
Umweltkennwerte und Primär- energiefaktoren von Transportsys- temen

KBOB-Ökobilanzdatenbestand v.2.2:2016, Stand 2016

Autoren

Philippe Stolz, Rolf Frischknecht

Kunde

**Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der
öffentlichen Bauherren KBOB**

Uster, 24. Februar 2017

Impressum

Titel	Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Transportsystemen
Autoren	Philippe Stolz, Rolf Frischknecht treeze Ltd., fair life cycle thinking Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster www.treeze.ch Phone +41 44 940 61 91, Fax +41 44 940 61 94 info@treeze.ch
Kunde	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB
Liability Statement	Information contained herein have been compiled or arrived from sources believed to be reliable. Nevertheless, the authors or their organizations do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility.
Version	563-Transportsysteme-v1.0, 24.02.2017 18:39:00

Abkürzungsverzeichnis

a	annum (Jahr)
CED	Kumulierter Energieaufwand (engl. Cumulative Energy Demand)
CH	Schweiz
CO ₂	Kohlendioxid
DE	Deutschland
fkm	Fahrzeugkilometer
GLO	Globaler Durchschnitt
GWP	Treibhauspotenzial (engl. global warming potential)
h	Stunde
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren
ICE	Intercity-Express (deutscher Schnellzug)
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage; engl. municipal waste incineration
kWh	Kilowattstunde
LiMn ₂ O ₄	Lithium-Mangan-Oxid
MJ	Megajoule
m ³	Kubikmeter
NMVOC	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (engl. non-methane volatile organic compounds)
PEF	Primärenergiefaktor
PF	Partikelfilter
pkm	Personenkilometer (Einheit für Transportleistung)
RER	Europa (Regionsbezeichnung in ecoinvent)
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
tkm	Tonnenkilometer (Einheit für Transportleistung)
UBP	Umweltbelastungspunkte

Inhalt

1	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
1.1	Übersicht	1
1.2	Bezugsgrösse	1
1.3	Systemgrenzen und Modellierungsgrundsätze	1
2	RESULTATTABELLEN	4
3	AKTUALISIERUNG DER HINTERGRUNDDATEN	9
4	SACHBILANZEN TRANSPORTLEISTUNGEN	11
4.1	Personenverkehr	11
4.2	Güterverkehr	11
4.3	Lärmemissionen	13
4.4	Korrekturen Flugzeugtransport	14
4.5	Sachbilanzdaten Elektroautos	16
5	PARAMETRISIERTE RECHNER	20
5.1	Personentransport-Rechner	20
5.2	Gütertransport-Rechner	21
6	LITERATUR	24
A	ANHANG: VERWENDETE DATENSÄTZE	28

1 Einleitung und Fragestellung

1.1 Übersicht

Für die Umsetzung der 2000W-Gesellschaft in der Schweiz, in Kantonen, Regionen, Gemeinden und Städten, für SIA Energieausweis für Gebäude und für die SIA Merkblätter Graue Energie von Gebäuden (SIA 2032), SIA-Effizienzpfad Energie (SIA 2040), Verkehr (SIA 2039) werden Faktoren zum Kumulierten Energieaufwand (Primärenergiefaktoren), zu den Treibhausgasemissionen und zu den Umweltbelastungspunkten 2013 von Transportleistungen benötigt. Diese Faktoren sowie eine Beschreibung der verwendeten Datensätze und Annahmen befinden sich in diesem Bericht. Die zusammenfassenden Tabellen mit allen Faktoren befinden sich in Tab. 2.1 bis Tab. 2.4. Es handelt sich um eine weitere Aktualisierung der 2008 erstmals publizierte Liste.

Die Sachbilanzen von Transportdienstleistungen des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffverkehrs wurden im Rahmen der Aktualisierung und Erweiterung der mobitool-Faktoren v2.0 überarbeitet (Frischknecht et al. 2016; Stolz et al. 2016b). Die Datengrundlagen, Annahmen und Berechnungen sind in den Berichten von Stolz et al. (2016a) und Messmer und Frischknecht (2016c, 2016b, 2016a) ausführlich dokumentiert. Für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 wurden die aktualisierten Sachbilanzen von Gütertransporten mit Lastwagen und von Baumaschinen aus mobitool v2.0 übernommen.

In den nachfolgenden Abschnitten dieses Kapitels wird auf die Bezugsgrößen, die Systemgrenzen und die Modellierungsgrundsätze eingegangen. Das Kapitel 2 enthält die Resultattabellen mit den aktualisierten Umweltkennwerten und Primärenergiefaktoren von Transportsystemen. In Kapitel 3 werden die Datenbasis und die Änderungen an den Hintergrunddaten beschrieben. Im Kapitel 4 sind die modellierten Transportsysteme dokumentiert und in Kapitel 5 werden die parametrisierten Rechner für Personen- und Gütertransporte erklärt.

1.2 Bezugsgrösse

Die Ergebnisse beziehen sich auf die nachfolgend aufgelisteten Bezugsgrößen:

- Personentransporte: 1 pkm (Personenkilometer) und 1 fkm (Fahrzeugkilometer)
- Gütertransporte: 1 tkm (Tonnenkilometer) und 1 fkm (Fahrzeugkilometer)
- Helikopter: 1 h (Stunde)
- Aushub maschinell: 1 m³ (Kubikmeter)

1.3 Systemgrenzen und Modellierungsgrundsätze

Die Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren werden für jedes Verkehrsmittel einerseits als Total berechnet und andererseits auf den Betrieb des Fahrzeugs (inkl. Be-

reitstellung des Treibstoffs / Stroms), die Verkehrsinfrastruktur (Bau, Unterhalt, Rückbau) und das Fahrzeug (Herstellung, Unterhalt, Entsorgung) aufgeteilt.

Um die unterschiedliche Lebensdauer von verschiedenen Elementen der Verkehrsinfrastruktur zu berücksichtigen, wurden die Datensätze für Bau, Unterhalt und Rückbau der Verkehrsinfrastruktur für einen Meter Strasse bzw. Gleis und ein Jahr berechnet. Beispielsweise wurde die Funktionsdauer (Lebensdauer) der Strassendeckschicht auf 15 Jahre angesetzt, diejenige der Tragschicht auf 40 Jahre und diejenige des Kieskoffers auf 100 Jahre. Material-, Land- und Energieverbrauch sowie die Emissionen beim Bau und Rückbau verschiedener Strassentypen, Gleise, Tunnels und Brücken wurden auf die Bezugsgrösse (1 m·a) umgerechnet. Beim Unterhalt der Strasseninfrastruktur wurde den Aufwendungen und Umweltbelastungen aus dem Schneeräumen und Salzen, der Unkrautbekämpfung, dem Linienmarkieren sowie der Strassenbeleuchtung Rechnung getragen.

Die Verkehrsinfrastruktur wird zudem meist von mehreren Verkehrsmitteln genutzt. Für die Aufteilung der Umweltbelastungen des Baus und Rückbaus der Verkehrsinfrastruktur auf die verschiedenen Transportdienstleistungen wurden die jährlich transportierten Brutto-Tonnenkilometer als Allokationsschlüssel verwendet. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass das Fahrzeuggewicht hauptsächlich für die Abnutzung der Infrastruktur und somit auch für die Erneuerungsaufwendungen verantwortlich ist. Im Gegensatz dazu wird für die Zuordnung der Umweltbelastungen des Infrastruktur-Unterhalts die zeitliche Benützung der Verkehrsinfrastruktur verschiedener Fahrzeugtypen unabhängig von ihrem Gewicht als Allokationsschlüssel verwendet. Für die Berechnungen der Strasseninfrastruktur wurden Daten aus dem Ökoinventar Transporte (Maibach et al. 1999; Strassenquerschnitt und Materialien) und aus der Schweizerischen Verkehrsstistik (Bundesamt für Statistik 2000; Strassenlängen) verwendet.

Um die Umweltbelastungen durch die Fahrzeug-Herstellung und -Entsorgung auf die Transportleistung umzulegen, wurden Fahrzeug-Nachfragefaktoren für die verschiedenen Transportdienstleistungen über die durchschnittlichen Lebenszeit-Fahrleistungen (in km) der jeweiligen Fahrzeugtypen ermittelt. Für die Berechnung dieser Fahrleistungen sowie für die Energieverbräuche (Treibstoffe) wurden Daten der in Tab. 1.1 aufgelisteten Quellen verwendet. Beim Strassenverkehr stammt ein Grossteil der Emissionsfaktoren von Keller und de Haan (2004).

Tab. 1.1 Übersicht der wichtigsten Quellen für die Sachbilanzen von Transportdienstleistungen im KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016

	Fahrleistung	Energieverbrauch
Strassenverkehr (ohne Lastwagen)	BFS 2006, Keller 2002	Keller & de Haan 2004
Lastwagen	Maibach et al. 1999	INFRAS 2014
Bahn	SBB 2001	Email BahnUmwelt-Center SBB, 17.4.2007
Flugverkehr	Maibach et al. 1999	BAZL 2002
Schifffahrt	Heusser 1992	Verschiedene
Baumaschinen	Frischknecht et al. 1996	Notter & Schmied 2015

Die den Ökobilanzen zugrunde liegenden Treibstoffverbräuche und Auslastungen sind in den Ergebnistabellen (Tab. 2.1 bis Tab. 2.4) aufgeführt.

Weitere Anmerkungen betreffend die in den Sachbilanzen des KBOB-Ökobilanzdatenbestands v2.2:2016 angewendete Modellierung:

- Bei den Datensätzen zu Passagierflugzeug und Luftfracht sind keine Aufwendungen für die Flugzeug-Entsorgung berücksichtigt.
- Beim Datensatz „Aushub maschinell“ sind die Entsorgung des Hydraulikbaggers und die Aufwendungen für die Verkehrsinfrastruktur nicht berücksichtigt.
- Im Güterzug-Datensatz sind bei der Entsorgung die Lokomotive und die Bahn-Trasse berücksichtigt, nicht jedoch der Güterwagen.
- Beim Helikopter-Datensatz sind die Verkehrsinfrastruktur und die Entsorgung des Helikopters nicht berücksichtigt.
- Bei den Datensätzen zu Gütertransporten mit Binnenfrachtern, Hochseefrachtern und Hochseetankern ist die Entsorgung des Frachters bzw. des Tankers nicht berücksichtigt.
- Bei den Datensätzen zum Flugverkehr wurden die Aufwendungen und Emissionen pro Fahrzeugkilometer zwischen Passagieren und Fracht aufgeteilt. Die Ergebnisse in Tab. 2.3 und Tab. 2.4 beziehen sich somit auf den Passagier- beziehungsweise den Fracht-Anteil des Primärenergieaufwands beziehungsweise der Umweltbelastungen eines Flugzeugkilometers.
- Die Sachbilanzdaten von „Transport, Luftfracht, Europa“ und „Transport, Passagierflugzeug, Europa“ entsprechen den Daten desecoinvent Datenbestands v2.01, da die jüngeren Datensätze fehlerhaft sind.

2 Resultattabellen

In Tab. 2.1 und Tab. 2.2 sind die Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren der Transportdienstleistungen pro Tonnen- beziehungsweise Personenkilometer aufgelistet. Die Tab. 2.3 und Tab. 2.4 enthalten die Resultate bezogen auf einen Fahrzeugkilometer.

Tab. 2.1 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Güter-Transportleistungen pro Tonnenkilometer. Die totalen Umweltbelastungen teilen sich auf in Betrieb (inkl. Bereitstellung des Treibstoffs / Stroms), Verkehrsinfrastruktur (Bau, Unterhalt und Rückbau) und Fahrzeug (Herstellung, Unterhalt und Entsorgung).

