1: Schienengüterverkehr
- VR 2: Binnenschifffahrt
- VR 3: Seeschifffahrt
- VR 4: Luftfracht
- VR 5: Paket- und Stückgutnetzwerke
- **VR 6: Lager und Umschlag**

Gazaley

Der Kohlendioxid-Fußabdruck eines Lagers wird vor allem durch den Stromverbrauch und durchs Heizen verursacht

mit entsprechenden Geräten vornehmen, deren Einsatz aber einiges kostet. Möglich ist auch, die Nennleistungen der Verbraucher zu addieren und so eine Aufteilung des Energieeinsatzes zu ermitteln.

Ein anderer Weg, an die Verbrauchswerte zu kommen, funktioniert über das gezielte An- und Ausschalten der Geräte und Anlagen – jeweils ein Blick auf den Hauptstromzähler zeigt dann den Energieeinsatz, der dann nur noch aufs Jahr hochgerechnet werden muss. Eine etwas umständliche Methode, die aber auch von namhaften Instituten angewandt wird.

Künftig könnte es leichter werden. Unter dem Stichwort „digitaler Strom“ werden derzeit Vorschaltgeräte entwickelt, die vor jeden Verbraucher im Lager gesetzt werden

Ermittlung des Stromverbrauchs durch An- und Ausschalten der Lagertechnik

können. Der Vorteil: Das Vorschaltgerät misst für jede Maschine und Anlage den Energieeinsatz und übermittelt diesen an die Datenzentrale.

Außerdem erlaubt der digitale Strom, jeden Verbraucher separat steuern zu können. Lampen und Anlagen in ungenutzten Lagerbereichen können so gezielt ausgeschaltet werden. Gebäudeleittechnik, die in modernen Großbauten wie Fußballstadien schon heute im Einsatz ist.

Für die Wärmeerzeugung werden in den meisten Lagern fossile Energieträger genutzt. Während bei Erdgas und Fernwärme die verbrauchte Energiemenge meistens auf der Jahresabrechnung zu finden ist, muss beim Heizöl der Jahresverbrauch durch manuelles Messen am Tank ermittelt werden.

Gabelstapler nicht vergessen

Nicht vergessen werden darf bei Klimabilanzen für Lager und Umschlag der Energieverbrauch von Flurförderzeugen. Während Elektrofahrzeuge bei der Gesamtstromverbrauchsmessung des Lagers berücksichtigt werden, sind die Verbräuche von Diesel- und Treibgasstaplern separat zu erfassen. Als Richtlinie zur Datenermittlung kann die VDI-Richtlinie 2198 herangezogen werden, mit der Energieverbräuche bei Staplern auf Basis von 60 Ladevorgängen (Arbeitsspiele) pro Stunde berechnet werden. Demnach liegt der Verbrauch eines modernen Staplers mit drei Tonnen Traglast bei etwa 2,7 Litern Diesel beziehungsweise 2,9 kg Treibgas. Bei älteren Geräten liegt der Verbrauch mit etwa 3,6 Litern Diesel und 3,2 kg Treibgas deutlich höher (ein mit Bat-

MITTELSPANNUNG

Um elektrische Energie möglichst verlustarm vom Kraftwerk zum Verbraucher zu befördern, werden verschiedene hohe Spannungen eingesetzt. Im europäischen Energieverbundnetz wird mit vier Spannungsebenen gearbeitet: Höchstspannung, Hochspannung, Mittelspannung und Niederspannung. Beim Vergleich der Kohlendioxid-Emissionen sollte immer die Spannungsebene angegeben werden. Denn je weiter Strom vom Kraftwerk ins Netz transportiert werden muss, desto höher die Stromverluste und desto höher die CO₂-Emission je Kilowattstunde. Der gewerbliche Bereich ist oftmals an der Mittelspannung angeschlossen. Die CO₂-Emissionen des Stroms auf dieser Ebene sind im Vergleich zum direkten Kraftwerksausgang aufgrund der geringen Stromverluste von etwa 1,5 Prozent nur leicht höher. Ein deutlicher Stromschwund und damit ungünstigere CO₂-Werte finden sich bei der Niederspannung. In Deutschland gehen auf dem Weg vom Kraftwerk zum privaten Endverbraucher ganze 7 Prozent verloren. In anderen Ländern sind es sogar bis zu 14 Prozent. *ak*

terien betriebener 3-Tonnen-Stapler braucht für 60 Arbeitsspiele pro Stunde 7,2 bis 7,7 Kilowattstunden Strom).

