

Carbon Footprint – Teilgutachten

„Monitoring für den CO₂-Ausstoß in der Logistikkette“

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3709 45 139
UBA-FB 001582

Carbon Footprint – Teilgutachten

„Monitoring für den CO₂-Ausstoß in der Logistikkette“

von

Martin Schmied
Öko-Institut e.V., Berlin

Wolfram Knörr
IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH,
Heidelberg

in Kooperation mit
dem Deutschen Speditions- und Logistikverband (DSLTV)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4306.html> verfügbar. Hier finden Sie ein zweites Teilgutachten.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung
der Studie:

Öko-Institut e.V. – Büro Berlin
Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin

IFEU-Institut
Institut für Energie- und
Umweltforschung Heidelberg GmbH
Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg

Abschlussdatum:

November 2011

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion:

Fachgebiet I 3.1 Umwelt und Verkehr
Nadja Richter

Dessau-Roßlau, Juli 2012; 2., veränderte Fassung

Berichts-Kennblatt

| | | |
|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Berichtsnummer UBA-FB 001582 | 2. | 3. |
| 4. Titel des Berichts Carbon Footprint - Teilgutachten „Monitoring für den CO ₂ -Ausstoß in der Logistikkette“ | | |
| 5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Martin Schmied, Öko-Institut e.V. Wolfram Knörr, IFEU-Institut | 8. Abschlussdatum 11-2011 | 9. Veröffentlichungsdatum 07-2012 |
| 6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Öko-Institut e.V. - Büro Berlin Schicklerstraße 5-7 D-10179 Berlin | 10. UFOPLAN-Nr. 3709 45 139 | 11. Seitenzahl 69 |
| | 12. Literaturangaben 20 | 13. Tabellen und Diagramme 20 |
| | 14. Abbildungen 7 | |
| 7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau | | |
| 15. Zusätzliche Angaben | | |
| 16. Kurzfassung Ziel des Forschungsvorhabens war, eine einheitliche Methode zur Berechnung der Treibhausgasemissionen von Logistikketten zu erstellen und diese Methode in die Entwicklung der europäischen CEN-Norm EN 16258 mit einzubringen. In der Zwischenzeit liegt der Entwurf der Norm mit dem Titel „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen“ (prEN 16258) vor. Damit Spediteure und Logistiker leichter diese Normentwurf anwenden können, wurde zusätzlich hierzu ein Leitfaden erstellt, der vom Deutschen Speditions- und Logistikverband (DSLVL) veröffentlicht wurde. | | |
| 17. Schlagwörter Carbon Footprint, CO ₂ -Emissionen, Treibhausgasemissionen, Logistik, Transportdienstleistungen, DIN EN 16258 | | |
| 18. Preis | 19. | 20. |

Report Cover Sheet

| | | |
|---|-----|-------------------------------------|
| 1. Report No. UBA-FB 001582 | 2. | 3. |
| 4. Report Title Carbon footprinting - Monitoring CO ₂ emissions along the logistics chain | | |
| 5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Martin Schmied, Öko-Institut e.V. Wolfram Knörr, IFEU-Institut | | 8. Report Date 11-2011 |
| 6. Performing Organisation (Name, Address) Öko-Institut e.V. - Büro Berlin Schicklerstraße 5-7 D-10179 Berlin | | 9. Publication Date 07-2012 |
| | | 10. UFOPLAN-Ref. No. 3709 45 139 |
| | | 11. No. of Pages 69 |
| | | 12. No. of Reference 20 |
| 7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau | | 13. No. of Tables, Diagrams 20 |
| | | 14. No. of Figures 7 |
| | | 15. Supplementary Notes |
| 16. Abstract The aim of the project was to develop a standardized methodology to calculate GHG emissions along the logistics chain and to incorporate this methodology in the development of the european CEN standard prEN 16258. Meanwhile a draft standard - entitled "Methodology for calculation and declaration on energy consumptions and GHG emissions in transport services" is existing. To simplify the usage of the draft standard prEN 16258 for freight forwarders and logistics operators, guidelines/ a manual was developed in addition, which are published and distributed by the Association of German Freight Forwarders and Logistics Operators (Deutscher Speditions- und Logistikverband - DSLV). | | |
| 17. Keywords Carbon footprinting, CO ₂ emissions, greenhouse gas emissions, logistics, transport services, EN 16258 | | |
| 18. Price | 19. | 20. |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|----------------------------|-----|
| Abbildungsverzeichnis..... | I |
| Tabellenverzeichnis..... | III |
| Abkürzungen | IV |

| | |
|-------------------------------------|---|
| 0 Ziel des Forschungsvorhabens..... | 1 |
|-------------------------------------|---|

TEIL I: Erarbeitung einer einheitlichen Berechnungsmethode

| | |
|--|----|
| 1 Standardisierungs- und Harmonisierungsbedarf bei der Berechnung von Treibhausgasemission in der Logistik | 3 |
| 2 Erarbeitung von Lösungsvorschlägen unter Einbindung der Akteure der Logistikbranche..... | 7 |
| 2.1 Prinzipielles Vorgehen..... | 7 |
| 2.2 CEN-Normenausschuss | 7 |
| 2.3 DIN-Normenausschuss..... | 9 |
| 3 Entwicklung eines praxistauglichen Vorschlages für eine einheitliche Berechnungsmethode | 10 |

TEIL II: Leitfaden „Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik: Begriffe, Methoden. Beispiele“

| | |
|---|----|
| 1 Vorbemerkung zum Leitfaden..... | 12 |
| 2 Leitfaden zum Leitfaden | 13 |
| 3 Klimaschutz und Klimabilanzen in der Logistik..... | 18 |
| 4 Bevor es los geht – die wichtigsten Grundlagen..... | 21 |
| 5 Standards und Normen – welcher Rahmen existiert?..... | 24 |
| 6 Der Weg zu standardisierten Verbrauchswerten und Emissionen | 29 |
| 7 Allokation: Verbrauch und Emissionen der Einzelsendung..... | 36 |

| | | |
|----|--|----|
| 8 | Berechnungsmethoden für Transporte – zwei Wege, ein Ziel | 39 |
| 9 | Messung des Energieverbrauchs – aber wie?..... | 42 |
| 10 | Ohne Verbrauchsdaten schnell ans Ziel | 44 |
| 11 | Entfernungsbasierte Berechnungen im Detail..... | 54 |
| 12 | Berechnungen für Gebäude, Lager und Umschlag | 58 |
| 13 | Ergebnisse – und nun?..... | 64 |
| 14 | Informationen – die weiterhelfen..... | 66 |
| 15 | Quellenverzeichnis..... | 68 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1: Methodische Grundlagen für Corporate und Product Carbon Footprinting [Darstellung des Öko-Institutes] | 4 |
| Abb. 2: Vergleich der publizierten THG-Emissionen von DB Schenker und Deutsche Post DHL für das Jahr 2008 [DP 2009, DB Schenker 2009]..... | 6 |
| Abb. 3: Aktueller Zeitplan zur Entwicklung der CEN-Norm „Energy consumption and GHG emissions in relation to transport services“ [Darstellung von Afnor] | 8 |
| Abb. 4: Funktion des deutschen Spiegelausschusses des DIN zur Begleitung der Arbeiten des CEN-Normenausschusses [Darstellung des Öko-Institutes] | 9 |
| Abb. 5: Verschiedene Möglichkeiten zur Berechnung der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) pro Einzelsendung nach dem CEN-Normentwurf prEN 16258 [Darstellung des Öko-Institutes] | 11 |
| Abb. 6: Wo finden Sie was im Leitfaden [eigene Darstellung]..... | 15 |
| Abb. 7: Beispiel für eine Allokation einer Sammel- und Verteilerfahrt [eigene Darstellung]..... | 39 |

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Global Warming Potential (GWP) für ausgewählte Treibhausgase22

Tab. 2: Vergleich aktueller Normen und Standards24

Tab. 3: Zuordnung einzelner umweltrelevanter Bereiche zu Scope 1 bis 3 des GHG Protocol.....25

Tab. 4: Kennzahlen für die Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen (berechnet als CO₂-Äquivalente) bezogen auf den Kraftstoffverbrauch.....31

Tab. 5: Beimischungsanteil von Biodiesel (energetisch und volumetrisch) sowie die sich daraus ergebenden Energie- und THG-Umrechnungsfaktoren.....34

Tab. 6: Emissionsfaktoren ausgewählter Kältemittel.....35

Tab. 7: Containergewicht für verschiedene Gutarten45

Tab. 8: Annahmen für vier Lkw-Klassen.....46

Tab. 9: Korrekturfaktoren für den Verbrauch auf Innerortsstraßen.....46

Tab. 10: Spezifischer Energieverbrauch E pro tkm bzw. TEU-km für den Lkw-Verkehr.....47

Tab. 11: Spezifischer Energieverbrauch E pro tkm bzw. TEU-km für Güterzüge mit Elektro- und Dieseltraktion.....49

Tab. 12: Spezifischer Energieverbrauch E (Diesel) pro tkm bzw. TEU-km verschiedener Binnenschiffsklassen (Durchschnitt Berg, Tal- und Kanalfahrt).....50

Tab. 13: Spezifischer Energieverbrauch E (schweres Heizöl, RFO) pro tkm bzw. TEU-km verschiedener Schiffsklassen51

Tab. 14: Spezifischer Energieverbrauch E von ausgewählten Flugzeugtypen in kg Kerosin pro tkm in Abhängigkeit der Flugstrecke (nur Volumengüter).....53

Tab. 15: Parameter A, B und C für in Deutschland und Europa typische Lkw.....56

Tab. 16: Kennzahlen für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen des stationären Bereichs.....60

Tab. 17: Kennzahlen für Berechnung der Treibhausgasemissionen für Kältemittelverluste62

Tab. 18: Dezimalfaktoren66

Tab. 19: Energieumrechnungen (Endenergie).....66

Tab. 20: Kennzahlen für die Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen für Bahnstrom und Strom aus dem nationalen Netz67

Abkürzungen

| | |
|-----------------|--|
| BME | Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik |
| CEN | Comité Européen de Normalisation |
| CO ₂ | Kohlendioxid |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| DSLVL | Deutscher Speditions- und Logistikverband |
| EcoTransIT | Ecological Transport Information Tool |
| EU | Europäische Union |
| GHG | Greenhouse Gas (Treibhausgas) |
| GWP | Global Warming Potential |
| IPCC | International Panel on Climate Change |
| ISO | International Organization for Standardization |
| kWh | Kilowattstunde |
| Lkw | Lastkraftwagen |
| Mill. | Millionen |
| RFI | Radiative Forcing Index |
| t | Tonne |
| TEU | TEU |
| THG | Treibhausgase |
| TREMOT | Transport Emission Estimation Model |
| TU | Technische Universität |
| UBA | Umweltbundesamt |
| WBCSD | World Business Council for Sustainable Development |
| WRI | World Resources Institute |

0 Ziel des Forschungsvorhabens

Das F&E-Vorhaben „Carbon Footprint – Monitoring für den CO₂-Ausstoß in der Logistikkette und Abbau von Hemmnissen zur Emissionsminderung (FKZ: 3709 45 139)“, das das Öko-Institut gemeinsam mit dem IFEU-Institut und dem Institut für Transportlogistik der Technischen Universität Dortmund (früher: Lehrstuhl für Verkehrssysteme und -logistik) im Auftrag des Umweltbundesamtes durchführt, besteht aus drei Projektbausteinen (siehe Angebot vom 2.7.2009):

1. Erarbeitung einer einheitlichen Methodik zur Berechnung der Treibhausgasemissionen von Logistikprozessen (Arbeitspaket 1);
2. Durchführung einer Nutzerbefragung zur Identifikation von Hemmnissen zur Emissionsminderung bei Logistikprozessen insbesondere unter Berücksichtigung der stärkeren Verlagerung von Gütertransporten von der Straße auf die Schiene und das Schiff (Arbeitspaket 2);
3. Begleitende Öffentlichkeitsarbeit zu den Arbeiten in AP 1 und AP 2 (Arbeitspaket 3).

Der vorliegende Endbericht bezieht sich auf den Teilbereich „Carbon Footprint – Monitoring für den CO₂-Ausstoß in der Logistikkette“ und damit auf die Arbeitspakete 1 und 3. Die Arbeiten für diesen Teilbereich wurden vom Öko-Institut und vom IFEU-Institut durchgeführt. Für diesen Teil des Forschungsvorhabens wurde eng mit dem Kooperationspartner Deutscher Speditions- und Logistikverband (DSL) zusammengearbeitet. Der Teilbereich Carbon Footprint – Abbau von Hemmnissen zur Emissionsminderung“, der die Arbeiten zum Arbeitspaket 2 umfasst, wurde vom Institut für Transportlogistik der TU Dortmund durchgeführt. Für diesen Projektteil liegt dem Umweltbundesamt ein separater Endbericht vor.

Im Teilbereich „Carbon Footprint – Monitoring für den CO₂-Ausstoß in der Logistikkette und Abbau von Hemmnissen zur Emissionsminderung“ geht es darum, Empfehlungen für eine einheitliche Berechnungsmethode zu erarbeiten. Die Arbeiten sind dabei in drei Arbeitsschritte gegliedert:

- Identifikation von Standardisierungs- und Harmonisierungsbedarf;
- Erarbeitung von Lösungsvorschlägen unter Einbindung der Akteure der Logistikbranche;
- Entwicklung eines praxistauglichen Vorschlages für eine einheitliche Berechnungsmethode.

Grundsätzlich sollten die Vorschläge, die im Rahmen dieses F&E-Vorhabens erarbeitet werden, in den europäischen Normierungsprozess eingespeist werden, da derzeit vom Europäischen Komitee für Normung (Abk. CEN, frz.: Comité Européen de Normalisation) ein Standard zur Berechnung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen entwickelt wird (Arbeitstitel der CEN-Norm: „Energy consumption and GHG emissions in relation to transport services“). Darüber hinaus sollten aus dem Projekt heraus Empfehlungen für Logistiker erarbeitet werden, wie Treibhausgasemissionen berechnet werden sollen. Hierzu sollte ein Leitfaden zur Berechnung von Treibhausgasemissionen in der Logistik erstellt werden.

Im **Teil I „Erarbeitung einer einheitlichen Berechnungsmethode und Öffentlichkeitsarbeit“** des vorliegenden Forschungsberichtes wird der Standardisierungs- und Harmonisierungsbedarf kurz skizziert und das Vorgehen bei der Erarbeitung der Empfehlungen vorgestellt. Es wird in diesem Zusammenhang auch auf die Mitarbeit im CEN-Normenausschuss sowie auf die Mitarbeit im in Deutschland zur CEN-Norm eingerichteten DIN-Normenausschuss eingegangen.

Im **Teil II Leitfaden „Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik: Begriffe, Methoden. Beispiele“** wird der im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelte Leitfaden vorgestellt. Der Leitfaden wurde in Kooperation mit dem DSLV veröffentlicht und richtet sich an Logistikunternehmen, die die Treibhausgasemissionen für ihre Transporte berechnen wollen.

TEIL I: Erarbeitung einer einheitlichen Berechnungsmethode

1 Standardisierungs- und Harmonisierungsbedarf bei der Berechnung von Treibhausgasemission in der Logistik

Bei der Berechnung von Treibhausgasemissionen (im Folgenden: THG-Emissionen) in der Logistik können in der Regel zwei Fälle unterschieden werden:

- Fall 1: Ein Logistikunternehmen will für sein Gesamtunternehmen die THG-Emissionen berechnen, um auf dieser Basis Klimaschutzmaßnahmen zielgerichtet ergreifen zu können. In diesem Fall spricht man von sogenannten Unternehmensklimabilanzen bzw. vom Corporate Carbon Footprinting.
- Fall 2: Ein Logistikunternehmen möchte eine THG-Bilanzierung einzelner Transporte zum Beispiel für einen ausgewählten Kunden durchführen. Die Berechnungen einzelner Transporte können auch als Teil einer Klimabilanz für ein einzelnes Produkt notwendig werden – in diesem Fall spricht man von Product Carbon Footprinting.

Für beide Fälle sind bereits verschiedene Standards und Normen verfügbar, die vorschreiben, wie die Umweltauswirkungen und damit die THG-Emissionen bilanziert werden sollten bzw. müssen (siehe unten stehendes Bild). Die methodischen Anforderungen an Unternehmensklimabilanzen werden durch die ISO-Norm 14064-1 “Greenhouse Gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of GHG emissions and removals” oder den „Corporate Accounting and Reporting Standard“ des Greenhouse Gas (GHG) Protocols [WBCSD/WRI 2004] festgelegt, wobei sich beide Standards inhaltlich in großen Teilen ähneln. Das GHG Protocol ist ein von vielen Unternehmen verwendeter Standard, der unter Federführung des World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) und des World Resources Institute (WRI) entwickelt wurde. Im Unterschied zur ISO-Norm kann man sich die Einhaltung des GHG Protocol jedoch nicht durch einen externen Gutachter verifizieren lassen. Das GHG Protocol stellt aber vertiefende Methodenpapiere bereit, die für einzelne Bereiche (z. B. mobile Quellen) beschreiben, wie die THG-Emissionen konkret berechnet werden sollen (siehe z. B. [WBCSD/WRI 2005]).

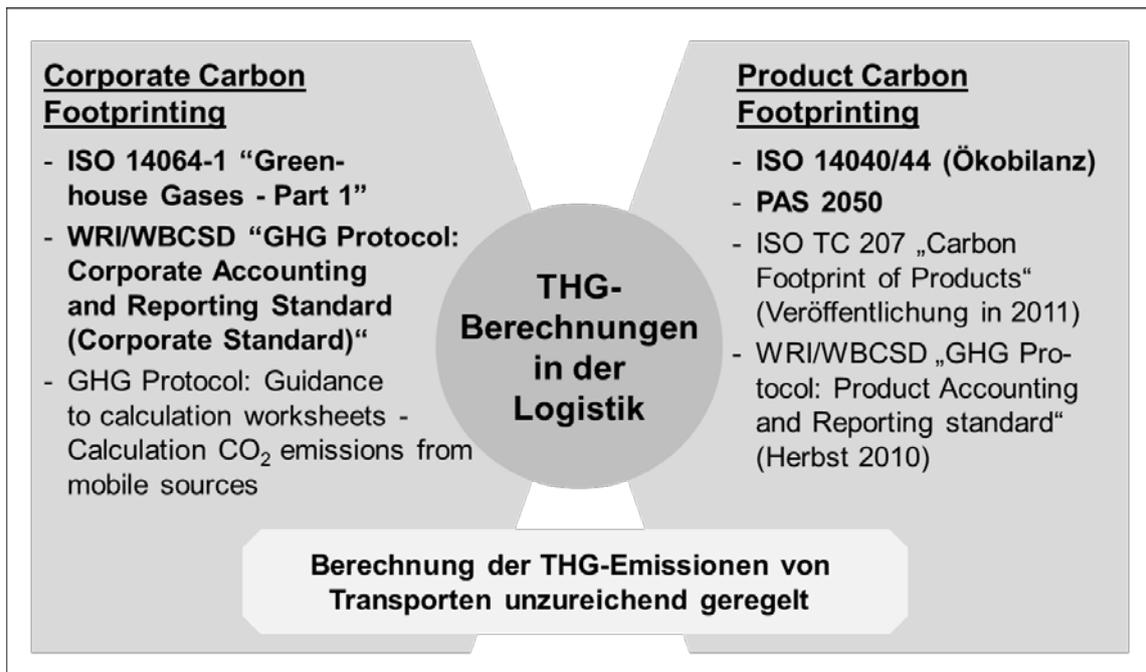


Abb. 1: Methodische Grundlagen für Corporate und Product Carbon Footprinting [Darstellung des Öko-Institutes]

Auf der Seite des Product Carbon Footprintings liegen derzeit lediglich mit dem britischen Vorstandard „PAS 2050 – Assessing the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services“ Regeln vor, wie die THG-Emissionen von Produkten und damit auch von Transporten in der Wertschöpfungskette berechnet werden sollen. Dieser Standard ist aber für Deutschland nicht verbindlich. Weiterhin ist für diesen Bereich als Orientierung auch der Ökobilanz-Standard ISO 14040 dienlich. Da aber für den Bereich Product Carbon Footprinting derzeit keine konkreten Standards vorliegen, wird sowohl auf ISO-Ebene (ISO = International Organization for Standardization) als auch im Rahmen des GHG-Protocols daran gearbeitet, verbindliche Standards für die Erstellung entsprechender Produktbilanzen zu erstellen.

Weder die Standards auf Unternehmensebene noch auf Produktebene machen jedoch Vorgaben, wie Transporte konkret berechnet werden müssen. Dies ist unter anderem der Grund, weshalb die Entwicklung einer europäischen Norm zur Berechnung von Energieverbrauch und THG-Emissionen von Transportdienstleistungen initiiert wurde. Konkret soll diese Norm neben den Formeln für die Berechnung vor allem Festlegungen zu Punkten enthalten, die derzeit von den vorliegenden bzw. in der Entwicklung befindlichen Standards und Normen nicht geregelt werden und damit den Akteuren verschiedene Auslegungen ermöglichen. Basierend auf Erfahrungen mit der Erstellung von bisherigen Produkt- und Unternehmensklimabilanzen (z. B. DHL, DB Schenker, REWE, EcoTransIT) sowie auf Literaturrecherchen, haben das Öko-Institut und das IFEU-Institut folgende Punkte identifiziert, die derzeit in den Standards unzureichend geregelt sind und für die daher ein Harmonisierungs- und Standardisierungsbedarf besteht:

- Berechnungsverfahren für die Sammel- und Verteilerverkehre bei Lkw-Verkehren (z. B. bei Stückgutverkehren);

- einheitliche Berücksichtigung von Lkw-Leerfahrten;
- standardisierte Emissionsfaktoren für Biokraftstoffe;
- Regeln zur einheitlichen Berechnung der Entfernungen im Luft- und Seeverkehr (häufig wird im Luftverkehr die Großkreisentfernung verwendet, die mit einem Umwegfaktor versehen werden muss);
- standardisierte Emissionsfaktoren für Seeverkehre und Luftverkehr (diese liegen derzeit nicht vor);
- Allokationsregeln zur Aufteilung der Emissionen auf einzelne Sendungen (derzeit üblich über Gewicht, es sollen auch Fläche und Anzahl zugelassen werden);
- Allokationsregeln bei Verkehrsmitteln, die sowohl für den Passagier- als auch für den Güterverkehr eingesetzt werden;
- Verwendung von Real- statt Frachtgewichten (gerade bei Logistikdienstleistungen sind oftmals nur die Frachtgewichte bekannt, die aber keine direkten Rückschlüsse auf Realgewichte zulassen);
- Einbezug von Umschlags- und Lagerprozessen;
- Bewertung von Öko-Strom („Grünem Strom“) und die Eigenerzeugung von regenerativem Strom;
- Berücksichtigung von Kompensationsprojekten.

Weiterhin lassen derzeitige Standards offen, inwieweit bei der Bilanzierung der THG-Emissionen von Transporten die Emissionen durch die Gewinnung und Bereitstellung der Kraftstoffe mit einbezogen werden müssen oder nicht. Einige Logistiker berücksichtigen diese indirekten Emissionen (z. B. DB Schenker; siehe Bild 14), andere Logistiker konzentrieren sich ausschließlich auf die direkten Emissionen, zum Teil sogar ausschließlich auf die CO₂-Emissionen (z. B. Deutsche Post DHL). Da beispielsweise für Dieselkraftstoffe die Gesamt-THG-Emissionen inklusive Kraftstoffvorketten um rund 15 % höher liegen als die direkten THG-Emissionen, führt eine unterschiedliche Handhabung der Vorkette zu nicht vergleichbaren Ergebnissen. Im Fall von DHL muss davon ausgegangen werden, dass der Corporate Carbon Footprint mindestens um rund 10-15 % höher ausfiele, wenn die Energievorketten für Lkw, Flugzeug und Schiff einbezogen würden – dies entspräche dann mehr als 3 Mill. t CO₂-Äquivalenten, was wiederum rund 20 % der THG-Emissionen von DB Schenker im Jahr 2008 entspricht (siehe Abb. 2)!