Kategorie	Bereich	Bezugsgröße	Primärenergiefaktor [MJ-eq]				Primärenergiefaktor Abwärme / Abfall [MJ-eq]	CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -eq]	Kohlendioxid, fossil [kg]	Umweltbelastungspunkte [GEP13]	Auslastung Durchschnitt [t oder Pers.]
			Primärenergiefaktor total	Primärenergiefaktor fossil	Primärenergiefaktor nuklear	Primärenergiefaktor total erneuerbar					
Güter-Transporte	Aushub maschinell, Durchschnitt	Total	m3	6.05	5.86	0.14	0.05	0.412	0.390	488.8	
		Betrieb	m3	5.35	5.28	0.05	0.01	0.371	0.353	426.5	
		Infrastruktur	m3								
		Fahrzeug	m3	0.70	0.58	0.09	0.03	0.041	0.037	62.3	
	Aushub maschinell, mit PF	Total	m3	6.05	5.86	0.14	0.05	0.412	0.390	488.6	
		Betrieb	m3	5.35	5.28	0.05	0.01	0.371	0.353	426.3	
		Infrastruktur	m3								
		Fahrzeug	m3	0.70	0.58	0.09	0.03	0.041	0.037	62.3	
	Aushub maschinell, ohne PF	Total	m3	5.89	5.71	0.14	0.05	0.401	0.380	494.0	
		Betrieb	m3	5.20	5.13	0.05	0.01	0.360	0.342	431.8	
		Infrastruktur	m3								
		Fahrzeug	m3	0.70	0.58	0.09	0.03	0.041	0.037	62.3	
	Binnenschiff	Total	tkm	0.66	0.61	0.04	0.01	0.047	0.045	61.8	710
		Betrieb	tkm	0.52	0.51	0.00	0.00	0.037	0.035	48.0	710
		Infrastruktur	tkm	0.12	0.08	0.03	0.01	0.010	0.009	11.8	710
		Fahrzeug	tkm	0.02	0.02	0.00	0.00	0.001	0.001	2.0	710
	Güterzug	Total	tkm	0.81	0.17	0.38	0.26	0.013	0.012	51.3	343
		Betrieb	tkm	0.61	0.04	0.32	0.25	0.003	0.003	32.8	343
		Infrastruktur	tkm	0.12	0.06	0.05	0.01	0.005	0.004	10.8	343
		Fahrzeug	tkm	0.08	0.07	0.01	0.01	0.005	0.005	7.7	343
	Helikopter	Total	h	1'458	1'440	14	5	100	97	91043	
		Betrieb	h	1'452	1'436	13	4	100	97	90559	
		Infrastruktur	h								
		Fahrzeug	h	6	4	1	1	0	0	484	
	Hochseeschiff	Total	tkm	0.17	0.15	0.01	0.00	0.011	0.010	18.3	32500
		Betrieb	tkm	0.14	0.13	0.00	0.00	0.009	0.009	16.5	32500
		Infrastruktur	tkm	0.03	0.02	0.01	0.00	0.001	0.001	1.4	32500
		Fahrzeug	tkm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.4	32500
	Hochseetanker	Total	tkm	0.09	0.08	0.01	0.00	0.006	0.005	35.2	71500
		Betrieb	tkm	0.07	0.07	0.00	0.00	0.005	0.005	34.1	71500
Infrastruktur		tkm	0.02	0.01	0.01	0.00	0.001	0.001	0.8	71500	
Fahrzeug		tkm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.3	71500	
Kleintransporter (<3.5t)	Total	tkm	25.84	22.36	2.75	0.73	1.521	1.419	1794.5	0.27	
	Betrieb	tkm	18.12	17.88	0.19	0.05	1.263	1.184	1294.7	0.27	
	Infrastruktur	tkm	3.90	1.84	1.67	0.38	0.080	0.072	193.4	0.27	
	Fahrzeug	tkm	3.82	2.64	0.89	0.29	0.179	0.163	306.4	0.27	
Lastwagen, Durchschnitt	Total	tkm	2.27	2.12	0.12	0.03	0.135	0.127	191.5	9.41	
	Betrieb	tkm	1.58	1.57	0.01	0.00	0.110	0.105	145.3	9.41	
	Infrastruktur	tkm	0.44	0.35	0.08	0.02	0.013	0.012	27.7	9.41	
	Fahrzeug	tkm	0.25	0.21	0.03	0.01	0.011	0.010	18.6	9.41	
Lastwagen 3.5t-7.5t	Total	tkm	8.81	7.91	0.72	0.19	0.518	0.490	794.3	0.99	
	Betrieb	tkm	6.09	6.02	0.05	0.02	0.426	0.407	621.4	0.99	
	Infrastruktur	tkm	1.48	0.88	0.49	0.11	0.036	0.032	80.9	0.99	
	Fahrzeug	tkm	1.24	1.01	0.17	0.06	0.056	0.051	91.9	0.99	
Lastwagen 7.5-16t	Total	tkm	3.66	3.36	0.24	0.06	0.218	0.206	303.9	3.29	
	Betrieb	tkm	2.64	2.60	0.02	0.01	0.184	0.175	238.0	3.29	
	Infrastruktur	tkm	0.65	0.45	0.16	0.04	0.018	0.016	38.4	3.29	
	Fahrzeug	tkm	0.37	0.30	0.05	0.02	0.017	0.015	27.5	3.29	
Lastwagen 16-32t	Total	tkm	2.86	2.67	0.15	0.04	0.171	0.162	250.5	5.79	
	Betrieb	tkm	2.08	2.05	0.02	0.01	0.144	0.137	197.9	5.79	
	Infrastruktur	tkm	0.49	0.37	0.10	0.02	0.014	0.013	30.2	5.79	
	Fahrzeug	tkm	0.29	0.24	0.04	0.01	0.013	0.012	22.4	5.79	
Lastwagen 32-40t	Total	tkm	1.88	1.75	0.09	0.03	0.110	0.104	153.1	11.6	
	Betrieb	tkm	1.26	1.25	0.01	0.00	0.088	0.084	111.6	11.6	
	Infrastruktur	tkm	0.40	0.33	0.06	0.01	0.012	0.011	25.7	11.6	
	Fahrzeug	tkm	0.21	0.18	0.02	0.01	0.009	0.008	15.8	11.6	
Flugzeug, Durchschnitt ¹	Total	tkm	17.12	16.71	0.31	0.09	1.167	1.125	1253.7	24.3	
	Betrieb	tkm	16.33	16.15	0.14	0.04	1.127	1.087	1212.3	24.3	
	Infrastruktur	tkm	0.75	0.53	0.16	0.05	0.038	0.036	39.0	24.3	
	Fahrzeug	tkm	0.04	0.03	0.01	0.00	0.002	0.002	2.4	24.3	
Flugzeug, Europa ¹	Total	tkm	34.25	31.32	2.26	0.68	2.196	2.105	2330.8	1.0	
	Betrieb	tkm	24.91	24.64	0.22	0.06	1.719	1.659	1842.3	1.0	
	Infrastruktur	tkm	9.30	6.66	2.03	0.61	0.474	0.443	486.3	1.0	
	Fahrzeug	tkm	0.04	0.03	0.01	0.00	0.002	0.002	2.3	1.0	
Flugzeug, Interkontinental ¹	Total	tkm	16.13	15.87	0.20	0.06	1.108	1.069	1191.7	25.0	
	Betrieb	tkm	15.84	15.66	0.14	0.04	1.093	1.055	1176.3	25.0	
	Infrastruktur	tkm	0.26	0.18	0.06	0.02	0.013	0.012	13.5	25.0	
	Fahrzeug	tkm	0.03	0.02	0.01	0.00	0.002	0.002	1.9	25.0	

¹ Angaben für die kombinierte Passagier- und Frachttransporte; Allokation auf Passagiere und Fracht basierend auf der Tonnage (1 Person = 100 kg)

Tab. 2.2 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Personen-Transportleistungen pro Personenkilometer. Die totalen Umweltbelastungen teilen sich auf in Betrieb (inkl. Bereitstellung des Treibstoffs / Stroms), Verkehrsinfrastruktur (Bau, Unterhalt und Rückbau) und Fahrzeug (Herstellung, Unterhalt und Entsorgung).

