
Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Transportsystemen

UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022, Stand 2022

Autorinnen

Livia Ramseier, Rolf Frischknecht

Kunden

Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, Bundesamt für Umwelt BAFU, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich AHB

Uster, 9. März 2022

Impressum

Titel	Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Transportsystemen
Autorinnen	Livia Ramseier, 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
Kunden	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, Bundesamt für Umwelt BAFU, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich AHB
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	KBOB_BAFU_AHB_2022_Transportsysteme_v1.0.docx, 09.03.2022

Abkürzungsverzeichnis

CH	Schweiz
CO ₂	Kohlendioxid
DE	Deutschland
fkm	Fahrzeugkilometer
GLO	Globaler Durchschnitt
GWP	Treibhauspotenzial (engl. global warming potential)
h	Stunde
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	Umweltindikatoren	1
1.3	Bezugsgrösse	2
1.4	Systemgrenzen und Modellierungsgrundsätze	2
2	RESULTATTABELLEN	4
3	AKTUALISIERUNG DER HINTERGRUNDDATEN	9
4	SACHBILANZEN TRANSPORTLEISTUNGEN	12
4.1	Personenverkehr	12
4.2	Güterverkehr	13
5	PARAMETRISIERTE RECHNER	14
6	LITERATUR	15
A	ANHANG: VERWENDETE DATENSÄTZE	18

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 2021 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 publizierten Liste.

Die Sachbilanzen von Transportdienstleistungen des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffverkehrs wurden im Rahmen der Aktualisierung und Erweiterung der mobitool-Faktoren v2.0 und v2.1 und in einem Projekt des Bundesamts für Zivilluftfahrt (BAZL, Frischknecht & Krebs 2021a) überarbeitet. Die Datengrundlagen, Annahmen und Berechnungen sind in den Berichten von Stolz et al. (2016), Messmer und Frischknecht (2016a, 2016b, 2016c), Krebs und Frischknecht (2020a) und Frischknecht und Krebs (2021a) ausführlich dokumentiert.

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.

Die in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2022 aufgeführten Transportleistungen sind ein Auszug aus einer detaillierteren und umfangreicheren Liste der mobitool-Faktoren v2.1¹.

1.2 Umweltindikatoren

Die folgenden Indikatoren werden zur Beurteilung der Umweltbelastung herangezogen:

- Gesamtumweltbelastung (UBP, Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit, Frischknecht et al. 2021)

¹ www.mobitool.ch, Zugriff am 11. Februar 2022

- Primärenergiebedarf, unterschieden in erneuerbare und nicht erneuerbare Energieträger (kWh Öl-eq, Frischknecht et al. 2015)
- Treibhausgasemissionen (kg CO₂-eq, IPCC 2013); Die Klimaeffekte der Flugzeugemissionen werden mit einem RFI-Faktor von 2.5 berücksichtigt. Deshalb beträgt das Treibhauspotenzial der CO₂-Emissionen der Zivilluftfahrt 2.5 kg CO₂-eq/kg CO₂.

1.3 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)

1.4 Systemgrenzen und Modellierungsgrundsätze

Die Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren werden für jedes Verkehrsmittel einerseits als Total berechnet und andererseits auf den Betrieb des Fahrzeugs (inkl. Bereitstellung des Treibstoffs / Stroms), die Verkehrsinfrastruktur (Bau, Unterhalt, Rückbau) und das Fahrzeug (Herstellung, Unterhalt, Entsorgung) aufgeteilt.

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 UVEK Ökobilanzdatenbestands DQRv2:2022 angewendete Modellierung:

- Bei den Datensätzen zu Passagierflugzeug und Luftfracht sind keine Aufwendungen für die Entsorgung ausgedienter Flugzeuge 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 ausgedienter Helikopter nicht berücksichtigt.
- Bei den Datensätzen zu Gütertransporten mit Binnenfrachtern, Hochseefrachtern und Hochseetankern ist die Entsorgung ausgedienter Frachtschiffe bzw. Hochseetanker 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 Frachtanteil.

ungsweise den Fracht-Anteil des Primärenergieaufwands beziehungsweise der Umweltbelastungen eines Flugzeugkilometers.

