



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des ÖPNV

Leitfaden zur Anwendung der europäischen Norm EN 16258

Inhaltsverzeichnis

1	Leitfaden zum Leitfaden	5
2	Die Bedeutung von Klimabilanzen für ÖPNV-Unternehmen	7
3	So berechnen ÖPNV-Betriebe ihre Treibhausgasemissionen heute	10
4	Standards und Normen – welcher Rahmen existiert?	14
5	Vorgehensweise nach der neuen Norm EN 16258	18
6	Kraftstoff- und Stromverbrauch von Bussen und Bahnen normkonform ermitteln	21
7	Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen standardisiert berechnen	25
8	Energieverbrauch und Treibhausgase dem Fahrgast zurechnen	38
9	Ergebnisse kommunizieren, aber wie?	44
10	Die Kür der Klimabilanz: Energieverbrauch und Emissionen von Gebäuden und stationären Anlagen	48
11	Informationen, die weiterhelfen	54

1 Leitfaden zum Leitfaden

In Bussen und Bahnen, in Zeitungen und auf Plakaten sind die Aussagen allgegenwärtig: „Wer mit Bussen und Bahnen zur Arbeit fährt, schont das Klima.“ – „Neue umweltfreundliche Busse sparen Sprit und emittieren nur halb so viel schädliches Kohlendioxid.“ – „Unser ÖPNV-Betrieb ist klimaneutral.“ Doch kaum jemand weiß, welche Zahlen und Fakten solchen Aussagen zugrunde liegen und wie verlässlich die Daten eigentlich sind. Daher werden Klimavorteile öffentlicher Verkehrsmittel immer wieder angezweifelt, obwohl sie ganz klar existieren.

Die neue Norm EN 16258
legt Basis für Klimabilanzen
des ÖPNV

Abhilfe kann die neue europäische Norm EN 16258 mit dem Titel „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr)“ schaffen. Die Norm, die im Februar 2013 vom Deutschen Institut für Normung als DIN EN 16258 veröffentlicht wurde, will mehr Genauigkeit, Transparenz und Einheitlichkeit in die **Berechnung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transporten** bringen. Konkret beschreibt die Norm die für die Berechnung notwendige Methodik, definiert hierzu Systemgrenzen und gibt Empfehlungen, welche Daten für die Berechnung verwendet werden können. Zudem macht sie Vorgaben für Deklaration und Kommunikation der Ergebnisse.

Dieser Leitfaden will aufzeigen, wie **Unternehmen des öffentlichen Personennahverkehrs** (ÖPNV-Unternehmen) in Übereinstimmung mit EN 16258 ihren Energieverbrauch und ihre Treibhausgasemissionen berechnen und gegenüber Kunden und Öffentlichkeit ausweisen können. Wer ihn nutzt, findet alle Hintergrundinformationen, Formeln und Daten für normkonforme und damit standardisierte Berechnungen. Der Leitfaden hilft, die Berechnungen so einfach wie möglich und den Aufwand so gering wie nötig zu gestalten – unter Einhaltung aller Anforderungen der neuen Norm.

Der Leitfaden liefert Hintergrundinformationen zu Klimabilanzen von Transporten sowie zur Norm selbst. Er liefert notwendige Details zur Berechnung von Energieverbrauch und Treibhausgasen von Transporten. Bei den Berechnungen wird zwischen Bussen und elektrisch betriebenen Fahrzeugen wie Straßen-, Stadt-, U- und S-Bahnen unterschieden. Je nach Interesse und Vorkenntnisse kann der Nutzer allgemeine Kapitel überspringen und direkt in die Berechnungsgrundlagen einsteigen.

Die folgende Übersicht zeigt, in welchem Kapitel Sie welche Inhalte finden:

In welchem Kapitel
finden Sie was?

- **Kapitel 2** macht deutlich, warum Klimabilanzen und verlässliche Daten zu Energieverbrauch und Emissionen gerade für den ÖPNV wichtig sind.
- **Kapitel 3** liefert Basiswissen zu Klimaschutz und Klimabilanzen und informiert über bisherige Ansätze für Bilanzen im ÖPNV.
- **Kapitel 4** stellt bisherige Normen und Standards für Klimabilanzen vor und informiert über die **neue Norm EN 16258**, die speziell die Bilanzierung von Transporten adressiert.
- **Kapitel 5** beschreibt die Vorgehensweise nach EN 16258.
- In **Kapitel 6** beginnt die **Praxis**. Dieses Kapitel zeigt, wie ÖPNV-Betriebe die Energieverbräuche bestimmter Strecken normkonform berechnen.
- **Kapitel 7** beschäftigt sich mit dem nächsten Schritt der Bilanzierung: der gemäß Norm EN 16258 standardisierten Berechnung von Verbrauch und Emissionen für das definierte Fahrzeugeinsatz-System.
- **Kapitel 8** beschäftigt sich mit **Allokation**: Wie verteilte ich ermittelte Verbräuche und Emissionen auf den einzelnen Fahrgast?
- **Kapitel 9** erläutert, wie ÖPNV-Betriebe die Resultate der Bilanz gegenüber Kunden und Öffentlichkeit korrekt ausweisen.
- **Kapitel 10** widmet sich der – freiwilligen – Ermittlung von Energieverbrauch und Emissionen von **Gebäuden und stationären Anlagen**.

2 Die Bedeutung von Klimabilanzen für ÖPNV-Unternehmen

Spätestens seitdem der UN-Weltklimarat IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) im Jahr 2007 in seinem Klimabericht Alarm geschlagen hat, beherrscht das Thema Klimaschutz nicht nur die wissenschaftliche, sondern auch die öffentliche Diskussionen. Die Botschaft des IPCC: Gelingt es nicht, die globalen Treibhausgasemissionen nachhaltig zu senken und den Klimawandel damit zu bremsen, kann das weltweit dramatische ökologische, soziale und wirtschaftliche Folgen haben.

Verkehrssektor muss seine Emissionen senken

Die **Bundesregierung** will die Treibhausgasemissionen in Deutschland bis 2020 gegenüber dem Stand von 1990 um 40 Prozent, bis zum Jahr 2050 sogar um 80 bis 95 Prozent verringern. Als zentrale Maßnahmen dafür gelten die umfassende Nutzung **erneuerbarer Energien** und eine deutlich **verbesserte Energieeffizienz**. Zwar wurde der spezifische Beitrag einzelner Sektoren - wie beispielsweise des Bereiches Verkehr - nicht explizit festgeschrieben. Es gilt aber als unbestritten, dass der gesamte Verkehrssektor einen angemessenen Beitrag zur Emissionsminderung liefern soll.

Dies erscheint auch notwendig: Der **Verkehr in Deutschland** verbrauchte im Jahr 2010 rund 28 Prozent des Endenergieverbrauchs und verursachte rund 18 Prozent der **Kohlenstoffdioxid-(CO₂)-Emissionen** [UBA 2012]. Rund ein Drittel der CO₂-Emissionen entfielen auf den Güterverkehr, zwei Drittel auf den Personenverkehr. Innerhalb des Personenverkehrs (ohne Luftverkehr) hatte der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) mit Linienbussen sowie Straßen-, S- und U-Bahnen einen Anteil von rund drei Prozent, obwohl er rund zehn Prozent der Verkehrsleistung erbrachte [HC/Öko-Institut 2012]. Das ist ein deutliches Indiz für seine Stellung als relativ klimafreundlicher Verkehrsträger im Vergleich zum Autoverkehr.

Klimagase entstehen nicht nur durch Transporte

Diese Betrachtung allerdings berücksichtigt nicht die CO₂-Emissionen, die durch die Herstellung der Kraftstoffe sowie des Fahrstroms entstehen. Bleiben beispielsweise bei Straßen-, S- und U-Bahnen die CO₂-Emissionen durch die Stromherstellung unberücksichtigt, entsteht ein schiefes Bild. Abbildung 1 zeigt für das Jahr 2010 daher die spezifischen, auf einen Personenkilometer bezogenen CO₂-Emissionen der verschiedenen Personenverkehrsmittel einschließlich der Emissionen durch die Herstellung der verbrauchten Energie. Für diesen Vergleich wurden die Emissionen der Stromherstellung und der Benzin- und Dieselerzeugung mit einbezogen. Auch für diese umfassendere Betrachtung gilt: Der ÖPNV schneidet in der Emissionsbilanz deutlich besser ab als der motorisierte Individualverkehr mit dem Pkw, seine Klimagasemissionen liegen rund 45 Prozent niedriger.

Der ÖPNV ist in Städten die klimafreundliche Alternative zum Autoverkehr. Um dieses ökologische Plus Kunden und Öffentlichkeit bewusst zu machen, erstellen immer mehr ÖPNV-Betriebe eigene **Klimabilanzen**. Auch für die Politik spielt die Umweltverträglichkeit des ÖPNV eine wichtige Rolle: Klima- und Umweltvorteile sind wesentliche Gründe, die eine finanzielle Unterstützung des ÖPNV durch die öffentliche Hand rechtfertigen.

CO₂-Emissionen der Personenverkehrsmittel in Gramm pro Personenkilometer inklusive Emissionen aus der Kraftstoff- und Stromherstellung 2010

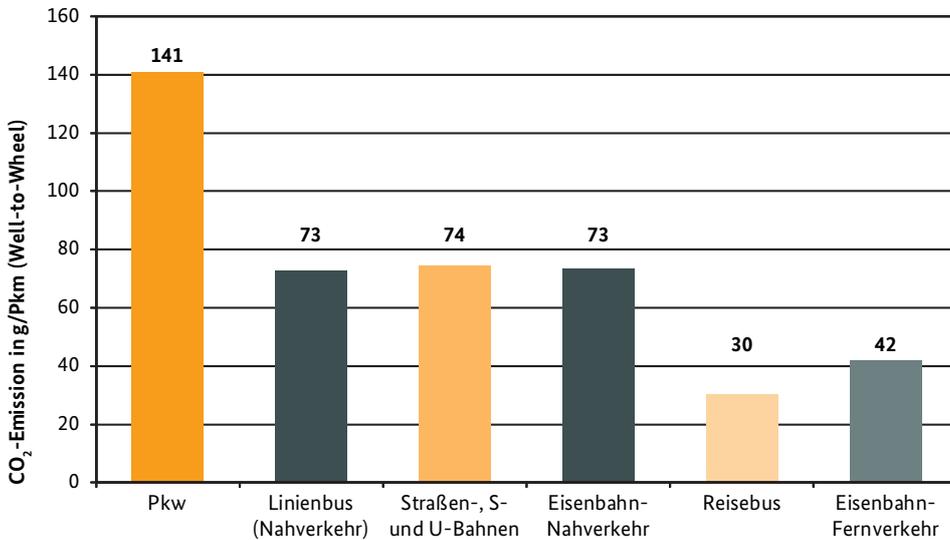


Abbildung 1 [UBA 2012 basierend auf TREMOD 5.25; eigene Darstellung]

Die Umweltverträglichkeit öffentlicher Verkehrsmittel ist auch für Unternehmen anderer Branchen relevant: Immer mehr Unternehmen legen Rechenschaft über alle ihre Aktivitäten, die CO₂-Emissionen verursachen, in speziellen Publikationen ab. In diese Bilanzen fließen auch die Emissionen von Dienstreisen und von Fahrten der Mitarbeiter zur Arbeitsstätte ein. Wenn verfügbar, greifen die Autoren dabei auf die CO₂-Angaben der ÖPNV-Betriebe zurück. Entsprechende Anfragen an ÖPNV-Unternehmen werden mit wachsender Bedeutung von klimaverträglichem Wirtschaften sicherlich zunehmen. Dies ist ein weiterer Grund für ÖPNV-Betriebe, verlässliche Klimabilanzen für Fahrten mit Bussen und Bahnen zu erstellen.

Klimabilanzen nützen aber auch den ÖPNV-Betrieben selbst. Auf Basis genauer Kenntnisse über die CO₂-Emissionen ihrer einzelnen Geschäftsfelder und Betriebsteile können sie gezielt Maßnahmen ergreifen, um nachhaltig CO₂-Emissionen zu senken. Denn es gilt: „You cannot manage, what you cannot measure“.

Eine verlässliche und nachvollziehbare Datengrundlage wird immer wichtiger. Zum einen zeigen Analysen, dass in Zukunft der **Umweltvorteil des ÖPNV** kleiner wird. Der Grund: Die Entwicklung emissionsarmer und effizienter Autos erfolgt in weitaus höherem Tempo als bei Fahrzeugen für den ÖPNV. Zwar werden ÖPNV-Betriebe durch Beschaffung neuer Fahrzeuge und durch Umstellung der Stromerzeugung auf regenerative Energien ihren ökologischen Vorsprung auch bis zum Jahr 2030 halten können. Der Klimavorteil insbesondere der Stadtbusse im Vergleich zum Pkw nimmt aber deutlich ab, falls die Unternehmen nicht gezielt Klimaschutzkonzepte zur wirksamen Senkung ihrer Emissionen umsetzen [HC/Öko-Institut 2012]. Nicht zu vergessen: Jede Maßnahme, die den Energieverbrauch senkt, senkt nicht nur Emissionen, sondern vor allem auch Energiekosten – in Zeiten kontinuierlich wachsender Preise für Strom und Wärme ein gewichtiges Argument.

Umweltvorteil des ÖPNV droht zu schwinden

**Klimaschutz bedeutet
Investitionen
in die Zukunft des ÖPNV**

Diese Entwicklungen machen deutlich: Die Relevanz von Klimabilanzen wird steigen. Daher sollten sich nicht nur Klima-Neulinge unter den ÖPNV-Unternehmen verstärkt um diese Fragestellungen kümmern. Auch für Betriebe, die bereits Emissionen ihrer Dienstleistungen bilanzieren, macht es Sinn, sich nochmals vertieft mit dem Thema zu beschäftigen. Denn die Norm EN 16258 liefert **neue methodische Grundlagen**, die bei künftigen Berechnungen hilfreich sein können.

Außerdem gilt: Die Messung von Treibhausgasemissionen erfüllt **keinen Selbstzweck**. In Einzelfällen ist es Ziel führender, große Energieverbraucher und Ineffizienzen schnell zu beseitigen, ohne vorher exakte Emissionsberechnungen durchgeführt zu haben. Umgekehrt gilt, dass Messung und Berechnung von Emissionen immer nur so gut sind wie die Maßnahmen, die ergriffen werden, um die Treibhausgase zu reduzieren.

Tabelle 1: Beweggründe für Klimabilanzen

Gründe für Klimabilanzen im ÖPNV	Zielgruppen
Darstellung der Klimavorteile des ÖPNV	Politik, Privat- und Unternehmenskunden
Bereitstellung von CO ₂ -Daten für Klimabilanzen anderer Unternehmen	Unternehmenskunden
Grundlage für eigene Klimaschutzstrategie zur Senkung der Emissionen und Kosten	Eigenes Unternehmen
<i>Quelle: eigene Darstellung.</i>	

3 So berechnen ÖPNV-Betriebe ihre Treibhausgasemissionen heute

Viele ÖPNV-Betriebe veröffentlichen heute bereits Umwelt- und Nachhaltigkeitsberichte. Ein fester Bestandteil dieser Berichte sind die Darstellung des Energieverbrauchs und daraus abgeleitet der Treibhausgasemissionen differenziert nach Geschäftsbereichen bzw. Verursachern. Erstellt wird somit eine Klimabilanz für das gesamte Unternehmen – der so genannte **Corporate Carbon Footprint**. Die Energieverbräuche als Grundlage der Klimabilanzen werden von den Unternehmen in der Regel gemessen und mit energieträgerspezifischen Umrechnungsfaktoren in CO₂- bzw. Treibhausgasemissionen umgerechnet. Ein Vorgehen, das auch Unternehmen anderer Branchen praktizieren.

Während es aber bei Unternehmen anderer Branchen bereits weit verbreitet ist, Klimabilanzen in Übereinstimmung mit Standards wie der ISO-Norm 14064-1 oder dem Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) zu erstellen, ist dies bei ÖPNV-Betrieben noch eher die Ausnahme.

Existierende Normen und Standards machen neben der Berechnungsmethodik vor allem Vorgaben zu den Systemgrenzen. Das bedeutet, sie geben vor, welche Bereiche verpflichtend bilanziert werden müssen und welche freiwillig einbezogen werden können. Die Ergebnisse werden entsprechend getrennt dargestellt. Auch die verwendete Methode wird in normkonformen Bilanzen dokumentiert - dies macht Klimabilanzen unterschiedlicher Unternehmen transparent und besser vergleichbar.

Wenn ÖPNV-Unternehmen Klimabilanzen veröffentlichen, handelt es sich in der Regel um CO₂-Bilanzen. **Kohlendioxid** (CO₂) ist das Treibhausgas mit den weitreichendsten Auswirkungen. CO₂ und Treibhausgas (THG) werden daher oftmals synonym verwendet. Neben Kohlendioxid sind laut Kyoto-Protokoll aber noch fünf **weitere Treibhausgase** relevant: Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆). Während Methan und Distickstoffoxid bei der Verbrennung von Öl, Gas oder Kraftstoffen entstehen, werden die letztgenannten Spurengase oftmals durch industrielle Prozesse verursacht oder gelangen direkt bei deren Nutzung in die Umwelt (z. B. Fluorkohlenwasserstoffe als Kältemittel).

Da diese fünf weiteren Treibhausgase bei gleicher Menge die Atmosphäre weitaus stärker aufheizen als Kohlendioxid, sollten sie in keiner Klimabilanz fehlen. Allerdings wäre es unübersichtlich, alle sechs Gase getrennt zu listen. Daher werden sie in so genannte **CO₂-Äquivalente** umgerechnet und addiert (Erläuterung dazu siehe Kasten). Diese Vorgehensweise ist allen ÖPNV-Unternehmen zu empfehlen, zumal dies auch alle Standards und Normen für Klimabilanzen fordern.

Bei Standards und Normen noch Nachholbedarf

CO₂-Äquivalente: Eine Klammer für alle Treibhausgase

Für die Berechnung der CO₂-Äquivalente ist das so genannten **Global Warming Potential (GWP)** ausschlaggebend (siehe Tabelle 2): Je größer das GWP, umso stärker trägt das Gas zur Erderwärmung bei. 1 kg Methan verursacht beispielsweise die gleiche Klimawirkung wie 25 kg CO₂. Daher spricht man bei der Emission von 1 kg Methan auch von 25 kg CO₂-Äquivalent-Emissionen. Die Summe aller Treibhausgase kann daher in Form von CO₂-Äquivalent-Emissionen (CO₂e) ausgewiesen werden.

Bei Linienbussen ist der Unterschied zwischen den reinen verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen und CO₂-Äquivalenten nur gering – die Differenz liegt bei rund ein bis zwei Prozent. Bei der Stromherstellung und schienengebundenen Verkehrsmitteln des ÖPNV liegt der Aufschlag im Mittel für Deutschland bei 5 Prozent in Einzelfällen kann er auch über zehn Prozent betragen.

Anders ist das Bild bei Kältemitteln: 1 kg des Kältemittels R 404A beispielsweise führt zu CO₂-Äquivalent-Emissionen in Höhe von 3.900 kg – das entspricht grob der Menge, die bei der Verbrennung von rund 1.300 l Diesel entsteht. Dies zeigt die hohe Relevanz der Kältemittelmmissionen für eine Unternehmensklimabilanz. Gelangen kleine Mengen von Kältemittel zum Beispiel durch Leckagen in die Umwelt, führt dies zu einer hohen Klimawirksamkeit.