Kategorie	Bereich	Bezugsgröße	Primärenergiefaktor				Primärenergiefaktor erneuerbar [MJ-seq]	Primärenergiefaktor Abwärme / Abfall [MJ-seq]	CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -eq]	Kohlendioxid, fossil [kg]	Umweltbelastungspunkte [GWP13]	Aufstufung Durchschnitt [l oder Pers.]
			total [MJ-seq]	fossil [MJ-seq]	nuklear [MJ-seq]	total [MJ-seq]						
Personen-Transporte	Fernreisezug Schweiz	Total	pkm	0.64	0.07	0.34	0.23		0.006	0.006	30.7	392
		Betrieb	pkm	0.50	0.01	0.28	0.21		0.001	0.000	18.2	392
		Infrastruktur	pkm	0.12	0.06	0.05	0.01		0.005	0.005	11.6	392
		Fahrzeug	pkm	0.01	0.01	0.00	0.00		0.001	0.000	0.9	392
Fernreisezug Deutschland, ICE	Total	pkm	1.04	0.71	0.27	0.06		0.062	0.058	63.5	309	
		Betrieb	pkm	0.92	0.61	0.25	0.06		0.054	0.050	47.5	309
		Infrastruktur	pkm	0.09	0.08	0.01	0.00		0.007	0.007	14.1	309
		Fahrzeug	pkm	0.02	0.02	0.00	0.00		0.001	0.001	1.9	309
Autobus	Total	pkm	1.66	1.54	0.10	0.03		0.104	0.099	147.9	14.0	
		Betrieb	pkm	1.37	1.36	0.01	0.00		0.095	0.091	130.6	14.0
		Infrastruktur	pkm	0.18	0.13	0.04	0.01		0.005	0.005	10.8	14.0
		Fahrzeug	pkm	0.11	0.05	0.04	0.01		0.004	0.003	6.5	14.0
Flugzeug, Durchschnitt ¹	Total	pkm	2.23	2.11	0.09	0.03		0.148	0.142	157.7	279	
		Betrieb	pkm	1.88	1.86	0.02	0.00		0.130	0.125	139.4	279
		Infrastruktur	pkm	0.34	0.24	0.07	0.02		0.017	0.016	17.8	279
		Fahrzeug	pkm	0.01	0.01	0.00	0.00		0.000	0.000	0.5	279
Flugzeug, Europa ¹	Total	pkm	3.43	3.14	0.23	0.07		0.220	0.211	233.4	65.0	
		Betrieb	pkm	2.49	2.46	0.02	0.01		0.172	0.166	184.2	65.0
		Infrastruktur	pkm	0.93	0.67	0.20	0.06		0.047	0.044	48.6	65.0
		Fahrzeug	pkm	0.01	0.01	0.00	0.00		0.001	0.000	0.5	65.0
Flugzeug, Interkontinental ¹	Total	pkm	1.64	1.61	0.03	0.01		0.112	0.108	120.7	320	
		Betrieb	pkm	1.58	1.57	0.01	0.00		0.109	0.105	117.6	320
		Infrastruktur	pkm	0.05	0.04	0.01	0.00		0.003	0.003	2.8	320
		Fahrzeug	pkm	0.00	0.00	0.00	0.00		0.000	0.000	0.2	320
Personenwagen, Durchschnitt	Total	pkm	3.31	2.85	0.37	0.09		0.195	0.183	216.9	1.6	
		Betrieb	pkm	2.38	2.35	0.03	0.01		0.166	0.156	160.2	1.6
		Infrastruktur	pkm	0.49	0.16	0.27	0.06		0.008	0.007	21.3	1.6
		Fahrzeug	pkm	0.44	0.34	0.07	0.03		0.021	0.019	35.5	1.6
Personenwagen, Benzin	Total	pkm	3.37	2.90	0.37	0.10		0.199	0.186	220.7	1.6	
		Betrieb	pkm	2.44	2.40	0.03	0.01		0.170	0.160	164.0	1.6
		Infrastruktur	pkm	0.49	0.16	0.27	0.06		0.008	0.007	21.3	1.6
		Fahrzeug	pkm	0.44	0.34	0.07	0.03		0.021	0.019	35.5	1.6
Personenwagen, Diesel	Total	pkm	3.03	2.58	0.36	0.09		0.176	0.167	197.8	1.6	
		Betrieb	pkm	2.10	2.08	0.02	0.01		0.147	0.140	141.1	1.6
		Infrastruktur	pkm	0.49	0.16	0.27	0.06		0.008	0.007	21.3	1.6
		Fahrzeug	pkm	0.44	0.34	0.07	0.03		0.021	0.019	35.5	1.6
Personenwagen, Erdgas	Total	pkm	3.28	2.73	0.44	0.11		0.160	0.148	171.9	1.6	
		Betrieb	pkm	2.30	2.21	0.07	0.02		0.130	0.121	112.7	1.6
		Infrastruktur	pkm	0.54	0.17	0.30	0.07		0.009	0.008	23.5	1.6
		Fahrzeug	pkm	0.44	0.34	0.07	0.03		0.022	0.019	35.6	1.6
Personenwagen, Biogas	Total	pkm	1.72	0.87	0.68	0.17	1.90	0.098	0.050	154.4	1.6	
		Betrieb	pkm	0.74	0.35	0.31	0.08	1.90	0.068	0.022	95.3	1.6
		Infrastruktur	pkm	0.54	0.17	0.30	0.07		0.009	0.008	23.5	1.6
		Fahrzeug	pkm	0.44	0.34	0.07	0.03		0.022	0.019	35.6	1.6
Personenwagen, elektrisch	Total	pkm	2.66	0.89	1.43	0.34		0.058	0.052	163.1	1.6	
		Betrieb	pkm	1.35	0.16	0.98	0.22		0.013	0.011	54.8	1.6
		Infrastruktur	pkm	0.60	0.19	0.33	0.08		0.010	0.009	26.2	1.6
		Fahrzeug	pkm	0.70	0.54	0.12	0.05		0.036	0.032	82.1	1.6
Scooter, Benzin	Total	pkm	1.56	1.50	0.04	0.02		0.122	0.098	271.0	1.1	
		Betrieb	pkm	1.32	1.30	0.02	0.00		0.110	0.087	254.2	1.1
		Infrastruktur	pkm	0.03	0.02	0.00	0.00		0.001	0.001	1.7	1.1
		Fahrzeug	pkm	0.22	0.18	0.02	0.01		0.011	0.010	15.1	1.1
Regionalzug	Total	pkm	1.29	0.11	0.69	0.49		0.010	0.009	51.7	46.1	
		Betrieb	pkm	1.09	0.01	0.61	0.47		0.002	0.001	32.6	46.1
		Infrastruktur	pkm	0.17	0.08	0.07	0.02		0.007	0.007	16.3	46.1
		Fahrzeug	pkm	0.03	0.02	0.01	0.00		0.001	0.001	2.9	46.1
Reisebus	Total	pkm	0.86	0.78	0.06	0.02		0.052	0.049	76.7	21.0	
		Betrieb	pkm	0.66	0.65	0.01	0.00		0.046	0.044	64.9	21.0
		Infrastruktur	pkm	0.12	0.09	0.03	0.01		0.003	0.003	7.4	21.0
		Fahrzeug	pkm	0.07	0.03	0.03	0.01		0.002	0.002	4.3	21.0
Tram	Total	pkm	1.21	0.27	0.77	0.17		0.023	0.021	55.5	52.9	
		Betrieb	pkm	0.91	0.10	0.66	0.15		0.008	0.008	29.5	52.9
		Infrastruktur	pkm	0.24	0.14	0.08	0.02		0.012	0.012	21.7	52.9
		Fahrzeug	pkm	0.06	0.03	0.03	0.01		0.002	0.002	4.3	52.9
Trolleybus	Total	pkm	1.47	0.32	0.94	0.21		0.020	0.017	55.3	26.0	
		Betrieb	pkm	1.19	0.13	0.86	0.19		0.012	0.010	38.3	26.0
		Infrastruktur	pkm	0.21	0.15	0.04	0.01		0.006	0.005	12.5	26.0
		Fahrzeug	pkm	0.08	0.04	0.03	0.01		0.003	0.002	4.5	26.0

¹ Angaben für die kombinierte Passagier- und Frachttransporte; Allokation auf Passagiere und Fracht basierend auf der Tonnage (1 Person = 100 kg)

Tab. 2.3 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Güter-Transportleistungen pro Fahrzeugkilometer. Die totalen Umweltbelastungen teilen sich auf in Betrieb (inkl. Bereitstellung des Treibstoffs / Stroms), Verkehrsinfrastruktur (Bau, Unterhalt und Rückbau) und Fahrzeug (Herstellung, Unterhalt und Entsorgung).

Kategorie	Bereich	Bezugsgröße	Primärenergiefaktor				Primärenergiefaktor erneuerbar [MJ-eq]	Primärenergiefaktor Abwärme / Abfall [MJ-eq]	CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -eq]	Kohlendioxid, fossil [kg]	Umweltbelastungspunkte [UPP13]	Auslastung Durchschnitt [t oder [Bers.]	Treibstoffverbrauch ungerundet [kg] resp. [kWh]	
			Primärenergiefaktor total [MJ-eq]	Primärenergiefaktor fossil [MJ-eq]	Primärenergiefaktor nuklear [MJ-eq]	Primärenergiefaktor total [MJ-eq]								
Güter-Transporte	Aushub maschinell, Durchschnitt	Total	m ³	6,05	5,86	0,14	0,05		0,412	0,390	488,8		0,095 kg Diesel	
		Betrieb	m ³	5,35	5,28	0,05	0,01		0,371	0,353	426,5		0,095 kg Diesel	
		Infrastruktur	m ³											
		Fahrzeug	m ³	0,70	0,58	0,09	0,03		0,041	0,037	62,3			
	Aushub maschinell, mit PF	Total	m ³	6,05	5,86	0,14	0,05		0,412	0,390	488,6		0,095 kg Diesel	
		Betrieb	m ³	5,35	5,28	0,05	0,01		0,371	0,353	426,3		0,095 kg Diesel	
		Infrastruktur	m ³											
		Fahrzeug	m ³	0,70	0,58	0,09	0,03		0,041	0,037	62,3			
	Aushub maschinell, ohne PF	Total	m ³	5,89	5,71	0,14	0,05		0,401	0,380	494,0		0,092 kg Diesel	
		Betrieb	m ³	5,20	5,13	0,05	0,01		0,360	0,342	431,8		0,092 kg Diesel	
		Infrastruktur	m ³											
		Fahrzeug	m ³	0,70	0,58	0,09	0,03		0,041	0,037	62,3			
	Binnenschiff	Total	vkm	468	434	26	8		33,5	31,7	43863	710	6,67 kg Diesel	
		Betrieb	vkm	370	365	3	1		26,0	24,5	34064	710	6,67 kg Diesel	
		Infrastruktur	vkm	85	58	21	6		6,9	6,5	8371	710		
		Fahrzeug	vkm	13	11	1	0		0,7	0,7	1429	710		
	Güterzug	Total	vkm	279	57	131	90		4,63	4,23	17594	343	29,57 kWh Elektr. + 0,23 kg Diesel	
		Betrieb	vkm	210	15	111	84		1,18	1,03	11243	343	29,57 kWh Elektr. + 0,23 kg Diesel	
		Infrastruktur	vkm	40	19	17	4		1,65	1,53	3722	343		
		Fahrzeug	vkm	29	24	3	2		1,80	1,67	2629	343		
	Helikopter	Total	h	1'458	1'440	14	5		100	97	91043		26,40 kg Kerosin	
		Betrieb	h	1'452	1'436	13	4		100	97	90559		26,40 kg Kerosin	
		Infrastruktur	h											
		Fahrzeug	h	6	4	1	1		0	0	484			
Hochseeschiff	Total	vkm	5'512	5'008	394	110		355	339	595514	32500	81,25 kg Schweröl		
	Betrieb	vkm	4'412	4'359	41	12		303	291	536765	32500	81,25 kg Schweröl		
	Infrastruktur	vkm	1'009	570	344	95		46	43	46737	32500			
	Fahrzeug	vkm	90	79	8	3		6	5	12011	32500			
Hochseetanker	Total	vkm	6'446	5'818	491	137		409	391	2517423	71500	92,95 kg Schweröl		
	Betrieb	vkm	5'048	4'987	47	14		343	330	2440932	71500	92,95 kg Schweröl		
	Infrastruktur	vkm	1'264	714	431	119		58	54	58536	71500			
	Fahrzeug	vkm	134	118	12	5		9	8	17956	71500			
Kleintransporter (<3.5t)	Total	vkm	6,98	6,04	0,74	0,20		0,411	0,383	484,5	0,27	0,055 kg Diesel + 0,033 kg Benzin		
	Betrieb	vkm	4,89	4,83	0,05	0,01		0,341	0,320	349,6	0,27	0,055 kg Diesel + 0,033 kg Benzin		
	Infrastruktur	vkm	1,05	0,50	0,45	0,10		0,022	0,019	52,2	0,27			
	Fahrzeug	vkm	1,03	0,71	0,24	0,08		0,048	0,044	82,7	0,27			
Lastwagen, Durchschnitt	Total	vkm	21,39	19,95	1,13	0,31		1,267	1,195	1802,2	9,41	0,24 kg Diesel		
	Betrieb	vkm	14,91	14,73	0,13	0,04		1,039	0,990	1366,9	9,41	0,24 kg Diesel		
	Infrastruktur	vkm	4,17	3,28	0,72	0,17		0,124	0,112	260,6	9,41			
	Fahrzeug	vkm	2,32	1,94	0,27	0,10		0,104	0,094	174,8	9,41			
Lastwagen 3.5t-7.5t	Total	vkm	8,68	7,79	0,71	0,18		0,510	0,482	782,4	0,99	0,11 kg Diesel		
	Betrieb	vkm	6,00	5,93	0,05	0,02		0,420	0,400	612,1	0,99	0,11 kg Diesel		
	Infrastruktur	vkm	1,46	0,86	0,49	0,11		0,035	0,032	79,7	0,99			
	Fahrzeug	vkm	1,22	1,00	0,17	0,06		0,055	0,050	90,5	0,99			
Lastwagen 7.5-16t	Total	vkm	12,03	11,06	0,77	0,20		0,718	0,679	999,5	3,29	0,16 kg Diesel		
	Betrieb	vkm	8,67	8,57	0,08	0,02		0,604	0,576	782,7	3,29	0,16 kg Diesel		
	Infrastruktur	vkm	2,15	1,49	0,53	0,12		0,058	0,052	126,2	3,29			
	Fahrzeug	vkm	1,22	1,00	0,17	0,06		0,055	0,050	90,5	3,29			
Lastwagen 16-32t	Total	vkm	16,56	15,42	0,89	0,24		0,990	0,936	1449,8	5,79	0,22 kg Diesel		
	Betrieb	vkm	12,01	11,87	0,11	0,03		0,831	0,792	1145,4	5,79	0,22 kg Diesel		
	Infrastruktur	vkm	2,86	2,15	0,58	0,14		0,082	0,074	174,5	5,79			
	Fahrzeug	vkm	1,69	1,41	0,21	0,07		0,078	0,070	129,8	5,79			
Lastwagen 32-40t	Total	vkm	21,77	20,36	1,10	0,31		1,278	1,204	1777,4	11,6	0,26 kg Diesel		
	Betrieb	vkm	14,64	14,47	0,13	0,04		1,027	0,978	1295,5	11,6	0,26 kg Diesel		
	Infrastruktur	vkm	4,68	3,82	0,69	0,17		0,143	0,129	298,0	11,6			
	Fahrzeug	vkm	2,46	2,08	0,28	0,10		0,109	0,098	184,0	11,6			
Flugzeug, Durchschnitt ¹	Total	vkm	415,6	405,7	7,6	2,3		28,3	27,3	30440	24,3	7,00 kg Kerosin		
	Betrieb	vkm	396,5	392,0	3,4	1,0		27,4	26,4	29435	24,3	7,00 kg Kerosin		
	Infrastruktur	vkm	18,1	13,0	4,0	1,2		0,9	0,9	946	24,3			
	Fahrzeug	vkm	1,0	0,7	0,2	0,1		0,1	0,1	59	24,3			
Flugzeug, Europa ¹	Total	vkm	34,3	31,3	2,3	0,7		2,2	2,1	2331	1,0	0,45 kg Kerosin		
	Betrieb	vkm	24,9	24,6	0,2	0,1		1,7	1,7	1842	1,0	0,45 kg Kerosin		
	Infrastruktur	vkm	9,3	6,7	2,0	0,6		0,5	0,4	486	1,0			
	Fahrzeug	vkm	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	2	1,0			
Flugzeug, Interkontinental ¹	Total	vkm	403,2	396,7	5,0	1,5		27,7	26,7	29793	25,0	7,20 kg Kerosin		
	Betrieb	vkm	396,0	391,6	3,4	1,0		27,3	26,4	29408	25,0	7,20 kg Kerosin		
	Infrastruktur	vkm	6,5	4,6	1,4	0,4		0,3	0,3	337	25,0			
	Fahrzeug	vkm	0,8	0,6	0,2	0,1		0,0	0,0	48	25,0			