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 total [MJ-eq]		Primärenergiefaktor fossil [MJ-eq]		Primärenergiefaktor nuklear [MJ-eq]		Primärenergiefaktor total erneuerbar [MJ-eq]		CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -eq]		Kohlendioxid, fossil [kg]		Umweltbelastungspunkte [DPE ²]	Anpassung Durchschnitt [J] oder [Pers.]
			Primärenergiefaktor total	Primärenergiefaktor fossil	Primärenergiefaktor nuklear	Primärenergiefaktor total erneuerbar	CO ₂ -Äquivalente	Kohlendioxid, fossil								
Güter-Transporte	Aushub maschinell, Durchschnitt	Total	m³	5,99	5,75	0,18	0,07	0,438	0,400	700,4						
		Betrieb	m³	5,32	5,22	0,07	0,03	0,388	0,354	613,3						
		Infrastruktur	m³	0,67	0,52	0,11	0,04	0,050	0,046	87,1						
	Aushub maschinell, mit PF	Total	m³	5,99	5,75	0,18	0,07	0,438	0,400	700,3						
		Betrieb	m³	5,32	5,22	0,07	0,03	0,388	0,354	613,1						
		Infrastruktur	m³	0,67	0,52	0,11	0,04	0,050	0,046	87,1						
	Aushub maschinell, ohne PF	Total	m³	5,84	5,60	0,17	0,07	0,427	0,390	702,3						
		Betrieb	m³	5,17	5,07	0,07	0,03	0,377	0,344	615,2						
		Infrastruktur	m³	0,67	0,52	0,11	0,04	0,050	0,046	87,1						
	Binnenschiff	Total	tkm	0,60	0,51	0,05	0,03	0,040	0,036	70,1						
		Betrieb	tkm	0,45	0,43	0,01	0,02	0,032	0,029	56,2						
		Infrastruktur	tkm	0,14	0,08	0,05	0,01	0,007	0,007	12,8						
		Fahrzeug	tkm	0,01	0,01	0,00	0,00	0,001	0,000	1,0						
	Güterzug	Total	tkm	0,36	0,12	0,07	0,17	0,012	0,011	32,6						
		Betrieb	tkm	0,20	0,03	0,03	0,15	0,002	0,002	11,3						
		Infrastruktur	tkm	0,09	0,04	0,03	0,01	0,005	0,004	12,2						
		Fahrzeug	tkm	0,07	0,06	0,01	0,00	0,005	0,005	9,1						
	Helikopter	Total	h	10'296	10'091	154	50	759	688	1007862						
		Betrieb	h	10'220	10'038	138	44	754	684	1000348						
Infrastruktur		h														
Fahrzeug		h	76	54	16	6	4	4	7514							
Hochseeschiff	Total	tkm	0,11	0,09	0,01	0,00	0,007	0,007	17,4							
	Betrieb	tkm	0,08	0,08	0,00	0,00	0,006	0,006	15,2							
	Infrastruktur	tkm	0,02	0,01	0,01	0,00	0,001	0,001	1,8							
	Fahrzeug	tkm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,3							
Hochseetanker	Total	tkm	0,09	0,08	0,01	0,00	0,006	0,006	20,4							
	Betrieb	tkm	0,08	0,07	0,00	0,00	0,006	0,005	19,2							
	Infrastruktur	tkm	0,01	0,01	0,00	0,00	0,001	0,001	1,0							
	Fahrzeug	tkm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,2							
Kleintransporter (<3,5t)	Total	tkm	27,36	23,19	3,04	1,13	1,768	1,591	2918,8							
	Betrieb	tkm	17,91	17,55	0,24	0,12	1,331	1,200	1960,5							
	Infrastruktur	tkm	3,81	1,72	1,57	0,52	0,093	0,081	282,0							
	Fahrzeug	tkm	5,64	3,92	1,23	0,49	0,344	0,310	676,3							
Lastwagen, Durchschnitt	Total	tkm	2,28	2,05	0,12	0,10	0,144	0,129	266,0							
	Betrieb	tkm	1,61	1,52	0,03	0,07	0,115	0,104	204,6							
	Infrastruktur	tkm	0,43	0,34	0,07	0,02	0,016	0,014	36,3							
	Fahrzeug	tkm	0,24	0,19	0,03	0,01	0,013	0,012	25,2							
Lastwagen 3,5t-7,5t	Total	tkm	8,80	7,65	0,67	0,46	0,553	0,497	1073,9							
	Betrieb	tkm	6,20	5,83	0,10	0,25	0,445	0,402	838,4							
	Infrastruktur	tkm	1,41	0,87	0,40	0,14	0,043	0,037	110,9							
	Fahrzeug	tkm	1,19	0,95	0,17	0,07	0,065	0,058	124,5							
Lastwagen 7,5-16t	Total	tkm	3,67	3,25	0,23	0,18	0,232	0,209	424,2							
	Betrieb	tkm	2,68	2,52	0,04	0,11	0,192	0,173	335,6							
	Infrastruktur	tkm	0,63	0,45	0,13	0,05	0,021	0,018	51,3							
	Fahrzeug	tkm	0,36	0,28	0,05	0,02	0,020	0,017	37,3							
Lastwagen 16-32t	Total	tkm	2,87	2,58	0,16	0,13	0,183	0,164	344,4							
	Betrieb	tkm	2,11	1,99	0,03	0,09	0,150	0,135	274,1							
	Infrastruktur	tkm	0,48	0,37	0,08	0,03	0,017	0,015	39,8							
	Fahrzeug	tkm	0,28	0,23	0,04	0,02	0,016	0,014	30,4							
Lastwagen 32-40t	Total	tkm	1,88	1,70	0,10	0,08	0,118	0,106	214,5							
	Betrieb	tkm	1,28	1,21	0,02	0,05	0,092	0,083	159,7							
	Infrastruktur	tkm	0,39	0,32	0,05	0,02	0,015	0,013	33,4							
	Fahrzeug	tkm	0,20	0,17	0,03	0,01	0,011	0,010	21,4							
Flugzeug, Durchschnitt ¹	Total	tkm	10,42	10,18	0,19	0,06	1,670	0,693	1949,0							
	Betrieb	tkm	10,20	10,01	0,14	0,04	1,658	0,682	1929,1							
	Infrastruktur	tkm	0,21	0,15	0,05	0,01	0,011	0,010	18,3							
	Fahrzeug	tkm	0,02	0,01	0,00	0,00	0,001	0,001	1,6							
Flugzeug, Kurzstrecke ¹	Total	tkm	17,98	17,26	0,55	0,17	2,123	1,174	2602,9							
	Betrieb	tkm	16,46	16,17	0,22	0,07	2,044	1,101	2469,7							
	Infrastruktur	tkm	1,47	1,06	0,32	0,09	0,077	0,070	128,8							
	Fahrzeug	tkm	0,04	0,03	0,01	0,00	0,003	0,002	4,4							
Flugzeug, Mittelstrecke ¹	Total	tkm	10,48	10,18	0,22	0,07	1,596	0,693	1880,0							
	Betrieb	tkm	10,07	9,89	0,14	0,04	1,575	0,674	1844,4							
	Infrastruktur	tkm	0,39	0,28	0,09	0,03	0,021	0,019	34,5							
	Fahrzeug	tkm	0,01	0,01	0,00	0,00	0,001	0,001	1,1							
Flugzeug, Langstrecke ¹	Total	tkm	10,10	9,88	0,17	0,05	1,657	0,673	1927,6							
	Betrieb	tkm	9,95	9,77	0,13	0,04	1,649	0,666	1914,3							
	Infrastruktur	tkm	0,14	0,10	0,03	0,01	0,007	0,007	12,3							
	Fahrzeug	tkm	0,01	0,01	0,00	0,00	0,001	0,001	1,0							

