

Carbon Footprint – Konzept und Ansätze zur Messung der CO₂-Emissionen

2

2.1 Grundlagen

Einen zentralen Stellenwert innerhalb der Green-Logistics-Debatte haben die Messung von transportbedingten CO₂-Emissionen und die Ermittlung eines CO₂-Fussabdrucks (Carbon Footprint) eingenommen. Zwar gibt es bisher keinen international anerkannten Standard zur Ermittlung von CO₂- und Treibhausgasemissionen. Mit dem CEN-Standard prEN 162528:2011 liegt jedoch eine Norm „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen“ vor, der sich zunehmend schon zum Standard für die Berechnung entwickelt (Kranke et al. 2011, S. 61 ff.).

Verlader verlangen zunehmend auch von Transport- und Logistikdienstleistern, dass diese ihre Treibhausgasemissionen transparent aufzeigen und reduzieren. Da Kohlendioxid als wichtigstes Treibhausgas gilt, gehen immer mehr Logistikunternehmen dazu über, ihre CO₂-Bilanz zu erfassen und den CO₂-Fußabdruck zu erstellen (Zunke 2009, S. 57; Wittenbrink und Gburek 2009).

Waren in der Vergangenheit viele Kunden noch mit einem überschlägigen CO₂-Fußabdruck zufrieden, werden nun zunehmend genaue Rechenwerke verlangt (Ruthenschröder und Wohlfahrt 2010, S. 10). Darüber hinaus werden bei Transport-Ausschreibungen Angaben über die CO₂-Emissionen immer mehr zum Standard, sodass Logistikdienstleister hier auskunftsfähig sein müssen (o. V. 2010).

Von *Corporate Carbon Footprinting* wird gesprochen, wenn ein Logistiker für sein Gesamtunternehmen die Treibhausgasemissionen berechnet, um darauf aufbauend Klimaschutzmaßnahmen zu ergreifen. Wird hingegen nur für einzelne Transporte, z. B. für bestimmte Kunden, eine Klimabilanz erstellt, spricht man von *Product Carbon Footprinting*. Die methodischen Grundlagen für die Berechnung werden durch die ISO-Norm 14 064-1 oder den „Corporate Accounting and Reporting Standard“ des Greenhouse-Gas(GHG)-Protocol definiert. Bei beiden

Erfassung von Treibhausgasemissionen lt. GHG-Protocol

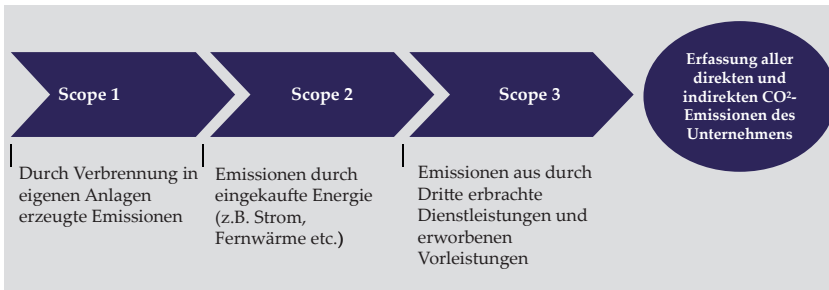


Abb. 2.1 Bilanzierungsgrenzen gemäß GHG-Protokoll. (Quelle: Eigene Darstellung nach Kranke et al. 2011, S. 37)

Standards wird zunächst eine Festlegung der Systemgrenzen gefordert (Schmied 2010, S. 3, Abb. 2.1):

- Scope 1: direkte Emissionen, die durch die Verbrennung von Kraftstoffen der eigenen Fahrzeuge oder von Gas bzw. Heizöl im Unternehmen resultieren.
- Scope 2: indirekte Emissionen infolge der Bereitstellung von Strom, Fern- oder Prozesswärme.
- Scope 3: Emissionen, die durch Dienstleistungen von Subunternehmern oder die Herstellung von Kraftstoffen entstehen.

Während die Berechnung von Scope 1 und 2 verpflichtend ist, steht es den Unternehmen frei, die Scope-3-Emissionen zu berechnen. Dies setzt sich jedoch zunehmend durch, da ansonsten ein Vergleich zwischen Unternehmen mit unterschiedlichem Selbsteintritt, d. h. des Anteils der Nutzung eigener Fahrzeuge anstatt Subunternehmer, kaum möglich ist. Während bei kleineren und mittleren Unternehmen die CO₂-Emissionen sehr genau über die Kraftstoffverbräuche ermittelbar sind, ist dies bei großen Transport- und Logistikdienstleistern mit einer Vielzahl von Subunternehmern fast nur über einen entfernungsbasierten Ansatz auf Basis von Emissionsfaktoren für die Tonnenkilometer (tkm) möglich. Entsprechende Emissionsfaktoren können aus offiziellen Datenbanken wie Tremod für Deutschland, Tremove für die EU oder aus öffentlich zugänglichen Rechentools wie Eco-Transit World¹ entnommen werden (Schmied 2010, S. 3).