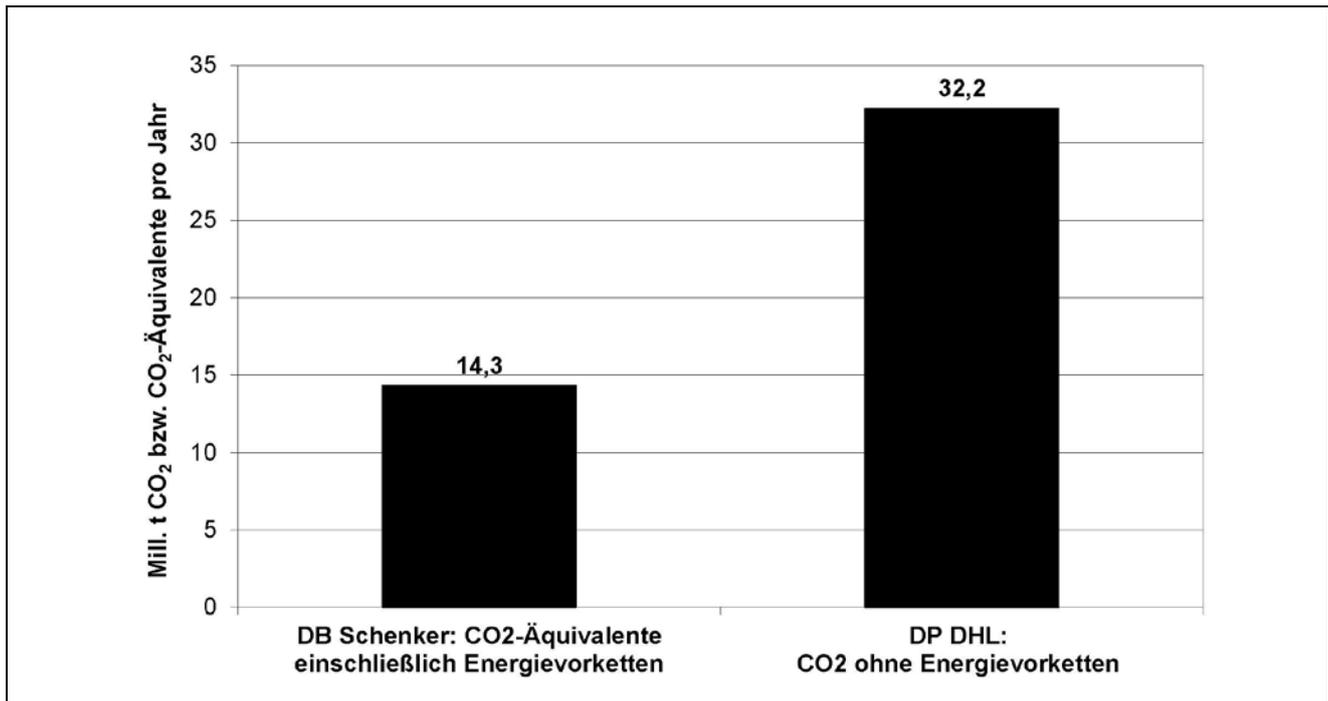


Abb. 2: Vergleich der publizierten THG-Emissionen von DB Schenker und Deutsche Post DHL für das Jahr 2008 [DP 2009, DB Schenker 2009]

Transportemissionen können bei Unternehmensbilanzen zudem kraftstoffbasiert oder entfernungsbasiert berechnet werden. Bei der kraftstoffbasierten Methode werden die Treibhausgase auf Basis des Jahresverbrauchs an Kraftstoffen sowie kraftstoffspezifischen Emissionsfaktoren ermittelt. Diese Vorgehensweise ist mit Abstand die genaueste Art der Berechnung der Emissionen, setzt aber voraus, dass die Logistikunternehmen die Kraftstoffverbräuche für alle ihre Transporte kennen. Dies mag für kleinere Unternehmen noch zutreffen, ist für große Logistikunternehmen, die mit vielen Subunternehmern zusammenarbeiten, schon schwierig und für eingekaufte Flug- und Schiffstransporte gänzlich unmöglich. Für diese Fälle eignet sich nur der entfernungsbasierte Ansatz. Dabei werden Angaben zu Jahresfahrleistungen der Fahrzeuge und Schiffe bzw. Angaben zu den jährlichen Tonnenkilometern mit passenden Emissionsfaktoren verknüpft. Letztere geben für alle Verkehrsmittel an, wie viel Treibhausgase pro zurückgelegtem Kilometer oder Tonnenkilometer in die Umwelt gelangen. Entsprechende Werte können aus offiziellen Datenbanken wie TREMOD für Deutschland oder TREMOVE für die EU oder aus frei zugänglichen Rechentools wie EcoTransIT World entnommen werden. Bisher nicht standardisiert ist aber die Frage, inwieweit überhaupt solche generischen, aus Umwelt- und Emissionsdatenbanken stammenden Daten für die Berechnung von Gütertransporten zugelassen werden sollen. Manche europäische Länder (z. B. Frankreich) würden im Idealfall nur auf gemessenen Kraftstoffverbrauchsdaten basierende Berechnungen zulassen.

2 Erarbeitung von Lösungsvorschlägen unter Einbindung der Akteure der Logistikbranche

2.1 Prinzipielles Vorgehen

Aufbauend auf der Hemmnisanalyse wurden Lösungsvorschläge zu den einzelnen Themen erarbeitet, die zum einen mit dem Kooperationspartner Deutscher Speditions- und Logistikverband (DSLTV) sowie mit einzelnen Unternehmen (z.B. DB Schenker) auf Praxistauglichkeit hin geprüft wurden. Die erarbeiteten Lösungsvorschläge wurden bereits im Zwischenbericht vom Juni 2010 zum F&E-Vorhaben vorgestellt.

Diese Vorschläge wurden vom Öko-Institut und vom IFEU-Institut in den Prozess zur Erstellung der Norm „Energy consumption and GHG emissions in relation to transport services“, einerseits über die Mitarbeit im CEN-Normenausschuss, zum anderen über die Mitarbeit beim deutschen Spiegelgremium beim DIN eingespeist. Viele der erarbeiteten Vorschläge sind in den CEN-Normentwurf „Methodology for calculation and declaration on energy consumptions and GHG emissions in transport services (good and passengers transport)“ (prEN 16258), der am 1. April 2011 veröffentlicht wurde, eingeflossen. Eine genaue Aufarbeitung, welche Vorschläge in welcher Form exakt aufgegriffen wurden, ist allerdings nicht zielführend. Der vorliegende Entwurf deckt sich in großen Teilen mit dem, was Öko-Institut und IFEU-Institut sich erwartet haben. Die Rückmeldung der Branche auf den CEN-Normentwurf war durchweg positiv. Daher wurde auf dieser Basis auch ein Leitfaden für die deutsche Logistikbranche erstellt, wie Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen berechnet werden müssen (siehe Teil II).

2.2 CEN-Normenausschuss

Die Norm zur Berechnung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) für Transporte („Energy consumption and GHG emissions in relation to transport services“) wird von der Arbeitsgruppe CEN/TC 320/WG 10 unter der Leitung der Association Francaise de Normalisation (AFNOR) entwickelt. Ziel der Norm ist es, eine Methode zur Berechnung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen im Personen- und Güterverkehr zu entwickeln. Hierzu sollen Vorgaben zu den Systemgrenzen, zu den Berechnungsmethoden (Formeln) sowie zu Allokationsverfahren gemacht werden. Darüber hinaus sollen Anforderungen an das Reporting und damit an die Verwendung der Rechenergebnisse gemacht werden.

Der Normierungsprozess ist dabei, wie grundsätzlich bei CEN, in zwei Phasen gegliedert (siehe Abb. 3). In der ersten Phase wird ein Normentwurf erarbeitet, der dann in der zweiten Phase europaweit von allen betroffenen Akteuren im Rahmen einer öffentlichen Umfrage kommentiert werden kann. Unter Berücksichtigung der Kommentare wird dann in der zweiten Phase die endgültige Norm erarbeitet. Ursprünglich war geplant, dass der Normentwurf im Frühjahr 2010 vorgelegt wird. Letztendlich wurde der Normentwurf im April 2010 veröffentlicht. Der in Abb. 3 dargestellte Zeitplan wurde daher in der Zwischenzeit um rund 2 Monate verschoben.

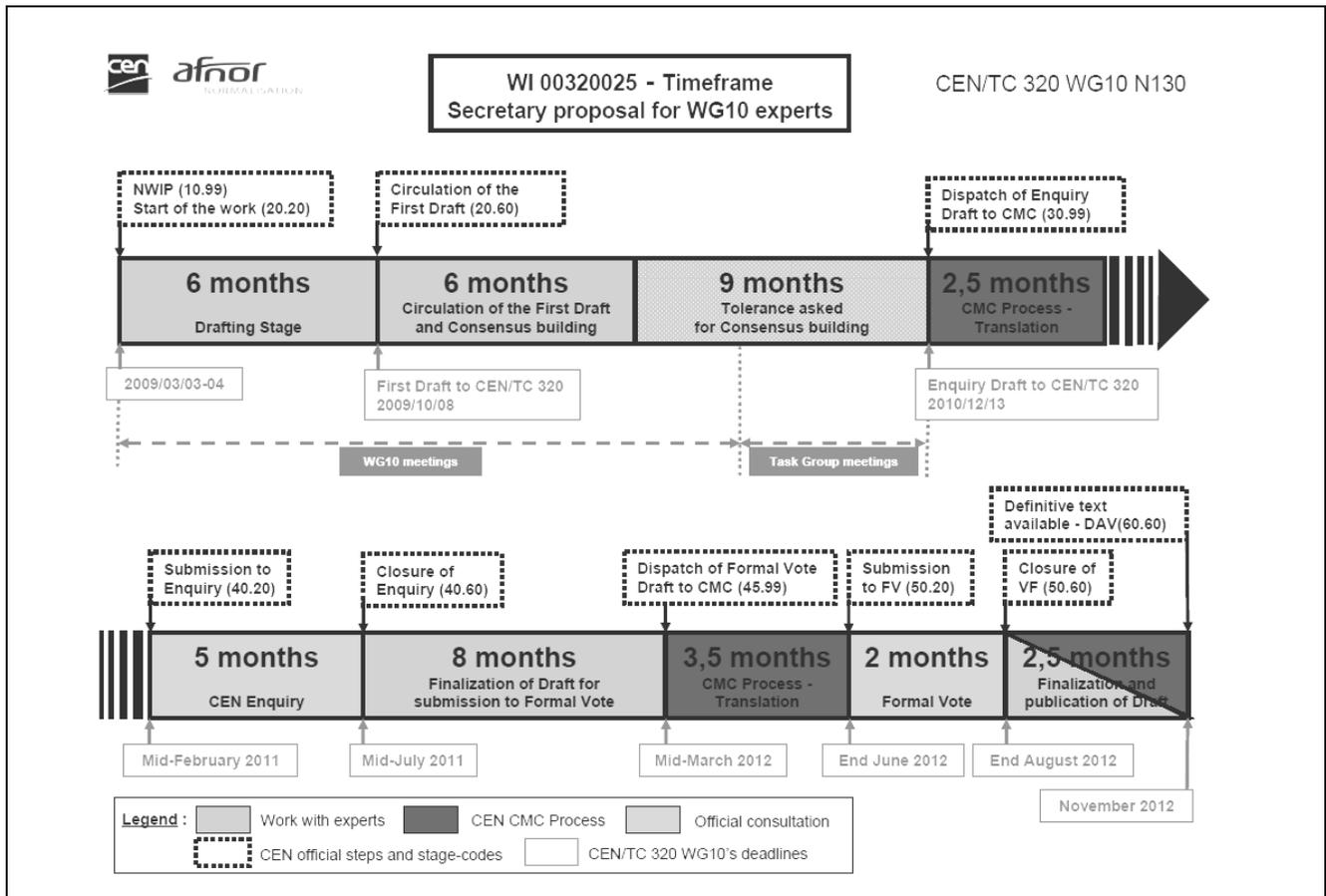


Abb. 3: Aktueller Zeitplan zur Entwicklung der CEN-Norm „Energy consumption and GHG emissions in relation to transport services“ [Darstellung von Afnor]

Der CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 konnte europaweit von der interessierten Fachöffentlichkeit fünf Monate lang kommentiert werden. Es sind insgesamt über 300 verschiedene Kommentare eingegangen, die teilweise ggf. nochmals Änderungen des Normenentwurfes bedingen. CEN prüft nun, welche der Kommentare übernommen werden sollen. Der Umgang mit den Kommentaren wird in dem deutschen Spiegelausschuss zur CEN-Norm sowie im europäischen Normenausschuss bis März 2012 diskutiert. Im europäischen CEN-Normenausschuss wird letztendlich darüber entschieden, welche der Änderungen angenommen werden sollen.

2.3 DIN-Normenausschuss

Um die Arbeiten des CEN-Normenausschusses von deutscher Seite zu begleiten, wurde beim Deutschen Institut für Normung (DIN) der Spiegelausschuss NA 159-01-13 AA „Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit Transportdienstleistungen (Personen- und Güterverkehr)“ eingerichtet (siehe Abb. 4). Der Spiegelausschuss diskutiert die Vorversionen zum Normentwurf, kommentiert diese und entsendet deutsche Experten zu den CEN-Sitzungen, um die deutschen Positionen dort zu vertreten.

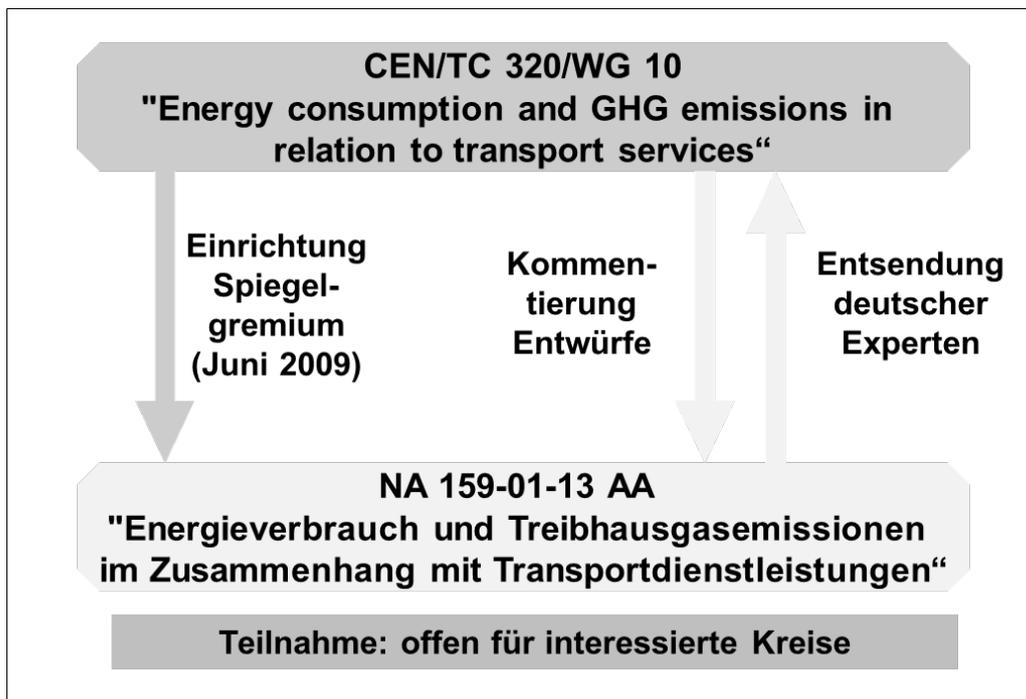


Abb. 4: Funktion des deutschen Spiegelausschusses des DIN zur Begleitung der Arbeiten des CEN-Normenausschusses [Darstellung des Öko-Institutes]

3 Entwicklung eines praxistauglichen Vorschlages für eine einheitliche Berechnungsmethode

Wie bereits ausgeführt, sind viele Vorschläge des Öko-Instituts und des IFEU-Instituts in die Entwicklung des neuen CEN-Standards mit dem Titel „Methode zur Berechnung und Deklaration von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen“ (prEN 16258) eingeflossen. Grundsätzlich stellt daher der Entwurf des CEN-Standards eine Berechnungsmethode dar, die auch vom Öko-Institut und dem IFEU-Institut in dieser Form als sinnvoll erachtet wird. Auch viele Unternehmen aus der Logistikbranche haben sich seit Veröffentlichung des CEN-Normentwurfs diesen ausdrücklich gelobt und sehen damit ein gute Grundlage zur Berechnung der Treibhausgasemissionen in ihrer Branche.

Nichtsdestotrotz ist es gerade für kleine und mittlere Logistikunternehmen schwierig, den Normentwurf leicht in der Praxis anzuwenden, da viele benötigte Daten zur Berechnung nicht in der Norm selbst enthalten sind, sondern aus anderen Datenquellen (z.B. Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs) beschafft werden müssen. Zudem lässt der CEN-Normentwurf an einigen Stellen bewusst dem Anwender der Norm Handlungsspielraum, wie konkret gerechnet wird. Ein Beispiel ist die Aufteilung der Emissionen eines Fahrzeugs (z.B. Lkw, Flugzeugs) auf die einzelne Sendung (auch als Allokation bezeichnet). Dies sollte nach dem Normentwurf über die zurückgelegten Tonnenkilometer der Sendungen erfolgen, es dürfen aber auch andere Größen verwendet werden, wenn diese benannt werden (z. B. Paletten-Kilometer oder TEU-Kilometer; siehe Abb.5). Grundsätzlich führt diese unterschiedlichen Arten zu verschiedenen Ergebnisse pro Sendung. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass dem Anwender der Norm (z.B. verladendes Unternehmen) dies bewusst ist und dementsprechend selbst Vorgaben macht, wie er die Emissionen genau berechnet haben möchte.

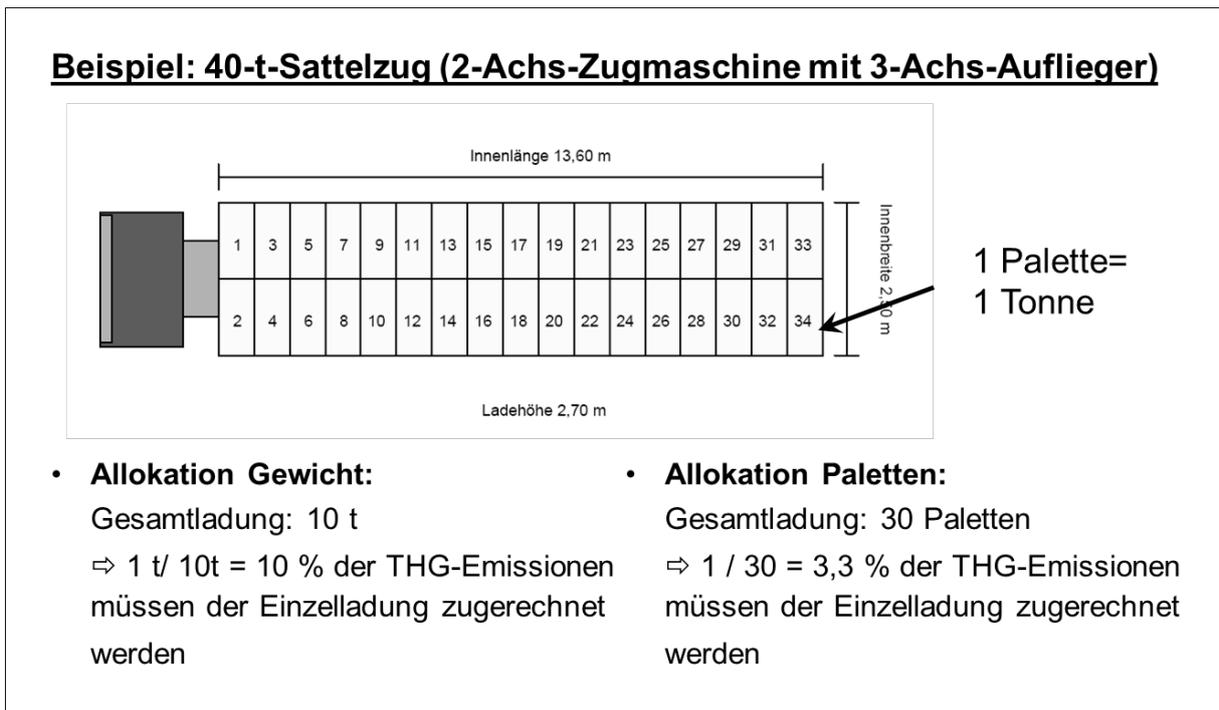


Abb. 5: Verschiedene Möglichkeiten zur Berechnung der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) pro Einzelsendung nach dem CEN-Normentwurf prEN 16258 [Darstellung des Öko-Institutes]

Weiterhin sind in dem CEN-Normentwurf prEN 16258 lediglich Berechnungsmethoden für Transporte enthalten. Lagerhaltung und der Umschlag sind explizit ausgeklammert; gleiches gilt für die Verwaltung von Logistikunternehmen. Damit gibt es keine Vorgaben, wie Treibhausgasemissionen für Büros, Lager und Umschlag berechnet werden sollen.

Dies alles waren Gründe, weshalb im Rahmen diese F&E-Vorhabens ein Leitfaden vom Öko-Institut und IFEU-Institut erarbeitet wurde, der gezielt klein- und mittelständischen Unternehmen praxistaugliche Wege aufzeigt, wie sie ihre Treibhausgasemissionen CEN-normkonform berechnen. Im Leitfaden sind die für die Berechnung notwendigen Formeln sowie die zur Berechnung benötigten Daten enthalten. Weiterhin werden auch Methoden vorgeschlagen, wie die Treibhausgasemissionen von Büros, Lager und Umschlagereinrichtungen berechnet werden können.

Der entwickelte Leitfaden mit dem Titel „Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik: Begriffe, Methoden. Beispiele“ und damit der im Rahmen des Projektes entwickelte Vorschlag zur Berechnung von Treibhausgasemissionen von Logistikketten wird im Teil II dieses Endberichts vorgestellt.

TEIL II: Leitfaden „Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik: Begriffe, Methoden. Beispiele“

1 Vorbemerkung zum Leitfaden

Der im Folgenden vorgestellte Leitfaden zur Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik basiert einerseits auf den Vorschlägen zur Berechnungsmethodik, wie sie das Öko-Institut und das IFEU-Institut im Rahmen des F&E-Vorhabens „Carbon Footprint – Monitoring für den CO₂-Ausstoß in der Logistikkette“ (FKZ: 3709 45 139) erarbeitet haben. Zum anderen reflektiert der Leitfaden den am 01.04.2010 veröffentlichten CEN-Normentwurf „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Personen – und Güterverkehr)“ (prEN 16258).

Der folgende Text entspricht dem auf der Internetseite des DSLV veröffentlichten Leitfaden mit dem Titel „Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik: Begriffe, Methoden. Beispiele“ (Autoren: Martin Schmied, Öko-Institut; Wolfram Knörr, IFEU-Institut; Journalistische Überarbeitung: Christa Friedl):

www.spediteure.de/de/site/1575//n64/page/n64/index.xml.

2 Leitfaden zum Leitfaden

Die Berechnung von Treibhausgasemissionen ist nichts Neues. Seit Jahren schon ermitteln viele Unternehmen, darunter auch Firmen der Logistik- und Speditionsbranche, Kohlendioxidwerte für Produkte und Dienstleistungen. Allerdings: Die angewandten Rechenmethoden sind unterschiedlich, die Zuverlässigkeit der Ergebnisse ist oft zweifelhaft, eine Bewertung der Resultate nicht immer einfach.

Einige Beispiele: Biokraftstoffe werden oftmals so bewertet, als ob sie keinerlei Treibhausgasemissionen verursachen. Das ist falsch, denn Anbau, Ernte und Transport der Pflanzen als Ausgangsmaterial verbrauchen Energie und erzeugen in der Folge Emissionen - genauso wie die eigentliche Herstellung der Kraftstoffe. Andere Unternehmen ignorieren die Leerfahrten der Fahrzeuge, als Folge daraus bilden die ermittelten Werte nur einen Teil der Realität ab. Ungenau sind oft auch Berechnungen im Flugverkehr, wenn Fracht und Passagiere in ein und derselben Maschine transportiert werden.

Dieser Leitfaden will mehr **Genauigkeit, Transparenz und Einheitlichkeit** in die Berechnung von Energieverbräuchen und Treibhausgasemissionen in der Logistikbranche bringen. Das heißt konkret: Wer seine Verbräuche und Emissionen berechnet, muss sich darüber im Klaren sein, welche Werte er verwendet, für welche Fahrzeuge und Strecken gerechnet wird, welche Umrechnungsfaktoren die richtigen sind, wie Verbrauch und Emissionen auf eine einzelne Sendung verteilt werden müssen.

Wer sich noch nie mit Emissionsbilanzen beschäftigt hat, wird daher merken: Solche Bilanzen sind komplizierter als ein bloßer Dreisatz. Sie sind aber nicht so schwierig, als dass man sie nicht selbst durchführen könnte. Wie und nach welchen **Formeln** das geschehen sollte und welche **Hintergrundinformationen** Sie dafür benötigen, erläutert dieser Leitfaden.

In welchen Kapiteln Sie welche Hintergrundinformationen und Berechnungshilfen finden, erfahren Sie hier:

- Unternehmen, die ihre Kraftstoffverbräuche und Treibhausgasemissionen berechnen wollen, müssen grundsätzliche Zusammenhänge, Begriffe und Standards kennen. Das notwendige **Basiswissen** zu Klimaschutz und Klimabilanzen finden Sie in den **Kapiteln 3, 4 und 5**.
- **Kapitel 5** stellt außerdem den aktuellen **CEN-Normentwurf „Methode zur Berechnung und Deklaration von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen“ (prEN 16258:2011)** vor. Diese Norm wird erstmals europaweit zu einer Vereinheitlichung der Rechenmethodik führen und ist Grundlage bei allen Ausführungen und Beispielsrechnungen in diesem Leitfaden.
- In **Kapitel 6** beginnt die Praxis. Logistiker, die ihren eigenen Verbrauch an Kraftstoff oder Strom kennen bzw. selbst berechnen, erhalten hier feste **Umrechnungsfaktoren und Rechenformeln** an die Hand, mit denen sie standardisiert Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen für eine bestimmte Transportstrecke ermitteln.
- **Kapitel 7** beschäftigt sich mit **Allokation**: Wie verteilte ich ermittelte Verbräuche und Emissionen auf die Einzelsendung?