¹ Angaben für die kombinierte Passagier- und Frachttransporte; Allokation auf Passagiere und Fracht basierend auf der Tonnage (1 Person = 160 bzw. 166 kg).
 Datenquelle: UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022 und eigene Berechnungen
 © treeze Ltd. 2013-2022

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	BezugsgröÙe	Primärenergiefaktor total	Primärenergiefaktor fest	Primärenergiefaktor mobiler	Primärenergiefaktor total	CO ₂ -Äquivalente	Kohlendioxid	Umweltbelastungsgruppe	Auslastung Durchschnitt	
			[MJ/req]	[MJ/req]	[MJ/req]	[MJ/req]	[g CO ₂ -e]	[g]	[BAP21]		
Personen-Transporte	Fernreisezug Schweiz	Total	pkm	0.42	0.07	0.09	0.26	0.007	0.007	30.1	207
		Betrieb	pkm	0.29	0.00	0.04	0.24	0.001	0.000	13.6	207
		Infrastruktur	pkm	0.10	0.04	0.04	0.01	0.005	0.005	13.2	207
		Fahrzeug	pkm	0.04	0.02	0.01	0.00	0.002	0.001	3.3	207
	Fernreisezug Deutschland, ICE	Total	pkm	0.57	0.36	0.09	0.12	0.034	0.031	64.8	235
		Betrieb	pkm	0.46	0.27	0.07	0.12	0.025	0.022	44.0	235
		Infrastruktur	pkm	0.10	0.08	0.01	0.01	0.009	0.008	18.8	235
		Fahrzeug	pkm	0.02	0.01	0.00	0.00	0.001	0.001	2.0	235
	Autobus	Total	pkm	2.30	2.14	0.12	0.04	0.156	0.142	258.3	10.2
		Betrieb	pkm	1.94	1.91	0.02	0.01	0.143	0.130	227.6	10.2
		Infrastruktur	pkm	0.22	0.16	0.04	0.02	0.007	0.006	17.9	10.2
		Fahrzeug	pkm	0.14	0.07	0.05	0.02	0.006	0.005	12.9	10.2
Flugzeug, Durchschnitt ¹	Total	pkm	1.93	1.88	0.04	0.01	0.283	0.128	332.1	206	
	Betrieb	pkm	1.85	1.82	0.02	0.01	0.278	0.124	324.5	206	
	Infrastruktur	pkm	0.08	0.06	0.02	0.01	0.004	0.004	6.9	206	
	Fahrzeug	pkm	0.01	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.7	206	
Flugzeug, Kurzstrecke ²	Total	pkm	2.96	2.84	0.09	0.03	0.350	0.194	426.6	126.0	
	Betrieb	pkm	2.71	2.67	0.04	0.01	0.337	0.182	404.6	126.0	
	Infrastruktur	pkm	0.24	0.17	0.05	0.02	0.013	0.012	21.2	126.0	
	Fahrzeug	pkm	0.01	0.01	0.00	0.00	0.000	0.000	0.7	126.0	
Flugzeug, Mittelstrecke ²	Total	pkm	1.70	1.65	0.04	0.01	0.259	0.112	302.1	132.0	
	Betrieb	pkm	1.63	1.60	0.02	0.01	0.255	0.109	296.3	132.0	
	Infrastruktur	pkm	0.06	0.05	0.01	0.00	0.003	0.003	5.4	132.0	
	Fahrzeug	pkm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.2	132.0	
Flugzeug, Langstrecke ²	Total	pkm	1.60	1.57	0.03	0.01	0.263	0.107	303.3	251	
	Betrieb	pkm	1.58	1.55	0.02	0.01	0.261	0.106	301.1	251	
	Infrastruktur	pkm	0.02	0.02	0.00	0.00	0.001	0.001	2.0	251	
	Fahrzeug	pkm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.2	251	
Helikopter, einmotorig	Total	h	13'063	12'809	192	62	968	873	1273386		
	Betrieb	h	12'987	12'755	176	56	964	869	1265871		
	Infrastruktur	h									
	Fahrzeug	h	76	54	16	6	4	4	7514		
Helikopter, zweimotorig	Total	h	18'732	18'373	271	88	1413	1252	1834063		
	Betrieb	h	18'644	18'310	252	81	1408	1247	1825316		
	Infrastruktur	h									
	Fahrzeug	h	88	62	19	7	5	5	8747		
Personenwagen, Durchschnitt	Total	pkm	3.30	2.74	0.39	0.17	0.212	0.189	352.3	1.6	
	Betrieb	pkm	2.07	2.01	0.04	0.03	0.154	0.138	220.4	1.6	