CO₂-Emissionen einfach ermitteln

Wurden alle Energiemessungen erfolgreich abgeschlossen, dann lassen sich die Treibhausgasemissionen gemäß Formel 1 ermitteln. Dazu ist der gemessene Energieeinsatz mit dem CO₂-Umrechnungsfaktor zu multiplizieren. 10.000 Liter Heizöl verursachen demnach gemäß Tabelle links unten das 3,146-Fache und damit 31,46 Tonnen CO₂. Die Kohlendioxid-Äquivalente (siehe Teil 1 der Serie) liegen mit dem 3,19-Fachen und damit 31,9 Tonnen nur leicht höher. Ähnliche Berechnungen lassen sich gemäß Formel 1 und Tabelle (Seite 36 unten) für andere Energieträger wie Erdgas oder Fernwärme anstellen.

Bei den Umrechnungsfaktoren wurden auch die Treibhausgasemissionen mit berücksichtigt, die bei der Gewinnung und Herstellung des Energieträgers entstehen. Nach Auffassung von führenden Umweltinstituten ist es nicht zulässig, nur die Direktmissionen zu erfassen, da diese dann auch nicht mit Stromverbräuchen vergleichbar wären.

Etwas komplizierter ist die Ermittlung der CO₂-Emissionen durch Verbrauch von Strom. Zwar ist auch hier gemäß Formel 1 nur der ermittelte Energieverbrauch mit dem CO₂-Umrechnungsfaktor zu multipli-

CO₂-FAKTOR STROM¹

Strommix 2008	Gramm CO ₂ je kWh	CO ₂ e	
		CO ₂	CO ₂ e
Deutschland	613,9	639,6	
Großbritannien	423,4	450,2	
Frankreich	92,9	98,2	
Italien	477,7	506,1	
Schweden	88,2	91,7	
Polen	902,9	947,6	
EU-27	420,8	443,3	
USA	648,8	676,6	
Brasilien	372,3	670,2	
Südafrika	940,8	1024,5	
China ²	770,8	905,2	
Indien ²	938,1	1015,1	

¹ Emission von Kohlendioxid (CO₂) und Kohlendioxid-Äquivalenten (CO₂e) je Kilowattstunde-Strom auf Mittelspannungsebene inklusive Vorproduktion gemäß Strommix der Länder bezogen auf Basisjahr 2008

² Basisjahr 2005

Quelle: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (Gemis), Version 4.5, Öko-Institut; Verkehrsrundschau

KOHLENDIOXID-UMRECHNUNGSFAKTOREN¹

in Gewicht CO ₂ bzw. CO ₂ e je Energieeinheit	CO ₂ -Faktor mit Vorproduktion	CO ₂ e-Faktor mit Vorproduktion
Heizöl	3,146 kg/Liter	3,190 kg/Liter
Erdgas	226,73 g/kWh	254,42 g/kWh
Fernwärme	228,80 g/kWh	243,80 g/kWh
Flüssiggas	1,89 kg/Liter	1,93 kg/Liter
Strom aus Wasserkraft²	10,00 g/kWh	10,40 g/kWh
Strom aus Windkraft²	22,73 g/kWh	23,84 g/kWh
Strom aus Fotovoltaik³	116,27 g/kWh	129,70 g/kWh
Strom aus Kernenergie⁴	30,61 g/kWh	32,22 g/kWh

¹ Die Werte in der Tabelle geben an, wie viel Gramm bzw. Kilogramm Kohlendioxid (CO₂) bzw. Kohlendioxid-Äquivalent (CO₂e) je verbrauchter Energieeinheit entsteht. Werte für Deutschland inklusive Emissionen der Energieherstellung (Vorproduktion), bei Strom auf Basis Mittelspannung; ² Spanne je nach Anlage; ³ bis 30 Gramm CO₂ je Kilowattstunde Strom; ⁴ Spanne 60 bis 130 g/kWh; ⁴ In Frankreich 8,0 bzw. 8,4 g/kWh aufgrund besserer Uranprozesskette; kWh = Kilowattstunde