¹ Angaben für die kombinierte Passagier- und Frachttransporte; Allokation auf Passagiere und Fracht basierend auf der Tonnage (1 Person = 100 kg)

Tab. 2.4 Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Personen-Transportleistungen pro Fahrzeugkilometer. Die totalen Umweltbelastungen teilen sich auf in Betrieb (inkl. Bereitstellung des Treibstoffs / Stroms), Verkehrsinfrastruktur (Bau, Unterhalt und Rückbau) und Fahrzeug (Herstellung, Unterhalt und Entsorgung).

Kategorie	Bereich	Bezugsgröße	Primärenergiefaktor				Primärenergiefaktor erneuerbar [MJ-eq]	Primärenergiefaktor Abwärme / Abfall [MJ-eq]	CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -eq]	Kohlendioxid, fossil [kg]	Umweltbelastungspunkte [UPB*13]	Auslastung Durchschnitt [t oder pers.]	Treibstoffverbrauch ungerundet [kg] resp. [kWh]
			Primärenergiefaktor total [MJ-eq]	Primärenergiefaktor fossil [MJ-eq]	Primärenergiefaktor nuklear [MJ-eq]	Primärenergiefaktor total [MJ-eq]							
Personen-Transporte	Fernreisezug Schweiz	Total	vkm	250	29	132	89		2.53	2.25	12030	392	29.32 kWh Elektrizität
		Betrieb	vkm	196	2	110	84		0.28	0.18	7131	392	29.32 kWh Elektrizität
		Infrastruktur	vkm	49	23	21	5		2.03	1.87	4560	392	
		Fahrzeug	vkm	5	4	1	1		0.22	0.20	340	392	
Fernreisezug Deutschland, ICE	Total	vkm	322	219	83	20		19.24	17.86	19629	309	26.24 kWh Elektrizität	
		Betrieb	vkm	285	188	79	18		16.67	15.49	14668	309	26.24 kWh Elektrizität
		Infrastruktur	vkm	29	25	3	1		2.17	2.01	4361	309	
		Fahrzeug	vkm	8	6	1	0		0.40	0.36	601	309	
Autobus	Total	vkm	23.25	21.56	1.34	0.35		1.456	1.389	2070.3	14.0	0.35 kg Diesel	
		Betrieb	vkm	19.22	18.99	0.18	0.05		1.335	1.279	1828.1	14.0	0.35 kg Diesel
		Infrastruktur	vkm	2.51	1.84	0.54	0.13		0.071	0.064	151.7	14.0	
		Fahrzeug	vkm	1.52	0.72	0.62	0.17		0.050	0.045	90.4	14.0	
Flugzeug, Durchschnitt ¹	Total	vkm	623	589	26	8		41.2	39.6	44034	279	8.21 kg Kerosin	
		Betrieb	vkm	525	519	5	1		36.2	35.0	38923	279	8.21 kg Kerosin
		Infrastruktur	vkm	95	68	21	6		4.9	4.5	4983	279	
		Fahrzeug	vkm	2	2	0	0		0.1	0.1	128	279	
Flugzeug, Europa ¹	Total	vkm	223	204	15	4		14.3	13.7	15171	65.0	2.94 kg Kerosin	
		Betrieb	vkm	162	160	1	0		11.2	10.8	11975	65.0	2.94 kg Kerosin
		Infrastruktur	vkm	60	43	13	4		3.1	2.9	3161	65.0	
		Fahrzeug	vkm	1	0	0	0		0.0	0.0	35	65.0	
Flugzeug, Interkontinental ¹	Total	vkm	525	514	8	3		35.9	34.6	38610	320	9.22 kg Kerosin	
		Betrieb	vkm	507	501	4	1		35.0	33.8	37643	320	9.22 kg Kerosin
		Infrastruktur	vkm	17	12	4	1		0.9	0.8	906	320	
		Fahrzeug	vkm	1	1	0	0		0.1	0.1	61	320	
Personenwagen, Durchschnitt	Total	vkm	5.30	4.55	0.59	0.15		0.313	0.292	347.0	1.6	0.057 kg Benzin + 0.010 kg Diesel	
		Betrieb	vkm	3.81	3.76	0.04	0.01		0.266	0.250	256.3	1.6	0.057 kg Benzin + 0.010 kg Diesel
		Infrastruktur	vkm	0.78	0.25	0.43	0.10		0.013	0.011	34.0	1.6	
		Fahrzeug	vkm	0.70	0.55	0.12	0.04		0.034	0.031	56.7	1.6	
Personenwagen, Benzin	Total	vkm	5.39	4.64	0.59	0.15		0.319	0.298	353.1	1.6	0.068 kg Benzin	
		Betrieb	vkm	3.90	3.84	0.05	0.01		0.272	0.255	262.4	1.6	0.068 kg Benzin
		Infrastruktur	vkm	0.78	0.25	0.43	0.10		0.013	0.011	34.0	1.6	
		Fahrzeug	vkm	0.70	0.55	0.12	0.04		0.034	0.031	56.7	1.6	
Personenwagen, Diesel	Total	vkm	4.85	4.12	0.58	0.15		0.281	0.267	316.5	1.6	0.061 kg Diesel	
		Betrieb	vkm	3.37	3.33	0.03	0.01		0.235	0.224	225.7	1.6	0.061 kg Diesel
		Infrastruktur	vkm	0.78	0.25	0.43	0.10		0.013	0.011	34.0	1.6	
		Fahrzeug	vkm	0.70	0.55	0.12	0.04		0.034	0.031	56.7	1.6	
Personenwagen, Erdgas	Total	vkm	5.25	4.37	0.71	0.18		0.256	0.237	275.0	1.6	0.064 kg Erdgas	
		Betrieb	vkm	3.68	3.54	0.12	0.03		0.207	0.193	180.4	1.6	0.064 kg Erdgas
		Infrastruktur	vkm	0.86	0.28	0.48	0.11		0.014	0.012	37.6	1.6	
		Fahrzeug	vkm	0.71	0.55	0.12	0.04		0.034	0.031	57.0	1.6	
Personenwagen, Biogas	Total	vkm	2.75	1.39	1.08	0.28	3.04	0.157	0.080	247.1	1.6	0.067 kg Biogas	
		Betrieb	vkm	1.18	0.57	0.49	0.13	3.04	0.109	0.036	152.5	1.6	0.067 kg Biogas
		Infrastruktur	vkm	0.86	0.28	0.48	0.11		0.014	0.012	37.6	1.6	
		Fahrzeug	vkm	0.71	0.55	0.12	0.04		0.034	0.031	57.0	1.6	
Personenwagen, elektrisch	Total	vkm	4.25	1.42	2.28	0.54		0.093	0.084	261.0	1.6	0.20 kWh Elektrizität	
		Betrieb	vkm	2.16	0.25	1.56	0.35		0.020	0.018	87.6	1.6	0.20 kWh Elektrizität
		Infrastruktur	vkm	0.96	0.31	0.53	0.12		0.015	0.014	41.9	1.6	
		Fahrzeug	vkm	1.12	0.86	0.19	0.07		0.058	0.052	131.4	1.6	
Scooter, Benzin	Total	vkm	1.72	1.65	0.05	0.02		0.135	0.108	298.1	1.1	0.025 kg Benzin	
		Betrieb	vkm	1.45	1.43	0.02	0.00		0.121	0.096	279.6	1.1	0.025 kg Benzin
		Infrastruktur	vkm	0.03	0.03	0.00	0.00		0.001	0.001	1.9	1.1	
		Fahrzeug	vkm	0.24	0.20	0.03	0.01		0.012	0.011	16.6	1.1	
Regionalzug	Total	vkm	59.7	5.1	32.0	22.6		0.456	0.400	2385	46.1	7.56 kWh Elektrizität	
		Betrieb	vkm	50.4	0.5	28.3	21.6		0.072	0.048	1501	46.1	7.56 kWh Elektrizität
		Infrastruktur	vkm	8.0	3.8	3.4	0.8		0.333	0.308	750	46.1	
		Fahrzeug	vkm	1.2	0.8	0.2	0.2		0.050	0.044	134	46.1	
Reisebus	Total	vkm	18.0	16.3	1.3	0.3		1.089	1.037	1610	21.0	0.25 kg Diesel	
		Betrieb	vkm	13.9	13.7	0.1	0.0		0.965	0.925	1362	21.0	0.25 kg Diesel
		Infrastruktur	vkm	2.6	1.9	0.5	0.1		0.073	0.066	156	21.0	
		Fahrzeug	vkm	1.5	0.7	0.6	0.2		0.051	0.046	91	21.0	
Tram	Total	vkm	64.2	14.4	40.6	9.2		1.202	1.107	2937	52.9	4.75 kWh Elektrizität	
		Betrieb	vkm	48.3	5.4	35.0	7.8		0.445	0.397	1561	52.9	4.75 kWh Elektrizität
		Infrastruktur	vkm	12.7	7.4	4.2	1.1		0.650	0.611	1146	52.9	
		Fahrzeug	vkm	3.2	1.5	1.4	0.3		0.107	0.099	230	52.9	
Trolleybus	Total	vkm	38.3	8.4	24.4	5.5		0.518	0.451	1439	26.0	3.04 kWh Elektrizität	
		Betrieb	vkm	30.9	3.5	22.4	5.0		0.301	0.255	996	26.0	3.04 kWh Elektrizität
		Infrastruktur	vkm	5.3	4.0	1.1	0.3		0.152	0.137	324	26.0	
		Fahrzeug	vkm	2.0	0.9	0.8	0.2		0.065	0.059	118	26.0	

¹ Angaben für die kombinierte Passagier- und Frachtttransporte; Allokation auf Passagiere und Fracht basierend auf der Tonnage (1 Person = 100 kg)

3 Aktualisierung der Hintergrunddaten

Der KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 bildet die Datenbasis für die Auswertungen (KBOB et al. 2016a). Dieser setzt sich aus dem ecoinvent Datenbestand v2.2 (ecoinvent Centre 2010), Anpassungen nach LC-inventories (2014) und weiteren Aktualisierungen zusammen. Tab. 3.1 zeigt eine Übersicht der aktualisierten Sachbilanzdaten mit einer kurzen Beschreibung des Umfangs der Aktualisierung. Für weitergehende Informationen verweisen wir auf die entsprechenden Berichte.

