



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und  
Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Energie BFE**  
Sektion Mobilität

Bericht vom 4. Januar 2017

---

# **Energieetikette für Personenwagen: Umweltkennwerte 2016 der Strom- und Treibstoffbereitstellung**

---



**Datum:** 4. Januar 2017

**Ort:** Bern

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE

CH-3003 Bern

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Auftragnehmer:**

treeze Ltd.

Kanzleistrasse 4, CH-8610 Uster

[www.treeze.ch](http://www.treeze.ch)

**Autoren:**

Philippe Stolz, treeze Ltd., [stolz@treeze.ch](mailto:stolz@treeze.ch)

Rolf Frischknecht, treeze Ltd., [frischknecht@treeze.ch](mailto:frischknecht@treeze.ch)

**BFE-Projektbegleitung:** Stephan Walter, Fachspezialist Mobilität, [stephan.walter@bfe.admin.ch](mailto:stephan.walter@bfe.admin.ch)

**BFE-Programmleitung:** Christoph Schreyer, Leiter Mobilität, [christoph.schreyer@bfe.admin.ch](mailto:christoph.schreyer@bfe.admin.ch)

**BFE-Vertragsnummer:** SI/200127-04

**Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.**

**Bundesamt für Energie BFE**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

---

# Abkürzungen

---

a	Jahr (annum)
BÄ	Benzinäquivalent
CH	Schweiz
CNG	Erdgas (engl. compressed natural gas)
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CO <sub>2</sub> -eq	Kohlendioxid-Äquivalent
EnG	Energiegesetz
ENTSO-E	Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (engl. European Network of Transmission System Operators for Electricity)
EnV	Energieverordnung
g	Gramm
GWP	Treibhauspotenzial (engl. global warming potential)
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kWh	Kilowattstunde
L	Liter
LPG	Flüssiggas (engl. liquefied petroleum gas)
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
MJ	Megajoule
MJ-eq	Megajoule-Äquivalent
PE	Primärenergie
PE-BÄ	Primärenergie-Benzinäquivalent
t	Tonne
tkm	Tonnenkilometer (Einheit für Gütertransporte)
UBP	Umweltbelastungspunkte

---

## Zusammenfassung

---

Die Energieetikette für Personenwagen dient dazu, die Energieeffizienz und die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenwagen zu deklarieren. Auf der Energieetikette werden neu neben der Angabe der Energieeffizienzklasse, des Normverbrauchs und des CO<sub>2</sub>-Ausstosses auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Treibstoffbereitstellung aufgeführt. Die Energieeffizienzklasse wird mit Hilfe der sogenannten Primärenergie-Benzinäquivalente bestimmt. Für die Berechnung der Primärenergie-Benzinäquivalente der Treibstoff- und der Strombereitstellung wird der Energieverbrauch von der Energiequelle (beispielsweise Rohölförderung) über die Veredelung bis zum Tank (Well-to-Tank) berücksichtigt. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Treibstoff- und Strombereitstellung werden mit dem gleichen Ansatz berechnet und sind auf der Energieetikette zur Information aufgeführt. Die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei der Verbrennung der Treibstoffe im Fahrzeug entstehen, werden separat angezeigt. Zur Berechnung der Effizienzklassen werden die Fahrzeuge schliesslich anhand der gesamten Wirkungskette, also von der Energiequelle bis zum Rad (Well-to-Wheel), beurteilt.

In dieser Studie werden die Umweltkennwerte der Bereitstellung der wichtigsten Treibstoffe und der Schweizer Strommixe aktualisiert. Die berechneten Umweltkennwerte dienen als Grundlage für die Energieetikette für Personenwagen und die Bestimmung der Energieeffizienzklassen. Für die Berechnung der Umweltkennwerte der Treibstoff- und Strombereitstellung für die Energieetikette wurde der ecoinvent Datenbestand v2.2:2016 verwendet. Dieser Datenbestand enthält aktualisierte Ökobilanzdaten zur Bereitstellung von Benzin, Diesel, Erdgas/Biogas und Strom.

Benzin wird als Referenztreibstoff definiert und hat darum ein Primärenergie-Benzinäquivalent von 1.00 L/L. Das Primärenergie-Benzinäquivalent von Diesel ist leicht höher als jenes von Benzin und beträgt 1.08 L/L. Flüssiggas hat unter den betrachteten Treibstoffen (ohne Strom) das geringste Primärenergie-Benzinäquivalent (0.70 L/L). Das an Schweizer Tankstellen angebotene Erdgas, dem mindestens 10 % Biogas beigemischt werden, hat mit 0.82 L/m<sup>3</sup> ein Primärenergie-Benzinäquivalent zwischen jenem von Flüssiggas und Benzin. Bioethanol (E85) hat mit 1.63 L/L das höchste Primärenergie-Benzinäquivalent. Das Primärenergie-Benzinäquivalent des Schweizer Lieferantenstrommixes beträgt 0.24 L/kWh.

Die fossilen Kohlendioxidemissionen pro Kilogramm Treibstoff schwanken zwischen 0.315 kgCO<sub>2</sub>/kg (Erdgas) und 0.678 kgCO<sub>2</sub>/kg (Benzin). Der Schweizer Lieferantenstrommix ab einer Niederspannungssteckdose verursacht fossile Kohlendioxidemissionen von 22.7 g CO<sub>2</sub>/MJ (81.6 g CO<sub>2</sub>/kWh).

---

## Résumé

---

L'étiquette-énergie pour les voitures de tourisme sert à indiquer l'efficacité énergétique et les émissions de CO<sub>2</sub> des voitures de tourisme. En plus de la catégorie d'efficacité énergétique, de la consommation normalisée et des émissions de CO<sub>2</sub>, l'étiquette-énergie indique désormais aussi les émissions de CO<sub>2</sub> générées par la production de carburant. La catégorie d'efficacité énergétique est déterminée à l'aide de ce qu'on appelle les équivalents essence d'énergie primaire. Pour calculer les équivalents essence d'énergie primaire générés par la production de carburant et d'électricité, il est tenu compte de la consommation d'énergie depuis la source d'énergie (par exemple l'extraction du pétrole brut) jusqu'au réservoir (well to tank), en passant par le raffinage. Les émissions de CO<sub>2</sub> générées par la production de carburant et d'électricité sont calculées sur la même base et figurent sur l'étiquette-énergie à titre d'information. Les émissions de CO<sub>2</sub> directes générées dans le véhicule par la combustion des carburants sont indiquées séparément. Pour déterminer la catégorie d'efficacité énergétique, les véhicules sont évalués sur l'ensemble de la chaîne, soit de la source d'énergie à la roue (well to wheel).

Cette étude met à jour les indicateurs environnementaux des principaux carburants et des mix d'électricité suisses. Les indicateurs environnementaux calculés servent de base pour l'étiquette-énergie des voitures de tourisme et pour la définition des catégories d'efficacité énergétique. La base de données ecoinvent v2.2 :2016 a été utilisée pour le calcul des indicateurs environnementaux de la production de carburant et d'électricité pour l'étiquette-énergie. Cette base de données contient les données actualisées des écobilans de la production d'essence, de diesel, de gaz naturel/biogaz et d'électricité.

L'essence étant considérée comme carburant de référence, son équivalent essence d'énergie primaire est de 1,00 l/l. L'équivalent essence d'énergie primaire du diesel, légèrement plus élevé que celui de l'essence, est de 1,08 l/l. Parmi les carburants considérés, le gaz liquide a le plus faible équivalent essence d'énergie primaire (0,70 l/l), exception faite de l'électricité. Avec 0,82 l/m<sup>3</sup>, le gaz naturel délivré par les stations-service suisses, qui contient au moins 10 % de biogaz, a un équivalent essence d'énergie primaire qui se situe entre celui du gaz liquide et celui de l'essence. Avec 1,63 l/l, le bioéthanol (E85) affiche l'équivalent essence d'énergie primaire le plus élevé. L'équivalent essence d'énergie primaire de l'électricité est de 0,24 l/kWh.

Les émissions fossiles de dioxyde de carbone par kilogramme de carburant fluctuent entre 0,315 kg de CO<sub>2</sub>/kg (de gaz naturel) et 0,678 kg de CO<sub>2</sub>/kg (d'essence). Le mix électrique des fournisseurs suisses à partir d'une prise à basse tension produit des émissions fossiles de dioxyde de carbone de 22,7 g de CO<sub>2</sub>/MJ (81,6 g de CO<sub>2</sub>/kWh).