- **Kapitel 8** beschreibt die verschiedenen, nach dem Normentwurf zulässigen **Methoden zur Ermittlung des Energieverbrauches** (Messung und Berechnung).
- **Kapitel 9** zeigt, welche verschiedenen Möglichkeiten es für die **Messung des Energieverbrauches** gibt und welche nach dem CEN-Normentwurf zulässig sind.
- Liegen keine Daten zu Fahrzeugverbrauch und Auslastung vor, kann mit Hilfe des **entfernungsbasierten Ansatzes** gerechnet werden. **Kapitel 10** erläutert wie das geht - unterteilt nach Lkw, Bahn, Schiff und Flugzeug.
- **Kapitel 11** beschreibt entfernungsbasierte Berechnungen für **Lkw im Detail**.
- Nicht nur Fahrzeuge, sondern auch **Gebäude, Lager und Umschlag** verbrauchen Energie und erzeugen Emissionen. Wie die berechnet werden, zeigt **Kapitel 12**.
- Last but not least beschreibt Kapitel 13, wie Sie Ergebnisse richtig bewerten und kommunizieren, im Kapitel 14 finden sich die verwendeten Literaturquellen.

Außerdem ist wichtig zu wissen:

1. **Grundlage** für diesen Leitfaden ist der neue **CEN-Normentwurf** prEN 16258:2011. Auch wenn einige Punkte darin noch nicht zu Ende verhandelt sind, bietet der Normentwurf erstmals einen praktikablen Rechenweg, der zu realitätsnahen Ergebnissen führt. Er ermöglicht schon heute verlässliche Berechnungen, denn es gilt als sicher, dass die Methodik an sich nicht mehr verändert wird. Dagegen sind die Umrechnungsfaktoren für Energieverbräuche und Emissionen derzeit noch in der Diskussion. Emissionsfaktoren für einzelne Verkehrsmittel sind bewusst in der Norm nicht genannt, vielmehr wird auf mögliche, zuverlässige Quellen verwiesen. Diese Quellen sind Basis für die im Leitfaden verwendeten Faktoren.
2. Die Angaben, Umrechnungsfaktoren und Rechenbeispiele gelten im Prinzip für **Deutschland und Europa**. Transporte per Flugzeug und Bahn können international nach diesem Leitfaden berechnet werden.
3. Jedes Kapitel im Praxisteil hat ein oder mehrere einfache **Rechenbeispiele**, die die Vorgaben des CEN-Normentwurfs umsetzen und verdeutlichen, wie Sie vorgehen müssen. Zu beachten ist, dass in allen Beispielen mit gerundeten Zwischenergebnissen weiter gerechnet wird.
4. Dieser Leitfaden kann nicht alle in der Praxis denkbaren Transporte und Berechnungsfälle berücksichtigen – dies gilt insbesondere für Bahn, Schiff und Flugzeug. Für die Beschreibung der detaillierten Vorgehensweise für diese Verkehrsmittel und spezielle Lkw-Transporte muss auf weiterführende Literatur verwiesen werden.

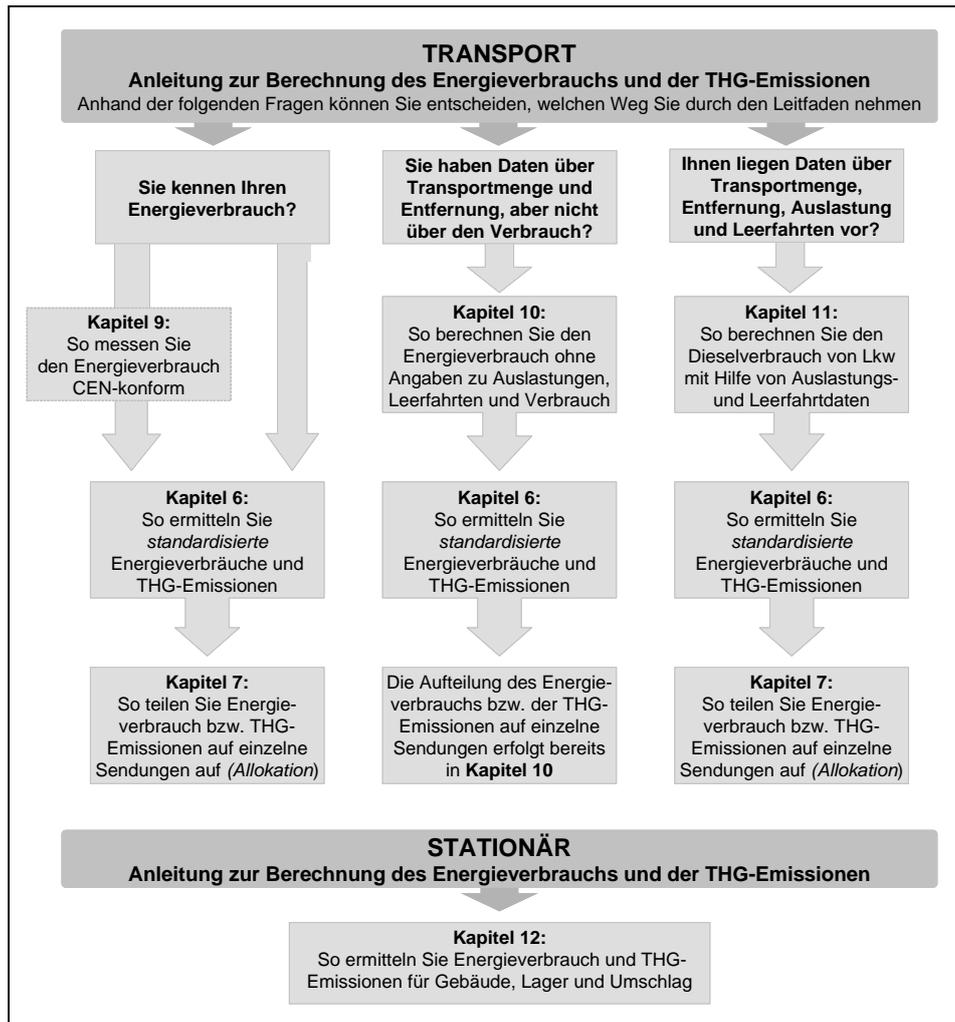


Abb. 6: Wo finden Sie was im Leitfaden [eigene Darstellung]

Zusammengefasst: Der Leitfaden bietet **zweierlei Nutzen**. Zum einen zeigt er durch **Rechenbeispiele** auf, wie Sie konkret Verbräuche und Emissionen nach dem neuen CEN-Normentwurf zuverlässig und realitätsnah ermitteln. Zum anderen gibt er Ihnen **alle Werte an die Hand**, die Sie dafür benötigen, z. B. Umrechnungsfaktoren für Kraftstoffe und Strom, spezifische Energieverbräuche, Daten für unterschiedliche Kraftstoffe und Verkehrsmittel, Faktoren für die Klimawirkung von Treibhausgasen und Kältemitteln. Der Leitfaden macht zudem durch Gegenüberstellung von Werten des CEN-Normentwurfs und üblicherweise bisher angewendeten Werten deutlich, worin die Unterschiede liegen.

Nicht zuletzt legt der Leitfaden großen Wert auf eine simple, aber oft vergessene Botschaft: Ein Ergebnis ist immer nur so gut wie die Datenquelle. Je mehr Werte für einen bestimmten Transport direkt gemessen werden, umso besser trifft das Ergebnis die Realität. Allerdings stehen in der Praxis gemessene Werte häufig nicht zur Verfügung. Sie lernen daher, wie Sie auch mit Hilfe von Werten aus Datenbanken zu einem brauchbaren Ergebnis kommen.

Welche Methode Sie auch immer nutzen: Wesentlich ist, dass Sie diese **für andere kommunizieren**. Eine nackte Zahl ist nutzlos. Zahlenwerte können nur dann in eindeutige

Aussagen umgemünzt werden, wenn klar ist, mit welcher Methode und unter welchen Randbedingungen sie ermittelt wurden. Nur dann ist eine Bewertung der Ergebnisse, ein Vergleich von Werten und die richtige Auswahl von Klimaschutzmaßnahmen möglich.

Die folgende Tabelle enthält die wichtigsten Faktoren zum Umrechnen von Energieverbrauchsdaten in die **standardisierte Energieverbrauchseinheit MJ** und in **Treibhausgasemissionen**, wie sie im Leitfaden vorgestellt werden:

| | Energieverbrauch | | | Treibhausgasemissionen (als CO ₂ e = CO ₂ -Äquivalente) | | |
|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|
| | Einheit | Direkt (TTW) | Gesamt (WTW) | Einheit | Direkt (TTW) | Gesamt (WTW) |
| Diesel Deutschland | MJ/l | 35,7 | 41,4 | kg/l | 2,50 | 2,94 |
| Kerosin | MJ/kg | 42,8 | 49,0 | kg/kg | 3,18 | 3,59 |
| Schweröl für Schiffe | MJ/kg | 40,4 | 45,5 | kg/kg | 3,15 | 3,39 |
| Bahnstrom Deutschland | MJ/kWh | 3,6 | 10,8 | kg/kWh | 0,000 | 0,574 |
| Strom Deutschland | MJ/kWh | 3,6 | 10,0 | kg/kWh | 0,000 | 0,589 |
| Fernwärme Deutschland | MJ/kWh | 3,6 | 4,1 | kg/kWh | 0,000 | 0,253 |
| Erdgas - Heizwert | MJ/kWh | 3,6 | 4,1 | kg/kWh | 0,202 | 0,249 |
| Erdgas - Brennwert | MJ/kWh | 3,2 | 3,7 | kg/kWh | 0,182 | 0,225 |
| Heizöl | MJ/kg | 35,8 | 42,0 | kg/kg | 2,67 | 3,15 |

Durchschnittliche Verbrauchswerte pro Tonnenkilometer differenziert **nach Verkehrsmitteln** und Fahrzeugtypen finden sich in der folgenden Tabelle:

| Verkehrsmittel/ Fahrzeuge | Energie | Einheit | Volumen- gut | Durch- schnittsgut | Massen- gut |
|------------------------------|-----------|---------|-----------------|-----------------------|----------------|
| Lkw < 7,5 t | Diesel | l/tkm | 0,140 | 0,078 | 0,063 |
| Lkw 7,5 - 12 | Diesel | l/tkm | 0,108 | 0,061 | 0,050 |
| Lkw 12-24 t | Diesel | l/tkm | 0,063 | 0,036 | 0,029 |
| Last-/Sattelzug 24-40 t | Diesel | l/tkm | 0,038 | 0,023 | 0,020 |
| Zug mit Elektrotraktion | Bahnstrom | kWh/tkm | 0,042 | 0,032 | 0,028 |
| Zug mit Dieseltraktion | Diesel | l/tkm | 0,011 | 0,009 | 0,008 |
| Containerschiff | Schweröl | kg/tkm | 0,0089 | 0,0051 | 0,0037 |
| Massengutfrachter | Schweröl | kg/tkm | x | x | 0,0017 |
| Binnenschiff | Diesel | l/tkm | x | x | 0,0114 |
| Frachtflugzeug | Kerosin | kg/tkm | 0,148 | x | x |
| Belly-Fracht | Kerosin | kg/tkm | 0,258 | x | x |

Die mit Hilfe der oben stehenden Tabellen berechneten **Well-to-Wheel-Treibhausgasemissionen pro Tonnenkilometer** finden Sie in folgender Tabelle:

| Verkehrsmittel/ Fahrzeug | Energie | Einheit | Volumen- gut | Durch- schnittsgut | Massen- gut |
|-------------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Lkw < 7,5 t | Diesel | g CO ₂ e/tkm | 412 | 229 | 185 |
| Lkw 7,5 - 12 | Diesel | g CO ₂ e/tkm | 318 | 179 | 147 |
| Lkw 12-24 t | Diesel | g CO ₂ e/tkm | 185 | 106 | 85 |
| Last-/Sattelzug 24-40 t | Diesel | g CO ₂ e/tkm | 112 | 68 | 59 |
| Zug mit Elektrotraktion | Bahnstrom | g CO ₂ e/tkm | 24 | 18 | 16 |
| Zug mit Dieseltraktion | Diesel | g CO ₂ e/tkm | 32 | 26 | 24 |
| Containerschiff | Schweröl | g CO ₂ e/tkm | 30 | 17 | 13 |
| Massengutfrachter | Schweröl | g CO ₂ e/tkm | x | x | 6 |
| Binnenschiff | Diesel | g CO ₂ e/tkm | x | x | 34 |
| Frachtflugzeug | Kerosin | g CO ₂ e/tkm | 531 | x | x |
| Belly-Fracht | Kerosin | g CO ₂ e/tkm | 926 | x | x |

3 Klimaschutz und Klimabilanzen in der Logistik

Wenn Medien, Politiker und Umweltschützer vor Klimawandel und Erderwärmung warnen, ist der vom Menschen gemachte (anthropogene) Treibhauseffekt gemeint. Oft vergessen wird, dass es ohne einen – natürlichen – Treibhauseffekt kein Leben auf der Erde gäbe: Würden bestimmte Gase in der Lufthülle nicht einen Teil der Sonnenstrahlung in Wärme verwandeln, lägen die Durchschnittstemperaturen nicht bei plus 15°C, sondern bei minus 18°C. Klimawirksame Spurengase wie Kohlendioxid (CO₂), Ozon, Lachgas und Methan sind also die Garanten dafür, dass unser Planet überhaupt bewohnbar ist.

Im vergangenen Jahrhundert hat der Mensch **immer mehr Treibhausgase in die Atmosphäre** emittiert – vor allem durch Kraftwerke, Industrie, Heizungsanlagen und Verkehr. Bei der Verbrennung von Öl, Gas, Kohle und Biomasse entsteht unvermeidlich Kohlendioxid, da sich der Kohlenstoff im Energieträger mit dem Luftsauerstoff verbindet. Das ist eine chemische Gesetzmäßigkeit.

Die zusätzlichen anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen hatten zur Folge, dass die Temperatur in den vergangenen 100 Jahren um rund 0,7°C angestiegen ist. 0,7°C - das klingt nach nicht viel. Da der natürliche Treibhauseffekt aber ein komplexes und empfindliches System ist, können schon geringe Erhöhungen der Spurengase in der Atmosphäre zu **drastischen Änderungen des Klimas** führen. Mit steigender Temperatur verändern sich die Ernteerträge der Landwirtschaft, Pflanzen und Tierarten können in manchen Regionen nicht mehr überleben, das Eis an den Polkappen schmilzt, der steigende Meeresspiegel bedroht Inselstaaten und Küstenorte. Auch Stürme, Starkregen und Dürren nehmen zu.

Die sozialen Folgen für die betroffenen Menschen sind dramatisch und die ökologischen Auswirkungen tiefgreifend. Sicher ist auch, dass die **wirtschaftlichen Folgekosten des Klimawandels** enorm hoch sein werden. Ende 2006 veröffentlichte Nicholas Stern, ehemals Chefökonom der Weltbank, einen Aufsehen erregenden Bericht. Demnach liegen die jährlichen Kosten für die Begrenzung des globalen Temperaturanstieges auf 2°C bei rund 1 % des globalen Bruttoinlandproduktes. Viel teurer wird es, wenn die Staatengemeinschaft nichts gegen die Erderwärmung unternimmt. Dann könnte der Klimawandel zu jährlichen Verlusten von 5 bis 20 % des globalen Bruttoinlandproduktes führen.

Die Staaten sind sich international weitgehend einig, dass ein Anstieg der mittleren globalen Temperatur nicht mehr vermieden werden kann, dass aber der **Temperaturanstieg auf 2°C begrenzt** werden muss, um schwerwiegende Klimafolgen zu vermeiden. Dies bedeutet, dass die anthropogen verursachten **Treibhausgasemissionen weltweit bis 2050 um 50 % reduziert** werden müssen. Industriestaaten müssten ihre Emissionen gar um 80 bis 90 % senken, da Entwicklungs- und Schwellenländer im Rahmen ihrer wirtschaftlichen Entwicklung in Zukunft mehr emittieren werden als heute.

Die deutsche Bundesregierung hat sich verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 gegenüber 1990 um 40 % zu senken – ohne allerdings festzulegen, welcher Sektor welchen Beitrag leisten soll. Da insbesondere die **Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs** von 1990 bis 2010 um rund 40 % gestiegen sind, muss die Branche damit rechnen, dass sie verstärkt in den Fokus der Politik gerät.

Alle Wirtschaftsbranchen diskutieren mittlerweile die Frage, wie sie ihren Ausstoß an Treibhausgasen mindern können. Diese Diskussion hat auch die **Logistikbranche** erreicht. Immer mehr Logistiker beschäftigen sich mit Klimaschutz und Emissionsminderungen – entweder, weil sie ihr Unternehmen als Vorreiter positionieren oder auf mögliche Anforderungen der verladenden Wirtschaft vorbereitet sein wollen. Über kurz oder lang werden die Logistikprozesse Teil einer Klimaschutzstrategie der verladenden Wirtschaft werden – unabhängig davon, die Dienstleistung selbst oder von Sub-Unternehmen durchgeführt wird.

Wer Klimaschutz betreiben möchte, muss seine **Emissionen** möglichst präzise und verlässlich **erfassen**. Denn es gilt: „What you cannot measure you cannot manage.“ Werden Höhe und Quellen der Treibhausgasemissionen ermittelt, die bei der Herstellung eines Produktes oder durch Transporte entstehen, spricht man von Kohlendioxid (CO₂)- bzw. **Treibhausgasbilanzen**.

Allerdings: Bisher gab es keine einheitlichen **Standards für die Berechnung** von Treibhausgasemissionen von Logistikdienstleistungen – mit der Folge, dass jedes Unternehmen dies auf unterschiedliche Art und Weise tut. Der aktuelle **CEN-Normentwurf „Methode zur Berechnung und Deklaration von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen“ (prEN 16258:2011)** soll zu einer Vereinheitlichung der Rechenmethodik führen. Der vorliegende Leitfaden greift den Normentwurf auf und zeigt Wege, wie Treibhausgasemissionen für Transportprozesse standardisiert ermittelt werden können.

Eine standardisierte Berechnung ist zunächst notwendig, um sich von den erzeugten Emissionen überhaupt ein verlässliches Bild zu machen. Sie hilft zudem, finanzielle Mittel zielgerichtet dort einzusetzen, wo möglichst viel Energie und damit viel Emissionen eingespart werden können. Wer seine Emissionen über einen längeren Zeitraum nach der gleichen Methodik ermittelt, kann nicht zuletzt transparent und belastbar die Erfolge der eigenen Klimaschutzanstrengungen darstellen.

Viele Verlager gehen davon aus, dass eine standardisierte Berechnung der Treibhausgasemissionen die Auswahl ihrer Logistikdienstleister erleichtert: Geringe CO₂-Werte pro transportierter Tonne und Kilometer versprechen auf den ersten Blick klimafreundliche Transporte. Vor einem solchen simplen Vorgehen muss gewarnt werden: Vergleiche von standardisierten CO₂-Kennwerten unterschiedlicher Dienstleister sind nur dann möglich, wenn es sich um Transporte mit definierten Randgrößen handelt.

CO₂-Kennwerte, auch wenn sie standardisiert berechnet werden, sind in der Regel als alleinige Parameter **nicht aussagekräftig genug**. Ein Paketdienstleister mit besonders schnellem Lieferservice beispielsweise hat in der Regel eine ungünstigere Auslastung seiner Lkw als ein Konkurrent, der die Sendungen sammelt und erst nach mehreren Tagen zustellt. Selbst ein hochmoderner Fuhrpark kann die höheren Emissionen schwach ausgelasteter Fahrzeuge nicht kompensieren. Der schnelle Lieferant hat dann ggf. einen schlechteren CO₂-Kennwert als die langsamere Konkurrenz – auch dann, wenn sich das Unternehmen stark für Umwelt- und Klimaschutz engagiert.

Sinnvoller ist es, wenn Verlager ihre Dienstleister daran messen, welche Fortschritte die Unternehmen ganz generell im Klimaschutz erreicht haben. Standardisiert berechnete CO₂- und Treibhausgas-Kennwerte sind dabei wichtige Indizien. Sie helfen dem Verlager bei der objektiven Bewertung der Klimaschutzanstrengungen seiner Logistikdienstleister.

4 Bevor es los geht - die wichtigsten Grundlagen

Logistik ist mehr als der reine Transport von A nach B. Waren müssen umgeschlagen, neu konsolidiert, zwischengelagert werden. Kraftstoff, Strom, Wärme oder Kälte werden also nicht nur für den Transport benötigt, vielmehr entstehen Treibhausgasemissionen entlang der gesamten Logistikkette und müssen in einer Treibhausgasbilanz berücksichtigt werden. Nur so entsteht ein vollständiges Bild. In der Regel entfällt auf Lagerung und Umschlag der kleinere Teil an Emissionen – im Einzelfall können sie aber von hoher Relevanz sein. Wesentlich für jede Berechnung ist die Frage, was genau bilanziert werden soll. Experten sprechen von der „Festlegung der Systemgrenzen“.

Jeder Transport erzeugt Treibhausgasemissionen – die **direkten Emissionen**. Sie sind vom Fahrzeugtyp, von der Ladung, von der Entfernung, vom Kraftstoffverbrauch abhängig. Aber auch die Herstellung von Strom und Kraftstoffen, die Produktion von Fahrzeugen und Straßen und die Instandhaltung des Verkehrsnetzes verbrauchen Energie und verursachen Treibhausgase – die **indirekten Emissionen**.

Eine wichtige Rolle bei der Bilanzierung von Logistikdienstleistungen spielen die indirekten Emissionen durch die Herstellung der Kraftstoffe. Für Diesel müssen beispielsweise alle Emissionen – von der Gewinnung des Rohöls über dessen Transport zu den Raffinerien, die eigentliche Destillation des Diesels und dessen Transport zur Tankstelle – erfasst werden. Bei elektrisch betriebenen Verkehrsmitteln wie Bahnen wird stattdessen die Herstellung des benötigten Stroms bilanziert.

Auch der vorgelegte CEN-Normentwurf „Methode zur Berechnung und Deklaration von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen“ (prEN 16258:2011) sieht vor, dass indirekte Energieverbräuche und Emissionen der Energieprozesse berücksichtigt werden müssen. Daher werden in diesem Leitfaden sowohl für die direkten Emissionen als auch für die Gesamtemissionen die Berechnungswege aufgezeigt. Gleiches gilt für den Energieverbrauch. Laut CEN-Standard sind indirekter Energieverbrauch und indirekte Emissionen, die durch die Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Fahrzeugen oder Verkehrsinfrastrukturen herrühren, explizit nicht zu berücksichtigen.

Definitionen von Energieverbrauch und Emissionen nach prEN 16258:2011

- Well-to-Tank (Energievorkette): die systematische Erfassung von Energieverbrauch bzw. allen indirekten Emissionen der Kraftstoffbereitstellung von der Quelle bis zum Fahrzeugtank. Der Energieverbrauch umfasst auch Verluste bei der Herstellung der Energieträger z. B. in Kraftwerken oder in Hochspannungsleitungen.
- Tank-to-Wheel (Fahrzeug): die systematische Erfassung aller direkten Emissionen des Fahrzeugbetriebes. Beim Verbrauch wird vom Endenergieverbrauch gesprochen.
- Well-to-Wheel (Fahrzeug + Energievorkette): die Summe aus Well-to-Tank und Tank-to-Wheel, also aus direkten und indirekten Emissionen. Beim Verbrauch wird von Primärenergieverbrauch gesprochen, der neben dem Endenergieverbrauch alle Verluste aus der Vorkette mit einschließt.

Bei Logistikprozessen entstehen Emissionen in der Regel durch den Verbrauch von Kraftstoffen oder Strom. Sie errechnen sich direkt mit festen Umrechnungsfaktoren aus dem Verbrauch. Sinnvoll - und vom Normentwurf prEN 16258:2011 gefordert - ist es daher, neben den Treibhausgasemissionen in einer vergleichbaren Energieeinheit den **Energieverbrauch** für die Transportdienstleistung auszuweisen. Im vorliegenden Leitfaden werden daher alle Energieverbräuche auf die einheitliche Energieeinheit Megajoule umgerechnet.

Kohlendioxid (CO₂) ist das wichtigste Treibhausgas. Neben Kohlendioxid sind laut Kyoto-Protokoll noch fünf **weitere Treibhausgase** relevant: Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆). Die letztgenannten Spurengase entstehen oftmals nicht bei der Verbrennung von Öl, Gas oder Kraftstoffen, sondern bei industriellen Prozessen, oder sie gelangen direkt bei der Nutzung in die Umwelt (z. B. Fluorkohlenwasserstoffe als Kältemittel).

Viele Logistiker haben in der Vergangenheit ausschließlich ihre CO₂-Emissionen berechnet. Die derzeit gültigen Standards und Normen fordern aber durchweg die Ermittlung aller Treibhausgasemissionen, denn manches Gas heizt bei gleicher Menge die Atmosphäre weitaus stärker auf als Kohlendioxid. Dieser Leitfaden weist daher die Gesamtmenge in Form so genannter **CO₂-Äquivalente** aus. Für die CO₂-Äquivalente ist das Global Warming Potential (GWP) ausschlaggebend: Je größer das GWP, umso stärker trägt das Gas zur Erderwärmung bei. Ein Kilogramm des Kältemittels R 404A beispielsweise verursacht CO₂-Äquivalent-Emissionen in Höhe von 3,9 t – das entspricht grob der Menge, die bei der Verbrennung von rund 1.300 l Diesel entsteht.

Bei Transporten per Lkw ist der Unterschied zwischen reinen CO₂-Emissionen und Äquivalenten nur gering – die Differenz liegt bei ca. 1 %. Bei der Stromherstellung dagegen kann der Aufschlag je nach Erzeugung 4 bis über 10 % betragen.