Die Sachbilanzdaten der Aktualisierungen der Erdgasversorgungskette (Schori et al. 2012), der Fotovoltaik (Frischknecht et al. 2015; Jungbluth et al. 2012), der Wasserkraft (Flury & Frischknecht 2012) und der Stromproduktion, -übertragung und -verteilung (Itten et al. 2014) sind über die Website www.lc-inventories.ch frei verfügbar. Die Dokumentationen der aktualisierten Sachbilanzdaten der Schweizer Strommixe (Stolz & Frischknecht 2015) und von Erdölprodukten (Stolz & Frischknecht 2016a; Stolz et al. 2016a) sind auf der Website <http://treeze.ch/> abrufbar. Die aktualisierten Sachbilanzen von Holzprodukten sind im ecoinvent-Datenbestand v3.2 verfügbar (ecoinvent Centre 2015).

treeze stellt interessierten Nutzern eine SimaPro-Datenbank mit den aktualisierten Hintergrunddaten und den Datensätzen der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (teilweise zu Systemprozessen aggregiert) zur Verfügung.

Tab. 3.1 Übersicht über die im Vergleich zum ecoinvent Datenbestand v2.2 aktualisierten Sachbilanzdaten im KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016

Aktualisierte Hintergrunddaten	Umfang der Aktualisierung	Quelle
Erdgas	Versorgungsmix Flüssiggas Versorgungskette ab Produktion Russland Regionales Verteilnetz GuD-Kombikraftwerk WKK Anlagen	Bauer et al. 2012 Schori et al. 2012
Fotovoltaik	Polysiliziumherstellung Sägespalt und Waferdicke Cadmium-Tellurid Technologie Moduleffizienz Entsorgung Spezifischer Energieertrag und Degradationsrate von Fotovoltaik-Anlagen	Frischknecht et al. 2015 Jungbluth et al. 2012
Kernkraft	Uranförderung und –aufbereitung Brennstoffkette Betrieb der Kernkraftwerke Geologische Tiefenlagerung	Bauer et al. 2012
Wasserkraft	Laufwasserkraft Speicherwasserkraft Kleinwasserkraft Pumpspeicherung	Flury & Frischknecht 2012
Stromproduktion, -übertragung und -verteilung	Stromproduktion (Europa und übrige Welt) Europäischer Strommix (Verbund ENTSO) Stromverluste und -verteilung Stromnetzinfrastruktur	Itten et al. 2014
Strommix Schweiz	Strommixe für das Jahr 2011	Stolz & Frischknecht 2015
Korrekturen von Fehlern	Diverse	LC-inventories 2014
KVA	aktualisierte Stoff- und Energieflüsse, aktualisierte Emissionsfaktoren (insbesondere Dioxine)	Doka 2013
Erdölprodukte (z.B. Benzin, Diesel, Heizöl EL)	Herkunftsmix von Rohöl Anteil von schweizerischen und europäischen Raffinerien an der Bereitstellung von Erdölprodukten in der Schweiz Transportdistanzen von Rohöl und importierten Erdölprodukten	Stolz & Frischknecht 2016a Stolz et al. 2016a
Holzprodukte	Waldbewirtschaftung Herstellung von Holzprodukten	Werner et al. 2014 ecoinvent Centre 2015
Aluminium	Herstellung von Primär- und Sekundäraluminium Aluminium-Produktionsmixe	Stolz & Frischknecht 2016b

Die Auswertung erfolgt mit der Software SimaPro 8.0.6 (PRé Consultants 2015).

4 Sachbilanzen Transportleistungen

4.1 Personenverkehr

Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Transportdienstleistungen des Personenverkehrs verwendeten Datensätze sind in Tab. 4.1 aufgelistet.

Tab. 4.1 Übersicht der Personenverkehrsdatensätze; CH: Schweiz, DE: Deutschland, RER: Europa

Transportleistung	Name des Datensatzes	Lokalität
Autobus	Transport, regular bus	CH
Fernreisezug Schweiz	Transport, long-distance train, SBB mix	CH
Fernreisezug Deutschland, ICE	Transport, high speed train	DE
Flugzeug, Durchschnitt	Transport, aircraft, passenger	RER
Flugzeug, Europa	Transport, aircraft, passenger, Europe	RER
Flugzeug, Interkontinental	Transport, aircraft, passenger, intercontinental	RER
Personenwagen, Durchschnitt	Transport, passenger car	CH
Personenwagen, Benzin	Transport, passenger car, petrol, fleet average	CH
Personenwagen, Biogas	Transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas	CH
Personenwagen, Diesel	Transport, passenger car, diesel, fleet average	CH
Personenwagen, elektrisch	für dieses Projekt erstellter Datensatz basierend auf: „transport, passenger car, electric, LiMn ₂ O ₄ “, siehe Abschnitt 4.5	CH
Personenwagen, Erdgas	Transport, passenger car, natural gas	CH
Regionalzug	Transport, regional train, SBB mix	CH
Reisebus	Transport, coach	CH
Scooter, Benzin	Transport, scooter	CH
Tram	Transport, tram	CH
Trolleybus	Transport, trolleybus	CH

4.2 Güterverkehr

Die folgende Tab. 4.2 zeigt eine Übersicht über die Güterverkehrsdatensätze, welche zur Berechnung der Umweltauswirkungen verwendet wurden. Die meisten Datensätze sind im KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 enthalten.

Die Sachbilanzen von Gütertransporten mit Lastwagen wurden im ecoinvent Datenbestand v3.1 aktualisiert (ecoinvent Centre 2014). Im Rahmen der Aktualisierung und Erweiterung der mobitool-Faktoren v2.0 wurden diese Sachbilanzen in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet. Diese Datensätze wurden zur Berechnung der Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Lastwagentransporten verwendet, wobei die neuen Gewichtsklassen von Lastwagen übernommen wurden.

Die in den aktualisierten Datensätzen modellierten Lastwagen mit einem Gesamtgewicht >32 t umfassen auch Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von bis zu 60 t, die in der Schweiz nicht zugelassen sind. Die Sachbilanzen von Gütertransporten mit Lastwagen >32 t wurden darum neu erstellt und in drei verschiedene Gewichtsklassen (32-40 t, 40-50 t, 50-60 t) unterteilt (Stolz et al. 2016a). Bei allen Datensätzen für Lastwagentransporte wurden die Lärmemissionen (siehe Unterkapitel 4.3) sowie die Herstellung und die Emissionen von Kältemitteln für Klimaanlage berücksichtigt. Die Flottenmixe von Lastwagen wurden mit Daten zur Schweizer Situation im Jahr 2015 aktualisiert. Die aktualisierten Datensätze sind in Stolz et al. (2016a) ausführlich dokumentiert.

Die Sachbilanzen von maschinellem Aushub wurden für die mobitool-Faktoren v2.0 aktualisiert (Stolz et al. 2016a). Zusätzlich zu einem Datensatz für den Schweizer Durchschnitt im Jahr 2015 wurden separate Sachbilanzen für den Aushub mit Baggern mit bzw. ohne Partikelfilter erstellt. In der Klasse der Bagger ohne Partikelfilter sind nur jene Maschinen mit einem Partikelfilter ausgerüstet, wo es gesetzlich erforderlich ist (Notter & Schmied 2015).

Tab. 4.2 Übersicht der Güterverkehrsdatensätze; CH: Schweiz, RER: Europa, GLO: Global, OCE: Ozeane, PF: Partikelfilter

*: aus mobitool v2.0 (Stolz et al. 2016a)

Transportleistung	Name des Datensatzes	Lokalität
Aushub maschinell, Durchschnitt *	excavation, hydraulic digger, average	CH
Aushub maschinell, mit PF *	excavation, hydraulic digger, with particle filter	CH
Aushub maschinell, ohne PF *	excavation, hydraulic digger, without particle filter	CH
Binnenschiff	Transport, barge	RER
Flugzeug, Durchschnitt	Transport, aircraft, freight	RER
Flugzeug, Europa	Transport, aircraft, freight, Europe	RER
Flugzeug, Interkontinental	Transport, aircraft, freight, intercontinental	RER
Güterzug	Transport, freight, rail	CH
Helikopter	Transport, helicopter	GLO
Hochseeschiff	Transport, transoceanic freight ship	OCE
Hochseetanker	Transport, transoceanic tanker	OCE
Kleintransporter (<3,5 t)	Transport, van <3.5t	CH
Lastwagen, Durchschnitt *	transport, freight, lorry, fleet average	CH
Lastwagen 3.5-7.5 t *	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, fleet average	CH
Lastwagen 7.5-16 t *	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, fleet average	CH
Lastwagen 16-32 t *	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average	CH
Lastwagen 32-40 t *	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, fleet average	CH

4.3 Lärmemissionen

In der Methode der ökologischen Knappheit 2013 werden die Lärmemissionen des Verkehrs berücksichtigt. Dazu wurde für alle Verkehrsmittel des Personen- und Güterverkehrs der entsprechende Elementarfluss für die Lärmemissionen nach der Anleitung von Frischknecht und Büsser Knöpfel (2013) ergänzt. Die Lärmemissionen beziehen sich jeweils auf dieselbe Transportleistung wie die Betriebsdatensätze (Personenkilometer, Tonnenkilometer oder Fahrzeugkilometer). Tab. 4.3 zeigt beispielhaft die Sachbilanzdaten des Betriebsdatensatzes für einen durchschnittlichen Personenwagen inklusive der Lärmemissionen.

Die Lärmemissionen von Elektroautos sind deutlich tiefer als diejenigen von Autos mit Verbrennungsemissionen. Für diese wurden die Lärmemissionen angepasst (siehe Unterkapitel 4.5).

Der Datensatz, der den Betrieb des Hubschraubers beschreibt, bezieht sich auf eine Nutzung von einer Stunde und nicht auf einen Tonnenkilometer. Deshalb wurde dem Betriebsdatensatz für Hubschrauber eine Lärmemission von 700 Tonnenkilometern Flugzeugtransportleistung hinzugefügt. Dies entspricht den Lärmemissionen des Betriebs eines Flugzeugs während einer Stunde bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 700 km/h.

Der durchschnittliche Lärmpegel von Motorrädern im Jahr 2001 beträgt 75 dB(A) bei Geschwindigkeiten zwischen 40 und 60 km/h (L_{max} gemäss RWTÜV Fahrzeug GmbH (2005), Bild 86, p. 84). Dies entspricht einer Differenz von +3 dB(A) verglichen mit einem durchschnittlichen Personenwagen mit einem Lärmpegel von 72 dB(A). Die Lärmemissionen des Scooter Datensatzes werden daher mit einem Faktor von 2.00 korrigiert (siehe Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013, Tab. 113, p.204).