Um eine einheitliche Methode zur Messung der Treibhausgasemissionen zu erhalten, wurde ein CEN-Standard prEN 16258:2011 „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Trans-

¹ <http://www.ecotransit.org/index.de.phtml>.

Well-to-Tank (Energievorkette) (WTT):

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): (TTW)

Systematische Erfassung aller direkten Emissionen des Fahrzeugbetriebes. Beim Verbrauch wird vom Endenergieverbrauch gesprochen.

Well-to-Wheel (Fahrzeug + Energievorkette) (WTW):

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.

Abb. 2.2 Definitionen von Energieverbrauch und Emissionen nach prEN 16258:2011. (Quelle: Schmied und Knörr 2012, S. 22)

portdienstleistungen (Güter- und Personen-Verkehr)“ entwickelt. Dabei handelt es sich um eine europäische Norm zur standardisierten Berechnung und Kennzeichnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen von Transporten und Transportketten (Kranke et al. 2011, S. 279 ff.; Schmied und Knörr 2012, S. 7 ff.). Dabei unterscheidet die Norm die drei Systemgrenzen „Well-to-Tank“, „Tank-to-Wheel“ und „Well-to-Wheel“ (Abb. 2.2).

Nach der CEN-Norm prEN 16258:2011 besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Verbrauchsdaten nach der *verbrauchsbasierten* oder der *entfernungsbasierten Methode* zu ermitteln (Abb. 2.3). Bei der verbrauchsbasierten Methode gibt es drei

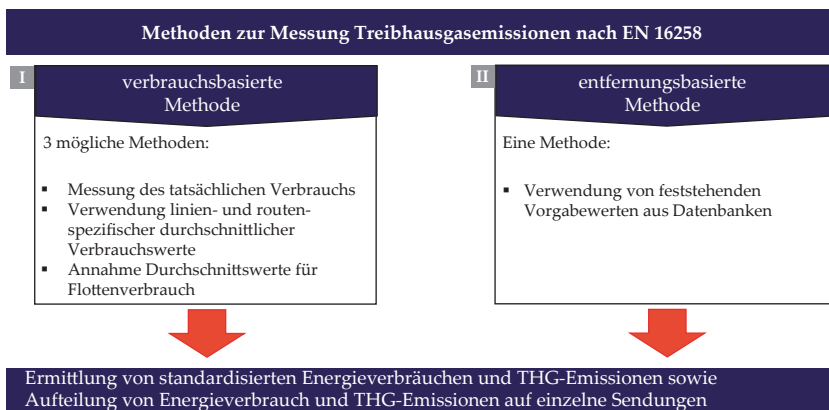


Abb. 2.3 Methoden zur Messung der Treibhausgasemissionen (THG) (CO₂-Äquivalente). (Quelle: Eigene Erstellung nach Schmied und Knörr 2012, S. 39 ff.)

Tab. 2.1 Faktoren zum Umrechnen von Energieverbrauchsdaten in Treibhausgasemissionen (für Kraftstoffe basierend auf den Angaben der Norm EN 16 258, Stand März 2013). (Quelle: DSLV 2013, S. 12)

	Einheit	Direkt (TTW)	Gesamt (WTW)
Diesel (ohne Biodiesel)	kg/l	2,67	3,24
Diesel Deutschland	kg/l	2,49	3,15
Kerosin	kg/kg	3,18	3,88
Schweröl für Schiffe	kg/kg	3,15	3,41
Bahnstrom Deutschland	kg/kWh	0,000	0,574
Strom Deutschland	kg/kWh	0,000	0,583
Erdgas – Heizwert	kg/kWh	0,202	0,242
Erdgas – Brennwert	kg/kWh	0,182	0,218
Heizöl	kg/kg	2,67	3,09

Tab. 2.2 Durchschnittliche Verbrauchswerte pro Tonnenkilometer differenziert nach Verkehrsmittel und Fahrzeugtypen. (Quelle: DSLV 2013, S. 12)

Verkehrsmittel/ Fahrzeuge	Energie	Einheit	Volumen-gut	Durch- schnitts-gut	Massen-gut
Lkw < 7,5 t	Diesel	l/tkm	0,140	0,078	0,063
Lkw 7,5–12 t	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	0,00051	0,0037
Massengutfrachter	Schweröl	kg/tkm	X	X	0,0017
Binnenschiff (GMS)	Diesel	l/tkm	X	X	0,0088
Frachtflugzeug	Kerosin	kg/tkm	0,148	X	X
Belly-Fracht	Kerosin	kg/tkm	0,258	X	X

unterschiedliche Ansätze, während bei der entfernungsbasierten Methode nur ein Ansatz möglich ist (Schmied und Knörr 2012, S. 39 ff.). Die für die Berechnung notwendigen Umrechnungsfaktoren sind in Tab. 2.1 und 2.2 enthalten.