---

## Sintesi

---

L'etichetta Energia per le automobili ha lo scopo di dichiarare l'efficienza energetica e le emissioni di CO<sub>2</sub> delle automobili. Sull'etichetta, oltre alla categoria di efficienza energetica, al consumo normalizzato e alle emissioni di CO<sub>2</sub>, d'ora in poi saranno indicate anche le emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dalla messa a disposizione del carburante. La categoria di efficienza energetica viene determinata in base al cosiddetto equivalente benzina per l'energia primaria. Per il calcolo dell'equivalente benzina per l'energia primaria relativo alla messa a disposizione del carburante e dell'energia elettrica viene preso in considerazione il consumo di energia dalla fonte (ad esempio l'estrazione del petrolio) alla raffinazione fino al serbatoio (well-to-tank). Le emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dalla messa a disposizione del carburante e dell'energia elettrica sono calcolate con lo stesso fattore e sono indicate sull'etichetta a titolo informativo. Le emissioni di CO<sub>2</sub> dirette derivanti dalla combustione dei carburanti nei veicoli sono indicate separatamente. Per calcolare le categorie di efficienza, i veicoli vengono infine valutati sulla base dell'intera catena energetica, ovvero dalla fonte energetica fino alla ruota (well-to-wheel).

Nel presente studio vengono aggiornati gli indicatori ambientali relativi alla messa a disposizione dei principali carburanti e dei mix elettrici svizzeri. Gli indicatori costituiscono dati di base per l'etichetta Energia per automobili e per la determinazione delle categorie di efficienza energetica. Per il calcolo degli indicatori ambientali per l'etichetta Energia è stata utilizzata la banca datiecoinvent v2.2:2016. Questa banca dati contiene dati aggiornati sull'ecobilancio relativi alla messa a disposizione di benzina, diesel, gas naturale/biogas ed energia elettrica.

La benzina è definita come carburante di riferimento e pertanto ha un equivalente benzina per l'energia primaria pari a 1,00 l/l. L'equivalente per il diesel è leggermente superiore rispetto a quello per la benzina ed è di 1,08 l/l. Tra i carburanti considerati (eccezion fatta per l'energia elettrica), il gas liquido ha il minore equivalente benzina per l'energia primaria (0,70 l/l). Il gas naturale messo a disposizione nelle stazioni di rifornimento svizzere, al quale è aggiunto almeno il 10 per cento di biogas, ha un equivalente benzina per l'energia primaria pari a 0,82 l/m<sup>3</sup> che si situa tra quello del gas liquido e quello della benzina. Con 1,63 l/l il bioetanolo (E85) ha l'equivalente più elevato. L'equivalente per l'energia elettrica è pari a 0,24 l/kWh.

Le emissioni di biossido di carbonio fossile per chilogrammo di carburante oscillano tra i 0,315 kgCO<sub>2</sub>/kg (gas naturale) e 0,678 kgCO<sub>2</sub>/kg (benzina). Il mix svizzero di energia elettrica fornita a partire da una presa di corrente a bassa tensione genera emissioni di biossido di carbonio fossile pari a 22,7 g CO<sub>2</sub>/MJ (81,6 g CO<sub>2</sub>/kWh).

---

# Inhalt

---

1	EINLEITUNG	1
2	INDIKATOREN DER NEUEN ENERGIEETIKETTE	2
2.1	Well-to-Tank Betrachtung	2
2.2	Messgrößen	2
2.3	Datengrundlage	3
3	TREIBSTOFFBEREITSTELLUNG	4
3.1	Übersicht	4
3.2	Benzin und Diesel	4
3.2.1	Rohölförderung	4
3.2.2	Raffinerie	5
3.2.3	Tankstelle	7
3.3	Erdgas (CNG) / Biogas	8
3.4	Flüssiggas (LPG)	9
3.5	Bioethanol (E85)	9
3.6	Elektrizität	9
4	UMWELTKENNWERTE DER ENERGIEETIKETTE FÜR PERSONENWAGEN	12
4.1	Primärenergie-Benzinäquivalente	12
4.2	Primärenergiebedarf und Kohlendioxidemissionen	13
4.3	Prozessbeiträge	14
	LITERATUR	19

# 1 Einleitung

Die Energieetikette für Personenwagen ist ein Informationsinstrument, um Personen beim Autokauf über die jeweilige Energieeffizienz des Fahrzeugs und dessen klimawirksame CO<sub>2</sub>-Emissionen in Kenntnis zu setzen. Zudem ermöglicht es die Energieetikette, auch Personenwagen mit unterschiedlichen Antrieben bezüglich ihrer Energieeffizienz zu vergleichen. Rechtsgrundlagen sind, gestützt auf Art. 8 Energiegesetz (EnG; Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft 2014), die Art. 7, 9 und 11 der Energieverordnung (EnV; Schweizerischer Bundesrat 2016), welche im Dezember 1998 in Kraft trat, und insbesondere die am 22. Juni 2016 vom Bundesrat beschlossenen Totalrevision des Anhangs 3.6 der Energieverordnung, welche per 1. Januar 2017 in Kraft treten wird. Im Anhang 3.6 sind das Design der Etikette, die Berechnung der Kategoriengrenzen und die periodische Anpassung der Energieeffizienz-Kategorien an den technischen Fortschritt festgelegt. Weitere Details werden in der Verordnung des UVEK über Angaben auf der Energieetikette von neuen Personenwagen (VEE-PW) geregelt (UVEK 2015).

Das Bundesamt für Energie aktualisiert jährlich die Grundlagendaten für die Energieetikette für Personenwagen. Die Umweltkennwerte der Treibstoff- und Strombereitstellung basieren auf Ökobilanzdaten der ecoinvent-Datenbank. Zusätzlich zu den Indikatoren Primärenergiebedarf, Gesamtumweltbelastung und Treibhausgasemissionen werden für die Energieetikette 2016 auch die Kohlendioxid-Emissionen (CO<sub>2</sub>) der Treibstoff- und der Strombereitstellung berechnet.

In dieser Studie werden die Umweltkennwerte der Bereitstellung der wichtigsten Treibstoffe und der Schweizer Strommixe aktualisiert. Die Sachbilanzen von schweizerischen und europäischen Raffinerieprodukten (Benzin, Diesel etc.) werden mit Daten zum aktuellen Herkunftsmix des verarbeiteten Rohöls angepasst. Für die Benzin- und Dieselpreispflichtung in der Schweiz werden der Anteil der importierten Treibstoffe sowie deren Herkunft und Transportdistanzen neu ermittelt.

## 2 Indikatoren der neuen Energieetikette

### 2.1 Well-to-Tank Betrachtung

Die Umweltbilanz der Treibstoff- und Strombereitstellung folgt einer Well-to-Tank Betrachtung (vom Bohrloch bis zum Tank) und umfasst die folgenden Prozesse:

- die Förderung bzw. Gewinnung der Primärenergieträger (Rohöl, Erdgas, Steinkohle, Uran, Holz für Bioethanol- oder Stromproduktion);
- alle Prozesse zur Veredelung und Konditionierung der Brennstoffe (raffinieren, destillieren, reinigen, anreichern etc.);
- jegliche Transportaufwendungen mit Pipelines, Schiffen, Lkws oder der Bahn bis zu den Tankstellen (Treibstoffe) bzw. über Netze zu den Niederspannungskunden (Strom) inklusive allfälliger Verluste;
- Bau, Betrieb sowie Rückbau und Entsorgung der Infrastrukturanlagen wie Offshore-Förderplattformen, Pipelines, Raffinerien, Kraftwerke, Überlandleitungen und Tankstellen.

Die Umweltauswirkungen der Nutzung der Treibstoffe zum Betrieb von Personenwagen werden in dieser Analyse nicht berücksichtigt. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Verbrennung der Treibstoffe in Personenwagen werden in der Energieetikette separat ausgewiesen. Sie sind deshalb in den Bilanzen der Treibstoffbereitstellung nicht enthalten.

In der Energieetikette wird der **gesamte Primärenergiebedarf** der Treibstoffe und Strommische ausgewiesen. Dieser Indikator wird als Summe der Energieinhalte der für die Treibstoff- beziehungsweise Strombereitstellung geförderten beziehungsweise geernteten Energieressourcen (Rohöl, Erdgas, Uran, geerntetes Holz, Wasserkraft) berechnet und in der Einheit Megajoule (MJ) angegeben.

Die Energieetikette 2016 enthält nach der Revision 16b der Energieverordnung erstmals Angaben zu den **fossilen Kohlendioxidemissionen (CO<sub>2</sub>)** der Treibstoffbereitstellung. Bisher wurden auf der Etiketle lediglich die fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stromproduktion ausgewiesen. Dieses Treibhausgas wird bei der Verbrennung fossiler Energieträger ausgestossen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden in der Einheit Kilogramm (kg) oder Gramm (g) angegeben.

### 2.2 Messgrössen

Der Zweck der Energieetikette für Personenwagen ist der Vergleich verschiedener Modelle und Antriebssysteme bezüglich ihres Primärenergiebedarfs beziehungsweise ihrer CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der Treibstoffverbrauch von Fahrzeugen kann als Volumen (Liter oder Kubikmeter), als Masse (Kilogramm) oder als Energieinhalt (Megajoule oder Kilowattstunde) angegeben werden.