Tab. 4.3 Sachbilanzdaten zum Betrieb des durchschnittlichen Personenwagens inklusive Lärmemissionen (orange markiert)

Explanations	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	operation, passenger car	uncertainty Type	Standard Deviation 95%	GeneralComment
	Location					CH			
	Infrastructure					0			
	Unit					km			
Outputs	operation, passenger car	CH	0		km	1.00E+0			
Technosphere	petrol, low-sulphur, at regional storage	CH	0		kg	5.66E-2	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); derived from Swiss database on road transport emissions (HBEFA)
	diesel, low-sulphur, at regional storage	CH	0		kg	1.02E-2	1	1.05	(1,1,1,1,1,1); derived from Swiss database on road transport emissions (HBEFA)
air, unspecified	Carbon dioxide, fossil				kg	2.07E-1	1	1.07	(2,1,1,1,1,1); own calculations, based on fuel consumption
	Sulfur dioxide				kg	6.68E-6	1	1.07	(2,1,1,1,1,1); own calculations, based on fuel consumption
	Cadmium				kg	7.63E-10	1	5.42	(4,5,5,1,1,5); trace elements in fuel and abrasion of tyres
	Copper				kg	4.93E-7	1	5.42	(4,5,5,1,1,5); trace elements in fuel and abrasion of tyres
	Chromium				kg	8.56E-9	1	5.42	(4,5,5,1,1,5); trace elements in fuel and abrasion of tyres
	Nickel				kg	8.29E-9	1	5.42	(4,5,5,1,1,5); trace elements in fuel and abrasion of tyres
	Zinc				kg	2.07E-7	1	5.42	(4,5,5,1,1,5); trace elements in fuel and abrasion of tyres
	Lead				kg	2.46E-8	1	5.42	(4,5,5,1,1,5); trace elements in fuel and abrasion of tyres
	Selenium				kg	6.36E-10	1	5.42	(4,5,5,1,1,5); trace elements in fuel
	Mercury				kg	1.27E-12	1	5.42	(4,5,5,1,1,5); trace elements in fuel
	Chromium VI				kg	6.36E-12	1	5.42	(4,5,5,1,1,5); own calculation
	Carbon monoxide, fossil				kg	2.84E-3	1	5.00	(1,1,1,1,1,2); derived from Swiss database on road transport emissions
	Nitrogen oxides				kg	3.20E-4	1	1.50	(1,1,1,1,1,2); derived from Swiss database on road transport emissions
	Particulates, < 2.5 um				kg	1.45E-5	1	3.01	(1,1,3,3,1,2); includes exhaust- and abrasions emissions.
	Particulates, > 10 um				kg	1.19E-5	1	1.52	(1,3,3,3,1,2); abrasions emissions (tyre wear, break wear, road surface)
	Particulates, > 2.5 um, and < 10um				kg	1.35E-5	1	2.03	(3,3,3,3,1,2); abrasions emissions (tyre wear, break wear, road surface)
	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin				kg	1.27E-4	1	1.50	(1,1,1,1,1,2); derived from HC values; split available from Swiss database on road transport emissions (HBEFA). Quantity includes evaporation for petrol cars.
	Methane, fossil				kg	1.00E-5	1	1.50	(1,1,1,1,1,2); derived from HC values; split available from Swiss database on road transport emissions (HBEFA). Quantity includes evaporation for petrol cars.
	Benzene				kg	1.72E-5	1	1.50	(1,1,1,1,1,2); derived from HC values; split available from Swiss database on road transport emissions (HBEFA). Quantity includes evaporation for petrol cars.
	Toluene				kg	1.30E-5	1	1.50	(1,1,1,1,1,2); derived from HC values; split available from Swiss database on road transport emissions (HBEFA). Quantity includes evaporation for petrol cars.
	Xylene				kg	1.52E-5	1	1.50	(1,1,1,1,1,2); derived from HC values; split available from Swiss database on road transport emissions (HBEFA). Quantity includes evaporation for petrol cars.
	Formaldehyde				kg	1.56E-6	1	1.51	(2,3,2,1,1,2); derived from NMHC values; split available from European Road Transport Emission database (Copert)
	Acetaldehyde				kg	7.63E-7	1	1.51	(2,3,2,1,1,2); derived from NMHC values; split available from European Road Transport Emission database (Copert)
	Ammonia				kg	2.33E-5	1	1.24	(2,3,1,1,1,4); derived from Swiss database on road transport emissions (HBEFA)
	Dinitrogen monoxide				kg	6.30E-6	1	1.53	(2,3,1,1,1,4); derived from Swiss database on road transport emissions (HBEFA)
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons				kg	6.50E-10	1	12.01	(2,3,1,1,1,2); rough estimate, derived from from European Road Transport Emission database (Copert)
water, unspecified	Heat, waste				MJ	4.59E-1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); own calculation; based on HHV.
	Zinc, ion				kg	2.70E-7	1	5.63	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
	Copper, ion				kg	6.39E-9	1	3.55	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
	Cadmium, ion				kg	9.55E-11	1	3.55	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
	Chromium, ion				kg	4.55E-10	1	3.55	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
	Nickel, ion				kg	1.23E-9	1	5.63	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
	Lead				kg	3.93E-9	1	5.63	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
soil, unspecified	Zinc				kg	2.70E-7	1	2.11	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
	Copper				kg	6.39E-9	1	2.11	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
	Cadmium				kg	9.55E-11	1	2.11	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
	Chromium				kg	4.55E-10	1	2.11	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
	Nickel				kg	1.23E-9	1	2.11	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
	Lead				kg	3.93E-9	1	2.11	(5,5,5,1,1,5); abrasion of tyres, quantity derived from tyre composition
non-material, unspecified	Noise, road, passenger car, average				km	1.00E+0	1	1.50	(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1); calculation Frischknecht & Büsser 2013

4.4 Korrekturen Flugzeugtransport

In den Datensätzen „Transport, aircraft, passenger“, „Transport, aircraft, passenger, Europe“, „Transport, aircraft, freight“ und „Transport, aircraft, freight, Europe“ wurden Fehler korrigiert. Im Zuge der Aktualisierung auf den ecoinvent Datenbestand v2.2 traten Fehler auf beim Bezug der Infrastruktur für Flugtransporte innerhalb Europas¹. Deshalb wurde der Bezug der Infrastruktur für Flugtransporte innerhalb Europas auf den Wert des ecoinvent Datenbestandes v2.01 zurückgesetzt. Der Bezug der Infrastruktur für interkontinentale Flugtransporte im ecoinvent Datenbestand v2.2 ist korrekt und wurde nicht angepasst. Der Infrastrukturbezug der Durchschnittsdatsätze „Transport, aircraft, passenger“ und „Transport, aircraft, freight“ wurde neu berechnet auf der Basis

¹ Persönliche Mitteilung Andrew Simons, PSI, 14.01.2011

des korrigierten Datensatzes für Flugtransporte innerhalb Europas (ecoinvent v2.01) und dem aktualisierten Datensatz für interkontinentalen Flugtransport (ecoinvent v2.2).

Tab. 4.4 zeigt die Werte für die Infrastruktur der Datensätze „Transport, aircraft, passenger“, „Transport, aircraft, passenger, Europe“, „Transport, aircraft, passenger, intercontinental“, und Tab. 4.5 zeigt diejenigen der Datensätze „Transport, aircraft, freight“, „Transport, aircraft, freight, Europe“ und „Transport, aircraft, freight, intercontinental“, welche in dieser Studie verwendet werden. Der Durchschnittsdatensatz „Transport, aircraft, passenger“ setzt sich zusammen aus 32.7 % des Datensatzes „Transport, aircraft, passenger, Europe“ und 67.3 % des Datensatzes „Transport, aircraft, passenger, intercontinental“. Der Durchschnittsdatensatz „Transport, aircraft, freight“ setzt sich zusammen aus 5.4 % des Datensatzes „Transport, aircraft, freight, Europe“ und 94.6 % des Datensatzes „Transport, aircraft, freight, intercontinental“.

Tab. 4.4 Infrastrukturbezug der Datensätze „Transport, aircraft, passenger“, „Transport, aircraft, passenger, Europe“ und „Transport, aircraft, passenger, intercontinental“

	Transport, aircraft, passenger	Transport, aircraft, passenger Europe	Transport, aircraft, passenger intercontin ental
Airport	1.09E-12	2.97E-12	1.73E-13
Operation, maintenance, airport RER	1.09E-10	2.97E-10	1.73E-11
Disposal, airport RER	1.09E-12	2.97E-12	1.73E-13

Tab. 4.5 Infrastrukturbezug der Datensätze „Transport, aircraft, freight“, „Transport, aircraft, freight, Europe“ und „Transport, aircraft, freight, intercontinental“

	Transport, aircraft freight	Transport, aircraft, freight Europe	Transport, aircraft, freight intercontin ental
Airport	2.38E-12	2.97E-11	8.24E-13
Operation, maintenance, airport RER	2.38E-10	2.97E-09	8.24E-11
Disposal, airport RER	2.38E-12	2.97E-11	8.24E-13

Zusätzlich gab es in ecoinvent v2.2 Fehler bei der Berechnung der CO₂-Emissionen in den Durchschnittsdatensätzen „Operation, aircraft, freight“ und „Operation, aircraft, passenger“. Die CO₂-Emissionen der Durchschnittsdatensätze wurden entsprechend der obengenannten Anteile von „Transport, aircraft, passenger, Europe“ und „Transport, aircraft, passenger, intercontinental“ sowie „Transport, aircraft, freight, Europe“ und „Transport, aircraft, freight, intercontinental“ an den Durchschnittsdatensätzen „Transport, aircraft, passenger“ und „Transport, aircraft, freight“ neu berechnet.

Der Lärmpegel eines durchschnittlichen Elektroautos beträgt 69 dB(A) (VCS 2013) und ist somit 3 dB(A) tiefer als der Lärmpegel eines konventionellen Autos (72 dB(A)). Gemäss Frischknecht und Büsser Knöpfel (2013) ist für diesen Unterschied ein Korrekturfaktor von 0.5 auf die Lärmemissionen anzuwenden.

Die Sachbilanzdaten für den Betrieb des Elektroautos und den Personentransport mittels Elektroauto sind in Tab. 4.7 und Tab. 4.8 dargestellt.