Tabelle 2: 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

Quellen: IPCC 2007; eigene Berechnungen.

Der feine Unterschied: direkte und indirekte Emissionen

Die größten Unterschiede weisen die derzeitigen Klimabilanzen von ÖPNV-Unternehmen in der Frage auf, ob die Herstellung der verbrauchten Energieträger mitbilanziert wird oder nicht. Die Verbrennung von Diesel oder Erdgas in Bussen oder von Erdgas in Raumheizungen von Büros oder Werkstätten erzeugt unmittelbar Treibhausgasemissionen – die **direkten Emissionen**. Bei Emissionen von Fahrzeugen spricht man dann auch von so genannten Tank-to-Wheel-Emissionen. Diese direkten Emissionen werden in der Regel in den Klimabilanzen der ÖPNV-Unternehmen ausgewiesen.

Daneben entstehen aber auch bei der Herstellung von Strom und Kraftstoffen, bei der Produktion von Fahrzeugen, beim Straßenbau und bei der Instandhaltung des Verkehrsnetzes Treibhausgase – die **indirekten Emissionen**. Eine gewichtige Rolle in jeder ÖPNV-Klimabilanz spielen die bei der Herstellung der Energieträger entstehenden Treibhausgase. Für **Dieselfahrzeuge** entfallen in diesen Bereich beispielsweise alle Emissionen, die von der Gewinnung des Rohöls über dessen Transport zu den Raffinerien, der eigentlichen Destillation des Diesels bis hin zur Anlieferung an der Tankstelle anfallen. Bei **elektrisch betriebenen Verkehrsmitteln** erfassen die indirekten Emissionen diejenigen, die bei der Herstellung des Fahrstroms entstehen. Bei Verkehrsmitteln werden diese Emissionen als Well-to-Tank-Emissionen bezeichnet. Werden sie mit den direkten Emissionen addiert, erhält man die Well-to-Wheel-Emissionen (Erklärung dazu siehe Kasten).

Definitionen von Energieverbrauch und Emissionen

- **Well-to-Tank** (Energieprozesse): Erfassung von Energieverbrauch bzw. allen indirekten Emissionen der Kraftstoffbereitstellung von der Quelle bis zum Fahrzeugtank. Der Energieverbrauch umfasst auch Verluste, beispielsweise von Strom in Hochspannungsleitungen.
- **Tank-to-Wheel** (Fahrzeugprozesse): Erfassung aller direkten Emissionen des Fahrzeugbetriebes. Beim Verbrauch wird vom Endenergieverbrauch gesprochen.
- **Well-to-Wheel** (Fahrzeug- und Energieprozesse): 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.

Manche ÖPNV-Betriebe berücksichtigen für Strom bereits die herstellungsbedingten, also die indirekten Emissionen. Für anderen Energieträger wie Diesel, Benzin, Erdgas oder Heizöl werden die indirekten Emissionen hingegen in der Regel nicht bilanziert. Diese Vorgehensweise ist für Unternehmensklimabilanzen nicht ungewöhnlich und auch durch Normen und Standards für Corporate Carbon Footprints gedeckt (siehe auch Kapitel 5).

Ein verzerrtes Bild ergibt sich allerdings, wenn auf Basis dieser Zahlen spezifische Werte pro Personenkilometer für Busse und Bahnen berechnet und dann mit anderen Verkehrsträgern wie Pkw verglichen werden. In der Regel werden zur Berechnung der spezifischen Treibhausgasemissionen die für ein Jahr ermittelten Emissionen für Busse, Straßen, S- und U-Bahnen durch die jeweiligen Jahresverkehrsleistungen dividiert.

Diese Vorgehensweise ist zwar gebräuchlich, streng genommen sind **Emissionsvergleiche von Verkehrsmitteln** aber nur zulässig, wenn die Emissionen auf der umfassenden Well-to-Wheel-Basis ermittelt wurden. Daher schreibt die neue EN 16258 vor, dass auch die indirekten Emissionen aus der Herstellung der Energieträger berücksichtigt werden müssen. Dagegen wurden indirekte Emissionen aus Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Fahrzeugen oder Verkehrsinfrastruktur für die Berechnung ausgeschlossen, da deren Anteil zum einen relativ klein ist, zum anderen meist verlässliche Daten fehlen. Die neue Norm macht grundsätzlich Vorgaben für den Fall, dass ein Unternehmen gegenüber seinen Kunden Energieverbrauch oder Treibhausgasemissionen für Transportdienstleistungen ausweisen will. Damit hat die Norm eine hohe Relevanz für ÖPNV-Betriebe und ist wesentliche Grundlage für die Empfehlungen in diesem Leitfadens.

Vorsicht bei Vergleichen mit dem Auto

Dass Vergleiche verschiedener Verkehrsträger nur auf Basis der Well-to-Wheel-Emissionen sinnvoll sind, zeigen auch die vom Umweltbundesamt ausgewiesenen spezifischen CO₂-Emissionen pro Personenkilometer (Abbildung 1). Die Daten wurden dem **Transport Emission Model (TREMOT)**, das vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg im Auftrag des UBA entwickelt wurde, entnommen. Sie spiegeln deutsche Durchschnittswerte wieder und werden auch von ÖPNV-Betrieben zu Vergleichszwecken herangezogen.

Auch die Umweltdatenbank, die im Auftrag der Allianz pro Schiene, des Verbandes der Bahnindustrie in Deutschland (VDB) und des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) erstellt wird, basiert auf TREMOD. Vergleiche mit Daten aus diesem Modell sind aber nur zulässig, wenn bei der Ermittlung unternehmens-eigener Daten vergleichbar verfahren wird, die Werte also auf Well-to-Wheel-Basis ermittelt wurden und somit die Herstellung der Energieträger subsummiert wird.

Ähnliches gilt für den Strom. ÖPNV-Unternehmen nutzen für ihre Bilanz oft die CO₂-Werte ihrer Stromlieferanten. Diese Werte stammen aus der Stromkennzeichnung und berücksichtigen nur die Emissionen ab dem Kraftwerk - Gewinnung, Umwandlung und Transport der Energieträger zum Kraftwerk bleiben außen vor. TREMOD enthält hingegen Stromwerte, die auch diese Emissionen einschließen, allerdings nur als Durchschnittswerte. Die Norm EN 16258 schreibt vor, dass alle indirekten Emissionen von der Gewinnung der Primärenergieträger bis zu den Verteilungsverlusten des Stroms zu berücksichtigen sind (siehe hierzu auch Kapitel 6).

4 Standards und Normen – welcher Rahmen existiert?

In Deutschland gibt es keine gesetzliche Vorschrift, wie die Treibhausgasemissionen von Bussen und Bahnen des ÖPNV berechnet werden müssen. Es bleibt also den Betrieben überlassen, welche Methoden und Verfahren sie für die Berechnung von Treibhausgasen verwenden. Zum guten Ton gehört allerdings, dass sich die Autoren an den anerkannten Regeln der Wissenschaft orientieren. Am einfachsten ist dieser Nachweis, wenn die Berechnungen in Übereinstimmung mit den Anforderungen anerkannter **Normen und Standards** durchgeführt werden. Welche Normen und Standards idealerweise verwendet werden sollten, hängt von dem **Ziel der Berechnung** ab. Sollen die Treibhausgasemissionen für das gesamte Unternehmen ermittelt werden oder nur für einzelne Fahrten, also für eine bestimmte Transportdienstleistung? Für beide Fälle gibt es unterschiedliche Standards und Normen (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Vergleich aktueller Normen und Standard

	Unternehmensklimabilanzen (Corporate Carbon Footprinting)	Bilanzen von Transportdienstleistungen
Normen und Standards	ISO 14064-1 sowie GHG Protocol ¹⁾	Norm <i>EN 16258</i>
Bilanzierungsgröße	alle Aktivitäten des eigenen Unternehmens	gesamte Fahrt eines Fahrgasts von A nach B (inklusive Wechsel des Verkehrsmittels)
Umweltkenngößen	alle Treibhausgase (als CO ₂ -Äquivalente)	alle Treibhausgase (als CO ₂ -Äquivalente) + Energieverbrauch
Systemgrenzen	Emissionen der Transporte, aber auch Emissionen der eigenen Büros, Werkstätten etc.; freiwillig: Emissionen von gekauften Produkten und Dienstleistungen (z.B. von Subunternehmern)	nur Emissionen der Transporte, unabhängig ob mit eigenen Fahrzeugen oder Fahrzeugen von Subunternehmern durchgeführt
Inputdaten	Gemessene Energieverbräuche, alternativ: berechnete Energieverbräuche	Gemessene Energieverbräuche, alternativ: berechnete Energieverbräuche
Emissionen durch Herstellung von Energieträgern (Well-to-Tank)	Herstellung von selbst verbrauchten Strom: ja andere Energieträger: freiwillig	müssen berücksichtigt werden
Zulässige Methoden zur Allokation der Emissionen auf einzelnen Fahrgast	keine Vorgaben (da Unternehmen als Ganzes bilanziert wird)	Personenkilometer als bevorzugte Größe; weitere Parameter: Anzahl der Passagiere oder Anzahl der Fahrten

¹⁾Die Angaben in der Tabelle beziehen sich auf den "Corporate Accounting and Reporting Standard" des GHG Protocol.

Quelle: eigene Darstellung.

Klimabilanzen für den Corporate Carbon Footprint

Die methodischen Grundlagen und Anforderungen für die Erstellung einer Klimabilanz für das Gesamtunternehmen sind in der ISO-Norm 14064-1 oder dem „Corporate Accounting and Reporting Standard“ des Greenhouse Gas Protocol festgeschrieben. Beide Standards ähneln sich inhaltlich in weiten Teilen. Das GHG Protocol ist der von den meisten Unternehmen verwendete Standard, der – anders als die ISO 14064-1 – nicht durch einen externen Gutachter verifiziert werden muss. Beide Standards haben gemeinsam, dass nicht nur CO₂-Emissionen, sondern die CO₂-Äquivalente berechnet werden (siehe hierzu auch Kapitel 3).

Die Systemgrenzen einer Bilanz nach ISO und GHG

Welche Emissionen welcher Dienstleistungen oder welcher Teile der Wertschöpfungskette müssen aber eigentlich gemessen oder berechnet werden? Das ist für alle Bilanzen die entscheidende Frage. Sowohl ISO-Norm 14064-1 als auch GHG Protocol liefern daher eine klare Festlegung der **Systemgrenzen**, also eindeutige Aussagen darüber, welche Unternehmensteile bzw. wirtschaftliche Aktivitäten in die Bilanz einbezogen werden. Sie unterscheiden dabei zwischen direkten Emissionen aus der Verbrennung der Kraftstoffe, von Gas oder Heizöl und aus der Freisetzung klimawirksamer Stoffe wie Kältemittel (**Scope 1**), und den indirekten Emissionen. Indirekte Emissionen fallen bei der Bereitstellung von Strom und Fernwärme an (**Scope 2**), aber auch durch Transporte beauftragter Subdienstleister, durch Anwendung und Entsorgung von Produkten, durch Herstellung von Kraftstoffen oder durch Dienstreisen und Arbeitswege der Mitarbeiter (**Scope 3**).

Table 4: Zuordnung einzelner umweltrelevanter Bereiche von ÖPNV-Unternehmen zu Scope 1 bis 3 des GHG Protocol

	Scope 1	Scope 2	Scope 3
Kraftstoffverbrauch eigener Fahrzeuge wie Busse (z.B. Diesel)	X		
Gas-/Heizölverbrauch eigener Büros, Werkstätten, Verkaufsstellen	X		
Kältemittelverluste durch Klimaanlage (z.B. Fahrzeuge, Gebäude)	X		
Stromverbrauch von Straßen-, Stadt- und U-Bahnen		X	
Stromverbrauch der Verkehrsinfrastruktur (z.B. Weichenheizungen)		X	
Stromverbrauch eigener Büros, Werkstätten, Verkaufsstellen		X	
Fernwärmeverbrauch eigener Büros, Werkstätten, Verkaufsstellen		X	
Energieverbrauch gemieteter Räume (z.B. Büros, Verkaufsstellen)			X
Fahrten von beauftragten Subunternehmern (Busse)			X
Dienstreisen, Arbeitswege der Mitarbeiter			X
Energieverbrauch durch Herstellung der Energieträger (z. B. Diesel)			X
Herstellungsaufwand von gekauften Produkten (z. B. Papier)			X

Quelle: eigene Darstellung.

ÖPNV-Betriebe, die Bilanzen nach ISO 14064-1 oder „Corporate Accounting and Reporting Standard“ des GHG Protocol erstellen, **müssen Scope 1 und 2** berechnen, während **Scope-3-Emissionen freiwillig** ausgewiesen werden können. Verpflichtend sind also CO₂-Emissionen aus den Fahrten mit Bussen und Bahnen, aber auch die Treibhausgase aus dem Energieverbrauch z. B. von Büros, Werkstätten und Verkaufsstellen, von Verkehrsinfrastruktur wie Weichenheizungen oder Haltestellen. Nicht nur energiebedingte CO₂-Emissionen müssen

berücksichtigt werden: Auch die klimarelevanten Kältemittlemissionen von Klimaanlage in Fahrzeugen und Gebäuden müssen mitbilanziert werden.

Und wo endet die Pflicht? Die **Systemgrenze zu Scope 3** wird beispielsweise wirksam, wenn Subunternehmer Busfahrten übernehmen oder Betriebsräume nur angemietet sind. Die dabei entstehenden Emissionen müssen nicht ausgewiesen werden, können der Vollständigkeit halber aber auf freiwilliger Basis bilanziert werden. Ebenfalls unter Scope 3 fallen die Treibhausgase aus der Gewinnung des Rohöls, der Kraftstoffherstellung sowie aus Versorgungstransporten z. B. zu betriebseigenen Tankstellen. Laut ISO 14064-1 und GHG Protocol gehören auch die Emissionen der Stromproduktion, die ab der Gewinnung der Primärenergieträger (z.B. Kohle) bis zu den Eingangstoren der Kraftwerke entstehen, zu Scope 3. Erst ab dem Kraftwerk sind die Treibhausgase unter Scope 2 zu verbuchen und müssen dokumentiert werden.

Allerdings haben die Autoren des GHG Protocol erkannt, dass das Ausblenden von Scope 3 bei Unternehmensklimabilanzen ein unvollständiges Bild ergibt. Daher wurde als Ergänzung der „**Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard**“ veröffentlicht, der Anforderungen an die Bilanzierung dieser Emissionen definiert. Wer diese Ergänzung anwendet, muss auch einen großen Teil seiner Scope-3-Emissionen dokumentieren, beispielsweise aus Transporten von Subunternehmern oder die Emissionen aus der Kraftstoffherstellung.

Unabhängig von Norm oder Standard müssen die Emissionen getrennt nach den drei Scopes ausgewiesen werden. Nur dadurch wird nachvollziehbar, welche Bereiche berücksichtigt wurden und welche nicht. ISO 14064-1 und GHG Protocol beziehen sich immer auf das gesamte Unternehmen. Daher enthalten sie keine speziellen Regelungen, wie die ermittelten Treibhausgasemissionen auf einen einzelnen Fahrgast aufgeteilt werden können. Zudem sind die Anforderungen an die Berechnung der transportbedingten CO₂-Emissionen nur sehr allgemein.

Dies war auch der Grund, warum das Europäische Komitee für Normung (Comité Européen de Normalisation = CEN) die neue **Norm EN 16258** entwickelt hat, die **speziell die Bilanzierung von Transporten** und die Zurechnung der Emissionen auf eine einzelne Transportdienstleistung (pro Fahrgast oder pro Sendung im Güterverkehr) adressiert.

**Die neue EN 16258:
Klimabilanzen für einzelne
Transporte**

Die EN 16258 mit dem Titel „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen“ wurde im März 2013 vom Deutschen Institut für Normung (DIN) veröffentlicht. Wie jede Europäische Norm oder DIN-Norm hat sie keinen rechtlich verbindlichen Charakter. Ihre Anwendung ist damit freiwillig. Allerdings kann sie **Transportbilanzen transparenter und einheitlicher** machen: EN 16258 definiert die Systemgrenzen der Berechnung, beschreibt Verfahren zur Aufteilung des Energieverbrauchs und der Emissionen auf Fahrgäste und Sendungen (auch als Allokation bezeichnet) und gibt Empfehlungen, welche Daten für die Berechnung verwendet werden können. Schließlich macht sie Vorgaben für die Veröffentlichung und Kommunikation der Ergebnisse.

Die Norm richtet sich an alle Unternehmen, die Transportdienstleistungen anbieten oder organisieren, sowie an deren Kunden. Damit gilt sie auch für ÖPNV-Betriebe. Sie **fokussiert** ausschließlich auf **Transportdienstleistungen**, d.h. auf in der Regel kommerziell durchgeführte Transporte von Personen oder Waren von einem beliebigen Start- zu einem beliebigen Endpunkt. In der Bilanz wird stets die gesamte Fahrt des Fahrgastes betrachtet. Dabei spielt keine Rolle, ob die Fahrgäste das Verkehrsmittel wechseln oder ob die Beförderung selbst oder von Dritten (Subunternehmern) durchgeführt wird.

Table 5: Systemgrenzen der europäischen Norm EN 16258

Enthaltene Prozesse:	Nicht enthaltene Prozesse
<ul style="list-style-type: none"> • Gesamte Fahrt von einem Start- zu einem Zielpunkt einschließlich möglicher Wechsel des Verkehrsmittel • Transporte mit eigenen Fahrzeugen ebenso wie Fahrten von beauftragten Subdienstleistern • Energieverbrauch <u>und</u> Treibhausgasemissionen (alle sechs Kyoto-Gase, als CO₂-Äquivalente) • Tank-to-Wheel <u>und</u> Well-to-Wheel (also inkl. Herstellung von Kraftstoffen und Strom) 	<ul style="list-style-type: none"> • Energieverbrauch und Emissionen von Büros, Werkstätten, Verkaufsstellen • Herstellung, Unterhalt und Entsorgung von Fahrzeugen und Verkehrsinfrastrukturen (z.B. Bau und Betrieb der Bahnhöfe, Bau und Betrieb der Gleise, Weichenheizungen etc.) • Kältemittelverluste durch z.B. Klimaanlage
<p><i>Quelle: eigene Darstellung.</i></p>	

Pflicht und Kür der neuen EN 16258

Die EN 16258 folgt methodisch in wesentlichen Punkten der ISO-Norm 14064-1 und den Vorgaben aus dem GHG Protocol. Allerdings werden Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von **Büros, Werkstätten, Verkaufsstellen oder Verkehrsinfrastruktur** in der vorliegenden ersten Version des Standards **nicht erfasst**. Auch die Herstellung der Fahrzeuge, der Bau der Verkehrsinfrastruktur und Kältemittelverluste bleiben unberücksichtigt. Künftige Ausgaben des Standards sollen zumindest den Energieverbrauch von Gebäuden und stationären Anlagen einschließen. Bis dahin können die Treibhausgasemissionen dieser nicht erfassten Bereiche zwar bilanziert werden, müssen aber getrennt von den „normkonform“ berechneten Ergebnissen für die Transporte dargestellt werden. Wer also die Norm EN 16258 anwendet, muss verpflichtend nur die Emissionen für die Transporte berechnen. Alle anderen Bereiche sind „Kür“, dienen allerdings der Vervollständigung des Gesamtbildes.