Als Basis für den Vergleich verschiedener Treibstoffe wird häufig die Energiedichte betrachtet, die den Energieinhalt eines Treibstoffs pro Volumen angibt.<sup>1</sup> Die Einheit der **Benzinäquivalente (BÄ)** setzt die Energiedichten von Treibstoffen in Bezug zur Energiedichte von Benzin. Beispielsweise hat ein Treibstoff mit einem Benzinäquivalent von 0.5 eine halb so hohe Energiedichte im Vergleich zu Benzin. Der Tank eines Fahrzeugs mit diesem Treibstoff müsste bei gleichem Wirkungsgrad also doppelt so gross sein wie jener eines Benzinautos, um dieselbe Reichweite zu erzielen.

Analog zu den Benzinäquivalenten können **Primärenergie-Benzinäquivalente (PE-BÄ)** für die verschiedenen Treibstoffe berechnet werden. Anstelle der Energiedichte wird dabei die gesamte Primärenergie pro Volumen der Treibstoffe angegeben, wobei Benzin wiederum als Referenz dient.

Der **Primärenergiefaktor** wird als Verhältnis des gesamten Primärenergiebedarfs eines Treibstoffs zu seinem unteren Heizwert definiert und in der Einheit MJ Öl-eq/MJ angegeben. Je näher der Primärenergiefaktor eines Treibstoffs bei 1.0 liegt, desto weniger Primärenergie wurde zusätzlich zu seinem Energieinhalt für die Bereitstellung aufgewendet (siehe Kapitel 4).

## 2.3 Datengrundlage

Eine zentrale Datengrundlage zur Berechnung der Umweltkennwerte der Treibstoff- und Strombereitstellung ist der aktuellste, von den Bundesämtern verwendete ecoinvent Datenbestand v2.2:2016 (KBOB et al. 2016). Die Modellierung erfolgt gemäss den Bilanzierungsregeln des vorgenannten ecoinvent Datenbestands (Frischknecht et al. 2007). Weitere, Treibstoff- beziehungsweise Strom-spezifische Datengrundlagen sind in den Unterkapiteln des Kapitels 3 genannt.

---

<sup>1</sup> Das Volumen von flüssigen Treibstoffen (Benzin, Diesel, Flüssiggas (LPG), E-85) wird dabei in der Einheit Liter angegeben, während für gasförmige Treibstoffe (Erdgas (CNG), Wasserstoff) die Einheit Kubikmeter verwendet wird. Für Strom kann keine Energiedichte berechnet werden. In der Energieetikette wird eine Energiedichte von 1 kWh/kWh zur Berechnung der Benzinäquivalente von Strom verwendet.

## 3 Treibstoffbereitstellung

### 3.1 Übersicht

Dieses Kapitel enthält wesentliche Informationen zu den Ökobilanzen der Bereitstellung der Treibstoffe Benzin und Diesel, komprimiertes Erdgas, Flüssiggas, Bioethanol und der Bereitstellung von Elektrizität. Die Ökobilanzen von Benzin, Diesel, Erdgas und Strom sind in letzter Zeit aktualisiert worden. Deshalb ist deren Beschreibung ausführlicher als derjenige der übrigen Treibstoffe.

### 3.2 Benzin und Diesel

#### 3.2.1 Rohölförderung

Das in Schweizer Raffinerien im Jahr 2014 verarbeitete Rohöl wird hauptsächlich in Libyen, Nigeria, Kasachstan, Aserbaidschan, Irak und weiteren Ländern gefördert (EV/UP 2014). Der ecoinvent Datenbestand v2 enthält Sachbilanzen der Rohölförderung in bedeutenden Förderländern und -regionen (Jungbluth 2007). Für die Bilanzierung der Rohölförderung in Zentralasien, wurden die Art der Rohölförderung (auf dem Festland (onshore) oder im Meer (offshore)) sowie die Kohlendioxid- und Methanemissionen, die durch das Abfackeln (flaring) oder Abblasen (venting) von Begleitgas verursacht werden, neu erhoben. Die restlichen Aufwendungen und Emissionen wurden mit Ökobilanzdaten zur Erdölförderung in ähnlichen Regionen abgeschätzt.

In Aserbaidschan wird Rohöl fast ausschliesslich offshore im kaspischen Meer gefördert (EIA 2014). Für Kasachstan wurde der Anteil der onshore-Produktion basierend auf den Produktionsmengen der drei grössten Ölfelder (Tengiz, Karachaganak und Kashagan) auf 68.5 % geschätzt (EIA 2015a). Die restlichen 31.5 % des kasachischen Rohöls werden offshore gefördert.

Die Situation in Russland ist aufgrund der geografischen und historischen Nähe und der Technologie mit der Rohölförderung in Kasachstan vergleichbar. Deshalb wurde der Datensatz für die onshore-Rohölförderung in Russland als Basis für die kasachische Ölförderung verwendet. Für die offshore-Rohölförderung in Kasachstan und Aserbaidschan wurde der entsprechende Datensatz für Grossbritannien verwendet. Im ecoinvent Datenbestand v2 sind auch Datensätze für die offshore-Rohölförderung in Norwegen und den Niederlanden verfügbar. Wegen strengeren Umweltgesetzen wurden diese jedoch als weniger passend für die Situation im kaspischen Meer beurteilt als der Datensatz für die offshore-Ölförderung in Grossbritannien.

Die Fackelverluste der Rohölförderung in Kasachstan und Aserbaidschan sind bekannt. Die von Carbon Limits (2013) für die genannten Förderländer publizierten Fackelverluste für das Jahr 2012 wurden mit einem Korrekturfaktor verrechnet, der der häufig beobachteten Diskrepanz zwischen berichteten Emissionen und den von Satelliten ge-

messenen Werten Rechnung trägt (Tab. 3.1). Für Aserbaidschan wurde mangels spezifischer Informationen derselbe Korrekturfaktor verwendet wie für Kasachstan.

Die Effizienz der eingesetzten Fackeln und der Anteil unverbranntes Begleitgas bestimmen die spezifischen Schadstoffemissionen. Die spezifischen, durch das Abfackeln und Abblasen von Begleitgas verursachten Schadstoffemissionen wurden aus dem Datensatz für die onshore-Rohölförderung in Russland entnommen. Die Emissionen sind unabhängig von der Art der Ölförderung und damit identisch für Rohöl aus onshore- und offshore-Ölfeldern in Kasachstan.

Tab. 3.1 Fackelverluste von Begleitgas bei der Rohölförderung in Russland, Kasachstan und Aserbaidschan (Carbon Limits 2013).

Rohölförderung	Fackelverluste	Korrekturfaktor	Fackelverluste korrigiert
	m3/kg	-	m3/kg
Russland	0.034	2.2	0.075
Kasachstan	0.012	3.9	0.047
Aserbaidschan	0.017	3.9	0.066

Die Sachbilanz der Förderung von Rohöl aus Lateinamerika berücksichtigt neu den Anteil des offshore geförderten Öls. Die grössten Ölförderländer in Lateinamerika sind Venezuela, Mexiko und Brasilien. Der Anteil der onshore-Rohölförderung wird auf 46.5 % geschätzt und mit der Situation im Mittleren Osten angenähert. Die restlichen 53.5 % des Rohöls werden in Lateinamerika offshore gefördert (EIA 2015b, 2015c, 2015d) und mit dem Datensatz für die offshore-Rohölförderung in Grossbritannien modelliert.

### 3.2.2 Raffinerie

Die an Schweizer Tankstellen angebotenen Treibstoffe Benzin und Diesel werden von Schweizer Raffinerien produziert oder aus Europa importiert. Der Herkunftsmix von Rohöl, das in Raffinerien in der Schweiz oder in Europa verarbeitet wird, wurde auf Basis von aktuellen Statistiken der Erdölvereinigung (EV/UP 2014) und der Internationalen Energieagentur (IEA 2015) aufdatiert.

Das in Schweizer Raffinerien im Jahr 2014 verarbeitete Rohöl stammt aus Nordafrika (Libyen, Algerien, Ägypten; 35.7 %), Nigeria (22.0 %), Kasachstan (inkl. Turkmenistan; 20.3 %), Aserbaidschan (8.8 %), Zentral- und Südamerika (Mexiko, Brasilien; 6.8 %), dem Mittleren Osten (Irak; 5.7 %) sowie aus Russland (0.7 %) (EV/UP 2014). Die Importmengen von Rohöl und der Herkunftsmix sind in Tab. 3.2 aufgelistet.

Die Ferntransporte von Rohöl aus Kasachstan, Aserbaidschan, Russland und Lateinamerika in die Schweiz wurden neu ermittelt (Tab. 3.2). Die Transportdistanzen wurden hauptsächlich mit Informationen aus Jungbluth (2007) und mithilfe von Google Maps geschätzt. In Russland und Zentralasien gefördertes Rohöl wird über onshore-Pipelines nach Noworossijsk am Schwarzen Meer transportiert und anschliessend mit Öltankern nach Fos-sur-mer bei Marseille oder nach Genua gebracht. Der Transport von lateinamerikanischem Rohöl erfolgt zuerst über eine Pipeline zum Verladehafen und danach

mit Öltankern in die Häfen am Mittelmeer. Das am Mittelmeer gelöschte Rohöl wird schliesslich über eine onshore-Pipeline in die Schweiz transportiert.