Tab. 4.8 Sachbilanzdaten zum Personentransport mit Elektroautos

Explanations	Name	Location	Infrastructure-Process	Unit	transport, passenger car, electric, LiMn2O4 (proj. 500)	uncertaintyType	StandardDeviation 95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				pkm			
Outputs	transport, passenger car, electric, LiMn2O4 (proj. 500)	CH	0	pkm	1			
Technosphere	operation, passenger car, electric, LiMn2O4 (proj. 500)	CH	0	km	6.25E-1	1	2.02	(2,1,2,1,1,4); calculated according to passenger car in ecoinvent report Nr.14
	passenger car, electric, LiMn2O4, at plant	RER	1	unit	4.17E-6	1	1.30	(4,5,na,na,na,na); calculated according to passenger car in ecoinvent report Nr.14
	maintenance, electric vehicle, LiMn2O4	RER	1	unit	4.17E-6	1	3.09	(4,5,na,na,na,na); calculated according to passenger car in ecoinvent report Nr.14
	road	CH	1	ma	4.87E-4	1	3.06	(2,4,1,1,1,5); calculated according to passenger car in ecoinvent report Nr.14
	operation, maintenance, road	CH	1	ma	8.85E-4	1	3.06	(2,4,1,1,1,5); calculated according to passenger car in ecoinvent report Nr.14
	disposal, electric vehicle, LiMn2O4	RER	1	unit	4.17E-6	1	3.06	(2,4,1,1,1,5); calculated according to passenger car in ecoinvent report Nr.14
	disposal, road	RER	1	ma	4.87E-4	1	3.06	(2,4,1,1,1,5); calculated according to passenger car in ecoinvent report Nr.14

5 Parametrisierte Rechner

5.1 Personentransport-Rechner

Der Personentransport-Rechner greift auf die in Unterkapitel 4.1 aufgeführten Datensätze zurück und berechnet die durchschnittliche Umweltbelastung in Abhängigkeit von der eingegebenen Auslastung des Verkehrsmittels. Diese Auslastung wird in Anzahl Passagieren pro Verkehrsmittel eingegeben. In einem ersten Schritt werden die Umweltbelastungen pro Fahrzeugkilometer berechnet, indem die Ergebnisse der Durchschnittsdatsätze der verschiedenen Verkehrsmittel mit der entsprechenden durchschnittlichen Auslastung multipliziert werden. Die Umweltbelastungen pro Fahrzeugkilometer werden dann durch die eingegebene Auslastung dividiert. Als Resultat erhält man die Umweltbelastung bezogen auf die transportierten Personenkilometer mit der spezifischen Auslastung. Für alle Verkehrsmittel ausser für Personenwagen wurde vereinfachend angenommen, dass Änderungen des Treibstoffverbrauchs aufgrund einer Zunahme oder Abnahme der transportierten Personen vernachlässigbar sind. Bei vielen Verkehrsmitteln ist das Gewicht des Fahrzeugs deutlich höher als das Gewicht der beförderten Personen.

Zur Berechnung der Umweltbelastungen von Transporten mit Personenwagen wurde ein detaillierterer Ansatz implementiert, da die Passagiere einen signifikanten Anteil am Gesamtgewicht haben können können. Gemäss Helms und Lambrecht (2007) beträgt die Treibstoff-Einsparung von 100 kg eingespartem Gewicht bei Benzin-Personenwagen 0.34-0.48 Liter pro 100 km (bei einer Bandbreite von 0.15 bis 1.0 Liter pro 100 km). Für Diesel-Personenwagen ist die Treibstoff-Einsparung mit 0.29-0.33 Liter pro 100 km und 100 kg geringer. Aus diesen Werten ergibt sich ein Treibstoff-Mehrverbrauch pro mitfahrende Person (80 kg) von 3.6 % für die durchschnittliche Personenwagenflotte (siehe Tab. 5.1). Im Personentransport-Rechner werden die Umweltbelastungen des Betriebs aller Personenwagen mit dem Treibstoff-Mehrverbrauch von durchschnittlich 3.6 % pro mitfahrende Person multipliziert. Die Umweltbelastungen aus der Verkehrsinfrastruktur und dem Fahrzeug werden bei den Personenwagen analog zu den anderen Verkehrsmitteln durch Division der Umweltbelastung pro Fahrzeugkilometer durch die Anzahl beförderter Personen berechnet.

Tab. 5.1 Treibstoffverbrauch von Personenwagen in Abhängigkeit des Gewichts

Fahrzeugtyp	Durchschnittlicher Treibstoffverbrauch pro 100 km	Änderung Treibstoffbedarf pro (100 km * 100 kg) gemäss Helms & Lambrecht 2007)	Zusätzlicher Treibstoffverbrauch pro zusätzliche Person (80 kg)
Personenwagen Benzin	9.05 Liter Benzin	0.34-0.48 Liter Benzin	3.0-4.2 %
Personenwagen Diesel	7.29 Liter Diesel	0.29-0.33 Liter Diesel	3.2-3.6 %
Personenwagen (Durchschnitt)	7.55 Liter Benzin + 1.21 Liter Diesel		3.6 %

5.2 Gütertransport-Rechner

Der Gütertransport-Rechner basiert auf den Datensätzen, die in Unterkapitel 4.2 aufgeführt sind. Dieser Rechner funktioniert analog zum Personentransport-Rechner. Die Auslastung wird in Ladegewicht (Tonnen) pro Verkehrsmittel angegeben. In einem ersten Schritt werden die Umweltbelastungen pro Fahrzeugkilometer berechnet, indem die Ergebnisse der Durchschnittsdatsätze der verschiedenen Verkehrsmittel mit der entsprechenden durchschnittlichen Beladung multipliziert werden. Die Umweltbelastungen pro Fahrzeugkilometer werden dann durch das eingegebene Ladegewicht dividiert. Als Resultat erhält man die Umweltbelastung bezogen auf die transportierten Tonnenkilometer mit der spezifischen Beladung. Für alle Verkehrsmittel ausser für Lastwagen wurde vereinfachend angenommen, dass Änderungen des Treibstoffverbrauchs aufgrund einer Zunahme oder Abnahme des Ladegewichts vernachlässigbar sind.

Ein Spezialfall stellen die Gütertransporte mit Lastwagen und Kleintransportern dar, deren Umweltbelastungen aus dem Betrieb genauer analysiert werden konnten. Die Sachbilanzen von Lastwagentransporten wurden im Ecoinvent-Datenbestand v3.1 (ecoinvent Centre 2014) und für die mobitool-Faktoren v2.0 (Stolz et al. 2016a) aktualisiert und in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet (siehe Unterkapitel Tab. 4.2). Der Treibstoffverbrauch von Lastwagen bei Leerfahrten wurde mit Daten aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) berechnet (INFRAS 2014). Für Kleintransporter waren keine Informationen zum Treibstoffverbrauch ohne Beladung verfügbar. Es wurde angenommen, dass der zusätzliche Treibstoffverbrauch pro transportierte Tonne gleich ist wie für durchschnittliche Lastwagen der Gewichtsklasse 3.5-7.5 t. Die durchschnittliche Beladung sowie der Treibstoffverbrauch von Lastwagen und Kleintransportern bei durchschnittlicher Auslastung und für Leerfahrten sind in Tab. 5.2 aufgelistet.

Tab. 5.2 Durchschnittliche Auslastung sowie Treibstoffverbrauch bei durchschnittlicher Auslastung und für Leerfahrten von durchschnittlichen Lastwagen und Kleintransportern (Stolz et al. 2016b; INFRAS 2014)

			Auslastung [Tonnen]	Ø Verbrauch [Liter / 100 km] (Ø Auslastung)	Ø Verbrauch [Liter / 100 km] (Leerfahrt)
Kleintransporter (<3.5t)	Diesel/Benzin	durchschnittliche Flotte	0.27	10.89	10.82
durchschnittlicher Lastwagen	Diesel	Lastwagen-Flotte CH	9.41	29.08	22.79
		Durchschnitt 3.5t-7.5t	0.99	12.86	12.61
		Durchschnitt 7.5t-16t	3.29	18.58	16.72
		Durchschnitt 16t-32t	5.79	25.74	22.16
		Durchschnitt 32t-40t	11.61	31.38	23.46

Die Formel zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Gütertransporten mit Lastwagen und Kleintransportern bei einer bestimmten Auslastung ist unten dargestellt. Die Umweltbelastung aus dem Betrieb der Lastwagen und Kleintransportern setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Im ersten Summanden werden die Umweltbelastungen berechnet, welche mit dem Gewicht des Fahrzeugs verbunden sind. Hierzu werden die Umweltbelastungen der leeren Lastwagen bzw. Kleintransporter durch die individuell einzugebende Auslastung des betrachteten Transportmittels dividiert. Zweitens kommt die Umweltbelastung hinzu, welche mit dem Gewicht der Ladung verbunden ist. Diese Umweltbelastung pro Tonnenkilometer ist unabhängig von der Auslastung und errechnet sich aus der Umweltbelastung des Betriebs eines durchschnittlich ausgelasteten Lastwagens bzw. Kleintransporters minus die Umweltbelastung des leeren Fahrzeugs dividiert durch die durchschnittliche Auslastung.

$$UB_{Lkw, \text{Betrieb}} = \frac{UB_{Lkw, \text{Betrieb}, \text{leer}}}{A_{Lkw}} + \frac{UB_{Lkw, \text{Betrieb}, \emptyset} - UB_{Lkw, \text{Betrieb}, \text{leer}}}{A_{Lkw, \emptyset}}$$

$UB_{Lkw, \text{Betrieb}}$: Umweltbelastung aus dem Betrieb des Lastwagens / Kleintransporters

$UB_{Lkw, \text{Betrieb}, \text{leer}}$: Umweltbelastung aus dem Betrieb des leeren Lastwagens / Kleintransporters

$UB_{Lkw, \text{Betrieb}, \emptyset}$: Umweltbelastung aus dem Betrieb des Lastwagens / Kleintransporters bei durchschnittlicher Auslastung

A_{Lkw} : Individuell einzugebende Auslastung des betrachteten Lastwagens / Kleintransporters

$A_{Lkw, \emptyset}$: Durchschnittliche Auslastung des Lastwagens / Kleintransporters

Abb. 5.1 zeigt einen Printscreen der beiden Transport-Rechner. Die Rechner sind unter der Webadresse <http://treeze.ch/calculators/> frei zugänglich. In der Grundeinstellung ist keine Auslastung eingegeben und der Nutzer wird aufgefordert, diese einzugeben. Ent-

spricht sie nicht der durchschnittlichen Auslastung, erscheint ein entsprechender Hinweis. Übersteigt die eingegebene Auslastung die Kapazität, wird eine Warnung ausgegeben.

Personentransport-Rechner

Berechnung mit:

[Personen]

Auslastung	0.0
Durchschnittliche Auslastung	392.0
Kapazität	1400.0

Umweltauswirkungen pro Personenkilometer

Primärenergiefaktor total	#DIV/0!	kWh Öl-eq/pkm
Primärenergiefaktor fossil	#DIV/0!	kWh Öl-eq/pkm
Primärenergiefaktor nuklear	#DIV/0!	kWh Öl-eq/pkm
Primärenergiefaktor erneuerbar	#DIV/0!	kWh Öl-eq/pkm
CO ₂ -Äquivalente	#DIV/0!	kg CO ₂ -eq/pkm
Kohlendioxid fossil	#DIV/0!	kg/pkm
Umweltbelastungspunkte 2013	#DIV/0!	UBP/pkm

Bitte geben sie eine Auslastung an!

Gütertransport-Rechner

Berechnung mit:

[Tonnen]

Auslastung	0.0
Durchschnittliche Auslastung	710.0
Kapazität	1000.0

Umweltauswirkungen pro Tonnenkilometer

Primärenergiefaktor total	#DIV/0!	kWh Öl-eq/tkm
Primärenergiefaktor fossil	#DIV/0!	kWh Öl-eq/tkm
Primärenergiefaktor nuklear	#DIV/0!	kWh Öl-eq/tkm
Primärenergiefaktor erneuerbar	#DIV/0!	kWh Öl-eq/tkm
CO ₂ -Äquivalente	#DIV/0!	kg CO ₂ -eq/tkm
Kohlendioxid fossil	#DIV/0!	kg/tkm
Umweltbelastungspunkte 2013	#DIV/0!	UBP/tkm

Bitte geben Sie eine Auslastung an!