Die Norm schreibt weiter vor, dass nicht nur die Treibhausgasemissionen, sondern auch der Energieverbrauch der Transporte dokumentiert wird (normiert in Joule statt in l Diesel oder kWh Strom). Neben dem direkten Energieverbrauch des Fahrzeugs und den direkten verbrennungsbedingten Emissionen (**Tank-to-Wheel**) müssen auch Energieverbrauch und Emissionen einschließlich der Kraftstoff- oder Stromproduktion ausgewiesen werden (**Well-to-Wheel**). Dies ist notwendig, um die Klimawirksamkeit von elektrisch angetriebenen Verkehrsmitteln oder von Biokraftstoffen korrekt darzustellen.

Die Norm EN 16258 ist damit ideale Grundlage für ÖPNV-Unternehmen, die gegenüber Kunden und Öffentlichkeit den Klimavorteil des öffentlichen Nahverkehrs gegenüber dem Individualverkehr aufzeigen wollen. Auch wenn die Anwendung der Norm freiwillig ist, hilft sie den Unternehmen zu belegen, dass ihre Berechnungen wissenschaftlich korrekt und für alle nachvollziehbar sind – ein echter Mehrwert für ÖPNV-Betriebe.

Nicht im Fokus dieses Leitfadens steht die Frage, wie eine Unternehmensklimabilanz in Übereinstimmung mit den Standards ISO 14064-1 oder des GHG Protocol zu erstellen sind (hierzu siehe www.ghgprotocol.org). Allerdings können Berechnungen nach EN 16258 auch in Unternehmensbilanzen einfließen. Das gilt insbesondere für Umrechnungs- und Emissionsfaktoren (siehe hierzu Kapitel 8). Das gilt auch für die erhobenen Inputdaten (z. B. gemessene Energieverbräuche), die für beide Bilanzarten verwendet werden können. Prinzipiell ist es von Vorteil, wenn die Erstellung von Klimabilanzen für Kunden und Fahrgäste Hand-in-Hand geht mit der Erarbeitung von Unternehmensbilanzen.

5 Vorgehensweise nach der neuen Norm EN 16258

Ausgangspunkt für die Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen nach der Norm EN 16258 ist immer der Transport eines Fahrgastes oder einer Sendung von einem beliebigen Start- zu einem beliebigen Endpunkt. Übertragen auf Fahrten im ÖPNV bedeutet dies, dass Energieverbrauch und Emissionen für die Fahrt von einer Haltestelle x bis zu einer Endhaltestelle y zu ermitteln und auszuweisen sind. Dabei müssen alle Umsteigevorgänge und damit auch mögliche Wechsel der Verkehrsmittel z. B. vom Bus in eine Straßenbahn berücksichtigt werden.

Der ÖPNV-Kunde müsste also konkret für **eine bestimmte Fahrtstrecke** den absoluten **Energieverbrauch** und die **Treibhausgasemissionen** ausgewiesen bekommen (z. B. auf dem Ticket). Das Berechnen und Ausweisen der spezifischen Werte pro Personenkilometer fordert die Norm hingegen nicht; allerdings können diese Daten sinnvolle Zwischenergebnisse für die Berechnung der absoluten Werte darstellen. Da bei Zeittickets wie Tages-, Monats- oder Jahreskarten die genauen Wegestrecken nicht bekannt sind, können hierfür Ergebnisse aus Fahrgastbefragungen verwendet werden (siehe hierzu siehe Kapitel 6). In diesem Fall entsprechen die Angaben nicht den realen Emissionen, sind aber für die Transportdienstleistung repräsentativ.

Grundsätzlich muss im **ersten Schritt zur Berechnung** die Fahrt in Teilstrecken zerlegt werden, auf denen der Kunde das Verkehrsmittel nicht wechseln kann - auch als „**Leg**“ bezeichnet. Für jede Teilstrecke müssen Energieverbrauch und Emissionen getrennt ermittelt werden, nicht zuletzt, da Busse, Straßen-, S- und U-Bahnen in ihren Emissionen und Energieverbräuchen differieren. Auch wenn der Fahrgast von einer Bus- oder Straßenbahnlinie in eine andere wechselt, ist die Aufteilung in Legs notwendig. Denn die Auslastungen der Linien und der Energieverbrauch der eingesetzten Fahrzeuge können sehr unterschiedlich sein.

Die Ermittlung von Energieverbrauch und Emissionen für eine Teilstrecke erfolgt über das **Fahrzeugeinsatz-System** (Vehicle Operation System, VOS). Als VOS bezeichnet die Norm EN 16258 den Umlauf eines Fahrzeugs, bei dem der Fahrgast zumindest auf einer Teilstrecke mitgefahren ist. Dieser Fahrzeugumlauf muss neben dieser Strecke auch alle Leerfahrten zur Bereitstellung des Fahrzeuges und die Fahrten zurück zum Depot berücksichtigen.

Das VOS muss aber nicht zwangsläufig der konkrete Fahrzeugumlauf sein, bei dem der Fahrgast an Bord war. Es kann sich auch um sämtliche Fahrzeugumläufe eines Fahrzeugtyps (z. B. Fahrten aller Gelenkbusse) oder auf einer Route bzw. Strecke (z. B. Fahrten aller Busse auf einer Linie) oder gar um alle Fahrzeugumläufe in einem Netz (z. B. Fahrten aller Busse des ÖPNV-Betriebs) handeln, in dem der betrachtete Abschnitt liegt oder bei geplanten Transportstrecken liegen würde. Grundsätzlich sollten Energieverbrauch, zurückgelegte Entfernungen und Fahrzeugauslastung als gemessene Werte vorliegen. Fehlen diese Werte, dürfen auch Vorgabewerte (Default-Werte) aus Datenbanken, Statistiken oder Erhebungen verwendet werden.

Berechnung einer bestimmten Strecke in drei Schritten

Als Quellen für Daten unterscheidet die Norm somit (siehe Abbildung 2):

- Die individuelle Messung
- Die Messung als Durchschnitt für die eingesetzten Fahrzeugtypen oder für die betrachtete Route (spezifischer Wert des Transportdienstleisters)
- Messungen als Durchschnitt für die Fahrzeugflotte des Dienstleisters (Flottenwert des Transportdienstleisters)
- Vorgabewerte/Default-Werte

Der **zweite Schritt** ist die Analyse jeder Teilstrecke. Für jeden Leg müssen die erhobenen Daten für Kraftstoff- oder Stromverbrauch für das VOS in normierte Werte (für Energie in Joule, für Treibhausgasemissionen in kg) als TTW und WTW umgerechnet werden. Die Norm liefert hierfür die passenden Umrechnungsfaktoren pro l oder kg Kraftstoff, die auf aktuellen europäischen und internationalen Quellen basieren. Für Strom enthält die Richtlinie keine Umrechnungsfaktoren, da diese vom Lieferanten oder vom Bezugsnetz abhängen.

Vorgabe ist, dass der gesamte Herstellungsprozess - Gewinnung der Energieträger, deren Transport in die Kraftwerke, deren Umwandlung in Strom und die Netzverluste - einbezogen werden muss (hierzu siehe auch Kapitel 7).

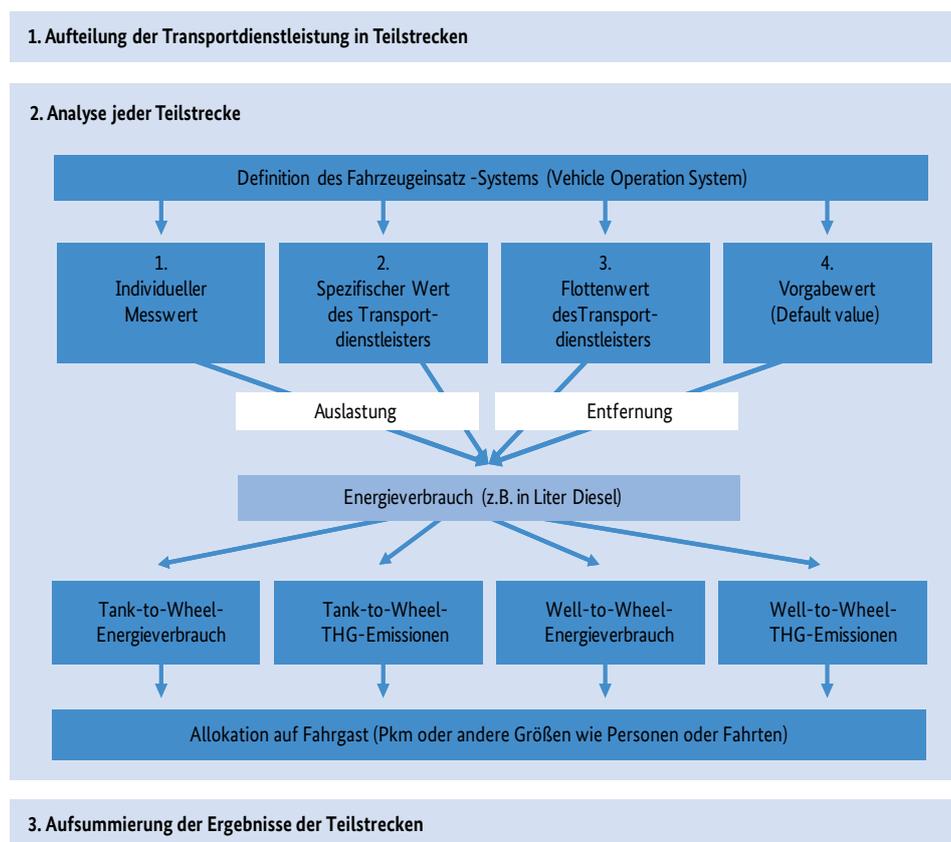


Abbildung 2 [eigene Darstellung]

Am Ende müssen für jeden Leg die normierten TTW- und WTW-Werte des gesamten VOS auf einzelne Fahrgäste aufgeteilt werden. Es werden also zunächst Energieverbrauch und Emissionen für größere Netze ermittelt und diese auf eine Allokationsgröße bezogen (z.B. Personenkilometer), die dann in konkrete Angaben wie Energieverbrauch und Treibhausgasemission pro Personenkilometer münden. Dies ist heute bereits ein bei vielen ÖPNV-Unternehmen übliches Verfahren (siehe hierzu Kapitel 8). Die **Vorgehensweise im Schritt 2** wird in den folgenden Kapiteln anhand von **Rechenbeispielen** ausführlicher vorgestellt.

Als **letzter und dritter Schritt** werden die Teilergebnisse zum Gesamtergebnis aufsummiert – also für eine bestimmte Fahrt eines Kunden im Netz des Anbieters.

Schrittweise Vorgehensweise nach EN 16258

Die Berechnung von Energieverbrauch und Emissionen für eine Transportdienstleistung (Sendung) muss gemäß Norm **EN 16258** in drei Schritten erfolgen:

- **Schritt 1:** Aufteilung der Fahrt im ÖPNV (in der Norm als Transportdienstleistung bezeichnet) in einzelne Teilstrecken ohne Verkehrsmittelwechsel (Legs)
- **Schritt 2:** Berechnung des Energieverbrauchs und der Emissionen pro Teilstrecke (Leg):
 - Festlegen des Fahrzeugeinsatz-Systems (VOS) für diese Teilstrecke (individuelle Messung, spezifischer Wert des Transportdienstleisters, Flottenwert des Transportdienstleisters, Verwendung von Vorgabewerten/Default-Werten; einschließlich Leerfahrten)
 - quantitative Bestimmung des gesamten Energieverbrauchs für dieses Fahrzeugeinsatz-System (z. B. Dieselverbrauch in l)
 - Umrechnung des ermittelten Energieverbrauchs in standardisierten Energieverbrauch (MJ) und Treibhausgasemissionen (kg CO₂-Äquivalente) für dieses Fahrzeugeinsatz-System (Tank-to-Wheel und Well-to-Wheel)
 - Allokation von standardisiertem Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen auf die Transportdienstleistung
- **Schritt 3:** Aufsummierung der Ergebnisse aller Teilstrecken (Legs) der Transportdienstleistung.

6 Kraftstoff- und Stromverbrauch von Bussen und Bahnen normkonform ermitteln

Laut Norm EN 16258 sollte der Energieverbrauch als Grundlage für die Berechnung des standardisierten Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen für jede einzelne Teilstrecke (Leg) tatsächlich auch gemessen werden. Nur wenn eine Messung nicht möglich ist, dürfen Standardwerte (Defaultwerte) aus - möglichst anerkannten - Datenbanken genutzt werden.

ÖPNV-Betriebe messen für ihre eigenen Fahrzeuge in der Regel die Energieverbräuche. Allerdings lässt die Norm **drei Arten der Messung** zu, die eng mit der Definition des Fahrzeugeinsatz-Systems (Vehicle Operation System = VOS, siehe Kapitel 5) zusammenhängen:

1. Der Energieverbrauch von Bus oder Bahn, die den Fahrgast transportiert haben, liegt als gemessener Wert vor. Hier spricht die Norm **von individuellen Messwerten**. In der Praxis von ÖPNV-Unternehmen kommt dieser Fall aber nur in Ausnahmen vor.
2. Nur für bestimmte Fahrzeugtypen (z. B. Standard- oder Gelenkbusse) oder bestimmte Linien (z. B. Straßen- oder U-Bahnlinien) liegen gemessene Werte vor. Diese Durchschnittswerte bezeichnet die Norm als **spezifische Werte des Transportdienstleisters**. Sie werden nicht für den konkreten Transport gemessen, sondern beispielsweise über ein Jahr gemittelt. Dieser Fall ist in der Praxis relevanter.
3. Der Energieverbrauch liegt nur für die gesamte Flotte vor (z. B. als Gesamtenergieverbrauch für die Bus- oder U-Bahnflotte pro Jahr). Die Norm spricht dann von **Flottenwerte des Transportdienstleisters**. Flottenwerte dürfen nur verwendet werden, wenn sie für die betrachtete Fahrt des Fahrgastes repräsentativ sind. Die Art der Messung ist bei ÖPNV-Unternehmen weit verbreitet.

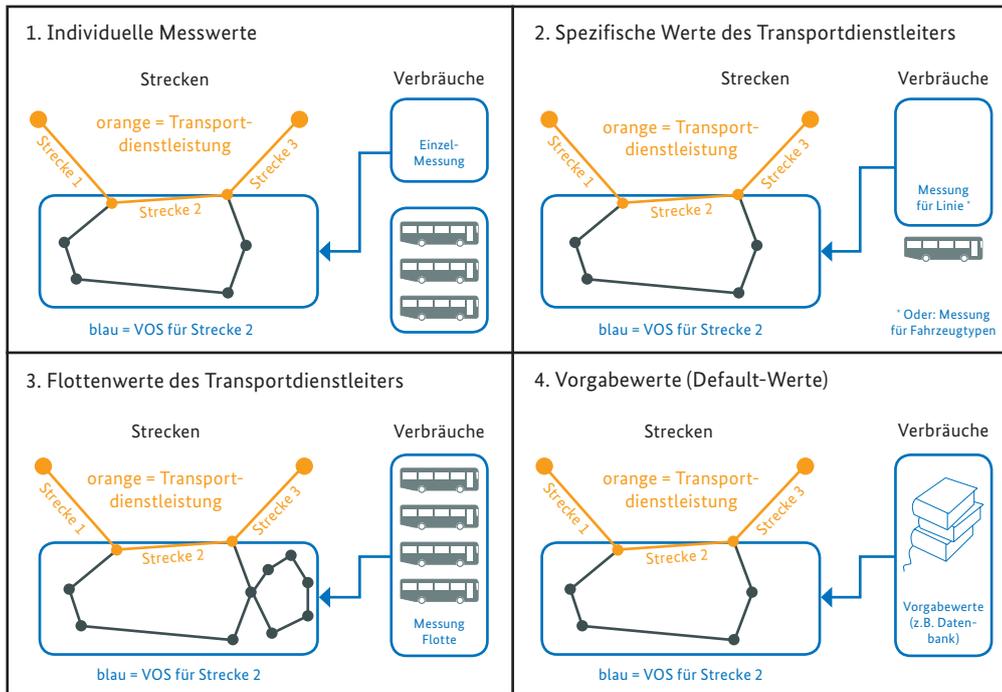
Messung und Allokation sollten gleiche Abgrenzung haben

Für alle drei Varianten gilt, dass die gemessenen Energieverbrauchswerte in einem späteren Schritt dem einzelnen Fahrgast zugeschrieben werden müssen. Diese Allokation wird in Kapitel 8 beschrieben. Ob der Energieverbrauch für die konkrete Fahrt, eine Linie bzw. einen Fahrzeugtyp oder für die gesamte Flotte ermittelt und damit das betrachtete Fahrzeugeinsatz-System im Sinne der Norm mehr oder weniger eng definiert wird, hängt somit auch davon ab, ob die notwendigen Informationen für die Allokation in der gleichen Abgrenzung vorliegen. Sind beispielsweise der Energieverbrauch pro Buslinie, die Anzahl der Fahrgäste oder die Personenkilometer nur für das Gesamtbusnetz bekannt, erweisen sich individuelle oder spezifische Werte für den Energieverbrauch als wenig hilfreich.

Zwar priorisiert die Norm individuelle und damit präzise Messwerte. Da bei ÖPNV-Unternehmen aber im günstigsten Fall nur linien- oder fahrzeugspezifische oder sogar nur Flottenwerte vorliegen, können auch nur diese für Berechnungen nach der Norm EN 16258 verwendet werden. Allen drei Ansätzen gemein ist, dass Leerfahrten zur Bereitstellung der Busse und Bahnen mitbetrachtet werden müssen.

Beauftragt ein ÖPNV-Betrieb **Subunternehmer** – in der Regel im Busverkehr – verfügt er in der Regel über keine gemessenen Energieverbrauchsdaten. Für diesen Fall lässt die Norm zu, dass Vorgabe- bzw. Defaultwerte verwendet werden. Allerdings muss ein ÖPNV-Unternehmen grundsätzlich prüfen, ob nicht doch gemessene Werte vorliegen. Außerdem müssen Werte, ihre Quellen und eine Begründung für die Auswahl der Werte kommuniziert werden.

Vier Möglichkeiten der Norm EN 16258 zur Ermittlung des Energieverbrauchs für das Fahrzeugeinsatz-System



Legende: VOS = Vehicle Operation System bzw. Fahrzeugeinsatz-System

Abbildung 3 [eigene Darstellung]

Quellen für Vorgabewerte schreibt die Norm nicht vor. Daher ist auch denkbar, dass gemessene Werte der eigenen Fahrzeuge auch den Fahrten des Subdienstleiters zugrunde gelegt werden. Falls allerdings detaillierte Berechnungen erfolgen sollen, bietet sich die Verwendung der in Europa häufig eingesetzten Datenbank „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (HBEFA) an, die im Auftrag verschiedener europäischer Umweltämter (u.a. des deutschen Umweltbundesamtes) erstellt wird. Das Handbuch wird auch in der Norm EN 16258 als mögliche Quelle für Vorgabewerte benannt.