Tab. 3.2 Herkunftsmix und Transportdistanzen von Rohöl, das in Schweizer Raffinerien verarbeitet (EV/UP 2014; Jungbluth 2007).

Rohöl Schweiz	Herkunftsmix		Pipeline	Tanker
	kt	%	km	km
Mittlerer Osten	283	5.7%	2'040	7'800
Nordafrika	1'772	35.7%	1'340	1'000
Nigeria	1'091	22.0%	740	8'000
Kasachstan / Turkmenistan	1'010	20.3%	2'540	1'000
Aserbaidshjan	435	8.8%	2'140	1'000
Russland	36	0.7%	5'740	1'000
Zentral- / Südamerika	337	6.8%	840	7'500
<b>Total</b>	<b>4'964</b>	<b>100.0%</b>	<b>1'560</b>	<b>3'367</b>

Die Herkunft des Rohöls, das in europäischen Raffinerien verarbeitet wird, unterscheidet sich aktuell deutlich vom Schweizer Mix (Tab. 3.3). Die wichtigsten Herkunftsländer und -regionen sind Russland (28.0 %), der Mittlere Osten (18.2 %) sowie Nigeria und weitere Länder des südlichen Afrika (15.0 %, IEA 2015). Zusätzlich haben die europäischen Förderländer Norwegen (10.8 %) und Grossbritannien (6.0 %) bedeutende Anteile am europäischen Rohölverbrauch. Der Rest des in europäischen Raffinerien verarbeiteten Rohöls wird aus Ländern Zentralasiens, Nordafrikas und Amerikas importiert.

Die Transportdistanzen für Pipelines und Öltanker basieren weitgehend auf Angaben aus Jungbluth (2007). Rohöl aus Kasachstan und Aserbaidshjan wird über eine Pipeline zum Schwarzen Meer geleitet und anschliessend mit Öltankern zum Mittelmeer transportiert. Ein Teil des in europäischen Raffinerien verarbeiteten Rohöls, das aus dem Mittleren Osten, Nordafrika oder Ländern des südlichen Afrika gefördert wurde, wird an Nordseehäfen gelöscht. Dies führt zu höheren Transportdistanzen mit Tankern im Vergleich zum Transport zu den Mittelmeerhäfen in Fos-sur-mer bei Marseille oder Genua (Jungbluth 2007). Da viele europäische Ölraffinerien in der Nähe von Küstengebieten liegen, sind die Transporte über onshore-Pipelines generell geringer als für in der Schweiz verarbeitetes Rohöl (Tab. 3.3).

Tab. 3.3 Herkunftsmix und Transportdistanzen von Rohöl, das in europäischen Raffinerien verarbeitet wird (IEA 2015; Jungbluth 2007).

Rohöl Europa	Herkunftsmix		Pipeline	Tanker
	kt	%	km	km
Mittlerer Osten	108'152	18.2%	1'300	17'000
Nordafrika	46'643	7.8%	700	2'900
Nigeria / südliches Afrika	89'092	15.0%	100	8'800
Kasachstan	31'959	5.4%	1'900	1'000
Aserbaidschan	16'892	2.8%	1'500	1'000
Russland	166'641	28.0%	260	5'200
Amerika	31'527	5.3%	200	7'500
Norwegen	64'226	10.8%	100	1'000
Grossbritannien / Europa	35'619	6.0%	100	1'000
Niederlande	4'596	0.8%	100	1'000
<b>Total</b>	<b>595'347</b>	<b>100.0%</b>	<b>551</b>	<b>6'743</b>

### 3.2.3 Tankstelle

Die Anteile der europäischen und schweizerischen Raffinerien am in der Schweiz angebotenen Benzin und Diesel wurden basierend auf Statistiken der Erdölvereinigung aktualisiert (EV/UP 2014). Im Jahr 2014 wurden 52.6 % des Benzins und 54.4 % des Diesels in Schweizer Raffinerien produziert (Tab. 3.4).

Tab. 3.4 Herkunftsmix von Benzin und Diesel an Schweizer Tankstellen im Jahr 2014 (EV/UP 2014).

Herkunftsmix	Benzin		Diesel	
	kt	%	kt	%
Schweiz	1'414	52.6%	1'458	54.4%
Europa	1'272	47.4%	1'222	45.6%
<b>Total</b>	<b>2'686</b>	<b>100.0%</b>	<b>2'680</b>	<b>100.0%</b>

Zusätzlich zum Importanteil wurden die Transportdistanzen für den Import von Benzin und Diesel in die Schweiz mit verschiedenen Verkehrsträgern neu ermittelt. Die Herkunftsstatistik und die Verkehrsträgerstatistik der Erdölvereinigung dienen als Grundlage für diese Berechnungen (EV/UP 2014). Die wichtigsten Herkunftsländer für den Import von Benzin in die Schweiz sind Deutschland (60.8 %) und Italien (24.9 %). Der importierte Diesel<sup>2</sup> wird hauptsächlich in Deutschland (35.7 %), den Niederlanden (21.8 %), Belgien und Luxemburg (18.0 %), Italien (14.2 %) und Frankreich (10.3 %) produziert. Die Verkehrsträgerstatistik erfasst für die einzelnen Herkunftsländer die Transportmittel beim Grenzübertritt in die Schweiz. Ein Grossteil der Produkte, vor allem aus Deutschen Raffinerien, wird mit der Bahn in die Schweiz transportiert. Auch die Importtransporte von Benzin und Diesel per Lkw (Italien), Binnenschiff

<sup>2</sup> In der Herkunftsstatistik der Erdölvereinigung werden Diesel und Heizöl Extra-Leicht zu Gasöl zusammengefasst.

(Niederlande, Belgien, Luxemburg) und Pipeline (Frankreich) sind von Bedeutung. Für jedes Herkunftsland wurden die grössten Raffinerien identifiziert und die Transportdistanzen in die Schweiz mithilfe von Google Maps berechnet. Der Herkunftsmix für Benzin und Diesel wurde mit den Daten zu den Verkehrsträgern beim Import in die Schweiz kombiniert, um die mittlere Transportdistanz für jeden Verkehrsträger zu ermitteln (siehe Tab. 3.5). Für die Regionalverteilung der Produkte in der Schweiz wurde in Übereinstimmung mit Jungbluth (2007) eine durchschnittliche Transportdistanz von 150 km per Lkw angenommen.

Tab. 3.5 Transportdistanzen und Verkehrsträger für den Import von Benzin und Diesel von europäischen Raffinerien bis zu Tankstellen in der Schweiz basierend auf EV/UP (2014) und eigenen Berechnungen.

Transportdistanzen	Benzin	Diesel
	km	km
Bahn	230	146
Lastwagen	123	78
Binnenschiff	111	331
Flugzeug	0	0
Pipeline	15	56
Regionalverteilung Lastwagen	150	150
<b>Total</b>	<b>478</b>	<b>611</b>

### 3.3 Erdgas (CNG) / Biogas

Die Ökobilanz der Bereitstellung von in der Schweiz getanktem Erdgas beinhaltet die Erdgasförderung, den Ferntransport über Pipeline und Flüssiggastanker, die Feinverteilung in der Schweiz, sowie das Komprimieren und Betanken an Tankstellen. Die aktuellsten Ökobilanzdaten der Erdgasbereitstellung beschreiben die Produktions- und Versorgungssituation des Jahres 2010 und sind in Bauer et al. (2012) ausführlich dokumentiert.

Das in der Schweiz genutzte Erdgas stammt aus Russland (31.4 %), den Niederlanden (27.3 %), Norwegen (26.5 %), Deutschland (8.1 %), Nordafrika (2.4 %), Grossbritannien (2.2 %), Nigeria (1.3 %) und dem Mittleren Osten (0.9 %). 3 % der Erdgaslieferungen erfolgen mit Flüssiggas-Tankern. Die Erdgasleckagen im russischen Fernleitungsnetz betragen rund 1.3 % bezogen auf die nach Europa gelieferte Erdgasmenge. In der Schweiz werden 0.7 % des Erdgases für die Kompression im Hochdrucknetz benötigt und weitere rund 0.4 % gehen im Niederdrucknetz infolge Leckagen verloren. Die Methanverluste beim Betanken sind demgegenüber vernachlässigbar.

Das an Schweizer Tankstellen erhältliche Erdgas enthält einen Anteil von mindestens 10 % Biogas. Das aufbereitete Biogas wird zu 46.2 % aus Grüngut gewonnen, zu 33.6 % aus Klärschlamm und zu 20.2 % aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Da Biogas aus Abfallprodukten entsteht, werden Energieinhalt und Umweltbelastungen den behandelten Abfällen zugeordnet. Biogas hat deshalb einen Primärenergieinhalt von 0 MJ. Die Aufwendungen für die Aufbereitung und Verteilung von Biogas werden in der Ökobilanz jedoch berücksichtigt. Dazu gehören der Bau der Biogasanlage und der

Pipeline, die Bereitstellung von Strom, Erdgas und Hilfsstoffen für die Aufbereitung sowie die bei der Aufbereitung und durch Leckagen auftretenden Schadstoffemissionen. Die Biogasaufbereitung zu Biomethan erfolgt durch Druckwechseladsorption (PSA), Aminwäsche oder eine Glykolwäsche. Für diese drei Technologien stehen Sachbilanzdaten von Stucki et al. (2011) zur Verfügung. Basierend auf der Jahresproduktion der Aufbereitungsanlagen, welche im Jahr 2012 Biomethan ins Erdgasnetz eingespeist haben, ergibt sich ein Technologiemix mit 47.9 % Druckwechseladsorption, 43.3 % Aminwäsche und 8.9 % Glykolwäsche.