Tab. 1: Global Warming Potential (GWP) für ausgewählte Treibhausgase

| Treibhausgas | Chemische Formel | GWP-Faktor |
|--------------|------------------|------------|
|--------------|------------------|------------|

| | | (100 a) |
|---|----------------------------------|---------|
| Kohlendioxid | CO ₂ | 1 |
| Methan | CH ₄ | 25 |
| Distickstoffoxid (Lachgas) | N ₂ O | 298 |
| Kältemittel R134A | CH ₂ FCF ₃ | 1.430 |
| Kältemittel R404A | R143a(52%)+R125(44%)+R134a(4%) | 3.922 |
| <i>Quellen:</i> IPCC 2007; eigene Berechnungen. | | |

Für die Berechnungen von Energieverbrauch und Emissionen ist das Gesamtgewicht der Ladung ausschlaggebend (Bruttogewicht). Werden Waren auf Paletten oder in verpackter Form transportiert, müssen Gewicht von Ladehilfen wie Paletten bzw. der Verpackungen mit berücksichtigt werden. Für Emissionsberechnungen sollte daher immer bekannt sein, wie das Gut transportiert wurde bzw. wie schwer die Ladehilfe und die Transportverpackung war.

In der Logistik werden Transporte oftmals auf Basis des so genannten **frachtpflichtigen Gewichtes** abgerechnet - eine Art Volumengewicht, das den benötigten Frachtraum von Gütern zu Grunde legt. Da oft unterschiedliche Berechnungsgrundlagen verwendet werden, kann nicht ohne weiteres von frachtpflichtigem Gewicht auf das **Realgewicht** umgerechnet werden. Für die Berechnung des Energieverbrauchs und der Emissionen werden aber grundsätzlich Realgewichte benötigt, um zu korrekten Ergebnissen zu kommen.

5 Standards und Normen - welcher Rahmen existiert?

Wollen Spediteure und Logistiker die Treibhausgasemissionen ihrer Aktivitäten berechnen, müssen sie eine Reihe von Standards und Normen berücksichtigen. Welche Standards konkret herangezogen werden müssen, hängt davon ab, wofür die Emissionen berechnet werden. Will ein Spediteur oder Logistiker für sein Gesamtunternehmen die Treibhausgasemissionen ermitteln, spricht man vom so genannten **Corporate Carbon Footprinting**. Für diese Unternehmensbilanzen gelten andere Anforderungen und Standards als für die Bilanzierung einzelner Transporte. Die Emissionen einzelner Transporte können wichtig sein als Teil der Klimabilanz für ein einzelnes Produkt – also dem **Product Carbon Footprinting**. Daneben können aber auch **Klimabilanzen für einzelne Transportdienstleistungen** erstellt werden.

Tab. 2: Vergleich aktueller Normen und Standards

| | Unternehmens-klimabilanzen (Corporate Carbon Footprinting) | Produktklimabilanzen (Product Carbon Footprinting) | Bilanzen von Transportdienstleistungen |
|---|---|--|--|
| Normen und Standards | ISO 14064-1 sowie GHG Protocol | PAS 2050; GHG Protocol (Entwurf); ISO-Norm (Entwicklung), (ISO 14040ff.) | CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 |
| Systemgrenzen | Aktivitäten des eigenen Unternehmens verpflichtend; Subunternehmer freiwillig | Gesamte Wertschöpfungskette, unabhängig ob eigene oder Fremdprozesse | Gesamte Transportkette, unabhängig ob eigene Fahrzeuge oder Fahrzeuge von Subdienstleister |
| Umweltkenngößen | alle Treibhausgase (als CO ₂ -Äquivalente) | alle Treibhausgase (als CO ₂ -Äquivalente) | alle Treibhausgase (als CO ₂ -Äquivalente) + Energieverbrauch |
| Emissionen durch Herstellung von Energieträgern (z. B. Diesel) | Herstellung von selbst verbrauchten Strom: ja Andere Energieträger: freiwillig | müssen berücksichtigt werden | müssen berücksichtigt werden |
| Methoden zur Allokation der Emissionen auf Einzelsendung | keine Vorgaben | möglichst physische Größen (z. B. Gewicht), aber auch monetäre Größen zulässig | nur physische Größen (bevorzugt Gewicht; aber auch Anzahl Paletten, Lademeter, TEU etc.) |
| <i>Quelle:</i> eigene Darstellung. | | | |

Wer Klimabilanzen für eine Speditionsdienstleistung erstellt, muss zwangsläufig die Emissionen durch die Transporte berechnen. Allerdings nicht für jeden einzelnen, in der Regel sind die Gesamtemissionen für alle Transporte ausreichend. Ist also zum Beispiel der gesamte Kraftstoffverbrauch einer Lkw-Flotte bekannt, können daraus direkt die Gesamtemissionen aller Transporte berechnet werden (siehe Kapitel 6). Die Aufteilung der Emissionen eines Fahrzeuges auf jede Einzelsendung, was auch als **Allokation** bezeichnet wird, ist im Rahmen von Unternehmensklimabilanzen nicht notwendig.

Die **methodischen Grundlagen** werden durch die ISO-Norm 14064-1 oder den „Corporate Accounting and Reporting Standard“ des Greenhouse Gas Protocol festgelegt, die sich inhaltlich

in weiten Teilen ähneln. Das GHG Protocol ist ein von vielen Unternehmen verwendeter Standard, der – anders als die ISO-Norm – nicht durch einen externen Gutachter verifiziert werden kann. Beiden Standards ist gemeinsam, dass nicht nur CO₂-Emissionen, sondern die CO₂-Äquivalente berechnet werden (siehe Kapitel 4).

Beide genannten Standards zur Erstellung von Unternehmensklimabilanzen fordern eine klare Festlegung der Systemgrenzen, also eine eindeutige Festlegung, welche Unternehmensteile in die Bilanz einbezogen werden (siehe Tabelle auf der Fogleseite). Sie unterscheiden dabei zwischen direkten Emissionen, die durch die Verbrennung der Kraftstoffe der eigenen Fahrzeuge bzw. von Gas oder Heizöl im Unternehmen oder durch die Freisetzung klimawirksamer Stoffe durch das Unternehmen selbst entstehen (**Scope 1**) und den indirekten Emissionen. Indirekte Emissionen entstehen durch die Bereitstellung von Kraftstoffen, Strom, Fern- und Prozesswärme (**Scope 2**), aber auch durch Dienstleistungen von Subunternehmen, durch Bezug und Entsorgung von Produkten, durch die Herstellung von Kraftstoffen oder durch Dienstreisen oder Arbeitswege der Mitarbeiter (**Scope 3**).

Unternehmen müssen Scope 1 und 2 berechnen, während es ihnen derzeit freigestellt ist, die Scope-3-Emissionen auszuweisen. Insbesondere die Transporte von beauftragten Dienstleistern fallen unter **Scope 3** – ein wesentlicher Anteil gerade bei großen Logistikunternehmen. So entfallen bei der Deutschen Post DHL oder DB Schenker mehr als 90 % der Treibhausgasemissionen auf Subdienstleister und damit auf Scope 3. Das Ausklammern dieser Emissionen ergäbe ein sehr unvollständiges Bild. Ebenfalls unter Scope 3 fallen die Treibhausgasemissionen, die bei der Gewinnung des Rohöls, der Herstellung des Diesels in der Raffinerie sowie allen Transporten von Öl und Diesel anfallen.

Klimabilanzen für Produkte basieren auf der Berechnung der Treibhausgasemissionen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder einer Dienstleistung. Werden zwei Produkte oder Dienstleistungen miteinander verglichen, muss der **gleiche Nutzen** sichergestellt sein. Beim Vergleich von zwei unterschiedlichen Lampen werden also nicht die Leuchtkörper verglichen, sondern vielmehr das Erbringen einer bestimmten Lichtleistung über eine bestimmte Zeit. Der Lebenszyklus eines Produkts schließt dabei die gesamte Wertschöpfungskette ein und reicht von der Herstellung und Transport der Rohstoffe und Vorprodukte über Herstellung und Distribution der Produkte bis hin zu deren Nutzung und Entsorgung.

Tab. 3: Zuordnung einzelner umweltrelevanter Bereiche zu Scope 1 bis 3 des GHG Protocol

| | Scope 1 | Scope 2 | Scope 3 |
|---|---------|---------|---------|
| Energieverbrauch eigener Lkw, Pkw, Loks, Schiffe, Flugzeuge | X | | |
| Flüssig-/Erdgas sowie Heizölverbrauch eigener Büros/Lager | X | | |
| Kältemittelverluste eigener Büros, Lager und Lkw | X | | |
| Stromverbrauch eigener Büros/Lager/Umschlagsanlagen | | X | |
| Fernwärmeverbrauch eigener Büros/Lager | | X | |
| Dienstreisen, Arbeitswege der Mitarbeiter | | | X |
| Transporte durch Subdienstleister (Lkw, Bahn, Schiff, Flugzeug) | | | X |

| | | | |
|---|--|--|---|
| Lager und Umschlagsanlagen von Dritten | | | X |
| Herstellungsaufwand von Energieträgern (z. B. Diesel) | | | X |
| Herstellungsaufwand von Produkten (z. B. Papierherstellung) | | | X |
| <i>Quelle:</i> eigene Darstellung. | | | |

Die Emissionen der notwendigen Transporte haben bei Produkt-Bilanzen in der Regel eher eine untergeordnete Bedeutung. Im Gegensatz zu Unternehmensklimabilanzen müssen die Emissionen, die beim Transport entstehen, berechnet und auf eine Einzelsendung aufgeteilt werden (**Allokation**).

Der Entwurf des „Product Accounting and Reporting Standard“ des GHG Protocol empfiehlt, dass Allokationen möglichst über physische Einheiten erfolgen (z. B. über Gewicht oder Anzahl Paletten). Liegen keine entsprechenden Daten vor, kann die Allokation auch über monetäre Größen erfolgen. Die Allokation über monetäre Größen ist bei Transporten bisher unüblich und auch beim neuen CEN-Normentwurf für die Berechnung von Transportdienstleistungen nicht vorgesehen.

Klimabilanzen für einzelne Transporte – der aktuelle CEN-Normentwurf

Für Bilanzen konkreter Sendungen oder Transporte gibt es bisher weder Normen noch Standards. Die europäische CEN-Norm „Methode zur Berechnung und Deklaration von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen“ wird erstmals Methodik, Systemgrenzen, Allokation sowie Datenquellen beschreiben. Im April wurde der **Entwurf prEN 16258:2011** vom DIN **veröffentlicht**. Unternehmen können ihn bis August 2011 kommentieren; die endgültige Norm wird voraussichtlich im Dezember 2012 veröffentlicht.

Zwar hat auch die CEN-Norm keinen rechtlich verbindlichen Charakter. Es muss aber davon ausgegangen werden, dass vor allem Verlager und große Logistikdienstleister die Norm anwenden werden, um für beauftragte Transporte standardisiert Emissionswerte zu berechnen. Daher werden sich auch kleine und mittlere Logistikunternehmen mit diesem Standard auseinandersetzen müssen. Der vorliegende Leitfaden nimmt auf den CEN-Entwurf Bezug und hält sich an die dort vorgeschlagene Vorgehensweise. Falls vom Normentwurf abgewichen wird, wird explizit darauf hingewiesen.

CEN-Normentwurf „Methode zur Berechnung und Deklaration von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen“ (prEN 16258:2011)

- Die Norm macht Vorgaben zur methodischen Vorgehensweise bei der Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen bei Personen- und Güterverkehr. Zusätzlich enthält die Norm Vorgaben zur Deklaration, also in welcher Form die Werte an Dritte kommuniziert werden.
- Die Norm macht nur Vorgaben zu den Transporten selbst, nicht aber zu stationären Einrichtungen wie Umschlag oder Lager (siehe Kapitel 12).
- Die Emissionen werden als CO₂-Äquivalente berechnet. Zusätzlich muss der

Energieverbrauch berechnet und ausgewiesen werden.

- Es ist nicht zulässig, nur den Energieverbrauch und die direkten Emissionen des Fahrzeuges auszuweisen, vielmehr müssen auch die durch die Bereitstellung der Energieträger wie Diesel entstehenden Energieverbräuche sowie Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden. Hierzu enthält die Norm entsprechende Umrechnungsfaktoren (siehe Kapitel 6).
- Die Norm schreibt vor, dass die Berechnung von Energieverbrauch und Emissionen für jede Teilstrecke, auf der das betrachtete Gut transportiert wird, getrennt erfolgen muss. Jede Teilstrecke muss so berechnet werden, dass auch anteilig Leerfahrten berücksichtigt werden.
- Die Norm empfiehlt, die Allokation über das Gewicht durchzuführen. Wo das nicht möglich ist, sind auch andere physische Einheiten (z. B. Palettenstellplätze, Lademeter, Anzahl Containerstellplätze) möglich. Monetäre Größen zur Allokation sind nicht zulässig. Welche Größe bei der Allokation verwendet wird, muss zusammen mit dem Ergebnis angegeben werden (siehe Kapitel 7).
- Für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen müssen für die betrachtete Transportdienstleistung vier Größen ausgewiesen werden: Tank-to-Wheel- und Well-to-Wheel-Energieverbräuche sowie Tank-to-Wheel- und Well-to-Wheel-Treibhausgasemissionen. Zusätzlich müssen neben den Ergebnissen auch Informationen über die methodische Vorgehensweise publiziert werden. Insbesondere die verwendeten Allokationsregeln und die Verwendung von nicht selbst gemessenen Werten aus Datenbanken („Default-Werte“) müssen angegeben werden.
- Die Norm selbst schreibt keine externe Zertifizierung oder Verifizierung der Berechnung vor. Es muss aber damit gerechnet werden, dass sich insbesondere große Logistikunternehmen ihre Berechnungen extern zertifizieren lassen.

Der neue CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 beschreibt im Detail die Vorgehensweise, wie der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen für Transportdienstleistungen berechnet werden müssen. Dabei ist eine **Transportdienstleistung** laut Normentwurf der Transport eines Gutes vom Versender zu einem beliebigen Empfänger. Zur Berechnung muss dieser Transport in Teilstrecken zerlegt werden, die das betrachtete Transportgut auf einem definierten Fahrzeug zurücklegt – also ohne Fahrzeugwechsel. Diese **Transportabschnitte** werden im Normentwurf als „**Leg**“ bezeichnet. Für jeden Teilabschnitt muss dann ermittelt werden, wie hoch Energieverbrauch und Emissionen der betrachteten Sendung sind und abschließend zum Gesamtergebnis aufsummiert werden.

Die Ermittlung des Energieverbrauchs und der Emissionen für die Transportabschnitte erfolgt über das so genannte **Fahrzeugeinsatz-System (VOS)**. Als VOS bezeichnet der Normentwurf den Umlauf eines Fahrzeuges, bei dem ggf. in einem Teilabschnitt auch das betrachtete Gut mittransportiert wird. Das VOS muss aber nicht zwangsläufig ein konkreter Fahrzeugumlauf sein. Es kann sich auch um alle Fahrzeugumläufe auf einer Linie oder Strecke oder gar um alle Fahrzeugumläufe in einem Netz handeln, in dem der betrachtete Transportabschnitt liegt. Letztendlich muss der Energieverbrauch für das gesamte VOS ermittelt werden und schließlich

auf den betrachteten Transportabschnitt und auf die Einzelsendung verteilt werden. Dieser Weg, erst den Energieverbrauch und die Emissionen für größere Netze zu ermitteln und für diese Netze durchschnittliche Kennwerte zu berechnen (z. B. CO₂-Emissionen pro Tonnenkilometer), die dann für die Einzelsendung zur Anwendung kommen, ist heute bereits Praxis.

Die Berechnung von Energieverbrauch und Emissionen für eine Transportdienstleistung (Sendung) muss nach dem CEN-Normentwurf somit nach folgenden drei Schritten erfolgen:

- *Schritt 1:* Aufteilung der Transportdienstleistung in einzelne Abschnitte ohne Verkehrsmittelwechsel (Legs)
- *Schritt 2:* Berechnung des Energieverbrauchs und der Emissionen pro Leg:
 - Festlegen des Fahrzeugeinsatz-Systems (VOS) für diese Teilstrecke (konkreter Fahrzeugumlauf, Linie oder Route bzw. für gesamtes Netz; einschließlich Leerfahrten)
 - quantitative Bestimmung des gesamten Energieverbrauchs für dieses Fahrzeugeinsatz-System (z. B. Dieserverbrauch in Liter)
 - Umrechnung des ermittelten Energieverbrauchs in standardisierten Energieverbrauch (MJ) und Treibhausgasemissionen (kg CO₂-Äquivalente) für dieses Fahrzeugeinsatz-System
 - Allokation von standardisiertem Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen auf die Transportdienstleistung
- *Schritt 3:* Aufsummierung der Ergebnisse aller Legs der Transportdienstleistung

Wie in Übereinstimmung mit dem CEN-Normentwurf **standardisierte Energieverbräuche und die Treibhausgasemissionen** berechnet werden, zeigt **Kapitel 6**. Die **Allokation**, d.h. das Aufteilen dieser Werte auf eine einzelne Transportdienstleistung finden Sie in **Kapitel 7**. Die grundsätzliche **Vorgehensweise** zur **Ermittlung des Energieverbrauchs für Fahrzeugeinsatz-Systeme** wird in **Kapitel 8** beschrieben. In den Folgekapiteln wird die Vorgehensweise detailliert ausgeführt.

6 Der Weg zu standardisierten Verbrauchswerten und Emissionen

Unternehmen, die ihren eigenen Verbrauch an Diesel, Kerosin, Schiffsdiesel oder Strom genau durch Messungen kennen oder selbst berechnen, können leicht mit Hilfe fester Umrechnungsfaktoren standardisiert Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen für eine bestimmte Transportstrecke ermitteln. Laut CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 müssen beide Größen sowohl für den Betrieb des Fahrzeuges (Tank-to-Wheel) als auch für die Energiebereitstellung (Well-to-Wheel) ausgewiesen werden. Wie der Energieverbrauch und die Emissionen dann auf die Einzelsendung verteilt werden kann, beschreibt Kapitel 7.

Ermittlung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen

Werden der Dieselverbrauch von Lkw oder Schiffen, der Stromverbrauch von Elektro-Loks oder der Kerosinverbrauch von Flugzeugen gemessen, liegen direkt Daten zum Endenergieverbrauch und damit zu den **Tank-to-Wheel-Energieverbräuchen** vor. Werden aber in einer Transportkette verschiedene Verkehrsmittel eingesetzt, sollten idealerweise die Energieverbräuche jedes einzelnen Verkehrsmittels addiert werden können. Dies ist allerdings nur auf Basis einer gemeinsamen physikalischen Einheit möglich. Liter, Kilogramm und Kilowattstunden müssen daher laut CEN-Normentwurf in Megajoule (MJ) mit Hilfe fester Faktoren umgerechnet werden.

Auch die **Well-to-Wheel-Energieverbräuche** werden mit Hilfe eines Umrechnungsfaktors ermittelt, der zudem die Verluste in Kraftwerken, Raffinerien und Stromleitungen berücksichtigt. Der WTW-Umrechnungsfaktor ist somit größer als der TTW-Umrechnungsfaktor.

| | |
|---|--|
| $EN_{TTW} = FC \times F_{EN_TTW}$ bzw. $EN_{WTW} = FC \times F_{EN_WTW}$ | |
| EN_{TTW} | = Tank-to-Wheel-Energieverbrauch in MJ |
| EN_{WTW} | = Well-to-Wheel-Energieverbrauch in MJ |
| FC: | = Gemessener Energieverbrauch (z. B. l, kg oder kWh) |
| F_{EN_TTW} | = Tank-to-Wheel-Energieumrechnungsfaktor von gemessenen Werten in MJ |
| F_{EN_WTW} | = Well-to-Wheel-Energieumrechnungsfaktor von gemessenen Werten in MJ |

Die **Treibhausgasemissionen für Tank-to-Wheel und für Well-to-Wheel** berechnen sich analog zum Energieverbrauch. Für beide Größen wird der gemessene Energieverbrauch mit einem spezifischen Umrechnungsfaktor multipliziert (siehe Tabelle 4).

| | |
|---|---|
| $EM_{TTW} = FC \times F_{EM_TTW}$ bzw. $EM_{WTW} = FC \times F_{EM_WTW}$ | |
| EM_{TTW} | = Tank-to-Wheel-THG-Emissionen in kg CO ₂ -Äquivalente (CO ₂ e) |
| EM_{WTW} | = Well-to-Wheel-THG-Emissionen in kg CO ₂ -Äquivalente (CO ₂ e) |
| FC: | = Gemessener Energieverbrauch (z. B. l, kg oder kWh) |

| | | |
|---------------|---|---|
| F_{EM_TTW} | = | Tank-to-Wheel-THG-Umrechnungsfaktor von gemessenen Werten in kg CO ₂ e |
| F_{EM_WTW} | = | Well-to-Wheel-THG-Umrechnungsfaktor von gemessenen Werten in kg CO ₂ e |

Der neue CEN-Normentwurf enthält bereits die notwendigen Umrechnungsfaktoren – der eine oder andere Wert könnte sich während der aktuellen Diskussion über die Norm noch leicht verändern. Daher zeigt Tabelle 4 zum Vergleich auch Kennzahlen, die bisher in Deutschland und auch in anderen EU-Ländern üblicherweise verwendet werden. Im vorliegenden Leitfaden werden alle Beispielsrechnungen mit Hilfe dieser Umrechnungsfaktoren durchgeführt, da die im CEN-Normentwurf enthaltenen Werte so in der Praxis noch nicht angewandt werden. Zudem ist wahrscheinlich, dass sie in die endgültige Norm übernommen werden.

Tab. 4: Kennzahlen für die Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen (berechnet als CO₂-Äquivalente) bezogen auf den Kraftstoffverbrauch

| | <i>Einheit</i> | CEN-Entwurf prEN 16258:2011¹⁾ | | Daten typisch für Deutschland und EU (verwendet im Leitfaden)¹⁾ | |
|--|--------------------------|---|----------------------|---|----------------------|
| | | <i>Tank-to-Wheel</i> | <i>Well-to-Wheel</i> | <i>Tank-to-Wheel</i> | <i>Well-to-Wheel</i> |
| <i>Energieverbrauch</i> | | | | | |
| Diesel konventionell | MJ/l | 36 | 43 | 35,9 | 41,1 |
| Biodiesel | MJ/l | k.A. | k.A. | 32,7 | 46,2 |
| Diesel Deutschland ²⁾ | MJ/l | k.A. | k.A. | 35,7 | 41,4 |
| Erdgas | MJ/kg | k.A. | k.A. | 45,3 | 51,8 |
| Flüssiggas | MJ/l | k.A. | k.A. | 25,1 | 28,9 |
| Kerosin | MJ/kg | 44 | 51 | 42,8 | 49,0 |
| RFO/Heizöl schwer ⁴⁾ | MJ/kg | 40 | 44 | 40,4 | 45,5 |
| Bahnstrom Deutschland | MJ/kWh | 3,6 | k.A. | 3,6 | 10,8 |
| Bahnstrom Schweden | MJ/kWh | 3,6 | k.A. | 3,6 | 3,8 |
| <i>Treibhausgase</i> | | | | | |
| Diesel konventionell | kg CO ₂ e/l | 2,7 | 2,9 | 2,68 | 3,01 |
| Biodiesel | kg CO ₂ e/l | 0,0 | 1,9 | 0,00 | 2,06 |
| Diesel Deutschland ²⁾ | kg CO ₂ e/l | k.A. | k.A. | 2,50 | 2,94 |
| Erdgas | kg CO ₂ e/kg | k.A. | k.A. | 2,53 | 3,13 |
| Flüssiggas | kg CO ₂ e/l | k.A. | k.A. | 1,61 | 1,90 |
| Kerosin ³⁾ | kg CO ₂ e/kg | 3,3 | 3,5 | 3,18 | 3,59 |
| RFO/Heizöl schwer ⁴⁾ | kg CO ₂ e/kg | 3,1 | 3,5 | 3,15 | 3,39 |
| Bahnstrom D | kg CO ₂ e/kWh | 0,000 | k.A. | 0,000 | 0,574 |
| Bahnstrom Schweden | kg CO ₂ e/kWh | 0,000 | k.A. | 0,000 | 0,004 |
| <p>¹⁾ Die Umrechnungsfaktoren im CEN-Normentwurf sind noch in der Diskussion. Daher werden in diesem Leitfaden die Umrechnungsfaktoren verwendet, die in Deutschland und der EU typischerweise verwendet werden. „k.A.“ = keine Angabe im CEN-Normentwurf. – ²⁾ 6,2 % Beimischung von Biodiesel (Bezugsjahr: 2010). – ³⁾ Ohne Berücksichtigung einer möglicherweise höheren Klimawirksamkeit des Luftverkehrs in Reiseflughöfe. – ⁴⁾ RFO = Residual Fuel Oil (Schweröl für Schiffe).</p> <p>Quellen: CEN-Entwurf prEN 16258:2011; AG Energiebilanzen (TTW Energie), GEMIS 4.7 (WTW Energie; Erdgas/Flüssiggas: TTW Energie); TREMOD 2010 (TTW CO₂e); Umweltbundesamt (WTW CO₂e); eigene Berechnungen.</p> | | | | | |

Rechenbeispiel 1:

Berechnung von TTW- und WTW-Energieverbrauch und der TTW- und WTW-Treibhausgasemissionen auf Basis von gemessenen Dieserverbräuchen

Für eine Fahrt von München nach Berlin benötigt ein Lkw 186 l Diesel. In diesem Beispiel erfolgen die Berechnungen sowohl mit den Umrechnungsfaktoren des CEN-Normentwurfes als auch mit den Umrechnungsfaktoren des in Deutschland typischen Diesels (6.2 % Beimischung von Biodiesel).