HBEFA liefert für Diesel- und Erdgasbusse Dieselverbrauchswerte in g/km – allerdings in unterschiedlicher Detailtiefe. Unabhängig davon berechnet sich der Gesamtverbrauch nach folgender

Formel:

$$FC = D \times E_{spez.}$$

- FC: = Ermittelter Dieselverbrauch der Busse in Liter oder kg
- D = Fahrleistung der Busse in km
- E_{spez.} = Spezifischer Dieselverbrauch in Liter/100 km oder g/km

HBEFA als Quelle für Defaultwerte

Die Ergebnisse werden anschaulicher, wenn vorher die HBEFA-Werte mit Hilfe der Dichte (nach EN 16258: 0,832 kg/l für Diesel) in Literverbräuche umgerechnet werden ($l/100\text{ km}$). Grundsätzlich stehen HBEFA-Verbrauchswerte in folgender Differenzierung zur Verfügung (siehe www.hbefa.net/d):

- Busgrößenklassen ($\leq 15\text{ t}$ zulässiges Gesamtgewicht (zGG), $>15\text{-}18\text{ t}$ zGG, $>18\text{ t}$ zGG)
- Emissionsklassen (z.B. vor Euro I, Euro I-VI)
- Abgasnachbehandlung mit und ohne Partikelfilter
- Beladung (0 %, 100 % sowie Durchschnitt)
- Gebieten: Stadt/Land
- Verkehrssituationen (Kombination aus Straßentyp, Tempolimit und Verkehrsfluss; der Verkehrsfluss wird in frei fließend, dicht, gesättigt und Stop+Go unterschieden)
- Steigungsklassen (0 %, $\pm 2\%$, $\pm 4\%$, $\pm 6\%$)

Allerdings müssen Verbrauchsangaben nicht zwangsläufig so detailliert sein. Tabelle 6 zeigt aggregierte Werte, die nach Busgröße, Einsatzgebiet und Verkehrsfluss unterscheiden. Für Straßentyp oder Steigungsklasse wird eine für Deutschland typische Verteilung unterstellt. Diese Werte sind in der Regel bereits hinreichend genau, um Verbräuche eines Bus-Subunternehmers zu ermitteln. Rechenbeispiel 1 zeigt hierzu die Vorgehensweise. Da Steigungen einen erheblichen Einfluss auf den Verbrauch haben, sind im Anhang (Kapitel 11) die Dieserverbräuche der Busse zusätzlich differenziert nach Längsneigungsklassen ausgewiesen.

Tabelle 6: Dieserverbrauch von Bussen nach Busgröße, Einsatzgebiet und Verkehrsfluss

	Gebiet	Verkehrsfluss			Durchschnitt Deutschland
		frei fließend	dicht/ gesättigt	Stop+Go	
		$l/100\text{ km}$	$l/100\text{ km}$	$l/100\text{ km}$	$l/100\text{ km}$
Bus $\leq 15\text{ t}$ zGG (z. B. Midibus)	Stadt	22,7	31,2	39,7	30,6
	Land	23,5	26,0	34,6	23,9
	Durchschnitt	23,4	30,8	39,3	27,8
Bus $>15\text{-}18\text{ t}$ zGG (z. B. Standardbus)	Stadt	30,3	44,1	56,4	43,0
	Land	30,4	35,5	48,9	31,1
	Durchschnitt	30,4	43,3	55,7	38,1
Bus $>18\text{ t}$ zGG (z. B. Gelenkbus)	Stadt	39,4	56,0	62,6	54,5
	Land	39,6	48,5	58,0	40,8
	Durchschnitt	39,6	55,3	62,2	48,9

Quellen: Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA); eigene Berechnungen.

Wer Verbrauchswerte von HBEFA oder anderen Datenbanken nutzt, muss allerdings - wie bei einer Messung auch - sein Fahrzeugeinsatz-System definieren, das zur Berechnung der entsprechenden Teilstrecke des ÖPNV-Fahrgastes herangezogen werden soll. Im Rechenbeispiel 1 erfolgt die Berechnung beispielsweise für eine Linie, sie kann aber auch für ein gesamtes Netz erfolgen. Idealerweise wird ein Busumlauf berechnet, der der Fahrt des Fahrgastes am besten entspricht. Wichtig hierbei ist, dass auch bei dieser Einzelberechnung Leerfahrten anteilig berücksichtigt werden.

Rechenbeispiel 1:

Berechnung des Dieselverbrauchs der Busse des Subunternehmers

Ein ÖPNV-Unternehmen setzt auf einer städtischen Linie angemietete Busse eines Subunternehmers ein. Aufgrund der Länge der Linie und der Anzahl der Fahrten pro Jahr ist bekannt, dass die Busse eine Jahresfahrleistung von 262.800 km erbringen. Es werden ausschließlich Gelenkbusse eingesetzt. Der Subunternehmer setzt pro Tag vier Busse ein. Die Entfernung vom Depot zum Startpunkt der Linie beträgt 5 km (Hin- und Rückfahrt: 10 km). 5% der Gesamtfahrleistung (inkl. Leerfahrten) sind Stop+Go-Verkehr, 95% zählfließender Verkehr (Verkehrsfluss dicht/gesättigt).

1. Schritt: Berechnung der Jahresfahrleistung inklusive Leerfahrten

$$D = 262.800 \text{ km} + 4 \times 365 \text{ d} \times 10 \frac{\text{km}}{\text{d}} = 277.400 \text{ km}$$

2. Schritt: Berechnung des Dieselverbrauchs

$$FC = 277.400 \text{ km} \times (5\% \times 62,6 \frac{\text{l}}{100 \text{ km}} + 95\% \times 56,0 \frac{\text{l}}{100 \text{ km}}) = 156.259 \text{ l}$$

7 Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen standardisiert berechnen

Wurden Diesel-, Erdgas- oder Stromverbrauch von Bussen und Bahnen entsprechend den Vorgaben in Kapitel 6 ermittelt, erfolgt im nächsten Schritt gemäß Norm EN 16258 die standardisierte Berechnung von Verbrauch und Emissionen für das definierte Fahrzeugeinsatz-System (VOS). Dabei müssen sowohl Verbrauch als auch Emissionen nur für den Betrieb des Fahrzeugs (Tank-to-Wheel) und für Betrieb und Energiebereitstellung (Well-to-Wheel) ausgewiesen werden.

Ermittlung von TTW- und WTW-Energieverbrauch

Bereits Kraftstoff- und Stromverbrauchsdaten geben Aufschluss über den Endenergieverbrauch (Tank-to-Wheel) der Fahrzeuge. Allerdings lassen sich die Verbräuche von Dieseln und elektrischen Bahnen nicht addieren, da sie keine gemeinsame physikalische Einheit haben. Liter, Kilogramm und Kilowattstunden müssen daher nach der Norm EN 16258 unter Verwendung fester Faktoren in Megajoule (MJ) umgerechnet werden. Auch Well-to-Wheel wird mit Hilfe eines Umrechnungsfaktors, der zudem die vorgelagerte Erzeugungskette berücksichtigt, in MJ umgewandelt. Der WTW-Faktor ist daher größer als der TTW-Faktor.

$$EN_{TTW} = FC \times F_{EN,TTW} \text{ bzw.}$$

$$EN_{WTW} = FC \times F_{EN,WTW}$$

EN_{TTW} = Tank-to-Wheel-Energieverbrauch in MJ

EN_{WTW} = Well-to-Wheel-Energieverbrauch in MJ

FC : = Ermittelte Energieverbrauch (z. B. l, kg oder kWh)

$F_{EN,TTW}$ = Tank-to-Wheel-Energiefaktor in MJ/l, MJ/kg oder MJ/kWh

$F_{EN,WTW}$ = Well-to-Wheel-Energiefaktor in MJ/l, MJ/kg oder MJ/kWh

Ermittlung von TTW- und WTW-Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen für Tank-to-Wheel und für Well-to-Wheel berechnen sich analog zum Energieverbrauch. Für beide Größen wird der gemessene Verbrauch mit dem jeweiligen, spezifischen Umrechnungsfaktor multipliziert (siehe Tabelle 7).

$$EM_{TTW} = FC \times F_{EM,TTW} \text{ bzw.}$$

$$EM_{WTW} = FC \times F_{EM,WTW}$$

EM_{TTW} = Tank-to-Wheel- THG-Emissionen in kg CO₂-Äquivalente (CO₂e)

EM_{WTW} = Well-to-Wheel- THG-Emissionen in kg CO₂-Äquivalente (CO₂e)

FC : = Ermittelte Energieverbrauch (z. B. l, kg oder kWh)

$F_{EM,TTW}$ = Tank-to-Wheel- THG-Emissionsfaktor in CO₂e/l, CO₂e/kg oder CO₂e/kWh

$F_{EM,WTW}$ = Well-to-Wheel- THG-Emissionsfaktor in CO₂e/l, CO₂e/kg oder CO₂e/kWh

Die EN 16258 enthält für alle gängigen Kraftstoffe die notwendigen Umrechnungsfaktoren. Diese Faktoren nutzt dieser Leitfaden für alle Beispielsrechnungen. Laut Norm darf nur dann davon abgewichen werden, wenn z. B. Lieferanten entsprechende Werte zur Verfügung stellen, die in Übereinstimmung mit der EU-Richtlinie 2009/30/EC erhoben wurden.

Laut EU-Richtlinie soll die Beimischung von **Biokraftstoffen** die Well-to-Wheel-Treibhausgase bezogen auf Benzin und Diesel reduzieren – bis 2016 um mindestens 35 Prozent, ab 2017 um 50, ab 2018 um 60 Prozent. Die Norm EN 16258 berücksichtigt daher pauschal bei den WTW-Emissionsfaktoren für Bioethanol und Biodiesel eine Minderung der Treibhausgasemissionen von derzeit 35 Prozent. Das hat den Vorteil, dass Herstellungspfade und Ausgangsstoffe für die Biokraftstoffe nicht bekannt sein müssen. Nutzt ein Transportunternehmen besonders klimafreundliche Biokraftstoffe - beispielsweise aus nachhaltigem Anbau -, können diese nur angerechnet werden, wenn die Minderung gemäß Richtlinie 2009/30/EC erhoben wurde.

Vorgehensweise bei Biokraftstoffen

Tabelle 7: Faktoren für die Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen (berechnet als CO₂-Äquivalente) nach EN 16258

	Normierter Energieverbrauch				Treibhausgasemissionen (berechnet als CO ₂ -Äquivalente)			
	Tank-to-Wheel		Well-to-Wheel		Tank-to-Wheel		Well-to-Wheel	
	MJ/ kg	MJ/ l	MJ/ kg	MJ/ l	kgCO ₂ e/ kg	kgCO ₂ e/ l	kgCO ₂ e/ kg	kgCO ₂ e/ l
Benzin	43,2	32,2	50,5	37,7	3,25	2,42	3,86	2,88
Ethanol	26,8	21,3	65,7	52,1	0,00	0,00	1,56	1,24
Benzin E5 ¹⁾	42,4	31,7	51,4	38,4	3,08	2,30	3,74	2,80
Benzin E10 ²⁾	41,5	31,1	52,2	39,1	2,90	2,18	3,62	2,72
Diesel	43,1	35,9	51,3	42,7	3,21	2,67	3,90	3,24
Biodiesel	36,8	32,8	76,9	68,5	0,00	0,00	2,16	1,92
Diesel D7 ³⁾	42,7	35,7	53,2	44,5	2,97	2,48	3,76	3,15
Erdgas (CNG)	45,1	k.A.	50,5	k.A.	2,68	k.A.	3,07	k.A.
Autogas (LPG)	46,0	25,3	51,5	28,3	3,10	1,70	3,46	1,90

¹⁾5 Vol.-% Bioethanol. – ²⁾10 Vol.-% Bioethanol. – ³⁾7 Vol.-% Biodiesel.
Quelle: EN 16258.

In Deutschland enthalten Benzin und Diesel meist Beimischungen von Biokraftstoffen: Benzin wird bis zu 5 Vol.-Prozent Bioethanol (E5), Diesel bis zu 7 Vol.-Prozent Biodiesel (D7) beigemischt. Seit einigen Jahren ist zudem so genanntes E10-Benzin im Angebot an den Tankstellen. E10 enthält bis zu 10 Vol.-Prozent Bioethanol. In Tabelle 7 sind für diese Kraftstoffsorten die passenden Umrechnungsfaktoren enthalten. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass auf nationaler Ebene der Beimischungsanteil meist bezogen auf den Energieinhalt angegeben wird. 2011 beispielsweise lag der Biodieselanteil in Deutschland bei rund 6,2 Prozent, was - aufgrund der geringeren Energiedichte von Biodiesel - einem Volumenanteil von rund 7 Vol.-Prozent entspricht (siehe folgender Kasten).

Beimischungen von Biodiesel

Aufgrund des unterschiedlichen Heizwertes (= TTW-Energiefaktor, siehe Tabelle 7) von Diesel und Biodiesel ergeben sich unterschiedliche Anteile - je nachdem, ob der Wert auf das Volumen oder den Energieinhalt bezogen wird. In der Norm sind für beide Fälle die Energie- und Emissionsfaktoren aufgeführt. Liegt ein Mischungsverhältnis zwischen den angegebenen Prozentangaben, müssen die Werte linear interpoliert werden.

Tabelle 8: Energie- und THG-Emissionsfaktoren für verschiedene Biodieselbeimischungen bezogen auf das Volumen (Liter)

Biodieselanteil bezogen auf Volumen	TTW-Energiefaktor	WTW-Energiefaktor	TTW-THG-Emissionsfaktor	WTW-THG-Emissionsfaktor
<i>in %</i>	<i>MJ/Liter</i>	<i>MJ/Liter</i>	<i>kg CO₂e/Liter</i>	<i>kg CO₂e/Liter</i>
1,0%	35,9	43,0	2,64	3,23
2,0%	35,8	43,2	2,62	3,21
3,0%	35,8	43,5	2,59	3,20
4,0%	35,8	43,7	2,56	3,19
5,0%	35,7	44,0	2,54	3,17
6,0%	35,7	44,2	2,51	3,16
7,0%	35,7	44,5	2,48	3,15
8,0%	35,7	44,8	2,46	3,13
9,0%	35,6	45,0	2,43	3,12
10,0%	35,6	45,3	2,40	3,11
20,0%	35,3	47,9	2,27	2,98

Quelle: EN 16258.

Tabelle 9: Energie- und THG-Emissionsfaktoren für verschiedene Biodieselbeimischungen bezogen auf den Energieinhalt (MJ)

Biodieselanteil bezogen auf Energieinhalt	TTW- Energie- faktor	WTW- Energie- faktor	TTW-THG- Emissions- faktor	WTW-THG- Emissions- faktor
<i>in %</i>	<i>MJ/Liter</i>	<i>MJ/Liter</i>	<i>kg CO₂e/Liter</i>	<i>kg CO₂e/Liter</i>
1,0%	35,8	43,0	2,64	3,23
2,0%	35,8	43,2	2,61	3,21
3,0%	35,8	43,5	2,58	3,20
4,0%	35,7	43,8	2,56	3,19
5,0%	35,7	44,1	2,53	3,17
6,0%	35,7	44,4	2,50	3,16
7,0%	35,6	44,7	2,47	3,14
8,0%	35,6	44,9	2,44	3,13
9,0%	35,6	45,2	2,41	3,11
10,0%	35,5	45,5	2,38	3,10
20,0%	35,2	48,3	2,10	2,96

Quelle: EN 16258.

Rechenbeispiel 2:**Berechnung von TTW/WTW-Energieverbrauch und TTW/WTW-Emissionen**

Standardbusse einer bestimmten Linie benötigen pro Tag rund 218 Liter Diesel (rund 39,7 l/100km). Sie sollen durch Erdgasbusse ersetzt werden. Bei gleicher Fahrleistung würden die Busse 225 kg Erdgas verbrauchen (41,0 kg/100 km). Haben die Diesel- oder Erdgasbusse den höheren Energieverbrauch bzw. die höheren Emissionen? Für die Berechnung wird der in Deutschland üblich Kraftstoff D7 unterstellt.

Das Rechenbeispiel zeigt, dass Dieselbusse Klimavorteile haben. Lediglich bei den WTW-Emissionen sind beide Optionen nahezu gleichwertig.

Zu beachten ist: Der Diesel enthält in der Berechnung 7 Vol.-Prozent Biodiesel, wogegen die Erdgasbusse nur konventionelles Gas tanken. Würde stattdessen Biogas eingesetzt, könnten die WTW-Emissionen gegenüber Erdgas um 75 bis 95 Prozent niedriger liegen. Die Norm EN 16258 enthält zu Biogas keine Umrechnungsfaktoren. Allerdings nennt die EU-Richtlinie 2009/30/EC typische Emissionswerte für Biogas von 12 bis 17 g CO₂e/MJ. Bei dem in Europa verwendeten Heizwert von 50 MJ/kg ergeben sich Emissionsfaktoren von 0,60 bis 0,85 kg CO₂e/kg. Beim Vergleich mit Erdgas ist der höhere Heizwert des Biogases zu berücksichtigen. Ein mit Biogas betriebener Bus hat einen rund zehn Prozent niedrigeren Verbrauch.

Dieselbusse (D7-Diesel):

$$\text{- TTW-Energieverbrauch:} \quad EN_{TTW} = 218 \text{ l} \times 35,7 \frac{\text{MJ}}{\text{l}} = 7.783 \text{ MJ}$$

$$\text{- WTW-Energieverbrauch:} \quad EN_{WTW} = 218 \text{ l} \times 44,5 \frac{\text{MJ}}{\text{l}} = 9.701 \text{ MJ}$$

$$\text{- TTW-THG-Emissionen:} \quad EM_{TTW} = 218 \text{ l} \times 2,48 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{l}} = 541 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{- WTW-THG-Emissionen:} \quad EM_{WTW} = 218 \text{ l} \times 3,15 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{l}} = 687 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Erdgasbusse:

$$\text{- TTW-Energieverbrauch:} \quad EN_{TTW} = 225 \text{ kg} \times 45,1 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 10.148 \text{ MJ}$$

$$\text{- WTW-Energieverbrauch:} \quad EN_{WTW} = 225 \text{ kg} \times 50,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 11.363 \text{ MJ}$$

$$\text{- TTW-THG-Emissionen:} \quad EM_{TTW} = 225 \text{ kg} \times 2,68 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg}} = 603 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{- WTW-THG-Emissionen:} \quad EM_{WTW} = 225 \text{ kg} \times 3,07 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg}} = 691 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Vorgehensweise bei Strom

Für **Strom** enthält die Norm EN 16258 feste Faktoren lediglich für den TTW-Energieverbrauch (3,6 MJ/kWh) und die TTW-Emissionen (0 g CO₂-Äquivalente/kWh). Die WTW-Werte dagegen hängen stark vom Mix der Kraftwerke ab und sind daher nicht enthalten. Ein hoher Anteil an Kohlestrom beispielsweise verursacht weit höhere Emissionen als Strom, der zu einem bedeutenden Teil regenerativ erzeugt wurde.

Wenn möglich, sollten daher kundenspezifische Werte des jeweiligen Lieferanten verwendet werden. Sind Kundenwerte nicht verfügbar, können es stattdessen Durchschnittswerte des Versorgers sein. Stehen auch solche Daten nicht zur Verfügung, können nationale Durchschnittswerte genutzt werden. Bei der Verwendung von Daten des Versorgers ist allerdings Vorsicht geboten. Werte der **Stromkennzeichnung** können **nicht direkt verwendet** werden, da sie sich nur auf CO₂ und nicht auf alle Treibhausgase beziehen und zudem nur die Emissionen im Kraftwerk ohne Umwandlungsverluste berücksichtigen. Die Norm EN 16258 schreibt aber vor, die gesamte Kette - von der Gewinnung der Primärenergieträger über deren Umwandlung im Kraftwerk bis zur Verteilung im Stromnetz - zu berücksichtigen.