### 3.4 Flüssiggas (LPG)

Flüssiggas (oder englisch „Liquefied Petroleum Gas“, LPG) wird in Erdölraffinerien hergestellt. Es besteht aus einem Gemisch von Propan und Butan. Die Ökobilanz der Bereitstellung von in der Schweiz getanktem Flüssiggas umfasst analog zu jener von Benzin und Diesel die Erdölförderung, den Ferntransport von Rohöl zu den Raffinerien sowie die Feinverteilung des Produkts an die Tankstellen und das Betanken (siehe Unterkapitel 3.2 und Hischier et al. 2010).

### 3.5 Bioethanol (E85)

Bioethanol besteht zu 85 Vol.-% aus Ethanol und 15 Vol.-% Benzin. Das Ethanol kann aus verschiedenen Rohstoffen hergestellt werden. Das in der Ökobilanz abgebildete Ethanol wird in Schweden aus Holz hergestellt. Für eine Tonne Ethanol (95 %, in Wasser) werden rund 9 m<sup>3</sup> Holzschnitzel benötigt. Die Bereitstellung von Bioethanol umfasst die Holzbewirtschaftung sowie die Ethanolherstellung in Schweden, den Transport per Bahn in die Schweiz, die Feinverteilung in der Schweiz per Lkw und die Betankung an der Tankstelle. Die Sachbilanzen sind in Jungbluth et al. (2007) ausführlich dokumentiert. Die Bereitstellung des beigemischten Benzins ist in Unterkapitel 3.2 beschrieben.

### 3.6 Elektrizität

Die Ökobilanz der Schweizer Strombereitstellung umfasst Bau, Betrieb, Rückbau und Entsorgung der Kraftwerke inklusive der Materialherstellung. Auch die Bereitstellung und Entsorgung der Brennstoffe inklusive Gewinnung und Abbau sowie des Transports zu den Kraftwerken werden mit einbezogen. Der Bau der Stromnetzinfrastruktur sowie die bei der Übertragung und Verteilung auftretenden Stromverluste werden bis zur Niederspannungssteckdose berücksichtigt. Die Ökobilanz der Schweizer Strommixe ist in Stolz & Frischknecht (2015) ausführlich beschrieben.

In der Energieetikette für Personenwagen liegt für die Strombereitstellung der Schweizer Lieferantenstrommix zu Grunde. Der Schweizer Lieferantenstrommix basiert

auf der Schweizer Stromkennzeichnung des Bundesamtes für Energie (BFE 2013) und weitergehenden Informationen.<sup>3</sup> Sie zeigt die Herkunft des in der Schweiz verkauften Stroms inklusive des zertifizierten Stroms, jedoch ohne die Stromproduktion der SBB. Die Vollerhebung des BFE umfasst 48.7 TWh oder 83 % des Stromabsatzes in der Schweiz im Jahr 2011.

Tab. 3.6 Anteile der einzelnen Technologien im Schweizer Lieferantenstrommix (BFE 2013). Die Anteile wurden auf Basis von 83 % des Stromabsatzes in der Schweiz im Jahr 2011 (48.7 TWh) ermittelt.

Technologie	Total	Aus der Schweiz	Import
<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>43.283%</b>	<b>34.144%</b>	<b>9.139%</b>
<b>Wasserkraft</b>	<b>41.067%</b>	<b>32.524%</b>	<b>8.543%</b>
<b>Andere Erneuerbare</b>	<b>0.941%</b>	<b>0.353%</b>	<b>0.588%</b>
<i>Sonne</i>	<i>0.189%</i>	<i>0.135%</i>	<i>0.055%</i>
<i>Wind</i>	<i>0.557%</i>	<i>0.038%</i>	<i>0.518%</i>
<i>Biomasse</i>	<i>0.194%</i>	<i>0.178%</i>	<i>0.015%</i>
<i>Geothermie</i>	<i>0.001%</i>	<i>0.001%</i>	<i>0.000%</i>
<b>Geförderter Strom</b>	<b>1.275%</b>	<b>1.268%</b>	<b>0.008%</b>
<b>Nicht erneuerbare Energien</b>	<b>43.359%</b>	<b>31.768%</b>	<b>11.591%</b>
<b>Kernenergie</b>	<b>41.426%</b>	<b>31.588%</b>	<b>9.839%</b>
<b>Fossile Energieträger</b>	<b>1.933%</b>	<b>0.181%</b>	<b>1.752%</b>
<i>Erdöl</i>	<i>0.059%</i>	<i>0.024%</i>	<i>0.034%</i>
<i>Erdgas</i>	<i>1.764%</i>	<i>0.146%</i>	<i>1.618%</i>
<i>Steinkohle</i>	<i>0.110%</i>	<i>0.010%</i>	<i>0.100%</i>
<b>Abfälle</b>	<b>1.514%</b>	<b>1.496%</b>	<b>0.018%</b>
<b>Nicht überprüfbare Energieträger</b>	<b>11.844%</b>	<b>0.000%</b>	<b>11.844%</b>
<b>Total</b>	<b>100.000%</b>	<b>67.409%</b>	<b>32.591%</b>

Der Schweizer Lieferantenstrommix wird zu einem bedeutenden Teil in Wasserkraftwerken (41.1 %) und Kernkraftwerken (41.4 %) erzeugt. Die Anteile von anderen erneuerbaren und fossilen Energieträgern sowie von Kehrlichtverbrennungsanlagen am Lieferantenstrommix sind vergleichsweise gering. Der Anteil von nicht überprüfbaren Energieträgern am Lieferantenstrommix beträgt 11.8 %. Dieser Anteil wird mit dem europäischen Strommix (European Network of Transmission System Operators for Electricity, ENTSO-E) angenähert. Der von Elektrizitätswerken an Schweizer Kunden gelieferte Strom wird zu ungefähr zwei Dritteln in Schweizer Kraftwerken produziert und zu einem Drittel aus europäischen Ländern importiert.

Die Kategorie geförderter Strom entspricht dem Strom aus Anlagen, die eine kosten-deckende Einspeisevergütung (KEV) erhalten, und wird daher entsprechend dem Geschäftsbericht der Stiftung KEV (KEV 2011) auf die verschiedenen erneuerbaren Technologien aufgeteilt (Tab. 3.7). Darin sind das Produktionsvolumen und die Anteile der

<sup>3</sup> Persönliche Mitteilung von R. Zurbrugg, Zurbrugg VerkaufsOptimierung, 24.11.2014.

verschiedenen Technologien aufgelistet. Der geförderte Strom wird hauptsächlich mit Wasserkraft (51.1 %) und Biomasse (38.0 %) produziert. Die Anteile von Wind (6.1 %) und Fotovoltaik (4.7 %) sind deutlich geringer.

Tab. 3.7 Anteile der einzelnen Technologien an der geförderten Stromproduktion in der Schweiz (KEV 2011).

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Wind	44.4	6.15%
Wasserkraft	369.2	51.14%
Biomasse	274.2	37.99%
Fotovoltaik	34.1	4.73%
<b>Total</b>	<b>721.8</b>	<b>100.00%</b>

Der aus Biomasse produzierte Strom kann weiter unterteilt werden in Strom aus Holz, landwirtschaftlichem Biogas und industriellem Biogas. Die Angaben zu diesen Anteilen stammen aus der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien (BFE 2012). Die Anteile der verschiedenen Technologien sind in Tab. 3.8 gezeigt.

Tab. 3.8 Anteile der einzelnen Technologien für Strom aus Biomasse (BFE 2012).

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Holz	192.2	46.00%
Biogas Landwirtschaft	51.3	12.29%
Biogas Industrie	174.3	41.71%
<b>Total</b>	<b>417.8</b>	<b>100.00%</b>

## 4 Umweltkennwerte der Energieetikette für Personenwagen

### 4.1 Primärenergie-Benzinäquivalente

Die Stoffwerte Dichte, Heizwert und Energiedichte sowie die Benzinäquivalente der in der Energieetikette berücksichtigten Normtreibstoffe wurden von der Empa<sup>4</sup> zusammengestellt und sind im linken Teil der Tab. 4.1 aufgelistet. Die sogenannten Benzinäquivalente vergleichen die getankten Treibstoffe bzw. den Ladungsstrom hinsichtlich ihrer Energiedichte und setzen diese in Beziehung zu Benzin als Referenztreibstoff (siehe Unterkapitel 2.2). Diesel und Erdgas (CNG) haben ein Benzinäquivalent von 1.13 L/L bzw. 1.04 L/m<sup>3</sup> und liegen damit über jenem von Benzin. Strom hat das tiefste Benzinäquivalent (0.12 L/kWh).