TTW-Energieverbrauch:

- CEN-Normentwurf: $EN_{TTW} = FC \times F_{EN_TTW} = 186 \text{ l} \times 36,0 \text{ MJ/l} = 6.696 \text{ MJ}$
- Leitfaden: $EN_{TTW} = FC \times F_{EN_TTW} = 186 \text{ l} \times 35,7 \text{ MJ/l} = 6.640 \text{ MJ}$

WTW-Energieverbrauch:

- CEN-Normentwurf: $EN_{WTW} = FC \times F_{EN_WTW} = 186 \text{ l} \times 43,0 \text{ MJ/l} = 7.998 \text{ MJ}$
- Leitfaden: $EN_{WTW} = FC \times F_{EN_WTW} = 186 \text{ l} \times 41,4 \text{ MJ/l} = 7.700 \text{ MJ}$

TTW-Treibhausgasemissionen:

- CEN-Normentwurf: $EM_{TTW} = FC \times F_{EM_TTW} = 186 \text{ l} \times 2,7 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 502 \text{ kg CO}_2\text{e}$
- Leitfaden: $EM_{TTW} = FC \times F_{EM_TTW} = 186 \text{ l} \times 2,50 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 465 \text{ kg CO}_2\text{e}$

WTW-Treibhausgasemissionen:

- CEN-Normentwurf: $EM_{WTW} = FC \times F_{EM_WTW} = 186 \text{ l} \times 2,9 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 539 \text{ kg CO}_2\text{e}$
- Leitfaden: $EM_{WTW} = FC \times F_{EM_WTW} = 186 \text{ l} \times 2,94 \text{ kg CO}_2\text{e/l} = 547 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Für die Umrechnung von kWh in MJ enthält der CEN-Normentwurf nur Umrechnungsfaktoren für Tank-to-Wheel. Die europäischen Bahnunternehmen haben für ihre Stromerzeugung allerdings spezifische Werte ermittelt, die die unterschiedlichen Kraftwerksparks berücksichtigen, so dass jedes EU-Land seine eigenen Umrechnungsfaktoren hat. In diesem Leitfaden werden die Werte des im Auftrag der europäischen Bahnen erstellten Emissionsmodells EcoTransIT World (www.ecotransit.org) verwendet. Die entsprechenden WTW-Umrechnungsfaktoren für den Energieverbrauch sowie die Umrechnungsfaktoren zur Bestimmung der TTW- und WTW-Treibhausgasemissionen für Deutschland und Schweden zeigt Tabelle 4. Für andere europäischen Länder sind die entsprechenden Faktoren im Anhang dokumentiert.

Rechenbeispiel 2:

Berechnung der TTW- und WTW-Energieverbräuche auf Basis des Stromverbrauchs

Ein elektrischer Güterzug benötigt für eine Fahrt von München nach Berlin rund 4.600 kWh Strom.

Der **TTW-Energieverbrauch** berechnet sich wie folgt:

$$EN_{TTW} = FC \times F_{EN_TTW} = 4.600 \text{ kWh} \times 3,6 \text{ MJ/kWh} = 16.560 \text{ MJ}$$

Der **WTW-Energieverbrauch** kann wie folgt ermittelt werden:

$$EN_{WTW} = FC \times F_{EN_WTW} = 4.600 \text{ kWh} \times 10,8 \text{ MJ/kWh} = 49.680 \text{ MJ}$$

Die **TTW- und WTW-Treibhausgasemissionen** berechnen sich dann wie folgt:

$$EM_{TTW} = FC \times F_{EM_TTW} = 4.600 \text{ kWh} \times 0 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh} = 0 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$EM_{WTW} = FC \times F_{EM_WTW} = 4.600 \text{ kWh} \times 0,574 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh} = 2.640 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Würde der gleiche Energieverbrauch für einen Güterzug in **Schweden** gemessen, wäre der WTW-Energieverbrauch und die WTW-Treibhausgasemissionen aufgrund der Bahnstromerzeugung ausschließlich aus Wasserkraft deutlich niedriger:

$$EN_{WTW} = FC \times F_{EN_WTW} = 4.600 \text{ kWh} \times 3,8 \text{ MJ/kWh} = 17.480 \text{ MJ}$$

$$EM_{WTW} = FC \times F_{EM_WTW} = 4.600 \text{ kWh} \times 0,004 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh} = 18 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

In vielen EU-Ländern wird Biodiesel konventionellem Diesel beigemischt. Grundlage ist die EU-Richtlinie 2009/30/EG. Das deutsche Biokraftstoffquotengesetz schreibt vor, dass im Zeitraum von 2010 bis 2014 die Mindestbeimischungsquote für Dieselmotorkraftstoff - bezogen auf den Energieinhalt - 4,4 % betragen muss. 2010 lag in Deutschland der Beimischungsanteil von Biodiesel bereits bei 6,2 %. Tabelle 5 zeigt für verschiedene **Beimischungsquoten** die notwendigen **Umrechnungsfaktoren**. Da der Energieinhalt von Biodiesel geringer ist als der von konventionellem Diesel, muss bezogen auf einen Liter Kraftstoff prozentual eine etwas größere Menge Biodiesel beigemischt werden.

Laut EU-Richtlinie 2009/30/EG sollen beigemischte Biokraftstoffe die Well-to-Wheel-Treibhausgase reduzieren - bis 2016 um mindestens 35 %, ab 2017 um 50 %, ab 2018 um 60 %. Die Werte in den Tabellen 5 und 6 berücksichtigen die Minderung der Emissionen von derzeit 35 % - das hat den Vorteil, dass die Herstellungspfade und Ausgangsstoffe für die Biokraftstoffe nicht bekannt sein müssen.

Tab. 5: Beimischungsanteil von Biodiesel (energetisch und volumetrisch) sowie die sich daraus ergebenden Energie- und THG-Umrechnungsfaktoren

| Biodieselanteil bezogen auf Energieinhalt | Biodieselanteil bezogen auf Volumen (Liter) | TTW-Energie-Umrechnungsfaktor | WTW-Energie-Umrechnungsfaktor | TTW-THG-Umrechnungsfaktor | WTW-THG-Umrechnungsfaktor |
|---|---|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| in % | in % | MJ/Liter | MJ/Liter | kg CO ₂ e/Liter | kg CO ₂ e/Liter |
| 1,0% | 1,09% | 35,8 | 41,2 | 2,65 | 3,00 |
| 2,0% | 2,19% | 35,8 | 41,2 | 2,62 | 2,99 |
| 3,0% | 3,28% | 35,8 | 41,3 | 2,60 | 2,97 |
| 4,0% | 4,37% | 35,7 | 41,3 | 2,57 | 2,96 |
| 5,0% | 5,45% | 35,7 | 41,4 | 2,54 | 2,95 |
| 6,0% | 6,54% | 35,7 | 41,4 | 2,51 | 2,94 |
| 6,2% | 6,75% | 35,7 | 41,4 | 2,50 | 2,94 |
| 7,0% | 7,62% | 35,6 | 41,5 | 2,48 | 2,93 |
| 8,0% | 8,70% | 35,6 | 41,5 | 2,45 | 2,92 |
| 9,0% | 9,78% | 35,6 | 41,6 | 2,42 | 2,91 |
| 10,0% | 10,85% | 35,5 | 41,6 | 2,39 | 2,90 |
| 20,0% | 21,50% | 35,2 | 42,2 | 2,11 | 2,80 |

Quellen: AG Energiebilanzen (TTW Energie), GEMIS 4.7 (WTW Energie); TREMOD 2010 (TTW CO₂e); Umweltbundesamt (WTW CO₂e); eigene Berechnungen.

Viele Waren und Güter müssen beim Transport gekühlt, einige auch warm gehalten werden. Das erfordert **zusätzlich Energie**. Werden beispielsweise Kühlaggregate über den Dieseltank des Lkw betrieben, ist der zusätzliche Verbrauch bereits im Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs enthalten und fließt direkt in die Treibhausgasberechnung ein. Werden Aggregate separat mit Energie versorgt, muss der zusätzliche Verbrauch getrennt erfasst werden. TTW- und WTW-Energieverbrauch bzw. TTW- und WTW-Treibhausgasemissionen können dann nach der oben beschriebenen Vorgehensweise berechnet werden.

Kühlaggregate sind mit **Kältemittel** gefüllt. Die meisten Kältemittel sind stark klimawirksame Gase, wenn sie durch Leckagen oder Havarien in die Atmosphäre gelangen. Wie viel davon in die Umwelt gelangt, kann über die nachgefüllte Menge und über den GWP-Faktor der Chemikalie ermittelt werden:

| |
|--|
| Direkte THG-Emissionen = Nachfüllmenge Kältemittel x GWP-Faktor |
|--|

Für 0,5 kg frei gesetztes Kältemittel R 134a gilt dann beispielsweise:

$$0,5 \text{ kg R 134a} \times 1.430 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 715 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$$

Die **GWP-Faktoren für gängige Kältemittel** zeigt Tabelle 6.

Zur Berechnung der gesamten Treibhausgasemissionen (analog zu den WTW-Treibhausgasemissionen nach dem CEN-Normentwurf) müssen zusätzlich die Emissionen aus der Herstellung der Kältemittel berücksichtigt werden. Die Berechnung der gesamten Emissionen erfolgt analog mit Hilfe des Gesamt-Emissionsfaktors (siehe Tabelle 6):

$$0,5 \text{ kg R134a} \times 1.533 \text{ kg CO}_2\text{e/kg} = 766,5 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$$

Tab. 6: Emissionsfaktoren ausgewählter Kältemittel

| | Direkter Emissionsfaktor (analog zu TTW) | Gesamt-Emissionsfaktor (analog zu WTW) |
|---|---|---|
| | kg CO ₂ e/kg | kg CO ₂ e/kg |
| Kältemittel R22 | 1.810 | 1.886 |
| Kältemittel R134A | 1.430 | 1.533 |
| Kältemittel R404A | 3.922 | 4.025 |
| Kältemittel R410A | 2.088 | 2.177 |
| <i>Quellen:</i> IPCC 2007; Ecoinvent 2009; eigene Berechnungen. | | |

Das früher in Kühlaggregaten von Lkw häufig eingesetzte Kältemittel R 22 wird heute in Neufahrzeugen durch die Fluorkohlenwasserstoffe R 404A, R 410A und R134a ersetzt. R 404A und R 410A werden in Kühlaggregaten für größere Fahrzeuge für den Tiefkühl- und den Frischedienst eingesetzt, R 134a in Aggregaten für kleinere Fahrzeuge im Frischedienst. Bei Kühlcontainern auf Containerschiffen kommen R22, R134a und R404A zur Anwendung.

Vorgaben für die Berechnung temperaturgeführter Transporte sind im neuen CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 nicht enthalten. Die hier vorgeschlagene Vorgehensweise orientiert sich an den Empfehlungen des GHG Protocols für den stationären Bereich (siehe auch Kapitel 12). Die Allokation der ermittelten Treibhausgasemissionen auf die Einzelsendung kann analog zur Allokation der energiebedingten Treibhausgasemissionen erfolgen, wie sie in Kapitel 7 beschrieben wird.

7 Allokation: Verbrauch und Emissionen der Einzelsendung

Oft ist nicht die Klimawirkung einer ganzen Fracht, sondern die einer Einzelsendung von Interesse. Dann müssen Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen eines Lkw, eines Zuges, eines Flugzeugs oder eines Schiffes auf das einzelne Gut verteilt werden. Das kann über verschiedene **Verteilungsschlüssel** (Anzahl der Sendungen, Gewicht der Sendungen etc.) erfolgen. Alle Standards geben bestimmte Grundregeln für diese Allokation vor:

- Der gesamte Energieverbrauch und sämtliche Treibhausgasemissionen eines Fahrzeuges müssen den beförderten Gütern zugeordnet werden. Das bedeutet, dass auch **Leerfahrten anteilig** den beförderten Gütern **zugerechnet** werden müssen.
- **Grenzallokationen sind nicht zulässig.** Die Verteilung von Energieverbrauch und Emissionen für einen bestimmten Streckenabschnitt muss immer bezogen auf alle geladenen Güter erfolgen. Wird also eine Ware zusätzlich geladen, verteilen sich alle Lasten anteilig auch auf dieses Gut. Es wäre unzulässig, nur den geringen Mehrverbrauch an Energie dieser Sendung zuzuordnen. Dieses Vorgehen würde dazu führen, dass die zuerst geladenen Güter die höchsten Umweltauswirkungen zugewiesen bekämen.
- Werden **Passagiere und Güter gleichzeitig transportiert** (z. B. in einem Passagierflugzeug), müssen Energieverbrauch und Emissionen auf Passagiere und Fracht aufgeteilt werden.
- Der gewählte **Verteilungsschlüssel** für die Allokation darf für ein bestimmtes Fahrzeug oder im Zeitverlauf des Transports nicht variiert werden.

Der vorliegende Leitfaden empfiehlt, dass die Allokation entsprechend den Vorgaben des CEN-Normentwurfes erfolgen soll. Der **bevorzugte Allokationsparameter** ist demnach das **Produkt aus Sendungsgewicht und tatsächlich zurückgelegter Entfernung** – also die Transportleistung gemessen in Tonnenkilometern. Alternativ kann das Produkt aus Entfernung und anderen Größen wie Volumen, Lademeter, Palettenanzahl, Anzahl von Standardcontainer (TEU = Twenty-foot equivalent unit) verwendet werden, wenn diese Größen der maßgebende begrenzende Faktor des Transportes sind. In bestimmten Fällen genügt das Gewicht oder die Anzahl der Sendungen als Verteilungsschlüssel – beispielsweise bei Kurier-, Express- und Paketdiensten, da hier eine Ermittlung der Transportentfernung pro Einzelsendung kaum möglich ist. Grundsätzlich gilt: Die gewählte **Allokationsgröße muss** zusammen mit dem Ergebnis **kommuniziert werden**.

Rechenbeispiel 3:

Allokation des Energieverbrauchs auf die Einzelsendung

Ein Holzhändler transportiert mit einem 12-t-Lkw acht Paletten mit Holzbriketts von seinem Lager in Bad Homburg zu zwei Kunden in Darmstadt und Bensheim. Anschließend fährt er leer zum Lager zurück. Insgesamt verbraucht der Lkw 25,7 l. Es werden zwei Sendungen transportiert

- vier Paletten Hartholzbriketts von Bad Homburg nach Darmstadt (50 km)
- vier Paletten Rindenbriketts von Bad Homburg über Darmstadt nach Bensheim (50 + 26 km)
- Gewichte der Sendungen:
 - Hartholzbriketts:
960 kg/Palette + 20 kg Palettengewicht = 980 kg Gesamtgewicht/Palette
 - Rindenbriketts:
500 kg/Palette + 20 kg Palettengewicht = 520 kg Gesamtgewicht/Palette

Fall 1: Allokation mit Produkt aus Gewicht und Entfernung (Transportleistung)

- Hartholzbriketts: 50 km x 3,92 t = 196,0 tkm
 - Rindenbriketts: 76 km x 2,08 t = 158,1 tkm
 - Insgesamt: 196,0 tkm + 158,1 tkm = 354,1 tkm
- Prozentualer Anteil **Hartholzbriketts**: $196,0 \text{ tkm} / 341,6 \text{ tkm} = 55,35 \%$

Fall 2: Aufteilung nach Produkt aus Palettenanzahl und Entfernung

- Hartholzbriketts: 50 km x 4 Paletten = 200 Paletten-km
 - Rindenbriketts: 76 km x 4 Paletten = 304 Paletten-km
 - Insgesamt: 200 Paletten-km + 304 Paletten-km = 504 Paletten-km
- Prozentualer Anteil **Hartholzbriketts**: $200 \text{ Paletten-km} / 504 \text{ Paletten-km} = 39,68 \%$

Damit entfällt auf die **Hartholzbriketts** bei der **gewichtsbasierten Allokation** ein Dieserverbrauch von 14,2 l ($55,35 \% \times 25,7 \text{ l}$), bei der **Allokation über die Paletten-Kilometer** von 10,2 l ($39,68 \% \times 25,7 \text{ l}$). Das Beispiel zeigt anschaulich, dass die gewählte Allokationsmethode das Ergebnis stark beeinflusst!

Der CEN-Normentwurf formuliert für Sammel- und Verteilerverkehre spezielle Empfehlungen für die Allokation. Hier müssen zunächst Kraftstoffverbrauch, TTW- und WTW-Energieverbräuche bzw. TTW- und WTW-Treibhausgasemissionen für die gesamte Tour ermittelt werden. Als **Allokationsparameter** empfiehlt der CEN-Normentwurf aber nicht die realen Transportentfernungen der einzelnen Güter, sondern die **direkten Distanzen** vom Stadt- bzw. Endpunkt (z. B. Terminal) zu den Auf- und Abladepunkten (siehe Rechenbeispiel 4). Das erlaubt eine

gerechtere Aufteilung des Energieverbrauchs und der Emissionen auf die Einzelsendung, da dieses Verfahren unabhängig davon ist, ob die Tour im oder gegen den Uhrzeigersinn gefahren wird oder ob ein Gut zu Anfang oder am Ende auf- bzw. abgeladen wird.

Die Norm lässt zur Bestimmung der kürzesten Entfernungen zwei Möglichkeiten zu: entweder die **Luftlinie** zwischen Terminal und Auf- bzw. Abladepunkt oder die **kürzeste realisierbare Distanz** auf den vorhandenen Verkehrswegen zwischen Terminal und Auf- bzw. Abladepunkt. In der Praxis sind die Unterschiede zwischen den beiden Varianten klein. Wie generell bei Güterverkehren sollte auch für Sammel- und Verteilerverkehre das Produkt aus Distanz und Gewicht zur Allokation verwendet werden. Wichtig: Die kürzesten Entfernungen dürfen nur zur Allokation herangezogen werden; der Kraftstoffverbrauch muss aber entlang der real gefahrenen Strecke für die gesamte Tour ermittelt werden.

Manchmal werden Passagiere und Fracht gleichzeitig transportiert – beispielsweise im Luftverkehr (Belly-Fracht) oder auf Fähren, die Pkw und Lkw transportieren. Belly-Fracht hat in der Praxis hohe Relevanz. Nach dem CEN-Normentwurf muss die Aufteilung zwischen Passagieren und Fracht auf Basis der Gewichtsanteile erfolgen. Liegt das Gewicht von Passagieren und Gepäck nicht vor, werden Passagiere pauschal mit 100 Kilogramm pro Fluggast und Gepäck berechnet.

Rechenbeispiel 4:

Allokation bei Sammel- und Verteilerverkehren mit dem Lkw

Ein Lkw braucht bei einer Sammel- und Verteilertour 8 l Diesel. Der Dieserverbrauch, der auf die Ladung entfällt, die beim zweiten Stopp aufgeladen wird (1,5 t), berechnet sich dabei mit dem Produkt aus Entfernung und Sendungsgewicht wie folgt:

- Fiktive Transportleistung aller Sendungen:
 $3 \times 4,1 + 1,5 \times 7,9 + 5 \times 10,3 + 3 \times 11,5 + 2 \times 8,2 + 3,5 \times 4,3$ tkm = 141,6 tkm
- Transportleistung Sendung: $1,5 \text{ t} \times 7,9 \text{ km} = 11,85 \text{ tkm}$
- Anteil Sendung an allen Sendungen: $11,85 \text{ tkm} : 141,6 \text{ tkm} = 8,37 \%$

Somit entfallen auf die **betrachtete Sendung** (2. Stopp) **0,67 Liter** ($8,37 \% \times 8 \text{ l}$).

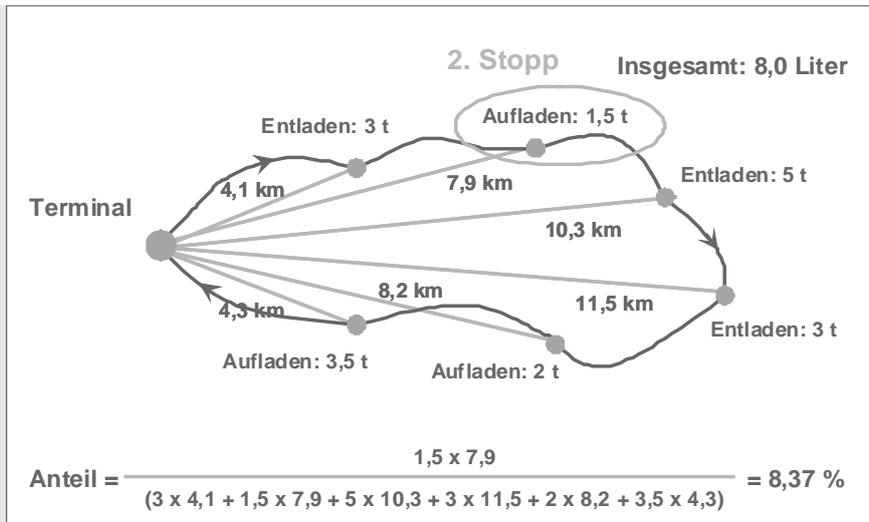


Abb. 7: Beispiel für eine Allokation einer Sammel- und Verteilerfahrt [eigene Darstellung]

Rechenbeispiel 5:

Allokation von Fracht in Passagierflugzeugen

Von Frankfurt nach New York benötigt eine Boeing 747-400 insgesamt 67.800 kg Kerosin. An Bord sind 350 Passagiere und 9 t Fracht. Die Flugentfernung beträgt 6.300 km.

Die Allokation des Kerosinsverbrauchs auf 1 t Fracht:

- Transportleistung Passage + Fracht = $(350 \times 0,1 \text{ t} + 9 \text{ t}) \times 6.300 \text{ km} = 277.200 \text{ tkm}$
- Transportleistung 1 t Fracht = $1 \text{ t} \times 6.300 \text{ km} = 6.300 \text{ tkm}$
- Prozentualer Anteil von 1 t Fracht = $6.300 \text{ tkm} : 277.200 \text{ tkm} = 2,27 \%$
- Kerosinverbrauch für 1 t Fracht = $2,27 \% \times 67.800 \text{ kg} = 1.539 \text{ kg}$

Somit entfällt auf **1 t Belly-Fracht** in der Passagiermaschine ein Kerosinverbrauch in Höhe von **1.539 kg**.

8 Berechnungsmethoden für Transporte - zwei Wege, ein Ziel

Energieverbrauch und Treibhausgase von Transporten lassen sich grundsätzlich nach zwei Ansätzen ermitteln: nach der verbrauchs-basierten oder der entfernungs-basierten Methode.

Verbrauchs-basierte
Methode

Bei der **verbrauchsbasierten Methode** werden die Treibhausgasemissionen mit Hilfe des gemessenen Energieverbrauchs und der energiezuspezifischen Emissionsfaktoren berechnet. Der Energieverbrauch muss zur Vergleichbarkeit mit Hilfe von fest definierten Faktoren in eine einheitliche Energieeinheit (in der Regel Megajoule) umgerechnet werden. Der neue CEN-Normentwurf empfiehlt, die verbrauchsbasierte Methode zu verwenden, da sie präzisere Ergebnisse liefert als die entfernungs-basierte Methode.

Der CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 unterscheidet die verbrauchs-basierte Variante in **drei unterschiedliche Fälle**. Beim ersten Fall liegt für einen konkreten Transport der gemessene Energieverbrauch vor – in der Realität ist das aber nur in Ausnahmen der Fall.

Relevanter ist der zweite Fall, dass für den Fahrzeugumlauf, bei dem auf einem Teilstück das betrachtete Gut transportiert wird, linien- oder routenspezifische Durchschnittswerte vorliegen. Diese Werte sind dann nicht für den konkreten Transport gemessen, sondern beispielsweise über ein Jahr gemittelt. Liegen auch diese Werte nicht vor, können im dritten Fall Flottendurchschnittswerte verwendet werden, die für das betrachtete Gut typisch sind. Dabei ist zu beachten, dass keine Flottenwerte eingerechnet werden, die eine völlig andere Fahrzeuggröße abdecken - z. B. den Flottendurchschnitt von 40-t-Lkw, wenn es sich in Wirklichkeit um Verteilerfahrten handelt. In allen drei Fällen müssen die Leerfahrten in die Berechnung einbezogen werden.

Welche Wege es zur Messung des Energieverbrauchs gibt, beschreibt Kapitel 9.

Für große Logistikunternehmen ist die verbrauchs-basierte Methode kaum praktikabel, denn ein Großteil der Transporte wird mit Fahrzeugen beauftragter Subunternehmer durchgeführt. Eine vollständige Erfassung von deren Kraftstoffverbräuchen ist nicht machbar. Für diese Fälle eignet sich die **entfernungs-basierte Methode**. Sie benötigt neben dem Gewicht der Sendung Angaben zu zurückgelegten Entfernungen oder Angaben zu den Tonnenkilometern (Gewicht mal Entfernung). Diese Größen werden dann mit Verbrauchs- und Emissionsfaktoren pro Fahrzeugkilometer oder pro Tonnenkilometer verknüpft, um zu ermitteln, wie viel Energie verbraucht und wie viele Treibhausgase erzeugt wurden.

Die Faktoren können aus offiziellen Datenbanken wie HBEFA, TREMOD, TREMOVE oder aus frei zugänglichen Rechentools wie EcoTransIT World entnommen werden. Jahresfahrleistungen, Transportleistungen und Auslastungen müssen dagegen spezifisch ermittelt werden. Berechnungen sind umso exakter, je genauer die Verbrauchs- und Emissionsfaktoren auf den betrachteten Transport abgestimmt sind. Ein leerer Lkw verbraucht beispielsweise weniger Kraftstoff als ein voll beladenes Fahrzeug. Daher finden sich für leere und voll beladene Lkw unterschiedliche Verbrauchswerte und Emissionsfaktoren in den Datenbanken.