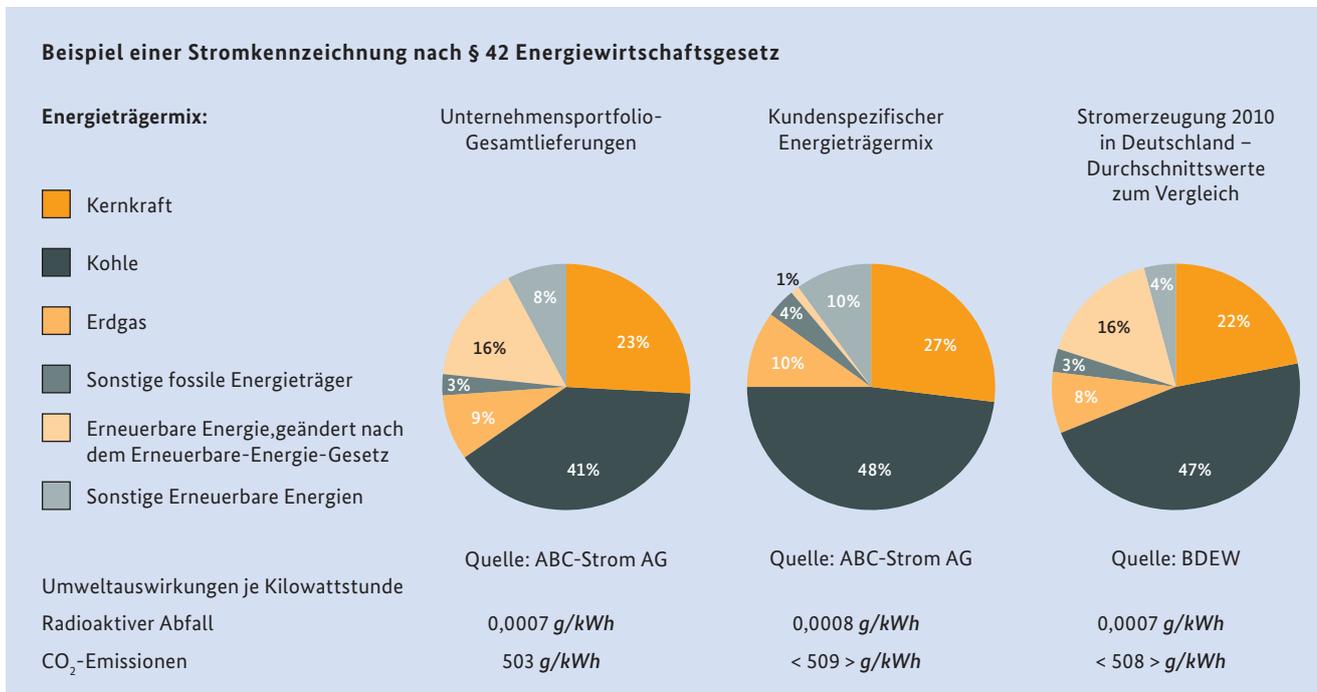


Abbildung 4: [BDEW 2011]

Zwar liefert die Stromkennzeichnung Informationen sowohl über den kundenspezifischen Energiemix als auch über die für den Lieferanten spezifisch ermittelten CO₂-Werte (siehe Abbildung 4) – allerdings enthält die Kennzeichnung nur **aggregierte Angaben** zum Mix der Anlagen für die Stromerzeugung. Sie unterscheidet beispielsweise nicht, ob Braun- oder Steinkohle eingesetzt oder ob der regenerative Strom mittels Wasserkraft, Wind, Sonne oder Biomasse hergestellt wurde. Auf Basis der aggregierten Daten können zwar Energie- und Emissionsfaktoren berechnet werden, sie sind aber insbesondere für die Ermittlung der WTW-Energieumrechnungsfaktoren recht ungenau. Für möglichst **realitätsnahe Berechnungen** ergibt sich daher folgende Rangfolge:

- Präferiert: Berechnung auf Basis detaillierter Angaben zum Strommix
- Alternativ: Berechnung mit Daten aus der Stromkennzeichnung
- Alternativ: Berechnung mit nationalen Durchschnittswerten

**Besonders genau:
Berechnung mit Detail-
angaben zum Strommix**

Detaillierte Angaben zum Strommix sind für die Berechnungen der Energie- und Emissionsfaktoren des genutzten Stroms in jedem Fall vorzuziehen. Tabelle 10 liefert für verschiedene Primärenergieträger die passenden Emissionsfaktoren. Diese Werte berücksichtigen bereits die Netzverluste zwischen Kraftwerken bzw. Erzeugungsanlagen und der Abnahmestelle des Stroms durch die ÖPNV-Unternehmen. Dabei wird unterschieden, ob der Strom der Mittelspannungsebene, typisch z. B. für Fahrstrom, oder der Niederspannungsebene, z. B. für Büros und Werkstätten, entnommen wird. Netzverluste, die durch die Stromverteilung innerhalb des ÖPNV-Unternehmens auftreten, sind hierbei allerdings nicht berücksichtigt.

Die **Berechnung** der durchschnittlichen Energie- und Emissionsfaktoren ist in diesem Fall **recht einfach**. Es müssen lediglich die in Tabelle 10 aufgeführten Faktoren mit den entsprechenden Prozentangaben der genutzten Energieträger multipliziert werden. Als Ergebnis erhält man Strommix spezifische Energie- und Emissionsfaktoren, mit deren Hilfe die absoluten Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen des Fahrzeugeinsatz-Systems nach Norm EN 16258 berechnet werden können. Das Rechenbeispiel 3 zeigt dies exemplarisch für einen Strommix nach Abbildung 4. Für dieses Beispiel sind die genutzten Energieträger allerdings präziser bekannt als eine herkömmliche Stromkennzeichnung.

Tabelle 10: Energie- und THG-Emissionsfaktoren für Strom auf der Mittel- und Niederspannungsebene differenziert nach genutztem Energieträger

	Mittelspannung ¹⁾				Niederspannung ²⁾			
	Energiefaktor		THG-Emissionsfaktor		Energiefaktor		THG-Emissionsfaktor	
	TTW	WTW	TTW	WTW	TTW	WTW	TTW	WTW
	MJ/ kWh	MJ/ kWh	gCO ₂ e/ kWh	gCO ₂ e/ kWh	MJ/ kWh	MJ/ kWh	gCO ₂ e/ kWh	gCO ₂ e/ kWh
Kernenergie	3,6	11,5	0	28	3,6	11,7	0	28
Steinkohle	3,6	10,2	0	1.029	3,6	10,4	0	1.042
Braunkohle	3,6	9,4	0	1.085	3,6	9,5	0	1.098
Erdgas	3,6	7,7	0	449	3,6	7,8	0	454
Öl	3,6	9,9	0	793	3,6	10,0	0	802
Sonstige Fossile	3,6	10,8	0	1.138	3,6	10,9	0	1.151
Hausmüll	3,6	27,8	0	130	3,6	28,1	0	132
Wasserkraft	3,6	3,7	0	0	3,6	3,7	0	0
Windenergie	3,6	3,7	0	0	3,6	3,7	0	0
Photovoltaik	3,6	3,7	0	0	3,6	3,7	0	0
Geothermie	3,6	4,9	0	84	3,6	4,9	0	85
Biomasse	3,6	15,3	0	167	3,6	15,5	0	169
Sonst. Erneuerbare	3,6	8,1	0	3	3,6	8,2	0	3

¹⁾ Netzverluste: 1,8 % . – ²⁾ Netzverluste: 2,9%.
Quellen: GEMIS 4.8; eigene Berechnungen.

Rechenbeispiel 3:

Energie- und Emissionsberechnung auf Basis von Angaben zum Strommix

Ein ÖPNV-Unternehmen hat einen Jahresstromverbrauch von 47 Mio. kWh für den Fahrstrom seiner Straßenbahnen (Mittelspannung). Für den genutzten Strom liegen für den kundenspezifischen Strommix der Abbildung 4 detailliertere Angaben zu den genutzten Energieträgern vor:

- 27% Kernenergie
- 48% Steinkohle
- 10% Erdgas
- 4% Öl
- 10% Wasserkraft
- 1% Windenergie

1. Schritt: Berechnung der WTW-Energie- und WTW-Emissionsfaktoren

Die für diesen Schritt benötigten Energie- und Emissionsfaktoren pro Kraftwerkstyp können Tabelle 10 entnommen werden:

$$F_{EN_WTW} = (27\% \times 11,5 + 48\% \times 10,2 + 10\% \times 7,7 + 4\% \times 9,9 + 10\% \times 3,7 + 1\% \times 3,7) \frac{MJ}{kWh} = 9,6 \frac{MJ}{kWh}$$

$$F_{EM_WTW} = (27\% \times 28 + 48\% \times 1.029 + 10\% \times 449 + 4\% \times 793 + 10\% \times 0 + 1\% \times 0) \frac{g\ CO_2e}{kWh} = 578 \frac{g\ CO_2e}{kWh}$$

2. Schritt: Berechnung von Energieverbrauch und Treibhausgasen

- TTW-Energieverbrauch: $EN_{TTW} = 47\ \text{Mio. kWh} \times 3,6 \frac{MJ}{kWh} = 169,2\ \text{Mio. MJ}$
- WTW-Energieverbrauch: $EN_{WTW} = 47\ \text{Mio. kWh} \times 9,6 \frac{MJ}{kWh} = 451,2\ \text{Mio. MJ}$
- TTW-THG-Emissionen: $EM_{TTW} = 47\ \text{Mio. kWh} \times 0 \frac{g\ CO_2e}{kWh} = 0\ \text{t CO}_2e$
- WTW-THG-Emissionen: $EM_{WTW} = 47\ \text{Mio. kWh} \times 578 \frac{g\ CO_2e}{kWh} = 27.166\ \text{t CO}_2e$

Liegen keine detaillierten Angaben vor, sollten **Werte der Stromkennzeichnung des Lieferanten** verwendet werden. Die WTW-Energiefaktoren können mit Hilfe der in Tabelle 11 aufgeführten Faktoren und den aggregierten Angaben zum Energiemix der Stromkennzeichnung berechnet werden. *Hierbei sind erneut die Energiefaktoren mit den Prozentangaben zu multiplizieren.* Da die genutzten Energieträger in der Stromkennzeichnung nur in aggregierter Form angegeben werden, sind die Resultate weniger genau.

Bei der Ermittlung der WTW-Emissionsfaktoren ist hilfreich, dass die CO₂-Emissionen des kundenspezifischen Stroms in der Stromkennzeichnung ausgewiesen sind. Denn dieser Wert berücksichtigt exakt die genutzten Energieträger und ist daher genauer als ein berechneter Wert auf Basis aggregierter Angaben. Allerdings bleiben andere Treibhausgase und die gesamte Energiebereitstellungskette unberücksichtigt. Daher enthält Tabelle 11 Faktoren, die diese Lücken füllen. Im ersten Schritt werden diese Faktoren mit den prozentualen Angaben zum Energieträgermix der Stromkennzeichnung multipliziert, der so ermittelte Emissionsfaktor muss dann dem CO₂-Wert der Stromkennzeichnung hinzuaddiert werden (siehe Rechenbeispiel 4). Grundsätzlich ist zu beachten, ob der verwendete Strom der Mittel- oder Niederspannungsebene entnommen wird.

**Alternative 1:
Berechnung auf Basis der
Stromkennzeichnung**

Table 11: Energie- und zusätzliche Emissionsfaktoren für Strom der Mittel- und Niederspannungsebene für aggregierte Energieträger der Stromkennzeichnung

	Mittelspannung ¹⁾				Niederspannung ²⁾			
	Energiefaktor		Zusätzlicher THG-Emissionsfaktor		Energiefaktor		Zusätzlicher THG-Emissionsfaktor	
	TTW	WTW	TTW	WTW	TTW	WTW	TTW	WTW
	MJ/ kWh	MJ/ kWh	gCO ₂ e/ kWh	gCO ₂ e/ kWh	MJ/ kWh	MJ/ kWh	gCO ₂ e/ kWh	gCO ₂ e/ kWh
Kernenergie	3,6	11,5	0	28	3,6	11,7	0	28
Kohle	3,6	9,8	0	95	3,6	9,9	0	108
Erdgas	3,6	7,7	0	69	3,6	7,8	0	74
Sonst. Fossile	3,6	14,9	0	47	3,6	15,1	0	57
Erneuerbare n. EEG	3,6	6,9	0	46	3,6	7,0	0	47
Sonst. Erneuerbare	3,6	11,4	0	25	3,6	11,6	0	25

¹⁾Netzverluste: 1,8 % - ²⁾Netzverluste: 2,9%.
Quellen: GEMIS 4.8; eigene Berechnungen.

Rechenbeispiel 4:

Energie- und Emissionsberechnung mit Hilfe der Stromkennzeichnung

Es wird wiederum das ÖPNV-Unternehmen mit einem Jahresstromverbrauch von 47 Mio. kWh für den Straßenbahnbetrieb betrachtet. Das Unternehmen bezieht Strom entsprechend des in Abbildung 4 ausgewiesenen kundenspezifischen Energieträgermixes aus dem Mittelspannungsnetz. Der nach der Stromkennzeichnung ermittelte CO₂-Emissionsfaktor beträgt 509 g/kWh.

1. Schritt: Berechnung der WTW-Energie- und WTW-Emissionsfaktoren

Die für diesen Berechnungsschritt notwendigen Energie- und Emissionsfaktoren pro Kraftwerkstyp können der Tabelle 11:

$$F_{EM_WTW} = (27\% \times 11,5 + 48\% \times 9,8 + 10\% \times 7,7 + 4\% \times 14,9 + 1\% \times 6,9 + 10\% \times 11,4) \frac{MJ}{kWh} = 10,4 \frac{MJ}{kWh}$$

$$F_{EM_WTW_Zusatz} = (27\% \times 28 + 48\% \times 95 + 10\% \times 69 + 4\% \times 47 + 1\% \times 46 + 10\% \times 25) \frac{g\ CO_2e}{kWh} = 65 \frac{g\ CO_2e}{kWh}$$

$$F_{EM_WTW} = (509 + 65) \frac{g\ CO_2e}{kWh} = 574 \frac{g\ CO_2e}{kWh}$$

2. Schritt: Berechnung von Energieverbrauch und Treibhausgasen

- TTW-Energieverbrauch: $EN_{TTW} = 47\ \text{Mio. kWh} \times 3,6 \frac{MJ}{kWh} = 169,2\ \text{Mio. MJ}$

- WTW-Energieverbrauch: $EN_{WTW} = 47\ \text{Mio. kWh} \times 10,4 \frac{MJ}{kWh} = 488,8\ \text{Mio. MJ}$

- TTW-THG-Emissionen: $EM_{TTW} = 47\ \text{Mio. kWh} \times 0 \frac{g\ CO_2e}{kWh} = 0\ \text{t CO}_2e$

- WTW-THG-Emissionen: $EM_{WTW} = 47\ \text{Mio. kWh} \times 574 \frac{g\ CO_2e}{kWh} = 26.978\ \text{t CO}_2e$

Liegen auch keine Angaben der Stromkennzeichnung vor, können die in Tabelle 12 aufgeführten Energie- und Emissionsfaktoren als **nationale Durchschnittswerte** differenziert nach Mittel- und Niederspannungsebene verwendet werden. Für die Ermittlung der gesamten Energieverbräuche und Emissionen des Fahrzeugeinsatz-Systems müssen lediglich die Faktoren mit der Strommenge multipliziert werden (siehe Rechenbeispiel 5). In diesem Beispiel entsprechen die berechneten Werte mehr zufällig den Ergebnissen auf Basis präziserer Daten. Werden höhere Anteile an regenerativen Energien genutzt, ergäben Berechnungen mit kundenspezifischen Daten oder mit Angaben der Stromkennzeichnung deutlich niedrigere WTW-Energieverbräuche und -Emissionen. Umgekehrt kann ein spezifischer Strommix mit besonders großen Anteilen nicht regenerativer Energieträger zu höherem Energieverbrauch und mehr Emissionen führen als eine Berechnung auf Basis von nationalen Durchschnittswerten.

**Alternative 2:
Verwendung von nationalen
Durchschnittswerten**

Tabelle 12: Energie- und THG-Emissionsfaktoren für Strom auf der Mittel- und Niederspannungsebene für Deutschland 2010-2015

	Mittelspannung ¹⁾				Niederspannung ²⁾			
	Energiefaktor		THG-Emissionsfaktor		Energiefaktor		THG-Emissionsfaktor	
	TTW	WTW	TTW	WTW	TTW	WTW	TTW	WTW
	MJ/kWh	MJ/kWh	gCO ₂ e/kWh	gCO ₂ e/kWh	MJ/kWh	MJ/kWh	gCO ₂ e/kWh	gCO ₂ e/kWh
2010	3,6	9,7	0	563	3,6	9,9	0	570
2011	3,6	9,6	0	576	3,6	9,7	0	583
2012 ³⁾	3,6	9,4	0	552	3,6	9,5	0	559
2013 ³⁾	3,6	9,2	0	528	3,6	9,3	0	535
2014 ³⁾	3,6	9,1	0	505	3,6	9,1	0	511
2015 ³⁾	3,6	8,9	0	481	3,6	8,9	0	487

¹⁾ Netzverluste: 1,8 %. – ²⁾ Netzverluste: 2,9%. – ³⁾ Schätzwerte: Interpolation auf Basis der Werte für 2011 und 2020.
Quellen: GEMIS 4.8; eigene Berechnungen.

Rechenbeispiel 5:

Energie- und Emissionsberechnung auf Basis deutscher Durchschnittswerte für Strom

Wiederum soll für die Straßenbahnen eines ÖPNV-Unternehmens mit einem Jahresverbrauch von 47 Mio, kWh der TTW- und WTT-Energieverbrauch und -THG-Emissionen berechnet werden, Aufgrund fehlender Daten soll der deutsche Durchschnittstrommix des Jahres 2011 verwendet werden (Mittelspannung),

– TTW-Energieverbrauch: $EN_{TTW} = 47 \text{ Mio. kWh} \times 3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} = 169,2 \text{ Mio. MJ}$

– WTW-Energieverbrauch: $EN_{WTW} = 47 \text{ Mio. kWh} \times 9,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} = 451,2 \text{ Mio. MJ}$

– WTW-THG-Emissionen: $EM_{TTW} = 47 \text{ Mio. kWh} \times 0 \frac{\text{g CO}_2\text{e}}{\text{kWh}} = 0 \text{ t CO}_2\text{e}$

– TTW-THG-Emissionen: $EM_{WTW} = 47 \text{ Mio. kWh} \times 576 \frac{\text{g CO}_2\text{e}}{\text{kWh}} = 27.072 \text{ t CO}_2\text{e}$

Der Umgang mit Grün- und Ökostrom

In Deutschland nutzen immer mehr ÖPNV-Unternehmen **Grün- oder Ökostromangebote**. Die Anbieter erzeugen den Strom aus Wasser, Wind, Sonne oder Biomasse oder in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK-Anlagen). Erfolgt die Bilanzierung für diesen Ökostrom nach der oben beschriebenen Vorgehensweise und damit nach den Vorgaben der Norm EN 16258, ist dieser Strom nahezu emissionsfrei. Bei elektrisch betriebenen Verkehrsmitteln, die Ökostrom nutzen, fallen in der Bilanz also kaum Treibhausgasemissionen an.

Die Bilanzierung nach EN 16258 würde also eine deutliche Minderung der Emissionen dokumentieren. Allerdings heißt das **nicht automatisch**, dass durch mehr Ökostrom im ÖPNV **real Emissionen eingespart** werden. Stellt beispielsweise ein ÖPNV-Betrieb von Kohlestrom auf Strom aus Wasserkraft um, erhält ein anderer Kunde - meist unwissentlich - den freigewordenen Kohlestrom geliefert. Somit wird die Gesamtmenge des Stroms lediglich anders verteilt, ohne dass tatsächlich CO₂ eingespart wird.