Die Primärenergie-Benzinäquivalente beziehen die Vorprozesse der Treibstoff- und Strombereitstellung mit ein und ermöglichen so einen Vergleich der Energieeffizienz von Personenwagen mit verschiedenen Antriebssystemen. Aus diesem Grund sind sie die relevante Grösse für die Berechnung der Energieeffizienzkategorie, die auf der Energieetikette angezeigt wird. Im Gegensatz zum Benzinäquivalent von Treibstoffen, das ein Mass für deren Energiedichte ist und darum möglichst hoch sein soll (grössere Reichweite bei gleichem Tankvolumen), werden bei den Primärenergie-Benzinäquivalenten generell tiefere Werte angestrebt. Ein tieferer Primärenergiebedarf (bzw. Primärenergiefaktor oder Primärenergie-Benzinäquivalent) bedeutet, dass weniger Energie für die Förderung, Aufbereitung und den Transport eines Treibstoffs bis zur Tankstelle aufgewendet wird.

Der rechte Teil der Tab. 4.1 enthält den Primärenergiefaktor, den spezifischen Primärenergiebedarf sowie die Primärenergie-Benzinäquivalente der Treibstoffe. Erdgas mit einem Anteil von 10 % Biogas hat mit 1.07 MJ Öl-eq/MJ den geringsten Primärenergiefaktor. Bioethanol (E85) hat mit 3.05 MJ Öl-eq/MJ den höchsten Primärenergiefaktor unter den betrachteten Treibstoffen. Der Primärenergiebedarf wird hauptsächlich durch die Holzproduktion im Wald (82 %) bestimmt, während die Ethanoldestillation und die Benzinbereitstellung von geringerer Bedeutung sind. Der Primärenergiefaktor von Elektrizität beträgt 2.79 MJ Öl-eq/MJ bzw. 10.0 MJ Öl-eq/kWh.

Benzin wird als Referenztreibstoff für die Primärenergie-Benzinäquivalente definiert und hat darum ein Primärenergie-Benzinäquivalent von 1.00 L/L. Das Primärenergie-Benzinäquivalent von Diesel ist leicht höher als jenes von Benzin und beträgt 1.08 L/L. Wegen seiner geringeren Dichte hat Flüssiggas (LPG; 0.70 L/L) einen tieferen Primärenergie-Benzinäquivalent-Wert als Erdgas (0.82 L/m<sup>3</sup>). Bioethanol (E85) hat mit

---

<sup>4</sup> Persönliche Mitteilung Thomas Bütler, Empa Dübendorf, 06.06.2016.

1.63 L/L das höchste Primärenergie-Benzinäquivalent. Das Primärenergie-Benzinäquivalent von Strom wird als Verhältnis des Primärenergiefaktors zum spezifischen Primärenergiebedarf von Benzin berechnet und beträgt 0.24 L/kWh.

Tab. 4.1 Stoffwerte und Primärenergiebedarf der Normtreibstoffe der Energieetikette 2016. Die Stoffwerte Dichte, spezifischer Heizwert und Energiedichte basieren auf Angaben der Empa.<sup>4</sup>

Treibstoff	Normverbrauchsmessung Bestimmung des energetischen Verbrauchs anhand eines definierten Normtreibstoffes					Umrechnung in Primärenergie Deckung des energetischen Verbrauchs mit realem Treibstoff		
	Normverbrauchs-korrektur	Dichte	Spezifischer Heizwert	Energiedichte	Benzinäquivalent	Primärenergiefaktor	Spezifische Primärenergie Basis Heizwert	Primärenergie-Benzinäquivalent Basis Heizwert
Norm-Benzin Euro-5	1.000	0.749 kg/L	41.7 MJ/kg	8.67 kWh/L	1.00 L/L	1.36 MJ Öl-eq/MJ	42.4 MJ Öl-eq/L	1.00 L/L
Norm-Diesel Euro-5	1.000	0.835 kg/L	42.2 MJ/kg	9.79 kWh/L	1.13 L/L	1.30 MJ Öl-eq/MJ	45.7 MJ Öl-eq/L	1.08 L/L
CNG / 10% Biogas	0.963	0.679 kg/m <sup>3</sup>	49.7 MJ/kg	9.36 kWh/m <sup>3</sup>	1.04 L/m <sup>3</sup>	1.07 MJ Öl-eq/MJ	34.8 MJ Öl-eq/m <sup>3</sup>	0.82 L/m <sup>3</sup>
Norm-LPG (85% C3H8)	1.000	0.538 kg/L	46.2 MJ/kg	6.91 kWh/L	0.80 L/L	1.20 MJ Öl-eq/MJ	29.8 MJ Öl-eq/L	0.70 L/L
Norm-E85	1.000	0.783 kg/L	29.0 MJ/kg	6.31 kWh/L	0.73 L/L	3.05 MJ Öl-eq/MJ	69.2 MJ Öl-eq/L	1.63 L/L
Elektrizität	*	*	*	1.00 kWh/kWh	0.12 L/kWh	2.79 MJ Öl-eq/MJ	*	0.24 L/kWh

## 4.2 Primärenergiebedarf und Kohlendioxidemissionen

Der Primärenergiebedarf und die Kohlendioxidemissionen der Treibstoffe und von Strom werden in Tab. 4.2 gezeigt. Diese Umweltkennwerte entsprechen der in Unterkapitel 2.1 erläuterten Well-to-Tank Betrachtung und beinhalten die Prozesse von der Extraktion der Energieressourcen (wie Rohöl) bis zur Bereitstellung an der Tankstelle. Die bei der Verbrennung der Treibstoffe im Fahrzeug entstehenden Emissionen werden in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

Die in Tab. 4.2 enthaltenen Primärenergiefaktoren bilden die Grundlage der Berechnung der Primärenergie-Benzinäquivalente. Zusätzlich zu den Normtreibstoffen (Tab. 4.1) werden in Tab. 4.2 auch der Primärenergiebedarf und die Kohlendioxidemissionen für reines Erdgas und reines Biogas aufgelistet. Da Biogas aus Abfällen gewonnen wird, liegt sein Primärenergiefaktor mit 0.352 MJ Öl-eq/MJ tiefer als 1 und deutlich tiefer im Vergleich zu den übrigen Treibstoffen. Reines Erdgas hat einen Primärenergiefaktor von 1.15 MJ Öl-eq/MJ.

Die Kohlendioxidemissionen werden nicht auf den Energieinhalt der Treibstoffe bezogen und sind darum nur in Bezug auf die Masse oder das Volumen des jeweiligen Treibstoffes vergleichbar. Die fossilen Kohlendioxidemissionen pro Kilogramm Treibstoff schwanken zwischen 0.315 kgCO<sub>2</sub>/kg (Erdgas) und 0.678 kgCO<sub>2</sub>/kg (Benzin). Der Schweizer Lieferantenstrommix ab einer Niederspannungssteckdose verursacht fossile Kohlendioxidemissionen von 22.7 g CO<sub>2</sub>/MJ (81.6 g CO<sub>2</sub>/kWh).

Tab. 4.2 Dichte, Heizwert, Primärenergiebedarf und der Treibstoffe für die Energieetikette 2016. Die Umweltkennwerte basieren auf dem ecoinvent Datenbestand v2.2:2016.

Umweltkennwerte 2016									
Treibstoffe	Dichte		Heizwert Hu		Primärenergie		Primärener- giefaktor MJ-eq/MJ	Kohlendioxidemissionen	
	kg/Nm <sup>3</sup>	kg/L	MJ/Nm <sup>3</sup>	MJ/kg	MJ-eq/kg	MJ-eq/L		kgCO <sub>2</sub> /kg	kgCO <sub>2</sub> /L
Benzin		0.747		42.5	57.7	43.1	1.36	0.678	0.507
Diesel		0.835		42.5	55.1	46.0	1.30	0.513	0.429
E-85		0.783		29.0	88.4	69.2	3.05	0.509	0.398
CNG	0.679	0.000679		49.7	57.1	0.0388	1.15	0.315	0.000214
Biogas	0.679	0.000679		49.7	17.5	0.0119	0.352	0.532	0.000361
CNG / 10% Biogas	0.679	0.000679		49.7	53.2	0.0361	1.07	0.336	0.000228
LPG		0.538		46.2	55.4	29.8	1.20	0.547	0.294
					Primärenergie		Primärener- giefaktor MJ-eq/MJ	Kohlendioxidemissionen	
Elektrizität					MJ-eq/MJ	MJ-eq/kWh		kgCO <sub>2</sub> /MJ	kgCO <sub>2</sub> /kWh
Strom					2.79	10.1	2.79	0.0227	0.0816

### 4.3 Prozessbeiträge

Die Beiträge der wichtigsten Prozesse am gesamten Primärenergiebedarf und an den fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen sind in Fig. 4.1 bis Fig. 4.4 dargestellt. Für die Treibstoffe Benzin, Diesel und Erdgas mit einem Anteil von 10 % Biogas werden die folgenden Prozesse unterschieden:

- Förderung: Extraktion von Rohöl und Erdgas, Produktion von Biogas;
- Ferntransport von Rohöl und Erdgas (nicht nötig für Biogas);
- Raffinerie / Aufbereitung: Herstellung von Benzin und Diesel aus Rohöl, Aufbereitung von Biogas (nicht nötig für Erdgas);
- Feinverteilung der Treibstoffe;
- Tankstelle.