Wie mit Hilfe der entfernungs-basierten Methode Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen für alle Verkehrsmittel berechnet werden können, zeigt Kapitel 10. Kapitel 11 stellt für den Lkw-Verkehr vor, wie spezifisch für den betrachteten Transport Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen berechnet werden können.

Der CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 lässt **vier Ansätze zur Bestimmung von Verbrauchsdaten** zu, wobei die ersten drei Fälle der verbrauchsbasierten Methode, der vierte Fall der entfernungsbasierten Methode entsprechen:

- Verwendung **spezifischer Messwerte** für den konkreten Transport,
- Verwendung von **fahrzeug- oder routentypischen Kennwerten** (z. B. gemittelt für ein Jahr),
- Verwendung von **Flottendurchschnittswerten** (z. B. gemittelt für ein Jahr),
- Verwendung von feststehenden Vorgabewerten aus Datenbanken („**Default-Werte**“).

Für alle Methoden gilt: Die Daten sind nur so gut wie die Quelle, aus der sie stammen. Daher muss zusätzlich zu den Ergebnissen stets deutlich gemacht werden, welche Größen gemessen wurden und welches vorgegebene Default-Werte aus Datenbanken sind. Bei Default-Werten muss zudem die Quelle angegeben werden.

Egal welche Datenquellen verwendet werden, es müssen nach dem CEN-Normentwurf die gemessen oder berechneten Energieverbräuche zur besseren Vergleichbarkeit in die einheitliche Energieeinheit MJ umgerechnet werden. Zudem müssen aus dem Energieverbrauch mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren die Treibhausgasemissionen ermittelt werden. Für beide Umrechnungsschritte - Standardisierung der Energieverbräuche und Berechnung der Treibhausgasemissionen - bietet der CEN-Normentwurf für alle Energieträger feste Umrechnungsfaktoren an oder beschreibt die Methode, wie diese Faktoren ermittelt werden müssen.

9 Messung des Energieverbrauchs - aber wie?

In den vorangegangenen Unterkapiteln wurde aufgezeigt, wie Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen für Tank-to-Wheel und Well-to-Wheel standardisiert auf Basis von Energieverbrauchsdaten berechnet werden können und wie man diese Größen auf die Einzelsendung verteilt. Wer Energieverbrauchswerte misst, muss sicherstellen, dass sie in Übereinstimmung mit dem CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 erhoben werden.

Der CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 schreibt vor, dass der **gesamte Fahrzeugumlauf**, bei dem die einzelne Sendung transportiert wird, betrachtet werden muss. Dieser Fahrzeugumlauf wird als Fahrzeug-Einsatzsystem (vehicles operations system, **VOS**) bezeichnet. Dies stellt sicher, dass auch Leerfahrten zur Bereitstellung der Fahrzeuge oder Leerfahrten zurück zum Standort in die Berechnung mit eingehen.

Dabei ist **zu beachten**: Zum Fahrzeug-Einsatzsystem gehört bei einer Fahrt mit einer Komplettladung von A nach B auch die **Leerfahrt** von B nach A zurück - vorausgesetzt, dass die Leerfahrt nicht in Verbindung mit einem nachfolgenden Transport steht und folglich diesem zugerechnet werden müsste. Für **Containerschiffe** ist das Fahrzeug-Einsatzsystem der gesamte Loop vom Ausgangshafen zur Destination und wieder zurück, auch wenn der betrachtete Container nur eine Teilstrecke transportiert wird. Bei **Sammel- und Verteilerverkehr** gehört die gesamte Tour zum Fahrzeug-Einsatzsystem.

Der Normentwurf lässt für die Messung des Energieverbrauchs drei Fälle zu, wobei die Norm folgende Rangfolge empfiehlt:

- (1) **Verwendung von spezifischen Messwerten für den konkreten Transport:** In diesem Fall wird exakt für den Umlauf, bei dem die Sendung mittransportiert wurde, der Kraftstoffverbrauch ermittelt. Eine solche detaillierte Betrachtung ist bislang in der Praxis eher unwahrscheinlich, da Spediteure oder Logistiker nur selten für alle genutzten Verkehrsmittel separate Energiedaten erheben. Künftig wird durch den Ausbau von Onboard-Units zur kontinuierlichen Kraftstofffassung diese Berechnung leichter möglich sein.
- (2) **Verwendung von fahrzeug- oder routentypischen Kennwerten:** In diesem Fall misst der Logistiker beispielsweise auf Jahresbasis den Dieserverbrauch seiner Fahrzeuge, Schiffe oder Flugzeuge speziell für die Linie, Route oder Tour, bei denen die betrachtete Sendung ein Teilstück mittransportiert wird und verteilt diese Werte anschließend auf die betrachtete Einzelsendung. Er nutzt also einen durchschnittlichen Energieverbrauch pro Tonnenkilometer oder pro TEU-Kilometer beispielsweise gemittelt über ein Jahr. Dieses Vorgehen dürfte in Zukunft bedeutend werden, da es relativ leicht in der Praxis umsetzbar ist.
- (3) **Verwendung von Flottendurchschnittswerten:** Dieser Fall ähnelt dem zweiten Fall – allerdings werden hier Durchschnittswerte für eine ganze Flotte des Logistikdienstleisters verwendet und nicht speziell für eine Linie, Route oder Tour. Um diese Werte für eine einzelne Sendung anwenden zu können, muss aber sichergestellt sein, dass die Fahrzeuge für den betrachteten Transport typisch sind. Diese Vorgehensweise ist heute bei Logistikern üblich – allerdings liefert diese

Methode die unschärfsten Ergebnisse, da sie keine Spezifika des einzelnen Transports erfasst.

Rechenbeispiel 6:

Messung des Energieverbrauchs nach dem CEN-Normentwurf

Ein dieselbetriebener Zug transportiert Kies über eine Entfernung von 520 km und fährt leer zum Ausgangspunkt zurück.

Fall 1: Dieserverbrauch für konkreten Zugumlauf und Allokation auf 1 t Kies:

- Beladung: 2.400 t Kies
- Dieserverbrauch: 6.000 l

Anteil Dieserverbrauch pro t Kies = $(1 \text{ t} / 2.400 \text{ t}) \times 6.000 \text{ l} = 2,7 \text{ l}$

Fall 2: Dieserverbrauch auf Jahresbasis für konkreten Zugumlauf und Allokation auf 1 t Kies:

- Zugumläufe pro Jahr: 100
- Beladung: $100 \times 2.400 \text{ t Kies} = 240.000 \text{ t Kies}$
- Dieserverbrauch: 576.000 l

Anteil Dieserverbrauch pro t Kies = $(1 \text{ t} / (2.400 \text{ t} \times 100)) \times 576.000 \text{ l} = 2,4 \text{ l}$

Fall 3: Dieserverbrauch auf Jahresbasis für Gesamtnetz und Allokation auf 1 t Kies:

- Gesamttransportleistung aller Massenguttransporte des Unternehmens:
4,73 Mrd. tkm
- Transportleistung für 1 t Kies über 520 km: 520 tkm
- Dieserverbrauch: 23,04 Mill. l

Anteil Dieserverbrauch pro t Kies = $(520 \text{ tkm} / 4.730 \text{ Mill. tkm}) \times 23,04 \text{ Mill. l} = 2,5 \text{ l}$

Dieses Beispiel zeigt, dass die Art der Energieverbrauchsmessung Einfluss auf das Ergebnis hat. In diesem Beispiel ist der Verbrauch für den konkreten Zugumlauf am höchsten. Dies ist aber leicht erklärbar: Bei einem einzelnen Umlauf können Sondereffekte auftreten, z. B. zusätzliche Stopps eines Güterzuges, um Personenzüge passieren zu lassen. Solche Sondereffekte werden bei Jahreswerten herausgemittelt.

In der Praxis wird derzeit oft analog zum Fall 3 ein Durchschnittswert pro Tonnenkilometer errechnet, der dann zur Berechnung einzelner Sendungen herangezogen wird.

10 Ohne Verbrauchsdaten schnell ans Ziel

Wenn Subdienstleister mit Transporten beauftragt werden, liegen in aller Regel weder Verbrauchsangaben für deren Fahrzeuge und Fahrzeugumläufe noch Angaben zur Auslastung der Transporte oder Anteile der Leerfahrten vor. In diesem Fall können Energieverbräuche mit Hilfe des **entfernungsbasierten Ansatzes** ermittelt werden. Der folgende Rechenweg ist gleich mit dem Allokationsschritt verknüpft – statt zwei getrennten Rechenschritten ist also nur eine Berechnung nötig. Als **Allokationsparameter** dient in diesem Kapitel einerseits das Gewicht, andererseits der 20-Fuß-Standard-Container (TEU - Twenty-foot equivalent unit).

Während die Werte für Energieverbräuche verschiedener Verkehrsmittel aus Datenbanken entnommen werden können, müssen für Auslastungen und Leerfahrten Festlegungen getroffen werden. Das Dilemma besteht darin, dass Auslastung und Leerfahrten einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch haben. Beide Größen hängen aber in der Regel von der Art des Transportgutes ab: Bei schweren Massengütern wie Erze, Kohle oder Mineralölprodukte, bei denen das Transportgewicht der begrenzende Faktor für die Auslastung ist, sind Ladungsfahrten nahezu zu 100 % ausgelastet. Gleichzeitig handelt es sich oft um unpaarige Transporte mit hohen Leerfahrtenanteilen. Bei Volumengütern wie Fahrzeugen, Elektrogeräten, Polstermöbeln liegt dagegen die massenbezogene Auslastung bei 30 bis 40 %, dafür ist der Leerfahrtenanteil kleiner. Um diese Einflüsse berücksichtigen zu können, werden in diesem Kapitel Energieverbrauchswerte für die drei Güterarten **Massengut, Volumengut und Durchschnittsgut** ausgewiesen. Zudem werden Container-Transporte separat behandelt.

In den folgenden Abschnitten werden für jedes Verkehrsmittel Energieverbrauchswerte pro Tonnenkilometer für Volumen, Durchschnitts- und Volumengüter in Tabellenform zur Verfügung gestellt. Da die Energiewerte von den Verkehrsmitteln und deren Größe abhängen, werden diese differenziert nach Lkw-, Zug-, Schiffs- oder Flugzeuggrößen ausgewiesen. Die spezifischen Verbrauchswerte pro Tonnenkilometer enthalten auch Festlegungen zu Auslastungen und zu Leerfahrtenanteilen.

Zur Ermittlung des Energieverbrauchs für die betrachtete Sendung muss der spezifische Verbrauchswert pro Tonnenkilometer mit dem Gewicht der Sendung und der zurückgelegten Transportentfernung multipliziert werden. Bei Containern sind die spezifischen Verbrauchswerte pro TEU-Kilometer in den Tabellen angegeben. Für diese Fälle müssen diese Werte mit der Entfernung und der Anzahl der TEU ausmultipliziert werden. Die folgende Formel fasst dies zusammen:

| | | |
|-----------------------|---|--|
| FC = W * D * E | | |
| FC | = | Energieverbrauch in l, kg oder kWh |
| W | = | reales Frachtgewicht in t oder TEU |
| D | = | reale Transportentfernung in km |
| E | = | spezifischer Energieverbrauch (in l, kg oder kWh) je tkm oder TEU-km |

Um den Energieverbrauch exakt zu ermitteln, sind folgende Schritte notwendig:

- Bestimmung **der Gutart** (Schwer-, Durchschnitts-, Volumengut);
- Identifikation der verwendeten **Fahrzeuge** nach Art und Größe;
- Auswahl der spezifischen **Verbrauchswerte** pro Tonnen-km bzw. TEU-km passend zur Gutart und zur Fahrzeugart bzw. Fahrzeugtyp;
- Ermittlung der **realen Transportentfernung** für die einzelne Sendung. Bei landgebundenen Verkehren (Straße, Schiene, Binnenschifffahrt) ist das die tatsächlich zurückgelegte Strecke; bei Flugverkehr und Seeschifffahrt gelten spezielle Berechnungsvorschriften, da die tatsächliche Distanz meist von der Idealroute abweicht;
- Ermittlung des **realen Sendungsgewichts** (einschließlich Verpackung oder Transporthilfen wie Paletten sowie ggf. Containergewichte, siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) bzw. Anzahl der TEU;
- **Berechnung des Energieverbrauchs** für die Sendung durch Multiplizieren des Sendungsgewichts mit den Transportentfernungen und den spezifischen Verbrauchswerten pro tkm bzw. TEU-km.

Aus den so ermittelten Energieverbrauchswerten werden die TTW- und WTW-Energieverbräuche und TTW- und WTW-Treibhausgasemissionen mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren ermittelt (siehe Kapitel 6).

Tab. 7: Containergewicht für verschiedene Gutarten

| Gutart | Containergewicht | Frachtgewicht | Gesamtgewicht |
|---------------------------------|------------------|---------------|---------------|
| | Tonnen/TEU | Tonnen/TEU | Tonnen/TEU |
| Volumengut | 1,9 | 6,0 | 7,90 |
| Durchschnittsgut | 1,95 | 10,5 | 12,45 |
| Massengut | 2,0 | 14,5 | 16,50 |
| <i>Quelle: EcoTransIT 2010.</i> | | | |

Für Lkw-Transporte kommen verschiedene Fahrzeuggrößen zum Einsatz. In Anlehnung an das Internet-basierte Emissionsberechnungstool EcoTransIT (www.eoctransit.org) werden hier Verbrauchswerte für vier Lkw-Größenklassen angeboten, die das in Deutschland und den meisten europäischen Ländern zugelassene Spektrum abdecken. Zwar wurden beim Lkw-Verkehr die Abgasemissionen in den vergangenen Jahren drastisch gesenkt - der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch allerdings ist seit Einführung von Euro 3 mehr oder weniger gleich geblieben. Daher unterscheiden sich aktuell die Verbrauchswerte pro Tonnenkilometer nicht nach verschiedenen technischen Abgasstandards oder dem Fahrzeugalter. Nur bei sehr alten Lkw liegen die Verbrauchswerte höher als in diesem Kapitel ausgewiesen.

Tab. 8: Annahmen für vier Lkw-Klassen

| | Zusätzliche Leer- fahrten ¹⁾ | Lkw < 7,5 t zGG | Lkw 7,5 - 12 t zGG | Lkw 12-24 t zGG | Last-/ Sattelzug 24-40 t zGG |
|--|---|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Maximale Zuladung | | 3,5 t | 6,0 t | 12,0 t | 26,0 t |
| Frachtverkehr | | <i>- Frachtgewicht in t pro Lkw -</i> | | | |
| Volumengut | +10% | 1,05 t | 1,8 t | 3,6 t | 7,8 t |
| Durchschnittsgut | +20% | 2,1 t | 3,6 t | 7,2 t | 15,6 t |
| Massengut | +60% | 3,5 t | 6,0 t | 12,0 t | 26,0 t |
| Containerverkehr | | <i>- Anzahl TEU pro Lkw -</i> | | | |
| Volumengut | +10% | - | - | 1 TEU | 2 TEU |
| Durchschnittsgut | +10% | - | - | 1 TEU | 2 TEU |
| Massengut | +10% | - | - | - | 1 TEU |
| ¹⁾ Zusätzliche Leerfahrten: Streckenanteil, der zusätzlich als Leerfahrt durchgeführt wird, bezogen auf die Lastfahrt. Quelle: EcoTransIT 2010. | | | | | |

Beim **Streckenprofil** haben Gefälle und Steigungen großen Einfluss auf den Verbrauch – umso mehr, je schwerer Fahrzeug und Ladung. Daher werden hier Verbrauchskennzahlen für das mittlere Längsneigungsprofil in Deutschland und für Fahrten in der Ebene angegeben. Güterverkehr findet überwiegend auf Autobahnen statt. Basis der Berechnung ist daher der mittlere Kraftstoffverbrauch auf **Autobahnen**. Hierbei werden gemittelte Anteile an freiem und gebundenen Verkehr sowie Staus berücksichtigt. Der Kraftstoffverbrauch auf **Außerortsstraßen** ist dem auf Autobahnen vergleichbar. Wenn größere Anteile der Strecke **innerorts** zurückgelegt werden, können die folgenden Korrekturfaktoren verwendet werden:

Tab. 9: Korrekturfaktoren für den Verbrauch auf Innerortsstraßen

| Lkw-Typ | Korrektur-Faktor |
|--|------------------|
| Lkw < 7,5 t zGG | 0,9 |
| Lkw 7,5 - 12 t zGG | 1 |
| Lkw 12 - 24 t zGG | 1,3 |
| Last-/ Sattelzug 24 - 40 t zGG | 1,4 |
| Quellen: HBEFA 3.1; TREMOD 2010; eigene Berechnungen. | |

Tabelle 10 enthält Verbrauchskennzahlen pro Tonnenkilometer für den spezifischen Energieverbrauch für Lkw und Containerverkehr. Bei Volumengütern entfällt ein höherer Kraftstoffverbrauch auf einen Tonnenkilometer als bei Massengütern.

Tab. 10: Spezifischer Energieverbrauch E pro tkm bzw. TEU-km für den Lkw-Verkehr

| | Mittleres Längsneigungsprofil | | | Ebene | | |
|---|--|-------------------|------------|-------------|-------------------|------------|
| | Volumen-gut | Durchschnitts-gut | Massen-gut | Volumen-gut | Durchschnitts-gut | Massen-gut |
| Frachtverkehr | - Dieselverbrauch in Liter/tkm - | | | | | |
| Lkw < 7,5 t | 0,140 | 0,078 | 0,063 | 0,139 | 0,077 | 0,062 |
| Lkw 7,5 - 12 | 0,108 | 0,061 | 0,050 | 0,105 | 0,059 | 0,048 |
| Lkw 12-24 t | 0,063 | 0,036 | 0,029 | 0,060 | 0,034 | 0,027 |
| Last-/Sattelzug 24-40 t | 0,038 | 0,023 | 0,020 | 0,033 | 0,020 | 0,016 |
| Containerverkehr | - Dieselverbrauch in Liter/TEU-km - | | | | | |
| Lkw < 7,5 t | x | x | x | x | x | x |
| Lkw 7,5 - 12 | x | x | x | x | x | x |
| Lkw 12-24 t | 0,24 | 0,26 | x | 0,22 | 0,24 | x |
| Last-/Sattelzug 24-40 t | 0,17 | 0,19 | 0,34 | 0,14 | 0,16 | 0,29 |
| x = Container-Transport für diese Lkw-Größe bzw. bei diesem Containergewicht nicht möglich. | | | | | | |
| Quellen: HBEFA 3.1; TREMOD 2010; eigene Berechnungen. | | | | | | |

Rechenbeispiel 7:

Energieverbrauch eines Lkw-Transports

Ein 40 t-Sattelzug transportiert 8 t Dämmmaterial von Ludwigshafen nach Berlin.

Ermittlung der Parameter für die Berechnung:

- Lkw-Klasse: Last-/Sattelzug 24-40t
- Gutart: Volumengut
- Transportgewicht: 8 t
- Transportentfernung: 634 km
- Straßenkategorie: Autobahn hügelig

Berechnung Energieverbrauch:

$$\begin{aligned} \text{FC [Liter]} &= W \text{ [t]} \times D \text{ [km]} \times E \text{ [l/tkm]} = \\ &8 \text{ t} \times 634 \text{ km} \times 0,038 \text{ l/tkm} = 193 \text{ l} \end{aligned}$$

Der Energieverbrauch von Güterzügen ist stark von Länge und Gesamtgewicht des Zuges abhängig: je länger und schwerer, desto weniger Energie entfällt auf die einzelne transportierte Tonne. Daher müssen für die Berechnung verschiedene Zugklassen mit unterschiedlichem Bruttogewicht festgelegt werden. Näherungsweise kann auch ein Zug mit mittlerem Bruttogewicht von 1.000 t verwendet werden. Tabelle 11 enthält spezifische Energiekennwerte E pro tkm oder TEU-km, von denen der passende Wert ausgewählt und in die Formel zur Berechnung des Energieverbrauchs FC eingesetzt werden muss.

Tab. 11: Spezifischer Energieverbrauch E pro tkm bzw. TEU-km für Güterzüge mit Elektro- und Dieseltraktion

| | Elektrotraktion | | | Dieseltraktion | | |
|---|-------------------|----------------------------|----------------|---------------------|----------------------------|----------------|
| | Volumen- gut | Durch- schnitts- gut | Massen- gut | Volumen- gut | Durch- schnitts- gut | Massen- gut |
| Frachtverkehr | - in kWh/tkm - | | | - in Liter/tkm - | | |
| Zug 500 t (Kurzzug) | 0,064 | 0,049 | 0,043 | 0,017 | 0,013 | 0,012 |
| Zug 1.000 t (Mittlerer Zug) | 0,042 | 0,032 | 0,028 | 0,011 | 0,009 | 0,008 |
| Zug 1.500 t (Langzug) | 0,032 | 0,025 | 0,022 | 0,009 | 0,007 | 0,006 |
| Zug 2.000 t (Langzug) | 0,027 | 0,021 | 0,018 | 0,007 | 0,006 | 0,005 |
| Containerverkehr | - in kWh/TEU-km - | | | - in Liter/TEU-km - | | |
| Zug 500 t (Kurzzug) | 0,507 | 0,622 | 0,726 | 0,138 | 0,169 | 0,198 |
| Zug 1.000 t (Mittlerer Zug) | 0,330 | 0,405 | 0,472 | 0,090 | 0,110 | 0,129 |
| Zug 1.500 t (Langzug) | 0,256 | 0,315 | 0,367 | 0,070 | 0,086 | 0,100 |
| Zug 2.000 t (Langzug) | 0,214 | 0,264 | 0,307 | 0,058 | 0,072 | 0,084 |
| x = Container-Transport für diese Lkw-Größe bzw. bei diesem Containergewicht nicht möglich. | | | | | | |
| Quellen: EcoTransIT 2010; eigene Berechnungen. | | | | | | |

Rechenbeispiel 8:

Energieverbrauch eines Bahn-Transports

Ein 20-Fuß-Container mit 11 t Gesamtgewicht (Durchschnittsgut, siehe Tabelle 7) wird mit der Bahn von Hamburg nach Dresden transportiert. Das Zuggewicht ist nicht bekannt, die Strecke ist elektrifiziert.

Ermittlung der Parameter für die Berechnung:

- Zugart: Zug 1000t, elektrisch
- Gutart: Durchschnitt
- Transportmenge: 1 TEU
- Transportentfernung: 463 km (ermittelt mit EcoTransIT)

Berechnung Energieverbrauch:

$$FC \text{ [kWh]} = W \text{ [TEU]} \times D \text{ [km]} \times E \text{ [kWh/TEU-km]} =$$

$$1 \text{ TEU} \times 463 \text{ km} \times 0,405 \text{ kWh/TEU-km} = 188 \text{ kWh}$$

Güterverkehr mit Schiffen dient vor allem dem Transport von Massengütern und Containern. Es gibt Schiffe sehr unterschiedlicher Größe und für verschiedene Einsatzzwecke, die maximale Größe kann je nach Route beschränkt sein. So können in Deutschland Binnenschiffe der Klasse V und größer nur auf Rhein und Elbe eingesetzt werden. Bei der Seeschifffahrt gibt es je nach Route typische Schiffsgrößen. Auch hier gibt es oft Höchstgrenzen, etwa bei Passagen durch den Panamakanal.

Tendenziell gelten bei Schiffen für den **Energieverbrauch** die gleichen physikalischen Regeln wie bei anderen Verkehrsträgern: je größer Schiff und Ladekapazität, desto geringer ist der spezifische Energieverbrauch je Ladeeinheit. Bei Schiffen ist mehr noch als bei anderen Verkehrsträgern die **Geschwindigkeit** entscheidend für den Energieverbrauch. Dieser Leitfaden nennt Energiekennzahlen für Durchschnittsflotten differenziert nach Handelswegen, die sich aus unterschiedlichen Schiffstypen zusammensetzen (siehe Tabelle 12; für Binnenschiffe: siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Es wird generell eine 4%-ige Geschwindigkeitsreduktion gegenüber der so genannten Design-Geschwindigkeit angenommen.