	Infrastruktur	pkm	0.49	0.19	0.22	0.07	0.011	0.010	35.3	1.6	
	Fahrzeug	pkm	0.74	0.54	0.13	0.06	0.047	0.042	96.6	1.6	
Personenwagen, Benzin	Total	pkm	3.49	2.91	0.40	0.18	0.225	0.201	364.8	1.6	
	Betrieb	pkm	2.29	2.20	0.05	0.04	0.168	0.151	237.0	1.6	
	Infrastruktur	pkm	0.48	0.19	0.22	0.07	0.011	0.009	34.8	1.6	
	Fahrzeug	pkm	0.72	0.52	0.13	0.06	0.046	0.041	93.0	1.6	
Personenwagen, Diesel	Total	pkm	3.00	2.47	0.38	0.15	0.192	0.171	332.8	1.6	
	Betrieb	pkm	1.73	1.71	0.02	0.01	0.132	0.117	194.6	1.6	
	Infrastruktur	pkm	0.50	0.20	0.22	0.07	0.011	0.010	36.0	1.6	
	Fahrzeug	pkm	0.77	0.56	0.14	0.07	0.049	0.044	102.2	1.6	
Personenwagen, Erdgas	Total	pkm	3.23	2.73	0.37	0.13	0.168	0.152	255.9	1.6	
	Betrieb	pkm	2.30	2.23	0.06	0.03	0.134	0.121	184.2	1.6	
	Infrastruktur	pkm	0.49	0.18	0.24	0.08	0.010	0.009	35.0	1.6	
	Fahrzeug	pkm	0.43	0.33	0.08	0.03	0.024	0.022	46.7	1.6	
Personenwagen, Biogas	Total	pkm	1.68	0.97	0.53	0.18	0.103	0.058	193.5	1.6	
	Betrieb	pkm	0.76	0.47	0.22	0.08	0.068	0.027	111.7	1.6	
	Infrastruktur	pkm	0.49	0.18	0.24	0.08	0.010	0.009	35.0	1.6	
	Fahrzeug	pkm	0.43	0.33	0.08	0.03	0.024	0.022	46.7	1.6	
Personenwagen, elektrisch, Strom CH-Verbrauchermix	Total	pkm	2.69	1.11	1.20	0.39	0.093	0.079	255.6	1.6	
	Betrieb	pkm	1.18	0.17	0.76	0.25	0.020	0.014	78.1	1.6	
	Infrastruktur	pkm	0.48	0.19	0.22	0.07	0.011	0.009	34.8	1.6	
	Fahrzeug	pkm	1.03	0.74	0.22	0.07	0.062	0.056	142.7	1.6	
Personenwagen, elektrisch, Mix Stromprodukte aus erneuerbaren Energien	Total	pkm	2.04	0.94	0.44	0.66	0.079	0.066	202.0	1.6	
	Betrieb	pkm	0.53	0.01	0.00	0.52	0.006	0.001	24.5	1.6	
	Infrastruktur	pkm	0.48	0.19	0.22	0.07	0.011	0.009	34.8	1.6	
	Fahrzeug	pkm	1.03	0.74	0.22	0.07	0.062	0.056	142.7	1.6	
Scooter, Benzin	Total	pkm	1.56	1.47	0.05	0.04	0.127	0.099	256.5	1.1	
	Betrieb	pkm	1.32	1.27	0.03	0.03	0.114	0.087	233.5	1.1	
	Infrastruktur	pkm	0.03	0.02	0.00	0.00	0.001	0.001	2.2	1.1	
	Fahrzeug	pkm	0.21	0.17	0.02	0.01	0.012	0.011	20.8	1.1	
Regionalezug	Total	pkm	0.73	0.08	0.14	0.52	0.009	0.008	39.0	65.1	
	Betrieb	pkm	0.59	0.01	0.09	0.50	0.001	0.001	19.5	65.1	
	Infrastruktur	pkm	0.12	0.06	0.05	0.02	0.006	0.006	16.7	65.1	
	Fahrzeug	pkm	0.02	0.01	0.00	0.00	0.001	0.001	2.8	65.1	
Reisebus	Total	pkm	0.92	0.84	0.06	0.02	0.061	0.055	106.9	21.0	
	Betrieb	pkm	0.72	0.71	0.01	0.00	0.054	0.048	89.5	21.0	
	Infrastruktur	pkm	0.12	0.09	0.02	0.01	0.004	0.004	10.2	21.0	
	Fahrzeug	pkm	0.08	0.04	0.03	0.01	0.003	0.003	7.2	21.0	
Tram	Total	pkm	1.74	0.45	0.97	0.32	0.043	0.039	123.5	33.6	
	Betrieb	pkm	1.29	0.19	0.83	0.27	0.017	0.015	69.8	33.6	
	Infrastruktur	pkm	0.38	0.22	0.11	0.04	0.023	0.021	47.2	33.6	
	Fahrzeug	pkm	0.07	0.03	0.03	0.01	0.003	0.003	6.5	33.6	
Trolleybus	Total	pkm	1.66	0.39	0.95	0.32	0.030	0.025	112.0	19.0	
	Betrieb	pkm	1.37	0.20	0.88	0.29	0.019	0.016	85.7	19.0	
	Infrastruktur	pkm	0.17	0.13	0.03	0.01	0.006	0.005	15.5	19.0	
	Fahrzeug	pkm	0.12	0.06	0.04	0.02	0.005	0.004	10.8	19.0	