Emissionsminderungen durch Ökostrom finden nur dann statt, wenn der Strom **nachweislich** aus explizit **neuen Erzeugungsanlagen** bezogen und somit ein direkter Einfluss auf die Veränderung des Kraftwerksparks ausgeübt wird. Und Neuanlagen führen nur dann zu einer Minderung, wenn der Ausbau über das Maß der staatlichen Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz hinausgeht [Öko-Institut 2009].

Gewusst woher: neue Anlage, neuere Bestandsanlage, Altanlage?

Gängige zertifizierte Ökostromprodukte sichern deshalb zu, dass ein nennenswerter Teil des bezogenen regenerativen Stroms aus Neuanlagen bzw. aus neueren Bestandsanlagen kommt. Dabei heißt „neu“ nicht unbedingt „gerade erst gebaut“. Als neu gelten Anlagen jünger als sechs Jahre, neuere Bestandsanlagen sind bis zu zwölf Jahre alt. Regenerativer Strom aus wirklich alten Anlagen ist bereits im Strommix des Erzeugerlandes berücksichtigt, er sollte daher bei Klimabilanzen nicht als emissionsmindernd angerechnet werden.

Zurzeit gibt es kein normiertes oder standardisiertes Verfahren, wie **Treibhausgasemissionen von Ökostrom** berechnet werden muss. Weder EN 16258 noch ISO-Standard 14064-1 oder das GHG Protocol enthalten hierzu klare Regelungen. Nach Auffassung der Umweltforschungsinstitute Öko-Institut, IFEU-Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH und Büro Ö-Quadrat sollte zusätzlich bezogener Ökostrom in Klimabilanzen nur dann positiv bewertet werden, wenn er aus Neuanlagen oder neueren Bestandsanlagen stammt. Die Institute schlagen vor [Öko-Institut et al. 2009]:

- Für Neuanlagen (maximal sechs Jahre alt) werden die spezifischen Emissionen der Anlagen zugrunde gelegt. Da Bauvorleistungen nicht berücksichtigt werden, sind diese mit Ausnahme von Biogasanlagen in der Regel Null.
- Für neuere Bestandsanlagen (maximal zwölf Jahre alt) werden die spezifischen Emissionen der Anlage zu 50 Prozent gewertet; zu 50 Prozent wird der durchschnittliche Emissionsfaktor des jeweiligen Landes zugrunde gelegt.
- Für Altanlagen (älter als zwölf Jahre) erfolgt keine spezifische Bilanzierung, für diese Anlagen wird der länderspezifische Strommix verwendet.

Will ein ÖPNV-Unternehmen ermitteln, welche Emissionen eine bestimmte Fahrtstrecke verursacht, kann – wie von der Norm präferiert – der kundenspezifische Strommix verwendet werden. Bei Umstellung auf Ökostrom sinken die Emissionen entsprechend. Will der Betrieb dagegen berechnen, wie viel Emissionen durch Umstellung auf Ökostrom vermieden werden, sollte besser der obige Vorschlag der Umweltforschungsinstitute umgesetzt werden. Das Rechenbeispiel 6 zeigt die Ermittlung von WTW-Energie- und Emissionsfaktoren für diesen Fall. Beim Aufzeigen der Emissionsminderung durch die Umstellung auf Ökostromprodukte greift die EN 16258 also zu kurz.

Rechenbeispiel 6:

Energie- und Emissionsfaktoren für Ökostromangebote

Ein ÖPNV-Betrieb steigt auf Ökostrom um, der mit dem ok-power-Gütesiegel zertifiziert ist. Dieses Gütesiegel schreibt vor, dass mindestens ein Drittel des Stroms aus Neuanlagen und mindestens ein Drittel aus neueren Bestandsanlagen stammen. Unter der Annahme, dass es sich dabei um Windkraftanlagen handelt, ergeben sich folgende WTW-Energie- und Emissionsfaktoren (Mittelspannungsebene):

– WTW-Energiefaktor: $F_{EN_WTW} = \frac{3,7 + (50\% \times 3,7 + 50\% \times 9,6) \times 9,6}{3} \frac{MJ}{kWh} = 6,7 \frac{MJ}{kWh}$

– WTW-THG-Emissionsfaktor: $F_{EN_WTW} = \frac{0 + (50\% \times 0 + 50\% \times 576) + 576}{3} \frac{g\ CO_2e}{kWh} = 288 \frac{g\ CO_2e}{kWh}$

Exkurs: Treibhausgasemissionen durch Kältemittelverluste

Die Norm EN 16258 schließt derzeit die Kältemittellemissionen aus Klimaanlagen explizit aus. Das bedeutet aber lediglich, dass die Norm selbst keine Regelungen und Anforderungen enthält, wie die Emissionen zu ermitteln und auszuweisen sind. Jedes ÖPNV-Unternehmen kann dies freiwillig tun und die Ergebnisse getrennt von den normkonform berechneten Treibhausgasemissionen für Kraftstoff- und Stromverbrauch der Busse und Bahnen ausweisen.

Heute sind schätzungsweise ein Drittel der Linienbusse und 80 Prozent der Reisebusse mit Klimaanlagen ausgestattet. Bei einem Gesamtbestand von 83.000 Omnibussen in Deutschland (davon rund 57.000 im ÖPNV) addieren sich die Kältemittelverluste und damit die von Bussen verursachten CO₂e-Emissionen auf 134.000 Tonnen - je zur Hälfte auf Linien- und Reisebusse aufgeteilt. Berücksichtigt man die Verkehrsleistung der Linienbusse, ergeben sich im Durchschnitt für Deutschland CO₂e-Emissionen in Höhe von 1,7 g pro Personenkilometer. Vergleich man dies mit den energiebedingten Emissionen eines Linienbusses in Deutschland in Höhe von 73 g CO₂e pro Personenkilometer, ist dies ein durchaus nennenswerter Beitrag - der zudem noch höher ausfällt, wenn nicht der Durchschnitt der Busflotte, sondern nur Fahrten mit klimatisierten Bussen betrachtet werden.

Die Treibhausgasemissionen der durch Verluste und Leckagen in die Umwelt gelangten Kältemittel lassen sich über die nachgefüllte Menge der Kältemittel ermitteln. Die hier vorgeschlagene Vorgehensweise orientiert sich an den Empfehlungen des GHG Protocol für den stationären Bereich (siehe auch Kapitel 3). Die TTW- und WTW-Treibhausgasemissionen berechnen sich somit nach folgender Formel:

$$EM_{TTW\ bzw.\ WTW} = KV \times F_{TTW\ bzw.\ WTW}$$

EM_{TTW bzw. WTW} = TTW- oder WTW-THG-Emissionen in kg CO₂-Äquivalente

KV = Kältemittelverluste in kg

F_{EM TTW bzw. WTW} = TTW- oder WTW-THG-Emissionsfaktor in kg CO₂e pro kg Kältemittel

Die für die Berechnung notwendigen TTW- oder WTW-Emissionsfaktoren können der Tabelle 16 in Kapitel 10 entnommen werden. Für 0,5 kg frei gesetztes Kältemittel R 134a ergeben sich somit folgende Treibhausgasemissionen:

$$\text{Tank-to-Wheel:} \quad 0,5 \text{ kg R 134 a} \times 1.430 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg}} = 715 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{Well-to-Wheel:} \quad 0,5 \text{ kg R 134 a} \times 1.533 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg}} = 766,5 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Kältemittel werden, anders als Kraftstoffe, bei ihrer Verwendung nicht in Energie umgewandelt. Daher ist der TTW-Energieverbrauch gleich Null. Energie wird nur bei der Herstellung der Chemikalien verbraucht, dieser Anteil ist allerdings im Vergleich zu den transportbedingten Verbräuchen vernachlässigbar. Dies ist der Grund, warum dieser Leitfaden für Kältemittel keine speziellen Energieumrechnungsfaktoren ausweist.

8 Energieverbrauch und Treibhausgase dem Fahrgast zurechnen

Wurden für das festgelegte Fahrzeugeinsatz-System entsprechend Kapitel 6 und 7 Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen mit und ohne Energiovorkette (Well-to-Wheel und Tank-to-Wheel) berechnet, muss am Ende noch der **Anteil pro Fahrgast** ermittelt werden. Für diese **Allokation** sind drei Schritte notwendig:

- 1 Festlegung der Allokationsparameter für das definierte Fahrzeugeinsatz-System (z.B. Linie oder Netz),
- 2 Ermittlung des Allokationsparameters für den Fahrgast und das gesamte Fahrzeugeinsatz-System,
- 3 Ermittlung des prozentualen Anteils pro Fahrgast.

Als Allokationsgröße lässt die Norm EN 16258 **drei Parameter** zu: Personenkilometer, Anzahl der Fahrgäste und Anzahl der Fahrten. Die Norm bevorzugt die Allokationsgröße **Personenkilometer** (Pkm).

Wie hoch Energieverbrauch und Emissionen pro Fahrgast letztendlich sind, hängt entscheidend vom Allokationsparameter ab. Allerdings ändert sich je nach Parameter nur der Einzelwert - die Summe der Einzelwerte als Gesamtenergieverbrauch und die Gesamtemissionen des betrachteten Fahrzeugeinsatz-Systems bleibt gleich. Da das gewählte Allokationsverfahren über die Einzelwerte bestimmt, muss laut Norm EN 16258 ausgewiesen werden, welcher Allokationsparameter verwendet wird.

Idealerweise sollte das Fahrzeugeinsatz-System und damit die **Systemgrenze** so gewählt werden, dass sie für die Erhebung des Energieverbrauchs und des Allokationsparameters identisch ist. Wird also der Energieverbrauch für ein Streckennetz oder für eine Linie erhoben, sollte auch die Allokationsgröße für das betrachtete Netz bzw. die Linie ermittelt werden. Dieses Vorgehen ist laut Norm EN 16258 zwar nicht verpflichtend, aber empfehlenswert. Haben beide Größen die gleichen Systemgrenzen, können Energieverbrauch und Emissionen recht einfach pro Fahrgast ermittelt werden.

Für die Ermittlung der Allokationsgröße stehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Verfügung: die Messung der Werte oder die Verwendung von repräsentativen Daten beispielsweise aus Fahrgastbefragungen. Es empfiehlt sich allerdings, passend zur Ermittlung der Energieverbräuche die gleiche Systemgrenze auch für die Messung der Allokationsparameter zu benutzen (siehe Tabelle 13), weil dann die Resultate realitätsnäher sind. Wurde der Energieverbrauch mit Hilfe von Vorgabewerten berechnet, kann die Berechnung für einen einzelnen Fahrzeugumlauf, für einzelne Linien oder für das gesamte Netz erfolgt sein. Die Allokationsgröße sollte dann ebenfalls in der entsprechenden Abgrenzung ermittelt werden.

Systemgrenzen für Allokationsparameter

Tabelle 13: Empfehlung für Systemgrenzen der Allokationsgrößen in Abhängigkeit der Systemgrenzen des Energieverbrauch

Energieverbrauch			Allokationsgrößen	
Systemgrenze	Quelle für Daten	Erhebungszeitraum	Systemgrenze	Quelle für Daten
Messung konkret für Fahrzeugumlauf mit Fahrgast	Individuelle Messwerte	Dauer des Fahrzeugumlaufs	Konkreter Fahrzeugumlauf mit Fahrgast	Individuelle Messwerte
				Vorgabewerte
Messung für Linie oder für Fahrzeugtyp	Spezifische Werte des Transportdienstleisters	Längerer Zeitraum (z. B. 1 Monat, 1 Jahr)	Linie oder für Fahrzeugtyp	Spezifische Werte des TD
				Vorgabewerte
Messung für Gesamtnetz	Flottenwerte des Transportdienstleisters	Längerer Zeitraum (z. B. 1 Monat, 1 Jahr)	Gesamtnetz	Flottenwert des TD
				Vorgabewerte
Berechnung für Fahrzeugumlauf, Linie oder Netz	Vorgabewerte	Abhängig von Systemgrenzen	Berechnung für Fahrzeugumlauf, Linie oder Netz	Individuelle Messwerte
				Spezifische Werte des TD
				Flottenwert des TD
				Vorgabewerte

Quelle: eigene Darstellung

Erhebung für den einzelnen Fahrgast

Um den Anteil eines Fahrgastes zu erheben, muss nicht nur der gewählte Allokationsparameter für den gesamten Fahrzeugumlauf ermittelt werden. Auch der Wert pro ÖPNV-Nutzer muss bekannt sein. Handelt es sich um die Kenngrößen Fahrgast und Fahrten, liegt dieser Wert meist direkt für einzelne Kunden vor. Wird die von der EN 16258 bevorzugte Kenngröße Personenkilometer benutzt, muss die jeweils zurückgelegte Entfernung ermittelt werden. Auch hier gilt: Dieser Wert kann ein individueller Messwert, ein spezifischer Wert, der Flottenwert des Transportdienstleisters oder ein Vorgabewert sein.

Abbildung 5 zeigt beispielhaft für eine Busfahrt die Ermittlung der von einem Fahrgast zurückgelegten Personenkilometer als individuellen Messwert. In der Praxis dürfte diese Art der Erhebung eher die Ausnahme darstellen. Sind allerdings Start und Ziel der Strecke bekannt, können die Personenkilometer spezifisch pro Kunde ermittelt werden. Für Fahrten mit Zeitkarten sollten repräsentative Werte aus Fahrgastbefragungen abgeleitet werden. In diesem Fall entspräche das Resultat dann einem Vorgabe- bzw. Default-Wert und müsste als solcher mit den Resultaten kommuniziert werden.

Beispiel für die Ermittlung der Personenkilometer für ein Busfahrt auf Basis individueller Messwerte

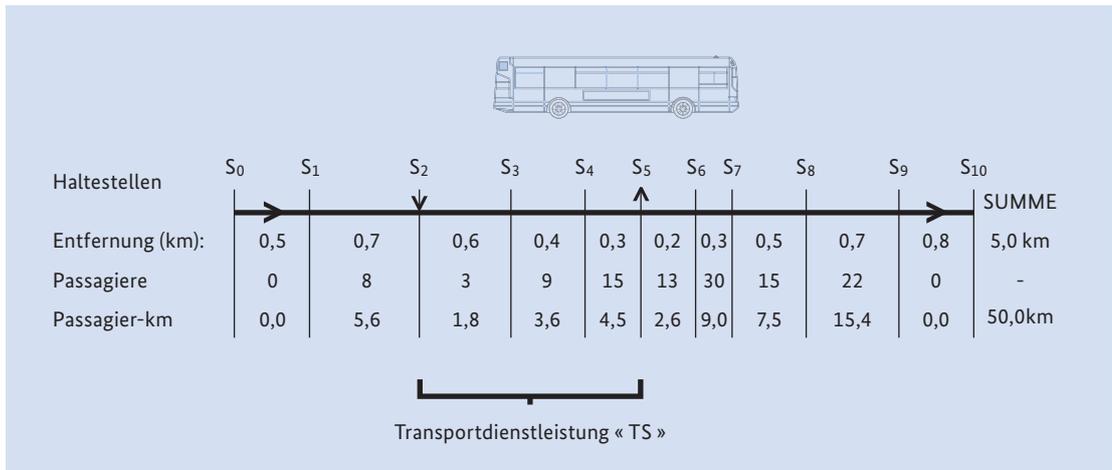


Abbildung 5 [EN 16258]

Ist der Allokationsparameter für den Fahrgast und das gesamte Fahrzeugeinsatz-System ermittelt – hier spricht die Norm von Transporttätigkeit –, kann im letzten Schritt der Anteil berechnet werden, der auf den einzelnen Fahrgast entfällt. Dieser Schritt erfolgt nach folgender Formel:

$$AN_{Fahrgast} = \frac{T_{Fahrgast}}{T_{VOS}}$$

$AN_{Fahrgast}$ = Anteil des Fahrgastes

$T_{Fahrgast}$ = Transporttätigkeit des Fahrgastes in Pkm, Anzahl Personen oder Anzahl Fahrten

T_{VOS} = Transporttätigkeit für definiertes VOS (= Fahrzeugeinsatz-System) in Pkm, Anzahl Personen oder Anzahl Fahrten

Die in den vorangegangenen Schritten ermittelten TTW- und WTW-Energieverbräuche und -Emissionen müssen noch mit den ermittelten Anteilen multipliziert werden:

$$EN_{TTW_Fahrgast} = AN_{Fahrgast} \times EN_{TTW}$$

$$EN_{WTW_Fahrgast} = AN_{Fahrgast} \times EN_{WTW}$$

$$EM_{TTW_Fahrgast} = AN_{Fahrgast} \times EM_{TTW}$$

$$EM_{WTW_Fahrgast} = AN_{Fahrgast} \times EM_{WTW}$$

$EN_{TTW_Fahrgast}$ bzw. $EN_{WTW_Fahrgast}$ = TTW- und WTW-Energieverbrauch für Fahrgast

$EM_{TTW_Fahrgast}$ bzw. $EM_{WTW_Fahrgast}$ = TTW- und WTW-THG-Emissionen für Fahrgast

$AN_{Fahrgast}$ = Anteil des Fahrgastes

EN_{TTW} bzw. EN_{WTW} = TTW- und WTW-Energieverbrauch insgesamt

EM_{TTW} bzw. EM_{WTW} = TTW- und WTW-THG-Emissionen insgesamt

Rechenbeispiel 7:

Allokation auf Basis unterschiedlicher Definitionen des Fahrzeugeinsatz-Systems

Eine Teilstrecke einer Fahrt eines ÖPNV-Kunden erfolgt im Bus. Insgesamt legt er dabei die in Abbildung 5 dargestellte Entfernung zurück (0,6 km + 0,4 km + 0,3 km = 1,3 km). Für die Berechnung werden folgende drei Fälle betrachtet:

Fall 1: Individuelle Messung für konkreten Fahrzeugumlauf

Die Gesamtverkehrsleistung des Busses in Abbildung 5 liegt bei 50 Pkm. Damit entfällt folgender Anteil auf den Fahrgast:

$$AN_{\text{Fahrgast}} = \frac{1,3 \text{ Pkm}}{50 \text{ Pkm}} = 2,6\%$$

Für die Busfahrt wurden die in der folgenden Tabelle aufgeführten Energieverbräuche und Emissionen ermittelt. Pro Fahrgast ergeben sich somit folgende Werte:

	Insgesamt für Fahrzeugeinsatz-System	Wert für Fahrgast
TTW-Energieverbrauch	44,6 MJ	44,6 MJ x 2.6% = 1,16 MJ
WTW-Energieverbrauch	55,6 MJ	55,6 MJ x 2.6% = 1,45 MJ
TTW-THG-Emissionen	3,10 kg CO ₂ e	3,10 kg CO ₂ e x 2.6% = 81 g CO ₂ e
WTW-THG-Emissionen	3,94 kg CO ₂ e	3,94 kg CO ₂ e x 2.6% = 102 g CO ₂ e

Fall 2: Spezifischer Messwert für Buslinie

Die Gesamtverkehrsleistung der Buslinie, in der auch die Teilstrecke des Fahrgasts liegt, beträgt 4.625.900 Pkm pro Jahr. Damit entfällt folgender Anteil auf den Fahrgast:

$$AN_{\text{Fahrgast}} = \frac{1,3 \text{ Pkm}}{4.625.900 \text{ Pkm}} = 0,0000281\%$$