Tab. 12: Spezifischer Energieverbrauch E (Diesel) pro tkm bzw. TEU-km verschiedener Binnenschiffsklassen (Durchschnitt Berg, Tal- und Kanalfahrt)

| | Energieverbrauch bezogen auf Tonnenkilometer | | | Energieverbrauch bezogen auf TEU-Kilometer | | |
|--|--|-------------------|-----------|--|-------------------|-----------|
| | Volumen-gut | Durchschnitts-gut | Massengut | Volumen-gut | Durchschnitts-gut | Massengut |
| | <i>- in Liter/tkm -</i> | | | <i>- in Liter/TEU-km -</i> | | |
| Containerschiff | | | | | | |
| Europaschiff (100 TEU) | 0,0344 | 0,0197 | 0,0143 | 0,207 | 0,207 | 0,207 |
| Klasse ⇄ V (200-1500 TEU) | 0,0206 | 0,0118 | 0,0085 | 0,124 | 0,124 | 0,124 |
| Massengut, Tanker | | | | | | |
| Durchschnitt ¹⁾ | x | x | 0,0114 | x | x | x |
| Jowi-Klasse (5.200 t ¹⁾) | x | x | 0,0047 | x | x | x |
| ¹⁾ Durchschnitt über alle Schiffsgröße für Deutschland. – ²⁾ Maximale Zuladung. <i>Quellen:</i> EcoTransIT 2010; TREMOD 2010; PLANCO 2007; Verkehrsrundschau 2010; eigene Berechnungen. | | | | | | |

Tab. 13: Spezifischer Energieverbrauch E (schweres Heizöl, RFO) pro tkm bzw. TEU-km verschiedener Schiffsklassen

| | Energieverbrauch bezogen auf Tonnenkilometer | | | Energieverbrauch bezogen auf TEU-Kilometer | | |
|--|--|------------------|-----------|--|------------------|-----------|
| | Volumengut | Durchschnittsgut | Massengut | Volumengut | Durchschnittsgut | Massengut |
| | - in kg/tkm - | | | - in kg/TEU-km - | | |
| Containerschiffsverkehr | | | | | | |
| Durchschnitt aller Handelslinien | 0,0089 | 0,0051 | 0,0037 | 0,053 | 0,053 | 0,053 |
| Asien (4.700 - 7.000+ TEU) | 0,0076 | 0,0044 | 0,0032 | 0,046 | 0,046 | 0,046 |
| Transpazifik (1.000 - 7.000+ TEU) | 0,0087 | 0,0050 | 0,0036 | 0,052 | 0,052 | 0,052 |
| Transatlantik (2.000 - 4.700 TEU) ¹⁾ | 0,0089 | 0,0051 | 0,0037 | 0,053 | 0,053 | 0,053 |
| Übrige Linien (1.000 - 4.700 TEU) | 0,0096 | 0,0055 | 0,0040 | 0,058 | 0,058 | 0,058 |
| Intrakontinental (500 - 2.000 TEU) | 0,0123 | 0,0070 | 0,0051 | 0,074 | 0,074 | 0,074 |
| Massengut/Tanker | | | | | | |
| Asien (80.000 - 200.000 dwt ²⁾) | x | x | 0,0014 | x | x | x |
| Transpazifik (35.000-200.000 dwt ²⁾) | x | x | 0,0017 | x | x | x |
| Übrige Linien (ab 35.000 dwt ²⁾) | x | x | 0,0020 | x | x | x |
| ¹⁾ Auch Panama-Schiffsklasse (2.000 - 4.700 TEU). - ²⁾ dwt = dead weight tonnage = Tragfähigkeit eines Schiffes bei mittlerem Sommertiefgang. <i>Quellen:</i> EcoTransIT 2010; eigene Berechnungen. | | | | | | |

Die Transportentfernungen entsprechen bei der Binnenschifffahrt der Länge der Wasserwege, die befahren werden. Bei der Seeschifffahrt werden die ausgewiesenen Schiffsrouten verwendet. Falls die Länge der Routen nicht bekannt ist, können sie z. B. mit dem Internet-Tool EcoTransIT ermittelt werden (www.ecotransit.org).

Rechenbeispiel 9:

Energieverbrauch eines Seetransports

5 Tonnen eines Volumengutes werden mit einem Containerschiff von Singapur nach Bremen transportiert (Handellinie: Suez).

Ermittlung der Parameter für die Berechnung:

- Schiffstyp: Suez - Containerschiff
- Gutart: Volumengut
- Transportgewicht: 5 Tonnen
- Transportentfernung: 15.815 km (ermittelt mit EcoTransIT)

Berechnung Energieverbrauch:

$$\begin{aligned} \text{FC [kg]} &= W [\text{TEU}] \times D [\text{km}] \times E [\text{kg/TEU}] \\ &= 5 \text{ t} \times 15.815 \text{ km} \times 0,0076 \text{ kg/tkm} = 601 \text{ kg HFO} \end{aligned}$$

Mit dem Flugzeug werden überwiegend eilige, verderbliche oder sehr hochwertige Produkte – in der Regel Volumengüter - über weite Entfernungen transportiert. Der Kerosinverbrauch hängt vom **Flugzeugtyp** ab. Spezifisch für den Flugverkehr ist, dass der Verbrauch aufgrund des hohen Energieaufwands für die Startphase zudem entfernungsabhängig ist. Daher zeigt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Werte für unterschiedliche Flugzeugtypen und verschiedene **Entfernungen**. Liegt die reale Flugstrecke zwischen den ausgewiesenen Werten, muss linear interpoliert werden.

Luftfracht wird in reinen Frachtflugzeugen, aber auch im Frachtraum von Passagiermaschinen transportiert. Im zweiten Fall spricht man auch von Beifracht oder **Bellyfracht**. Bei Bellyfracht muss der Energieverbrauch zwischen Passagieren und Fracht aufgeteilt werden, laut CEN-Normentwurf werden dabei Passagiere (einschließlich Gepäck) mit 100 kg pro Kopf angesetzt. Die in der nachfolgenden Tabelle ausgewiesenen Kerosinverbräuche berücksichtigen für Bellyfracht bereits diese Allokationsmethode. Für die Fracht wurde angenommen, dass bei Mittelstreckenflügen (bis 3.700 km) das Flugzeug massenbezogen zu 60 %, bei Langstreckenflügen (ab 3.700 km) zu 65 % ausgelastet ist. Die Passagierauslastung, die in die Allokation zwischen Fracht und Passagieren einfließt, liegt bei Mittelstreckenflügen bei 70 % und bei Langstreckenflügen bei 80 % bezogen auf das Sitzplatzangebot.

Der **Gesamtkerosinverbrauch**, der auf eine einzelne Luftfrachtsendung entfällt, ergibt sich durch Multiplizieren des spezifischen Kerosinverbrauchs mit dem Gewicht der Sendung und der Flugentfernung. Entfernungen im Luftverkehr werden oftmals auf Basis der Großkreisentfernung berechnet, quasi die Luftlinie als kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten. Allerdings weichen reale Flugrouten oft von dieser Idealverbindung ab. Hinzu kommen betriebs- oder wetterbedingte Umwege. Die EU schlägt daher in der Monitoring-

Richtlinie zum Luftverkehrs-Emissionshandel vor, bei jedem Flug einen pauschalen Zuschlag von 95 km dazu zu addieren. Dieser Ansatz wird im Entwurf der CEN-Norm übernommen.

Tab. 14: Spezifischer Energieverbrauch E von ausgewählten Flugzeugtypen in kg Kerosin pro tkm in Abhängigkeit der Flugstrecke (nur Volumengüter)

| Mittelstrecke ¹⁾ | | | Langstrecke ¹⁾ | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Ent- fernung | Belly-Fracht (z. B. B757-200) | Frachter (z. B. B767-300F) | Ent- fernung | Belly-Fracht (z. B. B747-400) | Frachter (z. B. B747-400F) |
| km | kg/tkm | kg/tkm | km | kg/tkm | kg/tkm |
| 1.500 | 0,290 | 0,190 | 3.700 | 0,257 | 0,148 |
| 2.000 | 0,273 | 0,180 | 4.000 | 0,255 | 0,148 |
| 2.500 | 0,264 | 0,174 | 6.000 | 0,254 | 0,147 |
| 3.000 | 0,258 | 0,171 | 8.000 | 0,259 | 0,150 |
| 3.700 | 0,254 | 0,168 | 10.000 | 0,267 | x ²⁾ |

¹⁾ Maximale Nutzlast bzw. Sitzplätze: B757-200: 4 t, 200 Passagiere; B747-400: 14 t, 416 Passagiere; B67-300 F: 53,7 t; B747-400F: 112,6 t. - ²⁾ Reichweite überschritten.
Quellen: EcoTransIT 2010; eigene Berechnungen.

Rechenbeispiel 10:

Energieverbrauch eines Flugzeug-Transports

Ein in einer Kiste verpacktes medizinisches Gerät (0,05 t) wird als Beifracht in einem Passagierflugzeug von Shanghai nach Frankfurt transportiert.

Ermittlung der Parameter für die Berechnung:

- Gutart: nicht relevant
- Transportart: Belly-Fracht
- Transportgewicht (inkl. Verpackung): 50 kg, 0,05 t
- Transportentfernung: 8820 km (Großkreis) + 95 km = 8915 km
- Distanzklasse: Langstrecke

Interpolation des Kerosinverbrauchs für Flugstrecke:

$$0,259 \text{ kg/tkm} + (0,267 - 0,259) \text{ kg/tkm} \times 915 \text{ km} : 2.000 \text{ km} = 0,263 \text{ kg/tkm}$$

Berechnung Energieverbrauch:

$$\begin{aligned} \text{FC [kg]} &= \text{W [t]} \times \text{D [km]} \times \text{E [kg/tkm]} = \\ 0,05 \text{ t} \times 8.915 \text{ km} \times 0,263 \text{ kg/tkm} &= 117 \text{ kg Kerosin} \end{aligned}$$

11 Entfernungsbasierte Berechnungen im Detail

Wenn keine gemessenen Verbrauchsdaten für den Transport vorliegen, dafür aber konkrete Informationen zum Transport und vor allem zur Auslastung der Fahrzeuge, sollte die Berechnung diese Werte nutzen. Zwar lässt der CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 „Default-Werte“ für Verbrauch, Auslastung oder Leerfahrtenanteil z. B. aus Datenbanken zu – gleichzeitig aber schreibt er vor, wo immer möglich, eigene gemessene Werte einzusetzen. Wie **gemessene Auslastungsdaten und Leerfahrtenanteile** berücksichtigt werden können, wird im Folgenden für den **Lkw-Verkehr** vorgestellt. Diese **detailliertere Vorgehensweise** basiert weiterhin auf Verbrauchswerten aus Datenbanken („Default-Werten“).

Die in Kapitel 10 vorgestellten Dieserverbrauchswerte für Lkw je Tonnenkilometer beziehen sich auf einen Tonnenkilometer. Dabei wird der Kraftstoffverbrauch für den gesamten Lkw über die Tonnenkilometer und damit über das Gewicht auf die Einzelsendung verteilt. In der Detailmethode werden die Berechnung des Energieverbrauchs und die Allokation wieder getrennt, um verschiedene Auslastungen und Allokationsmethoden zu ermöglichen. Dafür sind **drei Schritte** notwendig:

1. Berechnung des Dieserverbrauchs der Lkw für den gesamten Fahrzeugumlauf (inkl. Leerfahrten), in dem die Einzelsendung transportiert wird
2. Allokation des Energieverbrauchs auf die Einzelsendung (zu den Prinzipien siehe Kapitel 7)
3. Berechnung von TTW- und WTW-Energieverbrauch sowie TTW- und WTW-Treibhausgasemissionen nach dem CEN-Normentwurf (siehe hierzu Kapitel 6)

Diese Schritte müssen für alle Streckenabschnitte, bei denen die einzelne Sendung das Fahrzeug wechselt, wiederholt und zur Gesamtsumme aufsummiert werden. Für eine möglichst genaue Berechnung des Energieverbrauchs werden folgende Größen benötigt:

- Länge des gesamten Fahrzeugumlaufs (Entfernung),
- verwendete Lkw-Größe je Transportabschnitt,
- maximale Beladung (Nutzlastkapazität) des Lkw (z. B. 26 t oder 34 Palettenstelleplätze bei einem 40-t-Lkw),
- mittlere Beladung (Nutzlast) des Fahrzeugs für den gesamten Umlauf (z. B. 12 t Fracht oder 20 Paletten),
- Art der gefahrenen Strecke (Straßenkategorie, Längsneigungscharakteristik).

Der **Dieserverbrauch** des Fahrzeugumlaufs berechnet sich für einen Lkw aus dem durchschnittlichen Verbrauch in Litern je 100 km und der zurückgelegten Entfernung **nach folgender Formel**. Zur Bestimmung der zurückgelegten Entfernung ist darauf zu achten, dass alle Fahrten, die in unmittelbarem Zusammenhang mit der Sendung stehen, einbezogen werden.

| | | |
|--|---|---|
| $FC [l] = D [km] \times E [l/100km] / 100$ | | |
| FC: | = | Berechneter Dieserverbrauch in Liter |
| D | = | zurückgelegte Entfernung des gesamten Fahrzeugumlaufs in km (inkl. Leerfahrten) |
| E | = | Spezifischer Dieserverbrauch in Liter/100 km |

Der **spezifische Energieverbrauch E** ist abhängig vom Lkw (im Wesentlichen von der Fahrzeuggröße) und dessen mittlerer Auslastung und berechnet sich wie folgt:

| | | |
|---|---|--|
| $E [Liter/100 km] = A [Liter/100 km] + B [Liter/100 km] \times N [t] / C [t]$ | | |
| E | = | Spezifischer Dieserverbrauch in Liter/100 km |
| A | = | Verbrauch des leeren Fahrzeugs in Liter/100km |
| B | = | Differenz aus voll beladenem Fahrzeug minus Leerfahrzeug in l/100 km |
| N | = | Nutzlast in Tonnen |
| C | = | Nutzlastkapazität in Tonnen (maximale Zuladung) |

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt für vier verschiedene Lkw-Größen repräsentative Werte für die Parameter A, B und C, die für Deutschland und für andere europäische Staaten typisch sind. Die Werte sind, analog zu Kapitel 10, die Verbrauchswerte für **Autobahnen** und **übrige Außerortsstraßen**. Der Verbrauch auf **Innerortsstraßen** kann daraus mit Hilfe der **Korrekturfaktoren** in Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. (Kapitel 10) berechnet werden. Auf eine Unterscheidung nach Abgasstandards (Euro-Klassen) wird verzichtet, da deren Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch seit Einführung von Euro 3 vernachlässigbar ist.

Tab. 15: Parameter A, B und C für in Deutschland und Europa typische Lkw

| Parameter | mittleres Neigungsprofil | | Ebene | | C |
|---|--------------------------|----------|----------|----------|--------|
| | A | B | A | B | |
| | l/100 km | l/100 km | l/100 km | l/100 km | Tonnen |
| Lkw < 7,5 t zGG | 13,0 | 1,4 | 12,9 | 1,2 | 3,5 t |
| Lkw 7,5-12 t zGG | 16,9 | 3,2 | 16,6 | 2,4 | 6,0 t |
| Lkw 12-24 t zGG | 19,3 | 4,2 | 18,7 | 2,9 | 12,0 t |
| Last-/ Sattelzug 24-40 t zGG | 22,7 | 14,4 | 21,5 | 8,2 | 26,0 t |
| <i>Quellen:</i> HBEFA 3.1; TREMOD 2010; eigene Berechnungen | | | | | |

Da der Dieserverbrauch eines Lkw von seiner Auslastung abhängt, fließt in die oben dargestellte Formel die massenbezogene Auslastung ein (Formelbestandteil: N/C) – unabhängig davon, ob die Allokation des Verbrauchs auf eine Einzelsendung im nächsten Schritt über eine andere Allokationsgröße erfolgt (z. B. Volumen, Anzahl der Paletten, Lademeter). Das bedeutet, dass immer auch die **massenbezogene Auslastung** des Lkw benötigt wird, um die Detailberechnung durchzuführen. Zudem müssen in die Berechnung die **Realgewichte**, nicht die frachtpflichtigen Gewichte einfließen. Weiterhin ist zu beachten, dass in der Verbrauchsrechnung auch die **Gewichte von Ladehilfen** (z. B. Gewicht der Paletten) oder von Verpackungen berücksichtigt werden müssen.

Um die obige Formel exakt anwenden zu können, muss entweder der Fahrzeugumlauf getrennt für jede Teilstrecke berechnet werden, bei der sich die Nutzlast ändert. Alternativ wird eine durchschnittliche Nutzlast für den gesamten Fahrzeugumlauf ermittelt - in diesem Fall müssen die Entfernungen mit berücksichtigt werden.

Die mittlere Beladung des Fahrzeugs für einen gesamten Fahrzeugumlauf wird für die Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs benötigt. Werden in einem Fahrzeugumlauf mehrere Sendungen transportiert, muss die Nutzlast jeder einzelnen Sendung addiert werden. Dies ist einfach, wenn ein konkreter Fahrzeugumlauf betrachtet wird, bei dem keine Be- und Entladevorgänge stattfinden **und** bei dem die Nutzlast für alle Sendungen bekannt ist.

Falls dies nicht der Fall ist, bieten sich die folgenden Vorgehensweisen an:

- Fall 1: Nutzlast, Entfernung und Gesamtstrecke sind für alle Teilstrecken in einem Fahrzeugumlauf bekannt.

Die mittlere Nutzlast wird berechnet, indem für jede Teilstrecke i Nutzlast und Länge der Teilstrecke multipliziert, die einzelnen Teilstrecken aufaddiert und durch die Gesamtstrecke dividiert wird:

$$\text{Mittlere Nutzlast} = \frac{\sum_i (\text{Nutzlast}_i * \text{Länge Teilstrecke}_i)}{\text{Gesamtstrecke}}$$

- Fall 2: Keine oder unvollständige Informationen zum Fahrzeugumlauf

In diesem Fall können hilfsweise geschätzte Nutzlasten angesetzt werden. Dies kann z. B. ein Jahresdurchschnittswert des Unternehmens für vergleichbare Transportfälle sein. Wichtig ist dabei, dass die Leerfahrten berücksichtigt werden.

In einem weiteren Schritt muss die Allokation des Verbrauchs auf die Einzelsendung erfolgen. Da das Gewicht der Ladung bekannt ist, ist es naheliegend, für die Allokation ebenfalls das Gewicht der Einzelsendung zu verwenden. Der CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 schlägt konkret vor, dass zur Allokation das Produkt aus Gewicht und Entfernung verwendet wird. Alternativ lässt der CEN-Normentwurf aber auch andere Größen zu, wenn diese stärker die begrenzende Größe des Transportes sind (z. B. Anzahl Palettenstellplätze, Lademeter). Auch hier sollte das Produkt aus dem Allokationsparameter und der Entfernung (z. B. Produkt aus Palettenanzahl und Entfernung oder Lademeter und Entfernung) zur Allokation verwendet werden.

Nach erfolgreicher Allokation des Dieselverbrauchs auf die Einzelsendung können dann TTW- und WTW-Energieverbrauch sowie TTW- und WTW-Treibhausgasemissionen berechnet werden (siehe Kapitel 6).

Rechenbeispiel 11:

Berechnung des Kraftstoffverbrauch mit realen Auslastungsdaten

Ein 12-t-Lkw liefert auf einer Tour insgesamt acht Paletten mit Holzbriketts aus. Vier Paletten Hartholzbriketts (Gesamtgewicht 0,98 t/Palette) werden vom Lager in Bad Homburg nach Darmstadt geliefert (50 km). Vier weitere Paletten Rindenbriketts (0,52 t/Palette) werden vom Lager in Bad Homburg über Darmstadt nach Bensheim transportiert (50 km + 26 km). Von Bensheim fährt der Lkw leer zurück zum Lager (70 km). Die Strecke verläuft überwiegend auf Autobahnen ohne Steigung und Gefälle.

Mittlere Nutzlast des Fahrzeugumlaufs

Die mittlere Nutzlast des Fahrzeugumlaufs kann aus der Nutzlast je Teilstrecke und der Länge der Teilstrecken berechnet werden:

- Teilstrecke 1: $4 \times 0,98 \text{ t} + 4 \times 0,52 \text{ t} = 6,00 \text{ t}$
- Teilstrecke 2: $4 \times 0,52 \text{ t} = 2,08 \text{ t}$
- Teilstrecke 3: Leerfahrt = 0 t

Mittlere Nutzlast = $(6,0 \text{ t} \times 50 \text{ km} + 2,08 \text{ t} \times 26 \text{ km}) / (50 \text{ km} + 26 \text{ km} + 70 \text{ km}) = 2,43 \text{ t}$

Durchschnittlicher Verbrauch je 100 km (nach Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.):

$$E \text{ [l/100 km]} = a + b \times N/C =$$

$$16,6 \text{ l/100 km} + 2,4 \text{ l/100 km} \times 2,43 \text{ t} / 6,0 \text{ t} = 17,57 \text{ l/100 km}$$

Berechnung des Gesamtverbrauchs

$$FC \text{ [l]} = D \text{ [km]} \times E \text{ [l/100km]} / 100 =$$

$$146 \text{ km} \times 17,57 \text{ l/100 km} / 100 = 25,7 \text{ l}$$

12 Berechnungen für Gebäude, Lager und Umschlag

In der Logistik erzeugen nicht nur Fahrzeuge Emissionen. Auch Gebäude, Lager und Umschlagseinrichtungen sind für einen Teil der Treibhausgase verantwortlich, in aller Regel durch

- **Stromverbrauch** der Umschlagseinrichtungen, Terminals, Warehouses und Büros,
- **Wärmeenergieverbrauch** der Terminals, Warehouses und Büros,
- Verbrauch an Diesel, Flüssiggas oder Strom für zusätzliches Equipment wie **Umsetzfahrzeuge** oder **Gabelstapler**,
- **Kältemittelverluste** der Tiefkühl- und Kühllager.

Der stationäre Bereich ist im neuen CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 ausgeschlossen. Laut Greenhouse Gas Protocol müssen nur die **direkten Treibhausgasemissionen** verpflichtend berechnet werden. Um aber kompatibel zu den Vorgaben im CEN-Standard für Transporte zu sein, sollten zusätzlich auch die **indirekten Emissionen** (d.h. auch die bei Herstellung von Energieträgern oder Produkten wie Kältemittel entstehenden Treibhausgase) berücksichtigt werden. Im Folgenden wird daher das Vorgehen zur Berechnung des Endenergieverbrauches bzw. der direkten Emissionen ebenso wie die Berechnung des Gesamtenergieverbrauches bzw. der Gesamtemissionen vorgestellt. Bau der Gebäude, Lager und Umschlagseinrichtungen werden nicht betrachtet, sie haben für die Gesamtemissionen eine untergeordnete Bedeutung.

Für den Strom und Wärmebereich sieht das GHG Protocol die so genannte **Emissionsfaktoren-basierte Methode** zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen vor – dieser Ansatz entspricht der verbrauchsbasierten Methode des CEN-Entwurfes. Dafür müssen in einem ersten Schritt die Energieverbräuche ermittelt werden, die dann in einem zweiten Schritt analog zu den Transporten mit den entsprechenden Emissionsfaktoren multipliziert werden. Die Energieverbräuche werden für die einzelnen Gebäude, Terminals oder Umschlagseinrichtungen mit Hilfe von Stromzähler, Heizölrechnungen oder Jahresabrechnungen des Energieversorgers ermittelt. Bei kWh-Angaben ist zu beachten, dass diese sich oft auf den Brennwert beziehen, viele Emissionsfaktoren sind aber auf den Heizwert bezogen (in Deutschland liegt der Heizwert im Durchschnitt bei 90 % des Brennwertes). Wichtig ist, dass alle Energieverbraucher erfasst werden – also auch Sortier- und Förderanlagen, die oft erheblich zum Verbrauch beitragen. Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen berechnen sich somit wie folgt:

| Energieverbrauch: | |
|------------------------------------|--|
| | EN_{direkt bzw. gesamt} = FC x F_{EN_direkt bzw.} |
| EN _{direkt bzw. gesamt} | = Endenergieverbrauch bzw. Primärenergieverbrauch in MJ |
| FC | = gemessener Energieverbrauch (z. B. kWh Strom, kWh Fernwärme, kWh Gas oder Liter Heizöl) |
| F _{EN_direkt bzw. gesamt} | = Energieumrechnungsfaktor Endenergieverbrauch bzw. Primärenergieverbrauch in MJ pro kWh Strom, kWh Fernwärme, kWh Gas oder Liter Heizöl |

| Treibhausgasemissionen: | |
|------------------------------------|--|
| | EM_{direkt bzw. gesamt} = FC x F_{EM_direkt bzw. gesamt} |
| EM _{direkt bzw. gesamt} | = direkte bzw. Gesamtemissionen in kg |
| FC | = gemessener Energieverbrauch (z. B. kWh Strom, kWh Fernwärme, kWh Gas oder Liter Heizöl) |
| F _{EM_direkt bzw. gesamt} | = THG-Umrechnungsfaktor für direkte und Gesamt-Treibhausgasemissionen in kg CO ₂ -Äquivalente pro kWh Strom, kWh Fernwärme, kWh Gas oder Liter Heizöl |

Die notwendigen **Umrechnungsfaktoren** zeigt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Bei Strom und Fernwärme hängen die Faktoren vom Kraftwerksmix des jeweiligen Landes ab, die Tabelle zeigt beispielhaft die Strom-Werte für drei ausgewählte Länder (weitere Werte siehe Anhang). Die Faktoren schließen alle Prozessschritte von der Gewinnung der Energieträger, deren Umwandlung im Kraftwerk bis zum Transport zum Endkunden ein. Damit entspricht die Vorgehensweise der, die vom CEN-Normentwurf für Transporte gefordert wird. Die CO₂-Emissionsfaktoren der Energieversorger im Rahmen der Stromkennzeichnung können nicht verwendet werden, da sie indirekte Emissionen nur teilweise berücksichtigen und zudem nur für CO₂ berechnet werden.