¹ Angaben für die kombinierte Passagier- und Frachttransporte; Allokation auf Passagiere und Fracht basierend auf der Tonnage (1 Person = 160 bzw. 166 kg)
 Datenquelle: UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRV2:2022 und eigene Berechnungen
 © treeze Ltd. 2013-2022

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	Benutzgröße	Primärenergiefaktor			Primärenergiefaktor erneuerbar [MJ-eq]	CO ₂ -Äquivalente [kg CO ₂ -eq]	Kohlendioxid, fossil [kg]	Umweltbelastungspunkte [DPT]	Auslastung, Durchschnitt [l oder pers.]	Treibstoffverbrauch ungerundet [kg] resp. [kWh]	
			Primärenergiefaktor total [MJ-eq]	Primärenergiefaktor fossil [MJ-eq]	Primärenergiefaktor nuklear [MJ-eq]							
Güter-Transporte	Aushub maschinell, Durchschnitt	Total	m3	5.99	5.75	0.18	0.07	0.438	0.400	700.4		
		Betrieb	m3	5.32	5.22	0.07	0.03	0.388	0.354	613.3	0.095 kg Diesel	
		Infrastruktur	m3								0.095 kg Diesel	
		Fahrzeug	m3	0.67	0.52	0.11	0.04	0.050	0.046	87.1		
	Aushub maschinell, mit PF	Total	m3	5.99	5.75	0.18	0.07	0.438	0.400	700.3		
		Betrieb	m3	5.32	5.22	0.07	0.03	0.388	0.354	613.1	0.095 kg Diesel	
		Infrastruktur	m3								0.095 kg Diesel	
		Fahrzeug	m3	0.67	0.52	0.11	0.04	0.050	0.046	87.1		
	Aushub maschinell, ohne PF	Total	m3	5.84	5.60	0.17	0.07	0.427	0.390	702.3		
		Betrieb	m3	5.17	5.07	0.07	0.03	0.377	0.344	615.2	0.092 kg Diesel	
		Infrastruktur	m3								0.092 kg Diesel	
		Fahrzeug	m3	0.67	0.52	0.11	0.04	0.050	0.046	87.1		
Binnenschiff	Total	vkm	672	575	61	35	45.1	40.8	78958	1127		
		Betrieb	vkm	509	479	8	21	36.5	32.8	63369	1127	9.02 kg Diesel
		Infrastruktur	vkm	155	89	52	13	8.1	7.5	14419	1127	9.02 kg Diesel
		Fahrzeug	vkm	8	7	1	0	0.6	0.5	1171	1127	
Güterzug	Total	vkm	152	52	29	70	5.18	4.71	13681	420		
		Betrieb	vkm	85	11	11	63	0.96	0.82	4730	420	16.47 kWh Elektr. + 0.19 kg Diesel
		Infrastruktur	vkm	37	17	15	5	1.97	1.82	5126	420	16.47 kWh Elektr. + 0.19 kg Diesel
		Fahrzeug	vkm	29	24	4	2	2.26	2.07	3825	420	
Helikopter	Total	h	10'296	10'091	154	50	759	688	1007862			
		Betrieb	h	10'220	10'038	138	44	754	684	1000348		182.60 kg Kerosin
		Infrastruktur	h									182.60 kg Kerosin
		Fahrzeug	h	76	54	16	6	4	4	7514		
Hochseeschiff	Total	vkm	6'379	5'690	542	147	444	407	1042472	60000		
		Betrieb	vkm	4'960	4'860	75	24	373	342	913992	60000	92.51 kg Schweröl
		Infrastruktur	vkm	1'303	741	449	114	60	55	107630	60000	92.51 kg Schweröl
		Fahrzeug	vkm	116	89	18	9	11	10	20850	60000	
Hochseetanker	Total	vkm	8'971	8'260	557	153	640	587	2038675	100000		
		Betrieb	vkm	7'633	7'480	116	38	574	526	1917992	100000	142.39 kg Schweröl
		Infrastruktur	vkm	1'234	701	425	108	57	53	101922	100000	142.39 kg Schweröl
		Fahrzeug	vkm	103	79	16	8	10	9	18761	100000	
Kleintransporter (<3.5t)	Total	vkm	6.24	5.29	0.69	0.26	0.403	0.363	665.6	0.23		
		Betrieb	vkm	4.08	4.00	0.06	0.03	0.304	0.274	447.0	0.23	0.064 kg Diesel + 0.011 kg Benzin
		Infrastruktur	vkm	0.87	0.39	0.36	0.12	0.021	0.018	64.3	0.23	0.064 kg Diesel + 0.011 kg Benzin
		Fahrzeug	vkm	1.29	0.89	0.28	0.11	0.078	0.071	154.2	0.23	
Lastwagen, Durchschnitt	Total	vkm	21.47	19.30	1.15	0.97	1.354	1.215	2503.1	9.41		
		Betrieb	vkm	15.17	14.26	0.24	0.62	1.085	0.978	1925.1	9.41	0.24 kg Diesel
		Infrastruktur	vkm	4.07	3.22	0.62	0.22	0.148	0.128	341.2	9.41	0.24 kg Diesel
		Fahrzeug	vkm	2.23	1.81	0.29	0.13	0.122	0.109	236.8	9.41	
Lastwagen 3.5t-7.5t	Total	vkm	8.66	7.54	0.66	0.45	0.544	0.489	1057.8	0.99		
		Betrieb	vkm	6.11	5.74	0.10	0.25	0.438	0.396	825.8	0.99	0.11 kg Diesel
		Infrastruktur	vkm	1.39	0.86	0.39	0.13	0.042	0.036	109.3	0.99	0.11 kg Diesel
		Fahrzeug	vkm	1.17	0.94	0.17	0.07	0.064	0.058	122.7	0.99	
Lastwagen 7.5-16t	Total	vkm	12.06	10.70	0.75	0.58	0.764	0.687	1395.2	3.29		
		Betrieb	vkm	8.82	8.29	0.14	0.36	0.631	0.569	1103.9	3.29	0.16 kg Diesel
		Infrastruktur	vkm	2.07	1.48	0.44	0.15	0.069	0.060	168.6	3.29	0.16 kg Diesel
		Fahrzeug	vkm	1.17	0.94	0.17	0.07	0.064	0.058	122.7	3.29	
Lastwagen 16-32t	Total	vkm	16.62	14.92	0.90	0.76	1.056	0.949	1992.9	5.79		
		Betrieb	vkm	12.22	11.49	0.19	0.50	0.867	0.783	1586.5	5.79	0.22 kg Diesel
		Infrastruktur	vkm	2.77	2.12	0.49	0.17	0.098	0.085	230.2	5.79	0.22 kg Diesel
		Fahrzeug	vkm	1.63	1.31	0.22	0.09	0.091	0.082	176.2	5.79	
Lastwagen 32-40t	Total	vkm	21.84	19.70	1.14	0.96	1.369	1.227	2490.0	11.6		
		Betrieb	vkm	14.89	14.00	0.24	0.61	1.071	0.966	1853.7	11.6	0.26 kg Diesel
		Infrastruktur	vkm	4.58	3.75	0.60	0.22	0.170	0.147	387.6	11.6	0.26 kg Diesel
		Fahrzeug	vkm	2.38	1.95	0.30	0.13	0.128	0.114	248.7	11.6	
Flugzeug, Durchschnitt ¹	Total	vkm	107.4	104.8	1.9	0.6	17.2	7.1	20075	10.3		
		Betrieb	vkm	105.0	103.2	1.4	0.5	17.1	7.0	19869	10.3	1.88 kg Kerosin
		Infrastruktur	vkm	2.2	1.5	0.5	0.1	0.1	0.1	189	10.3	1.88 kg Kerosin
		Fahrzeug	vkm	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	17	10.3	
Flugzeug, Kurzstrecke ¹	Total	vkm	14.4	13.8	0.4	0.1	1.7	0.9	2082	0.8		
		Betrieb	vkm	13.2	12.9	0.2	0.1	1.6	0.9	1976	0.8	0.24 kg Kerosin
		Infrastruktur	vkm	1.2	0.8	0.3	0.1	0.1	0.1	103	0.8	0.24 kg Kerosin
		Fahrzeug	vkm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	0.8	
Flugzeug, Mittelstrecke ¹	Total	vkm	11.5	11.2	0.2	0.1	1.8	0.8	2068	1.1		
		Betrieb	vkm	11.1	10.9	0.1	0.0	1.7	0.7	2029	1.1	0.20 kg Kerosin
		Infrastruktur	vkm	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	38	1.1	0.20 kg Kerosin
		Fahrzeug	vkm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	1.1	
Flugzeug, Langstrecke ¹	Total	vkm	116.2	113.6	1.9	0.6	19.1	7.7	22168	11.5		
		Betrieb	vkm	114.4	112.4	1.5	0.5	19.0	7.7	22015	11.5	2.04 kg Kerosin
		Infrastruktur	vkm	1.6	1.2	0.4	0.1	0.1	0.1	141	11.5	2.04 kg Kerosin
		Fahrzeug	vkm	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	12	11.5	