Quelle: Öko-Institut, Verkehrsrundschau

CO₂-BERECHNUNGSFORMEL

Formel 1:

$$\text{CO}_2\text{-Emission} = \text{EV} \cdot \text{CO}_2\text{-Faktor} \left[\frac{\text{g CO}_2}{\text{Jahr}} \right]$$

EV = Energieverbrauch z. B. pro Jahr

zieren. Jedoch existieren eine Reihe von CO₂-Umrechnungsfaktoren. Diese ergeben sich zum einen aus dem jeweiligen Strommix eines Landes. Zur Stromerzeugung werden von Land zu Land unterschiedliche Energieträger und Kraftwerke eingesetzt, die ganz unterschiedliche CO₂-Emissionen verursachen.

Während die Stromgewinnung aus Wasserkraft, Wind, Sonne, aber auch Kernenergie inklusive Vorproduktion relativ wenige CO₂-Emissionen verursacht (siehe Tabelle Seite 36 unten), erzeugt die Stromproduktion mit Kohle oder Öl sowie der Einsatz von ineffizienten Kraftwerken viel mehr CO₂. Diese Unterschiede schlagen sich in den länderspezifischen CO₂-Stromumrechnungsfaktoren (siehe Tabelle Seite 36 Mitte) nieder, die den jeweiligen Strommix des Landes berücksichtigen.

So verursachte eine in Deutschland produzierte Kilowattstunde Strom durchschnittlich 613,9 Gramm CO₂. In Indien, wo Strom vor allem in veralteten Kohlekraftwerken gewonnen wird, beträgt der Wert 938,1 Gramm CO₂ je kWh. Diese Werte beziehen sich jeweils auf die sogenannte Mittelspannung (siehe Kasten Seite 24 oben).

Auch in Europa finden sich von Land zu Land sehr unterschiedliche Werte. Länder wie Norwegen, Österreich oder Frankreich weisen aufgrund des hohen Einsatzes von Wasserkraft beziehungsweise Atomkraft einen sehr niedrigen CO₂-Umrechnungsfaktor auf, während Polen aufgrund der hohen Kohleverstromung mehr als das Zehnfache an CO₂ je Kilowattstunde in die Luft bläst. Der EU-Durchschnitt von 420,8 Gramm CO₂ je Kilowattstunde ist deshalb ein Mittelwert mit deutlichen Varianzen. Diese Länderdaten werden von Jahr zu Jahr angepasst. Eine oft genutzte Datenquelle dazu ist die Gemis-Datenbank des Berliner Öko-Instituts.

Problemfall grüner Strom

Kompliziert wird die Berechnung der CO₂-Emissionen beim Einsatz von „grünem Strom“. So manches Unternehmen würde sich freuen, durch den Einkauf von grünem Strom ein klimaneutrales Lager mit null CO₂-Emissionen betreiben zu können. Doch dies ist aus mehreren Gründen sehr schwierig. Zum einen verursachen auch re-

CO₂-EMISSIONEN BEI GRÜNEM STROM**Beispielrechnung 1 (gemäß Strommix):**

CO₂-Emission für ein Lager in Deutschland; EV (Strom) = 1,2 Mio. kWh pro Jahr;
 CO₂-Umrechnungsfaktor (Strommix Deutschland) = 613,9 g/kWh (Gramm CO₂ je Kilowattstunde Stromverbrauch)

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 1.200.000 \cdot 613,9 = \mathbf{736,68 \frac{t \text{ CO}_2}{\text{Jahr}}}$$

Das Beispiellager verursacht bei der Nutzung von normalem Strom eine jährliche Kohlendioxid-Emission von 736,68 Tonnen

Beispielrechnung 2 (gemäß Kompromissvorschlag Öko-Institut):