Tab. 16: Kennzahlen für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen des stationären Bereichs

| | Energie-Umrechnungsfaktoren | | | THG-Umrechnungsfaktoren | | |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------|-------------------------|
| | <i>Einheit</i> | <i>Direkter Energieverbrauch</i> | <i>Gesamtenergieverbrauch</i> | <i>Einheit</i> | <i>Direkte Emissionen</i> | <i>Gesamtemissionen</i> |
| Strom Deutschland | MJ/kWh | 3,6 | 10,0 | kg CO ₂ e/kWh | 0,000 | 0,589 |
| Ökostrom D ¹⁾ | MJ/kWh | 3,6 | 6,9 | kg CO ₂ e/kWh | 0,000 | 0,294 |
| Strom Schweiz | MJ/kWh | 3,6 | 8,6 | kg CO ₂ e/kWh | 0,000 | 0,052 |
| Strom Polen | MJ/kWh | 3,6 | 10,3 | kg CO ₂ e/kWh | 0,000 | 0,998 |
| Strom Photovoltaik | MJ/kWh | 3,6 | 3,6 | kg CO ₂ e/kWh | 0,000 | 0,000 |
| Fernwärme D | MJ/kWh _{th} | 3,6 | 4,1 | kg CO ₂ e/kWh _{th} | 0,000 | 0,253 |
| Erdgas - Heizwert | MJ/kWh | 3,6 | 4,1 | kg CO ₂ e/kWh | 0,202 | 0,249 |
| Erdgas - Brennwert | MJ/kWh | 3,2 | 3,7 | kg CO ₂ e/kWh | 0,182 | 0,225 |
| Heizöl | MJ/kg | 35,8 | 42,0 | kg CO ₂ e/kg | 2,67 | 3,15 |
| Flüssiggas | MJ/l | 25,1 | 28,9 | kg CO ₂ e/l | 1,61 | 1,90 |

¹⁾ Der Wert bezieht sich auf ein zertifiziertes Ökostromprodukt, bei dem mindestens ein Drittel des regenerativ erzeugten Stroms aus Neuanlagen (nicht älter als 6 Jahre) und ein Drittel aus neueren Bestandsanlagen (nicht älter als 12 Jahre) stammt.
Anmerkung: Die ausgewiesenen Werte enthalten Stromverluste aufgrund der Verteilung des Stroms. Bei Fernwärme ist der Emissionswert auf den Verbrauch in kWh thermisch bezogen. Energieverbrauch und Emissionen durch den Bau, die Instandhaltung und Entsorgung der Infrastruktur sind nicht enthalten (in Übereinstimmung mit CEN-Normentwurf prEN 16258:2011).
Quellen: GEMIS 4.7; eigene Berechnungen.

Nutzt ein Logistikunternehmen Ökostrom aus regenerativen Energiequellen, darf dieser Strom nur dann emissionsmindernd in der Klimabilanz berücksichtigt werden, wenn er aus zusätzlichen Neuanlagen, z. B. neuen Windkraftanlagen, stammt. Dies ist in der Regel nur dann gewährleistet, wenn es sich um zertifizierten Strom handelt (z. B. Strom mit ok-power-Label). Wer Strom in Photovoltaik-Anlagen selbst erzeugt, darf ihn nur emissionsmindernd anrechnen, wenn ihn das Unternehmen selbst verbraucht. Wer lediglich Flächen für PV-Anlagen zur Verfügung stellt und den Strom ins öffentliche Netz einspeist, darf den Ökostrom nicht als Minderungsmaßnahme ausweisen.

Rechenbeispiel 12:

Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen eines Lagers

In einem deutschen Lager (Fläche 100.000 m) werden 5,28 Mill. kWh Strom pro Jahr benötigt.

- Endenergieverbrauch: 5,28 Mill. kWh x 3,6 MJ/kWh = 19,008 Mill. MJ = 19,008 TJ
- Primärenergieverbrauch: 5,28 Mill. kWh x 10,0 MJ/kWh = 53,275 Mill. MJ = 53,275 TJ
- Direkte THG-Emissionen: 5,28 Mill. kWh x 0,0 kg CO₂e/kWh = 0 t CO₂e
- Gesamt THG-Emissionen: 5,28 Mill. kWh x 0,596 kg CO₂e/kWh = 3.146,9 t CO₂e

In Kühl- und Tiefkühlslagern wird - bezogen auf das gekühlte Volumen - überwiegend Ammoniak als Kältemittel eingesetzt, das keine klimaschädigende Wirkung hat. In kleineren Lagern bis 50.000 m dagegen werden fluorhaltige Kältemittel wie R134a oder R404A oder das - für Neuanlagen mittlerweile verbotene - chlorhaltige R22 verwendet. Chlor- und fluorierte Kältemittel sind **hoch wirksame Treibhausgase**, die nicht in die Umwelt gelangen dürfen.

Für die Berechnung der Klimawirksamkeit von Kältemittelverlusten empfiehlt das GHG Protocol den „Lifecycle Stage Approach“. Dabei wird die **jährlich nachgefüllte Menge** mit dem spezifischen CO₂-Äquivalent-Faktor der Chemikalie multipliziert. Sind diese Mengen nicht bekannt, können die Verluste auch über mittlere Leckageraten berechnet werden.

Die für die Berechnung der einzelnen Kältemittel benötigten Umrechnungsfaktoren zeigt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Die Treibhausgasemissionen der Kältemittelverluste berechnen sich somit nach folgender Formel:

| | |
|---|--|
| EM_{direkt bzw. gesamt} = KV x F_{EM_direkt bzw. gesamt} | |
| EM _{direkt bzw. gesamt} | = Direkte bzw. Gesamtemissionen in kg |
| MK | = Kältemittelverluste in kg |
| F _{EM_direkt bzw. gesamt} | = THG-Umrechnungsfaktor für direkte und Gesamt-Treibhausgasemissionen in kg CO ₂ pro kg Kältemittel |

Tab. 17: Kennzahlen für Berechnung der Treibhausgasemissionen für Kältemittelverluste

| | Direkter Emissionsfaktor | Gesamt-Emissionsfaktor |
|---|--------------------------|-------------------------|
| | kg CO ₂ e/kg | kg CO ₂ e/kg |
| Kältemittel R22 | 1.810 | 1.886 |
| Kältemittel R134A | 1.430 | 1.533 |
| Kältemittel R404A | 3.922 | 4.025 |
| Kältemittel R407a | 1.770 | 1.873 |
| Kältemittel R410A | 2.088 | 2.177 |
| <i>Quellen:</i> IPCC 2007; Ecoinvent 2009; eigene Berechnungen. | | |

Rechenbeispiel 13:

Berechnung der Treibhausgasemissionen durch Kältemittelverluste

In einem Tiefkühlager treten in einem Jahr Kältemittelverluste in Höhe von 150 kg R410A auf. Damit berechnen sich die Treibhausgasemissionen wie folgt:

- Direkte THG-Emissionen: 150 kg x 2.088 kg CO₂e/kg = 313,2 t CO₂e
- Gesamt THG-Emissionen: 150 kg x 2.177 kg CO₂e/kg = 326,6 t CO₂e

Auch **Umsetzfahrzeuge** für Wechselbrücken oder **Gabelstapler** brauchen Diesel, Flüssiggas oder Strom. Dieser Anteil kann relevant sein, daher sollten sie analog der im CEN-Normentwurf vorgeschriebenen Vorgehensweise in TTW- und WTW-Energieverbräuche bzw. TTW- bzw. WTW-Treibhausgasemissionen umgerechnet werden (siehe Kapitel 6). Liegen keine Energieverbräuche vor, können für Gabelstapler hilfsweise Anzahl der Betriebsstunden und Normverbrauch pro Stunde herangezogen werden. Werden Gabelstapler über Ladestationen im Lager geladen, ist deren Energieverbrauch bereits über das Lager erfasst.

Das GHG Protocol enthält keine Angaben, wie der für Lager oder Umschlagseinrichtungen ermittelte Stromverbrauch auf die Einzelsendung verteilt werden kann. Dieser Leitfaden empfiehlt, für die Allokation ausschließlich **physikalische Einheiten** (z.B. Gewicht, Palettenanzahl) zu verwenden. Da die stationären Bereiche fester Teil einer Logistikkette sind, sollten die **gleichen Allokationsparameter** wie für die Transporte dieser Kette verwendet werden. Andere Parameter sind dann sinnvoll, wenn der Energieverbrauch des stationären Bereiches durch eine andere Größe bestimmt wird. So hängt der Energieaufwand für Tiefkühleinrichtungen auch vom Gewicht der Waren ab. Daher könnte hier die Allokation über das Gewicht der Tiefkühlware erfolgen, auch wenn für die Transporte eine andere Allokationsgröße verwendet wurde. Bei Umschlagseinrichtungen wird die Allokation in der Regel über die Anzahl der umgeschlagenen Sendungen durchgeführt. Grundsätzlich gilt für den stationären Bereich wie auch für Transporte, dass die **Parameter** für die Allokation **ausgewiesen sein müssen**.

Wenn Ware länger gelagert werden muss, entfällt auf diesen Teil ein höherer Energieverbrauch. Daher sollte bei Lagereinrichtungen **die Dauer der Einlagerung** in die Allokation mit einbezogen werden. So kann beispielsweise über die Anzahl der pro Jahr im Durchschnitt belegten Palettenstellplätze und die Dauer, wie lange eine Palette eingelagert ist, der Anteil des Energieverbrauchs berechnet werden, der auf die Palette entfällt.

Rechenbeispiel 14:

Allokation des Energieverbrauchs auf eine Palette im Tiefkühlager

In einem Tiefkühlager sind über das Jahr betrachtet rund 80 % der 6.700 Palettenstellplätze belegt. In dem Lager werden beispielsweise Rindfleisch im Schnitt 21 Tage, Paprika 150 Tage eingelagert. Pro Palette Rindfleisch bzw. pro Palette Paprika der Ware entfällt somit folgender Anteil des Jahresenergieverbrauchs:

- Paletten-Tage insgesamt:

$$6.700 \text{ Paletten} \times 80 \% \times 365 \text{ Tage} = 1.956.400 \text{ Paletten-Tage}$$

- ***Rindfleisch:*** 1 Palette x 21 Tage = 21 Paletten-Tage

$$\text{Anteil: } 21 \text{ Paletten-Tage} / 1.956.400 \text{ Paletten-Tage} = \mathbf{0,00107 \%}$$

- ***Paprika:*** 1 Palette x 150 Tage = 150 Paletten-Tage

$$\text{Anteil: } 150 \text{ Paletten-Tage} / 1.956.400 \text{ Paletten-Tage} = \mathbf{0,00767 \%}$$

13 Ergebnisse - und nun?

Die Berechnung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen für Transporte bildet die Basis für eine Klimaschutzstrategie Ihres Unternehmens. Deshalb endet mit der Berechnung der Werte nicht die Arbeit - sie beginnt damit.

Wer rechnet, kann Fehler machen. Daher müssen die Rechenergebnisse auf **Plausibilität** überprüft und wenn nötig korrigiert werden, bevor man sie veröffentlicht. Das gilt insbesondere für Emissions- und Verbrauchsberechnungen von Transportketten, bei denen verschiedene Verkehrsmittel zum Einsatz kommen. Grob gilt: Flugzeuge haben mit 500 bis 900 g CO₂-Äquivalente pro Tonnenkilometer die höchsten Emissionen; Schiffe mit rund 5 bis 30 g CO₂-Äquivalente pro Tonnenkilometer die niedrigsten. Liegen die ermittelten Werte deutlich darunter oder darüber, ist eine erneute **Kontrolle des Rechenwegs** unabdingbar.

Werden die Energieverbräuche nicht gemessen, sondern berechnet, gehen bestimmte **Annahmen**, z. B. für die Auslastung der Fahrzeuge, in die Berechnung ein. Annahmen sind nicht immer zutreffend, können aber ein Ergebnis erheblich beeinflussen. So genannte Sensitivitätsanalysen – dabei werden die angenommenen Werte systematisch variiert – zeigen auf, welche Eingangsgröße wirklich das Ergebnis maßgeblich bestimmt. Solche Analysen empfehlen sich, wenn eine Bilanz zum ersten Mal durchgeführt wird. Wenn deutlich wird, dass die Annahme-Werte das Resultat stark beeinflussen, sollten sie bei der nächste Bilanz durch gemessene Werte ersetzt werden.

Ein nackter Wert allein ist wenig aussagekräftig. Beispielsweise sagt ein CO₂-Wert pro Tonnenkilometer nichts über die gesamte Umweltperformance eines Unternehmens aus. Zum **Verständnis der Werte** muss zudem bekannt sein, wie sie berechnet wurden. Laut CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 müssen Bilanzierer sowohl die Well-to-Wheel-Energieverbräuche und -Treibhausgasemissionen als auch die Tank-to-Wheel-Energieverbräuche und -Treibhausgasemissionen für die Transporte gemeinsam veröffentlichen. Darüber hinaus muss deutlich werden, aus **welchen Quellen** die Kenngrößen Entfernung, Auslastung, Leerfahrtenanteil oder Energieverbrauch stammen: Sind es spezifische Messwerte für den konkreten Transport? Oder vielmehr fahrzeug- oder routentypische Werte des Transportdienstleisters, eventuell gemittelt für ein Jahr? Wurden vielleicht nur Flottendurchschnittswerte des Transportdienstleisters genutzt oder gar feststehende Größen aus Datenbanken („Default-Werte“)?

Dies soll vor allem Transparenz schaffen, um erkennen zu können, ob die Resultate auf Messungen oder auf Default-Werten basieren. Werden Default-Werte verwendet, muss kommuniziert werden, aus welchen Quellen sie stammen und warum gerade diese Quellen verwendet wurden. Bisher regelt der CEN-Normentwurf nicht konkret, wie bei Transportketten die verwendeten Quellen anzugeben sind – denn die Datenquellen können sich ja von Abschnitt zu Abschnitt ändern. Wenn von Empfehlungen der Norm abgewichen wird, muss dies deutlich gemacht werden. Das gilt insbesondere für die verwendete Allokationsmethode oder auch dann, wenn von den Faktoren zur Umrechnung des ermittelten Energieverbrauchs in standardisierte Energieeinheiten (z. B. MJ) und in Treibhausgasemissionen (in kg) abgewichen wird.

Wer richtig gerechnet hat, verfügt über eine solide Basis, um im eigenen Unternehmen Maßnahmen zur Minderung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen einzuleiten. Berechnungen auf Basis des Leitfadens ermöglichen, die Wirkung von Maßnahmen richtig einschätzen und genau dort anzusetzen, wo Energieverbrauch und Emissionen möglichst kosteneffizient reduziert werden können. Klimaschutz ist nicht kostenlos: Viele Einsparmaßnahmen führen zu Beginn zu Kosten, die sich aber über die Energieeinsparungen in den Folgejahren amortisieren. Wer Klimaschutz nur nach seinen Anfangsinvestitionen bewertet, kommt zu einer falschen Prioritätensetzung. Klimaschutz ist eine Langfristinvestition – in eine nachhaltige Wirtschaftsweise und damit in die Zukunft des einzelnen Unternehmens.

Eine zielgerichtete Klimaschutzstrategie setzt im eigenen Unternehmen an. Vorrang haben Maßnahmen zur **Vermeidung** oder **Reduktion von Treibhausgasen**, beispielsweise durch eine Optimierung von Routen, Minderung von Leerfahrten, die effiziente Fahrzeuggröße, eine sparsame Energieversorgung von Lager und Umschlag. An zweiter Stelle steht der Einsatz von **regenerativen Energien**, also von zertifiziertem Ökostrom oder nachwachsenden Rohstoffen zur Wärmeerzeugung. Ein zusätzlicher Beitrag zum Klimaschutz ist die **Kompensation von Treibhausgasemissionen** (siehe Kasten). Sie ist aber nur glaubwürdig, wenn zuvor durch geeignete Minderungsmaßnahmen die Emissionen deutlich gesenkt wurden.

Klima- oder CO₂-Kompensation

Von Klima- oder CO₂-Kompensation (Off-Setting) spricht man dann, wenn ein Unternehmen seine (nicht vermeidbaren) Treibhausgasemissionen durch Klimaschutzprojekte außerhalb des Unternehmens senkt. Wird die emittierte Menge damit ausgeglichen, sprechen viele von Klima- oder CO₂-Neutralität. Diese Begriffe sind allerdings nur bedingt korrekt, da Klimabilanzen meist nicht alle Emissionen der Vorkette erfassen. Wer den Weg der Kompensation beschreitet, sollte unbedingt folgende Rangfolge einhalten:

- Wo immer möglich, sollten die Emissionen klimaschädlicher Treibhausgase durch Einspar- und Effizienzmaßnahmen sowie durch den Einsatz regenerativer Energie vermieden oder reduziert werden.
- Die unvermeidbaren Emissionen werden dann vollständig durch geeignete Klimaschutzprojekte z. B. in Schwellen- und Entwicklungsländern kompensiert.

Nicht immer und nicht überall ist Kompensation praktizierter Klimaschutz. Geeignet sind **Kompensationsprojekte nach dem Gold Standard**, der vom WWF und anderen Umweltverbänden entwickelt wurde. Dieser Standard stellt sicher, dass die Aktivitäten tatsächlich zu einer Einsparung von Treibhausgasemissionen führen sowie zusätzlich zur ökonomischen Entwicklung der Länder beitragen. Daher schließt der Gold Standard derzeit beispielsweise Aufforstungsprojekte aus, da nicht garantiert werden kann, dass die Bäume über viele Jahre geschützt bleiben.

Weitere Informationen zur freiwilligen Kompensation und zum Gold Standard finden Sie im „Positionspapier Kompensation“ des Öko-Instituts und im „Leitfaden zur freiwilligen Kompensation von Treibhausgasemissionen“ des Umweltbundesamts:

www.oeko.de/oekodoc/1011/2010-071-de.pdf

www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/3660.htm

14 Informationen - die weiterhelfen

Tab. 18: Dezimalfaktoren

| Bezeichnung | Faktor | Wert |
|-------------|------------------|-----------------------|
| Kilo (k) | 10 ³ | 1.000 |
| Mega (M) | 10 ⁶ | 1.000.000 |
| Giga (G) | 10 ⁹ | 1.000.000.000 |
| Tera (T) | 10 ¹² | 1.000.000.000.000 |
| Peta (P) | 10 ¹⁵ | 1.000.000.000.000.000 |

Tab. 19: Energiewrechnungen (Endenergie)

| | MJ | kWh | Liter Diesel | kg Diesel |
|--|------|--------|--------------|-----------|
| 1 MJ | 1 | 0,2778 | 0,0279 | 0,0233 |
| 1 kWh | 3,6 | 1 | 0,0077 | 0,0065 |
| 1 Liter Diesel | 35,9 | 129,2 | 1 | 0,835 |
| 1 kg Diesel | 43,0 | 154,8 | 1,198 | 1 |
| <i>Anmerkung:</i> Diesel konventionell ohne Biodiesel-Beimischung - Endenergiebezogen. | | | | |

Tab. 20: Kennzahlen für die Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen für Bahnstrom und Strom aus dem nationalen Netz

| Land | Bahnstrom | | Strom aus öffentlichem Stromnetz der Länder ¹⁾ | |
|---|-----------|------------------------------|---|------------------------------|
| | Energie | CO ₂ e-Emissionen | Energie | CO ₂ e-Emissionen |
| Tank-to-Wheel | | | | |
| Alle | 3,6 | 0,000 | 3,6 | 0,000 |
| Well-to-Wheel | | | | |
| Belgien | 13,5 | 0,393 | 11,7 | 0,223 |
| Dänemark | 6,2 | 0,433 | 9,5 | 0,433 |
| Deutschland | 10,8 | 0,574 | 10,3 | 0,589 |
| Finnland | 9,9 | 0,480 | 11,0 | 0,194 |
| Frankreich | 13,2 | 0,077 | 12,5 | 0,081 |
| Italien | 9,6 | 0,749 | 8,3 | 0,450 |
| Niederlande | 8,8 | 0,497 | 8,1 | 0,412 |
| Norwegen | 5,0 | 0,006 | 4,4 | 0,025 |
| Österreich | 4,5 | 0,119 | 5,9 | 0,186 |
| Polen | 12,5 | 1,085 | 10,3 | 0,998 |
| Portugal | 8,9 | 0,544 | 9,6 | 0,497 |
| Rumänien | 9,4 | 0,556 | 9,1 | 0,551 |
| Schweden | 3,8 | 0,004 | 9,1 | 0,068 |
| Schweiz | 6,4 | 0,005 | 8,6 | 0,052 |
| Slovakei | 12,1 | 0,199 | 9,7 | 0,448 |
| Spanien | 9,2 | 0,425 | 9,9 | 0,346 |
| Tschechien | 11,2 | 0,661 | 11,1 | 0,596 |
| Ungarn | 14,5 | 0,637 | 11,5 | 0,601 |
| ¹⁾ Inkl. Verluste des Stromnetzes. <i>Quellen:</i> EcoTransIT 2010; GEMIS 4.7; eigene Berechnungen. | | | | |

15 Quellenverzeichnis

CEN-Normentwurf prEN 16258:2011 „Methode zur Berechnung und Deklaration von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen“: kostenpflichtig erhältlich beim Beuth Verlag (www.beuth.de) oder kostenlos in Abschnitten zur Kommentierung einsehbar unter www.entwuerfe.din.de; Informationen zur Norm finden Sie auch beim Deutschen Institut für Normung unter www.nadl.din.de

AG Energiebilanzen: Methodische Grundlagen zur Erstellung der offiziellen Energiebilanzen für Deutschland durch die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. Mehr Informationen unter: www.ag-energiebilanzen.de/

BMU/BDI-Leitfaden Produktbezogene Klimaschutzstrategien: Produktbezogene Klimaschutzstrategien: Product Carbon Footprint verstehen und nutzen. Gemeinsamer Leitfaden des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und dem Bundesverband der Deutschen Industrie: Kostenloser Download unter: www.bdi.eu/download_content/KlimaUndUmwelt/PCF-Leitfaden_100810_Online.pdf

CO₂-Berechnung in der Logistik: Kranke, A.; Schmied, M.. Schön, A.: CO₂-Berechnung in der Logistik: Datenquellen, Formeln, Standards. Heinrich Vogel Verlag: 2011.

Ecoinvent 2009: Swiss Centre for Life Cycle Inventories (Hrsg.): EcoInvent. Ökobilanzdatenbank, Version 2.1. 2009

EcoTransIT 2010: Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports – Environmental Methodology and Data. IFEU Heidelberg, Öko-Institut, IVE / RMCN. Im Auftrag von DB Schenker und UIC (International Union of Railways). Berlin – Hannover - Heidelberg 2010. Kostenloser Download des Methodenberichtes unter: http://www.ecotransit.org/download/ecotransit_background_report.pdf

GEMIS 4.7: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS). PC-Rechenmodell zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Energiesystemen; entwickelt vom Öko-Institut. Das PC-Programm kann kostenlos heruntergeladen werden unter: www.gemis.de

GHG Protocol: Corporate Accounting and Reporting Standards (Corporate Standard). World Resources Institute (WRI) and the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Kostenloser Download unter: www.ghgprotocol.org

HBEFA 3.1: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1, Februar 2010. INFRAS Bern u. a. im Auftrag der Umweltbundesämter von Deutschland, der Schweiz und Österreich sowie weiterer Länder. Mehr Informationen unter: www.hbefa.net

IPCC 2007: Intergovernmental panel on climate change (IPCC), Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. 2007. Kostenloser Download unter: www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm

Memorandum Product Carbon: Positionen zur Erfassung und Kommunikation des Product Carbon Footprint für die internationale Standardisierung und Harmonisierung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Umweltbundesamt und Öko-Institut. Kostenloser

Download unter:

www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/memorandum_pcf_lang_bf.pdf

PAS 2050: PAS 2050 - Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. 2008. Kostenloser Download unter: www.bsigroup.com/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050

PLANCO 2007: Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße. Studie der PLANCO Consulting GmbH im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Essen: 2007.

Positionspapier Klimakompensation: Harthan, R.; Brohmann, B.; Fritsche, U.R.; Griebhammer, R.; Seebach, D.; Positionspapier des Öko-Institutes. Berlin, Darmstadt, Freiburg: 2010. Kostenloser Download unter:

<http://www.oeko.de/oekodoc/1011/2010-071-de.pdf>

TREMODO 2010: Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMODO, Version 5). Endbericht des IFEU-Institutes Heidelberg im Auftrag des Umweltbundesamtes. Heidelberg, März 2010. Kostenloser Download unter:

[www.ifeu.org/verkehrundumwelt/pdf/IFEU\(2010\)_TREMODO_%20Endbericht_FKZ%203707%20100326.pdf](http://www.ifeu.org/verkehrundumwelt/pdf/IFEU(2010)_TREMODO_%20Endbericht_FKZ%203707%20100326.pdf)

UBA 2009: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger: Durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2007. Publikation des Umweltbundesamtes; CLIMATE CHANGE | 12/2009; Dessau: 2009. Kostenloser Download unter:

www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3761.pdf

UBA/DEHSt 2008: Leitfaden zur freiwilligen Kompensation von Treibhausgasemissionen. Publikation der Deutschen Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt; Berlin: 2008. Kostenloser Download unter:

<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3660.pdf>

Verkehrsrundschau 2010: Kranke, A.: Rechnen trotz Mangel an Basisdaten. Serie CO₂-Berechnung: Binnenschifffahrt. Verkehrsrundschau 44/2009, S. 44-46

2009/30/EG: Richtlinie 2009/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Spezifikationen für Otto-, Diesel- und Gasölkraftstoffe und die Einführung eines Systems zur Überwachung und Verringerung der Treibhausgasemissionen sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/32/EG des Rates im Hinblick auf die Spezifikationen für von Binnenschiffen gebrauchte Kraftstoffe und zur Aufhebung der Richtlinie 93/12/EWG. Amtsblatt der Europäischen Union L140/88, 5.6.2009.

2009/339/EG: Entscheidung der Kommission vom 16. April 2009 zur Änderung der Entscheidung 2007/589/EG zwecks Einbeziehung von Leitlinien für die Überwachung und Berichterstattung betreffend Emissionen und Tonnenkilometerdaten aus Luftverkehrstätigkeiten (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2009) 2887). Amtsblatt der Europäischen Union L 103/10, 23.04.2009