2.2 Berechnungsbeispiele

Am Beispiel der verbrauchsorientierten Methode lassen sich die CO₂-Emissionen bei Komplettladungen vergleichsweise einfach ermitteln, da ein Lkw unabhängig von Motor, Fahrzeugtyp oder Schadstoffklasse 2,49 (TTW) bzw. 3,15 kg CO₂ (WTW) bei der Verbrennung von einem Liter reinem Diesel verursacht (Tab. 2.1).

Tab. 2.3 Berechnungsmethode CO₂-Emissionen bei Lkw-Teilladungen. (Quelle: in Anlehnung an Kranke 2009, S. 23)*Berechnung CO₂-Emission bei tatsächlicher Nutzlast*

$$\text{CO}_2\text{-Emission}_{NL\text{-}Ist} = EV_{NL\text{-}Ist} \times \text{CO}_2\text{-Faktor (kg CO}_2 \text{ je 100 km)}$$

Energieverbrauch bei tatsächlicher Nutzlast

$$\text{Energieverbrauch}_{NL\text{-}Ist} = EV_{\text{leer}} + (EV_{\text{voll}} - EV_{\text{leer}}) \times (NL_{Ist} / NL_{\text{max}})$$

EV Energieverbrauch, *NL* Nutzlast, *NL_{Ist}* tatsächliche Lkw-Zuladung in Tonnen (t), *NL_{max}* maximale Nutzlast in Tonnen (t)

Werden alternative Kraftstoffe verwendet, sind andere Umrechnungsfaktoren zu berücksichtigen. Ein Sonderfall besteht bei EURO-5-Fahrzeugen mit SCR-Technik, weil hier neben dem Dieserverbrauch noch Harnstoff (Adblue) verbraucht wird. Dieser Verbrauch liegt bei ca. drei bis fünf Prozent des Dieserverbrauchs und führt zu einer CO₂-Emission von ca. 238 g je Liter Adblue (Kranke 2009, S. 21 f.).

Handelt es sich bei dem betrachteten Transport um Teilladungen, sind zusätzliche Informationen über die Lkw-Verbrauchswerte im vollen und leeren Zustand zu berücksichtigen, wobei die besondere Schwierigkeit in der Praxis darin liegt, die unterschiedlichen Verbrauchswerte der Fahrzeuge im voll beladenen und leeren Zustand zu ermitteln.

Die Anwendung der Berechnung wird im Folgenden mit **Fall 1** kurz anhand eines gut ausgelasteten Sattelzuges dargestellt (in Anlehnung an Kranke 2009, S. 23.). Es sei angenommen, dass sieben Paletten à 500 kg von Bremerhaven Containerterminal nach München Messegelände transportiert werden (819 km). Für den Transport wird ein EURO-5-Sattelzug (400 PS) mit 40 t zulässigem Gesamtgewicht und 25 t maximaler Nutzlast verwendet. Die Verbrauchswerte liegen bei voller Auslastung bei 31,4 L je 100 km (EV_{voll}), ohne Ladung verbraucht der Lkw 21,3 L Diesel (EV_{leer}). Der Sattelzug transportiert neben den fünf Paletten weitere 11,5 t Ladung (Tab. 2.4).

Nach der in Tab. 2.3 dargestellten Formel ergibt sich für die Gesamtladung von 15 t (3,5 t + 11,5 t) ein Energieverbrauch von 27,36 L je 100 km ($21,3 + ((31,4 - 21,3) \times (15 \text{ t} / 25 \text{ t}))$). Hierbei wird der Zusatzverbrauch der (Voll-)Lastfahrt mit der anteiligen Nutzlast-Ausschöpfung multipliziert. Die CO₂-Emissionen ergeben sich nun aus der Multiplikation des ermittelten Verbrauchs mit dem CO₂-Faktor. Wird nun nur der TTW-CO₂-Faktor (Tank-to-Wheel) zugrunde gelegt (Tab. 2.1), resultiert bei dem Verbrauch von 27,36 L eine CO₂-Emission von 68,13 kg je 100 km ($\text{CO}_2\text{-Emission} = 27,36 \times 2,49 = 0,6813 \text{ kg CO}_2 \text{ je km}$). Der WTW (Well-to-Wheel-Wert) liegt dann bei 86,18 kg (Tab. 2.4).