¹ Angaben für die kombinierte Passagier- und Frachttransporte; Allokation auf Passagiere und Fracht basierend auf der Tonnage (1 Person = 160 bzw. 166 kg)
 Datenquelle: UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022 und eigene Berechnungen
 © treeze Ltd. 2013-2022

3 Aktualisierung der Hintergrunddaten

Der UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022 bildet die Datenbasis für die Auswertungen (KBOB et al. 2022a). Dieser basiert auf dem ecoinvent Datenbestand v2.2 (ecoinvent Centre 2010) und umfangreichen Anpassungen und Aktualisierungen. 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.

Der aktualisierte Hintergrunddatenbestand und die Datensätze der KBOB-Empfehlung 2009/1:2022 (teilweise zu Systemprozessen aggregiert) werden als SimaPro- und als openLCA-Datenbank zur Verfügung gestellt.

Die Auswertungen erfolgten mit der Software SimaPro 9.2 (PRé Consultants 2021).

Tab. 3.1 Übersicht über die im Vergleich zum ecoinvent Datenbestand Version 2.2 (ecoinvent Centre 2010) aktualisierten Sachbilanzdaten im KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 (KBOB et al. 2016) und UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022 (KBOB et al. 2022a).

Sektor	Umfang der Aktualisierung	2016	2022	Quelle
Aluminium	Herstellung von Primär- und Sekundäraluminium Aluminium-Produktionsmixe	x		Stolz & Frischknecht 2016
Eisenmetalle	Herstellung von Armierungsstahl und andere Stahl- und Eisenprodukte		x	Zschokke et al. 2021
Holzprodukte	Waldbewirtschaftung Herstellung von Holzprodukten	x	x	Werner 2020 Werner 2017
Erdgas	Versorgungsmix Flüssiggas Versorgungskette ab Produktion Russland Regionales Verteilnetz GuD-Kombikraftwerk WKK Anlagen	x		Bauer et al. 2012 Schori et al. 2012
Erdöl	Förderung von Rohöl Ferntransport und Raffinierung von Rohöl Bereitstellung von Raffinerieprodukten		x	Jungbluth & Meili 2018 Jungbluth et al. 2018a Meili et al. 2018a Meili et al. 2018b
Erdölprodukte (z.B. Benzin, Diesel, Heizöl EL)	Herkunftsmix von Rohöl für die Schweiz und Europa Anteil von schweizerischen und europäischen Raffinerien an der Bereitstellung von Erdölprodukten in der Schweiz Transportdistanzen von Rohöl und importierten Erdölprodukten		x	Frischknecht & Krebs 2021b
Heizungssysteme	Erdölheizung Erdgasheizung Biogasheizung Holzheizung Wärmepumpen, Luft-, Grundwasser-,		x	Kägi et al. 2021 Jungbluth et al. 2018b

Sektor	Umfang der Aktualisierung	2016	2022	Quelle
	Sole-Wasser; Neu- und Altbau Solarkollektor, hybrid Elektrospeicherofen			
Biogas	Produktion Rohbiogas aus Grüngut und aus Klärschlamm Aufbereitung Biogas Biogasmix Schweiz		x	Kägi et al. 2022
Fernwärme	Infrastruktur Verluste		x	Kägi et al. 2021
Kernkraft	Uranförderung und –aufbereitung Brennstoffkette Betrieb der Kernkraftwerke Geologische Tiefenlagerung	x		Bauer et al. 2012
Wasserkraft	Laufwasserkraftwerk Speicherwasserkraftwerk Kleinwasserkraftwerk Pumpspeicherkraftwerk	x		Flury & Frischknecht 2012
Fotovoltaik	Polysiliziumherstellung Strom- und Brennstoffbedarf Ingot, Wafer, und Zellenherstellung Sägespalt, Waferdicke und Materialverluste Cadmium-Tellurid Technologie Moduleffizienz Entsorgung/Recycling Spezifischer Energieertrag und Degradationsrate von Fotovoltaik-Anlagen		x	Frischknecht et al. 2020
Stromproduktion, -übertragung und -verteilung	Stromproduktion (Europa und übrige Welt) Europäischer Strommix (Verbund ENT-SO) Stromverluste und -verteilung Stromnetzinfrastruktur	x		Itten et al. 2014
Strommix Schweiz	Strommixe für das Jahr 2018		x	Krebs & Frischknecht 2020b
KVA	aktualisierte Stoff- und Energieflüsse, aktualisierte Emissionsfaktoren (insbesondere Dioxine)	x		Doka 2013
Deponie	Bauabfall und Aushubdeponien		x	Doka 2020
Entsorgung von Baumaterialien	Entsorgungswege Baumaterialien		x	Klingler & Savi 2021
Transportleistungen Strasse	Personen- und Frachttransporte, inkl. Baumaschinen und Tram	(x)	x	Krebs & Frischknecht 2020a Stolz et al. 2016
Transportleistungen Schiene	Personen- und Frachttransporte		x	Krebs & Frischknecht 2020a Messmer &

Sektor	Umfang der Aktualisierung	2016	2022	Quelle
				Frisknecht 2016a
Transportleistungen Schiffe	Personen- und Frachttransporte		x	Messmer & Frisknecht 2016c
Transportleistungen Flugzeuge	Personen- und Frachttransporte, inkl. Seilbahnen		x	Frisknecht & Krebs 2021a Messmer & Frisknecht 2016b
Korrekturen von Fehlern	Diverse	x	x	Internes Arbeitsdokument

4 Sachbilanzen Transportleistungen

4.1 Personenverkehr

Die zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Transportdienstleistungen des Personenverkehrs verwendeten Datensätze sind in Tab. 4.1 aufgelistet. Die Sachbilanzen sind in Messmer und Frischknecht (2016a, b, c), Stolz et al. (2016) und Frischknecht und Krebs (2021a) dokumentiert.