Für die Buslinie wurden die in der folgenden Tabelle aufgeführten Energieverbräuche und Emissionen pro Jahr ermittelt. Pro Fahrgast ergeben sich somit folgende Werte:

	Insgesamt für Fahrzeugeinsatz-System	Wert für Fahrgast
TTW-Energieverbrauch	3.641.400 MJ	3,6414 Mio. MJ x 0,0000281% = 1,02 MJ
WTW-Energieverbrauch	4.539.000 MJ	4,539 Mio. MJ x 0,0000281% = 1,28 MJ
TTW-THG-Emissionen	252.960 kg CO ₂ e	252,96 t CO ₂ e x 0,0000281% = 71 g CO ₂ e
WTW-THG-Emissionen	321.300 kg CO ₂ e	321,3 t CO ₂ e x 0,0000281% = 90 g CO ₂ e

Fall 3: Flottenwert für Busnetz

Die Gesamtverkehrsleistung des gesamten Busnetzes, in der auch die Teilstrecke des Fahrgasts liegt, beträgt 112.995.224 Pkm pro Jahr. Damit entfällt folgender Anteil auf den Fahrgast:

$$AN_{\text{Fahrgast}} = \frac{1,3 \text{ Pkm}}{112.995.224 \text{ Pkm}} = 0,00000115\%$$

Für das Busnetz wurden die in der folgenden Tabelle aufgeführten Energieverbräuche und Emissionen pro Jahr ermittelt. Pro Fahrgast ergeben sich somit folgende Werte:

	Insgesamt für Fahrzeugeinsatz-System	Wert für Fahrgast
TTW-Energieverbrauch	107.100.000 MJ	107,1 Mio. MJ x 0,00000115% = 1,23 MJ
WTW-Energieverbrauch	133.500.000 MJ	133,5 Mio. MJ x 0,00000115% = 1,54 MJ
TTW-THG-Emissionen	7.440.000 kg CO ₂ e	7.440 t CO ₂ e x 0,00000115% = 86 g CO ₂ e
WTW-THG-Emissionen	9.450.000 CO ₂ e	9.450 t CO ₂ e x 0,00000115% = 109 g CO ₂ e

In der Praxis ermitteln ÖPNV-Betriebe in der Regel Energieverbrauch und Emissionen für ihr Gesamtnetz und nutzen als Allokationsparameter die erbrachten Personenkilometer im gesamten Streckennetz. Durch die Division beider Größen ergeben sich Werte pro Personenkilometer, für das Beispiel des Busnetzes in Rechenbeispiel 7:

- TTW-Energieverbrauch: 0,95 MJ/Pkm
- WTW-Energieverbrauch: 1,18 MJ/Pkm
- TTW-Treibhausgasemissionen: 66 g CO₂e/Pkm
- WTW-Treibhausgasemissionen: 84 g CO₂e/Pkm

Werden diese Werte mit der Strecke eines Kunden multipliziert, resultieren daraus Energieverbrauch und Emissionen pro Fahrt. Im Prinzip entspricht diese Vorgehensweise der Norm EN 16258, lediglich die Reihenfolge der Rechenschritte wird geändert. Diese Methodik kann im Prinzip beibehalten werden, denn auch sie führt zu richtigen Resultaten.

Daneben nutzen ÖPNV-Betriebe oft die prozentuale **Auslastung ihrer Fahrzeuge**, um Werte pro Fahrgast zu ermitteln. In diesem Fall wird der spezifische Verbrauch pro Fahrzeugkilometer über die mittlere Auslastung und die maximalen Sitzplatzkapazität auf die zurückgelegten Personenkilometer bezogen. In der Regel handelt es sich dabei um Durchschnittswerte für das Netz (siehe Rechenbeispiel 8). Das Fahrzeugeinsatz-System im Sinne der Norm ist dann als Gesamtnetz definiert. Auch dies ist eine normkonforme Vorgehensweise, solange die Quellen für Auslastungen und Verbräuche sowie die Systemgrenzen gemeinsam mit den Resultaten dokumentiert sind.

Vorgehen in der Praxis

Rechenbeispiel 8:**Energie- und Emissionsberechnung auf Basis von Auslastungsdaten**

Ein Gelenkbus hat einen Verbrauch von $51 \text{ l}/100 \text{ km}$ (Durchschnitt Gesamtnetz). Die durchschnittliche Auslastung des Busses beträgt 33,3% bei einer Gesamtkapazität von 60 Sitzplätzen (Durchschnitt Gesamtnetz). TTW- und WTW-Energieverbrauch und -Emissionen pro Personenkilometer berechnen sich wie folgt (bei Verwendung von D7-Diesel; siehe Tabelle 7):

$$\text{– TTW-Energieverbrauch: } \frac{51 \frac{\text{l}}{100 \text{ km}} \times 35,7 \frac{\text{MJ}}{\text{l}}}{(33,3\% \times 60)} = 0,91 \frac{\text{MJ}}{\text{Pkm}}$$

$$\text{– WTW-Energieverbrauch: } \frac{51 \frac{\text{l}}{100 \text{ km}} \times 44,5 \frac{\text{MJ}}{\text{l}}}{(33,3\% \times 60)} = 1,14 \frac{\text{MJ}}{\text{Pkm}}$$

$$\text{– TTW-THG-Emissionen: } \frac{51 \frac{\text{l}}{100 \text{ km}} \times 2,48 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{l}}}{(33,3\% \times 60)} = 63 \frac{\text{g CO}_2\text{e}}{\text{Pkm}}$$

$$\text{– WTW-THG-Emissionen: } \frac{51 \frac{\text{l}}{100 \text{ km}} \times 3,15 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{l}}}{(33,3\% \times 60)} = 80 \frac{\text{g CO}_2\text{e}}{\text{Pkm}}$$

9 Ergebnisse kommunizieren, aber wie?

Die Norm EN 16258 schreibt vor, dass ÖPNV-Unternehmen alle errechneten Ergebnisse der Bilanz gegenüber dem Kunden ausweisen. Das bedeutet, dass **vier** ermittelte **Kenngrößen** für die Transportdienstleistung angegeben werden müssen:

- Tank-to-Wheel-Energieverbrauch (Endenergieverbrauch)
- Well-to-Wheel-Energieverbrauch (Primärenergieverbrauch)
- Tank-to-Wheel-Treibhausgasemissionen
- Well-to-Wheel-Treibhausgasemissionen

Angaben zu Energieverbrauch oder Emissionen allein sind aber wenig aussagekräftig. Beispielsweise sagt die Menge an Treibhausgasen pro Fahrgast nichts über die Genauigkeit der Berechnung aus. Zum Verständnis der Werte muss auch bekannt sein, wie sie berechnet wurden. Die Norm EN 16258 sieht daher vor, dass neben den reinen Werten weiterführende Informationen gegeben werden. Hierzu zählen eine Beschreibung der Transportdienstleistung, eine transparente Darstellung des verwendeten Verfahrens, die jeweiligen Datenquellen sowie alle Vorgänge, bei denen von Empfehlungen der Norm abgewichen wurde.

Letzteres gilt insbesondere für die Allokation oder für Fälle, in denen die Ermittlung standardisierter Einheiten auf spezifischen Werten des Kraftstoff-Lieferanten basiert (hierzu siehe auch Kapitel 7). Die Norm EN 16258 macht zudem nur Vorgaben zu Berechnung und Deklaration der Ergebnisse von Transporten. Werden freiwillig Energieverbrauch und/oder Treibhausgasemissionen von Gebäuden und stationären Anlagen berechnet, müssen diese getrennt ausgewiesen werden (siehe Kapitel 10).

Richtig informieren ist der halbe Erfolg

Tabelle 14: Mögliche Vorlage zur Deklaration der Datenquellen pro Teilstrecke

	Vorgabewert	Flottenwert des Transportdienstleisters	Spezifischer Wert des Transportdienstleisters	Individueller Messwert
Zurückgelegte Entfernung des Fahrgastes				
Energieverbrauch der Fahrzeuge				
Auslastung der Fahrzeuge				
Sitzplatzkapazität der Fahrzeuge				
Leerfahrten				
Allokationsgröße (z.B. Pkm)				

Quelle: Anhang D der Norm EN 16258; eigene Darstellung.

Als zentrale Information gilt die **Art der verwendeten Quellen**. Sind es spezifische Messwerte für den konkreten Transport? Oder fahrzeug- oder routentypische Werte des Transportdienstleisters, eventuell gemittelt für ein Jahr? Wurden nur Flottendurchschnittswerte genutzt oder gar feststehende Größen aus Datenbanken (Vorgabe-/Default-Werte)? Die EN 16258 schreibt zudem vor, dass bei Wegeketten die Datenquellen für jede Teilstrecke angegeben werden, denn sie können sich von Leg zu Leg ändern.

Tabelle 14 zeigt eine Möglichkeit, die Art der verwendeten Datenquellen übersichtlich darzustellen. Nach der Norm wäre ausreichend, den entsprechenden Typ in der Tabelle zu markieren. Sinnvoller ist es aber, die Quellen namentlich zu benennen. Bei Verwendung von Defaultwerten muss zudem der Wert selbst sowie eine Begründung, warum keine individuellen Messwerte verwendet wurden, mitgeliefert werden.

Um Berechnungsergebnisse beispielsweise auf Fahrkarten oder Rechnungen ausweisen zu können, lässt der Standard auch **Kurzdeklarationen** zu. In diesem Fall erhält der Kunde nur die Well-to-Wheel-Emissionen seiner Fahrt direkt mitgeteilt, außerdem einen Hinweis, wo er alle anderen Ergebnisse und Informationen finden kann. Die Norm sieht für die Kurzdeklaration folgenden Text vor, wobei [xxxx] durch konkrete Angaben, z. B. eine Web-Adresse, zu ersetzen ist:

„Hierbei handelt es sich um eine von vier Ergebnisgrößen, die nach EN 16258:2012 berechnet wurden. Die anderen Ergebnisgrößen und zusätzliche Informationen können bezogen werden [xxxx].“

Für ÖPNV-Unternehmen dürfte die Kurzdeklaration zum Standardfall werden: Ticket oder Rechnung weisen die Well-to-Wheel-Emissionen aus, alle übrigen Infos werden im Internet zur Verfügung gestellt. Kurzdeklarationen machen es im Prinzip leichter, Kunden auf einen Blick kurz und knapp zu informieren. Allerdings ist der Gesamtaufwand der Kommunikation dadurch nicht automatisch geringer, denn die übrigen Resultate werden an anderer Stelle eingespeist. Auch bei Kurzdeklarationen müssen die Werte so spezifisch wie möglich sein: Monatskartenbesitzer beispielsweise erhalten andere Informationen als Käufer von Einzelfahrscheinen.

Im folgenden Kasten sind nochmals alle Angaben aufgeführt, die in einer Deklaration nach EN 16258 angegeben werden müssen bzw. sollten.

Inhalte einer Deklaration nach EN 16258

Grundsätzliche Angaben für Transportdienstleistung:

- Energieverbrauch: Tank-to-Wheel und Well-to-Tank
- Treibhausgasemissionen: Tank-to-Wheel und Well-to-Tank

Verpflichtende weitergehende Informationen:

- Kategorien für (jeden) für die Berechnung verwendeten Wert: Individueller Messwert, spezifischer Wert des Transportdienstleisters, Flottenwert des Transportdienstleisters, Vorgabewert
- bei Verwendung von Vorgabewerten: Angabe der Werte, Quellen, Begründung für Auswahl und Begründung, warum keine gemessenen Werte verwendet wurden
- Angabe der Energie- oder Emissions-Faktoren, die sich von Anhang A der Norm unterscheiden (siehe Tabelle 7 in Kapitel 7; einschließlich Begründung)
- Angabe der Energie- oder Emissions-Faktoren für Strom (inkl. Begründung für Verwendung)
- Angabe des Anteils an Biokraftstoffen
- verwendetes Allokationsverfahren und verwendete Parameter (inkl. Begründung) Angabe von Empfehlungen der Norm, die nicht umgesetzt wurden (inkl. Begründung)

Freiwillige Angaben:

- Beschreibung der Transportdienstleistung: Ausgangsort, Zielort, Teilstrecken
- Beschreibung des gewählten Fahrzeugeinsatz-Systems für jede Teilstrecke
- bei Flottenwerten Beschreibung der Fahrzeugflotte
- Angaben, die zum Verständnis der Methode notwendig sind
- Spezifische Energie- und Emissionskennwerte pro Personenkilometer

Eine **Zertifizierung** sieht die Norm nicht vor. Unternehmen können ihre Berechnungen freiwillig zertifizieren lassen, müssen dann aber die Regelungen der DIN EN 45011 (künftig DIN EN ISO/IEC 17065) einhalten. Die Überprüfung der Bilanz darf nur durch akkreditierte Zertifizierer erfolgen.

**Bilanz als Basis für
Klimaschutzmaßnahmen
nutzen**

Außerdem gilt: Die Berechnung von Energieverbrauch und Emissionen liefert Fahrgästen und Öffentlichkeit verlässliche Daten und Informationen zum Klimavorteil des ÖPNV. Die Bilanz kann aber auch der Einstieg in **eine umfassende Klimaschutzstrategie** des Unternehmens sein. Wer nach der Norm EN 16258 gerechnet hat, verfügt über eine solide Basis, um im eigenen Unternehmen **Sparmaßnahmen** einzuleiten. Das Unternehmen lernt Art und Wirksamkeit von Maßnahmen richtig einschätzen und kann dort investieren, wo Energieverbrauch und Emissionen möglichst kosteneffizient reduziert werden. Zwar sind Modernisierungen in der Regel nicht kostenlos zu haben, sie amortisieren sich aber meist innerhalb von akzeptablen Fristen.

Die Palette geeigneter **Minderungsmaßnahmen** ist breit. **Vorrang** haben alle Aktivitäten, die Emissionen vermeiden und reduzieren. Dazu gehören eine Optimierung der Fahrzeugumläufe und der Einsatz energieeffizienter Fahrzeuge oder alternativer Antriebe. Sinnvoll ist darüber hinaus der Einsatz regenerativer Energien, z. B. von zertifiziertem Ökostrom für elektrisch betriebene Verkehrsmittel. Ein Beitrag kann auch die Kompensation entstandener Emissionen durch Klimaschutzprojekte sein. Projekte dieser Art sind aber nur glaubwürdig, wenn zuvor durch geeignete Maßnahmen Energieverbrauch und Emissionen im Betrieb deutlich gesenkt wurden. Denn im Gegensatz zur Kompensation führen Sparmaßnahmen dauerhaft und nachhaltig zur Senkung von Emissionen und Kosten.

Wer die Ermittlung von Energieverbräuchen und Emissionen als Basis für Klimaschutz im Unternehmen nutzt, muss wissen: In diesem Fall endet mit der Berechnung der Werte nicht die Arbeit – sie beginnt oft damit erst. Allerdings ist betrieblicher Klimaschutz immer eine **Langfristinvestition** – in eine nachhaltige Wirtschaftsweise und damit in die Zukunft des einzelnen ÖPNV-Unternehmens.

10 Die Kür der Klimabilanz: Energieverbrauch und Emissionen von Gebäuden und stationären Anlagen

ÖPNV-Unternehmen brauchen Energie und verursachen Emissionen nicht nur durch den Betrieb von Bussen und Bahnen. Auch Verwaltungsgebäude und Büros, Werkstätten und Verkaufsstellen oder das Vorheizen der Fahrzeuge sind Energieverbraucher. Mit Strom werden außerdem Haltestellen beleuchtet, Rolltreppen und Fahrstühle in Gang gesetzt oder Weichen aufgeheizt. Relevant sind nicht zuletzt Kältemittelverluste durch Leckagen oder Beschädigungen von Klimaanlageanlagen in Gebäuden und Fahrzeugen.

Der **stationäre Bereich** wird in der Norm EN 16258 derzeit nicht berücksichtigt, erst in Zukunft sollen überarbeitete Ausgaben des Standards diese Bereiche zumindest teilweise erfassen. Werden Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Gebäude und stationären Anlagen dennoch berechnet, soll die Vorgehensweise laut EN 16258 möglichst transparent beschrieben werden. Eine gute **methodische Grundlage** dafür bietet der „Corporate Accounting and Reporting Standard“ des Greenhouse Gas Protocol (siehe dazu auch Kapitel 4).

Laut GHG Protocol müssen **nur die direkten Treibhausgasemissionen** verpflichtend berechnet werden. Um aber kompatibel zu den Vorgaben der Norm EN 16258 für Transporte zu sein, sollten zusätzlich auch die indirekten Emissionen berücksichtigt werden. Im Folgenden wird daher das Vorgehen zur Berechnung des Endenergieverbrauchs bzw. der direkten Emissionen (Tank-to-Wheel) ebenso wie die Berechnung des Gesamtenergieverbrauches bzw. der Gesamtemissionen (Well-to-Wheel) vorgestellt.

Der Bau von Gebäuden, Werkstätten, Haltestellen oder Verkehrsinfrastruktur wird hingegen nicht betrachtet, da er zum einen für die Gesamtemissionen eine untergeordnete Bedeutung hat, zum anderen in der Norm EN 16258 explizit ausgeschlossen ist. Dabei ist zu beachten: Ökobilanzdatenbanken wie EcoInvent, GEMIS oder Umberto subsumieren in ihren Daten in der Regel diesen Bereich. Wer Werte aus diesen Verzeichnissen nutzt, muss daher bauliche Aktivitäten subtrahieren.

Für den Strom- und Wärmebereich sieht das GHG Protocol die so genannte **Emissionsfaktoren-basierte Methode** zur Bestimmung der Treibhausgase vor – dieser Ansatz entspricht im Grundsatz auch der Norm EN 16258. Dafür müssen zunächst die Energieverbräuche ermittelt werden, die dann analog zu den Transporten mit den entsprechenden Emissions- bzw. Umrechnungsfaktoren multipliziert werden. Verbrauchsdaten können in der Regel mit Hilfe von Stromzählern, Heizölrechnungen oder Jahresabrechnungen des Versorgers ermittelt werden. Bei Erdgas ist zu berücksichtigen, dass viele Emissionsfaktoren sich nicht auf den Brennwert, sondern den Heizwert beziehen. In Deutschland liegt der Heizwert im Durchschnitt bei 90 Prozent des Brennwertes.

Zu beachten ist auch, dass stationäre Verbraucher oft nicht separat erfasst werden. Beispielsweise wird der Stromverbrauch von Haltestellen oder Weichenheizungen meist gemeinsam mit dem Fahrstrom erfasst. Das birgt die Gefahr, dass der Stromverbrauch der Fahrzeuge gegebenenfalls überschätzt, der Verbrauch stationärer Anlagen dagegen unterschätzt wird. Wichtig ist grundsätzlich, dass **alle Energieverbraucher erfasst** werden, die für das ÖPNV-Unternehmen relevant sind.