Tab. 2.4 Beispiel: Berechnung von CO₂-Emissionen. (Quelle: In Anlehnung an Kranke 2009, S. 23)

		Fall 1	Fall 2
Energieverbrauch _{leer}	21,3		
Energieverbrauch _{voll}	31,4		
Nutzlast in t	25		
THG-Faktor TTW	2,49		
THG-Faktor WTW	3,15		
km		819	819
Teilladung in t		3,5	3,5
Weitere Teilladung		11,5	
Summe Ladung		15	3,5
Eff. Energieverbrauch je 100 km		27,36	22,71
CO ₂ -Emission TTW je 100 km		68,13	56,55
CO ₂ -Emission WTW je 100 km		86,18	71,54
CO ₂ -Emission kg Gesamtstrecke			
CO ₂ -Emission TTW		557,98	463,14
CO ₂ -Emission WTW		705,81	585,91
CO ₂ -Emission kg Teilladung			
CO ₂ -Emission TTW		130,20	463,14
CO ₂ -Emission WTW		164,69	585,91
CO ₂ -Emission Strecke in g/tkm			
CO ₂ -Emission TTW		45	162
CO ₂ -Emission WTW		57	204

Bei 819 km resultiert nun eine CO₂-Emission (WTW) von 705,81 kg (8,19 × 86,18) für die Gesamtladung von 15 t. Für die sieben Paletten fällt anteilig jedoch nur eine CO₂-Emission von 164,69 kg (3,5 t/15 t × 705,81 kg) an. Dies führt bei 819 km und 3,5 t (2866,5 tkm) zu einem CO₂-Ausstoß von 57 g je tkm (WTW) (164,69 kg/ 2866,5 tkm).

Wird für das obige Beispiel angenommen, dass der Lkw nur für die sieben Paletten von Bremerhaven nach München fährt (*Fall 2*), ergeben sich folgende Werte (in Anlehnung an Kranke 2009, S. 23.): Der durchschnittliche Energieverbrauch

beträgt in diesem Fall 22,71 L je 100 km ($21,3 + (31,4 - 21,3) \times (3,5 \text{ t} / 25 \text{ t})$). Die CO_2 -Emission (WTW) beträgt nun 71,54 kg CO_2 je 100 km ($22,71 \times 3,15 / 100$). Wird nun dieser Wert auf die 819 km hochgerechnet, ergibt sich eine CO_2 -Emission von 585,91 kg (WTW), was 204 g CO_2 je Tonnenkilometer (tkm) ergibt ($585,91 \text{ kg} / 2866,5 \text{ tkm}$). Da der Lkw nur mit den sieben Paletten ausgelastet ist, wird dieser Teilpartie die gesamte CO_2 -Emission zugerechnet (Tab. 2.4).

Dieses Beispiel zeigt, dass es relativ aufwendig sein kann, die tatsächliche CO_2 -Emission zu berechnen. Insofern wird in einigen Fällen auch die entfernungsba- sierte Methode angewandt (Abb. 2.3). Am Beispiel einer Tour von 500 km mit einem Sendungsgewicht von 15 t resultieren dabei 7500 tkm. Wird dann bei den in Tab. 2.2 genannten Verbrauchswerten je Tonnenkilometer beim Transport eines Durchschnittsgutes von einem Dieselvebrauch je Tonnenkilometer von 0,023 L ausgegangen, resultiert bei 7500 tkm ein Kraftstoffverbrauch von 172,5 L. Nach der WTW-Methode ergeben sich dann CO_2 -Emissionen von 543,38 kg ($172,5 \times 3,15$). Wird hingegen von Volumengut ausgegangen, steigt der Wert auf 897,75 kg (Ver- brauch 0,038 g je tkm).

Um den Aufwand zur Berechnung zu reduzieren, wird inzwischen eine Viel- zahl von Tools zur Berechnung des Carbon Footprints angeboten (Kranke et al. 2011, S. 311 ff.). Auch wenn die Tools eine gute Unterstützung bei der Berechnung des Carbon Footprint geben können, entlastet dies die Unternehmen nicht davon, die eigene Situation und ihre Energieverbräuche zu kennen. Dies ist zum einen wichtig, weil heute immer mehr Kunden eine fundierte Carbon-Footprint-Analyse verlangen. Zum anderen ist die Kenntnis der spezifischen Footprint-Situation auch wichtig, um darauf aufsetzen und Veränderungen messen zu können. Schließlich korrelieren die CO_2 -Emissionen immer mit den Energieverbräuchen, die es ange- sichts steigender Energiekosten zu senken gilt und es sich allein deswegen schon lohnt, sich mit dem Thema „Energieverbrauchssenkung“ intensiv auseinanderzu- setzen.

Green Logistics

Konzept, aktuelle Entwicklungen und Handlungsfelder
zur Emissionsreduktion im Transportbereich

Wittenbrink, P.

2015, XIII, 50 S. 17 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-10691-1