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

Transportleistung	Datensatzname	Lokalität
Fernreisezug Schweiz	transport, long-distance train, SBB mix	CH
Fernreisezug Deutschland, ICE	transport, high speed train	DE
Autobus	transport, regular bus	CH
Flugzeug, Durchschnitt	transport, aircraft, passenger	RER
Flugzeug, Kurzstrecke	transport, aircraft, passenger, short-haul	RER
Flugzeug, Mittelstrecke	transport, aircraft, passenger, medium-haul	RER
Flugzeug, Langstrecke	transport, aircraft, passenger, long-haul	RER
Helikopter, einmotorig	transport, passenger, helicopter, single-engine	CH
Helikopter, zweimotorig	transport, passenger helicopter, twin-engine	CH
Personenwagen, Durchschnitt	transport, passenger car, fleet average	CH
Personenwagen, Benzin	transport, passenger car, petrol, fleet average	CH
Personenwagen, Diesel	transport, passenger car, diesel, fleet average	CH
Personenwagen, Erdgas	Transport, passenger car, natural gas	CH
Personenwagen, Biogas	Transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas	CH
Personenwagen, elektrisch, Strom CH-Verbrauchermix	transport, passenger car, electric, LiNCM	CH
Personenwagen, elektrisch, Mix Stromprodukte aus erneuerbaren Energien	transport, passenger car, electric, LiNCM, certified electricity	CH
Scooter, Benzin	Transport, scooter	CH
Regionalzug	transport, regional train, SBB mix	CH
Reisebus	transport, passenger coach	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 aktualisierten Datensätze sind in Stolz et al. (2016), Messmer und Frischknecht (2016a, b, c) und Frischknecht und Krebs (2021a) ausführlich dokumentiert.

Tab. 4.2 Übersicht der Güterverkehrsdatensätze; CH: Schweiz, RER: Europa, OCE: Ozeane, PF: Partikelfilter; Quellen: Frischknecht & Krebs 2021a; Messmer & Frischknecht 2016a, c, Stolz et al. 2016.

Transportleistung	Datensatzname	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	CH
Güterzug	transport, freight, rail, electricity with shunting	CH
Helikopter	transport, freight helicopter, single-engine	CH
Hochseeschiff	transport, transoceanic freight ship	OCE
Hochseetanker	transport, transoceanic tanker	OCE
Kleintransporter (<3.5t)	transport, freight, light commercial vehicle	CH
Lastwagen, Durchschnitt	transport, freight, lorry, fleet average	CH
Lastwagen 3.5t-7.5t	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, fleet average	CH
Lastwagen 7.5-16t	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, fleet average	CH
Lastwagen 16-32t	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average	CH
Lastwagen 32-40t	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, fleet average	CH
Flugzeug, Durchschnitt	transport, aircraft, freight	RER
Flugzeug, Kurzstrecke	transport, aircraft, freight, short-haul	RER
Flugzeug, Mittelstrecke	transport, aircraft, freight, medium-haul	RER
Flugzeug, Langstrecke	transport, aircraft, freight, long-haul	RER

5 Parametrisierte Rechner

Zur Ermittlung der Umweltkennwerte von Transportleistungen mit projektspezifischen Verbrauchswerten oder projektspezifischer Auslastung stehen die mobitool-Faktoren v2.1² zur Verfügung.

² www.mobitool.ch, Zugriff am 11. Februar 2022

6 Literatur

- 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.
- Doka G. (2013) Updates to Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services - part II: waste incineration. Doka Life Cycle Assessments, Zürich, Switzerland.
- Doka G. (2020) Two models for waste-specific and climate-specific life cycle inventories of excavation material landfills and construction & demolition waste landfills., Doka Life Cycle Assessments, Zurich, Switzerland. Commissioned by Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), retrieved from: <http://www.doka.ch/publications.htm>.
- 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.
- Flury K. and Frischknecht R. (2012) Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation. ESU-services Ltd., Uster, retrieved from: www.lc-inventories.ch.
- Frischknecht R., Wyss F., Büsser Knöpfel S., Lützkendorf T. and Balouktsi M. (2015) Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(7), pp. 957-969, 10.1007/s11367-015-0897-4, retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-015-0897-4>.
- Frischknecht R., Stolz P., Krebs L., de Wild-Scholten M., Sinha P. and Rauegi M. (2020) Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems, Report T12-19:2020. International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12.
- Frischknecht R. and Krebs L. (2021a) Life Cycle Inventories of Air Transport Services; Update and Completion 2021. treeze Ltd., Uster.
- Frischknecht R. and Krebs L. (2021b) Energieetikette für Personenwagen: Umweltkennwerte 2021 der Strom- und Treibstoffbereitstellung. treeze Ltd., Uster, CH.
- Frischknecht R., Dinkel F., Braunschweig A., Ahmadi M., Kägi T., Krebs L., Stettler C., Zschokke M., Itten R. and Stucki M. (2021) Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- 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 N. and Meili C. (2018) Life cycle inventories of oil products distribution. ESU-services GmbH, Schaffhausen.
- Jungbluth N., Meili C. and Wenzel P. (2018a) Life cycle inventories of oil refinery processing and products. ESU-services GmbH, Schaffhausen.
- Jungbluth N., Wenzel P. and Meili C. (2018b) Life cycle inventories of oil heating systems. ESU-services GmbH, Schaffhausen.
- Kägi T., Waldburger L., Kern C., Roberts G., Zschokke M., Conte F. and Weber L. (2021) Life cycle inventories of heating systems; Heat from natural gas, biomethane, district heating, electric heating, heat pumps, PVT, wood, cogeneration. Carbotech AG, Basel and Zürich, Switzerland.