Der Transportrechner berechnet die Umweltbelastung pro Personenkilometer (pkm) respektive Tonnenkilometer (tkm) des von Ihnen ausgewählten Transportmittels in Abhängigkeit der von Ihnen eingegebenen Auslastung.
 Die Ökobilanzen basieren auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 (ecoinvent-Datenbestand v2.2 inklusive aktualisierten Daten zu Wasserkraft, Kernenergie, Fotovoltaik, Strommix & Stromnetz, Erdgas, Kehrlichtverbrennung, Erdölprodukten, Holzprodukten, Aluminium und Korrekturen nach LC-inventories). Weitere Informationen zu den Hintergrunddaten und der Berechnung der Umweltbelastung finden sie im Bericht zur Studie "Primärenergiefaktoren von Transportsystemen" und unter www.lc-inventories.ch.

[Studie "Primärenergiefaktoren von Transportsystemen" herunterladen](#)
www.lc-inventories.ch

[zurück zur treeze Website](#)

Datenquelle
 KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 und eigene Berechnungen
 © treeze 2017

Abb. 5.1 Printscreen des Personentransport- und des Gütertransport-Rechners

6 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.
- BAZL 2002 BAZL (2002) Schweizerische Zivilluftfahrt. Bundesamt für Zivilluftfahrt und Bundesamt für Statistik, Neuchatel.
- BFS 2006 BFS (2006) Leistungen der Sachtransportfahrzeuge. Aktualisierte Zeitreihen bis 2005. 11: Verkehr und Nachrichtenwesen. Bundesamt für Statistik, Bern.
- Bundesamt für Statistik 2000 Bundesamt für Statistik (2000) Schweizerische Verkehrsstatistik, Neuchâtel, Switzerland.
- Doka 2013 Doka G. (2013) Updates to Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services - part II: waste incineration. Doka Life Cycle Assessments, Zürich, Switzerland.
- ecoinvent Centre 2010 ecoinvent Centre (2010) ecoinvent data v2.2, ecoinvent reports No. 1-25. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, Switzerland, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- ecoinvent Centre 2014 ecoinvent Centre (2014) ecoinvent data v3.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zürich, Switzerland, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- ecoinvent Centre 2015 ecoinvent Centre (2015) ecoinvent data v3.2. ecoinvent Association, Zürich, Switzerland, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Flury & Frischknecht 2012 Flury K. and Frischknecht R. (2012) Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation. ESU-services Ltd., Uster, retrieved from: www.lc-inventories.ch.
- Frischknecht et al. 1996 Frischknecht R., Bollens U., Bosshart S., Ciot M., Ciseri L., Doka G., Dones R., Gantner U., Hirschier R. and Martin A. (1996) Ökoinventare von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. 3. Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut, Villigen, Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern, CH, retrieved from: www.energieforschung.ch.
- Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013 Frischknecht R. and Büsser Knöpfel S. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>.

- Frischknecht et al. 2015 Frischknecht R., Itten R., Sinha P., de Wild Scholten M., Zhang J., Fthenakis V., Kim H. C., Raugei M. and Stucki M. (2015) Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems. International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12.
- Frischknecht et al. 2016 Frischknecht R., Messmer A., Stolz P. and Tuchschnid M. (2016) mobitool - Grundlagenbericht. Hintergrund, Methodik & Emissionsfaktoren. Schweizerische Bundesbahnen SBB, Bundesamt für Energie BFE, Swisscom, Öbu, Bern, retrieved from: http://www.mobitool.ch/typo_static/fileadmin/tools/mobitool-Hintergrundbericht.pdf.
- Helms & Lambrecht 2007 Helms H. and Lambrecht U. (2007) The Potential Contribution of Light-Weighting to Reduce Transport Energy Consumption. *In: Int J LCA*, 1(Special Issue 12), pp. 58-64.
- Heusser 1992 Heusser T. (1992) Ökologiebilanz des Güterverkehrs, Schifffahrt. Semesterarbeit. ETH, Zürich.
- INFRAS 2014 INFRAS (2014) HBEFA Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Version 3.2, Bern, CH.
- Itten et al. 2014 Itten R., Frischknecht R. and Stucki M. (2014) Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid, Version 1.3. treeze Ltd., Uster, Switzerland, retrieved from: www.treeze.ch.
- Jungbluth et al. 2012 Jungbluth N., Stucki M., Flury K., Frischknecht R. and Buesser S. (2012) Life Cycle Inventories of Photovoltaics. ESU-services Ltd., Uster, CH, retrieved from: www.esu-services.ch.
- KBOB et al. 2016a KBOB, eco-bau and IPB (2016a) 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.
- KBOB et al. 2016b KBOB, eco-bau and IPB (2016b) KBOB-Empfehlung 2009/1:2016: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand Juli 2016. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de>.
- Keller 2002 Keller M. (2002) Kilometric performance and emission factors for different vehicle weight classes. INFRAS, Bern.
- Keller & de Haan 2004 Keller M. and de Haan P. (2004) INFRAS: Handbook Emission factors for Road Transport. Ver. 2.1. INFRAS, Bern.
- LC-inventories 2014 LC-inventories (2014) Corrections, updates and extensions of ecoinvent data v2.2. treeze Ltd., retrieved from: www.lc-inventories.ch.

- Maibach et al. 1999 Maibach M., Peter D. and Seiler B. (1999) Ökoinventar Transporte - Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen. 2nd Edition. INFRAS, Zürich.
- Messmer & Frischknecht 2016a Messmer A. and Frischknecht R. (2016a) Life Cycle Inventories of Water Transport Services. treeze Ltd., Uster.
- Messmer & Frischknecht 2016b Messmer A. and Frischknecht R. (2016b) Life Cycle Inventories of Air Transport Services. treeze Ltd., Uster.
- Messmer & Frischknecht 2016c Messmer A. and Frischknecht R. (2016c) Life cycle inventories of rail transport services. treeze Ltd., Uster.
- Notter & Schmied 2015 Notter B. and Schmied M. (2015) Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors. Studie für die Jahre 1980-2050. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern CH, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01828/index.html?lang=de&download=NHZLpZig7t,lnp6I0NTU042I2Z6lnIacy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJChEYR,g2ym162dpYbUzd,Gpd6emK2Oz9aGodetmqaN19XI2IdvoaCVZ,s-.pdf>.
- PRé Consultants 2015 PRé Consultants (2015) SimaPro 8.0.6, Amersfoort, NL.
- RWTÜV Fahrzeug GmbH 2005 RWTÜV Fahrzeug GmbH (2005) Ermittlung der Geräuschemission von Kfz im Straßenverkehr. im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Würselen, Deutschland, retrieved from: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2952.pdf>.
- SBB 2001 SBB (2001) Zahlen 2000. Kommunikation Schweizerische Bundesbahnen, Bern.
- Schori et al. 2012 Schori S., Bauer C. and Frischknecht R. (2012) Life Cycle Inventory of Natural Gas Supply. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Stolz & Frischknecht 2015 Stolz P. and Frischknecht R. (2015) Umweltbilanz Strommix Schweiz 2011. treeze Ltd., Uster, CH.
- Stolz & Frischknecht 2016a Stolz P. and Frischknecht R. (2016a) Energieetikette für Personenwagen: Umweltkennwerte 2016 der Strom- und Treibstoffbereitstellung. treeze Ltd., Uster, CH.
- Stolz & Frischknecht 2016b Stolz P. and Frischknecht R. (2016b) Life Cycle Inventories of Aluminium and Aluminium Profiles. treeze Ltd., Uster, CH.
- Stolz et al. 2016a Stolz P., Messmer A. and Frischknecht R. (2016a) Life Cycle Inventories of Road and Non-Road Transport Services. treeze Ltd., Uster CH.

- Stolz et al. 2016b
Stolz P., Messmer A., Frischknecht R. and Tuchschnid M. (2016b) mobitool-Faktoren v2.0: Umweltdaten und Emissionsfaktoren von mobitool (ed. treeze Ltd.). Schweizerische Bundesbahnen SBB, Bundesamt für Energie BFE, Bundesamt für Umwelt BAFU, Swisscom, Öbu, Bern, retrieved from: https://www.mobitool.ch/admin/data/files/marginal_download/file_de/30/mobitool-faktoren-v2.0.xlsm?lm=1479747288.
- VCS 2013
VCS (2013) Auto Umweltliste 2013, März 2013. Verkehrs-Club der Schweiz (VCS), Bern.
- Werner et al. 2014
Werner F., Hischer R., (Ed.), Bauer C., Büsser Knöpfel S., Doka G., Frischknecht R. and Wallbaum H. (2014) Aktualisierung der Modelle und Datensätze zu Holz und Holzprodukten in der Datenbankecoinvent, Zürich und St. Gallen.

A Anhang: Verwendete Datensätze

Tab. A. 1 Datensätze zur Berechnung der Umweltauswirkungen und Primärenergiefaktoren von Transportdienstleistungen sowie ID-Nummer und Bezeichnung gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (KBOB et al. 2016b)

ID-Nr.	Bezeichnung	Datensatz
62.001	Aushub maschinell, Durchschnitt	excavation, hydraulic digger, average/CH U
62.014	Aushub maschinell, mit PF	excavation, hydraulic digger, with particle filter/CH U
62.015	Aushub maschinell, ohne PF	excavation, hydraulic digger, without particle filter/CH U
62.002	Binnenschiff	Transport, barge (proj. 500)/RER U
62.003	Güterzug	Transport, freight, rail (proj.500)/CH U
62.004	Helikopter	Transport, helicopter (proj. 500)/GLO U
62.005	Hochseeschiff	Transport, transoceanic freight ship (proj. 500)/OCE U
62.006	Hochseetanker	Transport, transoceanic tanker (proj. 500)/OCE U
62.007	Kleintransporter (<3.5t)	Transport, van <3.5t (proj. 500)/CH U
62.016	Lastwagen, Durchschnitt	transport, freight, lorry, fleet average/CH U
62.017	Lastwagen 3.5t-7.5t	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, fleet average/CH U
62.009	Lastwagen 7.5-16t	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, fleet average/CH U
62.008	Lastwagen 16-32t	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average/CH U
62.010	Lastwagen 32-40t	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, fleet average/CH U
62.011	Flugzeug, Durchschnitt1	Transport, aircraft, freight (proj. 500)/RER U
62.012	Flugzeug, Europa1	Transport, aircraft, freight, Europe/RER U
62.013	Flugzeug, Interkontinental1	Transport, aircraft, freight, intercontinental/RER U
63.001	Fernreisezug Schweiz	Transport, long-distance train, SBB mix/CH U
63.002	Fernreisezug Deutschland, ICE	Transport, high speed train/DE U
63.003	Autobus	Transport, regular bus/CH U
63.004	Flugzeug, Durchschnitt1	Transport, aircraft, passenger/RER U
63.005	Flugzeug, Europa1	Transport, aircraft, passenger, Europe/RER U
63.006	Flugzeug, Interkontinental1	Transport, aircraft, passenger, intercontinental/RER U
63.007	Personenwagen, Durchschnitt	Transport, passenger car (proj. 500)/CH U
63.008	Personenwagen, Benzin	Transport, passenger car, petrol, fleet average/CH U
63.009	Personenwagen, Diesel	Transport, passenger car, diesel, fleet average/CH U
63.015	Personenwagen, Erdgas	Transport, passenger car, natural gas/CH U
63.014	Personenwagen, Biogas	Transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas/CH U
63.016	Personenwagen, elektrisch	transport, passenger car, electric, LiMn2O4 (proj. 500)/CH U
63.017	Scooter, Benzin	Transport, scooter/CH U
63.010	Regionalzug	Transport, regional train, SBB mix/CH U
63.011	Reisebus	Transport, coach/CH U
63.012	Tram	Transport, tram/CH U
63.013	Trolleybus	Transport, trolleybus/CH U