Der Primärenergieinhalt der Treibstoffe wird für den Primärenergiebedarf zusätzlich zu den oben genannten Prozessen gezeigt (siehe Fig. 4.1). Bei Benzin, Diesel und Erdgas entspricht der Primärenergieinhalt dem Heizwert des Treibstoffs. Biogas wird aus Abfallprodukten hergestellt und hat darum einen Primärenergieinhalt von 0 MJ (siehe Unterkapitel 3.3). Der Primärenergieinhalt von Benzin, Diesel und CNG / 10 % Biogas trägt 73.7 %, 77.1 % bzw. 84.1 % zum gesamten Primärenergiebedarf der Treibstoffbereitstellung bei. Die Förderung verursacht 8.6 % bzw. 12.7 % des Primärenergiebedarfs von Benzin und Diesel. Bei CNG / 10 % Biogas beträgt Anteil der Förderung am Primärenergiebedarf 2.1 %. Zwischen 1.5 % (Benzin) und 4.0 % (CNG / 10 % Biogas) des Primärenergiebedarfs werden durch den Ferntransport verursacht. Die Raffinerie hat einen Anteil von 14.3 % bzw. 6.7 % am Primärenergiebedarf von Benzin und Diesel. Die Aufbereitung ist weniger bedeutend für Erdgas mit einem Anteil von 10 % Biogas (1.6 %). Die Feinverteilung verursacht bei allen Treibstoffen knapp 2 %

des Primärenergiebedarfs. Die Tankstelle ist vernachlässigbar für den Primärenergiebedarf von Benzin und Diesel. Der Beitrag der Tankstelle zum Primärenergiebedarf von CNG / 10 % Biogas von 6.3 % wird hauptsächlich durch den Strombedarf der Kompressoren verursacht. Die Beiträge der Infrastruktur werden für jeden Prozess separat gezeigt (schraffierte Flächen in Fig. 4.1) und sind nur für den Ferntransport, die Feinverteilung und die Tankstelle relevant.

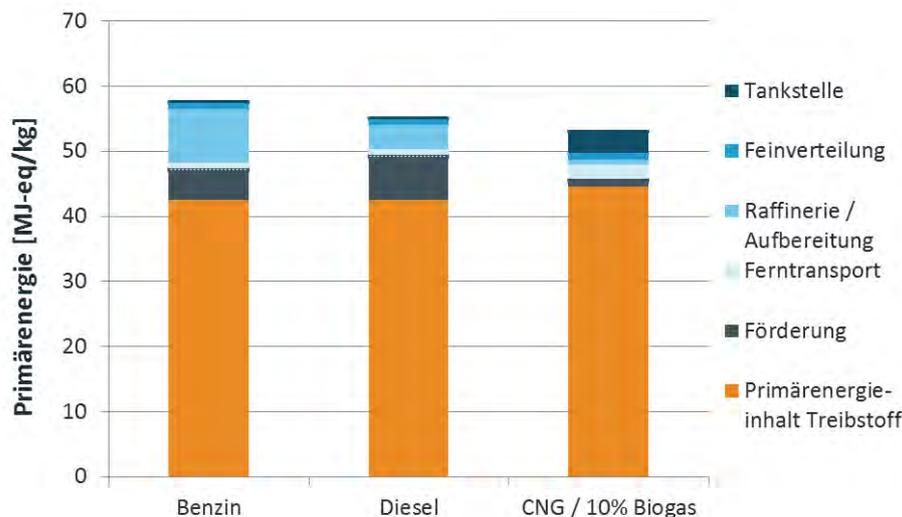


Fig. 4.1 Beiträge des Primärenergieinhalts und der wichtigsten Prozesse zur Primärenergie der Treibstoffe Benzin, Diesel und CNG / 10 % Biogas. Die Beiträge der Infrastruktur werden für jeden Prozess separat als schraffierte Flächen dargestellt.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Bereitstellung von Benzin, Diesel und CNG / 10 % Biogas werden zu 32.7 %, 45.2 % bzw. 38.6 % durch die Förderung verursacht (siehe Fig. 4.2). Der Ferntransport hat einen Anteil von 31.1 % an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen von CNG / 10 % Biogas und ist weniger bedeutend für Benzin und Diesel (6.6 % bzw. 9.1 %). Die Raffinerie ist für 52.0 % bzw. 34.1 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Benzin und Diesel verantwortlich. Der Anteil der Aufbereitung an den CO<sub>2</sub>-Emissionen von CNG / 10 % Biogas ist geringer (6.5 %), da nur das Biogas aufbereitet werden muss. Die Feinverteilung verursacht 8.3 %, 11.2 % bzw. 15.7 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Benzin, Diesel und CNG / 10 % Biogas. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Tankstelle sind vernachlässigbar für Benzin und Diesel und betragen 8.1 % an den gesamten Emissionen von CNG / 10 % Biogas. Die Beiträge der Infrastruktur werden für jeden Prozess separat gezeigt (schraffierte Flächen in Fig. 4.1) und haben im Durchschnitt einen Anteil von ca. 10 % an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen.

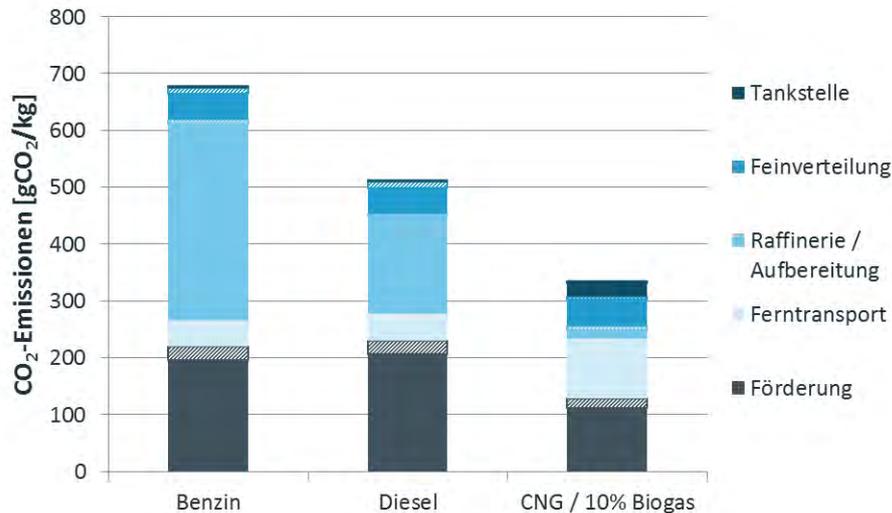


Fig. 4.2 Beiträge der wichtigsten Prozesse zu den fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Treibstoffe Benzin, Diesel und CNG / 10 % Biogas. Die Beiträge der Infrastruktur werden für jeden Prozess separat als schraffierte Flächen dargestellt.

Für die Strombereitstellung werden die Beiträge der Technologien Wasserkraft, übrige erneuerbare Energieträger, Kernenergie, fossile Energieträger und nicht überprüfbare Energieträger sowie des Übertragungs- und Verteilnetzes quantifiziert. Der Primärenergiebedarf des Schweizer Lieferantenstrommixes 2011 wird zu 64.4 % durch Kernkraftwerke verursacht (siehe Fig. 4.3), wobei vor allem der thermische Wirkungsgrad der Kernkraftwerke und zu einem kleineren Teil die Anreicherung von Uran relevant sind. Die nicht überprüfbaren Energieträger haben einen Anteil von 13.9 % am gesamten Primärenergiebedarf. Die Stromproduktion in Wasserkraftwerken, die einen Anteil von über 41 % am Schweizer Lieferantenstrommix 2011 hat (siehe Tab. 3.6), verursacht 18.3 % des Primärenergiebedarfs. Generell hat Strom aus erneuerbaren Quellen, mit Ausnahme von Holzkraftwerken, einen deutlich tieferen Primärenergiebedarf als Strom aus nuklearen oder fossilen Kraftwerken (Stolz & Frischknecht 2015).<sup>5</sup> Die übrigen erneuerbaren Energieträger, fossile Energieträger sowie das Übertragungs- und Verteilungsnetz haben Anteile von weniger als 2 % am gesamten Primärenergiebedarf der Elektrizität. Die Kraftwerksinfrastruktur ist von untergeordneter Bedeutung für den Primärenergiebedarf.

<sup>5</sup> Bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs von erneuerbaren Stromproduktionstechnologien wird gemäss Frischknecht et al. (2015) die geerntete Energie berücksichtigt. Bei der Energiegewinnung in erneuerbaren Anlagen wird die Rotationsenergie (für Wasserkraft bzw. Windkraft) als Primärenergie-träger betrachtet, während bei Photovoltaikanwendungen die unmittelbar hinter der Solarzelle entstehende elektrische Energie als Bezugsgrösse gewählt wird.