CO₂-Emission für ein Lager in Deutschland; EV (Strom) = 1,2 Mio. kWh pro Jahr;
 CO₂-Umrechnungsfaktor = 315,2 g/kWh (Beispielwert gemäß Kompromiss-Formel Ökoinstitut;
 Regenerativer Strom aus 50 Prozent Wasserkraft und 50 Prozent Windkraft: 1/3 Neuanlagen maximal 6 Jahre, 1/3 neue Bestandsanlagen maximal 12 Jahre alt, 1/3 Altanlagen)

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 1.200.000 \cdot 315,2 = \mathbf{378,24 \frac{t \text{ CO}_2}{\text{Jahr}}}$$

Das Beispiellager verursacht bei Nutzung von zertifiziertem grünem Strom gemäß Öko-Institut-Kompromiss eine jährliche Kohlendioxid-Emission von 378,24 Tonnen

Beispielrechnung 3 (volle Anrechnung des grünen Stroms):

CO₂-Emission für ein Lager in Deutschland; EV (Strom) = 1,2 Mio. kWh pro Jahr;
 CO₂-Umrechnungsfaktor (100 Prozent grüner Strom) = 16,37 g/kWh (50 Prozent Wasserkraft und 50 Prozent Windkraft = (10,00 g/kWh + 22,73 g/kWh)/2 = 16,37 g/kWh)

$$\text{(Formel 1): CO}_2\text{-Emission} = 1.200.000 \cdot 16,37 = \mathbf{19,64 \frac{t \text{ CO}_2}{\text{Jahr}}}$$

Das Beispiellager verursacht bei voller Anrechnung der günstigen Emissionswerte von grünem Strom eine jährliche Kohlendioxid-Emission von 19,64 Tonnen

Der Traum von einem klimaneutralen Logistikzentrum

generative Energien wie Wasserkraft, Windenergie oder Fotovoltaik CO₂, da Umweltexperten bei der Berechnung alle Emissionen der Stromproduktion (zum Beispiel auch Herstellung, Aufbau und Betrieb von Solarzellen) mit berücksichtigen. Außerdem streiten sich die Umweltexperten darü-

ber, ob in einer Klimabilanz grüner Strom aus alten Wasser- und Windkraftwerken mit den niedrigen Emissionswerten berücksichtigt werden kann. Hier finden sich in den Nachhaltigkeitsberichten der Unternehmen derzeit recht unterschiedliche Vorgehensweisen (siehe Kasten unten).

Je nach Wahl der Methode ergeben sich für den Stromverbrauch in einem Lager dann auch ganz unterschiedliche CO₂-Emissionen (siehe Beispielrechnung 1 bis 3). ■■■

Andre Kranke

CO₂-EMISSIONEN VON GRÜNEM STROM

Als „grün“ wird Strom bezeichnet, der aus regenerativen Energiequellen oder aus umweltfreundlicher und effizienter Kraft-Wärme-Kopplung stammt. Er wird zum Beispiel gewonnen aus Sonne, Windkraft, Wasserkraft, Biomasse, Klärgas und Geothermie. Einige Unternehmen setzen in ihren Klimabilanzen für jeden verfügbaren Strom aus regenerativen Energiequellen nahezu null CO₂-Emissionen an. Dies wird von vielen Experten aber kritisch gesehen, da regenerativer Strom auch aus Altanlagen stammen kann, der ja schon beim allgemeinen Strommix berücksichtigt wurde. Durch den Kauf dieses Stroms könne kein CO₂ vermieden werden, so die Kritik. Andere Umweltexperten sind der

Meinung, dass es sogar gar keinen Extrawert für grünen Strom geben dürfe, sondern nur der allgemeine Strommix eines Landes anzusetzen ist. Die Umweltforschungsinstitute Öko-Institut, IFEU und Wuppertal Institut haben zu dieser Thematik vor zwei Jahren einen Kompromiss ausgearbeitet. Er sieht vor, dass regenerativer Strom aus Neuanlagen, die maximal sechs Jahre alt sind, voll emissionsmindernd berücksichtigt wird. Neuere Bestandsanlagen bis zu 12 Jahren werden zu 50 Prozent berücksichtigt. Für ältere Anlagen ist der normale Strommixwert des Landes anzusetzen. Diesem Ansatz folgt zum Beispiel der Einzelhändler Rewe in seiner Klimabilanz. ak