- Kägi T., Zschokke M. and Dinkel F. (2022) Life Cycle Inventories for Biogas and Biomethane processes. Carbotech AG, Zürich.
- KBOB, eco-bau and IPB (2016) KBOB Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2016; 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.ecoinvent.org.
- KBOB, ecobau and IPB (2022a) UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: www.lc-inventories.ch.
- KBOB, ecobau and IPB (2022b) KBOB-Empfehlung 2009/1:2022: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand Februar 2022. 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>.
- Klingler M. and Savi D. (2021) Harmonisierte Ökobilanzen der Entsorgung von Baustoffen. Büro für Umweltchemie, Zürich, Schweiz.
- Krebs L. and Frischknecht R. (2020a) Aktualisierung Ökobilanzdaten mobitool 2020, Teil 1. treeze, Schweizerische Bundesbahnen SBB, Bundesamt für Energie BFE, Bundesamt für Umwelt BAFU, Swisscom, Öbu, mobitool, Uster und Bern.
- Krebs L. and Frischknecht R. (2020b) Umweltbilanz Strommixe Schweiz 2018. treeze Ltd., Uster.
- Meili C., Jungbluth N. and Annaheim J. (2018a) Life cycle inventories of crude oil extraction. ESU-services GmbH, Schaffhausen.
- Meili C., Jungbluth N. and Wenzel P. (2018b) Life cycle inventories of long-distance transport of crude oil. ESU-services GmbH, Schaffhausen.
- Messmer A. and Frischknecht R. (2016a) Life cycle inventories of rail transport services. treeze Ltd., Uster.
- Messmer A. and Frischknecht R. (2016b) Life Cycle Inventories of Air Transport Services. treeze Ltd., Uster.
- Messmer A. and Frischknecht R. (2016c) Life Cycle Inventories of Water Transport Services. treeze Ltd., Uster.
- PRé Consultants (2021) SimaPro 9.2.0.2, Amersfoort, NL.
- 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 P., Messmer A. and Frischknecht R. (2016) Life Cycle Inventories of Road and Non-Road Transport Services. treeze Ltd., Uster CH.
- Stolz P. and Frischknecht R. (2016) Life Cycle Inventories of Aluminium and Aluminium Profiles. treeze Ltd., Uster, CH.
- Werner F. (2017) Background report for the life cycle inventories of wood and wood based products for updates of ecoinvent 2.2. Werner Environment & Development, Zürich, CH.
- Werner F. (2020) Complementary life cycle inventories for wood products. Werner Environment and Development, Zürich, Switzerland.
- Zschokke M., Bolt P. and Conrad S. (2021) Life cycle inventories of steel and iron processes. Carbotech AG, Basel and Zürich, Switzerland.

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 2009/1:2022 (KBOB et al. 2022b)

ID-Nr.	Bezeichnung	Datensatz
62.001	Aushub maschinell, Durchschnitt	excavation, hydraulic digger, average/m3/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/tkm/RER U
62.003	Güterzug	transport, freight, rail, electricity with shunting/tkm/CH U
62.004	Helikopter	transport, freight helicopter, single-engine/hr/CH U
62.005	Hochseeschiff	transport, transoceanic freight ship/tkm/OCE U
62.006	Hochseetanker	transport, transoceanic tanker/tkm/OCE U
62.007	Kleintransporter (<3.5t)	transport, freight, light commercial vehicle/tkm/CH U
62.016	Lastwagen, Durchschnitt	transport, freight, lorry, fleet average/tkm/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/tkm/RER U
62.012	Flugzeug, Kurzstrecke1	transport, aircraft, freight, short-haul/tkm/RER U
62.018	Flugzeug, Mittelstrecke1	transport, aircraft, freight, medium-haul/RER U
62.013	Flugzeug, Langstrecke1	transport, aircraft, freight, long-haul/tkm/RER U
63.001	Fernreisezug Schweiz	transport, long-distance train, SBB mix/personkm/CH U
63.002	Fernreisezug Deutschland, ICE	transport, high speed train/personkm/DE U
63.003	Autobus	transport, regular bus/personkm/CH U
63.004	Flugzeug, Durchschnitt1	transport, aircraft, passenger/personkm/RER U
63.005	Flugzeug, Kurzstrecke1	transport, aircraft, passenger, short-haul/personkm/RER U
63.020	Flugzeug, Mittelstrecke1	transport, aircraft, passenger, medium-haul/RER U
63.006	Flugzeug, Langstrecke1	transport, aircraft, passenger, long-haul/personkm/RER U
63.018	Helikopter, einmotorig	transport, passenger, helicopter, single-engine/CH U
63.019	Helikopter, zweimotorig	transport, passenger helicopter, twin-engine/CH U
63.007	Personenwagen, Durchschnitt	transport, passenger car, fleet average/personkm/CH U
63.008	Personenwagen, Benzin	transport, passenger car, petrol, fleet average/personkm/CH U
63.009	Personenwagen, Diesel	transport, passenger car, diesel, fleet average/personkm/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	Verbrauchermix	transport, passenger car, electric, LiNCM/personkm/CH U
63.021	Stromprodukte aus erneuerbaren	electricity/personkm/CH U
63.017	Scooter, Benzin	Transport, scooter/CH U
63.010	Regionalzug	transport, regional train, SBB mix/personkm/CH U
63.011	Reisebus	transport, passenger coach/personkm/CH U
63.012	Tram	transport, tram/personkm/CH U
63.013	Trolleybus	transport, trolleybus/personkm/CH U