**GHG Protocol bietet
Grundlagen für Berechnung**

Energieverbrauch und Emissionen berechnen sich somit wie folgt:

Energieverbrauch:

$$EN_{\text{direkt bzw. gesamt}} = FC \times F_{EN_{\text{direkt bzw. gesamt}}}$$

EM_{direkt bzw. gesamt} = Endenergieverbrauch bzw. Gesamtenergieverbrauch in MJ

FC = gemessener Energieverbrauch (z. B. kWh Strom, kWh Fernwärme, kWh Erdgas, Liter Flüssiggas oder Liter Heizöl)

F_{EM direkt bzw. gesamt} = Energieumrechnungsfaktor für Endenergieverbrauch bzw. Gesamtenergieverbrauch in MJ pro kWh Strom, kWh Fernwärme, kWh Erdgas, Liter Flüssiggas oder Liter Heizöl

Treibhausgasemissionen:

$$EM_{\text{direkt bzw. gesamt}} = FC \times F_{EM_{\text{direkt bzw. gesamt}}}$$

EM_{direkt bzw. gesamt} = direkte bzw. Gesamtemissionen in kg CO₂-Äquivalente

FC = gemessener Energieverbrauch (z. B. kWh Strom, kWh Fernwärme, kWh Erdgas, Liter Flüssiggas oder Liter Heizöl)

F_{EM direkt bzw. gesamt} = THG-Umrechnungsfaktor für direkte und Gesamt-Treibhausgasemissionen in kg CO₂-Äquivalente pro kWh Strom, kWh Fernwärme, kWh Erdgas, Liter Flüssiggas oder Liter Heizöl

Die notwendigen **Umrechnungsfaktoren** zeigt Tabelle 15. Die Werte sind Durchschnittswerte für Deutschland.

Tabelle 15: Faktoren für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen des stationären Bereichs

	Energie-Umrechnungsfaktoren			THG-Umrechnungsfaktoren		
	Einheit	Direkter Energieverbrauch	Gesamtenergieverbrauch	Einheit	Direkte Emissionen	Gesamtemissionen
Strom Deutschland	MJ/ kWh	3,6	9,9	kg CO ₂ e/ kWh	0,000	0,573
Fernwärme Deutschland	MJ/ kWh _{th}	3,6	4,1	kg CO ₂ e/ kWh _{th}	0,000	0,250
Erdgas – Heizwert	MJ/ kWh	3,6	4,2	kg CO ₂ e/ kWh	0,202	0,252
Erdgas – Brennwert	MJ/ kWh	3,2	3,7	kg CO ₂ e/ kWh	0,182	0,227
Heizöl	MJ/ l	35,8	42,4	kg CO ₂ e/ kg	2,67	3,15
Flüssiggas	MJ/ l	25,3	28,3	kg CO ₂ e/ l	1,70	1,90

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 der Norm EN 16258).
Quellen: GEMIS 4.8; EN 16258; eigene Berechnungen.

Analog zur EN 16258 ermöglichen die Umrechnungsfaktoren für Energie die Ermittlung eines standardisierten Endenergieverbrauchs in MJ sowie des Gesamt- und damit Primärenergieverbrauchs für alle Energieträger. Bei Strom und Fernwärme hängen die Faktoren vom jeweiligen Kraftwerksmix ab, der auch versorgerspezifisch sein kann. Die Vorgehensweise für den stationären Bereich entspricht dann den Ausführungen in Kapitel 7.

Nutzt ein ÖPNV-Unternehmen **Ökostrom** aus regenerativen Energiequellen, sollte dieser Strom nur dann emissionsmindernd in der Klimabilanz einfließen, wenn er aus zusätzlich errichteten Neuanlagen stammt. Dies ist in der Regel nur dann gewährleistet, wenn es sich um zertifizierten Strom handelt (z. B. Strom mit ok-power-Label, siehe hierzu auch Kapitel 7). Betriebe, die regenerativen Strom selbst erzeugen, dürfen ihn nur dann emissionsmindernd anrechnen, wenn sie ihn selbst verbrauchen. Wer ins öffentliche Netz einspeist und dafür eine Vergütung erhält, darf den Ökostrom nicht mindernd in seiner Treibhausgasbilanz der Gebäude und stationären Anlagen berücksichtigen.

Selbst genutzter Ökostrom senkt Emissionen

Rechenbeispiel 9:

Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen eines ÖPNV-Betriebes

Ein ÖPNV-Betrieb verbraucht für das Heizen seiner Gebäude und Werkstätten 11,45 Mio. kWh Erdgas (bezogen auf Brennwert) und 1,55 Mio. kWh_{th} Fernwärme. Damit ergeben sich für die Wärmeversorgung folgende Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen:

- Endenergieverbrauch:	$11,45 \text{ Mio. kWh} \times 3,2 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} + 1,55 \text{ Mio. kWh}_{th} \times 3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}_{th}} = 42,22 \text{ TJ}$
- Gesamtenergieverbrauch:	$11,45 \text{ Mio. kWh} \times 3,7 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} + 1,55 \text{ Mio. kWh}_{th} \times 4,1 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}_{th}} = 48,72 \text{ TJ}$
- Direkte THG-Emissionen:	$11,45 \text{ Mio. kWh} \times 0,182 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} + 1,55 \text{ Mio. kWh}_{th} \times 0,000 \text{ kg} \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}_{th}} = 2,083,9 \text{ t CO}_2\text{e}$
- Gesamt-THG-Emissionen:	$11,45 \text{ Mio. kWh} \times 0,227 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} + 1,55 \text{ Mio. kWh}_{th} \times 0,250 \text{ kg} \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}_{th}} = 2,986,7 \text{ t CO}_2\text{e}$

Kältemittelverluste nicht vergessen

Ob Büros oder Verkaufsstellen – immer mehr Innenräume werden klimatisiert. Klimaanlage benötigen allerdings teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) oder perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) als **Kältemittel**, die **hoch wirksame Treibhausgase** sind. Je nach Typ kann 1 kg der Chemikalien eine Treibhausgaswirkung entfalten, die der Wirkung von 1.500 bis 4.000 kg CO₂ entspricht. Im Normalfall gelangen Kältemittel nicht in die Umwelt. Durch Undichtigkeiten, Leckagen, Unfälle oder sonstige Beschädigung der Anlagen geschieht dies in der Praxis aber doch. Auch wenn die freigesetzten Mengen in der Regel gering sind, sollten ÖPNV-Unternehmen sie aufgrund der hohen Klimawirkung dennoch in der Bilanz berücksichtigen.

Für die Berechnung der Treibhausgasemissionen von Kältemittelverlusten empfiehlt das GHG Protocol den „Lifecycle Stage Approach“. Dabei wird die jährlich nachgefüllte Menge mit dem spezifischen CO₂-Äquivalent-Faktor des jeweiligen Kältemittels multipliziert. Sind Nachfüllmengen nicht bekannt, können die Verluste auch über mittlere Leckageraten berechnet werden. Die für die Berechnung einzelner Kältemittel benötigten Umrechnungsfaktoren zeigt Tabelle 16. Zwar benötigt auch die Herstellung der Chemikalien Energie, dieser Verbrauch kann aber vernachlässigt werden.

Die Treibhausgasemissionen der Kältemittelverluste berechnen sich somit nach folgender Formel:

$EM_{\text{direkt bzw. gesamt}} = KV \times F_{EM \text{ direkt bzw. gesamt}}$	
$EM_{\text{direkt bzw. gesamt}}$	= Direkte bzw. Gesamtemissionen in kg
KV	= Kältemittelverluste in kg
$F_{EM \text{ direkt bzw. gesamt}}$	= THG-Umrechnungsfaktor für direkte und Gesamt-Treibhausgasemissionen in kg CO ₂ pro kg Kältemittel

Tabelle 16: Kennzahlen für Berechnung der Treibhausgasemissionen für Kältemittelverluste

	Direkter CO ₂ -Äquivalent- Emissionsfaktor	Gesamt- CO ₂ -Äquivalent- Emissionsfaktor
	kg CO ₂ e/kg	kg CO ₂ e/kg
Kältemittel R 22	1.810	1.886
Kältemittel R 134A	1.430	1.533
Kältemittel R 404A	3.922	4.025
Kältemittel R 407A	1.770	1.873
Kältemittel R 410A	2.088	2.177
Kältemittel R 422D	2.729	2.829

Quellen: IPCC 2007; Ecoinvent 2009; eigene Berechnungen.

Rechenbeispiel 10:

Berechnung der Treibhausgasemissionen durch Kältemittelverluste

Die Klimaanlage in den Gebäuden eines ÖPNV-Unternehmens sind mit dem Kältemittel R 22 und R 134a gefüllt. Im letzten Jahr mussten 56,5 kg R 22 und 4,7 kg R 134a nachgefüllt werden. Damit ergeben sich folgende Emissionen:

– Gesamt THG-Emissionen:

$$56,5 \text{ kg} \times 1.810 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg}} + 4,7 \text{ kg} \times 1.430 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg}} = 109,0 \text{ t CO}_2\text{e}$$

– Direkte THG-Emissionen:

$$56,5 \text{ kg} \times 1.886 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg}} + 4,7 \text{ kg} \times 1.533 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg}} = 113,8 \text{ t CO}_2\text{e}$$

Das GHG Protocol enthält keine Angaben, wie die für Gebäude und stationäre Anlagen ermittelten Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen auf den einzelnen Fahrgast verteilt werden sollten. Denn das GHG Protocol adressiert nur Betriebe, die ihre Treibhausgasemissionen für das gesamte Unternehmen ausweisen wollen.

Den Prozess der Allokation beschreibt ausführlich Kapitel 8. Dieser Leitfaden empfiehlt allerdings, für die **Allokation** von Energieverbrauch und Emissionen **des stationären Bereichs** ausschließlich die gleichen Allokationsparameter zu verwenden, die auch für die Allokation der Transporte genutzt werden. Die Norm EN 16258 präferiert für Transporte die Verwendung der **Personenkilometer als Parameter**. Daneben können aber auch die Gesamtzahl der Personen oder die Zahl der Fahrten aller Fahrgäste zur Allokation herangezogen werden.

Ist es nicht möglich, Gebäude und stationäre Anlagen eindeutig einzelnen Bereichen wie Bus-, S- oder U-Bahn-Verkehr zuzuordnen, sollte die Allokation über die von allen Verkehrsmitteln zurückgelegten Gesamtpersonenkilometer, über die Gesamtzahl der Fahrgäste bzw. die Gesamtzahl der Fahrten aller Fahrgäste erfolgen. Dazu werden Energieverbrauch und Emissionen durch die genannten Größen dividiert und dem einzelnen Fahrgast zugerechnet. Dieses Verfahren wird heute von der Mehrzahl der ÖPNV-Unternehmen angewendet.

Vorgehen zur Allokation

Rechenbeispiel 11:**Allokation des Energieverbrauchs pro Fahrgast**

Ein ÖPNV-Unternehmen verursacht durch das Heizen von Gebäuden und Anlagen direkte Treibhausgasemissionen von 2.083,9 t CO₂-Äquivalente und Gesamttreibhausgasemissionen von 2.986,7 t CO₂-Äquivalente (einschließlich der Emissionen durch Herstellung von Erdgas und Fernwärme, siehe Rechenbeispiel oben). Insgesamt erbringt das ÖPNV-Unternehmen eine Beförderungsleistung von 509.123.534 Personenkilometer. Legt ein Fahrgast zehn Personenkilometer zurück, ergeben sich für diesen Kunden folgende Emissionen:

Anteil des Fahrgastes:

$$\frac{10 \text{ Pkm}}{509.123.534 \text{ Pkm}} = 0,000001964\%$$

– Direkte THG-Emissionen des Fahrgastes

$$0,000001964\% \times 2.083,9 \text{ t CO}_2\text{e} = 40,9 \text{ g CO}_2\text{e}$$

– Gesamt-THG-Emissionen des Fahrgastes

$$0,000001964\% \times 2.986,7 \text{ t CO}_2\text{e} = 58,7 \text{ g CO}_2\text{e}$$

11 Informationen, die weiterhelfen

Tabelle 17: 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

Umrechnungshilfen

Tabelle 18: Energieumrechnungen (bezogen auf Endenergie)

	MJ	kWh	Liter Diesel	kg Diesel
1 MJ	1	0,2778	0,0279	0,0233
1 kWh	3,6	1	0,1004	0,0835
1 Liter Diesel	35,9	10,0	1	0,832
1 kg Diesel	43,1	12,0	1,202	1

Anmerkung: Diesel konventionell ohne Biodiesel-Beimischung.

Busverbräuche in Abhängigkeit von Steigungsklassen

Tabelle 19: Dieserverbrauch von Bussen nach Busgröße, Einsatzgebiet und Verkehrsfluss: Steigungsklasse ±0%

Busse	Gebiet	Verkehrsfluss			Durchschnitt Deutschland
		frei fließend	dicht/ gesättigt	Stop+Go	
		l/100 km	l/100 km	l/100 km	l/100 km
Bus ≤15 t zGG (z. B. Midibus)	Stadt	21,8	30,6	39,2	29,9
	Land	23,0	23,5	34,1	23,0
	Durchschnitt	22,8	30,2	38,7	27,2
Bus >15-18 t zGG (z. B. Standardbus)	Stadt	28,7	43,1	55,6	42,0
	Land	29,3	31,3	48,1	29,5
	Durchschnitt	29,2	42,5	54,9	37,0
Bus >18 t zGG (z. B. Gelenkbus)	Stadt	36,3	54,0	60,8	52,5
	Land	37,5	41,0	56,5	37,8
	Durchschnitt	37,3	53,3	60,4	46,6

Quellen: Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA); eigene Berechnungen.

Tabelle 20: Dieserverbrauch von Bussen nach Busgröße, Einsatzgebiet und Verkehrsfluss: Steigungsklasse ±2%

Busse	Gebiet	Verkehrsfluss			Durchschnitt Deutschland
		frei fließend	dicht/ gesättigt	Stop+Go	
		l/100 km	l/100 km	l/100 km	l/100 km
Bus ≤15 t zGG (z. B. Midibus)	Stadt	22,7	31,2	39,8	30,6
	Land	23,6	24,5	34,7	23,8
	Durchschnitt	23,5	30,6	39,3	27,7
Bus >15-18 t zGG (z. B. Standardbus)	Stadt	30,6	44,0	56,4	42,9
	Land	30,5	33,0	49,0	30,9
	Durchschnitt	30,5	42,9	55,7	37,9
Bus >18 t zGG (z. B. Gelenkbus)	Stadt	40,0	55,8	62,5	54,5
	Land	39,9	43,9	58,2	40,5
	Durchschnitt	39,9	54,7	62,1	48,7

Quellen: Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA); eigene Berechnungen.

Table 21: Dieselverbrauch von Bussen nach Busgröße, Einsatzgebiet und Verkehrsfluss:
Steigungsklasse ±4%

Busse	Gebiet	Verkehrsfluss			Durchschnitt Deutschland
		frei fließend	dicht/ gesättigt	Stop+Go	
		<i>l/100 km</i>	<i>l/100 km</i>	<i>l/100 km</i>	<i>l/100 km</i>
Bus ≤15 t zGG (z. B. Midibus)	Stadt	26,2	33,6	41,9	33,1
	Land	26,2	27,4	37,0	26,6
	Durchschnitt	26,2	32,4	41,4	30,1
Bus >15-18 t zGG (z. B. Standardbus)	Stadt	36,4	48,0	59,8	47,1
	Land	35,7	38,0	52,8	36,3
	Durchschnitt	35,7	46,0	59,1	42,2
Bus >18 t zGG (z. B. Gelenkbus)	Stadt	50,2	63,4	69,2	62,3
	Land	49,2	52,4	65,0	50,1
	Durchschnitt	49,4	61,2	68,8	56,7

Quellen: Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA); eigene Berechnungen.

Table 22: Dieselverbrauch von Bussen nach Busgröße, Einsatzgebiet und Verkehrsfluss:
Steigungsklasse ±6%

Busse	Gebiet	Verkehrsfluss			Durchschnitt Deutschland
		frei fließend	dicht/ gesättigt	Stop+Go	
		<i>l/100 km</i>	<i>l/100 km</i>	<i>l/100 km</i>	<i>l/100 km</i>
Bus ≤15 t zGG (z. B. Midibus)	Stadt	31,5	37,9	45,2	37,5
	Land	30,9	32,2	40,6	31,7
	Durchschnitt	31,0	35,9	45,0	34,9
Bus >15-18 t zGG (z. B. Standardbus)	Stadt	44,9	54,7	65,2	54,0
	Land	43,4	45,8	58,7	44,8
	Durchschnitt	43,7	51,6	64,9	49,9
Bus >18 t zGG (z. B. Gelenkbus)	Stadt	67,0	76,8	82,0	76,0
	Land	65,0	68,2	78,5	66,9
	Durchschnitt	65,4	73,8	81,8	71,9

Quellen: Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA); eigene Berechnungen.

Literatur
Im Leitfaden zitierte Literatur sowie weiterführende Literatur:

- **Norm EN 16258 „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen“:**
in Deutsch kostenpflichtig erhältlich beim Beuth Verlag (www.beuth.de)
- **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
- **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: [http://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/IFEU\(2010\)_TREMODO_%20Endbericht_FKZ%203707%20100326.pdf](http://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/IFEU(2010)_TREMODO_%20Endbericht_FKZ%203707%20100326.pdf)
- **GEMIS 4.8:** Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS). PC-Rechenmodell zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Energiesystemen; entwickelt vom Öko-Institut und vom Internationalen Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS). Das PC-Programm kann kostenlos heruntergeladen werden unter: www.iinas.org/gemis-de.html
- **Ecoinvent 2009:** Swiss Centre for Life Cycle Inventories (Hrsg.): EcoInvent. Ökobilanzdatenbank, Version 2.1. 2009
- **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
- **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/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm
- **HG/Öko-Institut 2012:** Hamburg-Consult GmbH und Öko-Institut in Kooperation mit dem Fachgebiet Schienenfahrzeuge der TU Berlin: Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie und Steigerung der Energieeffizienz im öffentlichen Personennahverkehr. Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Hamburg/Berlin, 2012.
- **BDEW 2011:** Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Leitfaden „Stromkennzeichnung“. Berlin, Stand: 9. September 2011.
- **Öko-Institut et al. 2009:** Öko-Institut, IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Büro Ö-Quadrat: Umweltnutzen von Ökostrom: Vorschlag zur Berücksichtigung in Klimaschutzkonzepten. Diskussionspapier. Freiburg, Heidelberg, Wuppertal, 2009.
- **UBA 2012:** Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zum Verkehr. Ausgabe 2012. Dessau, 2012. Kostenloser Download unter: www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4364.pdf

- **UBA 2010:** Schwarz, W.: Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland 2008: Inventarermittlung der F-Gase 2008. Daten von HFKW, FKW und SF6 für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für das Berichtsjahr 2008. Gutachten von Öko-Recherche Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes. Erschienen in UBA-Text Nr. 41/2010. Dessau, 2010. Kostenloser Download unter: www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3999.pdf
- **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

Impressum

Autoren:

Martin Schmied, INFRAS – Forschung und Beratung,
Mühlemattstrasse 45, 3007 Bern, Schweiz
(E-Mail: Martin.Schmied@infras.ch)
und
Moritz Mottschall, Öko-Institut e.V.,
Schicklerstr. 5-7, 10179 Berlin, Deutschland
(E-Mail: m.mottschall@oeko.de)

Redaktionelle Bearbeitung:

Dipl.-Ing. Christa Friedl,
Wissenschaftsjournalistin
(E-Mail: Christa.Friedl@web.de)

Grafische Bearbeitung:

Schroeter und Berger, Büro für Lösungen
Sebastian Helm & Maximilian Sauerbier GbR,
Richardstr. 31, 12043 Berlin, Deutschland
(E-Mail: info@schroeterundberger.de)

Herausgeber:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Koordination:

Hamburg-Consult GmbH,
Spohrstraße 6, 22083 Hamburg, Deutschland
(E-Mail: info@hamburg-consult.de)

Das diesem Leitfaden zugrunde liegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