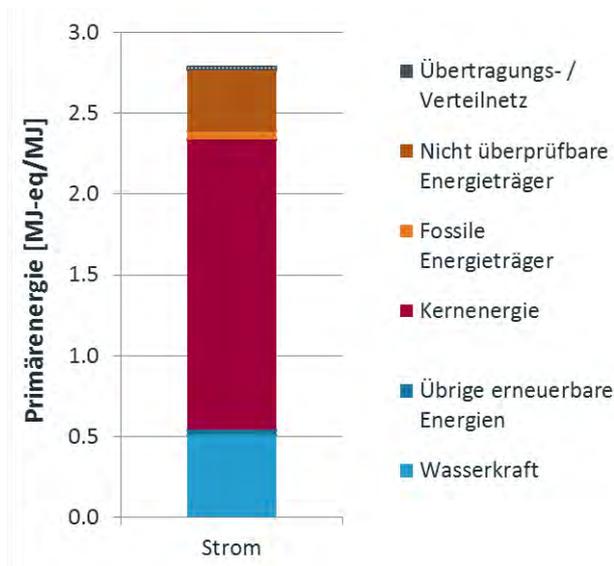


Fig. 4.3 Beiträge der wichtigsten Prozesse zur Primärenergie von Strom. Die Beiträge der Infrastruktur werden für jeden Prozess separat als schraffierte Flächen dargestellt.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schweizer Lieferantenstrommixes 2011 werden zu 73.0 % durch nicht überprüfbare Energieträger verursacht (siehe Fig. 4.4). Diese werden mit dem europäischen ENTSO-E Strommix modelliert, der zu einem grossen Teil in fossilen Kraftwerken produziert wird. Strom aus fossilen Energieträgern, der zu 90 % importiert wird (siehe Tab. 3.6), hat einen Anteil von 12.1 % an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Lieferantenstrommixes. Die Kernenergie, die Wasserkraft und die übrigen erneuerbaren Energieträger verursachen 6.5 %, 2.7 % bzw. 0.9 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Dabei ist die Infrastruktur für einen Grossteil der Emissionen der Wasserkraft und der übrigen erneuerbaren Energieträger verantwortlich (schraffierte Flächen in Fig. 4.4). Das Übertragungs- und Verteilnetz hat einen Anteil von 4.9 % an den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Lieferantenstrommixes 2011.

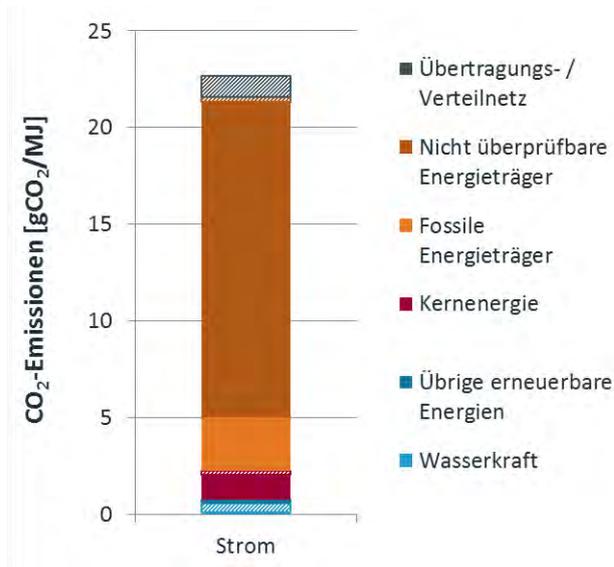


Fig. 4.4 Beiträge der wichtigsten Prozesse zu den fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen von Strom. Die Beiträge der Infrastruktur werden für jeden Prozess separat als schraffierte Flächen dargestellt.

## Literatur

- Bauer et al. 2012 Bauer C., Frischknecht R., Eckle P., Flury K., Neal T., Papp K., Schori S., Simons A., Stucki M. and Treyer K. (2012) Umweltauswirkungen der Stromerzeugung in der Schweiz. ESU-services Ltd & Paul Scherrer Institute im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Uster & Villigen.
- BFE 2012 BFE (2012) Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2011. Bundesamt für Energie, Bern, CH, retrieved from: [http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00543/index.html?lang=de&dossier\\_id=00772](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00543/index.html?lang=de&dossier_id=00772).
- BFE 2013 BFE (2013) Umfrage Stromkennzeichnung 2011. Bundesamt für Energie BFE, Bern, CH, retrieved from: [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de\\_601536971.pdf](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_601536971.pdf).
- Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft 2014 Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft (2014) Energiegesetz, EnG, vom 26. Juni 1998 (Stand am 1. Mai 2014). In: SR 730.0, Bern, retrieved from: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19983485/201405010000/730.0.pdf>.
- Carbon Limits 2013 Carbon Limits (2013) Associated Petroleum Gas Flaring Study for Russia, Kazakhstan, Turkmenistan and Azerbaijan. Carbon Limits AS, Oslo, retrieved from: <http://www.ebrd.com/downloads/sector/sei/ap-gas-flaring-study-final-report.pdf>.
- EIA 2014 EIA (2014) Azerbaijan. Energy Information Administration, Washington, DC, retrieved from: <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=AZE>.
- EIA 2015a EIA (2015a) Kazakhstan. Energy Information Administration, Washington, DC, retrieved from: <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=KAZ>.
- EIA 2015b EIA (2015b) Venezuela. Energy Information Administration, Washington, DC, retrieved from: <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=VEN>.
- EIA 2015c EIA (2015c) Mexico. Energy Information Administration, Washington, DC, retrieved from: <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=MEX>.
- EIA 2015d EIA (2015d) Brazil. Energy Information Administration, Washington, DC, retrieved from: <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=BRA>.
- EV/UP 2014 EV/UP (2014) Jahresbericht 2014. Erdöl-Vereinigung, Zürich, retrieved from: [https://www.erdoel.ch/images/com\\_evdocs/ev\\_jahresbericht\\_2014.pdf](https://www.erdoel.ch/images/com_evdocs/ev_jahresbericht_2014.pdf).

- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischer R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2007) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Frischknecht et al. 2015 Frischknecht R., Wyss F., Buesser S., Lützkendorf T. and Balouktsi M. (2015) Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. In: *Int J LCA*, 20(7), pp. 957-969, DOI: 10.1007/s11367-015-0897-4.
- Hischer et al. 2010 Hischer R., Althaus H.-J., Bauer C., Büsler S., Doka G., Frischknecht R., Kleijer A., Leuenberger M., Nemecek T. and A. S. (2010) Documentation of changes implemented in ecoinvent Data v2.2. ecoinvent Centre, Zürich, Switzerland.
- IEA 2015 IEA (2015) Monthly Oil Statistics 2015. International Energy Agency IEA, Paris, retrieved from: <http://www.iea.org/media/statistics/surveys/oil/OIL1215.XLS>.
- Jungbluth 2007 Jungbluth N. (2007) Erdöl. In: *Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz*, Vol. ecoinvent report No. 6-IV, v2.0 (Ed. Dones R.). Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Jungbluth et al. 2007 Jungbluth N., Chudacoff M., Dauriat A., Dinkel F., Doka G., Faist Emmenegger M., Gnansounou E., Kljun N., Schleiss K., Spielmann M., Stettler C. and Sutter J. (2007) Life Cycle Inventories of Bioenergy. ecoinvent report No. 17, v2.0. ESU-services, Uster, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- KBOB et al. 2016 KBOB, eco-bau and IPB (2016) KBOB Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2016: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand 2016. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: [www.lc-inventories.ch](http://www.lc-inventories.ch).
- KEV 2011 KEV (2011) Stiftung kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) Geschäftsbericht 2011. Stiftung kostendeckende Einspeisevergütung (KEV), Frick, CH, retrieved from: <http://www.stiftung-kev.ch/berichte/jahresberichte.html>.
- Schweizerischer Bundesrat 2016 Schweizerischer Bundesrat (2016) Energieverordnung (EnV) vom 7. Dezember 1998 (Stand am 1. Januar 2016). In: SR 730.01, Bern, retrieved from: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19983391/201601010000/730.01.pdf>.
- Stolz & Frischknecht 2015 Stolz P. and Frischknecht R. (2015) Umweltbilanz Strommix Schweiz 2011. treeze Ltd., Uster, CH.

- Stucki et al. 2011 Stucki M., Jungbluth N. and Leuenberger M. (2011) Life Cycle Assessment of Biogas Production from Different Substrates. im Auftrag des Bundesamtes für Energie BfE, ESU-services Ltd., Uster, retrieved from: <http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/> (login).
- UVEK 2015 UVEK (2015) Verordnung des UVEK über Angaben auf der Energieetikette von neuen Personenwagen (VEE-PW). In: 730.011.1. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Bern, retrieved from: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20110111/201508010000/730.011.1.pdf>.